

VASSDRAGSREGULERINGS VIRKNING PÅ FJORDER

[Effects on fjords of modified freshwater discharge  
due to hydroelectric power production]

Av

STEIN KAARTVEDT

## ABSTRACT

KAARTVEDT, S. 1984. Vassdragsreguleringers virkning på fjorder. [Effects on fjords of modified freshwater discharge due to hydroelectric power production]. Fisken Hav., 1984(3):1-104.

Natural freshwater discharge to Norwegian fjords is characterized by low runoff during winter when precipitation is stored as snow and ice, and a marked peak in the discharge due to snow melting in spring. Hydroelectric power production causes a modified runoff pattern with increasing freshwater discharge during winter and reduced flow in spring.

The effects of runoff regulations on physical and biological properties of fjords are considered on basis of available literature. Documented physical effects include changes in salinity, modified current systems and changes in temperature caused by altered mixing depth following a regulation. Oxygen levels of the deeper layers in fjords with shallow sills may be altered. The possibility of changes in the vertical transport of nutrients to the euphotic layer is discussed. Notes are made on changes in temperature, nutrient supply and material load from regulated rivers.

In light of these physical changes, possible biological implications are discussed though biological data are insufficient. The differences in characteristics among fjords are stressed, with special emphasis on varying influence by the outer coastal waters.

## INNHOOLD

	Side
FORORD	4
SAMMENDRAG	5
1. INNLEDNING	17
2. GENERELT OM NORSKE FJORDER	17
2.1. Topografi, klima og ferskvannsavrenning	17
2.2. Hydrografi, strømforhold og blandingsprosesser	18
2.3. Biologiske forhold	22
2.4. Fjordenes fiskerimessige betydning	25
3. REGULERINGERS INNVIRKNING PÅ FERSKVANNSAVRENNINGEN	29
4. MULIGE EFFEKTER AV VASSDRAGSREGULERINGER PÅ FJORDER	32
4.1. Fysiske forhold	32
4.1.1. Brakkvannslag	32
4.1.2. Strømsystem	34
4.1.3. Is- og temperaturforhold i øvre lag	38
4.1.4. Vertikal næringssalttilførsel til øvre lag	46
4.1.5. Bassengvannet	47
4.1.6. Næringssalt- og materialtilførsel fra elver	52
4.2. Biologiske forhold	55
4.2.1. Planter og dyr i strandsonen	55
4.2.2. Planktontransport i øvre lag	58
4.2.3. Temperaturpåvirkning	62
4.2.4. Biologiske forhold i bassengvannet	62
4.2.5. Næringssalt- og materialtilførsel fra elver - biologiske konsekvenser	63
4.2.6. Medrivingsprosesser	65
4.2.7. Primærproduksjonen - samlet vurdering	68
4.2.8. Fra elveavrenning til fisk	70
4.2.9. Fisk i fjorder	76
4.2.10. Akvakultur i fjorder	79
4.3. "Gulf of St. Lawrence" - et eksempel på vurdering av reguleringseffekter	82
5. AVSLUTTENDE KOMMENTARER	87
5.1. Resultatenes generalitet - overførbarhet mellom ulike områder	87
5.2. Tekniske løsninger/manøverreglement	88
5.3. Videre arbeid - en del aktuelle problemstillinger	89
TAKK	91
LITTERATUR	91

## FORORD

I løpet av de siste ti årene er det fra flere hold blitt uttrykt frykt for at den økende vannkraftutbygging kan virke negativt på livet i fjordene og føre til redusert fiske.

I februar 1981 fremmet Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt et prosjektforslag som tok sikte på å gi en faglig oversikt over den viten man hadde om eventuelle virkninger av vassdragsreguleringer. Søknad om midler ble imøtekommet ved at Olje- og energidepartementet for 1983 bevilget kr. 200.000,- fra Konesjonsavgiftsfondet. Det ble inngått kontrakt mellom Vassdragsregulantenens Forening og Fiskeridirektoratet om gjennomføring av prosjektet som fikk følgende styringsgruppe:

Pål Mellquist	-	Vassdragsdirektoratet
Lisbeth W. Plassa	-	Fiskeridirektoratet
Erling Bakken	-	Havforskningsinstituttet
Roald Sætre	-	" - "

Styringsgruppen definerte oppgaven slik:

Å lage en faglig oppsummering av all tilgjengelig, relevant litteratur over emnet vassdragsreguleringers virkning på fjorder; marinøkologi, fiske og akvakultur.

Oppgaven ble begrenset geografisk til fjordene hvor eventuelle virkninger var antatt å bli sterkest. Prosjektet skulle ikke ta sikte på å samle inn nytt materiale eller bearbeide eldre data.

Styringsgruppen håper utredningen som nå foreligger, vil bli til nytte for forvaltningen, for regulantene og for forskere. Av hensyn til brukergruppens ulike bakgrunn og interesser er det presentert et utvidet sammendrag fremst i utredningen.

Arbeidet med utredningen har vært utført av cand.real. Stein Kaartvedt i perioden april 1983 - mai 1984.

## SAMMENDRAG

### GENERELT OM FJORDER

#### Topografi

Fjorder er dannet ved at isbreer har gravd ut en U-formet dal som siden er blitt helt eller delvis fylt med vann. Til tross for store individuelle variasjoner fjorder imellom, finnes visse felles trekk. Fjordene er vanligvis lange i forhold til bredden, de er dype (ofte dypere enn kontinentalsokkelen utenfor) og gjerne omgitt av fjell med bratte fjellsider. Det finnes én eller flere undersjøiske terskler; disse er rester av endemorener som isen har lagt opp foran seg. Det er vanligvis tilførsel av ferskvann innerst i fjorden.

En skjematisk fremstilling er gitt i Fig. S-1 som også viser den vanlige inndelingen av vannmassene i en fjord.

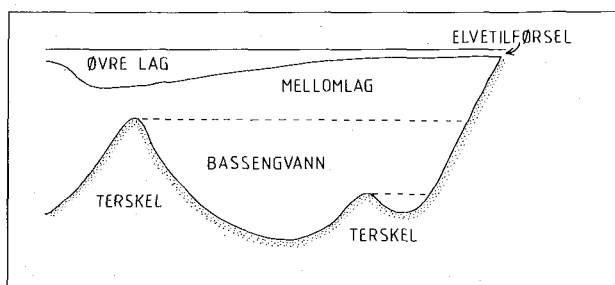


Fig. S-1. Skisse av en fjord med inndeling av vannmassene. (Modifisert etter FARMER & FREELAND 1983).

#### Ferskvannspåvirkning

Over hele landet viser ferskvannstilførselen til fjordene et klart sesongmessig forløp. Vannføringen er lav vinterstid da størstedelen av nedbøren lagres som snø og is, mens snøsmeltingen fører til en vårflom som inntreier mellom begynnelsen av mai og slutten av juni, avhengig av breddegrad. I fjorder med tilførsel av smeltevann fra breer holder ferskvannsavrenningen seg høy sommeren igjennom.

Det øvre vannlaget i fjordene er under sterk påvirkning av variasjonene i vannføringen i elvene. Ved liten ferskvannstilførsel om vinteren er vannmassene relativt homogene med høye saltholdigheter helt til overflaten. Sommersituasjonen i fjordene gjenspeiler på sin side ferskvannstilførselen på denne tiden (Fig. S-2).

Når ferskvannet som tilføres fjordene blandes med sjøvann, dannes et brakkvannslag som renner utover mot havet. Tilblanding med sjøvann nedenfra går relativt raskt. I fjordens ytre deler vil brakkvannsstrømmen føre med seg 5-10 ganger så mye sjøvann som den netto ferskvannstilførselen til fjorden. Dette gir seg utslag i en fortykkelse av brakkvannslaget samtidig som saltholdigheten øker utover fjorden. Ferskvannets meddriving av sjøvann fører til

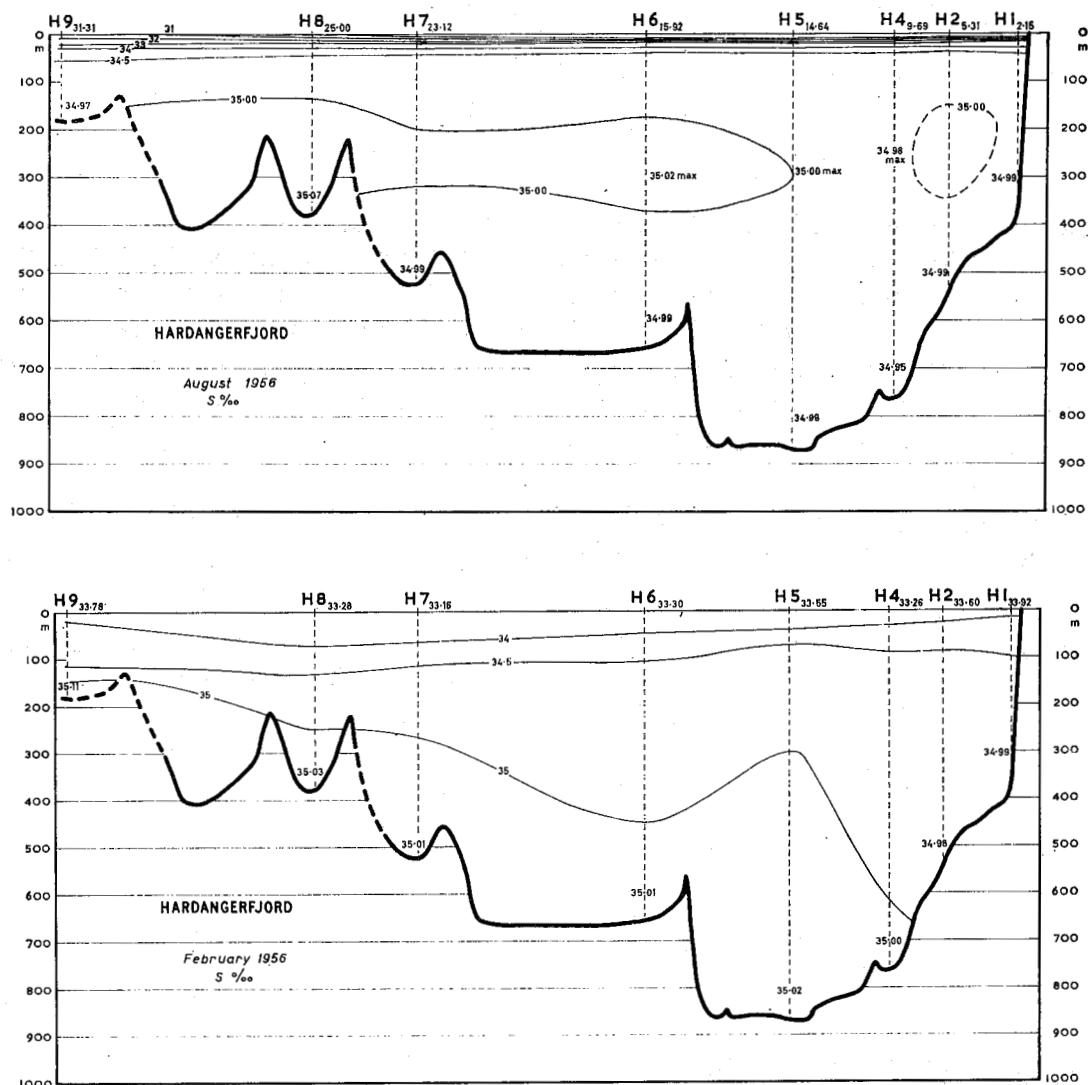


Fig. S-2. Saltholdighetsfordeling i Hardangerfjorden ved henholdsvis sommer- og vintervannføring. (Etter SÆLEN 1967). Stasjonsplasseringen  $H_1$ - $H_9$  (fra innerst til ytterst i fjorden) er gitt i SÆLEN (1962).

et sjøvannsunderskudd som kompenseres i en motgående understrøm. Til sammen danner brakkvannsstrømmen og kompensasjonsstrømmen den estuarine sirkulasjon (estuarie = møtested mellom elv og sjø, i dette tilfellet fjorden).

#### REGULERINGS INNVIRKNING PÅ FERSKVANNSAVRENNINGEN

Ved en regulering modifiseres avrenningsmønsteret til fjordene. Deler av vårflommen magasineres, mens etterspørselen etter vinterkraft gjør at betydelige deler av ferskvannet utnyttes på denne tiden. Konsekvensene for fjordene er redusert vårflom og økt ferskvannstilførsel vinterstid. Et eksempel er gitt i Fig. S-3. Ved løsninger som innebærer overføring av vannmasser fra et vassdrag til et annet vil også den totale ferskvannstilførsel endres.

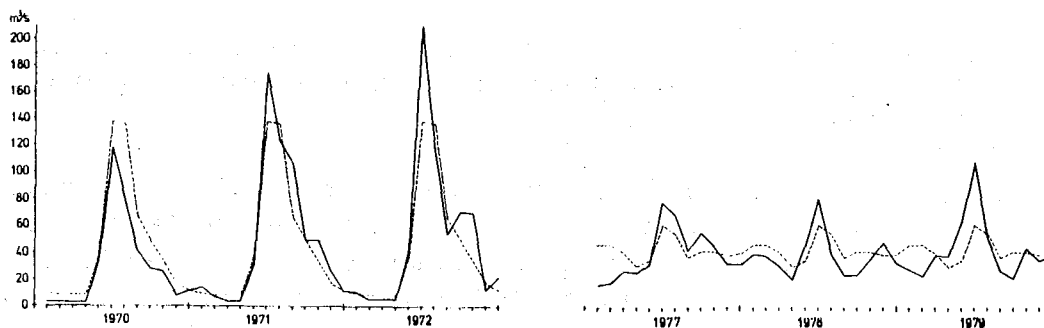


Fig. S-3. Totaltilsiget til Skjomen før og etter regulering. Stiplet linje representerer månedsnormaler. (Etter SVENDSEN 1983).

## REGULERINGSEFFEKTER PÅ FYSISKE FORHOLD I FJORDENE

### Brakkvannslag

De største endringer i saltholdighet som følge av reguleringer er registrert om vinteren (januar til april) da den relative endring i ferskvannstilførselen er størst. I enkelte mindre eller avgrensede fjorder er det påvist at den økte ferskvannstilførselen har resultert i en senking av overflatesaltholdigheten, og tydelige brakkvannslag kan dekke hele fjorden. I større fjordsystem vil de markerte reguleringseffektene forsvinne relativt raskt. Det samme gjelder åpne fjorder, og også i områder med kraftig vindpåvirking og/eller sterke tidevannskrefter vil virkningen av økt vintervannføring i stor grad utviskes pga blandingsprosesser. Dette vil gjelde generelt for fjordene lengst nord i landet (Troms, Finnmark).

Redusert sommervannføring vil i prinsippet gi forhøyet overflatesaltholdighet, men denne effekten er mindre, og er dårlig dokumentert, blant annet pga en vesentlig tilførsel fra andre ferskvannskilder på denne tiden.

### Strømforhold

Forhøyet vinteravrenning gir raskere ferskvannsdrevne overflatestrømmer ut fjorden. Størrelsesordenen avhenger bl a av reguleringens omfang og vil variere fra en ubetydelig effekt til en mangedobling av strømhastigheten.

Ved introduksjon av et brakkvannslag vil videre vindkraftenes påvirkning forandres. Den vinddrevne strømmen blir begrenset til et tynt skikt, mens vindvirkningen i en homogen vannmasse vil rekke relativt dypt (20-50 m). Lagdelingen fører til redusert friksjon med vannlagene under og mindre vannmasser skal forflyttes. Dette gir raskere vinddrevne strømmer i overflaten. En prinsippskisse er gitt i Fig. S-4.

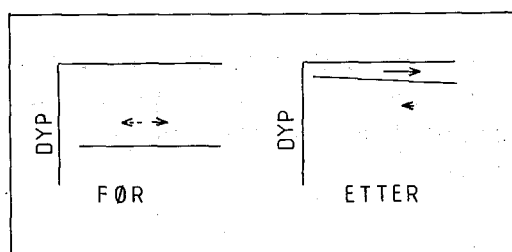


Fig. S-4. Modifisering av vindkraftenes påvirkning av strømsystemene ved introduksjon av et brakkvannslag om vinteren. Pilenes lengde antyder strømhastigheter. Stiplet pil i eksempelet før regulering representerer det sjeldnere tilfellet av vind inn fjorden.

Da fremherskende vindretning i vinterhalvåret er rettet ut fjordene, er det en samvirkende effekt mellom den forhøyete ferskvannsdrevne og den aksellererte vinddrevne strømkomponenten.

I smale fjorder vil det ved innføring av en markert brakkvannsstrøm ut fjorden dannes en motsatt rettet kompensasjonsstrøm i resten av det øvre lag. I dette dybdeintervallet kan det derfor etter regulering bli en reversering av tidligere vinddrevne utoverrettede strømmer. I bredere fjorder eller ved liten vannføring vil brakkvannstrømmen konsentreres på høyre side av fjorden (jordrotasjonens avbøyende kraft), mens den innoverrettede kompensasjonsstrømmen kan rekke helt opp i overflaten på motsatt side.

Redusert flomvannføring vil gi lavere utoverrettede strømhastigheter i overflatelaget og en svakere kompensasjonsstrøm. Ferskvann- og vindkomponenten virker på denne tiden tildels i motsatt retning da fremherskende vinder i sommerhalvåret er rettet innover fjordene. Svekket lagdeling kan føre til en øking i dybden av den vinddrevne strømmen.

Strømforholdene kan også påvirkes ved endringer i horisontale tetthetsforskjeller mellom vannmasser.

#### Is- og temperaturforhold

Generelt fører en regulering til sterkere vinternedkjøling av overflatelag og dermed økt isdannelse. Dette skyldes at avkjølingen ved tilstedeværelse av et lett brakkvannslag i hovedsak blir begrenset til en tynn overflatehinne, noe som gir raskt varmetap. Det finnes imidlertid også eksempler på at tilfrysingen er redusert etter regulering. Økte strømhastigheter og kortere oppholdstid for ferskvannet resulterer her i at overflatelaget blir transportert ut av fjorden og oppblandet med saltere og varmere vannmasser før frysetemperaturen er nådd. Slike forhold kan gjøre seg gjeldende i små fjorder. I større fjorder vil effekten av økte strømhastigheter begrense seg til en flytting av isgrenser utover i systemet.

At vinternedkjølingen konsentreres om brakkvannslaget resulterer i redusert varmetap fra vannmassene under. En prinsippskisse er gitt i Fig. S-5. På Vestlandet er det registrert opptil 5°C høyere vintertemperaturer under brakkvannslaget i regulerte fjorder enn i tilsvarende dyp i vannmassene utenfor reguleringspåvirkning. De største virkningene vil inntre i områder med stor ferskvannstilførsel til avgrensede system et stykke fra kysten sør i landet. Svakere lagdeling og kraftigere oseanografisk påvirkning gjør at størrelsesorden i temperaturendringer som følge av en isolasjonseffekt blir beskjedne i de nordligste fylkene. Innflytelsen av et reguleringsdannet brakkvannslag vil være mest fremtredende i kalde vintre.

Endret vertikal stabilitet vil også påvirke temperaturforholdene andre tider av året. Reduksjon av brakkvannslaget om sommeren kan føre til økt vertikal varmetransport med redusert overflatetemperatur som resultat.



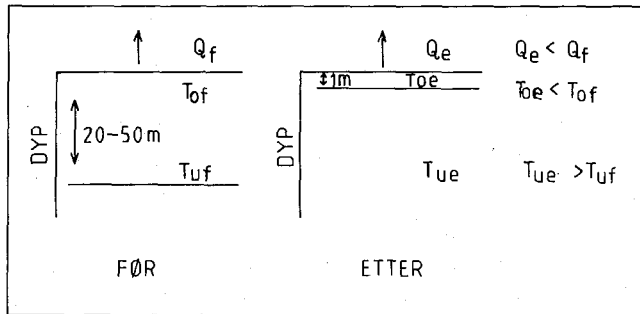


Fig. S-5. Endret varmeutveksling ved introduksjon av et brakkvannslag om vinteren. Nedkjøling konsentrert til en tynn overflatehinne gir mindre totalt varmetap etter enn før regulering ( $Q_e < Q_f$ ). Raskt varmetap fra det tynne overflateskiktet gir lavere overflatetemperatur etter regulering ( $T_{oe} < T_{of}$ ). Isolering av underliggende vannmasser gir her høyere vintertemperatur etter regulering ( $T_{ue} > T_{uf}$ ).

I områder der temperaturen i overflatelaget om sommeren er dominert av påvirkning fra kaldt smeltevann, vil derimot overflatetemperaturen øke med redusert ferskvannstilførsel.

Driftsvannet fra et kraftverk kan være både kaldere og varmere enn naturlig elvetilførsel. Kjølevann fra kraftverk plassert nede ved sjøen kan resultere i betydelig forhøyete vintertemperaturer i overflatelaget i nærheten rundt kraftverket.

Også endret oppholdstid og horisontal transport av vannmasser vil kunne påvirke temperaturforholdene. Størrelsesorden av en slik effekt er ikke beregnet.

#### Vertikal næringstilførsel til øvre lag

Omrøring av gjennomgående homogene vannmasser om vinteren er en meget viktig prosess for tilførsel av næringsstoffer til øvre lag der det i vekstsesongen er nok lys til at plantevekst kan finne sted (euphotisk sone). Ved plantevekst forbrukes næringsalter i øvre lag raskt slik at næringsforholdene i dypere vannmasser alltid vil være bedre.

Det er grunn til å anta at reguleringer lokalt kan føre til mindre vintertilførsel av næringsalter til den euphotiske sonen ved at økt stabilitet i fjordenes overflatelag hindrer tilblending av dypere liggende næringsrikt vann. Det foreligger imidlertid ikke resultater som kan gi holdepunkter for å antyde størrelsesorden av en slik effekt, og det er heller ikke avklart hvorvidt lokal anriking er av særlig betydning for næringsforholdene i fjordenes øvre lag, eller om det er inntrenging av vannmasser utenfra som er det vesentlige moment i denne sammenheng. Redusert næringstilførsel til overflatelagene om vinteren er etter min oppfatning ikke en aktuell problemstilling for fjordene lengst nord i landet der utbredelsen av reguleringsdannete brakkvannslag vil være begrenset.

Mindre ferskvannsmengder om sommeren kan gi bedre næringsforhold ved at dybden av vind- og tidevannsblanding øker. På den annen side gir lavere flomvannføring redusert estuarin sirkulasjon, og dette kan føre til mindre medrivning og oppblanding av underliggende vann. Betydningen av estuarine prosesser for anriking av overflatelagene er imidlertid usikker.

## Bassengvannet

Med varierende hyppighet foregår en utskifting av vannmassene under terskelnivå. Disse utskiftingene er av stor betydning for bl a oksygenforholdene da biologisk oksygenforbruk litt etter litt tømmer vannmassene for oksygen.

Både total ferskvannstilførsel og avrenningsmønster er av betydning for bunnvannsutskifting i områder med grunne terskler. Stor ferskvannsutstrømming kan resultere i hel eller delvis blokkering av utløpet slik at inntrenging av nytt saltvann blir begrenset. Overføring av vannmasser som innebærer økt ferskvannstilførsel til pollsystemer (terskel grunnere enn brakkvannslaget) kan dermed resultere i lavere oksygenverdier i dypvannet.

Mulighetene for blokkering av utløpet er størst i flomperioder. En minsking av flomvannføring vil derfor kunne bedre utvekslingen sommerstid. De større vannutskiftingene i norske poller er imidlertid begrenset til perioder om vinteren når lav temperatur og liten ferskvannstilførsel fører til stor nok tetthet i terskelnivå utenfor fjorden til at disse vannmassene kan fortrenge gammelt bunnvann. Forhøyet vintervannføring kan påvirke slike utskiftinger ved at munningen blokkeres, eller ved reduksjon i tettheten av vannmassene i terskelnivå utenfor fjorden slik at dette ved innstrømming innlagres høyere oppe i vannmassene innenfor terskelen. Resultatet er lavere oksygenverdier i dypvannet og økende fare for dannelse av hydrogensulfid ( $H_2S$ ).

Hvor store endringer som vil inntre ved reguleringer, er avhengig av klimapåvirkning, ferskvannsmengde, terskeldyp og tidevannspåvirkning. Topografiske forhold og store tidevannsamplituder gjør at faren for resulterende oksygenmangel i dypvannet avtar nordover i landet.

For fjorder med terskler dypere enn brakkvannslaget er det vanskelig å gi en entydig konklusjon. Canadiske forfattere argumenterer for at omfanget av den estuarine sirkulasjon er av stor betydning for forholdene i dypvannet. Norske arbeider gir derimot liten grunn til å anta at redusert estuarin sirkulasjon, som følge av reguleringer, vil forringe oksygenforholdene i dypvannet i nevneverdig grad.

Endringer i ferskvannsmengdene i blandingssoner utenfor fjordene vil kunne påvirke saltholdigheten i innstrømmende vann i mellomlaget, og dermed også til en viss grad saltholdigheten i bassengvannet. Endrete blandingsforhold som følge av økt ferskvannsavrenning om vinteren, vil muligens kunne påvirke saltholdighet og temperaturforhold i dypere lag. Sikker dokumentasjon for slike effekter foreligger ikke.

---

For å illustrere mekanismer diskutert så langt er det i Fig. S-6 gitt en oppsummering av de mest aktuelle fysiske virkninger av forhøyet vinteravrenning.

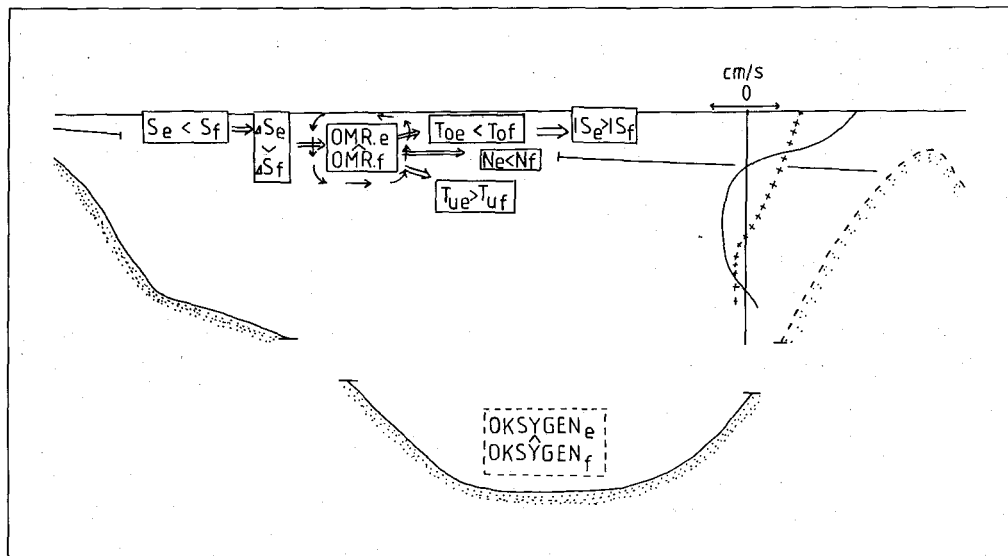


Fig. S-6. Sammenhengen mellom de mest fremtredende effekter av forhøyet vinteravrenning. Lavere overflatesaltholdighet etter regulering ( $S_e < S_f$ ) gir større vertikal saltholdighetsgradient enn før regulering ( $\Delta S_e > \Delta S_f$ ). Økt stabilitet gir redusert omrøring etter regulering ( $OMR_e < OMR_f$ ). Dette resulterer i lavere overflatetemperaturer enn før regulering ( $T_{oe} < T_{of}$ ), mens mindre varmetap fra underliggende vannmasser her gir høyere temperatur ( $T_{ue} > T_{uf}$ ). Lavere overflatetemperaturer gir økt isdannelse ( $I_e > I_f$ ). Redusert omrøring fører videre til mindre næringstilførsel til øvre lag etter regulering ( $N_e < N_f$ ). Heltrukket linje viser en strømprofil ved introduksjon av en brakkvannsstrøm, mens korstegn antyder strømprofilen uten brakkvannslag ved vind ut fjorden. Stiplet linje representerer tilfellet der terskelen når opp i det reguleringsgenererte brakkvannslaget, og hvor resultatet av dette er lavere oksygenverdier i bunnvannet etter regulering ( $OKSYGEN_e < OKSYGEN_f$ ).

### Næringssalt- og materialtilførsel fra elver

Elveavrenning til fjordene innebærer mer enn ferskvannstilførsel. Med elvene transporteres også næringssalter, uorganiske partikler og oppløst og partikulært organisk materiale.

Ved regulering av ferskvannstilførselen vil tilførsel av oppløste forbindelser dels følge vannføringen, men reguleringer kan også føre til endret kjemisk kvalitet på vannet som tilføres fjordene. Transport av partikulært materiale øker eksponentielt med vannføringen, og reduksjon av flomtoper gir dermed markerte utslag. Likeledes vil bygging av magasiner som fungerer som sedimenteringsbasseng og overføring av elvevann til rørgater, redusere partikkeltransporten til fjordene. Dette vil resultere i bedre lysforhold i mottaksfjorden.

Endring i strømhastigheter påvirker sedimenteringshastighet og fordeling av partikler tilført fjorden. Ved lavere vannføring vil en relativt større andel av det tilførte materialet sedimenteres nær elveutløpet.

## REGULERINGSEFFEKTER PÅ BIOLOGISKE FORHOLD I FJORDENE

Det foreligger lite dokumentasjon for at vassdragsreguleringer har påvirket biologiske forhold i fjordene. Diskusjonen om biologiske virkninger er derfor i stor grad basert på antagelser gjort i lys av påviste fysiske endringer og arbeider som behandler et naturlig avrenningsmønsters betydning for biologiske forhold.

### Planter og dyr i strandsonen

Den høye ferskvannstilførselen til fjordene i sommerhalvåret fungerer som en økologisk stressfaktor for organismer som lever ved sterk ferskvannseksposering. Redusert sommeravrenning vil derfor i prinsippet bedre de fysiske livsbetingelsene for planter og dyr i strandsonen. Men biologiske interaksjoner kan spille sammen med de fysiske endringene og gjør det vanskelig å forutsi netto effekt for den enkelte art. I praksis regnes imidlertid utslagene av redusert sommervannføring i de fleste tilfeller å bli små, da endringene i det fysiske miljøet som oftest vil bli marginale sett i relasjon til organismenes tilpasningsevne.

Lav saltholdighet om vinteren representerer en større miljømessig utfordring enn lav saltholdighet om sommeren. Biologiske effekter av forhøyet vinteravrenning vil hovedsaklig være begrenset til områder innerst i fjordene, men i en del tilfeller tyder hydrografiske data på at det kan ventes virkninger også over et større geografisk område.

Endrete isforhold kan i betydelig grad påvirke flora og fauna i tidevannsbeltet (isskuring).

### Planktontransport i øvre lag

Planktoniske alger og dyr mangler eller har ikke sterk nok egenbevegelse til selv å bestemme sin horisontale utbredelse. Fordeling av disse organismene er dermed i vesentlig grad bestemt av strømsystem.

Det er grunnlag for å anta at reguleringer av vassdrag i en del tilfeller vil føre til endringer i strømsystem i en størrelsesorden som betyr at transport av plankton vil påvirkes i vesentlig grad.

Tidlig om våren (før vårflommen) foreligger muligheter for økt uttransport med aksellererte overflatestrømmer. Endringer i den vertikale strømstruktur medfører at også transport av organismer under brakkvannslaget påvirkes.

Lavere flomvannføring kan gi redusert uttransport i overflaten, og redusert inntransport av organismer med vertikalutbredelse sammenfallende med dypet for komperasjonsstrømmen.

Hoveddelen av planteplankton og betydelige mengder dyreplankton, egg og larver finnes i et dybdeintervall som påvirkes av disse endringene. Videre finnes betydelige mengder alger og dyr i det aktuelle vertikale skikt på en tid da de relative endringer i strømsystem er størst. Mange muligheter for varia-

bilitet gjør at det ikke er grunnlag for generelle konklusjoner om vassdragsregulerings innvirkning på den enkelte art.

### Temperaturpåvirkning

Temperaturforholdene er av stor betydning for marine organismer, og forhold som utbredelse, gyting og variasjoner i årsklassestyrke blir ofte sett i sammenheng med denne parameteren. Ved endring i temperaturen vil videre faktorer som energiforbruk, utviklingstid hos larver mm. påvirkes.

Biologiske konsekvenser av reguleringsgenererte endringer i temperaturforholdene er ikke behandlet i detalj i denne utredningen, men det er pekt på at f eks de temperaturforhøyninger som i en del fjordarmer finner sted under brakkvannslaget om vinteren (opptil 5°C), økologisk sett er av "dramatisk" karakter.

### Biologiske forhold i bassengvannet

Dersom reguleringer gir opphav til H<sub>2</sub>S-dannelse i bunnvannet i poller, vil praktisk talt alt liv i de berørte vannmasser utryddes. Periodevis kan større områder påvirkes gjennom oppstrømming av H<sub>2</sub>S-holdig vann.

Endringer i ferskvannets blokkeringseffekt vil påvirke tidevannstransport av plankton fra utenforliggende områder. For enkelte system er slik transport antatt å være av vesentlig betydning for sekundærproduksjonen i bassengvannet innenfor terskelen.

Det er ikke avklart hvorvidt det vil inntre endringer i biologiske forhold i dypvannet i områder med dypere terskler.

### Næringssalt- og materialtilførsel fra elver - biologiske konsekvenser

Jeg har ikke grunnlag for å presentere en generell konklusjon om biologiske følger av endret tilførsel av oppløst materiale. Det er likevel min vurdering at tilførsel av oppløste forbindelser i de fleste tilfeller ikke vil endres i så stor grad at dette vil få vesentlig innvirkning på biologiske forhold.

Redusert tilførsel av uorganiske partikler vil kunne gi gunstigere produktjonsforhold som følge av bedre lysforhold. Endringer i partikkeltilførsel kan også påvirke fødeopptak hos filtrerende dyr og videre forholdene for bunnlevende organismer grunnet endret sedimentering (eks nedslamming og påvirkning av sedimentsammensetning).

Det er ikke avklart om tilførsel av partikulært organisk materiale fra norske elver utgjør et betydelig næringstilskudd for mottaksfjorden, og det er ikke grunnlag for å antyde størrelsesorden i en eventuell biologisk respons på endringer i slik tilførsel.

## Primærproduksjon

I indre, eller skjermete fjordområder (liten vindblanding) kan lave saltholdigheter virke begrensede for planteveksten. Det er videre vist at ferskvannstilførselen kan være av vesentlig betydning for næringstilførsel, lagdeling, horisontal transport og lysforhold. Disse faktorene er av de viktigste styrende forhold for primærproduksjonen i et område. Det kan derfor slås fast at endret ferskvannstilførsel vil gi endrete produksjonsforhold i mottaksfjorden, men da ulike faktorer kan motvirke hverandre samtidig som effekter vil endres langs geografiske gradienter, er det ikke grunnlag for å forutsi fortegn og størrelsesorden av denne responsen.

I tillegg til endringer i produksjonens størrelse, er det antatt at reguleringer kan påvirke planteplanktonets artssammensetning. Videre kan oppblomstrings-tidspunktet om våren forskyves. Det er her muligheter for både tidligere og senere produksjonsstart etter regulering, avhengig av hvilken faktor som dominerer.

## Fisk

Både fra norskekysten og andre kystfarvann foreligger resultater fra korrelasjonsanalyser som er blitt tolket som at variasjoner i ferskvannstilførsel kan føre til variasjoner i utbytte av utnyttbare ressurser. Framsatte teorier tar sitt utgangspunkt i ferskvannets påvirkning av primærproduksjonen, og mangfoldet i muligheter for interaksjoner på dette nivå gjenspeiles i varierende konklusjoner for ferskvannets påvirkning av organismer høyere i næringskjeden.

På bakgrunn av korrelasjonsanalysenes resultater har ulike forfattere antatt at vassdragsreguleringer kan få betydning for marine fiskebestander. Slike teorier er beheftet med store usikkerheter. Det er imidlertid dokumentert at vannkraftutbygginger i visse områder har ført til at kystbestander av fisk er blitt mindre. Forholdene her har ikke vært sammenliknbare med forholdene langs norskekysten.

Det er ikke gjennomført tilsvarende analyser over fluktuasjoner av fiskeresurser i norske fjorder. Det foreligger følgelig heller ingen dokumentasjon for at variasjoner i ferskvannstilførsel eller vassdragsreguleringer har virkning på fisk i fjordene. Men det kan pekes på en rekke mulige påvirkningsveier fra vassdragsreguleringer til fisk. Noen eksempler er ved endret størrelse på primærproduksjonen, endret tidspunkt for våroppblomstringen, endret kvalitativ sammensetning av fødetilbudet, endret fordeling av byttedyr, endret transport av egg og larver og fysiologiske effekter ved f eks temperaturforandringer.

Da forholdene for fisk i fjordene er bestemt gjennom et nettverk av koblete prosesser, er det ikke mulig å resonnerer seg fram til vassdragsreguleringers endelige betydning for den enkelte art.

Det er ikke avklart hvor store endringer i avrenning som må til før fisk påvirkes. Jeg antar imidlertid at sannsynligheten for virkninger på fisk vil være minst lengst nord i landet der oseanografiske forhold utenfor fjordene

har en relativt større innflytelse på forholdene i fjordene enn tilfellet er lenger sør.

Største fysiske endringer av gjennomførte utbygginger er registrert innenfor området med de største muligheter for videre utbygging (vestkysten fra og med Rogaland opp til Troms). Dette synes dermed også å være det mest aktuelle området for reguleringseffekter på fisk i fjordene. På Østlandet begrenses aktualiteten av problemstillingen grunnet få fjorder.

Endrete is- og strømforhold kan påvirke utøvelsen av fisket. Endringer i brakkvannslaget utbredelse og tykkelse kan muligens ha innflytelse på forholdene for låssetting av brisling.

### Akvakultur

Hoveddelen av eksisterende oppdrettsnæring ligger i kyststrøk der forholdene for akvakultur ikke vil påvirkes av reguleringer. For anlegg lokalisert inne i fjordene foreligger imidlertid flere muligheter for at reguleringer kan virke på driften.

Der vannkraftutbygginger fører til økt islegging, vil mulighetene for akvakultur reduseres. Også uten islegging vil lavere overflatetemperaturer om vinteren ha en negativ effekt ved redusert vekst og/eller økt dødelighet av fisken. I områder der det blir mindre islegging etter regulering vil forholdene for akvakultur bedres.

Redusert nedkjøling av vannmassene under brakkvannslaget vil i enkelte fjorder potensielt gi bedre vekstforhold dersom brukbare løsninger for utnyttelse av det varme vannet utvikles. Kjølevann fra kraftverk har vært utnyttet for å gi økt veksthastighet hos fisk.

Påvirkning av saltholdighetsvariasjoner i overflatelaget vil være av betydning for oppdrettsfiskens trivsel. Reguleringer kan her trolig slå begge veier, avhengig av jevnheten i kjøringen av kraftverket.

Gassovermetning fra kraftverk har i et par tilfeller ført til massedød i oppdrettsanlegg. Svake fortynningsmekanismer gjør at gassovermetning kan bli et problem selv et godt stykke ute i fjordene.

Det er ikke tatt stilling til reguleringers påvirkning av andre former for akvakultur, men etterhvert som akvakulturnæringen ekspanderer, kan nye problemstillinger bli aktuelle.





## 1. INNLEDNING

Ferskvannstilførselen er i mange tilfeller av vesentlig betydning for de fysiske, og dermed trolig også for de biologiske forhold i fjordene. Det synes derfor naturlig å anta at endringer i ferskvannstilførselen til fjordene vil kunne endre de fysiske og biologiske forhold. Det er ført argumenter for at slike endringer kan få betydning for hele "kystøkosystemet" (SKRESLET 1976, 1979, 1981).

For å få bedre kjennskap til i hvor stor grad vassdragsreguleringer innvirker på forholdene i et fjordsystem, har Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser stått for gjennomføring av prosjekter i henholdsvis Ryfylkefjordene og Skjomen (Nordland). Mønsteret for undersøkelsene har vært å studere et fjordsystem i en årrekke før og etter utbygging. Skjomenprosjektet er nå i hovedsak fullført. Det samme gjelder forundersøkelsene i Ryfylke, mens etterundersøkelsene først kan ta til i siste halvdel av 80-årene når Ulla-Førre-utbyggingen er beregnet avsluttet.

Mulige virkninger av kraftutbygging for marine miljø har også vært viet oppmerksomhet andre steder i verden. De mest relevante arbeider er gjennomført i Canada som delvis representerer et sammenliknbart område.

Bakgrunnen for denne utredningen er et ønske om å gjøre opp status. Hva vet vi, og hva vet vi ikke om regulerings betydning for marine miljø. Hovedvekt vil bli lagt på diskusjon av virkninger i de avgrensede områdene fjorder representerer.

Det beste datamateriale foreligger for reguleringseffekter på det fysiske miljø, og slike virkninger diskuteres først i rapporten. Datamateriale for biologiske følger er utilstrekkelig. Diskusjonen av biologiske virkninger er derfor i stor grad basert på antagelser, gjort i lys av påviste fysiske endringer og arbeider som behandler et naturlig avrenningsmønsters betydning for biologiske forhold.

## 2. GENERELT OM NORSKE FJORDER

### 2.1. Topografi, klima og ferskvannsavrenning

Fjorder er dannet ved at isbreer har gravd ut en U-formet dal som siden er blitt helt eller delvis fylt med vann. Til tross for store variasjoner fjorder imellom, finnes visse felles trekk. Fjordene er vanligvis lange i forhold til bredden, de er dype (ofte dypere enn kontinentalsokkelen utenfor) og gjerne omgitt av fjell med bratte fjellsider. Det finnes en eller flere undersjøiske terskler; disse er rester av endemorener som isen har lagt opp foran seg. Det er vanligvis tilførsel av ferskvann innerst i fjorden.

Fjordens topografi har betydning for vindforholdene, og vindretningen vil som oftest ledes langs fjordens lengdeakse. For hele landet er det en overvekt av vinder inn fjordene om sommeren, mens vindvirkningen om vinteren i hovedsak er utoverrettet (GADE 1983). Til tider kan høye omliggende fjellsider resultere i sterke utgående fallvinder.

Fjordene strekker seg til dels langt innover i landet, og dette medfører at det kan forekomme betydelige horisontale gradienter både i temperatur og nedbør. Om vinteren vil det f eks finne sted en større nedkjøling av vannmassene i indre strøk enn i kystfarvannene.

Over hele landet viser ferskvannstilførselen til fjordene et klart sesongmessig forløp, men mønsteret varierer noe mellom landsdelene (Fig. 1). Felles er en lav avrenning vinterstid da størstedelen av nedbøren lagres som snø og is. Snøsmeltingen fører til en vårflom som inntreer mellom begynnelsen av mai og slutten av juni, avhengig av breddegrad.

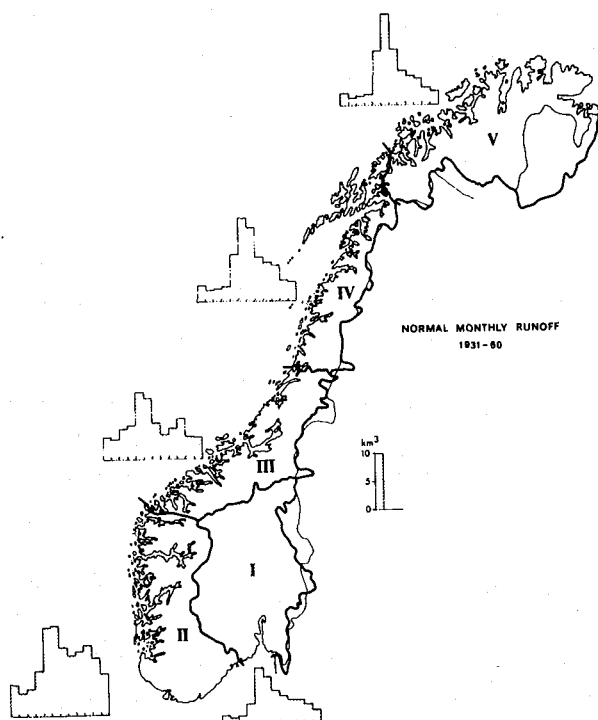


Fig. 1. Månedlig avrenning til norskekysten i perioden 1931-1960. (Etter TOLLAN 1976).

I Nord-Norge og på Øst- og Sørlandet avtar avrenningen utover sommer og høst, mens det på Vestlandet og i Trøndelag vil være et sekundært maksimum om høsten som følge av tiltagende nedbørmengder. I områder med tilførsel av smeltevann fra breer holder elveavrenningen seg høy sommeren igjennom (TOLLAN 1976).

## 2.2. Hydrografi, strømforhold og blandingsprosesser

Det er vanlig å dele vannmassene i en terskelfjord i et øvre lag, et mellomlag og et dyplag kalt dypvann eller bassengvann (Fig.2).

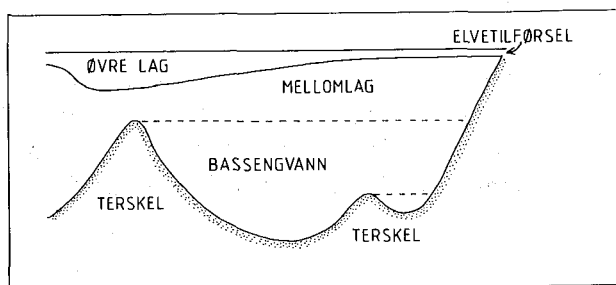


Fig. 2. Skjematisk inndeling av vannmassene i en terskelfjord. (Modifisert etter FARMER & FREELAND 1983).

Det øvre laget er under sterk påvirkning av variasjonene i ferskvannstilførselen. Ved liten ferskvannspåvirkning om vinteren er vannmassene relativt homogene med høye saltholdigheter helt til overflaten (Fig. 3). Sommersituasjonen i fjordene gjenspeiler på sin side ferskvannstilførselen på denne tiden (Fig. 3, 4).

Når ferskvannet som tilføres fjordene blandes med sjøvann, dannes et brakkvannslag som renner utover mot havet. Brakkvannsstrømmen er velkjent fra praktisk talt samtlige større fjorder. Strømmen er til å begynne med tynn og ganske fersk. Tilblendingen med sjøvann nedenfra går imidlertid relativt raskt.

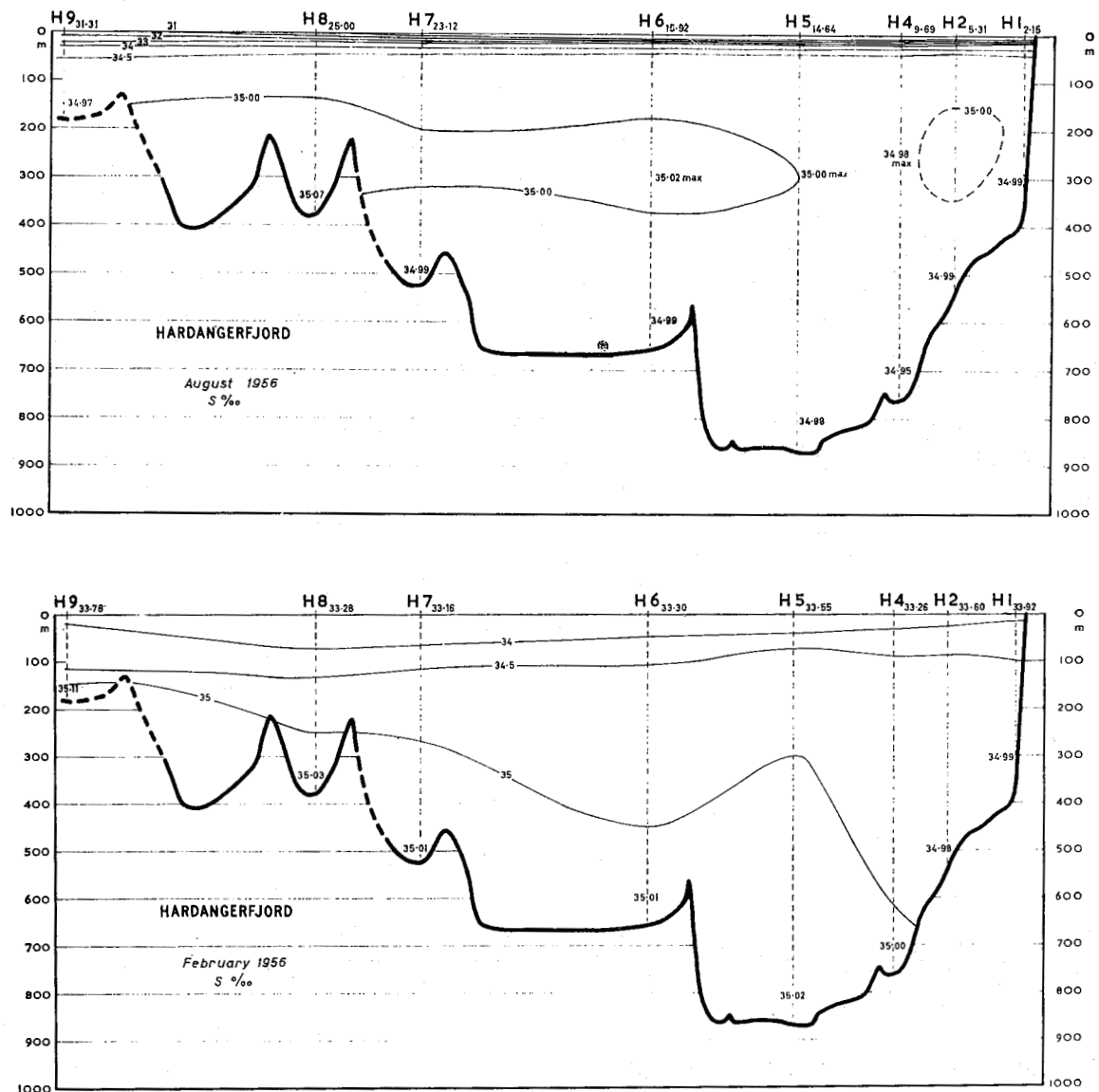


Fig. 3. Saltholdighetsfordeling i Hardangerfjorden ved henholdsvis sommer- og vintervannføring. (Etter SÆLEN 1967). Stasjonsplasseringen H<sub>1</sub>-H<sub>9</sub> (fra innerst til ytterst i fjorden) er gitt i SÆLEN (1962).

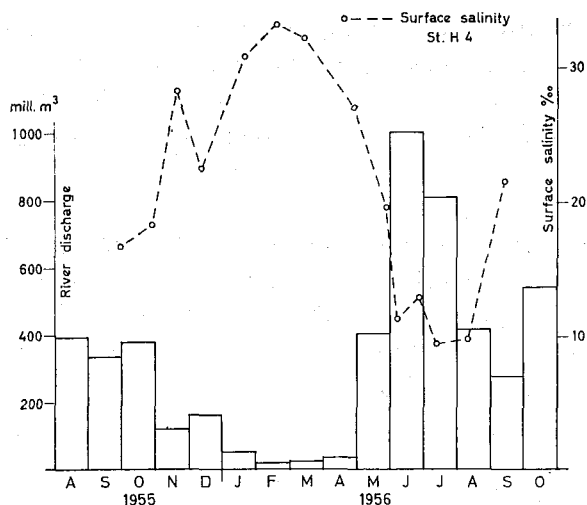


Fig. 4. Vannføring i elvene Eio, Kinso, Opa og Tysso, og responderende overflatesaltholdigheter i indre deler av Hardangerfjorden (St. H<sub>4</sub>). (Etter SÆLEN 1967).

I fjordens ytre deler vil brakkvannsstrømmen medføre 5-10 ganger så mye sjøvann som den netto ferskvannstilførselen til fjorden (GADE 1976). Dette gir seg utslag i en fortykkelse av brakkvannslaget. Det typiske bildet fra de større Vestlandsfjordene er en strøm som vokser fra ca 1 m tykkelse lengst inne til et lag mellom 20 og 30 m nær fjordmunningen, mens saltholdigheten går fra 0 til oppunder 30 promille, bare noen promille lavere enn saltholdigheten i kystvannet (GADE 1976) (se også Fig. 3).

Ferskvannets meddriving av sjøvann fører til et sjøvannsunderskudd som kompenseres i en motgående understrøm. Denne er tykkere enn brakkvannsstrømmen, og hastigheten er mindre. Tilsammen danner brakkvannsstrømmen og kompensasjonsstrømmen den estuarine sirkulasjon (Fig. 5) (estuarie = møtested mellom elv og sjø, i dette tilfellet fjorden).

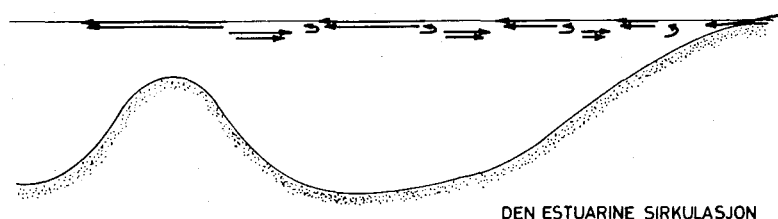


Fig. 5. Den estuarine sirkulasjon. (Etter GADE 1976).

Dette bildet er imidlertid påvirket av vindforholdene. Overflatestrømmen akseleres av vind ut fjorden, mens hele strømsystemet kan reverseres ved kraftig vind inn fjorden.

Mellomlagets utbredelse regnes fra i underkant av kompensasjonsstrømmen og ned til terskeldypet. Strømførholdene her er variable, med sirkulasjonen i stor grad bestemt av den nordoverrettede kyststrømmens styrke og vindforholdene langs kysten (se nedenfor).

Bassengvannet er vannmassene som finnes fra terskelnivå og ned til bunnen. Terskelen hemmer den frie sirkulasjon av bassengvannet, og terskeldypet er derfor bestemmende for forholdene man her finner. Med varierende hyppighet

foregår en utskifting av dette vannet. I de nord-norske fjordene skjer, så langt man vet, en slik utskifting hvert år (LOENG 1976). I fjordene i Sør-Norge er det flere steder observert at det kan gå flere år mellom hver utskifting. I indre Nordfjord synes de store utskiftingene å komme med ca 9 års mellomrom (SÆLEN 1967). Utskiftinger inntreer når vann i terskelnivå utenfor terskelen har større tetthet enn dypvannet innenfor. I fravær av blandingsprosesser som over tid fører til at fjordvannet blir lettere, ville bassengvannet hatt tettheten til det tyngste vannet som noensinne har vært i terskelnivå utenfor fjorden. Tilførsel av nytt, friskt vann ville dermed vanskelig nå de dypere lag, med det resultat at biologisk oksygenforbruk ville tømme vannmassene for oksygen, og bakteriell aktivitet produsere giftig hydrogensulfid ( $H_2S$ ).

Imidlertid fører blandingsprosesser til at dypvannet etter hvert blir lettere da partikler fra dypere lag utveksles med partikler fra høyere hvor det praktisk talt alltid er lavere tetthet. I de fleste norske fjorder vil blandingen føre til en så rask fortykning av bassengvannet at problemer med oksygenmangel ikke vil oppstå.  $H_2S$ -dannelse vil likevel kunne forekomme enkelte steder, først og fremst i områder med grunne terskler og spesielt dersom det i tillegg er stor tilførsel av organisk materiale. Oslofjorden, Drammensfjorden og Lindåspollene er eksempler på områder der  $H_2S$ -dannelse i bunnvannet er et vanlig fenomen.

Energi til blandingen kommer fra tidevann, vindpåvirkning eller fra hastighetsforskjeller mellom lagene i overflatesirkulasjonen. Selv et lavt nivå av turbulens vil føre til en jevn reduksjon av dypvannets tetthet etter som overflatevann blir blandet nedover, og forholdene blir på denne måten stadig gunstigere for en fornying. Ferskvannstilførsel vil kunne påvirke utskiftingen både gjennom blanding over terskelen og ved å aksellerere overflatestrømmene (FARMER & FREELAND 1983). I spesielle tilfeller kan ferskvannstilførsel blokkere for utskifting ved at brakkvannslaget når dypere enn terskeldypet (FARMER & FREELAND 1983).

Omfanget av vertikale blandingsprosesser avhenger av tetthetsforskjellen mellom ulike lag. Dersom vannsøylen er homogen, forløper blandingen lett, mens en tydelig lagdeling gir liten blanding mellom ulike vannmasser. Tettheten er bestemt av vannmassens temperatur og saltholdighet, med saltholdigheten som mest betydningsfull i de norske fjordene. Det ferske overflatelaget i fjordene sommerstid er betydelig lettere enn vannmassene under.

Utskiftninger både i dyp- og mellomlaget er nært knyttet til de hydrografiske forhold utenfor kysten. I vår- og sommerhalvåret ligger det et tynt lag kystvann over det atlantiske vannet. Dersom det atlantiske vannet når opp over terskelnivå, kan det renne inn og fortrenge gammelt bassengvann (Fig. 6). Det innstrømmende vannet kan, avhengig av tettheten, enten trenge helt til bunns eller legge seg som et intermediært lag.

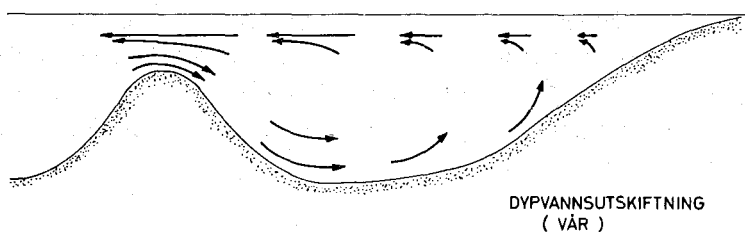


Fig. 6. Bunnvannsfornyelse ved dypvannsinstrømming (vår). (Etter GADE 1976)

Om høsten stuves kystvannet inn mot kysten og forrykkes til over 150 m. Vannet inne i fjordene vil dermed være tyngre enn det vannet som nå er utenfor, og mellomlaget i en fjord vil renne ut over terskelen. Dette erstattes av vann fra høyere lag slik at praktisk talt alt vann over terskelnivå etter hvert blir fornyet (Fig. 7).

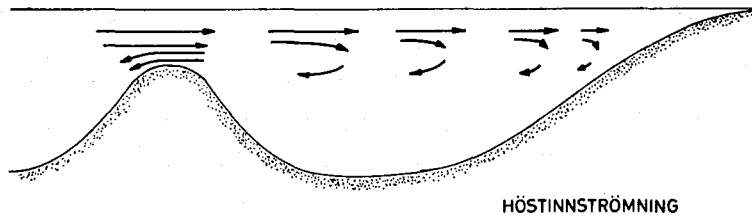


Fig. 7. Inn- og utstrømming i mellomlaget (høst). (Etter GADE 1976).

Variasjonene i kystvannets tykkelse er koblet til omlegging av fremherskende vindretninger langs kysten samt til sesongmessige variasjoner i tettheten av kystvannet.

### 2.3 Biologiske forhold

Organisk materiale produsert av plantene i fotosyntesen (primærproduksjon) danner næringsgrunnet for plantespisende organismer som igjen tjener som føde for dyr høyere i næringskjeden (kjøttetende organismer). I områder hvor det er stor planteproduksjon, vil det også være stor dyreproduksjon. De rikeste fiskeriene forekommer i områder med den største primærproduksjonen, selv om dette bildet kan kompliseres av vandringer og strømtransporter.

De viktigste primærprodusentene i havet er encellede alger som svever fritt i vannmassene. Fordelingen bestemmes av vannbevegelser både horisontalt og vertikalt, av synking, av beiting fra dyreplankton (zooplankton) og av produksjonen. En regner at under gunstige betingelser vil mengden planteplankton (phytoplankton) fordobles i løpet av en dag.

Produksjonen av organisk materiale styres i hovedsak av tilgangen på lys og næringssaltene nitrogen og fosfor samt av beiting fra dyreplankton. Lyset avtar raskt nedover i dypet, og i våre farvann kan en grovt si at fotosyntesen i det vesentlige foregår i de øverste 30 m. Vinterstid er det for lite lys for fotosyntesen.

Plantene tar opp næringssalter oppløst i vannmassene. Under kraftig plantevekst vil disse raskt bli oppbrukt og produksjonen hemmes. I dypere vannlag med for lite lys til fotosyntese vil imidlertid næringsstoffer fortsatt være til stede. Det er her en stadig tilførsel av nitrogen- og fosforforbindelser fra døde planter og dyr som synker og går i oppløsning. Dersom dypere vann blandes opp med overflatelaget vil dette "gjødsles" med næringsstoffer, noe som gir grunnlag for ny produksjonsøkning i den euphotiske sonen (euphotisk sone = algene får nok lys til netto produksjon). I perioder med liten tilblending vil en viss planteproduksjon opprettholdes vha resyklering via dyreplanktonbeiting og ekskresjon av næringssalter, samt mikrobiell nedbryting av partikulært materiale.

I norske fjorder kan følgende generelle produksjonsforløp gjennom året skisseres. Vinterstid er planteveksten ubetydelig grunnet dårlige lysforhold. Samtidig fører både lav ferskvannstilførsel og nedkjøling til økt tetthet av overflatelagene, og kombinert med økende lavtrykksaktivitet (vind) gir dette gunstige forhold for omrøring og dermed tilblending av næringsrikt vann fra dypere lag. Resultatet av hemmet forbruk og økt tilførsel er en opphoping av næringsstoffer i øvre lag.

Ut på vinteren (månedsskiftet februar/mars i Sør-Norge; noe senere i Nord-Norge) fører kombinasjonen av raskt bedre lysforhold og næringsrikt vann til en kraftig oppblomstring av planteplankton (Fig. 8). En viss lagdeling som begrenser omrøringen til øvre lag, og derved hindrer at plantecellene føres ut av den euphotiske sonen, vil være gunstig for produksjonen. Noe tidligere produksjonsstart i indre fjordområder enn lenger ute kan tilskrives virkningen av mindre omrøring (BRAARUD 1974).

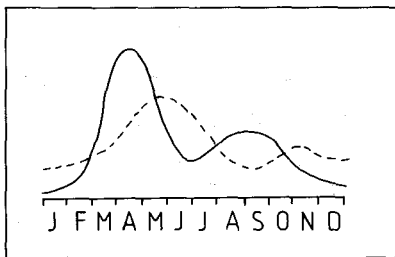


Fig. 8. Sesongvariasjoner i mengden av planteplankton (heltrukket linje) og dyreplankton (stiplet linje).

Plantemengden avtar etter noen uker, hovedsakelig som følge av at næringsstoffene brukes opp. Men også beiting fra en dyreplanktonbestand, som øker raskt grunnet den bedre næringstilgangen (Fig. 8), vil etter hvert gjøre seg gjeldende.

Utover sommeren ligger produksjonen på et variabelt nivå. Det er mangel på næringsstoffer, og en relativt markert lagdeling av vannmassene hemmer tilførsel av næringsrikt vann nedenfra. I tillegg er nå kraftig beiting fra dyreplankton en viktig faktor som holder mengden av planteplankton nede. Beitingen reduseres noe utover høsten. Samtidig kan periodevis nedkjøling av overflatelag, kombinert med vindpåvirkning, føre til at lagdelingen delvis brytes ned, med påfølgende tilblending fra dypere lag. Tilførte næringsstoffer vil kunne gi grunnlag for en ny oppblomstring da lysforholdene fortsatt er tilstrekkelige for produksjonen. Etter hvert vil lagdelingen mer og mer bryte sammen samtidig som lysstyrken avtar. Fotosyntesen vil i hovedsak stoppe opp grunnet lysbegrensning, og vi vil få en ny opphoping av næringsstoffer i øvre lag.

Det foreligger for lite datamateriale til å si noe sikkert om fjordenes produksjon. Ved sammenlikninger av litteraturdata fra Canada (British Columbia), Grønland, Sverige og Norge konkluderer MATTHEWS & HEIMDAL (1980) med at den pelagiske produksjonen (produksjon for planktonalger) i fjorder er tilnærmet den samme som det som antas å være normal for kystfarvann, dvs 100 g Carbon/m<sup>2</sup> /år, men det pekes på at spesielt høye nivå kan opptre i grenseområder, eller der ferskvannsavrenning eller eutrofiering (forurensing) gir spesielt gode næringsforhold.

Som en kommentar til det antatte nivå for primærproduksjonen i fjorder, er det grunn til å peke på at datagrunnlaget fra Norge ikke kan sies å gi noe utfyllende bilde (bare data fra Balsfjorden og Lindåspollene inngår i anslaget). I tillegg stammer benyttede primærproduksjonsdata til dels fra områder som er sterkt lyshemmet grunnet tilførsel av brevann med høyt partikkelinnhold (British Columbia). For enkelte andre fjordområder på USA's og Canada's vestkyst er det funnet langt høyere produksjonsverdier i fjordene enn i kystvannet (f eks GILMARTIN 1964, WINTER et al. 1975).

I tillegg til den pelagiske produksjonen, kan man i fjordene få et vesentlig bidrag fra fastsittende alger da strandsonenearealet her relativt sett dekker et stort område. Jeg kjenner ikke til arbeider der dette bidraget er beregnet, men norske marinbotanikere gir uttrykk for at denne produksjonen trolig vil ligge i størrelsesordenen under halvparten av den pelagiske. Produksjonen fra de fastsittende algene vil hovedsakelig komme høyere trofiske nivå til gode via detritus-baserte næringskjeder (dvs. via bakteriell nedbrytning til "sediment"-spisende bunndyr).

Det foreligger ikke data for hvor stor del av en fjords primærproduksjon som går over i sekundærproduksjon og fiskeproduksjon. Dette skyldes mangelfulle metoder, men er også et resultat av den betydelige horisontale utveksling som finner sted mellom fjordene og kystområdene. F eks viser data fra den åpne Korsfjorden bestander av raudåte (Calanus finmarchicus) som er langt større enn det den lokale primærproduksjon skulle tilsi, noe som bare kan forklares med tilførsel utenfra (MATTHEWS & HEIMDAL 1980). Det er altså klart at selv om fjorder har topografiske og hydrografiske trekk som skiller dem fra områdene utenfor, er de, som det også fremgår av Kap. 2.2, like fullt del av et større system. Utveksling av vannmasser vil føre til transport av organismer slik at de biologiske forhold i en fjord er betydelig påvirket av områdene utenfor, samtidig som det vil være en påvirkning motsatt vei, fra fjordene til kystområdene.

I en del mindre Vestlandsfjorder er det til tider funnet en oppstuing av dyreplankton i indre områder. Dette er forsøkt forklart som resultat av oppkonsentrering fra planktontransport i innoverrettede strømmer (FOSSHAGEN 1979, 1980, J. AURE pers.medd.). Ellers synes kystvannet utenfor Vestlandet å være betydelig rikere på dyreplankton enn de større fjordene. I disse er det videre en avtagende planktonmengde innover i systemene (Fig. 9) samt forandringer i artssammensetning av fauna og flora langs fjordenes lengdeakse (GUNDERSEN 1953, 1954, LIE 1967, BRAARUD 1976). Det må her presiseres at mål som planktonvolum ikke gir en fullgod beskrivelse av næringstilgangen for

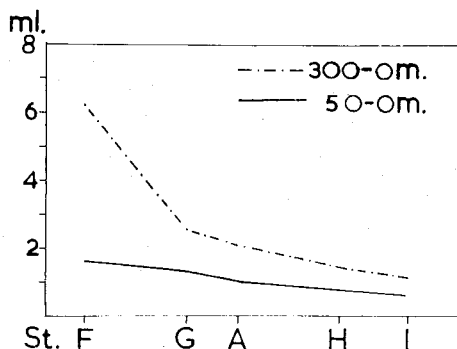


Fig. 9. Fordeling av dyreplanktonmengden (uttrykt ved gjennomsnittsvolum av plankton i håvtrekk på hver stasjon fra mai til september 1951) fra ytterst (F) til innerst (I) i Hardangerfjorden. (Etter GUNDERSEN 1954). Stasjonsplassering er gitt i GUNDERSEN (1954).



høyere organismer. Ulike arter har ulik generasjonstid, og kurver som representerer planktonfordeling trenger dermed ikke å være parallelle med kurver for fødetilbudet i fjordene.

Til tider antyder klare flora og faunaforandringer at påvirkning fra kystvannet når helt inn selv i de største Vestlandsfjordene (GUNDERSEN 1954, BRAARUD et al. 1974).

Generelt har fjordene i Nord-Norge en flora og fauna som skiller seg lite fra det en finner i kystvannet utenfor (STØMGREN 1974 a, SANDS & SVENDSEN 1980, EILERTSEN et al. 1981, HOPKINS 1981). Spesielle strømforhold, knyttet til ferskvannstilførselen, synes imidlertid å påvirke fordelingen av enkelte arter (STRØMGREN 1974 a).

MATTHEWS & HEIMDAL (1980) trekker fram at mens planktonsamfunnet i åpne områder er preget av større former, er alger og dyr i mer lukkede system gjennomgående mindre. Dette siste er særlig fremtredende for poller (terskel grunnere enn brakkevannslaget). Et samfunn dominert av små former er trolig betinget av et fysisk stabilt, næringsfattig miljø.

Av FOSSHAGEN (1979, 1980) fremgår at et "pollsamfunn" også vil utvikles i større, avgrensede fjordsystem med lang oppholdstid for brakkevannslaget.

Det er antatt at en næringskjede basert på små primærprodusenter i stor utstrekning vil inkludere ikke utnyttbare rovdyr (maneter) som sluttledd. Et turbulent, næringsrikt miljø vil på sin side favorisere større primærprodusenter, og dette vil resultere i utvikling av en næringskjede som i større grad ender opp i utnyttbare fiskeressurser (LANDRY 1977).

#### 2.4. Fjordenes fiskerimessige betydning

Det er av flere grunner ikke mulig å presentere en nøyaktig beregning av hvilke verdier fjordfisket representerer. Et hovedproblem er at fiskeristatistikken er lite egnet for et slikt formål.

Dette forholdet er trukket fram i Stortingsmelding 107 (1974-1975) hvor det heter: "Det vil også være ønskelig å få utbygd fiskeristatistikken, slik at den i større utstrekning kan vise hvilke kvanta som tas opp i de enkelte fjorder. I dag er statistikken oppbygd etter ilandføringssted og kan dermed bare i begrenset grad nyttes som grunnlag for lokale ressursvurderinger". Et forsøk på å legge foreliggende fiskeristatistikk til grunn vil dermed trolig ikke gi resultater i samsvar med det omfattende arbeid som i så fall må gjennomføres. Som et første skritt vil imidlertid en presentasjon av norsk fangst inndelt etter artsgruppe og ilandføringsfylke kunne nyttes for å sette omfanget av fjordfisket i perspektiv til øvrige fiskerier (Fig. 10). Selv om Fig. 10 ikke viser direkte hva som er tatt i fjordene, leder den relative viktighet av de ulike fiskeslag fram til en konklusjon om at utbyttet fra fjordfisket må utgjøre en liten prosent av totalfangsten. Loddefisket, torskefisket, fiske etter "annen torskefisk" (sei, hyse, brosme, lange m m), "annen industrifisk" (kolmule, øyepål, tobis m m) og makrell må i det vesentligste antas å ha foregått i åpne farvann til tross for at det vil være et visst hjemmefiske etter f eks torsk,

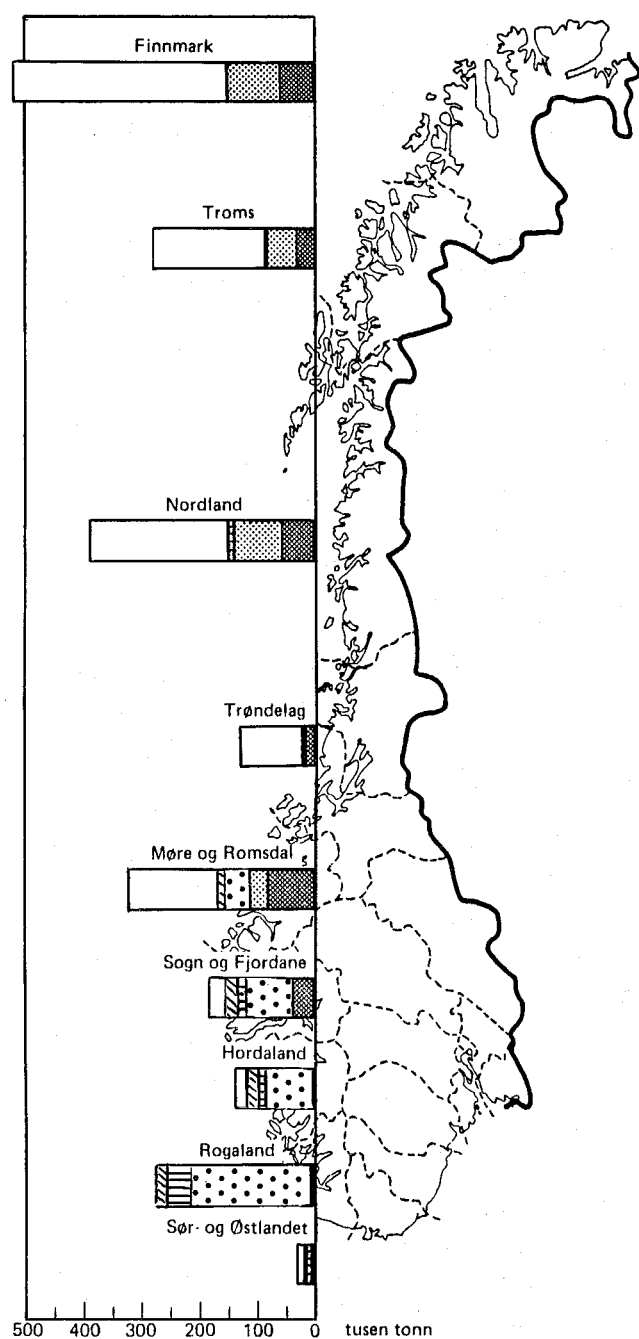


Fig. 10. Norsk fangst etter arts-  
gruppe og ilandføringsfylke 1980.  
(Etter ANON 1983a).

hyse og sei i fjordene. For viktige fiskeressurser i fjordene som sild og brisling fremgår at bidraget fra disse artene i 1981 var beskjedent. Av et totalfiske som i 1981 utgjorde 2,5 millioner tonn var f eks utbyttet fra brislingfisket i fjordene under 10,000 tonn (ANON. 1983a, ENGESÆTER 1984). I 1983 var samlet fiskefangst ca 2,9 millioner tonn mens brisling tatt i fjordene utgjorde ca 12,000 tonn (ENGESÆTER 1984). Under rubrisseringen "annen fisk til konsum" (eks flyndrefisk, uer, steinbit, pigghå) kommer fangster som dels kan være tatt i fjordene, men det er klart at dette bidraget vil ha en beskjeden plass i helhetsbildet. Laksefisket, som kan være av vesentlig betydning i enkelte fjorder, er ikke inkludert i ovennevnte statistikk.

Vekt er ikke nødvendigvis representativt for verdi, noe som prisen på laks i forhold til industrifisk er et godt eksempel på. Like fullt vil også verdien av fjordfisket ligge vesentlig under verdien av kyst- og havfisket.

For å antyde størrelsesorden av verdien av fisket i en fjord, er det tatt utgangspunkt i fiskeristatistikken for Sognefjorden. Gjennomsnittlig ble det for summen av alle ilandføringssted i en 10-års periode fram til 1981 innlevert 1623 tonn pr år, vesentlig sild og brisling. Ca 1% av fangsten (vekt) var laks. (For disse fiskeslagene vil ilandføringssted i de fleste tilfeller være i overensstemmelse med fangststed). Dette representerte en samlet årlig verdi på 5,5 millioner 1981-kroner.

Et utgangspunkt i beløp fremkommet fra beregninger av innrapporterte fangster, vil imidlertid av flere grunner gi et skjevt bilde av fjordens reelle økonomiske betydning. En av grunnene til dette er at det drives et uregistrert fjordfiske som ikke fremgår av statistikken. Omfanget av slikt fiske er vanskelig å fastslå, men i et totalanslag over fiskeutbyttet i Osterfjorden på i underkant av 2 millioner 1978-kroner, er bidraget fra hjemmefisket av torsk, hyse, sei etc av fiskerisjefen i Hordaland subjektivt anslått å representere ca 200 000 kr (korrespondanse). Utbyttet av uregistrert laksefiske er anslått til en verdi av 360 000 kr. Omsetting av "bunnfisk" (ål, hummer, pigghå) gjennom fiske-salgslag er beregnet til 300 000 kr. Forøvrig er brislingfisket i dette systemet det dominerende ut fra kvantum, mens fangst av laks representerer de største verdiene.

Ved vurdering av verdien av fjordfisket må det også tas hensyn til at bidraget herfra kan utgjøre marginalinntekter for den enkelte fisker. Fiskerisjefen i Hordaland har trukket fram også dette momentet i forbindelse med debatten rundt flytebro over Salhusfjorden (korrespondanse). Det pekes på at fjordfiske i stor grad drives som kombinasjonsyrke, og at en reduksjon i fiskeressursene som følge av miljøendringer derfor vil kunne bety at flere mister arbeidsgrunnlaget enn det verdien av fisket alene skulle tilsi.

At tilskuddet fra fjordfiske kan representere et betydelig bidrag til en totaløkonomi, gikk også tydelig fram fra arbeidet med utarbeidelsen av "Landsplan for bruken av vannressursene" (St. meld. nr. 107, 1974-1975). Et av resultatene fra en spørreundersøkelse i Nordland og Troms var at ikke-registrert fjordfiske i en rekke tilfeller representerte et verdifullt, og tildels avgjørende tilskudd til husholdninger som primært var basert på annen inntekt (L. FØYN pers. medd.).

En vurdering av fjordenes fiskerimessige rolle må også inkludere at fjordene er viktige oppvekstområder for sild (DRAGESUND 1970) og med dette representerer en verdi for fiskeriene som kan bli mer fremtredende etter som bestanden av norsk vårgytende sild bygges opp igjen. HYLEN & ØYNES (1981) rapporterer også om tildels store yngelmengder av torsk og hyse i fjordene i Nord-Norge.

I de siste årene har det vært en sterk utvidelse av den norske oppdrettsnæringen, og produksjonen av laks og regnbueørret var i 1983 på henholdsvis 17,000 og 5270 tonn (ANON. 1984). Totalt representerer dette en førstehåndsverdi på 750 millioner kr (ca 20% av verdien fra fiskeriene). Det forventes en betydelig økning i produksjonen de nærmeste årene.

Det foregår nå oppdrett av laks langs hele vestkysten av landet, mens det på Sør-Østlandet har vist seg vanskelig å drive oppdrett om vinteren (lav temperatur). Produksjonen er her konsentrert om regnbueørret som slaktes etter vekstsesongen.

Hovedtyngden av oppdrettsnæringen er konsentrert i de ytre kystområdene som synes å gi de beste vekstvilkårene (Fig. 11). Antall anlegg i fjordstrøkene er langt mindre. En kan imidlertid regne med at etter som nye arter samt andre former for akvakultur vil komme sterkere inn i bildet, vil våre fjordmiljø få større økonomisk betydning enn det de har i dag. Som eksempel kan nevnes

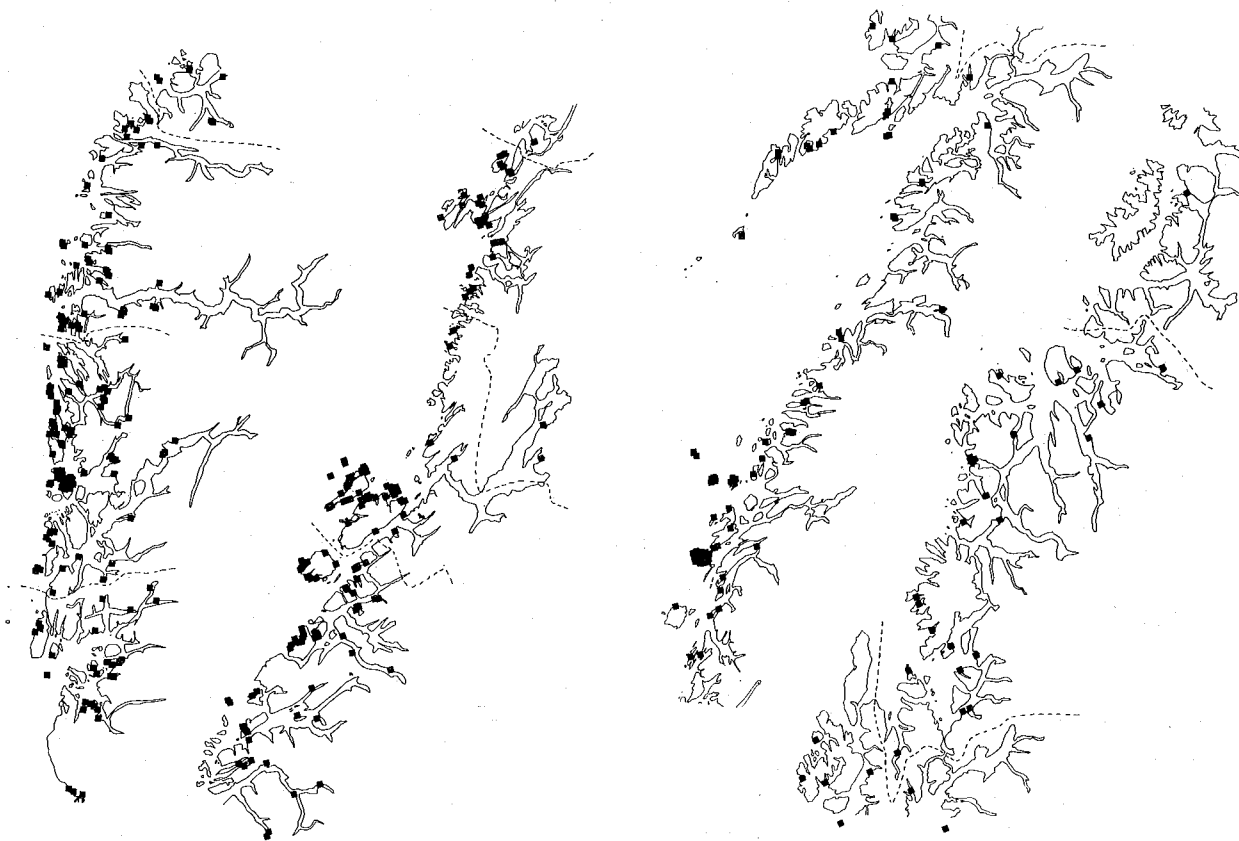


Fig. 11. Lokalisering av oppdrettsanlegg for laksefisk langs vekstkysten av Norge. (Enkelte nyere konsesjoner er ikke kommet med).

en forventet ekspansjon i skjelldyrking. Fjordområdene synes å være de mest velegnete for dette formålet (P. HOVGAARD pers.medd.). Et eksempel på en annen retning er de forsøk som i dag er i startfasen med utsetting av torske- yngel i fjorder og kystnære farvann.

### 3. REGULERINGERS INNVIRKNING PÅ FERSKVANNSAVRENNINGEN

Ved en vassdragsregulering modifiseres avrenningsmønsteret til fjordene. Deler av vårflommen magasineres, mens etterspørselen etter vinterkraft gjør at betydelige deler av ferskvannet utnyttes på denne tiden. Konsekvensene for påvirkete fjorder er redusert vårflom og økt ferskvannstilførsel vinterstid. Ved løsninger som innebærer overføring av vannmasser fra et vassdrag til et annet vil også den totale ferskvannstilførsel endres.

Reguleringsgraden av norske vassdrag var i 1979 12,3% uttrykt som magasin- volumet i prosent av den midlere årlige ferskvannsavrenning (ANON. 1979). Det antas at utbygginger som allerede er igang samt forventete utbygginger i overskuelig framtid vil gi en reguleringsgrad som nærmer seg 20%.

For kysten som helhet hadde reguleringer gjennomført fram til 1973, resultert i en forhøyning av vintervannføringen på vel 30%. Flomvannføringen i mai, da avrenningen er størst, var redusert med 16% (ASVALL 1976). Økningen i kraftproduksjonen (Fig. 12) viser at en kan gå ut fra at disse tallene er merkbart endret siden 1973.

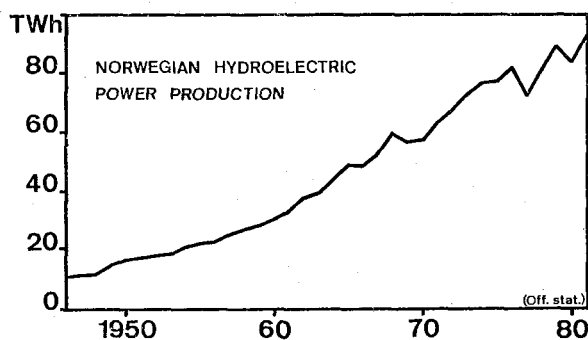


Fig. 12. Utviklingen i norsk vannkraft- produksjon. (Etter SKRESLET 1983).

Forholdene langs norskekysten er også preget av en markert ferskvannspå- virkning via utstrømming fra Østersjøen. Hvis en tar denne ferskvannstilfø- selen med i vurderingen og regner med total ferskvannsmengde i kystfarvannet blir de relative verdiene for reguleringsgenererte endringer mer beskjedne. ANON. (1979) opererer således med 5-10% økning av ferskvannsmengdene tilført kystfarvannene om vinteren i et middelår. Den prosentvise reduksjon i sommervannføringen er mindre.

Kraftproduksjonen, og de endringer i ferskvannstilførsel denne medfører, er ikke jevnt fordelt langs kysten (Fig. 13, 14, Tabell 1). De største endring- ene vil en finne ved å se isolert på de enkelte fjorder. Et eksempel fremgår av Fig. 15. Tilgangen på ytterligere slike data er beskjeden, men det pågår for tiden beregninger ved NVE som vil bedre dette forholdet.

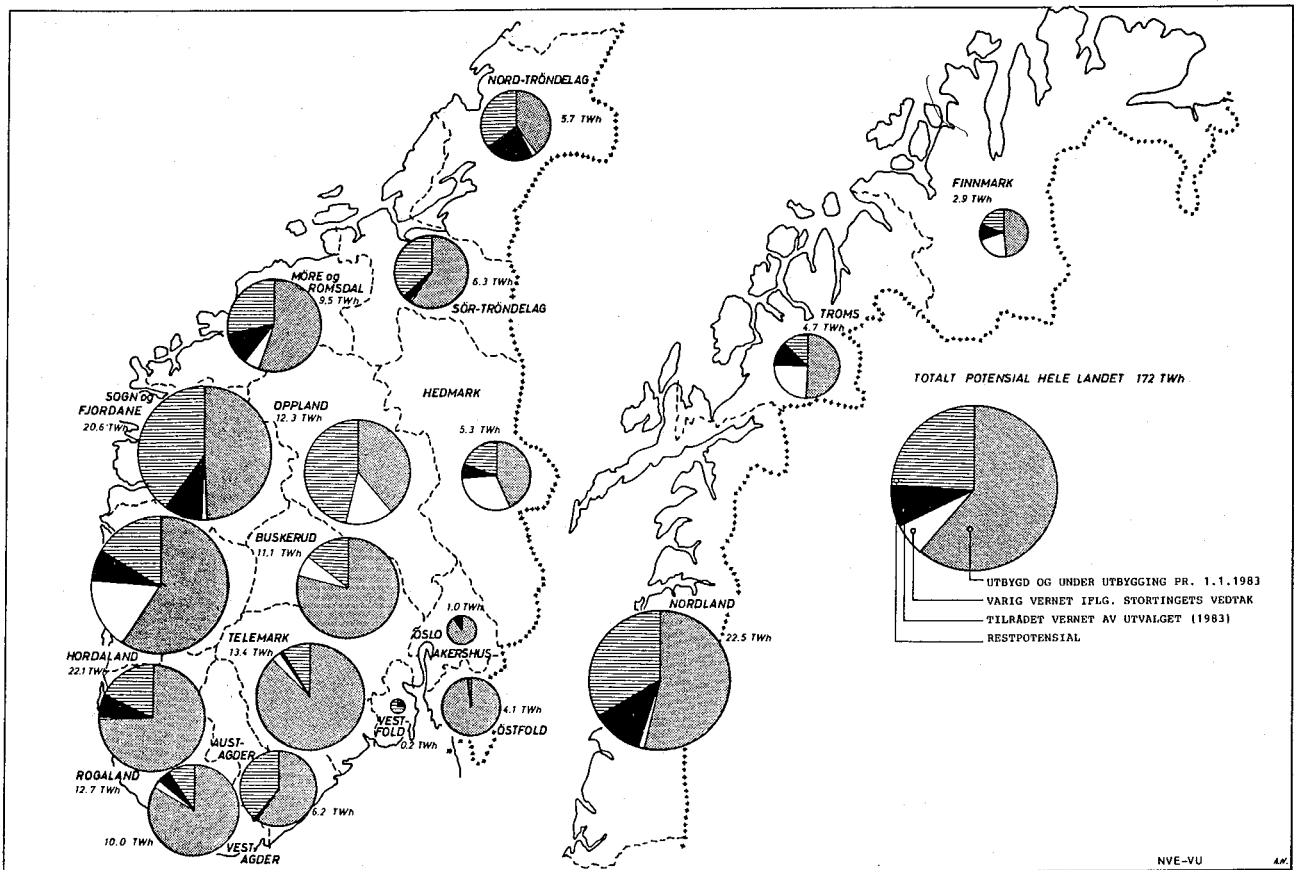


Fig. 13. Nyttbar vannkraft pr 1. januar 1983 fordelt på fylkene. (Etter ANON. 1983b).

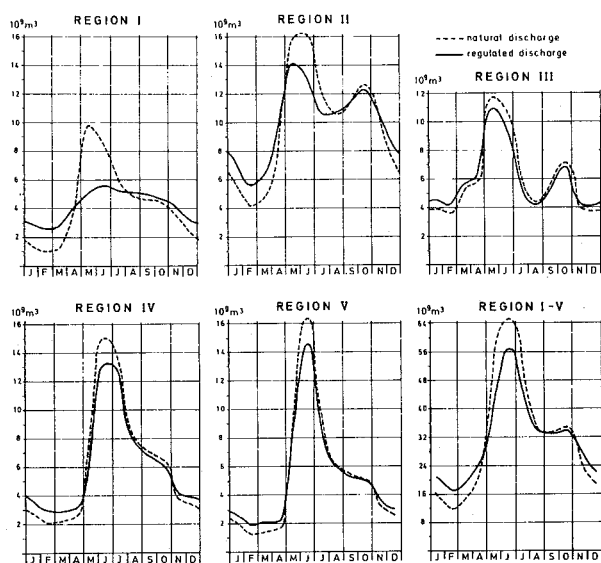


Fig. 14. Naturlig (stiplet linje) og regulert (heltrukket linje) avrenning i ulike hydrologiske regioner. Regioninn-deiling som i Fig. 1. (Etter ASVALL 1976).

Tabell 1. Naturlig avrenning (N), regulert avrenning (R) og endring i avrenning (C) (change), alle gitt i 10 m<sup>3</sup>, og relativ endring i avrenning (C' =  $\frac{R-N}{N} \cdot 100$ ) gitt i %. Regioninndeling som i Fig. 1. Kolonnen til høyre viser forholdene landet sett under ett. (Etter ASVALL 1976).

	I				II				III				IV				V							
	N	R	C	C'	N	R	C	C'	N	R	C	C'	N	R	C	C'	N	R	C	C'	N	R	C	C'
J	1,5	3,0	1,5	100	5,8	7,3	1,5	26	3,9	4,6	0,7	18	2,8	3,6	0,8	28	2,1	2,6	0,5	24	16,1	21,1	5,0	31
F	1,0	2,7	1,7	170	4,2	5,6	1,4	33	3,6	4,1	0,5	14	2,1	2,9	0,8	38	1,3	1,9	0,6	46	12,2	17,2	5,0	29
M	1,3	2,9	1,6	123	4,8	6,3	1,5	31	5,2	5,7	0,5	10	2,3	3,0	0,7	30	1,5	2,1	0,6	40	15,1	20,0	4,9	32
A	3,8	4,2	0,4	10	8,3	9,3	1,0	12	5,8	6,2	0,4	7	2,6	3,2	0,6	23	1,7	2,2	0,5	29	22,2	25,1	2,9	13
M	9,8	5,1	-4,7	-48	15,9	14,1	-1,8	-11	11,7	10,9	-0,8	-7	8,2	7,1	-1,1	-13	9,2	9,0	-0,2	-2	54,8	46,2	-8,6	-16
J	8,5	6,6	-1,9	-22	16,1	13,0	-3,1	-19	10,8	9,6	-1,2	-11	15,0	13,2	-1,8	-12	16,4	14,5	-1,9	-12	66,8	56,9	-9,9	-14
J	5,9	5,2	-0,7	-12	12,1	10,6	-1,5	-12	6,3	5,9	-0,4	-6	13,2	12,6	-0,6	-5	10,9	9,4	-1,5	-14	48,4	43,7	-4,7	-9
A	4,9	5,1	0,2	5	10,6	10,8	0,2	2	4,3	4,2	-0,1	-2	8,0	7,8	-0,2	-3	6,2	6,0	-0,2	-3	34,0	33,9	-0,1	0
S	4,6	4,9	0,3	6	11,4	11,3	-0,1	-1	5,5	5,4	-0,1	-2	7,0	6,8	-0,2	-3	5,4	5,3	-0,1	-2	33,9	33,7	-0,2	0
O	4,4	4,6	0,2	4	12,6	12,3	-0,3	-2	7,1	6,9	-0,2	-3	6,5	6,3	-0,2	-3	5,0	5,1	0,1	2	35,6	35,2	-0,4	0
N	3,5	4,0	0,5	14	10,4	10,5	0,1	1	4,0	4,3	0,3	8	3,8	4,2	0,4	10	3,3	3,7	0,4	12	25,0	26,7	1,7	7
D	2,3	3,1	0,8	35	7,4	8,3	0,9	12	3,8	4,2	0,4	11	3,4	3,9	0,5	14	2,6	3,0	0,4	15	19,5	22,5	3,0	15

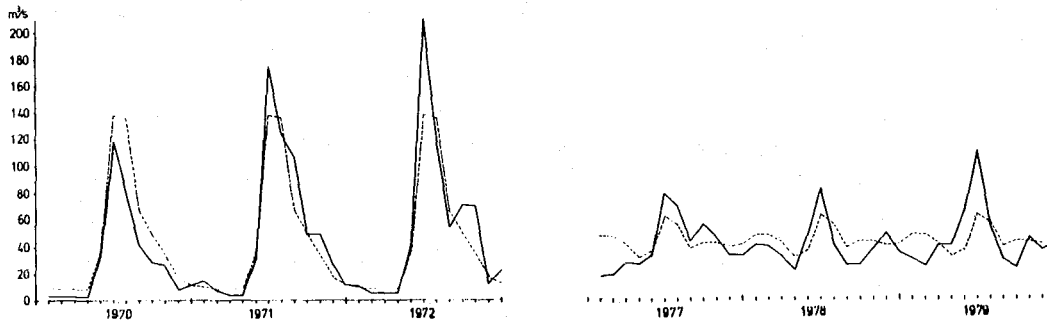


Fig. 15. Totaltilsiget til Skjomen før og etter regulering. Stiplet linje representerer månedsnormaler. (Etter SVENDSEN 1983).

I en del større fjorder er en rekke ferskvannskilder regulert (Fig. 16). En summasjonseffekt vil her kunne resultere i at flere relativt beskjedne utbygginger totalt sett kan gi en betydelig endring i ferskvannstilførselen til systemet.

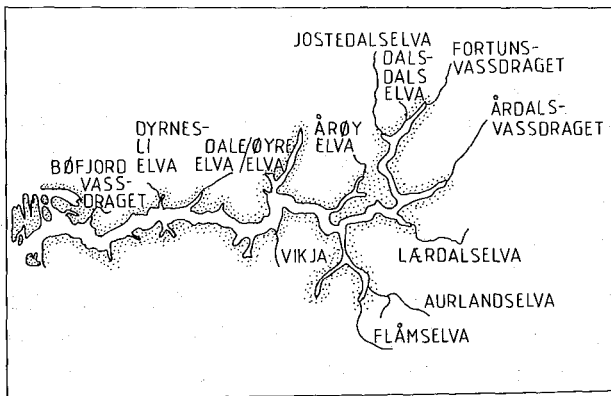


Fig. 16. Regulerte vassdrag rundt Sognefjorden pr 1. januar 1984. (Kilde NVE).

## 4. MULIGE EFFEKTER AV VASSDRAGSREGULERINGER PÅ FJORDER

### 4.1. Fysiske forhold

#### 4.1.1. Brakkvannslag

I hvor stor grad reguleringer i praksis vil gjenspeiles i overflatelagets saltholdighet, vil bli avhenge av reguleringens størrelse, betydningen av tilførsel fra andre elver, fjordens topografi og påvirkning fra klimatiske faktorer og oseanografiske forhold utenfor kysten.

Fra en del regulerte fjorder er det dokumentert at den økte ferskvannstilførselen om vinteren har resultert i tydelige brakkvannslag (SÆTRE 1974, AURE et al. 1976, GJERP & TRYGGESTAD 1981, GJERP et al. 1982). Et eksempel fra Gaupnefjorden er gitt i Fig. 17. Disse referansene henviser til en relativt avgrenset fjord (Masfjorden), to fjordarmer (Aurlandsfjorden, Gaupnefjorden og et større, men svært avgrenset fjordsystem (Osterfjorden-Sørfjorden-Veafjorden).

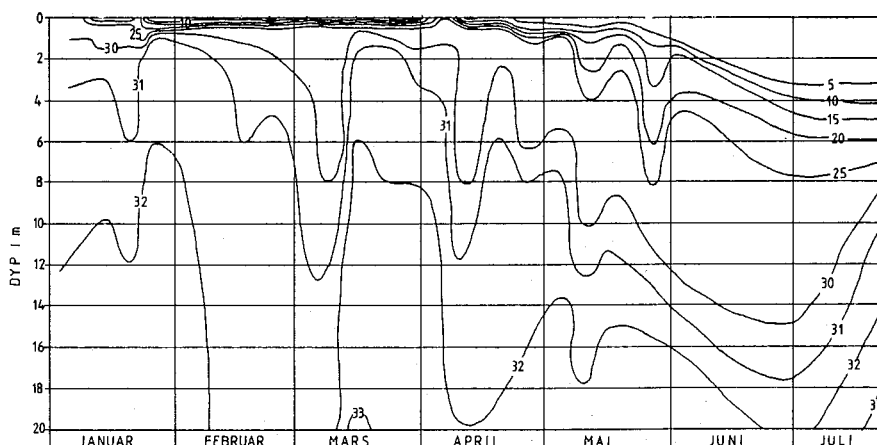


Fig. 17. Saltholdighetsfordeling i Gaupnefjorden utenfor Marifjøra (Fig. 26), januar-juli 1980. (Etter GJERP & TRYGGESTAD 1981).

Over større skala eller i mer åpne system, vil eksistensen av et brakkvannslag være begrenset. Innenfor Sognefjordsystemet viser det seg at de iøynefallende reguleringsvirkningene fortaper seg relativt raskt (hydrografiske data fra NVE). Til tross for det betydelige antall reguleringer som er gjennomført fram til i dag (Fig. 16), kan det i motsetning til i sidefjordene ikke registreres noe tydelig brakkvannslag i hovedfjorden vinterstid selv om saltholdigheten her er lavere enn i vannmassene utenfor. Hvorvidt det i hovedfjorden har skjedd påviselige endringer som følge av reguleringene, kan først avgjøres etter nøyere studier av datamateriale. Også i Hardangerfjorden er de tydelige reguleringsvirkningene begrenset til påvirkete fjordarmer (AURE 1981), og slike forhold vil trolig gjelde generelt for de større fjordsystemene.

Ved kraftig vind- og tidevannspåvirkning kan reguleringspåvirkningen maskeres. Fra etterundersøkelsen i Skjomen fremgår at det først og fremst er i de in-



nerste områdene av fjorden man har fått et brakkvannslag om vinteren. Lenger ute er effekten av økt vintervannføring i stor grad utvisket pga blandingsprosesser (SVENDSEN 1983).

Data fra LOENG & SCHEI (1978) og AURE (1983 og pers.medd.) tyder på at bildet fra Skjomen vil gjelde generelt for regulerte fjorder lengst nord i landet. I Finnmark vil, i tillegg til den kraftige tidevannsamplituden, fjordenes topografi føre til at reguleringsvirkninger utviskes relativt raskt. Fjordene i dette fylket bærer i stor grad preg av å være åpne havbukter.

Redusert sommervannføring vil i prinsippet gi forhøyete overflatesaltholdigheter. Dette vil gi seg sterkest utslag der det er overføringer av ferskvannstilrenning fra en fjord til en annen. Ved Ulla-Førre-utbyggingen der den dominerende ferskvannskilden vil ledes bort fra Jøsenfjorden og over til Hylsfjorden, er det følgelig grunn til å forvente økt saltholdighet i Jøsenfjorden sommerstid (SVENDSEN & UTNE 1979).

Ved en sammenligning av resultatene fra forundersøkelser i Skjomen (LOENG 1978) med forholdene etter regulering, finner SVENDSEN (1983) en trend mot høyere overflatesaltholdighet som høyst sannsynlig kan tilskrives lavere flomvannføring.

Det foreligger ellers liten dokumentasjon for at reguleringer har ført til forhøyete saltholdigheter om sommeren, og redusert sommertilførsel vil trolig i flere tilfeller være vanskelig å spore i hydrografiske data da andre ferskvannskilder på denne tiden i vesentlig grad vil kunne prege bildet. F eks viser resultater fra AURE et al. (1976) at hydrografien i Aurlandsfjorden om sommeren er sterkt påvirket av ferskvannstilførselen andre steder i Sognefjordsystemet. Det er derfor mulig at endringer i lokal ferskvannstilførsel ikke vil gi påviselige utslag i saltholdighetsdata i sidefjorden. (Virkninger kan muligens påvises ved grundigere dataanalyser).

Selv om saltholdigheten i stor grad er den samme etter regulering, vil betingelsene i systemet likevel være endret. Et brakkvannslag, dannet ved innsig fra utenforliggende områder, vil gi en annen dynamikk enn en utoverflytende brakkvannsstrøm satt igang av av en lokal punktkilde av ferskvann. Innflytelsen av en dominerende punktkilde på strømsystemene gjør at ordtaket om at "mange bekker små gjør en stor å" ikke har almen gyldighet ved drøftinger av de hydrofysiske forhold i en fjord.

### Konklusjon

De største endringer i saltholdighet som følge av reguleringer er registrert om vinteren (januar til april) da den relative endring i ferskvannstilførselen er størst. I enkelte mindre eller avgrensede fjorder er det påvist at den økte ferskvannstilførselen har resultert i en senking av overflatesaltholdigheten, og tydelige brakkvannslag kan dekke hele fjorden. I større fjordsystem vil de markerte reguleringseffektene fortape seg relativt raskt. Det samme gjelder åpne fjorder, og også i områder med kraftig vindpåvirking og/eller sterke tidevannskrefter vil virkningen av økt vintervannføring i stor grad utviskes pga blandingsprosesser. Dette vil gjelde generelt for fjordene lengst nord i landet.

Redusert sommervannføring vil i prinsippet gi forhøyet overflatesaltholdighet, men denne er mindre, og er dårlig dokumentert, blant annet grunnet en vesentlig tilførsel fra andre ferskvannskilder på denne tiden.

#### 4.1.2. Strømsystem

Forhøyet vintervannføring vil i en del tilfeller gi opphav til en ferskvannsdrevet strømkomponent (SÆTRE 1974, SVENDSEN & UTNE 1979, GJERP & TRYGGESTAD 1981). F eks viser GJERP & TRYGGESTAD (1981) at en foreløpig regulering av Jostedøla har resultert i en tynn brakkvannskjerne langs SV-siden av Gaupnefjorden (jordrotasjonens avbøyende kraft) hvor det ved tilrenninger på over 20 m<sup>3</sup>/s er en veldefinert brakkvannstrøm. Under nåværende forhold av varierende ferskvannsmengder har brakkvannstrømmen en hastighet på 5-10 cm/s ved utløpet av fjorden. Ved en tilrenning på 100-150 m<sup>3</sup>/s, som har vært aktuelt i forbindelse med Breheimsutbyggingen (det er nå valgt et mer beskjedent utbyggingsalternativ), ville hastigheten her ifølge forfatterne bli ca 25 cm/s. I mange tilfeller vil likevel ferskvannstilførselen om vinteren også etter regulering være for liten til at det genereres en betydelig estuarin sirkulasjon.

Ferskvannstilførselen kan også være av betydning for strømsystemene ved at eksistensen av et brakkvannslag forandrer vindkreftenes påvirkning. I perioder uten lagdeling kan en i fjordene finne samme strømretning ned til 50 m (GADE 1983). Ved eksistensen av et brakkvannslag vil derimot den vinddrevne strømmen i overflatelaget kunne begrenses til dette, med en motsatt rettet strøm i resten av det øvre lag. En prinsippskisse av dette forholdet er gitt i Fig. 18. Redusert friksjon med vannmassene under som følge av lagdelingen, resulterer også i økte hastigheter av den vinddrevne overflatestrømmen.

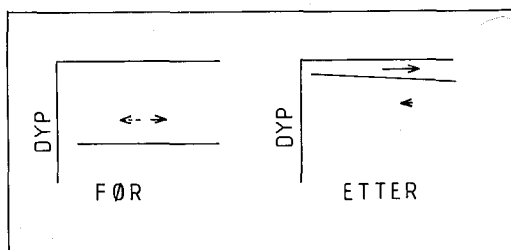


Fig. 18. Modifisering av vindkreftenes påvirkning av strømsystemene ved introduksjon av et brakkvannslag om vinteren. Pilenes lengde antyder strømhastigheter. Stiplet pil i eksempelet før regulering representerer det sjeldnere tilfellet av vind inn fjorden.

Overflatestrømmens tykkelse vil variere med brakkvannslaget. Ved svakt utviklete brakkvannslag vil vindpåvirkningen føre til at hele det øvre lag homogeniseres (GJERP & TRYGGESTAD 1981).

Betingelsene for at forhøyet vintervannføring skal resultere i brakkvannslag er diskutert i forrige kapittel. Modifisering av vindkreftenes påvirkning av strømsystemene vil følge de samme retningslinjene. F eks er lagdelingen i Skjomen vinterstid, unntatt innerst i fjorden, også etter reguleringen for svak til å påvirke strømningsmønsteret i særlig grad (SVENDSEN 1983).

Dominerende vindretning er langs hele norskekysten rettet utover langs fjordenes lengdeakse i vinterhalvåret, men mønsteret kan brytes ved f eks lav-

trykkspassasjer (GADE 1983). Grovt sett skulle dette vindbildet bety at en samvirkende effekt mellom ferskvannsdrevne og vinddrevne komponenter i smale fjorder resulterer i forhøyete hastigheter av utgående overflatestrømmer etter regulering. Den skisserte endring i den vertikale strømstruktur kan bety at strømrretningen i resten av det øvre lag reverseres. I bredere fjorder vil bildet kompliseres av jordrotasjonens avbøyende kraft, og den innoverrettede kompensasjonsstrømmen kan her gjøre seg gjeldende helt til overflaten på venstre side (sett utover fjorden). Skillet mellom "smale" og "brede" fjorder er i denne sammenheng flytende og vil være avhengig av vannføringen. Ved relativ lav tilrenning kan brakkvannsstrømmen konsentreres langs høyre side, mens den ved større tilrenning kan dekke hele fjordens tverrsnitt.

Mindre flomvannføring vil resultere i redusert estuarin sirkulasjon. FOSSHAGEN (1979) peker på at mindre ferskvannsmengder vil gi en svakere overflatestrøm ut Jøsenfjorden etter Ulla-Førre-utbyggingen. Fosshagen legger videre vekt på at redusert overflatestrøm vil gi en redusert kompensasjonsstrøm inn fjorden.

Strømsystemene i øvre lag i Ryfylkefjordene er imidlertid også om sommeren hovedsakelig dominert av vindforholdene, unntatt i ytre deler av Sandsfjorden der den ferskvannsdrevne komponenten er den dominerende i perioder med stor ferskvannsavrenning (SVENDSEN & UTNE 1979). Selv under høy ferskvannstilførsel sommerstid ( $>150 \text{ m}^3/\text{s}$ ) var den ferskvannsdrevne strømkomponenten i den type åpen fjord som Jøsenfjorden representerer, neglisjerbar sammenliknet med den vinddrevne strømkomponenten. Svendsen & Utne antar derfor at reduksjonen i ferskvannstilførsel vår, sommer og høst hovedsakelig vil få betydning for strømsystemene ved at stabiliteten i de øvre lag reduseres. En svakere lagdeling vil føre til en øking av dybden av den vinddrevne strømmen.

Resultatene fra Skjomen-undersøkelsene viser at det, både før og etter utbygging, også i dette området er den vinddrevne strømkomponenten som dominerer sirkulasjonen i det øvre lag i fjorden. Estuarin sirkulasjon er bare av betydning i flomperioder. Pga prøvetakingsprogrammet og metodiske problemer er det ikke påvist forskjeller i strømsystemene før og etter utbyggingen. EILERTSEN (1983) antar likevel at reguleringen har ført til en reduksjon av strømhastigheten ut fjorden om sommeren.

Vindretningen i sommerhalvåret er variabel, men vil langs hele kysten i stor grad være rettet innover fjordene (GADE 1983). Dette kan snu den utoverrettede ferskvannsdrevne strømmen, noe som vanskeliggjør terminologien ved omtale av reguleringseffekter. Fremfor redusert overflatestrøm ut fjorden, kan resultatet av lavere flomvannføring ved flere anledninger tenkes å være forhøyete hastigheter på vinddrevet overflatestrøm inn fjorden. På tross av problemer med å forutsi nettoeffekten av de ulike drivkreftene, kan det likevel fastslås at magasinering av flomvannet reduserer den utoverrettede strømkomponenten. Uansett vindretning må det tilførte ellevannet fraktes ut av fjorden, og endring av disse vannmengdene vil derfor i alle tilfeller få betydning for strømsystemene. I perioder med vinddrevne innoverrettede overflatestrømmer vil det være en utgående strøm under denne. Lengre perioder med

innoverrettede vinder vil også føre til en oppstuing av brakkvann innerst i fjorden. Når vinden stilner eller snur, vil så dette resultere i en kort periode med kraftige utoverrettede strømmer.

Et eksempel på at redusert sommervannføring har ført til endret utveksling med områdene utenfor (noe som impliserer endrete strømforhold) fremgår fra undersøkelser i en fjord på kysten av Labrador (BOBBITT & AKENHEAD 1982). "Lake Melville" er 180 km lang (noe mindre enn Sognefjorden), og gjennomsnittlig dybde er på 150 m. Det er forbindelse med vannmassene utenfor gjennom et langt (22 km) og relativt trangt parti (2.8 km på det trangeste). Terskeldypet er ca. 30 m.

Før vannkraftutbygging var gjennomsnittlig maksimumsvannføring i "Churchill river" (juni) på drøyt 5000 m<sup>3</sup>/s. Minimum avrenning (april) var rundt 400 m<sup>3</sup>/s. Det er m a o snakk om meget store ferskvannsmengder.

Vannføringen i "Churchill River" utgjør 60% av totaltilførsel fra fire elver som står for hovedmengden av ferskvannstilførselen til "Lake Melville". Som følge av utbyggingen er sommeravrenningen i elven redusert med ca 30% mens vinteravrenningen er tre-doblet. Totalt har det skjedd en viss øking i ferskvannstilførselen (300 m<sup>3</sup>/s).

Som utgangspunkt for vurdering av regulerings innvirkning lå et stort hydrografisk datagrunnlag innsamlet i en 4-års periode før utbyggingen. For å gjøre opp status etter reguleringen, ble det gjennomført et 3-dagers innsamlingsprogram av hydrografiske data i august. I tillegg forelå data innsamlet på et én dags tokt i september. (Egne kommentarer: Det må presiseres at etterundersøkelsen representerer et meget begrenset tidsintervall, og at konklusjonene angående konsekvenser av endret sommertilførsel bygger på et svakt grunnlag. Data fra perioden med økt vintervannføring foreligger ikke.)

De hydrografiske data fra "Lake Melville" viser at de øvre lag om sommeren har omtrent samme saltholdighet fra innerst til ytterst i fjorden. Dette er i motsetning til hva en vanligvis finner i norske fjorder og tyder på minimal vertikal transport, noe som kan forklares ut fra den høye avrenningshastigheten.

Sammenlikning av saltholdighetsprofiler av overflatelaget før og etter utbygging er ifølge forfatterne bemerkelsesverdig like sett i lys av de betydelige endringer i ferskvannstilførsel som har funnet sted. De små forskjeller som kan registreres er innenfor rammen av hva som kan ventes ved å ta prøver på forskjellige dager innen samme årstid (som en følge av tidevann, indre bølger og vindblanding).

Beregnet ferskvannsvolum i fjorden mellom de to periodene er også sammenliknbart; følgelig er oppholdstiden i fjorden sommerstid noe øket etter utbyggingen (Tabell 2).

Siden fjorden er stor og oppholdstiden for ferskvannet relativ lang, vil "Lake Melville" fungere som en buffer slik at korttidsvariasjoner i elveavrenning ikke

Tabell 2. Ferskvannsvolum og ferskvannets oppholdstid i "Lake Melville" ved varierende ferskvannstilførsel. (Etter BOBBITT & AKENHEAD 1982).

Time	Fresh water volume (km <sup>3</sup> )	River discharge (m <sup>3</sup> /sec)	Flushing time (months)
July, 1950	40.274	4,303	3.6
August, 1951	34.515	~2,876	~4.6
July, 1952	44.203	3,603	4.7
August, 1952	35.130	3,598	3.8
October, 1952	33.146	3,089	4.1
August, 1981	41.054	2,739	5.8

forplanter seg til områdene utenfor fjorden. Denne effekten er i stor grad betinget av de topografiske forhold ved utløpet.

Reguleringseffekter på mer storstilte strømsystem og over større geografiske områder er vurdert for James Bay, Canada (EL-SABH & KOUTITONSKY 1977, PRINSENBERG 1982). (Regulering av meget store ferskvannsmengder). Konklusjonen herfra er at ferskvannsdrevne strømmer vil være ubetydelig på en så stor skala som James Bay representerer (67000 km<sup>2</sup>). Vind og tetthetsdrevet sirkulasjon vil her være dominerende. Ferskvannstilførselen vil likevel ha effekt på strømsystemene gjennom påvirkning av tetthetsforholdene. Ved å nytte en estuarin modell fant PRINSENBERG (1982) at reguleringene ville føre til en dobling av strømhastighetene både for utgående og inngående strømmer om vinteren, noe som betyr redusert saltholdighet av utgående vann og økt mengde saltvann tilført James Bay (Fig. 19). Da bukten er karakterisert ved en "anticlockwise" sirkulasjon i overflaten, samtidig som det også er inngående strømmer under den utgående overflatestrømmen, vil dette føre til både en økt horisontal og vertikal saltholdighetsgradient i James Bay.

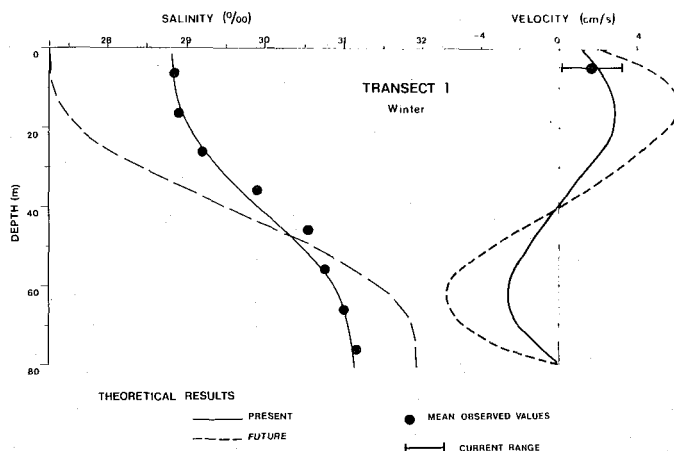


Fig. 19. Observerte og beregnede resultater over saltholdighet og strømforhold ved utløpet av "James Bay" for nåværende og fremtidig vintervannføring. (Etter PRINSENBERG 1982).

HASSAN (1975) har gitt regneeksempler på hvilke endringer reguleringer av ferskvannstilførselen til tre såkalte "marginal seas" (Gulf of St. Lawrence, Middelhavet, Svartehavet) vil kunne medføre dersom utvekslingen med utenforliggende vannmasser varierer proporsjonalt med ferskvannstilrenningen, og dersom uttransporten forblir uendret med resulterende saltholdighetsforandringer i systemene. Hassan peker på at det ikke er mulig å forutsi hvilke

forandringer i utveksling eller blanding som i praksis vil inntre, men mener at disse vanligvis vil ha store konsekvenser.

### Konklusjon

Forhøyet vinteravrenning gir raskere ferskvannsdrevne overflatestrømmer ut fjorden. Størrelsesorden avhenger bl a av reguleringens omfang og vil variere fra en ubetydelig effekt til en mangedobling av strømhastigheten.

Ved innføring av et brakkvannslag vil videre vindkreftenes påvirkning forandres. Den vinddrevne strømmen blir begrenset til et tynt skikt, mens vindvirkningen i en homogen vannmasse vil rekke relativt dypt (20-50 m). Lagdelingen fører til redusert friksjon med vannlagene under og mindre vannmasser skal forflyttes. Dette gir raskere vinddrevne strømmer i overflaten.

Da fremherskende vindretning i vinterhalvåret er rettet ut fjordene, er det en samvirkning effekt mellom den forhøyete ferskvannsdrevne og den aksellererte vinddrevne strømkomponenten.

I smale fjorder vil det ved innføring av en markert brakkvannsstrøm ut fjorden dannes en motsatt rettet kompensasjonsstrøm i resten av det øvre lag. I dette dybdeintervallet kan det derfor etter regulering bli en reversering av tidligere vinddrevne utoverrettede strømmer. I bredere fjorder eller ved liten vannføring vil brakkvannstrømmen konsentreres på høyre side av fjorden, mens den innoverrettede kompensasjonsstrømmen kan rekke helt opp i overflaten på motsatt side.

Redusert flomvannføring vil gi lavere utoverrettede strømhastigheter i overflatelaget og en svakere kompensasjonsstrøm. På denne tiden virker ferskvanns- og vindkomponenten tildels i motsatt retning. Svekket lagdeling kan føre til en øking i dybden av den vinddrevne strømmen.

Strømforholdene kan også påvirkes ved endringer i horisontale tetthetsforskjeller mellom vannmasser.

#### 4.1.3. Is- og temperaturforhold i øvre lag

Som en generell regel kan en si at isdannelsen vil tilta ved økt ferskvannstilførsel om vinteren (ANON. 1979). Dette skyldes at ferskvannet er lettere enn sjøvannet uansett temperatur. Overflatevannet vil derfor ved avkjøling bare synke ned til grenseflaten mot saltvannet under. Dermed vil avkjølingen i hovedsak være begrenset til en tynn overflatehinne, noe som gir et raskt varmetap. Uten ferskvannstilførsel vil tetthetsgradienten være så liten at overflatevannet, etter hvert som det blir avkjølt, blir byttet ut med varmere vann fra underliggende lag (termisk konveksjon).

Imidlertid er også strømsystemene av betydning for isforholdene i en fjord. Mindre islegging etter regulering av ferskvannstilførselen til Masfjorden er av SÆTRE (1974) forklart med at økte strømhastigheter (som følge av den økte vintervannføringen) fører til en kortere oppholdstid for ferskvannet i fjorden. Dermed vil ikke overflatelaget nå frysetemperaturen innen det er transportert

ut av fjorden og oppblandet med saltere og varmere vannmasser. Slike forhold kan gjøre seg gjeldende i små fjorder. I større fjorder vil effekten av økte strømhastigheter begrenses til en flytting av isgrensene utover i systemet.

At vintervedkjøling etter en regulering konsentreres om brakkvannslaget fører til redusert varmetap fra vannmassene under. Resultatet kan være betydelig høyere vintertemperaturer under brakkvannslaget enn det som ville være normalt i tilsvarende dyp uten reguleringspåvirkning. En prinsippskisse er gitt i Fig. 20. AURE (1978) trekker fram dette forholdet for Masfjorden. Etter regulering er vintervannføringen her ca  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , noe som gir opphav til et stabilt brakkvannslag på 1-3 m tykkelse. Det foreligger ikke data fra perioden før utbygging. Men ved å sammenlikne med temperaturforholdene i den tilgrensende Fensfjorden, som er utenfor reguleringspåvirkning, fremkommer markerte temperaturforskjeller med betydelig høyere temperaturer i Masfjorden.

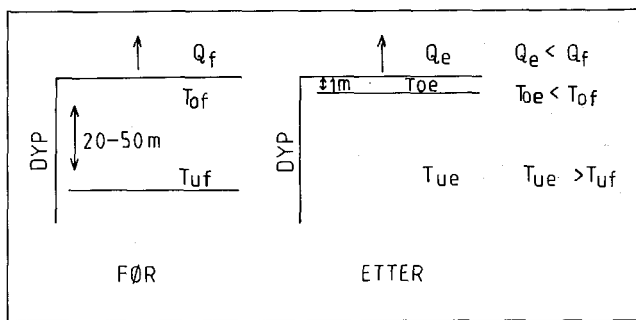


Fig. 20. Endret varmeutveksling ved introduksjon av et brakkvannslag om vinteren. Nedkjøling konsentrert til en tynn overflatehinne gir mindre totalt varmetap etter enn før regulering ( $Q_e < Q_f$ ). Raskt varmetap fra det tynne overflateskiktet gir lavere overflatetemperatur etter regulering ( $T_{oe} < T_{of}$ ). Isolering av underliggende vannmasser gir her høyere vintertemperatur etter regulering ( $T_{ue} > T_{uf}$ ).

Aure antar at temperaturen i øvre lag (under brakkvannslaget) uten ferskvannstilførsel til Masfjorden ville ligge 1-2°C lavere enn i Fensfjorden. I den nåværende situasjon avtar imidlertid temperaturen utover vinteren vesentlig raskere i Fensfjorden. I mars 1977 var temperaturen her ca 5°C, mens den under brakkvannslaget i Masfjorden var høyere enn 9°C. Etter dette ble forskjellene utjevnet grunnet innstrømming av relativt kaldt vann fra Fensfjorden. Temperaturutviklingen i de to fjordene fremgår av Fig. 21. Vertikal-

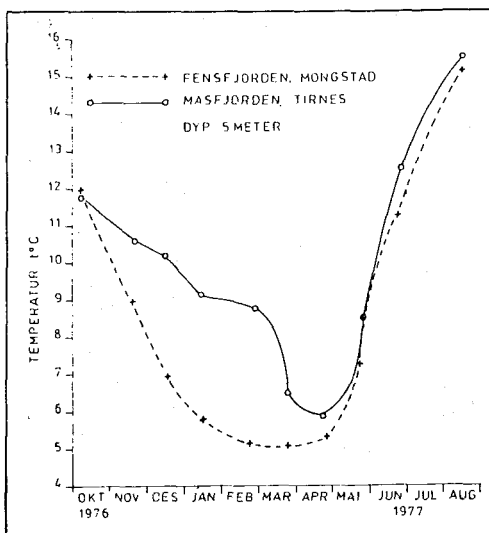


Fig. 21. Temperaturen i 5 m dyp i Fensfjorden og Masfjorden, 1976-1977. (Etter AURE 1978).

fordeling av temperatur og saltholdighet i slutten av februar, når de største temperaturforskjellene i 5 m dyp ( $5^{\circ}\text{C}$ ) forekommer, fremgår av Fig. 22.

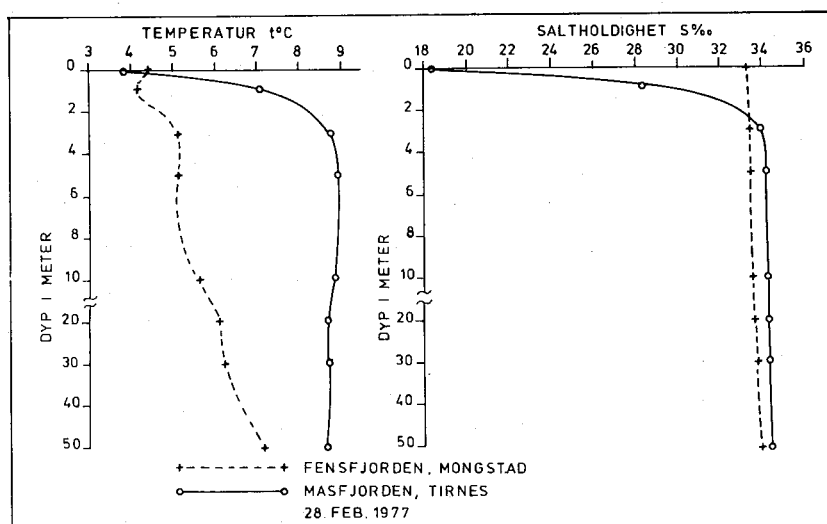


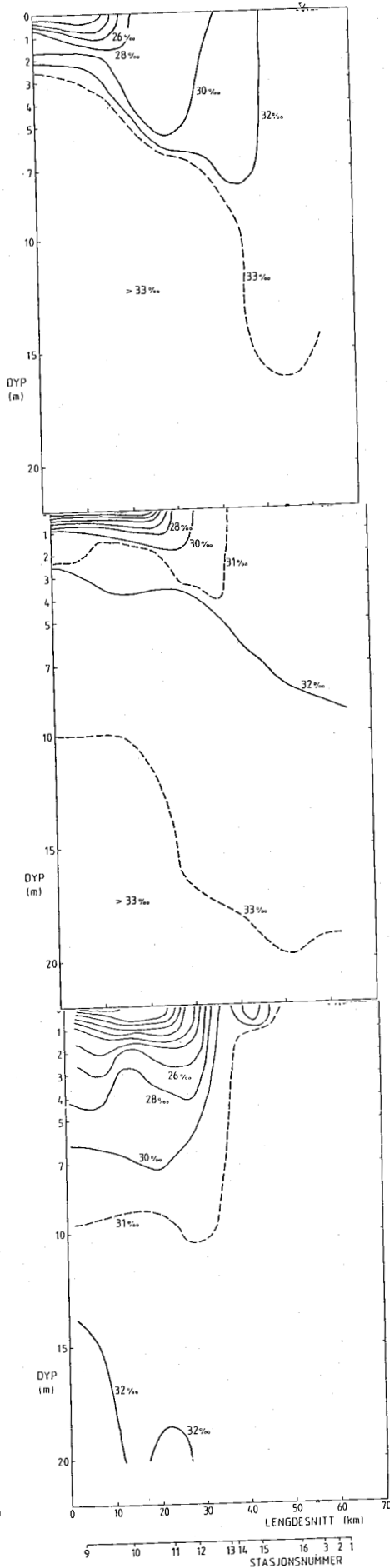
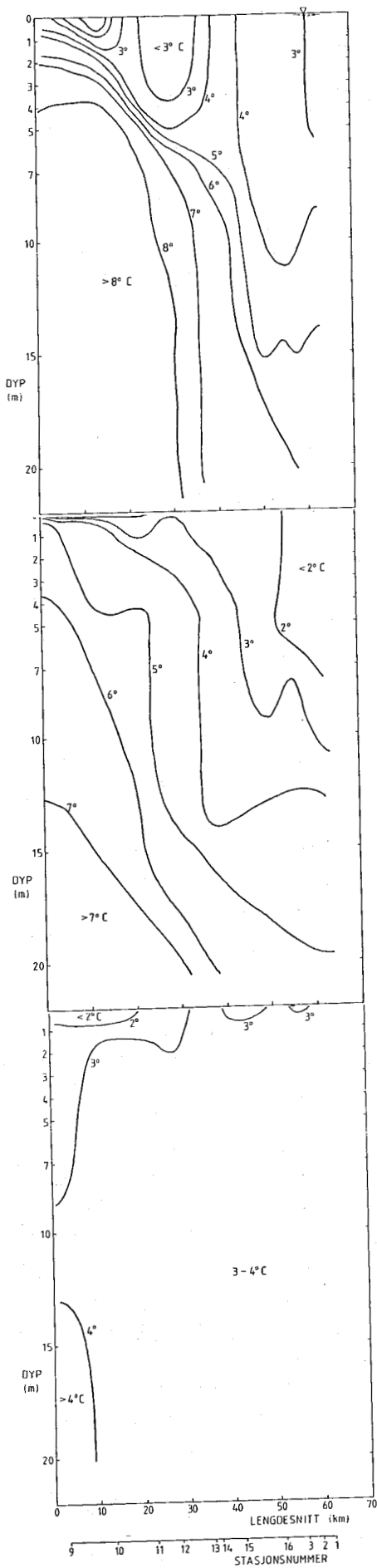
Fig. 22. Temperaturforholdene i de øverste 50 m i Fensfjorden og Masfjorden 28 februar 1977. (Etter AURE 1978).

En ytterligere dokumentasjon av den tildels betydelige isolerende virkning brakkvannslaget kan få for vannmassene under fremgår av data for Salhusfjorden-Sørfjorden-Veafjorden fra den kalde vinteren 1979 (Fig. 23) (fra GJERP & RYE 1979). Stasjonenes plassering er gitt i Fig. 24. Fra figurene fremgår det klart at temperaturforholdene er sterkt påvirket av brakkvannslaget med markert temperaturstigning fra ytterst til innerst i fjorden som resultat (en motsatt virkning i den øverste meteren). F eks er det i månedsskiftet januar/februar en temperaturforskjell på  $5^{\circ}\text{C}$  i 5 m dyp mellom stasjon 1 og områdene fra stasjon 12 og innenfor. Også mot slutten av februar opprettholdes kraftige temperaturgradienter, men i tillegg til en viss vertikal avkjøling skjer det også en horisontal påvirkning fra vannmassene utenfor. Ved målingene 7 mars har disse vannmassene også trengt inn under brakkvannslaget i Veafjorden.

I en kald vinter vil naturlig ferskvannsavrenning være spesielt lav, samtidig som tapping fra reguleringsmagasiner vil være større enn i milde vintre. Etter en normal høstfylling var nedtappingen fra magasinene rundt Sørfjorden-Veafjorden vinteren 78/79 ca 10% kraftigere enn i et middelår (kilde BKK). Mindre naturlig avrenning og økt kjøring av kraftverkene gjør at den relative betydning av reguleringer for brakkvannsdannelsen vil være størst i kalde vintre. Det er også ved lange kuldeperioder innflytelsen av et isolerende brakkvannslag vil være mest fremtredende.

De foregående eksempler viser temperaturforskjeller mellom regulerte fjorder og områdene utenfor. I VHL's undersøkelse fra Aurlandsfjorden (AURE et al. 1976)





31/1-1/2

20/2-21/2

7/3

Fig. 23. Temperatur- og saltholdighetsfordeling i Salhusfjorden-Sørfjorden-Veafjorden vinteren 1979. (Etter GJERP & RYE 1979).

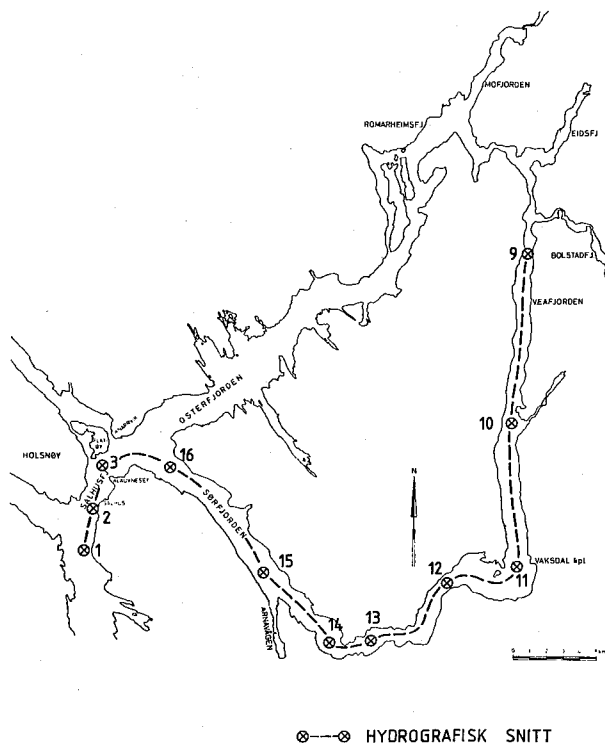


Fig. 24. Geografisk lengdesnitt for isopletdiagrammene vist på Fig. 23 (stasjonsplassering). (Etter GJERP & RYE 1979).

fremgår tilsvarende forskjeller for en fjord før og etter utbygging. Saltholdighets- og temperaturdata for de ulike ferskvannsregimer er gitt i Fig. 25. Ved vurdering av forskjellene mellom de to år må det taes i betraktning at vinteren 1969/70 var spesielt kald, mens vinteren 1974/75 var spesielt mild. Like fullt trekker Aure et al. frem resultatene fra vinteren etter utbygging som eksempel på brakkvannslagets isolerende effekt for underliggende vannmasser. Det må imidlertid her pekes på mulighetene for at det i den milde vinteren 1974/1975 også var en betydelig ferskvannspåvirkning av fjordsystemet som ikke har sitt opphav i reguleringer.

De nevnte eksemplene er fra fjorder på Vestlandet. Utbredelsen av denne effekten er ellers lite undersøkt. Det synes likevel klart at i de nordligste fylkene, der dannelsen av brakkvannslag vil være begrenset, vil det heller ikke inntre tilsvarende store vertikale temperaturgradienter mellom overflatelag og vannmassene under. Reguleringer vil riktignok også her føre til lavere overflatetemperatur da de lave lufttemperaturene som kan inntre, fører til rask nedkjølingstid. Hydrografiske data viser at selv små saltholdighetsgradienter kan få betydning for nedkjølingen av overflatelaget (J. AURE pers.medd). Slike saltholdighetsgradienter vil jevnt over være lite fremtredende utenfor områder påvirket av reguleringer da det naturlige avrenningsmønsteret nord i landet er preget av svært lav vintertilrenning. En betydelig forhøyet vintertemperatur i vannmassene under det nedkjølte overflatelaget er derimot avhengig av lengre tids isolasjon fra atmosfæren og vannmassene utenfor fjorden. Den svake lagdelingen og oseanografisk påvirkning gjør at en eventuell slik

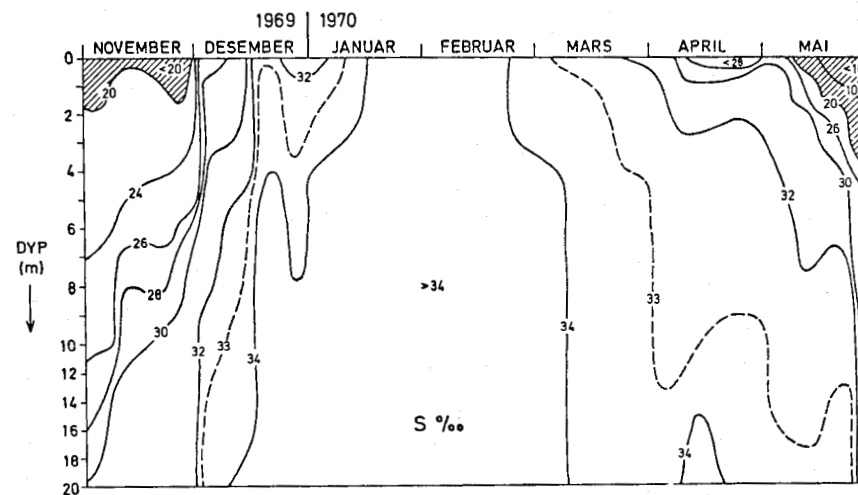
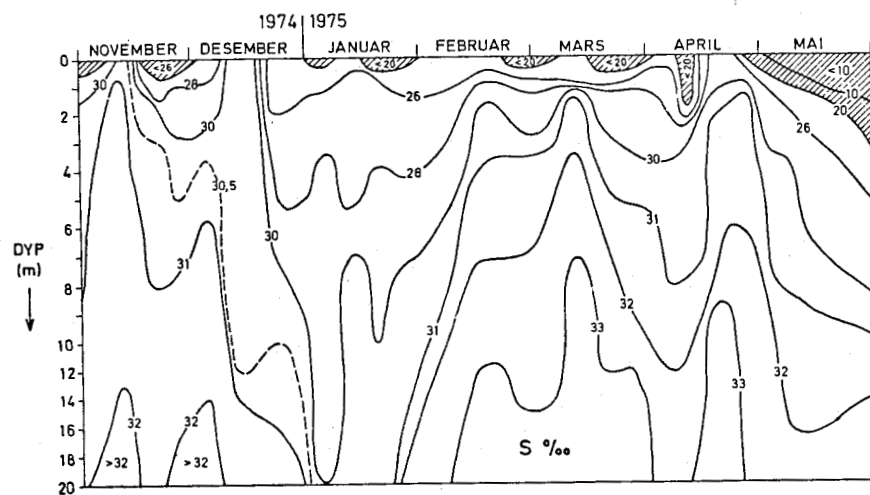
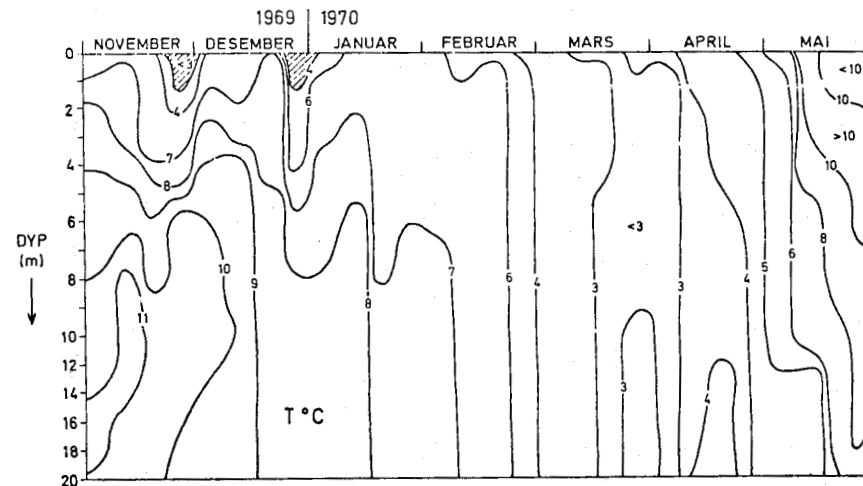
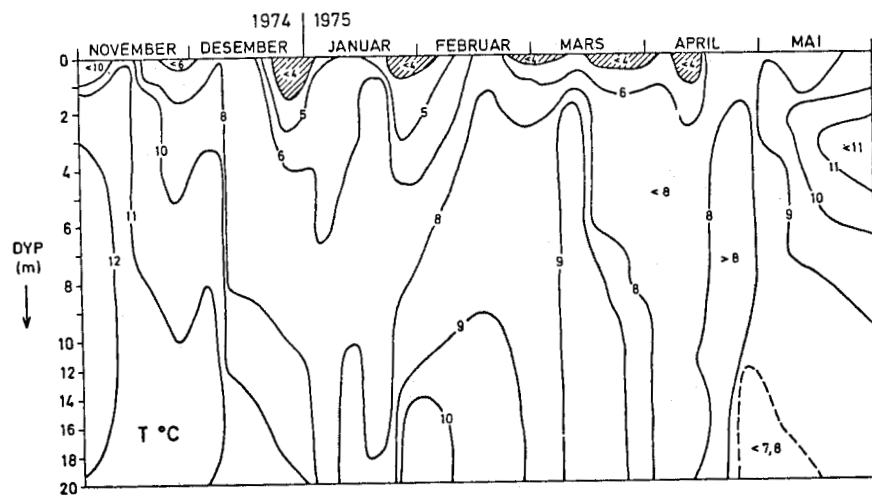


Fig. 25. Tidsutvikling av saltholdighet og temperatur i Aurlandsfjorden 1969/1970 og 1974/1975. (Etter AURE et al. 1976).

isolasjon bare kan ventes over en kort tidsskala. Dermed vil størrelsesorden i temperaturendringer som følge av en isolasjonsvirkning bli beskjeden.

Ifølge AURE (1978) er det størrelsen på ferskvannstilførselen, fjordens topografi, avstand fra kysten og variasjonene i de hydrografiske forholdene utenfor fjorden som er bestemmende for vintertemperaturene under brakkvannslaget i en regulert fjord. Størst isolasjonsvirkning vil forekomme i områder med stor ferskvannstilførsel til avgrensede system et stykke fra kysten sør i landet. Innflytelsen av et brakkvannslag vil som nevnt være mest fremtredende i kalde vintre.

Endringer i stabilitet kan også påvirke varmebudsjettet på andre tider av året. SVENDSEN (1981) trekker fram at den vertikale varmetransporten i Jøsenfjorden vil øke etter vekkledning av ferskvannet, noe som vil gi en minsket overflatetemperatur om sommeren da ferskvannets innflytelse ellers er størst.

LEINEBØ (1984) hevder at det er visse indikasjoner på at vassdragsreguleringer har hatt en betydning for sommertemperaturen utenfor Vestlandskysten.

Temperaturen på elvevannet kan i enkelte tilfeller ha dominerende innflytelse på temperaturen i overflatelaget de nærmeste kilometrene utenfor elveutløpet. Fig. 26 viser hvordan det kalde brevvannet som renner ut i Gaupnefjorden preger overflatelaget her i slutten av mai, mens overflatelaget i den tilgrensede Lusterfjorden har høyere temperatur etter oppvarming på vei utover fjorden. Fra dette kan en slutte at en markert reduksjon i denne "kuldetilførselen" vil resultere i høyere overflatetemperaturen om sommeren. En samvirkende effekt vil inntre pga reduserte strømhastigheter som gir lenger oppholdstid i mottaksfjorden og følgelig lenger oppvarmingstid.

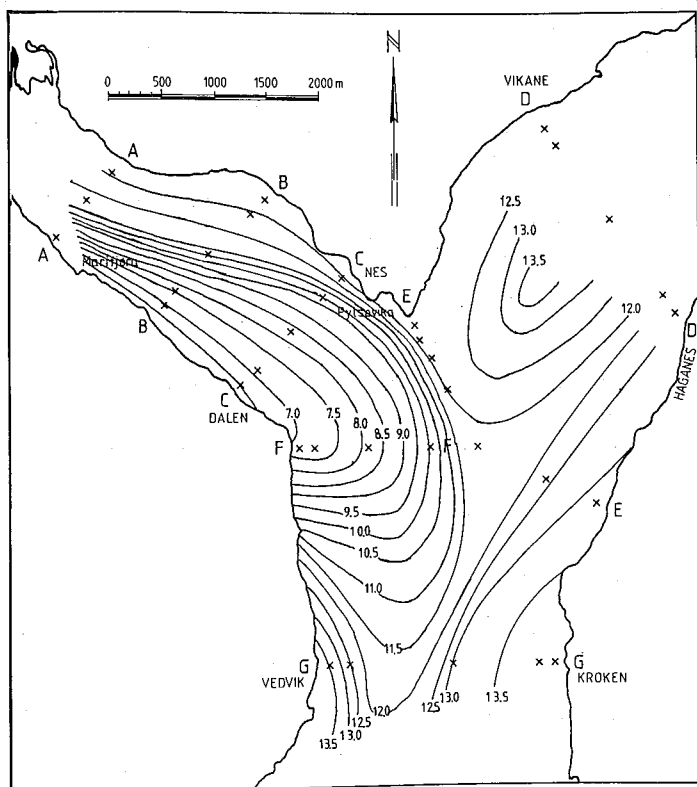


Fig. 26. Horizontal temperaturfordeling i overflaten i området Gaupnefjorden-Lusterfjorden, 19 mai 1980. (Etter GJERP & TRYGGESTAD 1981).

Reguleringer kan også påvirke temperaturen av det tilførte ellevannet, og driftsvannet fra et kraftverk kan være varmere eller kaldere enn normal elveavrenning. I et eksempel fra Masfjorden holdt driftsvannet i mai en temperatur på  $2,4^{\circ}\text{C}$ , mens temperaturen på vannet fra uregulerte kilder var ca  $9-10^{\circ}\text{C}$  (SÆTRE 1974). I tillegg kan kjølevannet fra transformatorene ha en betydelig temperatureffekt på overflatelaget i nærsonen rundt kraftverket (SÆTRE 1974).

Påvirkning ved endret horisontal transport er vurdert for større system av bl a HASSAN (1975) som også gir regneeksempler. Argumentasjonen er her at da det eksisterer horisontale og vertikale gradienter i temperatur, vil det endrete omfang av utgående overflatestrøm og inngående kompensasjonsstrøm som medfølger en regulering føre til endrete temperaturforhold. Tilsvarende virkninger kan inntre i norske fjorder (jf eksempelet om transport av kaldt ellevann), men det foreligger ikke regneeksempler på hvor vesentlig dette forholdet er.

### Konklusjon

Generelt fører en regulering til sterkere vintervedkjøling av overflatelag og dermed økt isdannelse. Dette skyldes at avkjølingen ved tilstedeværelse av et lett brakkvannslag i hovedsak blir begrenset til en tynn overflatehinne, noe som gir raskt varmetap. Det finnes imidlertid også eksempler på at tilfrysingen er redusert etter regulering. Økte strømhastigheter og kortere oppholdstid for ferskvannet resulterer her i at overflatelaget blir transportert ut av fjorden og oppblandet med saltere og varmere vannmasser før frysetemperaturen er nådd. Slike forhold kan gjøre seg gjeldende i små fjorder. I større fjorder vil effekten av økte strømhastigheter begrense seg til en flytting av isgrenser utover i systemet.

At vintervedkjølingen konsentreres om brakkvannslaget resulterer i redusert varmetap fra vannmassene under. På Vestlandet er det registrert opptil  $5^{\circ}\text{C}$  høyere vintertemperaturer under brakkvannslaget i regulerte fjorder enn i tilsvarende dyp i vannmassene utenfor reguleringspåvirkning. De største virkningene vil inntre i områder med stor ferskvannstilførsel til avgrensede system et stykke fra kysten sør i landet. Innflytelsen av et reguleringsdannet brakkvannslag vil være mest fremtredende i kalde vintre.

Endret vertikal stabilitet vil også påvirke temperaturforholdene andre tider av året. Reduksjon av brakkvannslaget om sommeren kan føre til økt vertikal varmetransport med redusert overflatetemperatur som resultat.

I områder der temperaturen i overflatelaget om sommeren er dominert av påvirkning fra kaldt smeltevann, vil derimot overflatetemperaturen øke med redusert ferskvannstilførsel.

Driftsvannet fra et kraftverk kan være både kaldere og varmere enn naturlig elvetilførsel. Kjølevann fra kraftverk plassert nede ved sjøen kan resultere i betydelig forhøyete vintertemperaturer i overflatelaget i nærsonen rundt kraftverket.

Også endret oppholdstid og horisontal transport av vannmasser vil kunne påvirke temperaturforholdene. Størrelsesordenen av en slik effekt er ikke beregnet.

#### 4.1.4. Vertikal næringsstoffs tilførsel til øvre lag

Det har vært antatt at økt skiktning om vinteren vil gi redusert gjennomblending av vannmassene og dermed dårligere næringsstoffs tilførsel til de øvre lag i fjordene (se f.eks. SCHEI 1975, 1976, 1977). Samme problemstilling har vært diskutert for canadiske system (BUGDEN et al. 1982, FREEMAN et al. 1982). Det foreligger imidlertid ikke resultater fra målinger av næringsstoffs konsentrasjoner som kan bekrefte dette forholdet eller gi indikasjoner på størrelsesordenen av eventuelle endringer. Fjordenes åpne forbindelse med kystområdene med innstrømming av vannmasser utenfra er også en kompliserende faktor i dette bildet, og betydningen av lokal anriking vil muligens viskes ut når kystvannet trenger inn sent på vinteren/tidlig på våren.

Som en første tilnæringsmåte kan brakkvannets "drivhuseffekt", beskrevet i forrige kapittel, nyttes som en dokumentasjon på at vertikal omrøring har vært begrenset i enkelte fjorder. Dette kan igjen sees som en bekreftelse på at tilførsel av næringsrikt vann fra dypere lag til den euphotiske sonen i disse tilfellene har vært hemmet. Det synes dermed naturlig å anta at i hvert fall først på vinteren vil næringsstoffs konsentrasjonen i øvre lag her være høyere i strøkene utenfor reguleringspåvirkning (se også Kap. 5.3).

Ved fortsatt å legge diskusjonen i Kap. 4.1.3 til grunn vil det også for reguleringsinnflytelse på vertikaltransport av næringsstoffer inntre regionale forskjeller. Etter min vurdering vil problemstillingen om begrenset tilførsel av næringsstoffer til overflatelagene ikke være aktuell for fjordene lengst nord i landet (Troms, Finnmark).

Mens et brakkvannslag i de fleste tilfeller må ansees å fungere som et hemmende "lokk", vil reguleringer i enkelte tilfeller kunne føre til en viss estuarin sirkulasjon også om vinteren. Meddriving av underliggende vannmasser kan her tenkes å føre mer næringsrike vannmasser til overflaten. Men slik meddriving vil trolig ikke være tilstrekkelig til å kompensere for redusert omrøring igangsatt av vind- og tidevannskrefter samt hemmet termisk konveksjon.

Mindre ferskvannsmengder om sommeren kan tenkes å gi bedre næringsforhold i den euphotiske sonen ved at dybden av vind- og tidevannsblanding øker. På den annen side gir lavere flomvannføring redusert estuarin sirkulasjon. Dette betyr igjen mindre meddriving av de antatt mer næringsrike underliggende vannmasser. Dermed vil en regulering også kunne føre til dårligere næringsstoffs tilførsel til overflatelagene sommerstid. Det er imidlertid ikke et lineært forhold mellom ferskvannstilførsel og medrivingsprosesser (BUGDEN et al. 1982). Videre vil vannet i kompensasjonsstrømmen ofte bestå av overflatevann fra vannmassene utenfor fjorden (GADE 1983) slik at oppblandet sjøvann ikke nødvendigvis er næringsrikt. Betydningen av varierende ferskvannstilførsel for anriking av overflatelag ved estuarine prosesser er derfor usikker. Spørs-

målet har imidlertid hatt en meget sentral plass i diskusjonen om biologiske konsekvenser av reguleringer, og vil bli grundigere diskutert i Kap. 4.2.6.

## Konklusjon

Det er grunn til å anta at reguleringer lokalt kan føre til mindre vintertilførsel av næringssalter til den euphotiske sonen ved at økt stabilitet i fjordenes overflatelag hindrer tilblending av dypereliggende næringsrikt vann. Det foreligger imidlertid ikke resultater som kan gi holdepunkter for å antyde størrelsesordenen av en slik effekt, og det er heller ikke avklart hvorvidt lokal anriking er av særlig betydning for næringsforholdene i fjordenes øvre lag, eller om det er inntrenging av vannmasser utenfra som er det vesentlige moment i denne sammenheng. Redusert næringstilførsel til overflatelagene om vinteren er etter min oppfatning ikke en aktuell problemstilling for fjordene lengst nord i landet.

Mindre ferskvannsmengder om sommeren kan gi bedre næringsforhold ved at dybden av vind- og tidevannsblanding øker. På den annen side gir lavere flomvannføring redusert estuarin sirkulasjon, og dette kan føre til mindre medrivning og oppblanding av underliggende vann. Betydningen av estuarine prosesser for anriking av overflatelagene er imidlertid usikker.

### 4.1.5. Bassengvannet

I fjorder der terskeldypet er grunnere enn brakkvannslaget, vil både total ferskvannstilførsel og avrenningsmønsteret kunne påvirke bunnvannsutskiftinger og dermed oksygenforholdene i vannmassene. Utstrømming av ferskvann i øvre lag kan være så dominerende at utløpet blir blokkert slik at saltvann ikke kan trenge inn. I tillegg kan tetthetsforholdene i vannmassene utenfor terskelen påvirkes. Tyngden av dette vannet er vesentlig for graden av bunnvannsfornyng.

Ved overføring av vannmasser til områder med grunne terskler vil faren for en blokkering av utløpet øke. Problemstillingen er vurdert for Østerbøvannet (en marin poll i Sognefjorden) i forbindelse med planlagt regulering av Østerbø - Mjølsvik - Ortnevikvassdragene (BJERKNES & WAATEVIK 1984). Variasjoner i innstrømmingsvolum av sjøvann som funksjon av ferskvannstilførsel og tidevannsamplitude er beregnet. Tidevannsamplituden er av vesentlig betydning for hvor mye friskt sjøvann som pumpes inn i bassenget. Det konkluderes her med at bare det mest omfattende reguleringsalternativet, som innebærer en markert økning i ferskvannstilførselen både sommer og vinter, vil føre til en vesentlig reduksjon av vannutskiftingen og dermed forverring av oksygenforholdene i dypere lag. I tillegg til blokkeringseffekten vil redusert tetthet av innstrømmingsvannet fra fjorden utenfor kunne føre til at dette innlagres høyere oppe i Østerbøvannet.

Mulighetene for blokkering av fjordutløp vil være størst i flomperioder. En slik blokkering er registrert i Drammensfjorden av BEYER (1976a), og Beyer argumenterer for at reduksjon av flomvannføring ved en eventuell regulering vil føre til en forbedring av oksygenforholdene i fjorden. Beyer hevder også

at en reguleringsgenerert økning av den estuarine sirkulasjon til andre tider av året vil trekke i samme retning.

Men om farene for blokkering er størst i flomperioder, er konsekvensene av endret utskifting om vinteren mer alvorlige. Generelt er bunnvannsfornyingen i norske poller begrenset til perioder om vinteren når lav temperatur og liten ferskvannstilførsel fører til at vannmassene i terskelnivå oppnår tilstrekkelig tetthet til å fortrenge gammelt bunnvann. Følgelig er det ferskvannstilførselen på denne tiden som vil ha betydning for disse utskiftingene. Mulighetene for at endret avrenningsmønster vil føre til dårligere bunnvannsutskifting er dermed til stede.

Betydningen av forhøyninger av minstevannføring som følge av reguleringer er vurdert for "Loch Etive" på vestkysten av Skotland (EDWARDS & EDELSTEN 1976, 1977), for Kvæningen (LOENG & SCHEI 1978) og for Bolstadfjorden (MAGNUSSON 1980).

Bolstadfjorden har et terskeldyp på bare 1,5 m, og det er i vurderingen for denne fjorden lagt vekt på at økt vintervannføring kan resultere i en blokkering av utløpet ved tidspunktet for bunnvannsutskifting. Allerede før en foreløpig regulering, var virkningen av ferskvannets blokkering fremtredende med  $H_2S$  - dannelse i bunnvannet som resultat (STRØM 1936).<sup>3</sup> Beregninger viser at den gjennomførte reguleringen (vintervannføring 20 m<sup>3</sup>/s) er av en slik størrelsesorden at fjordens vannutskiftingsmekanisme kan ha blitt mindre effektiv, men det foreligger ikke hydrografiske data fra perioden etter utbyggingen som kan bekrefte eller avkrefte dette (MAGNUSSON 1980). Magnusson fremhever farene for økt  $H_2S$ -dannelse i dypvannet ved ytterligere endringer av fjordens sirkulasjonssystem. I en ekstrem situasjon kan hele fjordens dypvann bli oksygenfritt. Ved større hydrografiske forandringer kan hydrogensulfidholdig vann også komme opp i overflatelaget (MAGNUSSON 1980).

Resultater fra "Loch Etive" viser at bunnvannsfornyelsen kommer som en følge av perioder med lav ferskvannstilførsel (EDWARDS & EDELSTEN 1976, 1977). Bufferkapasiteten en magasinering representerer ved å slippe ut vann også i tørkeperioder, er fra modellstudier beregnet å ha potensiale til å halvere frekvensen av bunnvannsfornyinger. Påvirkingsmekanismen i dette systemet, som har et 8 m dypt og 4 km langt terskelområde, ansees å være ved redusert tetthet av det inntrengende vannet. I kontrast til resultatene fra modellstudiene har imidlertid den reelle effekten ved foreløpig utbygging vist seg å være liten (EDWARDS & EDELSTEN 1976, 1977).

For Kvæningen er konklusjonen at praktiske konsekvenser av reguleringer vil være små (LOENG & SCHEI 1978). Hydrografiske data viser at bunnvannet selv i indre områder inneholder tilstrekkelig oksygen vinter og vår til tross for at terskeldypet til det innerste av tre basseng bare er på ca 3 m og ferskvannstilførselen til området er regulert (riktignok i beskjedent omfang - vintervannføring 10m<sup>3</sup>/s).

Også følgene av en ytterligere utbygging som ville innebære en fordobling av eksisterende vintervannføring (planer som senere ble skrinlagt), ble vurdert som utbetydelige. Dette begrunnes ved de kraftige tidevannsstrømmene i



området som uansett "ferskvannsløkk" vil være sterke nok til å pumpe sjøvann selv inn i det innerste bassenget.

Etter min vurdering er det rimelig å se resultatene fra Kvænangen som uttrykk for et generelt bilde. Både tidevannsamplituder og topografiske forhold gjør at faren for at reguleringer skal føre til reduksjon av oksygeninnholdet i bunnvannet vil være minst i de nordligste fylkene. En slik antagelse støttes av den naturlige utbredelsen av pollsystem med  $H_2S$ -holdig bunnvann. I følge WASSMANN (1983) er slike ikke kjent fra områder nord for Salten.

Som en dokumentasjon på at teorien om forverrede oksygenforhold som følge av et endret ferskvannsregime også kan slå til i praksis, kan det til slutt henvises til STORA & ARNOUX (1983). Påvirket område er i dette tilfelle den største lagunen på den franske Middelhavskysten. (Dermed er det også sagt at forholdene skiller seg klart fra dem en finner langs norskekysten. Resultatene presenteres likevel her fordi en dokumentasjon av en slik regulerings effekt er av prinsipiell interesse).

Den  $160 \text{ km}^2$  store lagunen med et maksimaldyp på 9,5 m står i forbindelse med sjøen utenfor gjennom en 9 m dyp, trang kanal. Etter byggingen av et vannkraftverk er ferskvannstilførselen til området økt betydelig. Som følge av dette er tidligere oksygenrike vannmasser blitt stagnante, og bassengvannet under 5 m dyp er nå, med unntak for områdene tett ved kanalen der tidevannsblanding gir tilførsel av friskt vann, permanent oksygenfritt. Dette forklares med den tildels sterke lagdelingen av vannmassene som har medfulgt utbyggingen, men forfatterne antar at også økt organisk belastning er en medvirkende årsak.

Ferskvannstilrenningens betydning for bassengvannet i fjorder med dypere terskler har først og fremst vært vurdert for fjordene i British Columbia, Canada. Morfologisk likner disse på de norske (samme dannelsesmekanisme), og et temperert klima fører til at det også i stor grad er et sammenliknbart avrenningsmønster. De canadiske fjordene mottar imidlertid gjennomgående noe større ferskvannsmengder enn de norske.

Generelt muner de canadiske arbeidene ut i en understreking av betydningen av lokal ferskvannstilrenning, mens et gjennomgående inntrykk (som baserer seg i større grad på samtaler enn på publiserte arbeider) er at norske oseanografer legger større vekt på den regionale ferskvannstilførsel (også ferskvannskilder utenfor fjorden) når bl a fortykning av bassengvannet vurderes.

Undersøkelsene fra British Columbia er basisstudier av fjordene, uten vurderinger av følgene ved eventuelle endringer i ferskvannstilførselen. Men dersom argumentasjonen som fremføres har gyldighet, er problemstillingene som diskuteres også relevante i en reguleringssammenheng.

PICKARD (1961) gjennomførte oseanografiske undersøkelser i 39 fjorder på fastlandet. Han konkluderer med at sirkulasjonen i fjordene synes å være dominert av innflytelsen fra elvetilførselen, og at hydrografiske forskjeller fjordene imellom kan forklares som en direkte konsekvens av styrken i den ferskvannsdrevne estuarine sirkulasjon.

Oksygeninnholdet i bunnvannet var ofte lavere i fjorder med liten ferskvannstilførsel enn der ferskvannstilførselen var stor (mindre ferskvann ut medfører mindre nytt saltvann inn). Som ett av flere eksempler nevnes forholdene i "Bute inlet" og "Jervis inlet". Disse fjordene ligger geografisk nær hverandre, har omtrent samme form og dyp, og har utløp til de samme vannmasser. Likevel er oksygenforholdene i dypvannet markert forskjellige, med langt lavere verdier i "Jervis" til tross for at denne fjorden har en mer direkte forbindelse med vannmassene utenfor og en dypere terskel. Imidlertid mottar "Jervis" bare 40% av den ferskvannsmengde som renner ut i "Bute", og den relative mengden som tilføres i bunnen av fjorden er også mindre. Resultatene forklares med forskjellen i "flushing effect" dette medfører.

En tilsvarende undersøkelse av fjordene på Vancouver Island førte til de samme konklusjoner (PICKARD 1963). Også andre forfattere deler Pickards syn på betydningen av fjordenes elvetilførsel (GILMARTIN 1962).

På grunnlag av bl a disse arbeidene klassifiserer PICKARD & STANTON (1980) fjordene på Vancouver Island og på fastlandet i British Columbia etter om de er "high runoff" eller "low runoff fjords". (For å antyde størrelsesorden i ferskvannstilførsel kan det fra PICKARD (1961) grovt utledes at skillet vil ligge rundt en årlig gjennomsnittlig elveavrenning på  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Lave oksygenverdier i dypvannet i de sistnevnte forklares fortsatt med den lavere ferskvannstilførselen, og derved begrenset fornying av vannmassene pga mangel på betydelig estuarin sirkulasjon.

PICKARD (1961) refererer til STRØM's (1936) arbeider fra norske fjorder og er uenig i denne forfatters oppfatning om at stagnasjon i dypvannet ikke har sammenheng med ferskvannsvolumet tilført i overflaten. Pickards påstand blir at både i fjordene i British Columbia og i Norge er grad av stagnasjon i dypvannet bestemt av ferskvannstilførselen.

Dette spørsmålet er lite behandlet i senere arbeider fra norske fjorder. Forverring av oksygenforholdene som følge av reguleringene er ikke vurdert som en aktuell konsekvens i rapportene fra Ryfylke- og Skjomenundersøkelsene. Ved å se på hydrografidata fra noen regulerte fjorder der tersklene ikke er spesielt grunne [f eks Masfjorden (SÆTRE 1974), Sørfjorden (SVENDSEN 1976), Saudafjorden (SVENDSEN & UTNE 1979)], fremgår også at det i bunnvannet er jevnt over tilstrekkelige oksygenverdier. Så selv om det her ikke foreligger for- og etterundersøkelser som kan vise om forholdene er endret, og uten at dette er noen fyldestgjørende undersøkelse, er det berettiget å gå ut fra at de aktuelle fjordene ut fra oksygenbetraktninger ikke er endret til en tilstand som kan ansees å være problematisk.

Det er i det foregående fokusert på oksygenverdier, men i den grad reguleringer påvirker blandings- og utskiftingsmekanismer vil også andre hydrografiske parametre i dypere lag påvirkes. EDWARDS & EDELSTEN (1976) trekker fram at dersom tidspunktet for bunnvannsfornyinger i "Loch Etive" endres, vil temperaturen i dypvannet påvirkes. Som nevnt er dette en fjord med grunn terskel, og bunnvannets egenskaper vil i slike system være bestemt av egenskapene til overflatelaget utenfor terskelen i tidspunktet for innstrømming.

Den klare vektlegging på estuarine mekanismers betydning i canadiske arbeid understrekes av diskusjonen i LEBLOND (1983). Selv for et stort system som "Strait of Georgia" (også stor ferskvannstilførsel) hevdes at ferskvannstilførselen, og sesongmessige variasjoner i denne, er av avgjørende betydning for dypvannsutskiftinger og bunnvannets egenskaper.

Tilsvarende problemstillinger er diskutert for Skjomen av SKRESLET & LOENG (1977). Forfatterne antar her at den estuarine sirkulasjon setter i gang blandingsprosesser som fører til en fortykning og følgelig lavere tetthet av bunnvannet.

På den annen side tyder Skreslet og Loeng's data, som stammer fra tiden før utbygging, på at relativ høy ferskvannsavrenning om vinteren kan hindre vertikaldiffusjon grunnet økt vertikal stabilitet. Dette leder til en konklusjon om at det kan eksistere en grenseverdi for ferskvannstilførsel. Over denne verdien setter estuarin sirkulasjon i gang turbulent diffusjon som fører til fortykning av bunnvann og gunstige forhold for utskifting. Den høye avrenningen om sommeren vil ha en slik effekt. Under denne verdien vil turbulent diffusjon være lav. Dette antas å være tilfelle om vinteren. Den estuarine sirkulasjon vil her ikke kunne oppveie den hemmende effekten ferskvannet har på turbulent diffusjon igangsatt av tidevann og vindkrefter. Forfatterne avslutter med å peke på at vassdragsreguleringer fører til en redusert sommeravrenning og økt vinteravrenning, begge effekter som kan påvirke dypvannsstrømninger til Skjomenbassenget.

Ut fra det nå foreliggende datamateriale fra etterundersøkelsen i Skjomen er det imidlertid ikke mulig å påvise forandringer i de hydrografiske forhold under overflatelaget som åpenbart kan tilskrives vassdragsreguleringene. Eventuelle forandringer forårsaket av reguleringene, er sannsynligvis mye mindre enn de naturlige variasjonene i hydrografiske forhold som kan fremkomme mellom to påfølgende år (SVENDSEN 1983). En hovedkonklusjon i etterundersøkelsen er at de lokale forhold i Skjomen er styrt av endringer i vannmassene utenfor fjorden.

En fokusering på betydningen av endringer i kystvannets sammensetning fremgår også av øvrige arbeider som omhandler bunnvannfornyelse i norske fjorder. Hva som er de styrende kreftene for den fortykning av bunnvannet som er nødvendig for at endringene i kystvannet skal forplante seg under fjordenes terskelnivå, fremgår ikke like klart. Med det er dokumentert at fjordene kan romme store mengder innlagret ferskvann, og vannutskiftinger i fjordene på Vestlandet tidlig på våren kan utgjøre et større ferskvannstilskudd til kyststrømmen enn den påfølgende vårflom (MATTHEWS et al. 1980).

En kobling mellom den estuarine sirkulasjon og sirkulasjonen i dypvannet er trolig svak når mellomlaget er tykt (STIGEBRANDT 1981). Ifølge SVENDSEN & UTNE (1979) virker ferskvannstilførselen til Ryfylkefjordene på de dypere lag først og fremst ved nedstrømming av brakkvannet i blandingssoner utenfor fjordene. Vann herfra føres inn igjen i mellomlaget. Endringer i ferskvannsmengden i de områder hvor nedstrømming finner sted vil derfor kunne påvirke saltholdigheten i mellomlaget. En endring i de hydrografiske forhold her vil også medføre endringer i dypvannet, men i mindre grad enn i mellomlaget

(SVENDSEN & UTNE 1979). Fra den tidligere omtalte undersøkelsen i "Lake Melville" (Kap. 4.1.2) viser målingene i fjordens dypvann at det etter utbyggingen er en svak temperaturøking ( $0,4^{\circ}\text{C}$ ) samt en senking av saltholdigheten på  $0,8^{\circ}/\text{oo}$ . Forfatterne peker på at dette kan ligge innenfor den naturlige variabilitet i systemet, men antar at endringene i dypvannet skyldes endrete blandingsforhold som følge av økt ferskvannsavrenning vinterstid (BOBBITT & AKENHEAD 1982).

### Konklusjon

Både total ferskvannstilførsel og avrenningsmønster er av betydning for bunnvannsutskifting i områder med grunne terskler. Stor ferskvannsutstrømming kan resultere i hel eller delvis blokkering av utløpet slik at inntrenging av nytt saltvann blir begrenset. Overføring av vannmasser som innebærer økt ferskvannstilførsel til pollsystemer, kan dermed resultere i lavere oksygenverdier i dypvannet.

Mulighetene for blokkering av utløpet er størst i flomperioder. En minsking av flomvannføring vil derfor kunne bedre utvekslingen sommerstid. De større vannutskiftingene i norske poller er imidlertid begrenset til perioder om vinteren når lav temperatur og liten ferskvannstilførsel fører til stor nok tetthet i terskelnivå til at vannmassene utenfor kan fortrenge gammelt bunnvann. Forhøyet vintervannføring kan påvirke slike utskiftinger ved at munningen blokkeres, eller ved reduksjon i tettheten av vannmassene i terskelnivå slik at dette innlagres høyere oppe i vannmassene innenfor terskelen. Resultatet er lavere oksygenverdier i dypvannet og økende fare for  $\text{H}_2\text{S}$ -dannelse.

Hvor store endringer som vil inntre ved reguleringer er avhengig av klimapåvirkning, ferskvannsmengde, terskeldyp og tidevannspåvirkning. Topografiske forhold og store tidevannsamplituder gjør at faren for resulterende oksygenmangel i dypvannet avtar nordover i landet.

For fjorder med terskler dypere enn brakkvannslaget er det vanskelig å gi en entydig konklusjon. Canadiske forfattere argumenterer for at omfanget av den estuarine sirkulasjon er av stor betydning for oksygenforholdene i dypvannet. Norske arbeider gir derimot liten grunn til å anta at redusert estuarin sirkulasjon som følge av reguleringer vil forringe oksygenforholdene i dypvannet i nevneverdig grad.

Endringer i ferskvannsmengden i blandingssoner utenfor fjordene vil kunne påvirke saltholdigheten i innstrømmende vann i mellomlaget, og dermed også til en viss grad saltholdigheten i bassengvannet. Endrete blandingsforhold som følge av økt ferskvannsavrenning om vinteren vil muligens kunne påvirke saltholdighet og temperaturforhold i dypere lag. Sikker dokumentasjon for slike effekter foreligger ikke.

#### 4.1.6. Næringssalt- og materialtilførsel fra elver

Elveavrenning til fjordene innebærer mer enn ferskvannstilførsel. Med elvene transporteres også næringssalter, uorganiske partikler og oppløst og partikulært organisk materiale.

Konsentrasjonen av næringssalter i norske elver er varierende, men elvevannet kan i visse tilfeller være en viktig nitrogenkilde for mottaksfjorden (SAKSHAUG & MYKLESTAD 1973, SAKSHAUG 1976, SKRESLET & SCHEI 1976). Derimot er fosfatinnholdet i uforurensete vassdrag jevnt over lavt (SAKSHAUG & MYKLESTAD 1973, SAKSHAUG 1976, HOLTAN 1976, SKRESLET & SCHEI 1976).

En del oppløst organisk og uorganisk materiale vil, grunnet sjøvannets elektrolytiske egenskaper, raskt felles ut nær elveutløpet (AAS 1976). Forbindelser som ikke felles ut vil i betydelig grad kunne forringe lysforholdene i mottaksfjorden (SAKSHAUG & MYKLESTAD 1973, AAS 1976). Dette vil også være tilfellet for uorganiske partikler, som spesielt i fjorder med tilførsel av brevann kan forekomme i store mengder. Påvirkningen vil være sterkest nærmest elveutløpet og vil avta utover fjorden etter som partiklene sedimenterer. F eks viser målingene til AARTHUN (1961) at dypet for 1% lysgjennomtrengelighet innerst i Simadalsfjorden var 3,5 m, i Eidfjorden ca 10 m, mens det gradvis økte til 20-30 m ytterst i Hardangerfjorden. AAS (1976) viser til at tilførsel av brevann fra Hardangerjøkulen om sommeren kan føre til at lysforholdene innerst i Simadalsfjorden er dårligere enn det som sommerstid er målt på Oslo havn.

Omfanget av elvetransport av partikulært organisk materiale til norske fjorder er dårlig dokumentert.

Virkninger av reguleringer på tilførselen av oppløste forbindelser vil dels følge endringen i vannføring, men f eks sesongmessige variasjoner i ferskvannets næringsinnhold (jf. SKRESLET & SCHEI 1976) og endring i tilførselsveier til fjordene (tunnel kontra fritt elveløp) kan i tillegg resultere i endret kjemisk sammensetning av ferskvannet.

Tilførselen av partikulært materiale vil endres kraftigere enn ferskvannstilførselen. Sedimenttransporten øker eksponentsielt med vannføringen (NORDSETH 1976), og ifølge MOLVÆR et al. (1979) kan elver i flomperioder i visse tilfeller transportere like store mengder sediment i løpet av noen dager som resten av året. Lavere flomtopper bør derfor kunne ha vesentlig betydning for sedimenttransporten til fjordene. Ved bygging av magasiner vil det videre innføres sedimenteringsbasseng, noe som fra andre sammenhenger er kjent å ha stor betydning for materialtransport i elver. F eks slår AARTHUN (1961) fast at turbiditeten i breelver avtar kraftig ved passasje gjennom innsjøer, og viser til at en markert forskjell i partikkelinnhold mellom elvene Eio og Sima til dels kan skyldes sedimentasjon fra den førstnevnte i Eidfjordvatn. Videre refererer NORDSETH (1976) til undersøkelser som viser at 90% av sedimenttransporten fra Jotunheimen i elven Bøvra oppfanges av Ottavatnet. Ved endringer av tilførselsveier vil også dette ha betydning for transport av partikulært materiale. Erosjon langs breddene i et reguleringsmagasin kan muligens komplisere det skisserte bildet, men dette forholdet er her ikke nøyere vurdert.

Redusert materialtransport vil føre til bedre lysforhold i mottaksfjorden.

Reguleringer vil ikke bare påvirke transporten til fjordene. Også fordeling av partikkelstørrelse og tyngdepunktet for sedimentering i fjorden vil kunne endres. Et eksempel på hvordan sedimentering i, og partikkeleksport fra Frierfjorden varierer med varierende vannføring er gitt i Fig. 27. Det fremgår at tilførselen av partikulært materiale er minst ved lav vannføring, men tilgjengelig sedimenterer ca 50% av det elvetransporterte materiale i selve Frierfjorden (sedimentasjon av ca 6 tonn leire/silt pr døgn). Når vannføringen i elven er større, slik som i desember 1976, er sedimenttransporten i elven stor, men pga brakkvannslagets kortere oppholdstid i fjorden som følge av sterkere overflatestrøm, transporteres ca 90% av sedimentene ut av fjorden.

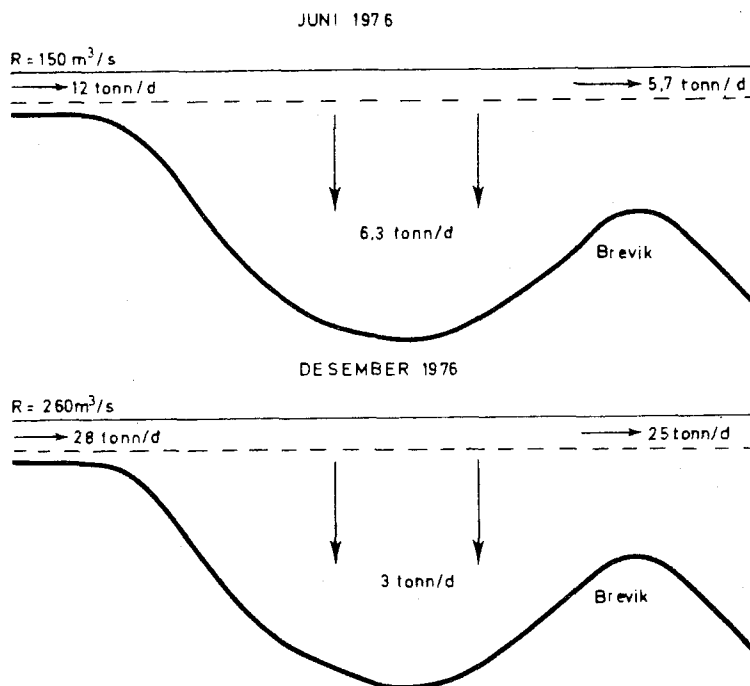


Fig. 27. Sedimenttransport i Skienselva og sedimentering i Frierfjorden ved lav - (juni 76) og normal vannføring (desember 76). (Etter MOLVÆR et al. 1979).

Jeg kjenner ikke til undersøkelser som omhandler endret sedimentering i norske fjorder som følge av reguleringer. For vurdering av konsekvensene ved utbygginger i "James Bay" regnes dette å være et sentralt spørsmål (D'ANGLEJAN 1982, KRANCK & RUFFMAN 1982) (se nærmere diskusjon under Kap. 4.2.5).

#### Konklusjon

Elveavrenning til fjordene innebærer mer enn ferskvannstilførsel. Med elvene transporteres også næringssalter, uorganiske partikler og oppløst og partikulært organisk materiale.

Ved regulering av ferskvannstilførselen vil tilførsel av oppløste forbindelser dels følge vannføringen, men reguleringer kan også føre til endret kjemisk kvalitet på vannet som tilføres fjordene.

Transport av partikulært materiale øker eksponentsielt med vannføringen, og reduksjon av flomtopper gir dermed markerte utslag. Likeledes vil innføring av sedimenteringsbasseng og overføring av elvevann til rørgater redusere partikkeltransporten til fjordene. Dette vil føre til bedre lysforhold i mottaksfjorden. Endring i strømhastigheter påvirker sedimenteringshastighet og fordeling av partikler tilført fjorden. Ved liten vannføring vil en relativt større andel av det tilførte materialet sedimenteres langt inne og omvendt.

## 4.2. Biologiske forhold

### 4.2.1. Planter og dyr i strandsonen

Konsekvensene av endret saltholdighet vil i denne rapporten først og fremst bli sett i lys av innvirkning på fysiske prosesser i vannsøylen og medfølgende konsekvenser for biologiske forhold. For organismer som lever i strandsonen der ferskvannspåvirkningen er størst, kan imidlertid reguleringer også få innflytelse ved at direkte fysiologisk påvirkning fra ferskvannet kan være bestemmende for utbredelsen. Som i følgende kapitler er dokumentasjon for reguleringers innvirkning på biologiske forhold mangelfull, og det kan her bare skisseres en del sannsynlige resultater av endret elveavrenning.

Både fra botaniske og zoologiske undersøkelser i norske fjorder fremgår at den store ferskvannstilførselen om sommeren virker som en økologisk stressfaktor for de organismer som er utsatt for størst direkte påvirkning. Dette gir seg utslag både i en fattigere strandson flora og fauna med økende ferskvannspåvirkning innover i fjordene (JORDE & KLAVESTAD 1963, BRATTEGARD 1966, ERVIK et al. 1982). (Tilsvarende kan lave saltholdigheter i overflatelaget virke hemmende for den pelagiske primærproduksjonen (SAKSHAUG & MYKLESTAD 1973), samtidig som overflatelaget blir lite tilgjengelig for en del dyreplanktonarter (FOSSHAGEN 1979).

På denne bakgrunn er det i utgangspunktet liten grunn til å anta at en minsket vårflom vil ha særlige skadevirkninger for de organismer som lever ved den sterkeste ferskvannspåvirkningen, og det er fristende å hevde at det trolig vil være overvekt av virkninger som kan klassifiseres som "positive". (Se forøvrig diskusjon over bruken av termene "positive" og "negative" effekter til slutt i dette kapitlet). F eks er det rimelig å gå ut fra at det innerst i Jøsenfjorden, som skiller seg fra områdene utenfor med å ha et lavt antall arter (HOVGAARD 1974), vil bli en rikere flora og fauna som følge av en markert nedgang i ferskvannstilførselen etter overføring av ferskvannet til Hylsfjorden. Et eksempel på øking i antall arter, større biomasse og forhøyet primærproduksjon i en nærsone etter minsket ferskvannstilførsel fremgår av POMEROY & STOCKNER (1976). (Redusert sedimentering er her en medvirkende årsak til dette resultatet).

Virkninger på livet i strandsonen som følge av lavere sommervannføring vil for en fjord som helhet i de fleste tilfellene trolig være av beskjedent omfang. Fra Kap. 4.1.1 fremgikk at det for flere fjorder ikke kunne fastslås om saltholdigheten sommerstid var signifikant endret etter reguleringer uten at det ble foretatt en grundigere dataanalyse. Når vi samtidig vet at organismene i strandsonen lever i et naturlig svært variabelt miljø, og er tilpasset disse

variasjonene, synes det rimelig å fastslå at det med så marginale endringer er liten grunn til å vente særlige biologiske utslag.

Den relative endring av miljøet er størst i en vintersituasjon, og der reguleringer fører til et markert brakkvannslag, kan en tenke seg en rekke biologiske responser. Det er her viktig å være klar over at lav saltholdighet om vinteren representerer en annen miljømessig utfordring enn lav saltholdighet om sommeren. Dette forholdet skal belyses med to eksempler.

JORDE & KLAVESTAD (1963) drøfter utbredelsen av sagtang (Fucus serratus) i Hardangerfjorden. Denne algen finnes her selv innerst i fjordarmene der saltholdigheten kan bli svært lav sommerstid. Forfatterne trekker samtidig fram at i områder der saltholdigheten er lav også om vinteren (f.eks. i Østersjøen) er utbredelse og vekst sterkt hemmet. Dette skyldes at denne algen trenger høy saltholdighet i vekst- og reproduksjonssesongen som er i vinterhalvåret. Dette miljøkravet er oppfylt i Hardangerfjorden (undersøkelsen bygger på data innsamlet i perioden 1955 - 1960, altså før flere reguleringer i området), og den markerte ferskvannspåvirkningen blir her ikke bestemmende pga den sesongmessige avrenningssyklus. Som en mulig indikasjon på relevansen av dette forholdet i en reguleringsdebatt kan henvises til undersøkelser i det sterkt regulerte Osterfjord-Sørfjord-Veafjord - systemet. Fra disse fremgår at sagtangen i hovedsak forsvinner innover i fjordsystemet (ERVIK et al. 1982). Forøvrig er fjordene så forskjellige at dette ikke kan tas som noe avgjørende bevis.

Larveformer kan ha en annen saltholdighetstoleranse enn voksne individer, og da formeringen følger sesongmessige sykler, vil årstidsvariasjoner i saltholdighet kunne være av viktighet. F eks peker BRATTEGARD (1966) i sin diskusjon om utbredelsen av rur i Hardangerfjorden på betydningen av saltholdighetsforholdene i mars/april som er den tiden larvene bunnslår seg.

Disse to eksemplene er tatt med for å belyse betydningen av samstemmighet i sesongmessige variasjoner mellom fysiske og biologiske faktorer. Det finnes flere eksempler og andre kunne vært valgt i stedet. Det er ellers ikke gitt at rur- og sagtangpopulasjoner vil uttynnes som følge av reguleringer.

Det er trolig at virkningen av forhøyet vinteravrenning ofte vil være begrenset til områder innerst i fjordene (jf. Kap. 4.1.1 der omfanget/utbredelsen av brakkvannslag forårsaket av reguleringer diskuteres). I en del tilfeller tyder likevel saltholdighetsdata fra regulerte fjorder på muligheter for påvirkning av organismer i strandsonen over en større geografisk skala (Masfjorden, Osterfjorden-Sørfjorden-Veafjorden) (SÆTRE 1974, GJERP et al. 1982). Den sterke økingen i ferskvannstilførsel til Hylsfjorden etter Ulla-Førreutbyggingen (SVENDSEN & UTNE 1979) og saltholdighetsdata antydnet for Gaupnefjorden etter Breheimsutbyggingen (GJERP & TRYGGESTAD 1981), peker i retning av muligheter for biologiske responser også over større deler av disse fjordene.

I tillegg til de enkelte arters fysiologiske toleransegrenser kan utbredelsen av organismer ved miljøforandringer påvirkes gjennom endrete konkurranseforhold og relasjoner mellom rov- og byttedyr. At variasjoner i ferskvannstilførsel har resultert i slike utslag er bl a vist av MEETER et al. (1979). (Det må her



understrekes at resultatene fra en rikholdig utenlandsk litteratur om betydninger av variasjoner i saltholdighet bare i liten grad kan overføres til norske fjorder der den relative ferskvannsinntilførsel og variasjoner i denne er mindre fremtredende enn i de mer typiske estuarier). Et aktuelt eksempel fra norske fjorder er forholdet mellom blåskjell og sjøstjerner. Sjøstjerner spiser blåskjell, men disse er ofte lite tilgjengelige da sjøstjerner ikke tåler like lave saltholdigheter. HOVGAARD (1984) skisserer en rekke mulige relasjoner mellom disse organismene der nettovirkningen av miljøendringer (reguleringer) varierer etter som ulike forhold i samspillet mellom miljøkrav for de to organismene og forholdet byttedyr/bytte vektlegges. Blåskjellene danner igjen grunnlag for et rikt økosystem (AA 1980), og dersom utbredelsen av denne nøkkelarten påvirkes vil dette igjen få betydning for andre grupper.

Forhold som de ovennevnte kompliserer vurderingene ved forsøk på inndeling av virkninger som positive eller negative. F eks kan ferskvannsmengdene i fjordene som tidligere er omtalt som en økologisk stressfaktor, muligens være et fortrinn for et rikt utbytte av blåskjell ved at forholdene for rovdyr og konkurrerende organismer (eksempelvis påvekst av sekkedyr) forverres i sterkere grad. Det kan her henvises til landbruket der tilførsel av giftstoffer, som opplagt er en økologisk stressfaktor, har gunstig virkning ved at den vekst en er interessert i, dermed hevder seg best i samspillet med andre organismer.

Endringer av isforholdene kan få stor betydning for flora og fauna i strandsonen. F eks er blåskjell sterkt utsatt for isskuring, og hele bestander i tidevannsbeltet kan inne i fjordene utryddes i harde isvintre (P. HOVGAARD pers. medd.). Redusert vegetasjon etter isskuring er beskrevet av BOLTON (1983). Ellers har også påvirkning av lysforholdene vært nevnt som et moment i forbindelse med isleggingens biologiske betydning (NYGAARD 1979).

I en diskusjon om reguleringspåvirkning av organismer i øvre lag er det også grunn til å henviser til Kap. 4.2.5 der virkninger av endret partikkelinnhold omtales.

### Konklusjon

Den høye ferskvannstilførselen til fjordene i sommerhalvåret fungerer som en økologisk stressfaktor for organismer som lever ved sterk ferskvannseksposering. Redusert sommeravrenning vil derfor i prinsippet bedre de fysiske livsbetingelsene for planter og dyr i strandsonen. Men biologiske interaksjoner kan spille sammen med de fysiske endringene og gjør det vanskelig å forutsi netto virkning for den enkelte art. I praksis antar jeg imidlertid at utslagene av redusert sommervannføring i de fleste tilfeller vil bli små, da endringene i det fysiske miljøet som oftest vil bli marginale sett i forhold til organismenes tilpasningsevne.

Lav saltholdighet om vinteren representerer en større miljømessig utfordring enn lav saltholdighet om sommeren. Biologiske virkninger av forhøyet vinteravrenning vil hovedsakelig være begrenset til områder innerst i fjordene, men i en del tilfeller tyder hydrografiske data på at det kan ventes virkninger også over et større geografisk område.

Endrete isforhold kan i betydelig grad påvirke flora og fauna i tidevannsbeltet (isskuring).

#### 4.2.2. Planktontransport i øvre lag

Planktoniske alger og dyr mangler, eller har ikke sterk nok egenbevegelse til selv å bestemme sin horisontale utbredelse. Fordeling av disse organismene er dermed i vesentlig grad bestemt/påvirket av strømsystem. Endrete strømforhold som følge av vassdragsreguleringer vil derfor kunne påvirke utbredelse og bestandsstørrelse av fauna og flora (STRØMGREN 1974a, b, 1976, SCHEI 1975, 1976, BEYER 1976b, SAKSHAUG 1976, NYGAARD 1979, EILERTSEN 1983).

Hovedutbredelsen av planktonalger finnes i de øvre lagene der innflytelsen av ferskvannspåvirkete strømsystem er sterkest. Fra områder med høy ferskvannstilførsel er det ofte rapportert at "utvasking" av algene er en medvirkende årsak til små planteplanktonmengder (f.eks. STOCKNER et al. 1977, COTE & LACROIX 1979). WINTER et al. (1975) forklarer sen start på våroppblomstringen i "Pudget Sound" med rask planteplanktontransport ut av systemet i flomperioder. M a o får en lokalt ikke bygget opp noen særlig biomasse grunnet den korte oppholdstiden av overflatevannet.

I samsvar med denne type resultater antar NYGAARD (1979) at vekstmulighetene for planteplankton i Sandfjordssystemet vil kunne reduseres i perioder der reguleringer fører til økt ferskvannstilførsel og medfølgende redusert oppholdstid for brakkvannet.

En slik virkning synes å fremgå fra Skjomenundersøkelsene. Generelt ser det ut til at planktonveksten inne i fjorden startet noe senere i etterundersøkelsen enn i forundersøkelsen (EILERTSEN 1983) [jf. den antatte øking i strømmen ut fjorden om våren etter reguleringen (SVENDSEN 1983)]. Våroppblomstringen i 1979 startet også betydelig senere enn de to øvrige år som inngikk i de avsluttende undersøkelsene. Samtidig var elveavrenningen i mars, april og mai klart større dette året. Eilertsen antar at større grad av utvasking av celler fra fjorden kan være årsak til forskyvningen i oppblomstringstidspunktet.

En mulig positiv virkning for produksjonen i regulerte fjorder er økt oppholdstid av overflatevann om sommeren (reduisert flomvannføring) (BEYER 1976b).

Som fremgått i Kap. 4.1.2, vil ikke bare hastigheten av overflatestrømmen påvirkes ved reguleringer, men også den vertikale strømstruktur vil endres. Algenes vertikalutbredelse i forhold til strømprofilen blir dermed av avgjørende betydning for hvilke effekter reguleringer får på transport av cellene. Samspillet mellom variasjoner i overflatestrøm/kompensasjonsstrøm og fordeling av planteplanktonceller er diskutert av CLOERN et al. (1983) for "San Fransisco Bay estuary". Dette området er grunt, og den estuarine sirkulasjon er ofte mer velutviklet slike steder enn i norske fjorder. Forholdene kan derfor ikke sammenliknes direkte, men diskusjonen belyser like fullt mulige mekanismer ved variasjoner i estuarin sirkulasjon som burde være av interesse.

CLOERN et al. (1983) fant at variasjoner i ferskvannstilførselen gav seg utslag i markerte variasjoner i planteplanktonsammensetning, og forfatterne konkluderer

derer med at elveavrenningen styrer planteplankton-dynamikken (både biomasse og artssammensetning) i området gjennom påvirkning av strømsystemene. Høy avrenning vinterstid (ikke lyshemming i dette området om vinteren) førte til en fattig flora dominert av ferskvannsflagellater. Ved normal sommeravrenning, som er betydelig lavere, er området karakterisert ved en kraftig diatomeoppblomstring. I to tørkesomre uteble imidlertid denne oppblomstringen. Dette forløpet forklares med at over en viss ferskvannstilførsel vil diatomeene bli ført ut av systemet. Innen visse kritiske verdier (100 - 300 m<sup>3</sup>/s) vil diatomeene bli ført utover i estuariet, men vil synke ned i kompensasjonsstrømmen før de har nådd utløpet og føres tilbake til produktive, grunne områder. Her vil diatomeene igjen bli ført oppover som følge av medrivingsprosesser. Den vertikale transport i dette spesielle området er beregnet å ha en hastighet sammenlignbar med diatomeenes synkehastighet. På denne måten vil bestanden av diatomeer oppholdes i sirkulasjonsceller, biomassen vil øke og gi grunnlag for en oppblomstring i området. Ved elvetilførsel under den kritiske verdi vil kompensasjonsstrømmen bli for svak til at denne situasjonen kan opprettholdes. Relativ dominans av flagellater og diatomeer vil påvirkes gjennom gruppenes ulike synkehastighet.

Den prinsipielt viktige konklusjon fra dette arbeidet er at endringer i den vertikale strømprofil kan få store konsekvenser for planteplanktontransporten og derved produksjonen i et område.

De samme kreftene som bestemmer planteplanktonfordelingen vil også påvirke fordelingen av pelagiske fiskeegg, fiskelarver og dyreplankton. For fiske- larver og dyreplankton som kan ha en videre dybdeutbredelse (enkelte arter finnes imidlertid i klart definerte lag), og samtidig i varierende grad utfører døgnlige vertikale migrasjoner (som kan føre til alternerende opphold i motsatt rettede strømsystem) vil imidlertid effekten av strømpåvirkning bli mer komplisert enn for planteplanktonet.

Transport av torskeegg med overflatestrømmene i en nordnorsk fjord er diskutert av SKRESLET & DANES (1978). (Torskeeggene flyter helt oppe i overflatelagene). Vind og ferskvannstilførsel fører her til at egg gytt inne i fjorden i april, transporteres ut i kystområdene der klekking finner sted. O.R. GODØ (pers. medd.), som har studert torskebestanden i Borgundfjorden, har i dette systemet funnet at klekkingen finner sted i fjorden. Det er her ingen markerte overflatestrømmer ut fjorden om våren.

STRØMGREN (1974 a, 1976) har i henholdsvis Skjomen og Trondheimsfjorden funnet en signifikant negativ korrelasjon mellom ferskvannsavrenning før vårflommen og bestanden av raudåte (Calanus finmarchicus) i fjordene. Strømgren forklarer resultatene med at de yngste stadiene av raudåta, som de første ukene etter foreldregenerasjonens gyting (mars/april) holder seg i øvre vannlag, blir ført ut av fjorden med overflatestrømmen.

Med grunnlag i disse resultatene postuleres at vassdragsreguleringer vil føre til en økt utvasking av unge stadier av C. finmarchicus grunnet høyere avrenning tidlig på våren og følgelig kraftigere utoverrettede overflatestrømmer. Det antas samtidig at en redusert vannføring om sommeren kan gi redusert tap av dyreplankton på denne tiden (STRØMGREN 1974 a). STRØMGREN (1974 a, b)

hevder videre ut fra variasjoner i forekomst og arters vertikalfordeling at elveavrenning høyst sannsynlig også påvirker utbredelsen av andre arter i Skjomen og Trondheimsfjorden.

Men som for planteplankton er det ikke tilstrekkelig bare å basere argumentasjonen på forholdene i overflatestrømmen. FOSSHAGEN's (1979) resultater som viser konsentrering av Calanus innerst i Jøsenfjorden er et aktuelt eksempel på at en utgående overflatestrøm kan føre til den motsatte effekt av en utvasking. Fosshagen antyder også at en reduksjon av overflatestrømmen om sommeren ved en resulterende reduksjon i kompensasjonsstrømmen vil kunne føre til redusert planktontilførsel til fjorden. Avviket mellom Strømgrens og Fosshagens konklusjoner kan dels sees som et resultat av at ulike livsstadier av raudåte (disse har forskjellige vertikalutbredelse) er studert.

Inngående transport med kompensasjonsstrømmen er også trukket inn som et mulig poeng for brislingerekutteringen til fjordene. BAKKEN (1975) tar utgangspunkt i at det i enkelte fjorder forekommer årsyngel av brisling hvert år, i andre veksler forekomstene fra år til år, mens det i noen fjorder aldri har vært registrert brisling om høsten. Fjordene i Ryfylke er eksempler på dette. I Høgsfjorden og den ytterste delen av Lysefjorden har det hvert år forekommet 0-gruppe brisling. I Jøsenfjorden er det brislingyngel enkelte år, mens det i de nordlige fjordene Vindafjord, Sandeidfjord og i Yrksfjord ikke har vært registrert brislingyngel i undersøkelsesperioden.

Årsakene til denne fordelingen har ikke vært undersøkt, men Bakken mener det er rimelig å anta at utbredelsen, foruten variasjoner i årsklassenes styrke, har sammenheng med strømsystemene. Brislinglarver som om sommeren opptrer i kyststrømmen utenfor Vest-Norge, føres antagelig innover i fjordene i innstrømmende vannlag like under det utstrømmende ferskere overflatelaget. Tilførselen av brislinglarver kan derfor tenkes å ha sammenheng med transport av elvevann ut fjorden idet kompensasjonsstrømmen vil kunne føre larvene utenfra og innover i 5 - 25 m dyp (BAKKEN 1975).

De aller fleste bunnlevende dyr har et planktonisk larvestadium, der larvene i hovedsak finnes i den euphotiske sonen, altså området som innbefatter overflatestrøm/kompensasjonsstrøm. Som eksempel kan nevnes at hummerlarver i det vesentlige er knyttet til de øverste cm av vannsøylen, dersom saltholdigheten ikke er for lav (K.R. GUNDERSEN pers. medd.). Dermed vil også distribusjon av bunndyr være utsatt for endringer i forbindelse med vassdragsreguleringer.

Som tidligere fremgått vil reguleringseffekter på strømsystem variere fra fjord til fjord. Tilsvarende vil konsekvensene for transport av marine organismer være forskjellige om det f eks etter regulering i perioden januar - april genereres en utgående overflatestrøm med underliggende kompensasjonsstrøm, eller om mottaksfjorden er bredere og en får en utgående strøm på høyre side av fjorden og en inngående på motsatt side. Effekter av reguleringer vil videre være avhengig av forhold som vertikalfordeling, til hvilken tid av året larvestadier/dyreplankton finnes i vannmassene, døgnlige vertikalmigrasjonsmønstre og respons på saltholdighetsgradienter.

De mange muligheter for variabilitet gjør at en ikke kan komme med en generell konklusjon om vassdragsregulerings innflytelse på transport av marine organismer. Også for den enkelte art vil de mange variable som spiller inn gjøre mulighetene for feilslutninger store. En fokusering på en komponent (ferskvannstilførselen) som påvirker et strømsystem som i virkeligheten er en resultatant av påvirkning fra flere krefter, vil også kunne føre til at inntrykket en sitter igjen med blir noe skjevt.

Og dersom en spesifikk effekt er klarlagt vil dette reise nye spørsmål. Det er nemlig ikke gitt hvorvidt endringer som vil inntre kan betegnes som negative effekter. Tidligere i kapittelet har effekten av sterkere overflatestrøm ut en fjord om våren vært karakterisert som en utvasking av organismer som lever i de øverste metrene. Nettoeffekten av slik transport vil imidlertid være avhengig av hvilke skala fenomenet studeres over. Tap fra et område representerer tilførsel til et annet. F eks fant STOCKNER et al. (1977) en meget høy primærproduksjon i blandingsområdene utenfor "Howe Sound", British Columbia (henholdsvis 300 og 516 gC/m<sup>2</sup>/år de to årene undersøkelsene pågikk), noe som blir ansett å være et resultat av en kombinasjon av gode næringsforhold og planteplanktontilførsel fra innenforliggende områder. Det er også generelt akseptert at en av de viktigste årsakene til at de fleste bunndyr har et pelagisk larvestadium er at dette øker mulighetene for spredning, og dermed nykolonisering. En alternativ formulering til "utvasking" som betegnelse for økt transport ut fjorden kan derfor i visse tilfeller være at spredningen bedres. Terminologien vil i begge tilfeller kunne være dekkende for de faktiske forholdene, mens det første utsagnet er "negativt ladet", og det andre er "positivt ladet". I denne sammenheng er det et poeng at en i de norske fjordene, i motsetning til mer typiske estuarier der en finner organismer med en rekke tilpasninger som motvirker transport ut av systemet, har en fauna og flora som i stor grad også finnes i kystfarvannene utenfor.

### Konklusjon

Planktoniske alger og dyr mangler, eller har ikke sterk nok egenbevegelse til selv å bestemme sin horisontale utbredelse. Fordeling av disse organismene er dermed i vesentlig grad bestemt av strømsystem.

Det er grunnlag for å anta at reguleringer av vassdrag i en del tilfeller vil føre til endringer i strømsystem i en størrelsesorden som betyr at transport av plankton vil modifiseres i vesentlig grad.

Tidlig om våren (før vårflommen) foreligger muligheter for økt uttransport med aksellererte overflatestrømmer. Endringer i den vertikale strømstruktur medfører at også transport av organismer under brakkvannslaget påvirkes.

Mindre flomvannføring kan gi redusert uttransport i overflaten, og redusert inntransport for organismer med vertikalutbredelse sammenfallende med dypet for kompensasjonsstrømmen.

Hoveddelen av planteplankton og betydelige mengder dyreplankton, egg og larver finnes i et dybdeintervall som påvirkes av disse endringene. Videre finnes betydelige mengder alger og dyr i det aktuelle vertikale skikt på en tid

da de relative endringer i strømsystem er størst. Mange muligheter for variabilitet gjør at det ikke er grunnlag for generelle konklusjoner om vassdragsregulerings innvirkning på den enkelte art.

#### 4.2.3. Temperaturpåvirkning

Temperaturforholdene er av stor betydning for marine organismer, og forhold som utbredelse, gyting og variasjoner i årsklassestyrke blir ofte sett i sammenheng med denne parameteren. Ved endring i temperaturen vil videre faktorer som energiforbruk, utviklingstid hos larver m m påvirkes. Emnet er for omfattende til å bli behandlet i detalj her, men det kan fastslås at f eks de temperaturforhøyninger som i en del fjordarmer finner sted under brakkvannslaget om vinteren (opptil 5 °C), økologisk sett er av "dramatisk" karakter. For å sette de vannkraftinduserte endringer i perspektiv, kan det nevnes at eventuelle temperaturforhøyelser ved tilførsel av kjølevann fra kjernekraftverk (et spørsmål som har vært gjenstand for mye oppmerksomhet) over noe geografisk skala ligger betydelig under disse verdiene (eks. AUDUNSON et al. 1975).

#### 4.2.4. Biologiske forhold i bassengvannet

Dersom en regulering skulle gi opphav til H<sub>2</sub>S - dannelselse i bunnvannet (poller), vil praktisk talt alt liv i de berørte vannmasser utryddes. I tillegg til den lokale effekten kan periodevis større områder påvirkes gjennom oppstrømming av H<sub>2</sub>S - holdig bunnvann. F eks rapporterer OZRETICH (1975) om massedød av fisk ved vannutskiftinger i "Lake Nitinat" som følge av at H<sub>2</sub>S - holdig vann er blitt tvunget til overflaten.

Også mindre dramatiske endringer kan finne sted ved påvirkning av frekvensen av, og tidspunktet for bunnvannsutskiftinger. EDWARDS & EDELSTEN (1976) trekker frem at dersom fornyelsen forekommer sjelden, vil enkelte bentiske organismer kunne fullføre sin livssyklus i dypvannet. Hvis fornyelsen forekommer oftere kan de samme livssyklus bli forstyrret av høye hastigheter i tetthetsstrømmer, av fluktuasjoner i temperatur og saltholdighet og ved sedimenttransport. Hvis temperaturen på det nye og gamle vannet er svært forskjellig, vil de raske forandringene som følger med innblandingen forstyrre pelagiske organismer, eller planktoniske stadier av organismer funnet i bunnvannet.

BEYER (1976b) argumenterer for at utvekslingen over terskelen i Drammensfjorden fungerer som en planktonpumpe der det er en nettotransport av plante- og dyreplankton inn i fjorden fra områdene utenfor. Den innoverrettede planktontransporten er betinget av artenes vertikalfordeling. Redusert blokkering av utløpet i sommerhalvåret vil dermed resultere i større planktonbestander inne i fjorden. Tilsvarende konkluderer THERRIAULT et al. (1984) med at den daglige tidevannutvekslingen har signifikant betydning for sekundærproduksjonen i dypvannet i en fjord på østkysten av Canada. Vannmassene i de produktive øvre lag utenfor fjorden, som ved stigende tidevann føres inn over den 20 m dype terskelen, har høyere tetthet enn bassengvannet innenfor. Tilførselen av alger og dyr vil således innblandes i dypere lag inne i fjorden.

I tråd med den tidligere skisserte canadiske oppfatningen av ferskvannets rolle for forholdene i dypvannet, antyder GARDNER (1980, 1982) at variasjoner i ferskvannstilførsel vil være av betydning for dyreplanktonfordeling også i fjordbasseng med dypere terskler. Dette vil kunne skje gjennom påvirkning av vannkvalitet og frekvens/omfang av inntrenging av utenforliggende vannmasser (adveksjon av plankton). Selv for et relativt stort og åpent område som "Strait of Georgia", regnes variasjoner i ferskvannstilførsel å kunne være av betydning for dyreplanktonet i dypvannet (GARDNER 1977) (jf. hydrografiske betingelser diskutert av LEBLOND 1983). Gardner's synspunkter presenteres her for å utfylle bildet, uten at jeg tar stilling til aktualiteten av disse ved vurdering av norske vassdragsreguleringer. FOSSHAGEN (1979) holder muligheten åpen for endringer i Sandsfjordsystemets dypvannsplankton etter Ulla-Førre-utbyggingen. Resultatene fra Skjomen tyder på at det der ikke har inntruffet vesentlige forandringer i bassengvannets planktonsammensetning etter reguleringen (SANDS & SVENDSEN 1980).

### Konklusjon

Dersom reguleringer gir opphav til  $H_2S$ -dannelse i bunnvannet i poller, vil praktisk talt alt liv i de berørte vannmasser utrykkes. Periodevis kan større områder påvirkes gjennom oppstrømming av  $H_2S$ -holdig vann.

Endringer i ferskvannets blokkerings-effekt vil påvirke tidevannstransport av plankton fra utenforliggende områder. For enkelte system er slik transport antatt å være av vesentlig betydning for sekundærproduksjonen i bassengvannet innenfor terskelen.

Det er ikke avklart hvorvidt det vil inntre endringer i biologiske forhold i dypvannet i områder med dypere terskler.

#### 4.2.5. Næringssalt- og materialtilførsel fra elver - biologiske konsekvenser

Dersom resultatet av en regulering er redusert tilførsel av næringssalter i vekstsesongen, kan dette føre til redusert algevekst. En reduksjon i mengden oppløst organisk materiale kan ha en stimulerende effekt ved at lysforholdene forbedres. Øvrig økologisk betydning av oppløst organisk materiale er usikker.

På et relativt svakt grunnlag er det likevel min vurdering at tilførsel av oppløst materiale i de fleste tilfeller ikke vil endres i en slik grad at dette får vesentlige biologiske konsekvenser. Et mulig unntak er ved overføring av tilrenning fra en fjord til en annen.

Redusert tilførsel av uorganiske partikler kan påvirke biologiske forhold via ulike mekanismer. Bedrete lysforhold vil kunne gi grunnlag for større primærproduksjon. Videre kan høyt partikkelinnhold i vannmassene hemme næringsopptak hos enkelte filtrerende organismer (FARROW et al. 1983). POMEROY & STOCKNER (1976) har dokumentert at et lag av breslam tilført i flomperioder, kan hindre algevekst på substratet nær elveutløp. D'ANGLEJAN (1982) viser til at tilførsel av sandholdig sediment til "James Bay" i flomperioder synes å begrave organisk detritus produsert i vekstsesongen. Ved at

denne sedimenttransporten hindres, antar D'anglejan at en overføring av ferskvannsmengdene fra det aktuelle området vil kunne ha en positiv effekt på resyklring av næringsrikt materiale og dermed på den biologiske produksjon (NB. "James Bay" er langt grunnere enn de fleste norske fjorder). LEVINGS et al. (1983) skisserer ytterligere påvirkningsmåter fra elvetransportert materiale (både uorganisk og organisk) til ulike bunnlevende organismer. Det vises til den sannsynlige betydning av sesongmessige variasjoner i vannføring, men understrekes at biologiske implikasjoner av disse variasjonene gjenstår å få klarlagt.

Begraving av bunnsedimenter kan få en spesiell funksjon der en fjord er påvirket av forurensing. I dette tilfellet kan størst mulig sedimentering ansees å være ønskelig for å nøytralisere effekten av giftstoffer i bunnmaterialet (MOLVÆR et al. 1979). Om en slik situasjon er noe spesiell, kan den nyttes som et eksempel på at særskilte vurderinger bør foretas der det er snakk om regulering av ferskvannstilførselen til forurensete fjorder (gjelder også for andre faktorer som strømforhold, produksjonsforhold etc.).

Endret sedimenttilførsel og -fordeling utover fjorden vil på lang sikt kunne påvirke sammensetning av bunnsedimentene. Teoretisk vil dette kunne påvirke utbredelsen av bunnfaunaen (jf. GRENON 1982), men slike responser vil trolig være så marginale at det her vil være lite relevant å vurdere positive kontra negative effekter.

Det er dokumentert at tilførsel av partikulært organisk materiale fra land (løv, gress etc.) kan utnyttes av marine organismer (SEKI et al. 1968). Fra undersøkelser i kystnære farvann i Canada og i skotske fjorder fremgår videre at elvetransportert organisk materiale kan representere et betydelig energitilskudd til bunnsedimentene (STEPHENS et al. 1967, SEKI et al. 1969, ANSELL 1974). Omfanget av slik tilførsel til norske fjorder er ikke dokumentert. Transport av partikulært organisk materiale i norske elver er imidlertid beregnet å kunne stå for et vesentlig næringstilskudd både for mindre elvebaseng og større vann (referanser i BÆKKEN et al. 1979). Videre har T. BRATTEGARD (pers.medd.), både i sledetrek og grabbhugg fra Sognefjorden og Hardangerfjorden, funnet betydelige mengder terrestrisk materiale i prøvene. Dette er mest fremtredende i sidefjordene, men selv på over 1000 m dyp i Sognefjorden er det et regelmessig innslag av løv, kvister etc. Da omsetningshastigheten for slikt materiale er lav, betyr imidlertid ikke en betydelig forekomst at dette nødvendigvis er et vesentlig næringstilskudd for bunnlevende organismer.

I NIVA's rapport om konsekvensene av en flytebro over Salhusfjorden (KIRKERUD 1983) hevdes at en reduksjon i planktonproduksjonen trolig vil føre til en relativt mindre reduksjon i bentisk produksjon siden dypvannet også får tilført organisk materiale fra fjordområdene utenfor og fra vassdrag. Dette siste punktet dokumenteres imidlertid ikke med data.

De refererte resultatene gir grunn til å betrakte elvetransport av partikulært organisk materiale som et interessant spørsmål, men mangel på dokumentasjon av tilførselshastigheter gjør at det på det nåværende tidspunkt ikke er mulig å fastslå hvorvidt tilførsel av terrestrisk materiale kan være et betydelig nær-



ingsbidrag til norske fjorder. Da det heller ikke er klart hvor stor andel som tilføres via de større vassdrag, kan det ikke fastslås om vassdragsreguleringer vil påvirke slik næringstilgang til bunnsedimentene i vesentlig grad. Siden organisk materiale fra land representerer et direkte næringstilskudd og nedbrytningstiden er lang, er det naturlig å vente at en eventuell absolutt reduksjon i transport til fjordene vil være av vel så stor viktighet som en relativ endring i tilførsel mellom årstider. Spørsmålet burde være aktuelt for fremtidige undersøkelser.

Ved å betegne tilførsel av organisk materiale fra land som næringstilførsel gir terminologien uttrykk for at et slikt tilskudd utelukkende har en positiv virkning for mottaksfjorden. Det må derfor til slutt understrekes at for visse avlukkete områder vil det være ønskelig med minst mulig elvetilførsel av organisk materiale da resultatet av slik transport kan være oksygenmangel i bunnvannet.

### Konklusjon

Jeg har ikke grunnlag for å presentere en generell konklusjon om biologiske effekter av endret tilførsel av oppløst materiale. Det er likevel min vurdering at at tilførsel av elvetransportert oppløst materiale (næringssalter, organiske forbindelser) i de fleste tilfeller ikke vil endres i så stor grad at dette får vesentlige biologiske konsekvenser.

Redusert tilførsel av uorganiske partikler kan gi bedre produksjonsforhold som følge av bedre lysforhold. Fødeopptak hos filtrerende dyr kan påvirkes, og forholdene for bunnlevende organismer kan endres via endret sedimentering (eks. nedslamming og påvirkning av sedimentsammensetning).

Det er ikke avklart om tilførsel av partikulært organisk materiale fra norske elver utgjør et betydelig næringstilskudd for mottaksfjorden, og det er ikke grunnlag for å antyde størrelsesordenen i en eventuell biologisk respons på endringer i slik tilførsel.

#### 4.2.6. Medrivingsprosesser

Spørsmålet om næringstilførsel til den euphotiske sonen ved medrivingsprosesser har vært et sentralt punkt i den norske vannkraftsdebatten. Interessen har vært sentrert om mulige følger en redusert vårflom vil få for næringstilførselen til øvre lag og de konsekvenser dette kan få for ledd høyere i næringskjeden.

Den fremsatte argumentasjon kan i hovedsak summeres som følger: Den estuarine sirkulasjon kan i flomperioder få betydelig omfang. Som nevnt i Kap. 2.2 blandes sjøvann med den utoverrettede brakkvannsstrømmen, og denne blandingsprosessen vil føre til at plantenæringsstoffer blir tilført overflatelagene der lysforholdene er gode nok til at disse kan utnyttes i fotosyntesen. Den økte planteproduksjon denne "gjødslingen" medfører, vil gi gode næringsbetingelser for dyreplankton, noe som igjen fører til bedre livsbetingelser for fisk. Dersom vårflommen magasineres, vil resultatet kunne bli et mer næringsfattig system, og knapphet av plantenæringsstoffer vil forplante seg oppover i nær-

ingskjeden og føre til dårligere overlevelse og vekstbetingelser for fiskepopulasjoner.

Slike hypoteser har i Norge vært fremsatt av SKRESLET (1976, 1979, 1981). Han har sett problemstillingen i større perspektiv enn begrenset til fjordsystem og hevder at endringer i ferskvannstilførselen til fjorder vil påvirke hele kystområdet. Skreslet har særlig vært interessert i mulige betydninger for bestandsstørrelsen av Norsk-arktisk torsk. (En mer detaljert beskrivelse vil følge i Kap. 4.2.8).

Et av argumentene mot Skreslets hypotese har vært at i en lang slutningsrekke er selv ikke den første implikasjonen fra endret ferskvannstilførsel til respons i planteplanktonproduksjon klarlagt. Også andre forskere går ut fra at medrivingsprosesser vil være med å anrike overflatelagene, men betydningen av denne mekanismen blir av SUNDBY (1979) antatt å være ubetydelig/beskjeden, mens MATTHEWS et al. (1981) slår fast at det relative bidraget er ukjent.

For det videre arbeidet fant MATTHEWS et al. (1981) at det var hensiktsmessig å dele Skreslets hypotese inn i tre del-hypoteser. Forenklet sett gav dette:

1. Planteproduksjonen i kystfarvann er i sommerhalvåret korrelert med variasjoner i ferskvannsavløp fra land.
2. Produksjonen av organismer som tjener som fiskeføde, er en funksjon av planteplanktonproduksjonen.
3. Årsklassedannelsen av fiskebestander er en funksjon av mattilgangen fra pelagiske næringskjeder.

Dersom det finnes grunnlag for å forkaste delhypotese 1, faller hele hypotesen, selv om delhypotese 2 og 3 skulle gjelde. En klargjøring av relasjonen elveavrenning/primærproduksjon ble således sett på som en nøkkeloppgave i det videre arbeid.

På bakgrunn av dette er det i det følgende lagt vekt på å trekke fram arbeider der ferskvannets betydning for planteproduksjonen er vurdert. Da det foreligger få slike undersøkelser fra norske områder, er diskusjonen vesentligst basert på utenlandsk litteratur.

Ved presentasjon av sin hypotese bygger Skreslet på konklusjonene i SAKSHAUG & MYKLESTAD (1973). Disse forfatterne fant i Trondheimsfjorden to "vår oppblomstringer" som et årvisst fenomen. Den første startet rundt midten av mars som en respons på økende lysstyrke. Denne oppblomstringen kulminerte i begynnelsen av april. Den andre oppblomstringen fant sted i brakkvannslaget i mai-juni, sammenfallende i tid med vårflommen i elvene. Styrken på oppblomstringen var i hovedsak korrelert med størrelsen på avrenningstoppen.

Denne andre vår oppblomstringen kunne vare i en periode over en måned, og forklares av Sakshaug og Myklestad som et resultat av stadig næringstilførsel

som følge av medrivingsprosesser. Næringsinnholdet i elvevannet synes å ha mindre betydning. Også utover høsten kunne det spores oppblomstringer sammenfallende med økt ferskvannsavrenning.

Også arbeidene til WINTER et al. (1975) har tidligere vært inne i debatten. Det konkluderes her med at ferskvannsavrenningen til "Pudget Sound", som er en isbredannet terskelfjord på USA's vestkyst, er av vesentlig betydning for planteplanktonodynamikken i fjorden. Særlig henvises til den mulige betydning av medrivingsprosesser under flomtopper for en svært høy produksjon ( $465 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{år}^{-1}$ ). Det pekes imidlertid på at en kvantitativ verifikasjon av slike hypoteser ligger noe utenfor "the present state of the art". Total ferskvannstilførsel til Pudget Sound under flomtoppen, lå de to årene Winter et al. studerte systemet rundt henholdsvis 400 og 300 m<sup>3</sup>/s.

I "Strait of Georgia", British Columbia, er det foretatt en grundig studie og analyse av produksjonen i det pelagiske system. Området kan ifølge STOCKNER et al. (1979) betraktes som et estuarie siden det har fri forbindelse med åpne havområder, og overflatelaget er betydelig fortynnet av ferskvannstilførsel. HARRISON et al. (1983) benytter betegnelsen "Coastal basin" på området. "Strait of Georgia" tilføres årlig ca 145 km<sup>3</sup> ferskvann, hvorav opptil 80% kommer fra "Fraser river". Det øvrige kommer fra elver som renner ut i tilgrensende fjorder.

Avrenningsmønsteret til "Strait of Georgia" er sammenliknbart med det en finner langs norskekysten.

Ferskvannets rolle for den pelagiske produksjonen er vurdert over forskjellig skala, fra stimulering av primær- og sekundærproduksjonen i frontområdene utenfor munningen av "Fraser river" (PARSONS et al. 1969 a,b, LEBRASSEUR et al. 1969) via betydningen for den totale produksjon for hele stredet (STOCKNER et al. 1979, 1980, PARSONS et al. 1980, HARRISON 1983) til en stimulering av produksjonen på sokkelen vest av "Vancouver Island" (MACKAS et al. 1980).

Medrivingsprosesser antas å representere en potensielt viktig mekanisme for næringstilførsel til den euphotiske sonen (PARSONS et al. 1969 b, PARSONS et al. 1980, STOCKNER et al. 1980, MACKAS et al. 1980, HARRISON et al. 1983). F eks presenterer PARSONS et al. (1980) resultater fra modellberegninger som viser at nitrogentilførselen til den euphotiske sonen via medrivning fra "Fraser river" under vårflommen (8000 m<sup>3</sup>/s) vil være ca 500 tonn pr dag. (Til sammenlikning kan nevnes at årlig gjennomsnittlig avrenning i Glomma er 720 m<sup>3</sup>/s, mens høyeste registrerte flomvannføring er 3600 m<sup>3</sup>/s (OTNES & RÆSTAD 1971)). Ved å innføre vind i modellen ble beregnede nitrogenverdier fordoblet. Selv om forfatterne peker på at det ikke nødvendigvis er næringsrikt vann som oppblandes i den utgående strømmen, slås det fast at denne mekanismen like fullt står for den betydeligste nitrogentilførselen for primærproduksjonen i "Strait of Georgia".

Også for områdene på kontinentalsokkelen vest av "Vancouver Island" er det beregnet at medrivingsprosesser, i denne sammenheng tilknyttet estuarin sirkulasjon i "Juan de Fuca Strait", sannsynligvis er den dominerende bi-dragsyter til relativt høye næringssalt og plante- og dyreplanktonkonsentra-

sjoner (MACKAS et al. 1980). Et regnestykke på den vertikale tilførsel av næringssalter viser en transport til sokkelområdene på 30 kg. nitrat pr sek. Til sammenlikning trekkes fram at en relativt aktiv "upwellingsone" langs kysten i det studerte området bare ville kunne bidra med ca 20% av den næringstilførsel som er beregnet tilført kontinentalsokkelen via den estuarine sirkulasjon.

Betydning av medrivingsprosesser er også vurdert for flere andre system. Arbeider fra "Gulf of St. Lawrence" vil bli omtalt senere i rapporten der spørsmålet vil bli sett i lys av reguleringer i "St. Lawrence river".

### Konklusjon

En foreløpig konklusjon blir at brakkvannsstrømmens medrivning av underliggende vann synes å gi et betydelig næringstilskudd til den euphotiske sonen i ulike system og under påvirkning av ulike ferskvannsmengder. Både på bakgrunn av primærproduksjonsmålinger og teoretiske beregninger tillegges den relative betydning av denne mekanismen for visse områder meget stor vekt. I flere arbeider fokuseres flomtoppens betydning, og det er her naturlig å henvise til Kap. 4.1.2 hvor det ble pekt på at i en del norske fjorder er det bare i flomperioder den estuarine sirkulasjon er velutviklet.

Den ovennevnte konklusjon belyser imidlertid bare deler av bildet, og en mer nyansert konklusjon om ferskvannets rolle for primærproduksjonen vil måtte være basert på at flere momenter vurderes i sammenheng.

#### 4.2.7. Primærproduksjonen - samlet vurdering

Fra de arbeider som så langt er presentert, fremgår at ferskvannstilførselen påvirker primærproduksjonen via ulike mekanismer. Ved en sammenfatning av disse, samt inkludering av en del andre arbeider, vil det være klart at ferskvannstilførselen fungerer som et "tve-egget sverd" for primærproduksjonen. Stimulerende og hemmende effekter opererer side om side, men med variasjon i relativ betydning slik at nettoeffekten vil variere til ulike tider, mellom ulike system, og også langs geografiske gradienter innen samme system. Dette siste punktet vil bli grundigere drøftet i Kap. 4.3, men et eksempel på et slikt forhold er allerede gitt i Kap. 4.2.2, der det ble pekt på at "utvasking" som følge av stor ferskvannstilførsel gav lav produksjon innerst i en fjord, mens den samme effekten virket stimulerende for området lenger ute som fikk tilførsel av celler (STOCKNER et al. 1977).

Det er i foregående kapittel fokusert på brakkvannsstrømmens produksjonsstimulerende effekt. Forholdet vannføring/medrivning er imidlertid ikke lineært, og for et gitt område vil medrivning også kunne avta med økende ferskvannsmengder (BUGDEN 1981). Dersom sprangskiktet er tilstrekkelig skarpt, vil det bli lite kommunikasjon mellom brakkvannet og underliggende vannmasser, og elvevannet vil i praksis "renne oppå" sjøvannet. De hydrografiske data fra "Lake Melville" (BOBBITT & AKENHEAD 1982) (se Kap. 4.1.2) demonstrerer et slikt eksempel, men det er tidligere pekt på at det i norske fjorder vanligvis er en jevnt økende saltholdighet i overflatelaget utover fjorden. Dette skulle

igjen bety at også effekten av medrivingsprosesser og dermed produksjonsforholdene vil endres langs fjordens lengdeakse.

Brakkvannsstrømmens medrivning og oppblanding av underliggende vann er betinget av hastighetsforskjeller mellom vannlag. Lagdelingen vil ellers som tidligere fremgått, hemme vertikal blanding gjennom sprangskiktet, og mer eller mindre stasjonære eller langsomtflytende brakkvannslag vil også sommersid i det vesentlige kunne fungere som et lokk som hindrer tilførsel av næringsalter til den euphotiske sonen. På den annen side kan et sprangskikt fungere positivt for produksjonen ved at algene ikke føres ut av de øvre lag ved vertikal omblending.

Denne tosidigheten i lagdelingens betydning er diskutert av flere forfattere. SINCLAIR (1978) refererer til arbeider som påviser en negativ korrelasjon mellom vannsøyrens lagdeling og primærproduksjonen. En hemmende virkning på tilførsel av mer næringsrikt dypvann er her et viktigere moment enn at algene ikke føres ut av den euphotiske sonen. Derimot fant Sinclair i sitt undersøkelsesområde (innerst i "Gulf of St. Lawrence") en positiv korrelasjon mellom produksjon og kortidsvariasjoner i lagdeling (som fulgte tidevannssyklus). Dette området er ikke næringsbegrenset, og lagdelingens betydning for å holde cellene i den euphotiske sonen blir her den viktigste. Ved svært kraftig lagdeling brøt imidlertid korrelasjonen sammen. Slike forhold faller sammen ved vårflommen, og ved den høye turbiditeten i denne perioden regnes produksjonen å være lyshemmet (SINCLAIR 1978).

I sin vurdering av ferskvannets rolle i enkelte norske fjorder hevder SAKSHAUG (1976), etter å ha argumentert for ferskvannsavrenning som produksjonsstimulerende faktor i Trondheimsfjorden, at lave biomassedata under flomperioden i Hardangerfjorden, Skjomen og Drammensfjorden tyder på at kombinasjonen av påvirkende faktorer her adderer opp til en negativ effekt (Sakshaug diskuterer ikke effektene utenfor fjordmunningene). Som et generelt forhold antar imidlertid SAKSHAUG (pers.medd.) at vårflommen må sees på som en produksjonsstimulerende faktor.

I de presenterte arbeidene er det innflytelsen av naturlig ferskvannsavrenning som er vurdert. Arbeidene er like fullt relevante for en debatt om vassdragsreguleringers virkninger (jf MATTHEWS et al. 1981). Det har fremgått at ferskvannstilførselen kan ha en vesentlig innflytelse på næringstilførsel, lagdeling, lysforhold og horisontal transport. I tillegg kan lave saltholdigheter i indre, eller skjermete fjordområder (liten vindblanding), virke begrensende på planteveksten. De nevnte faktorene er sammen med beiting fra dyreplankton de viktigste styrende forhold for primærproduksjonen i et område. Det kan derfor uten videre slås fast at endret ferskvannstilførsel vil gi endrete produksjonsforhold. Fortegn og størrelsesorden av responsen i produksjon er imidlertid ikke opplagt.

Endringer i brakkvannslagets dynamikk kan også tenkes å påvirke artssammensetningen av planteplanktonet (jf LANDRY 1977, FOSSHAGEN 1979).

En tidligere produksjonsstart som følge av en mer markert lagdeling om vinteren har vært sett på som en mulig reguleringseffekt (SCHEI 1975, 1977). Re-

sultatene fra Skjomen gir imidlertid ingen indikasjoner på at dette har vært tilfellet ved denne reguleringen (EILERTSEN 1983). Trenden er her, som tidligere nevnt, heller en forsinket start lengst inne i fjorden grunnet økt uttransport med de aksellererte overflatestrømmene.

Det foreligger ikke resultater som kan dokumentere effekter av et eventuelt redusert vinterreservoar av næringssalter. Et vesentlig spørsmål vil her være tidspunktet for inntrenging av vannmasser utenfra kontra tidspunktet for start på våroppblomstring i fjordene (jf Kap. 4.1.4. og Kap. 5.3).

### Konklusjon

I indre, eller skjermete fjordområder kan lave saltholdigheter virke begrensende for planteveksten. Det er videre dokumentert at ferskvannstilførselen kan være av vesentlig betydning for næringstilførsel, lagdeling, horisontal transport og lysforhold. Disse faktorene er av de viktigste styrende forhold for primærproduksjonen i et område. Det kan derfor slås fast at endret ferskvannstilførsel vil gi endrete produksjonsforhold i mottaksfjorden. Men da ulike faktorer kan motvirke hverandre samtidig som effekter vil endres langs geografiske gradienter, er det ikke grunnlag for å postulere fortegn og størrelsesorden av denne responsen.

I tillegg til endringer i produksjonens størrelse, er det antatt at reguleringer kan påvirke planteplanktonets artssammensetning. Videre kan oppblomstrings-tidspunktet om våren forskyves. Det er her muligheter for både tidligere og senere produksjonsstart etter regulering, avhengig av hvilken faktor som dominerer.

#### 4.2.8. Fra elveavrenning til fisk

I enkelte av de refererte arbeidene om medrivingsprosessers stimulering av planteplanktonproduksjonen (Kap. 4.2.6) er det også vist til responderende stimulering av dyreplanktonproduksjon (PARSONS et al. 1969 a, MACKAS et al. 1980). Følges responsen ett trinn videre i næringskjeden er rammeverket for Skreslets hypotese gitt. Sett løsrevet fra denne hypotesen, er en slik forlengelse prinsipielt sett ikke noe kontroversielt spørsmål da det er generelt akseptert at områder med høy plante- og dyreplanktonproduksjon også underholder de største fiskepopulasjonene (se f.eks. RYTHER 1969). Bestemmende faktorer for fluktuerende årsklasser innen et produktivt område, som er det tema som behandles i Skreslets hypotese, er imidlertid et mer åpent spørsmål. Hvorvidt norske vassdragsreguleringer bidrar med endringer i en størrelsesorden som skulle tilsi noen fare for kystbestander av fisk har også vært sterkt betvilt.

Allerede tidlig i dette århundre ble det argumentert for at variasjoner i ferskvannsavrenningen fra norskekysten kunne ha betydning for årsklassestyrken av fisk i kystfarvannene (HELLAND HANSEN & NANSEN 1909, GRAN 1923, SUND 1924). Deretter fulgte en lenger periode uten at spørsmålet synes å ha vært gjenstand for særlig interesse, inntil problemstillingen igjen kom på dagsorden etter at SKRESLET (1976) presenterte sine antagelser.

Før Skreslets hypotese omtales i større detalj, er det imidlertid naturlig å presentere noen tilsvarende tanker fremsatt i forbindelse med reguleringer av "St. Lawrence river", Canada, da konklusjonene herfra er med å danne utgangspunkt for Skreslets teorier. Beskrivelse av systemet, ferskvannstilførsel og ytterligere diskusjoner av reguleringseffekter i "Gulf of St. Lawrence" vil bli presentert senere i rapporten.

SUTCLIFFE (1972) ser på elveavrenning fra "St. Lawrence river" som mulig bestandsregulerende faktor etter å ha studert hummerdata og fangster av tre kommersielt viktige fiskeslag i "Gulf of St. Lawrence". Utgangspunktet er en observert samvariasjon mellom fangster og gjennomsnittlig årlig elveavrenning det året årsklassene rekrutteres. Korrelasjon oppnås ved å innføre en tidsforsinkelse tilsvarende tiden det tar å nå kommersiell størrelse. Korrelasjonene sees på som en indikasjon på at elveavrenning kan være av betydning for larveoverleving eller vekst. Mekanismen antas å være anriking av den euphotiske sonen som følge av medrivingsprosesser. Sutcliffe peker imidlertid på at observerte korrelasjoner ikke betyr at kontrollmekanismer i naturlige system er enkle.

SUTCLIFFE (1973) viderefører arbeidet med korrelasjonsanalyser mellom fangstdata og ferskvannsavrenning. Eksempler er gitt i Fig. 28 og Fig. 29. Han finner at samvariasjonen også er avhengig av hvilken måned for ferskvannsavrenning som legges til grunn for analysen. Dette skulle indikere at spesielle perioder er særlig viktige for larveoverleving.

Foreliggende data av hummerlarvemengder i "Northumberland Strait" forsøkes også korrelert med avrenning i "St. Lawrence river", men ingen samvariasjon oppnås. Derimot eksisterer en samvariasjon mellom larvemengder og avrenningsdata fra en av de største elvene som renner ut der larvene er innsamlet.

På bakgrunn av forklaringsmodellen for disse korrelasjonene (anriking som følge av flomindusert oppstrømming av dypere vann) pekes på muligheten for at en magasinering av vårfloppen kan få betydning for produksjonen av utnyttbare ressurser (SUTCLIFFE 1973).

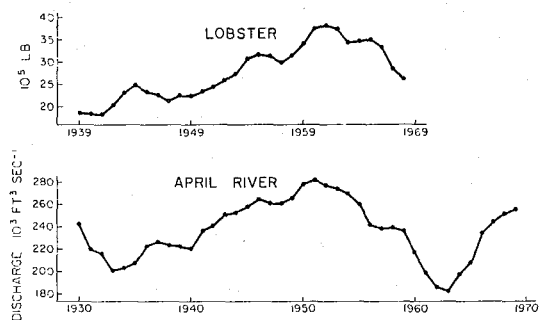


Fig. 28. Samvariasjon mellom årlige hummerfangster og april-vannføring i "St. Lawrence river". Tidsforsinkelse 10 år. (Etter SUTCLIFFE 1973).

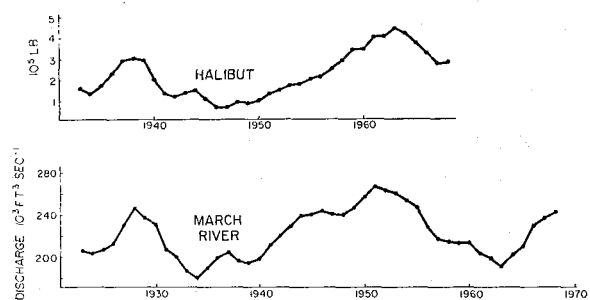


Fig. 29. Samvariasjon mellom årlige kveitefangster og mars-vannføring i "St. Lawrence river". Tidsforsinkelse 10 år. (Etter SUTCLIFFE 1973).

Grunnlaget for Skreslets hypotese er at han gjennom en 12-års periode finner en samvariasjon mellom årsklasser av Norsk-arktisk torsk (beregnet overlevingsindeks) og ferskvannsavrenningen fra sørvestkysten av Norge året før årsklassene rekrutteres (Fig. 30). Han presenterer så en teoretisk forklaringsmodell med ferskvannsavrenning fra Sørvest-Norge som styrende faktor for rekrutteringen av torsk i Lofoten. Modellen kan i hovedsak sammenfattes som følger:

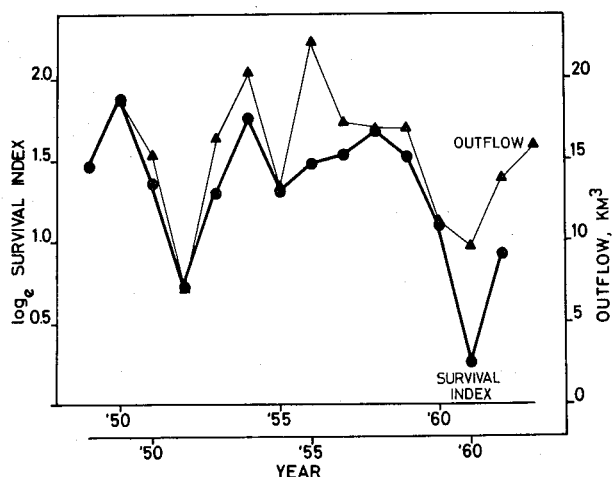


Fig. 30. Samvariasjon mellom overlevingsindeks for Norsk-arktisk torsk og beregnet ferskvannsavrenning fra region III (se Fig. 1) året før rekruttering. (Etter SKRESLET 1976).

Det tas utgangspunkt i vårflommen som produksjons stimulerende faktor. Økt primærproduksjon antas å gi gode livsbetingelser for raudåte (*Calanus finmarchicus*), noe som fører til både økt overleving og fekunditet (fruktbarhet) for denne planktonorganismen.

Skreslet antar at raudåten blir transportert ut av fjordene. Vårgenerasjonen gir opphav til en sommergenerasjon, og denne fraktes videre med kyststrømmen som langs hele norskekysten har en nordlig rettet bevegelse.

Det er kjent at raudåten utover høsten søker mot dypere vann hvor den overvintrer. Ut fra beregninger av strømhastigheten finner Skreslet at raudåte fra Sør-Norge befinner seg i området rundt Vestfjorden (som er det viktigste gyteområdet for torsk) når den søker dypere vann. Som et resultat av nedsøkingen stopper også den nordlige transporten da det i dypere lag er langt mindre bevegelse.

På sen vinteren søker raudåte opp for å gyte. Gyteproduktene (de yngste stadiene av raudåte) er den viktigste føde for torskelarvene i fasen like etter at plommesekken er oppbrukt.

Ifølge en hypotese fremsatt av HJORT (1914), og som fortsatt har mange tilhengere, er det i denne fasen en kritisk periode for fiskelarvene. Nærings-tilgangen ved larvenes første fødeopptak er bestemmende for overlevingen. Og det er i denne periode årsklassens styrke bestemmes.

Kjernepunktet i Skreslets hypotese er altså at bestanden av raudåte som hvert år søker de øvre lag av Vestfjorden for å gyte, er avhengig av størrelsen på



vårflommen i Sør-Norge året før. En stor bestand i Vestfjorden vil igjen gi rikt avkom, noe som vil føre til gode næringsbetingelser for de nyklekkete torskelarvene.

På bakgrunn av de presenterte argumenter er Skreslet sterkt bekymret for hvilke virkninger ytterligere vassdragsutbygging vil få for årsklassene av torsk og kystøkosystemet generelt.

I senere arbeid (SKRESLET 1979, 1981) inkluderes faktorer som redusert horisontal utbredelse av kyststrømmen og redusert stabilitet av overflatelagene som mulige negative konsekvenser av utbygginger. Argumentasjonen er her at et omfattende område med lagdelt kystvann gir et større produktivt areal. I tillegg vil et stort areal av kystvann gi en større kontaktflate for meddriving av underliggende atlantisk vann. Også direkte næringstilførsel fra elver trekkes fram som en aktuell produksjonsstimulerende faktor. Forøvrig fremmes fortsatt de samme teorier angående ferskvannets betydning for årsklassestørrelse av torsk. SKRESLET (1983) hevder at reguleringer også kan føre til responser hos andre høyere organismer.

Sutcliffe og Skreslet baserer sine teorier på samvariasjon mellom to faktorer, og korrelasjonsanalyser nyttes for å finne nøkler til eventuelle årsakssammenhenger. Svakheten ved en slik tilnæringsmåte er at en god korrelasjon ofte ikke trenger å være uttrykk for en årsakssammenheng. Problemet er her at den studerte fysiske variable (fersvannsavrenningen) er sterkt korrelert med andre klimaparametre som er kjent som styrende faktorer for produksjonen i havet (Fig. 31). Den, eller de bestemmende (samvirkende) faktorer er dermed vanskelig å skille ut.

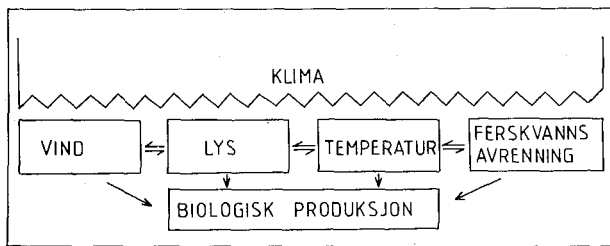


Fig. 31. Sammenhenger mellom ulike klimaparametre og biologisk produksjon.

Et eksempel på usikkerheten knyttet til bruk av korrelasjonsanalyser, fremgår av OTTESTAD (1960) hvor det er påvist en tydelig samvariasjon mellom årsvekst av furutrær (beregnet pba årringbredde) og årsklassestyrke hos torsk (Fig. 32). I dette tilfellet er det opplagt at den første faktor ikke styrer den andre, og en sannsynlig forklaring er at både furutrevekst og årsklassestyrke

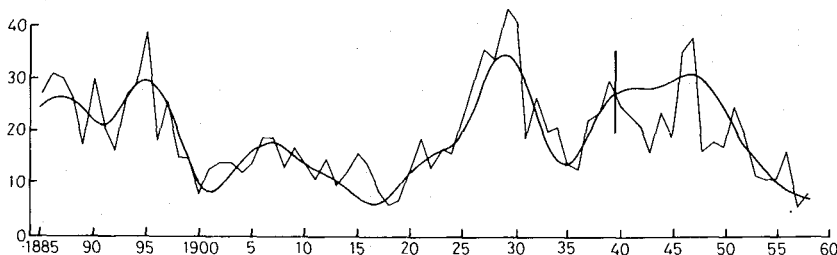


Fig. 32. Samvariasjon mellom fangster av torsk i Vestfjorden og en funksjon (glatt kurve) som beskriver furutrevekst i området. Tidsforsinkelse 7 år. (Etter OTTESTAD 1960).

er styrt av en ytre klimatisk faktor. Fra Fig. 31 kan det slutes at denne ikke trenger å være den samme. F eks er mye nedbør forbundet med spesielle vindretninger, som igjen gir spesielle temperaturforhold etc, og en kan tenke at ulike organismer reagerer på ulike av disse faktorene.

I andre tilfeller kan det være mindre opplagt at en korrelasjon mellom to faktorer ikke er uttrykk for en årsak-virkningssammenheng, og muligheten for feilslutninger vil alltid være til stede. For sterk vektlegging på korrelasjonsanalysens resultater har vært et av argumentene i en tildels kraftig kritikk av Skreslet's arbeider. Det er også kommet fram at korrelasjonen bryter sammen ved en utvidelse av tidsserien (SUNDBY 1979).

HAYMAN & TYLER (1980) er et eksempel på forfattere som har valgt å vektlegge andre forhold enn direkte ferskvannspåvirkning ved tolkningen av korrelasjonsanalyser der årsklassestyrke er vurdert opp mot elveavrenning. Det refereres først til arbeider som konkluderer med at avrenningen i "Columbia river" (vestkysten av USA) påvirker primærproduksjonen i kystfarvannene, og det antas at ferskvannstilførselen vil være gunstig for overleving av fiskelarver. Men samtidig finnes en negativ korrelasjon mellom vannføring om våren og årsklassestyrke av en flyndreart der spesielt år med ekstrem lav flom gir kraftige utslag. På spørsmålet om hvorfor en lav flom er gunstig for overleving av flyndre konkluderes med at resultatene trolig ikke er begrunnet i ferskvannsmengdene, men i stedet reflekterer milde vintre med lite snø. I slike vintre kan mattilgangen være god, og det er redusert fare for negative effekter fra storm og uvær.

I tillegg til usikkerhetene knyttet til bruk av korrelasjonsanalyser, vil ferskvannets varierende, og til dels motstridende virkning på primærproduksjonen, gi grunnlag for et rikt utvalg av konklusjoner også når fluktuasjoner i fiskeressurser diskuteres. F eks hevder SUTCLIFFE et al. (1983) at stor tilførsel av ferskvann (herunder høy flomvannføring) har en negativ effekt for årsklassestyrke av torsk ved at vertikal omrøring, og følgelig næringstilførselen til den euphotiske sonen, hindres. Resultater og teorier presentert i dette arbeidet, kan dermed nærmest betegnes som en invers utgave av konklusjonene i Skreslet's arbeider.

Utgangspunktet for teoriene til Sutcliffe et al. er data som tyder på betydelig næringstilførsel til overflatelagene i "Hudson strait", data som viser at fiskeressursene øker sørover langs kysten av Labrador og analyser (VPA) som viser at årsklassestyrke av torsk her er sterkt korrelert med saltholdighetsvariasjoner. Saltholdigheten ved Labrador-kysten er negativt korrelert med ferskvannsavrenningen til "Hudson Bay".

Forfatterne forklarer resultatene med at anriking ved blandingsprosesser i "Hudson strait" forplanter seg gjennom næringskjeden, men sørlige strømmer og den tid det tar for responser oppover i næringskjeden, fører til at effektene for torskebestanden først finner sted betydelig lenger sør enn utgangspunktet for anrikingen. I år med høy avrenning til "Hudson Bay" vil lagdelingen i "Hudson strait" øke, og hemmet vertikal blanding gir seg i siste omgang utslag i dårligere næringstilbud for torsken utenfor Labrador-kysten.

Korrelasjonene mellom ferskvannsavrenning, saltholdighet og torsk, samt antagelsen om at høy ferskvannsutstrømming fra "Hudson Bay" gir redusert produksjon (fra primærproduksjon til fisk), indikerer ifølge forfatterne muligheter for at reguleringer av ferskvannstilførselen til "Hudson Bay" kan få konsekvenser for fiskeproduksjonen langs kysten av Labrador.

Endelig kan det som motsetning til dette eksempelet henvises til FRIDGEIRSSON et al. (1981) som peker på at den beste årsklassen av torsk utenfor Island i tidsrommet 1970 - 1978 ble funnet et år med stor utbredelse av overflatevann med lav saltholdighet. Poenget i denne sammenheng antas å være gunstige produksjonsbetingelser grunnet tidlig lagdeling om våren.

Den foregående diskusjon kan fungere som en illustrasjon over mangfoldet i effekter, og hvordan spesifikke hypoteser må utarbeides innen, og er knyttet til spesielle geografiske/topografiske forhold osv. F eks kan det når SUTCLIFFE et al.'s (1983) arbeid skal sammenholdes med motstridende konklusjoner (eks SUTCLIFFE 1972, 1973, SKRESLET 1976, MACKAS et al. 1980) argumenteres for at de sterke tidevannskreftene i "Hudson strait" (amplituder på 5-7 m og maksimalhastigheter på tidevannsstrømmen opp i 300 cm/s) uansett bidrag fra eventuell estuarin sirkulasjon vil være den dominerende energikilde for vertikalblanding. I denne situasjonen synes det rimelig at ferskvannets rolle først og fremst blir å dempe virkningen av de dominerende kreftene gjennom en øking i lagdelingen. De presenterte arbeider kan imidlertid også tas til inntekt for et syn om at en ved bruk av korrelasjonsanalyser og konstruerte teoretiske modeller i stor grad kan ende opp der en "måtte ønske". Det er klart at ferskvannets spesielle rolle som både hemmende og stimulerende faktor, avhengig av hvilken effekt som dominerer, gir relativt fritt spillerom for hypotesedannelse og lansering av rimelige forklaringer på avvikende data. Det er videre klart at når en ut fra fornuftig argumentasjon, og med basis i relevante data kan komme til stikk motsatt konklusjon ut fra et relativt sammenliknbart utgangspunkt, gir dette grunnlag for et visst forbehold ved trekking av konklusjoner.

Det vil her ikke bli tatt stilling til hvorvidt en, to eller alle hypoteser diskutert i dette kapitlet, er sannsynlige forklaringsmodeller for de observerte korrelasjoner. Men jeg vil i fortsettelsen trekke fram et eksempel der det synes klart dokumentert at en vannkraftutbygging er den direkte årsak til sammenbrudd i kystfiskerier (ALEEM 1972).

Med en årlig høstflom i Nilen ble det tidligere tilført betydelige mengder næringsalter og organisk materiale til områdene over sokkelen utenfor som ellers er relativt fattige på næringsstoffer. Dette førte til en umiddelbar planteplanktonoppblomstring etterfulgt av en kraftig øking i dyreplanktonmengden. Dette ga igjen grunnlag for en bestand av sardiner, med et årlig utbytte av fisket på ca 15 000 tonn.

Ved fullføring av Aswan-dammen ble hele høstflommen magasinert. Næringstilførselen til kystområdene stoppet opp, og høstoppblomstringen av plankton uteble. Som resultat sank fiskeutbyttet første året til ca 4500 tonn, og året etter til ca 550 tonn. Fettinnholdet i den resterende populasjonen sank også betydelig.

Tilsvarende rapporterer TOLMAZIN (1979) om en katastrofal nedgang i verdien av fiskeressursene i Svartehavet og Azov-sjøen etter at næringstilførselen til områdene er redusert som følge av redusert ferskvannstilførsel. Her regnes også forhøyet saltholdighet å være en samvirkende effekt.

Resultatene fra Middelhavet og Svartehavet-Azov-sjøen kan ikke direkte overføres til norske forhold da det er snakk om andre dimensjoner i ferskvannstilførselen samtidig som næringsinnholdet i elvene er langt høyere enn det som er tilfellet i Norge. Resultatene har likevel prinsipiell interesse da de gjenspeiler muligheten av realiteten i dette kapitlets overskrift ("Fra elveavrenning til fisk"). Påvirkning av produksjonsforholdene har her klart forplantet seg oppover i næringskjeden til utnyttbare ressurser.

### Konklusjon

Det foreligger flere resultater fra korrelasjonsanalyser som er blitt tolket som at variasjoner i ferskvannstilførsel kan føre til variasjoner i utbytte av utnyttbare ressurser. De gjengitte teoriene tar sitt utgangspunkt i ferskvannets påvirkning av primærproduksjonen, og mangfoldet i muligheter for interaksjoner på dette nivå gjenspeiles i varierende konklusjoner for ferskvannets påvirkning av organismer høyere i næringskjeden. Kombinert med usikkerhet knyttet til bruk av korrelasjonsanalyser, gjør dette at det så langt ikke er mulig å presentere en generell konklusjon om vannkraftutbygginger vil påvirke fiskeressurser i vesentlig grad. Det er imidlertid dokumentert at dette har vært tilfelle i spesielle områder.

#### 4.2.9. Fisk i fjorder

I forrige kapittel er det, i mangel på gjennomførte arbeider, ingen henvisning til resultater fra fjorder. Men dersom reguleringer påvirker planktonproduksjonen i fjordene er det rimelig å anta at dette i større eller mindre grad også her vil forplante seg oppover i næringskjeden.

Det er en generell oppfatning at brisling i år med god planktonproduksjon er feitere og av bedre kvalitet enn i år med mindre produksjon (E. BAKKEN pers. medd.). En annen indikasjon på planktonproduksjonens betydning fremgår av FOSSHAGEN (1979) som viser til at den mer produktive Jøsenfjorden også er mer fiskerik enn Hylsfjorden. Dette forholdet kan også skyldes den ulike kvalitative sammensetning av planktonet i de to fjordene. Denne forskjellen er betinget av forskjeller i brakkvannslagenes dynamikk (FOSSHAGEN 1979). Den kvalitative endring i planktonsammensetning innover i Osterfjord-systemet (ERVIK et al. 1982) kan være en mulig forklaring på at brisling ikke går inn i de innerste deler av dette systemet. Betydningen av lokale miljøforhold indikeres også av en markert forskjell i brislingens størrelse og kvalitet mellom ulike fjorder (BAKKEN 1973).

Flekkvis fordeling av dyreplankton kan være av vesentlig betydning for fiske-larvers næringstilgang (ELLERTSEN et al. 1984). Endret lagdeling som følge av reguleringer vil ved endringer i vindpåvirkning (vertikal omrøring) ha innflytelse på fordeling av dyreplankton. Dermed kan fisk muligens påvirkes også via slike mekanismer.

Dersom reguleringer påvirker tidspunktet for våroppblomstringen vil dette kunne påvirke høyere ledd i næringskjeden. SCHEI (1975) peker på at en forskyving av oppblomstringstidspunkt kan ha direkte eller indirekte betydning for bl a dyreplankton og fiskelarver som er avhengig av at bestemte næringsorganismer er tilstede i forskjellige faser av utviklingen.

Diskusjonen presentert tidligere i rapporten gir grunn til å tro at reguleringer i tillegg til ved påvirkning av fødetilbudet, kan ha betydning for fisk i fjordene via flere andre mekanismer.

Endringer i strømsystemene kan tenkes å påvirke rekrutteringen av enkelte fiskeslag direkte (eksempelvis endret transport av torskeegg ved påvirkning av overflatestrømmer, eller endret transport av brislinglarver ved redusert kompensasjonsstrøm om sommeren). Fysiologiske effekter ved f eks temperaturforandringer er en annen mulighet, og det er også rom for ytterligere spekulasjoner. I mangel på dokumentasjon ser jeg det imidlertid lite formålstjenelig å introdusere flere løse antagelser da forholdene for fisk i fjordene er bestemt gjennom et nettverk av koblede prosesser. Ved å studere Fig. 33 som skjematisk summerer opp forhold diskutert i denne rapporten, bør det fremgå at en ut fra kvalitative betraktninger vanskelig kan resonnerer seg fram til vassdragsreguleringers endelige betydning for ulike bestander. Eventuell videre teoretisk behandling av spørsmålet bør inkludere matematiske modellstudier (jf MATTHEWS et al. 1980, 1981).

Alternative fremgangsmåter der reguleringseffekter forsøkes dokumentert ved studier av fluktasjoner i fiskebestander, vil i vesentlig grad være hemmet av mangel på relevante tidsserier. Og dersom aktuelle data i en del tilfeller skulle

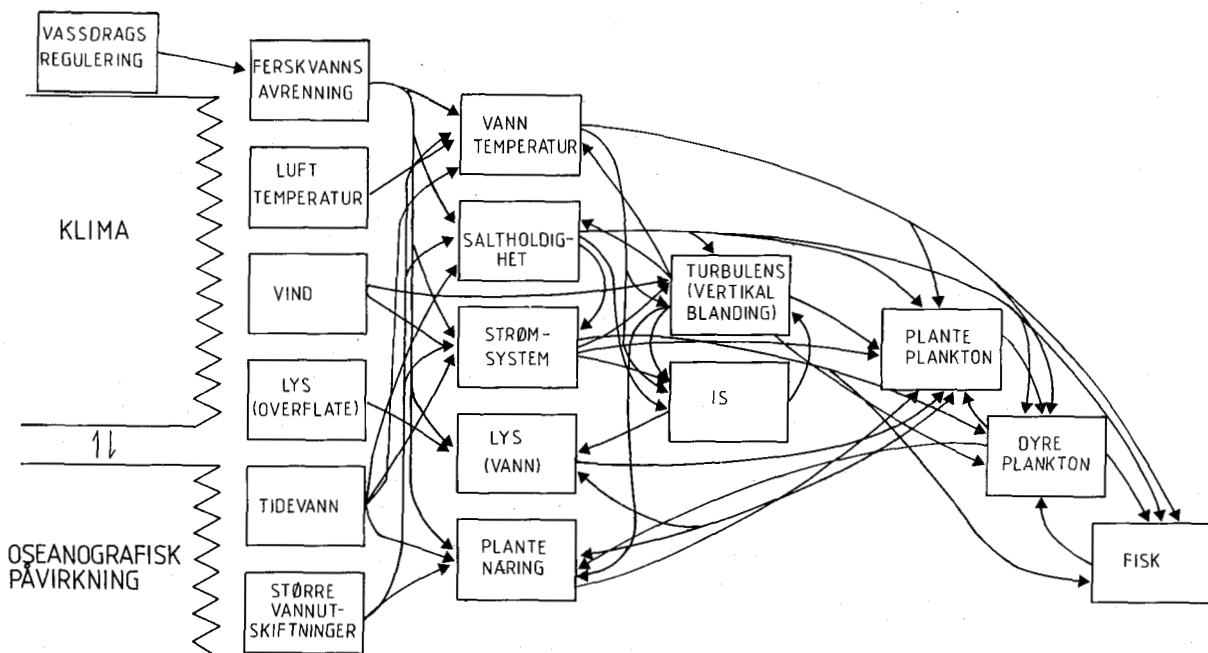


Fig. 33. En del relasjoner av sannsynlig betydning for fiskeproduksjon i fjorder.

foreligge, er det fra det foregående naturlig å forvente at det vil kunne være vanskelig å skille reguleringseffekter/ferskvannseffekter fra betydningen av andre variasjoner. Et viktig moment er her fjordenes tildels åpne forbindelse med områder utenfor. Som eksempel kan det pekes på at brislingrekrutteringen som trolig i vesentlig grad baseres på gyting i Skagerak og Kattegat (BAKKEN 1966), selv om det også foregår en viss gyting man foreløpig ikke kjenner omfanget av inne i fjordene. Årsklassestyrke, som selvsagt vil være av betydning for fjordbestandenes størrelse, vil dermed for en stor del være bestemt av forhold utenfor innflytelsen av lokale vassdragsreguleringer.

Problemstillingen om reguleringseffekter på fiskeressurser i fjordene er ikke like aktuell langs hele kysten. På Østlandet begrenses aktualiteten naturlig av mangel på fjorder. Og for Oslofjorden som er sterkt påvirket av organisk forurensing, vil f.eks. diskusjonen om redusert næringstilførsel være lite relevant. Fra Fig. 13 fremgår også at det er lite restpotensiale for ytterligere utbygging i dette området.

Det største restpotensiale for videre utbygging finnes langs kysten fra Rogaland til Troms (Fig. 13). Fra den tidligere diskusjonen om reguleringseffekter på det fysiske miljøet i fjordene, har det også fremgått at det er i dette området reguleringer vil ha sterkest påvirkning. Det er naturlig å anta at de tildels regionalt betingete forskjeller i fysiske reguleringseffekter mellom ulike fjorder (lagdeling, strømsystem, temperaturforhold etc) også betyr at eventuell innvirkning på fisk vil variere langs kysten. Det er derfor etter min vurdering grunn til å gå ut fra at sjansene for at reguleringer får særlige konsekvenser for fiskeressursene vil være minst i fjordene i de nordligste fylkene. Disse fjordene er blant de mest fiskerike i landet (A. HYLEN pers. medd.). Det er imidlertid ikke grunnlag for å skissere minimumsendringer i fysiske parametre som må oppfylles for at reguleringer skal få en signifikant biologisk effekt. Fra andre sammenhenger er det dokumentert at endringer i fysisk miljø som ut fra en subjektiv vurdering kan synes små, har resultert i kraftige biologiske responser (eks SOUTHWARD 1980). De store årlige fluktuasjonene i utbytte av utnyttbare ressurser som skjer innen rammene av naturlige variasjoner, tyder også på at biologisk produksjon er sensitiv for variasjoner i fysiske parametre.

Endrete is- og strømforhold kan påvirke utøvelsen av fisket. Uten at det er konkrete eksempler å legge til grunn, kan det også tenkes at endringer i brakkvannslagets utbredelse og tykkelse kan få betydning for låssetting av brisling.

### Konklusjon

Det kan pekes på en rekke mulige påvirkningsveier fra vassdragsreguleringer til utbytte av fisk i fjordene. Det er imidlertid ikke gjennomført arbeider der effekter på fiskebestander er undersøkt, og det foreligger følgelig ingen dokumentasjon for at variasjoner i ferskvannstilførsel eller vassdragsreguleringer har en effekt på fiskepopulasjoner i fjordene. Da forholdene for fisk i fjordene er bestemt gjennom et nettverk av koblete prosesser, vil reguleringseffekter trolig være vanskelig å skille fra naturlige variasjoner.

Eventuelle reguleringseffekter på fisk er ikke like sannsynlige i hele landet. De tildels regionalt betingete fysiske reguleringseffekter mellom ulike fjorder, betyr at eventuelle konsekvenser for fisk vil variere langs kysten. Etter min vurdering vil vassdragsreguleringer ha minst virkning på fisk lengst nord i landet der oseaniske forhold har en relativt større innflytelse på forholdene i fjordene enn tilfellet er lenger sør.

Største fysiske endringer av gjennomførte utbygginger er registrert innenfor området med størst kraftpotensiale for videre utbygging (vestkysten fra Rogaland opp til Troms). Dette synes dermed å være det mest aktuelle området for reguleringseffekter på fisk i fjordene. På Østlandet begrenses aktualiteten av spørsmålsstillingen grunnet få fjorder.

Endrete is- og strømforhold kan påvirke utøvelsen av fisket. Endringer i brakkvannslagetets utbredelse og tykkelse kan muligens influere på forholdene for låssetting av brisling.

#### 4.2.10. Akvakultur i fjorder

De viktigste betingelser som settes til en egnet lokalitet for oppdrett av laksefisk, er at anleggene skal være beskyttet mot for ekstreme værforhold, vannutskiftingen må være tilstrekkelig til at det ikke oppstår oksygenmangel, og temperatur og saltholdighet må ikke være for varierende. Absolutte temperaturverdier er også viktig. Ved synkende temperatur avtar veksten, og ved visse minimumsgrenser vil fisken dø.

Lokaliseringen av nåværende oppdrettsanlegg (Fig. 11) innebærer at en relativt liten del av de eksisterende anlegg vil være utsatt for påvirkning fra vassdragsreguleringer. For anlegg inne i fjordene foreligger imidlertid flere muligheter for at reguleringer kan influere på driften.

I fjorder der reguleringer gir opphav til økt isdannelse, kan dette umuliggjøre, eller forringe mulighetene for oppdrett. Det foreligger eksempler på at oppdrettere har søkt om endret område for konsesjon med henvisning til forverrete isforhold etter vassdragsregulering (J. SEIRING pers. medd.). I de tilfeller isleggingen reduseres vil mulighetene for akvakultur bedres.

Regulerings betydning for vannutskiftinger vil være et lite relevant moment i oppdrettssammenheng da den type miljø der reguleringer kan få vesentlig innflytelse på oksygenforholdene (poller), allerede i utgangspunktet er lite egnet for fiskeoppdrett.

Påvirkning av saltholdighet og temperaturforhold kan endre betingelsene for akvakultur. Det har vært antatt at vekstbetingelsene for laks er gunstigst når saltholdigheten er den samme som i vevsvæsken, dvs 10-12<sup>0</sup>/oo S (BRAATEN & SÆTRE 1973). Likevel synes kystområdene å gi det beste miljøet for laksefisk selv om saltholdigheten her ligger høyere enn i fjordstrøkene. Dette skyldes trolig at de store saltholdighetsvariasjonene i fjordene er uheldige, særlig for voksen fisk (AURE 1979).

Tilsvarende finner SUNDBY (1976) at flere fjorder er lite egnet som oppdrettslokaliteter grunnet variable forhold om sommeren. Særlig kan den kraftige senkingen av saltholdigheten som følge av vårflommen virke uheldig inn.

Reguleringsers dempende effekt på disse variasjonene kan derfor ved jevn kjøring av kraftverket tenkes å virke i positiv retning. INGEBRIGTSEN (1982) peker imidlertid på at plutselige stopp i driften kan føre til kraftige saltholdighetsvariasjoner i overflatelaget på kort tid. Varierende kjøring av det nærliggende kraftverket har ført til store problemer ved Fiskeridirektoratets akvakulturstasjon i Matre (O. TORRISEN pers. medd.). (Plasseringen av denne stasjonen er ellers betinget av kraftverket da virksomheten baseres på utnyttelse av varmt kjølevann herfra - se senere).

Et problem ved fiskeoppdrett i fjordområder er at fjordsoner vanligvis er karakterisert ved lavere vintertemperaturer enn kystområdene. For fjordene i Nord-Norge vil lave vintertemperaturer ofte være en begrensende faktor for lokalisering av oppdrettsanlegg (SUNDBY 1976, AURE 1979, 1983). En ytterligere senking av overflatetemperaturen vil redusere lønnsomheten eller gjøre lokaliteten uegnet for lakseoppdrett. Havforskningsinstituttet frarådet nylig innvilging av konsesjonssøknad for lakseoppdrett i Altafjorden under henvisning til den lave overflatetemperaturen som kan forventes etter Altautbyggingen (J. AURE pers. medd.).

Brakkvannslagets isolerende effekt for vannmassene under kan potensielt føre til gunstigere forhold for fiskeoppdrett (AURE 1978), men dette vil først og fremst være aktuelt for enkelte avgrensede fjorder sør i landet. Dersom oppdrettsfisk får oppholde seg i det varme vintervannet under det nedkjølte brakkvannslaget, vil en sannsynligvis oppnå betydelig øking av veksten vinterstid. For å utnytte dette forholdet antyder Aure noen løsninger: Dypere mærer, nedsenkbare mærer, opp-pumping av vann, bobleanlegg, strømsettere o.l. Dersom hensiktsmessige løsninger utvikles, antas at slike fjorder kan ha store muligheter i oppdrettssammenheng. Så langt er imidlertid en rekke praktiske problemer uløst.

I visse tilfeller har varmt kjølevann fra transformatorene vært utnyttet til fiskeoppdrett nær kraftverk. Slike oppdrettsanlegg kan imidlertid være særlig utsatt for trussel fra gassovermetning. Gassovermetning inntreffer ved at noen av de tekniske løsninger som benyttes ved ledning av vann til et kraftverk, innebærer at luft blandes inn i vannmassene under høyt trykk. Resultatet er økte konsentrasjoner av bl.a. nitrogen i det vannet som slippes ut fra kraftverket. Overmetning er som regel et problem bare under perioder med svært høy avrenning (BERG et al. 1983).

Fisk som oppholder seg i overmettet vann, vil få for høy konsentrasjon av nitrogen i blodet. Dette vil føre til bobledannelser i blodet (tilsvarende "dykkersyke"), en tilstand som er dødelig. Fra Norge er det så langt rapportert om tre tilfeller av massedød av fisk (to av disse fra oppdrettsanlegg i fjorder) der konklusjonen har vært at dette skyldes gassovermetning fra kraftverk (BERG et al. 1983).



Naturlige fortynningsmekanismer i fjorder kan være så svake at overmettet vann kan holde seg i svært lang tid. Målinger viser at det kan ta 1-2 døgn før opprinnelig overmetning halveres. I Tafjord er det målt gassovermetning tre mil ute i fjorden.

Skadevirkninger ved gassovermetning er i hovedsak rapportert fra oppdrettsanlegg. Dette henger sammen med at fisken her holdes i øvre lag der effekten er størst, og at de ikke har mulighet for å unnslippe. Det er imidlertid uklart i hvor stor grad frittlevende fisk aktivt vil unngå overmettede områder, og død av frittlevende fisk vil være langt vanskeligere å oppdage enn av fisk i en oppdrettssituasjon. Det er kjent at plommeseekkyngel lett påvirkes av gassovermetning. Nyklekte larver er utsatt for at det dannes utenpåliggende bobler som hever dem til overflaten. Samme effekt har gassansamling i plommesekken. Hos nyklekt yngel kan gassblærer i munnhulen skape problemer dersom blærene er så store at de hindrer gassutvekslinger med vannet (BERG *et al.* 1983). En canadisk undersøkelse på ferksvannsplankton viser at også disse organismene kan påvirkes, først og fremst ved at "påklebete" bobler kan føre dem til overflaten (NEBEKER 1976).

Det er skissert flere mulige metoder for å minske faren for gassovermetning fra kraftverk (BERG *et al.* 1983).

Det er foreløpig for tidlig å uttale seg om hvilke konsekvenser reguleringer kan få for dyrking av organismer som blåskjell, østers samt nye former som etter hvert blir inkludert i den ekspanderende akvakulturnæringen. Som eksempel på mulige problemstillinger kan det tas utgangspunkt i de forsøk som nå skal startes opp med utsetting av torskeyngel i fjorder og kystfarvann. En av forutsetningene for at dette skal lykkes er at fjordene har bæreevne for dette tilskuddet, dvs kan underholde nye populasjoner med næring. Sett i et slikt perspektiv, kan endringer i fjordenes produksjonsforhold få mer vidtrekkende konsekvenser enn dem en umiddelbart kan tenke seg ut fra dagens situasjon.

## Konklusjon

Økt islegging vil redusere mulighetene for akvakultur. Også uten islegging vil lavere overflatetemperaturer om vinteren ha en negativ effekt ved redusert vekst og/eller økt dødelighet av fisken. I områder der det blir mindre islegging etter regulering, vil forholdene for akvakultur bedres. Redusert nedkjøling av vannmassene under brakkvannslaget vil i enkelte fjorder potensielt gi bedre vekstforhold dersom relevante tekniske løsninger utvikles. Kjølevann fra kraftverk har vært utnyttet for å gi økt veksthastighet hos fisk.

Påvirkning av saltholdighetsfluktuasjoner i overflatelaget vil være av betydning for oppdrettsfiskens trivsel. Reguleringer kan her trolig slå begge veier, avhengig av jevnheten i kjøringen av kraftverket.

Gassovermetning fra kraftverk har i et par tilfeller ført til massedød i oppdrettsanlegg. Svake fortynningsmekanismer gjør at gassovermetning kan bli et problem selv et godt stykke ute i fjordene.

Det er ikke tatt stilling til regulerings påvirkning av andre former for akvakultur, men etter som akvakulturnæringen ekspanderer kan nye problemstillinger bli aktuelle.

#### 4.3. "Gulf of St. Lawrence" - et eksempel på vurdering av regulerings effekter

"Gulf of St. Lawrence" påvirkes av meget store ferskvannsmengder. Årlig tilføres  $424 \text{ km}^3$  (SUTCLIFFE et al. 1976), noe som utgjør 34% av all tilførsel mellom  $45$  og  $55^\circ \text{N}$  i det nordvestlige Atlanterhav. (I denne sonen tilføres ellers over halvparten av total ferskvannsmengde fra nordvestkysten langs Atlanterhavet). Til sammenlikning kan nevnes at total ferskvannsavrenning fra norskekysten er beregnet til gjennomsnittlig  $387,7 \text{ km}^3$  (TOLLAN 1976).

Den viktigste ferskvannskilden er "St. Lawrence river" som renner ut innerst i gulfen ved Quebec, men også andre elver gir betydelige bidrag. Månedlige variasjoner i ferskvannstilførsel og påfølgende variasjoner i overflatesaltholdighet er i Fig. 34 gitt for ulike stasjoner. Flere av elvene er regulerte, og avrenning før og etter regulering av "St. Lawrence river" er gitt i Fig. 35. Fra begynnelsen av 70-årene har det vært presentert flere arbeider der ferskvannets rolle i systemet er vurdert, og mulige effekter av reguleringer er forsøkt avdekket. Særlig har interessen vært knyttet til mulige konsekvenser av utbyggingen i "St. Lawrence river".

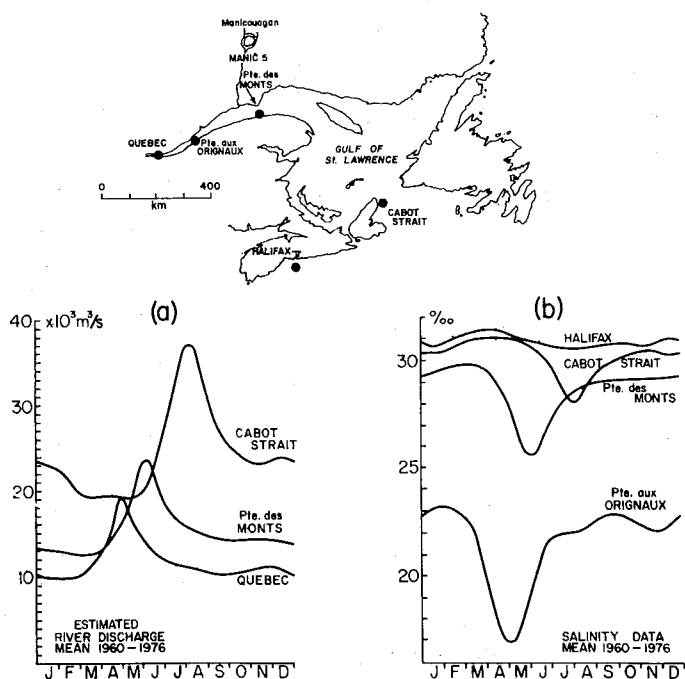


Fig. 34. Gjennomsnittlig månedlig ferskvannstilførsel til "Gulf of St. Lawrence" (a) og variasjoner i overflatesaltholdighet utover i systemet (b). (Etter NEU 1982a).

Som det fremgår av Kap. 4.2.8, har bruk av korrelasjonsanalyser indikert at det finnes en sammenheng mellom utbytte av kommersielt sett viktige ressurser og elveavrenning (SUTCLIFFE 1972, 1973). Med vekt på de samme argumenter som fremført av Sutcliffe, uttrykker NEU (1976, 1982 a,b) på teoretisk grunnlag bekymring for antatte effekter av magasinering av vårflommen. Neu's konklusjon er at brakkvannsstrømmen fungerer som en enorm "sjøvannspumpe" som sørger for nødvendig fornyelse av vannmasser og næringsstoffer, og det

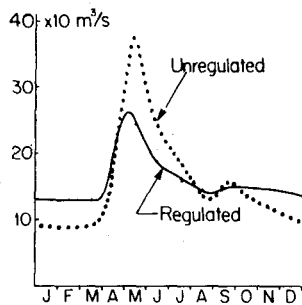


Fig. 35. Uregulert og regulert avrenning i "St. Lawrence river". (Etter NEU 1982a).

postuleres at vannkraftutbygginger vil føre til endringer i primærproduksjonen med følger oppover i næringskjeden. Reduksjon av vårflom og økt vinteravrenning sees som analogt til å forflytte vanning av en hage fra sommerstid (produktiv periode) til vinterstid (biologisk inaktiv periode).

Det er også antatt at variasjoner i ferskvannstilførselen vil være av betydning for temperaturforholdene gjennom påvirkning av blandingsprosesser og strømsystem (NEU 1976, 1982 a, SUTCLIFFE *et al.* 1976, 1977). SUTCLIFFE *et al.* (1976, 1977) argumenterer for at elveavrenning dermed også via temperaturpåvirkning vil være av betydning for årsklassestyrke hos fisk.

Et forsøk på å kvantifisere hvordan vertikalblandingen i ulike regioner vil variere med fluktuerende ferskvannstilførsel er gitt av BUGDEN (1981). I et større arbeid av BUGDEN *et al.* (1982) er det så foretatt en oppsummering over det en vet om ferskvannstilførselens betydning i "Gulf of St. Lawrence". Denne gruppen av forskere ble bedt om å undersøke om det fantes bevis for at vassdragsreguleringer har påvirket det marine miljø på mer enn en lokal skala. Mandatet gikk også ut på å skissere hvilke spørsmål som trengte nøyere utredning med tanke på fremtidige undersøkelsesprogram.

Ifølge BUGDEN *et al.* (1982) synes "Gulf of St. Lawrence" å være et vel egnet utgangspunkt for studier av regulerings betydning for marine miljø. Både fra et oseanografisk og fiskerimessig synspunkt kan området i stor grad betraktes som et avgrenset økosystem. F.eks gjennomgår flere viktige fiskeslag hele sin livssyklus innenfor systemet. Forfatterne hevder derfor at en i stor grad kan gå ut fra at forskjeller mellom år er en funksjon av indre forhold fremfor et resultat av storstilte oseaniske prosesser. Dermed burde variabel ferskvannstilførsel ha større kontroll over biologiske fluktuasjoner enn om det var en mer fremtredende utveksling med områdene utenfor. Et annet moment er de svære dimensjonene over ferskvannstilførselen som gjør at dersom elvetilførsel har betydelige effekter for marine miljø burde de være observerbare i dette systemet.

De konklusjoner som kan trekkes, er imidlertid begrenset av tilgangen på data. Av fysiske og kjemiske data foreligger tidsserier for ferskvannsavrenning, vannivå, isdekke, temperatur og til dels saltholdighet samt begrensede registreringer av næringssaltkonsentrasjoner. Relevante biologiske tidsserier mangler. Datamateriale gir ikke grunnlag for å studere år til år variasjoner i planteplanktonbiomasse og -produksjon. Det samme gjelder for dyreplankton. Foreliggende fiskeristatistikk regnes også som lite egnet da den geografiske

inndelingen er dårlig og variasjonene i fangstene dels avspeiler markedsme-kanismer og endringer i redskapstyper. Et unntak er fiskeristatistikken for hummer, og det antas at denne på en brukbar måte reflekterer reelle variasjoner i bestandsstørrelser. Tidsserier fra forskningstokt er gjennomgående for korte, men det foreligger brukbare data fra beregninger av årsklassestyrke hos torsk.

Reguleringseffekter forsøkes avdekket ved å studere virkninger av variasjoner i naturlig avrenning da data fra før utbygging er sparsomme. Dette synes likevel å være en fornuftig tilnæringsmåte da foreløpig reguleringsgrad ligger i samme størrelsesorden som variasjoner i ferskvannstilførsel mellom år med liten og stor tilrenning. Der data ikke foreligger, må spørsmålet tilnærmes ad teoretisk vei.

En sammenholding mellom vannivådata og elveavrenning gav en positiv korrelasjon innerst i gulfen, ved andre stasjoner kunne det ikke registreres noen sammenheng. Det antas ut fra dette at en faktor som vindpåvirkning har større innflytelse på overflatestrømmene enn ferskvannstilførselen.

For å undersøke vannføringens påvirkning av saltholdigheten, ble først standardavviket av gjennomsnittlig overflatesaltholdighet fra år 1900 og fram til i dag beregnet. År der gjennomsnittlig avrenning avvek mer enn et halvt standardavvik fra tidsseriens gjennomsnitt, ble klassifisert som henholdsvis "high runoff"- og "low runoff"-år. Fra dette ble det funnet at overflatesaltholdig-heten så langt ute i gulfen som ved "Southern Magdalen shallows" (Fig. 36) var 1 ‰ lavere i år med høy avrenning enn i år med lav avrenning, et forhold som antas å ha stor betydning for vertikale prosesser.

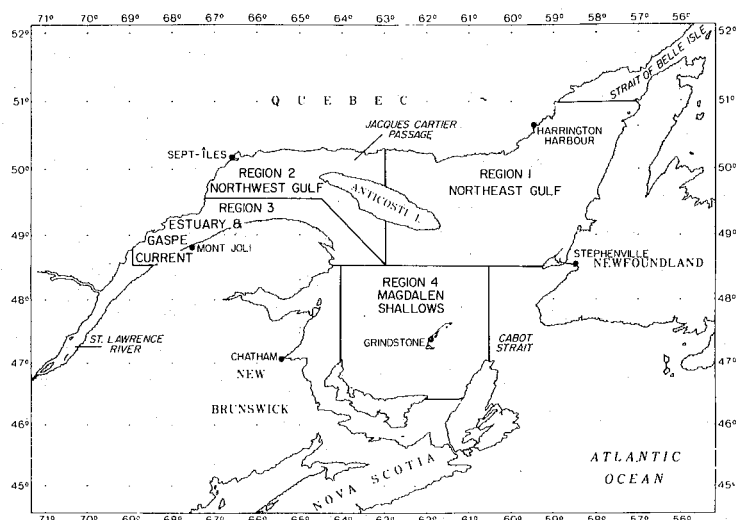


Fig. 36. Kart over regioninndeling benyttet ved vurdering av regulerings-effekter i "Gulf of St. Lawrence". (Etter BUGDEN 1981).

Fra beregninger foretatt for å undersøke om dempingen av vårflommen har hatt betydning for temperaturforholdene i april og mai, ble det konkludert at overflatetemperaturen har sunket ca 0,5 °C grunnet endringer i blandings-dypet. Denne beskjedne endringen antas å kunne ha en signifikant effekt på egg og larvers utviklingstid. Videre ble virkningen av økt vinteravrenning

undersøkt, og det ble her funnet en negativ korrelasjon mellom ferskvannstilførsel og dybden for 1,5 °C isoterme (som er karakteristisk for et definert vannlag - "the cold intermediate layer"). Denne korrelasjonen tyder på at variasjon i høst og vinteravrenning, naturlig og reguleringsindusert, har hatt innvirkning på dypet av vertikal blanding.

Mangel på tidsserier gjør at man ikke kan si direkte hvordan planteplanktonproduksjonen vil respondere på et endret ferskvannsregime. Dette spørsmålet er derfor behandlet på bakgrunn av resultatene fra en teoretisk modell over variasjoner i fysiske parametre.

Spørsmålet om meddriving står sentralt også i Bugden *et al.*'s arbeid. I et moderat stratifisert estuarie som "Gulf of St. Lawrence", vil oppblanding av saltvann (og nedblanding av ferskvann) under påvirkning av tidevannskrefter bli betydelig. Det hevdes at dersom andre faktorer som påvirker meddrivingen (f.eks. tidevannshastigheter, vindstress) holdes konstant, vil generelt sett økt elveavrenning føre til økt meddriving. Forholdet ferskvannstilførsel/meddriving er imidlertid ikke lineært, og den faktiske relasjon er ikke klarlagt.

Også topografien påvirker strøm og blandingsforhold. Topografiske endringer fører til at det klassiske bildet av estuarin sirkulasjon ikke lenger har gyldighet utenfor "Pointe des Monts" (Fig. 34). Som en følge av utvidelsen av estuariet endres strøm og blandingsforhold. Tidevannskreftenes betydning blir mindre framtrædende, mens jordrotasjonens avbøyende kraft blir en hovedfaktor for bestemmelse av styrken og retningen av overflatestrømmen. Det henvises til observasjoner av TANG (1980) som viser at vannmassene med lav saltholdighet avbøyes fra nord nær "Pointe des Monts" og danner en skarp saltholdighetsfront tvers over munningen av "estuariet" (den innerste delen av gulfen (Fig. 36)). Langs fronten går en overflatestrøm mot sør. Systemet med en kraftig front og en overflatestrøm langs denne fortsetter til "the Gaspee coast", og kalles her "the Gaspee Current".

Dette frontsystemet synes å variere kraftig med årstidene. Det er sterkest om sommeren, avtar sent på høsten og forsvinner om vinteren. Både hydrografiske data og satellittbilder viser at det foregår en oppstrømming av dypere vannlag i forbindelse med frontsystemet. Resultatene fra en modellstudie viser at oppstrømmingen øker med økende volum-transport langs fronten (TANG 1980). Følgelig skulle frontaktiviteten være direkte relatert til ferskvannstilførselen.

Utenfor frontområdene i den nordvestre gulfen og videre sør ved "the Magdalene shallows" (Fig. 36) endres de hydrografiske forhold ytterligere, og andre krefter styrer blandingsforholdene. Innflytelse fra estuariet er minimal, og tidevannsblanding og oppstrømming er svak. Hastighetsforskjeller mellom vannlag er viktigste grunn til blanding, men disse hastighetsforskjellene settes hovedsakelig opp av vindkrefter, så for dette forholdet er endringer i ferskvannstilførsel av liten betydning. Derimot vil ferskvannstilførselen påvirke lagdelingen også i dette området, og en høy elveavrenning vil her føre til hemmet blanding grunnet øket vertikal stabilitet. Som tidligere nevnt, varierer overflatesaltholdigheten her 1 ‰ mellom år med lav og høy avrenning.

Ved påvirkning av blandingsprosesser vil ferskvannstilførselen ha innflytelse på næringstilførselen til den euphotiske sonen. I estuariet og i "the Gaspee regions" vil økt ferskvannstilførsel om vinteren ifølge BUGDEN et al. (1982) gi økt medrivning, noe som kombinert med direkte næringstilførsel fra elven vil føre til forhøyete overflatekonsentrasjoner om vinteren.

Ute i den åpne gulfen og over "the Magdalene shallows" resulterer dette i en økt horisontal tilførsel av næringssalter fra estuariet, men blandingsdypet vil minke med den økende ferskvannstilførselen, og dermed også den vertikale innblanding av næringsrikt dypvann.

For systemet som helhet kan økt ferskvannstilførsel om vinteren også føre til økt næringseksport fra gulfen til områdene utenfor, dette fordi biologisk aktivitet er svært redusert vinterstid, og mekanismer som fører til resykling og "fanging" av næringsstoffer i gulfen ikke er i virksomhet.

Redusert vår- og sommertilførsel av ferskvann vil på sin side gi minsket næringstilførsel grunnet redusert blanding og medrivning i indre områder, men muligens større vertikal transport i ytre områder grunnet redusert lagdeling.

Effekter på planteplanktonproduksjonen vil også variere geografisk, men vil ikke bare styres av endringer i næringssaltkonsentrasjonen. Planteplanktonveksten i estuariet er sjelden næringsbegrenset, og virkningen av en redusert våravrenning vil her trolig være et endret tidspunkt for oppblomstring som følge av modifisert lagdeling og endret turbiditet (partikkelinnhold). F eks har SINCLAIR (1978) demonstrert at et kraftig fall i partikkelinnhold (noe som gir bedre lysforhold) sammenfallende med redusert elvetilførsel umiddelbart ble etterfulgt av en kraftig øking i planteplanktonproduksjon i estuariet. I samme arbeid ble det også demonstrert at korttidsfluktuasjoner i lagdeling fører til endringer i produksjonen (se Kap. 4.2.7).

I frontområdene utenfor estuariet og i "Gaspee Current" som er de mest produktive områdene av Gulfen, antas at reduksjonen av medrivning/oppstrømming som medfølger en regulering, vil føre til en nedgang i sommerproduktiviteten. I dette området er elvetilførselens innvirkning på lysforholdene ikke en betydelig begrensende faktor.

Lenger ute er virkningen mer vanskelig å forutsi. Sterkere lagdeling om vinteren vil ventelig føre til et mindre reservoar av næringsstoffer før oppblomstringen tar til. På den annen side vil minsket lagdeling vår/sommer kunne føre til en økt vertikalblanding på denne tiden. Den relative betydning av utgangsreservoaret kontra sommertilførsel vil bestemme hvorvidt reguleringer vil gi økt eller minsket total primærproduksjon i området.

For organismer høyere i næringskjeden antar BUGDEN et al. (1982), som tidligere nevnt, at fangststatistikk for hummer på en brukbar måte reflekterer reelle variasjoner i bestandsstørrelse. Tidligere korrelasjonsanalyser mellom ferskvannsavrenning og hummerdata (SUTCLIFFE 1972, 1973) er derfor utvidet til å inkludere bredere geografisk dekning. Signifikante korrelasjoner mellom fangster og elveavrenning ble oppnådd for flere områder, men ved inkludering av variabel tidsforsinkelse. Fra en del områder der hummerfangstene historisk

sett har vært relativt stabile, var det imidlertid ingen indikasjon på at avrenning fra "St. Lawrence river" kunne være av betydning for bestandsstørrelsen. Det pekes på at en effekt på larveoverleving ikke trenger å være den samme i alle geografiske områder, og det understrekes videre at tilsvarende årsakssammenhenger som diskutert ovenfor (reguleringer - fysiske prosesser i vannmassene - næringssalttransport - primærproduksjon) ikke er klarlagt der korrelasjonsanalyser gir indikasjoner om at elveavrenning har betydning også for organismer høyere i næringskjeden.

Rekrutteringsdata for torsk ble analysert sammen med avrennings-, temperatur- og saltholdighetsdata. Rekrutteringen var ikke korrelert med noen av disse parametrene. Derimot finnes en signifikant korrelasjon med avrenningen sommeren før gyting ( $r = 0.62$ ). At hendelser året før gyting kan være viktige, er i overensstemmelse med resultater som viser at det er på denne tiden antall egg blir bestemt. Det vises samtidig til DOBLEDAY & BEACHAM's (1981) konklusjoner om at produktiviteten til torsk i den sørlige gulfen delvis er en funksjon av elveavrenning.

## 5. AVSLUTTENDE KOMMENTARER

### 5.1. Resultatenes generalitet - overførbarhet mellom ulike områder

Det er nødvendig å spørre hvorvidt de arbeider fra andre regioner som er trukket inn i denne utredningen, gir vesentlige bidrag til forståelsen av vassdragsregulerings betydning for norske fjorder. Det har særlig vært vist til resultater fra ulike områder i Canada. De klimatiske forhold og sesongmessige variasjoner i ferskvannsavrenning er her sammenliknbare med det en finner i Norge, og også de mekanismer som drøftes for ferskvannets virkemåte er i overensstemmelse med aktuelle spørsmålsstillinger ved norske vassdragsreguleringer. Ved en sammenholding av resultatene fra Canada og Norge er det imidlertid viktig å huske på dimensjonsforskjellene i ferskvannstilførsel. Dette er spesielt aktuelt når arbeider fra "Gulf of St. Lawrence" og "James Bay/Hudson Bay" diskuteres. På den annen side kan det hevdes, at selv om den canadiske diskusjonen har sitt utspring i områder som er under innflytelse av tildels langt større ferskvannsmengder enn det avrenningen langs norskekysten representerer, fører fjordenes avgrensede natur til at den relative ferskvannsinntilførsel kan være betydelig. En "overføring" av resultatene kan derfor ha sin berettigelse. Resultatene til SAKSHAUG & MYKLESTAD (1973) og WINTER *et al.* (1975) tyder også på at slike ferskvannsmengder som tilføres fjordene er i en relativ størrelsesorden som gjør en sammenlikning med f.eks. diskusjonen om medrivingsprosesser i områdene rundt "Strait of Georgia" meningsfylt. Men i og med at fjordene har individuelle særtrekk der reguleringseffekter vil variere med faktorer som ferskvannstilførselens størrelse, tidevannsamplitude, terskeldyp og topografi, samt klimapåvirkning og hvor åpen forbindelse det er med vannmasser utenfor, er det klart at overføringsverdien eventuelt ikke vil være generell.

I miljø som f.eks. Svartehavet skiller forholdene seg så mye fra norske områder at resultatene derfra ikke trenger å ha noen relevans for en diskusjon om vassdragsregulerings virkninger på fjorder. På den annen side er en mulig

(om enn noe spekulativ) tilnæringsmåte å snu problemstillingen på hodet og argumentere for at nettopp det forhold at ferskvannstilførselen tydeligvis spiller en vesentlig rolle i svært ulike miljø og via ulike mekanismer, gir grunn til å tro at dette også kan være tilfelle i andre, fortsatt udokumenterte sammenhenger. Et slikt syn fremføres av HASSAN (1975). Etter å ha diskutert ulike reguleringseffekter i sterkt forskjellige system hevdes at erfaringene fra disse bør medføre at en i utgangspunktet tar spørsmålet om regulerings innvirkning også i helt andre områder alvorlig.

## 5.2. Tekniske løsninger/manøverreglement

Vurderingen av reguleringseffekter i fjorder er i denne rapporten gjort under gitte forutsetninger, basert på vanlig praksis i driftsprosedyrer ved norske kraftverk. Forhold som justeringer av tekniske løsninger og manøverreglement vil imidlertid kunne endre konklusjonene. Det er ikke rom for å gå i detalj her, men for å belyse problemstillingen presenteres noen eksempler. Som utgangspunkt kan det henvises til GJERP & TRYGGESTAD (1981) der det er foretatt en vurdering av hydrografi og strømforhold både med og uten tvungen innblanding av sjøvann i ferskvannet. Med tvungen innblanding forstås en måte å oppnå større blanding mellom ellevann og saltvann enn det en får ved et naturlig elveutløp. Det er klart at de forskjeller som fremtrer mellom de ulike utslippsløsninger, også vil få betydning for biologiske forhold (jf spørsmål som saltholdighetspåvirkning i øvre vannlag, transportmekanismer og betydningen av vertikale prosesser).

Løsninger som innbefatter tvungen innblanding av sjøvann har vært vurdert av hensyn til isforholdene og er dermed bare sett som relevant i en vintersituasjon. Men bruk av f.eks. dykket utslipp også i en sommersituasjon innebærer muligheter for interessante manipuleringer av systemet. Dette vil endre lagdelingen og medrivingsprosesser og dermed også produksjonsforholdene i fjorden. En kan videre tenke seg mulighetene for mer stabile saltholdigheter i overflatelagene og dermed gunstigere forhold for fiskeoppdrett. Også andre forhold vil påvirkes, men uten grundigere vurderinger er det ikke mulig å presentere sannsynlige konklusjoner. Det hører med til bildet at bruk av dykket utslipp medfører et energitap, og at det ut fra kraftproduksjonsvurderinger dermed er ønskelig å begrense utstrekningen av slik praksis.

Forverrete oksygenforhold i bunnvannet i poller kan tenkes motvirket ved bruk av større utslippsdyp eller fleksibilitet i kjøringen av kraftverket slik at det innføres perioder med lav vannføring når forholdene ellers ligger til rette for bunnvannsfornyinger.

Det er her ikke nøyere vurdert hvor realistiske og aktuelle disse eksemplene er. De ovennevnte antydningene er bare tatt med for å vise til relevansen av en vurdering av tekniske løsninger i det videre arbeid med en avdekking av vassdragsregulerings mulige konsekvenser for forholdene i fjorder.



### 5.3. Videre arbeid - en del aktuelle problemstillinger

Hvilke fremtidige undersøkelser som bør/kan gjennomføres, er avhengig av hvilke spørsmål en vil ha svar på, og hvilke ressurser en har til rådighet. En total klarlegging av alle mulige relasjoner mellom avrenning og fysiske, kjemiske eller biologiske prosesser er ikke oppnåelig i praksis og er heller ikke nødvendig sett fra et forvaltningsmessig synspunkt.

Som eksempel på hvilken innsats som kreves, kan henvises til arbeidsgruppen fra "Gulf of St. Lawrence" som hevder at det for å klarlegge ferskvannets innflytelse på planteproduksjonen i gulfen trengs en undersøkelsesperiode på opp til ti år, med innsamlinger to ganger i uken i hver av fire regioner. Et noe mer begrenset forslag som anbefales utført parallelt med det første, går ut på å studere lokale effekter av varierende ferskvannstilførsel i nærsonen ("plume region") rundt utløpet av en elv. Periodevise, intense studier (muligens sesongmessige) av ulike parametre vil gi informasjon om responsen på variasjoner i vannføring. I tillegg til den lokale interesse, vil en slik studie gi innsikt i dynamikken i blandingslag og responderende phytoplanktonvekst som vil være av generell verdi. Selv om denne typen undersøkelse vil være av geografisk begrenset omfang, vil utstrekningen i tid måtte være betydelig, og gruppen anbefaler at en slik studie må spenne over en 5-års periode både før og etter regulering av den aktuelle elven (BUGDEN et al. 1982).

En presisering av problemstillinger og prioriteringer for fremtidig arbeid i Norge er gitt av MATTHEWS et al. (1980, 1981). Pga mangel på eksisterende biologiske tidsserier, og de store ressursene som vil kreves for å oppnå de nødvendige biologiske data, understrekes betydningen av å inkludere matematisk modellering i det videre arbeid. Matthews et al.'s anbefalinger vil ellers ikke være et tilstrekkelig arbeidsgrunnlag for fortsatte studier, da aktuelle reguleringseffekter her bare er definert i lys av problemstillinger aktuelle i forbindelse med Skreslet's hypotese.

Erfaringene fra Skjomenundersøkelsene summeres opp i anbefalinger for fremtidige biologiske undersøkelser. Bl a pekes på behovet for en finere tidsoppløsning ved planteplanktonstudier, med hyppigere prøvetaking i perioder der den relative påvirkning fra reguleringer er størst (EILERTSEN 1983). Videre vil det være nødvendig å inkludere metoder som kan avdekke kvantitative endringer i planktonproduksjon. Det blir også ansett som viktig å kvantifisere utveksling av biomasse mellom fjorder og kystfarvann (EILERTSEN 1983).

SANDS (1982) trekker frem at to treårsperioder er for kort tid til å belyse alle faktorer som forårsaker variasjoner i et planktonsamfunn. Hun peker også på behovet for finere vertikal inndeling ved innsamling av dyreplankton, og etterlyser et innsamlingsprogram komponert for å gi svar på spesifikke utgangshypoteser.

Gjennom arbeidet med denne rapporten har det fremgått at det er en generell mangel på biologiske tidsserier fra norske fjorder, og spesielt er det mangel på grunnlagsmateriale med tilstrekkelig oppløsning i rom og over tid. Tilgangen på fysiske data har vært bedre, og det foreligger her også tidsserier som så langt ikke er analysert med tanke på å avdekke reguleringseffekter. Spørsmål

som i hvor stor grad redusert sommertilrenning kan registreres i hydrografiske data, om effekter av økt ferskvannstilførsel om vinteren kan spores i større fjordsystem (som Sognefjorden/Hardangerfjorden) også utenfor sidefjordene, og hvor mange fjorder og hvor store vannmasser i disse som er karakterisert ved forhøyete vintertemperaturer under brakkvannslaget, kan muligens delvis besvares på bakgrunn av allerede foreliggende data (NVE, NOD). Det er dermed muligheter for økt forståelse av vassdragsregulerings innvirkning på fysiske forhold uten at det settes igang nye feltstudier.

Ved eventuelle nye biologiske feltstudier vil det være nødvendig med klart definerte problemstillinger, et innsamlingsprogram laget for å gi svar på spesifikke spørsmål (jf SANDS 1982, EILERTSEN 1983) og en lokalitet der signalene fra reguleringspåvirkningen kan antas å være til stede. For å illustrere dette med et eksempel, kan det tas utgangspunkt i problemstillingen om hvorvidt økt stabilitet om vinteren har vesentlig betydning for næringstilførselen til øvre lag, og om dette får betydning for primærproduksjonen i fjordene.

Denne problemstillingen bør studeres i en fjord karakterisert av et markert brakkvannslag om vinteren (eks Sørfjorden/Veafjorden). Dersom spørsmålsstillingen er relevant bør virkninger være mulig å avdekke i et slikt "ekstremt" system. Dersom virkninger ikke registreres her, vil det trolig være rimelig å argumentere for at når markert vinterstabilitet i et avgrenset system ikke får konsekvenser for produksjonen, vil slike konsekvenser være enda mindre sannsynlig i andre områder. Vesentlige spørsmål i en slik studie vil være næringssaltkonsentrasjonen i overflatelagene om vinteren, tidspunktet for innstrømming av utenforliggende vannmasser om våren og effekten innstrømmingen har på næringssaltkonsentrasjonen i fjordens øvre lag. Tidspunktet for innstrømming sammenholdt med tidspunktet for våroppblomstring, vil være vesentlig for å avklare betydningen av lokale forhold kontra mer storstilte oseaniske prosesser.

Fokuseringen på tidspunkt i det ovennevnte eksempelet burde demonstrere at f.eks. månedlige innsamlinger (som er benyttet i Ryfylkeundersøkelsene og størstedelen av Skjomenundersøkelsene) ikke vil være en relevant prøvetakingshyppighet for å besvare de skisserte spørsmålene.

Det vil ellers fremgå av rapporten at det er en rekke aktuelle spørsmål å gripe fatt i for fremtidig forskning.

Generelt kan en si at det eksisterer gode muligheter for økt oversikt over regulerings konsekvenser for fysiske forhold i fjordene. Med klar hypotesedannelse, et detaljert innsamlingsprogram og vel vurdert valg av lokalitet bør det også være mulig å få bedret forståelse av regulerings innvirkning på en del biologiske prosesser. Matematisk modellering kan være et nyttig hjelpemiddel for å avdekke nøkkelprosesser. En fyldestgjørende oversikt over biologiske konsekvenser vil kreve meget store ressurser og er neppe et realistisk mål. Som begrunnet i Kap. 4.2.9, er det etter min vurdering lite grunnlag for å håpe på en snarlig løsning på spørsmålet om effekter av vassdragsreguleringer på fiskebestander fra en direkte studie av bestandsfluktasjoner i fjordene.

Prioritering av ulike problemstillinger i videre forskningsarbeid er det opp til andre instanser å avgjøre.

TAKK

Styringsgruppen takkes for konstruktiv kritikk under utarbeidelsen av rapporten. Også en takk til Jan Aure for nyttige diskusjoner og for henvisninger til aktuelle data.

#### LITTERATUR

- ALEEM, A.A. 1972. Effect of river outflow management on marine life. Mar. Biol., 15: 200-208.
- ANON. 1979. Mulige effekter av ferskvannsreguleringer på våre fiskeriresurser. Fiskets Gang, 65: 343-346.
- ANON. 1983a. Miljøstatistikk 1983. Statistisk sentralbyrå. Oslo-Kongsvinger 1983. 306 s.
- ANON. 1983b. Verneplan for vassdrag III. NOU, 1983(41): 1-192.
- ANON. 1984. Ressursoversikt for 1984. Fisken Hav., 1984 (Særnr. 1): 1-69.
- ANSELL, A.D. 1974. Sedimentation of organic detritus in Lochs Etive and Creran, Argyll, Scotland. Mar. Biol., 27: 263-273.
- ASVALL, R.P. 1976. Effects of regulation on freshwater runoff. Pp. 15-20 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Assosiation of Norwegian Oceanographers, Oslo.
- AUDUNSON, T., RYE, H. and THENDRUP, A. 1975. Computation of artificial temperature stresses due to discharges from nuclear power plants. Mar. Sci. Communs., 1: 427-446.
- AURE, J. 1978. Kan varmtvannet i "vannregulerte" fjorder utnyttes i oppdrettssammenheng? Norsk Fiskeoppdrett, 3(5): 15-16.
- AURE, J. 1979. Akvakultur i Øst-Finnmark, kartlegging av mulighetene for fiskeoppdrett og langtidslagring av sei. Fisken og Havet Ser. B, 1979(11): 1-102.
- AURE, J. 1981. Akvakultur i Hordaland. Kartlegging av høvelige lokaliteter for fiskeoppdrett. Fisken og Havet Ser. B, 1981(3): 1-128.
- AURE, J. 1983. Akvakultur i Troms. Kartlegging av høvelige lokaliteter for fiskeoppdrett. Fisken og Havet Ser. B, 1983(1): 1-92.

- AURE, J., LUNDEKVAM, O.J. THENDRUP, A. og AUDUNSON, T. 1976. Tvungen innblanding av sjøvann i utslippsvann fra Vangen kraftverk, Aurland. Delrapport 1. VHL-rapport, STF60 F76039: 1-97.
- BAKKEN, E. 1966. Influence of hydrographical and meteorological factors on catch and recruitment strength of the sprat stock in Western Norway. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 14: 61-71.
- BAKKEN, E. 1973. Sprat in norwegian waters, a short review of biology, fishery and current research. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea, 1973(H:22): 1-13. [Mimeo.]
- BAKKEN, E. 1975. Utbredelse og mengde av årsyngel brisling i Vest-Norge høsten 1974. Fiskets Gang, 61: 67-73.
- BERG, A., McCLIMANS, T., RYE, H., TEKLE, T., WATHNE, M., HEGG-BERGET, T., HUSTVEDT, H., KITTELSEN, K. og VINNOGG, L. 1983. Overmetning av oppløst luft i vann fra kraftverk. Årsaksforhold, skadevirkninger og mottiltak. NHL-rapport, STF60 A 83005: 1-86.
- BEYER, F. 1976 a. Influence of freshwater outflow on the hydrography of the Dramsfjord in southern Norway. Pp. 75-87 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Assosiation of Norwegian Oceanographers, Oslo.
- BEYER, F. 1976 b. Influence of freshwater outflow on the distribution and production of plankton in the Dramsfjord. Pp. 165-171 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Assosiation of Norwegian Oceanographers, Oslo.
- BJERKNES, V. og WAATEVIK, E. 1984. Fiskeribiologiske granskingar av Østerbø-Mjølsvik-Ortnevikvassdraga. A.S. Akva plan-rapport 107/83, Bergen. 49 s.
- BOBBITT, J. and AKENHEAD, S. 1982. Influence of controlled discharge from the Churchill river on the oceanography of Groswater Bay, Labrador. Can. Tech. Rept. Fish. Aquat. Sci., 1097: 1-43.
- BOLTON, J.J. 1983. Effects of short-term ice scouring on a Newfoundland rocky shore community. Astarte, 12: 39-43.
- BRATTEGARD, T. 1966. The natural history of the Hardangerfjord. 7. Horisontal distribution of the fauna of rocky shores. Sarsia, 22: 1-54.

- BRAARUD, T. 1974. The natural history of the Hardangerfjord. 11. The fjord effect upon the phytoplankton in late autumn to early spring 1955-56. Sarsia, 55: 99-114.
- BRAARUD, T. 1976. The natural history of the Hardangerfjord. 13. The ecology of taxonomic groups and species of phytoplankton related to their distribution patterns in a fjord area. Sarsia, 60: 41-62.
- BRAARUD, T., FØYN HOF SVANG, B., HJELMEFOSS, P. and ØVERLAND, AA.-K. 1974. The natural history of the Hardangerfjord. 10. The phytoplankton in 1955-56. The quantitative phytoplankton cycle in the fjord waters and in the offshore coastal waters. Sarsia, 55: 63-98.
- BRAATEN, B. og SÆTRE, R. 1973. Oppdrett av laksefisk i norske kystfarvann. Miljø og anleggstyper. Fisken og Havet Ser. B, 1973(9): 1-94.
- BUGDEN, G.L. 1981. Salt and heat budgets for the Gulf of St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 1153-1167.
- BUGDEN, G.L., HARGRAVE, B.T., SINCLAIR, M.M., TANG, C.L., THERIAULT, J.-C. and YEATS, P.A. 1982. Freshwater runoff effects in the marine environment: The Gulf of St. Lawrence example. Can. Tech. Rept. Fish. Aquat. Sci., 1978: 1-89.
- BÆKKEN, T., FJELLHEIM, A., LARSEN, R. og OTTO, C. 1979. Inn- og utførsel av organisk materiale til terskelbassenget ved Ekse, Eksingedalen. Informasjon nr. 10 fra Terskelprosjektet NVE-Vassdragsdirektoratet, Oslo. 38 s.
- CLOERN, J.E., ALPHINE, A.E., COLE, B.E., WONG, R.L.J., ARTHUR, J.F. and BALL, M.D. 1983. River discharge controls phytoplankton dynamics in the northern San Francisco Bay estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 16: 415-429.
- COTE, R. et LACROIX, G. 1979. Influence de débuts élevés et variables d'eau douce sur le régime saisonnier de production primaire d'un fjord subarctique. Oceanol. Acta, 2: 299-306.
- D'ANGLEJAN, B. 1982. Patterns of recent sedimentation in the Eastmain estuary, prior to river cut-off. Naturaliste can., 109: 363-374.
- DOUBLEDAY, W.G. and BEACHAM, T. 1981. Southern Gulf of St. Lawrence cod - a review of multi-species models and management advice. In MERCER, M.C. ed. Multi species approaches to fisheries management advice. Spec. Publ. Can. Fish. Aquat. Sci., 59.
- DRAGESUND, O. 1970. Distribution, abundance and mortality of young and adolescent norwegian spring spawning herring (Clupea harengus Linné) in relation to subsequent year-class strenght. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 15: 451-556.

- EDWARDS, A. and EDELSTEN, D.J. 1976. Control of fjordic deep water renewal by runoff modification. Hydr. Sci. Bull., 21: 445-450.
- EDWARDS, A. and EDELSTEN, D.J. 1977. Deep water renewal of Loch Etive: A three basin Scottish fjord. Estuarine and Coastal Marine Science, 5: 575-595.
- EILERTSEN, H.C. 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.
- EILERTSEN, H.C., SCHEI, B. and TAASEN, J.P. 1981. Investigations on the plankton community of Balsfjorden, Northern Norway. The phytoplankton 1976-1978. Abundance, species composition, and succession. Sarsia, 66: 129-141.
- ELLERTSEN, B., FOSSUM, P., SOLEMDAL, P., SUNDBY, S. and TILSETH, S. 1984. A case study on the distribution of cod larvae and availability of prey organisms in relation to physical processes in Lofoten. In DAHL, E., DANIELSSEN, D.S., MOKSNESS, E. and SOLEMDAL, P. ed. The propagation of Cod Gadus morhua L. Flødevigen rapporter. 1, 1984: 453-477.
- EL-SABH, M.I. and KOUTITONSKY, V.G. 1977. An Oceanographic Study of James Bay before the Completion of the La Grande Hydroelectric Complex. Arctic, 30: 169-186.
- ENGESÆTER, S. 1984. Norges fiskerier 1983. Fiskets Gang, 70: 3-7.
- ERVIK, A., FOSSHAGEN, A. og OPSTAD, I. 1982. Vurdering av biologiske virkninger av flytebru over Salhusfjorden. Statens Vegvesen Hordaland, RA 0014-53, Bergen. 197 s.
- FARMER, D.M. and FREELAND, H.J. 1983. The physical oceanography of fjords. Progr. Oceanogr., 12: 159-219.
- FARROW, G.E., SYVITSKI, J.P.M. and TUNNICLIFFE, V. 1983. Suspended particulate loading on the macrobenthos in a highly turbid fjord: Knight Inlet, British Columbia. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40 (Suppl.1): 273-288.
- FOSSHAGEN, A. 1979. Dyreplankton i Ryfylkefjordene 1973-1975. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Ryfylkeprosjektet. Rapport nr. 2, Oslo 1979. 138 s.
- FOSSHAGEN, A. 1980. How the zooplankton community may vary within a single fjord system. Pp. 399-405 in FREELAND, H.J., FARMER, D.M. and LEVINGS, C.D. ed. Fjord oceanography. Plenum Publishing Corp., New York.

- FREEMAN, N.G., ROFF, J.C. and PETT, R.J. 1982. Physical, chemical, and biological features of river plumes under an ice cover in James and Hudson bays. Naturaliste can., 109: 745-764.
- FRIDGEIRSSON, E., EINARSSON, S., HAUKSSON, E., OLAFSSON, J. and THORDARDOTTIR, T. 1981. Environmental conditions and spring spawning off South and Southwest Iceland 1976-1978. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 1978: 244-245.
- GADE, H.G. 1976. Fjorden - et minihav. Naturen, 1976: 257-263.
- GADE, H.G. 1983. Utveksling av vann, fjord og hav. FOH-rapport, 1983(4): 105-123.
- GARDNER, G.A. 1977. Analysis of zooplankton population fluctuations in the Strait of Georgia, British Columbia. J. Fish. Res. Bd Can., 34: 1196-1206.
- GARDNER, G.A. 1980. A preliminary examination of zooplankton species groupings and associated, oceanographically defined regions along the British Columbia mainland coast. Pp. 407-413 in FREELAND, H.J., FARMER, D.M. and LEVINGS, C.D. ed. Fjord oceanography. Plenum Publishing Corp., New York.
- GARDNER, G.A. 1982. Patterns in the distribution and abundance of selected zooplankton species from the coast of British Columbia. Biol. Oceanogr., 1: 255-270.
- GILMARTIN, M. 1962. Annual cyclic changes in the physical oceanography of a British Columbia fjord. J. Fish. Res. Bd Can., 19: 921-974.
- GILMARTIN, M. 1964. The primary production of a British Columbia fjord. J. Fish. Res. Bd Can., 21(3): 505-538.
- GJERP, S.A., EIDNES, G. og BERGE, F.S. 1982. Flytebru over Salhusfjorden. Vurdering av flytebruas innvirkning på det marinfysiske miljøet i fjordene innenfor brua. NHL-rapport, STF60 A82083: 1-147.
- GJERP, S.A. og RYE, H. 1979. Vurdering av faren for økt isdannelse ved bygging av flytebro over Salhusfjorden. VHL-rapport STF60 A79073: 1-111.
- GJERP, S.A. og TRYGGESTAD, 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.
- GRAN, H.H. 1923. Snesmeltingen som hovedårsak til den rike produktion i vort kysthav om vaaren. Samtiden, 34: 606-613.
- GRENON, J.-F. 1982. The macrobenthic fauna of the Eastmain estuary (James Bay, Quebec), before the diversion. Naturaliste can., 109: 793-802.

- GUNDERSEN, K.R. 1953. Zooplankton investigations in some fjords in western Norway. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 10(6): 1-54.
- GUNDERSEN, K.R. 1954. Åteundersøkelser i noen fjorder på Vestlandet, spesielt med henblikk på brislingens ernæringsforhold. Fiskets Gang, 40(2): 3-22.
- HARRISON, P.J., FULTON, J.D., TAYLOR, F.J.R. and PARSONS, T.R. 1983. Review of the biological oceanography of the strait of Georgia: pelagic environment. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40: 1064-1094.
- HASSAN, E.M. 1975. Some Effects of River Regulation on Marginal Seas. Ocean Management, 2: 333-344.
- HAYMAN, R.A. and TYLER, A.V. 1980. Environment and cohort strength of Dover sole and English sole. Trans. Am. Fish. Soc., 109: 54-70.
- HELLAND-HANSEN, B. and NANSEN, F. 1909. The Norwegian sea. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 2(2): 1-390.
- HJORT, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe. Rapp. P.-v. Reun. Cons. perm. int. Explor. Mer, 20: 1-228.
- HOLTAN, H. 1976. Chemical conditions and variations in river water. Pp. 27-32 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Association of Norwegian Oceanographers, Oslo.
- HOPKINS, C.C.E. 1981. Ecological investigations on the zooplankton community of Balsfjorden, Northern Norway: changes in zooplankton abundance and biomass in relation to phytoplankton and hydrography, March 1976-February 1977. Kieler Meeresforsch. Sonderh., 5: 124-139.
- HOVGAARD, P. 1974. Littoralundersøkelser 1972-1973. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Ryfylkeprosjektet. Preliminær rapport, 2-74. Universitetet i Bergen. 30 s.
- HOVGAARD, P. 1984. Blåskjell i Ryfylkefjordene. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Ryfylkeprosjektet. Rapport nr. 4, Oslo 1984. 31 s.
- HYLEN, A. og ØYNES, P. 1981. Reketrålens beskatning av torsk- og hyseforekomster i fjord- og kystområdene nord for 67°N. Rapp. til Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Bergen. 23 s. 27 tab. 25 fig. [Stens.]
- INGEBRIGTSEN, O. 1982. Akvakultur. Oppdrett av laksefisk. NKS-Forlaget, Oslo. 359 s.



- JORDE, I. OG KLAVESTAD, N. 1963. The natural history of the Hardangerfjord. 4. The benthonic algal vegetation. Sarsia, 9: 1-100.
- KIRKERUD, L.A. 1983. Flytebru over Salhusfjorden. Marin-økologiske konsekvenser for de innenforliggende fjordområder. NIVA-rapport, 0-81079: 1-21.
- KRANCK, K. and RUFFMAN, A. 1982. Sedimentation in James Bay. Naturaliste can., 109: 353-361.
- LANDRY, M.R. 1977. A review of important concepts in the trophic organization of pelagic ecosystems. Helgoländer wiss. Meeresunters., 30: 8-17.
- LEBLOND, P.H. 1983. The Strait of Georgia: functional anatomy of a coastal sea. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40: 1033-1063.
- LEBRASSEUR, R.J. BARRACLOUGH, W.E., KENNEDY, O.D. and PARSONS, T.R. 1969. Production studies in the Strait of Georgia. Part III. Observations on the food of larval and juvenile fish in the Fraser river plume, February to May, 1967. J. exp. mar. Biol. and Ecol., 3: 51-61.
- LEINEBØ, R. 1984. Temperaturvariasjoner i kystvannet. S. 7 i Norske Havforskeres Forening. Årsrapport, 1983.
- LEVINGS, C.D., FOREMAN, R.E. and TUNNICLIFFE, V.J. 1983. Review of the benthos of the Strait of Georgia and contiguous fjords. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40: 1120-1141.
- LIE, U. 1967. The natural history of the Hardangerfjord. 8. Quantity and composition of the zooplankton, September 1955 - September 1956. Sarsia, 30: 49-74.
- LOENG, H. 1976. Vassdragsregulering og fjorder - fysiske forhold. Ottar, 92/93: 12-17.
- LOENG, H. 1978. Hydrografi og strømforhold i Skjomen 1969-1973. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Skjomenprosjektet. Rapport nr. 1, Oslo 1978. 88 s. + 113 s. tabell -og figurbind + 103 s. databind.
- LOENG, H. og SCHEI, B. 1978. Hydrografiske undersøkelser i Kvæningen 1976. Marinbiologisk Stasjon, Tromsø 1978. 11 s.
- MACKAS, D.L., LOUTTIT, G.C., and AUSTIN, M.J. 1980. Spatial distribution of zooplankton and phytoplankton in British Columbian coastal waters. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37: 1476-1487.
- MAGNUSSON, J. 1980. Bolstadfjorden. En vurdering av vassdragsregulerings innflytelse på fjordens hydrografi. NIVA-rapport, 0-76088: 1-26.

- MATTHEWS, J.B.L. and HEIMDAL, B.R. 1980. Pelagic productivity and food chains in fjord systems. Pp. 377-398 in FREELAND, H.J., FARMER, D.M. and LEVINGS, C.D. ed. Fjord oceanography. Plenum Publishing Corp., New York.
- MATTHEWS, J.B.L., SKRESLET, S. og SUNDBY, S. 1980. Referat fra et symposium om effekter av varierende ferskvannsavløp på produksjon av fisk i norske kystfarvann, Bodø 8.-9. januar 1980. NDH, Mat/nat. fagseksjon. Rapport, 1980(4): 1-13. [Stens.]
- MATTHEWS, J.B.L., MORK, M., SAKSHAUG, E., SKRESLET, S. og SOLEMDAL, P. 1981. Rammeprogram for undersøkelser om ferskvannets rolle i kyststrømøkosystemet. NDH, Mat/nat. fagseksjon. Rapport, 1981(2): 1-12. [Stens.]
- MEETER, D.A., LIVINGSTON, R.J. and WOODSUM, G.C. 1979. Long-term climatological cycles and population changes in a river-dominated estuarin system. Pp. 315-338 in LIVINGSTON, R.J. ed. Ecological processes in coastal and marine systems. Plenum Press, N.Y.
- MOLVÆR, J., BOKN, T., KIRKERUD, L., KVALVÅGNÆS, K., NILSEN, G., RYGG, B. og SKEI, J. 1979. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. NIVA-rapport, O-70111 (Rapport 8): 1-252.
- NEBEKER, A.V. 1976. Survival of Daphnia, Crayfish, and stoneflies in air-supersaturated water. J. Fish. Res. Bd Can., 33: 1208-1212.
- NEU, H.J.A. 1976. Runoff regulation for hydro-power and its effects on the ocean environment. Hydr. Sci. Bull., 21: 433-444.
- NEU, H.J.A. 1982 a. Man-made storage of water resources - a liability to the ocean environment? Part I. Mar. Pollut. Bull., 13: 7-12.
- NEU, H.J.A. 1982 b. Man-made storage of water resources - a liability to the ocean environment? Part II. Mar. Pollut. Bull., 13: 44-47.
- NORDSETH, K. 1976. Suspended and bed material load in Norwegian rivers. Pp 33-42 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Assosiation of Norwegian Oceanographers, Oslo.
- NYGAARD, I. 1979. Planteplankton i Ryfylkefjordene 1972-1975. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Ryfylkeprosjektet. Rapport nr. 1, Oslo 1974. 137 s.
- OTNES, J. og RÆSTAD, E. 1971. Hydrologi i praksis. Ingeniørforlaget A/S, Oslo. 343 s.

- OTTESTAD, P. 1960. Forecasting the annual yield in sea fisheries. Nature, Lond., 185: 183.
- OZRETICH, R.J. 1975. Mechanisms for deep water renewal in Lake Nitinat, a permanently anoxic fjord. Estuarine and Coastal Marine Science, 3: 189-200.
- PARSONS, T.R., LEBRASSEUR, R.J., FULTON, J.D. and KENNEDY, O.D. 1969a. Production studies in the Strait of Georgia. Part II. Secondary production under the Fraser river plume, February to May, 1967. J. exp. mar. Biol. & Ecol., 3: 39-50.
- PARSONS, T.R., STEPHENS, K. and LEBRASSEUR, R.J. 1969b. Production studies in the Strait of Georgia. Part I. Primary production under the Fraser river plume, February to May, 1967. J. exp. mar. Biol. & Ecol., 3: 27-38.
- PARSONS, T.R., ALBRIGHT, L.J. and PARSLow, J. 1980. Is the Strait of Georgia becoming more eutrophic? Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37: 1043-1047.
- PICKARD, G.L. 1961. Oceanographic features of inlets in the British Columbia mainland coast. J. Fish. Res. Bd Can., 18: 907-999.
- PICKARD, G.L. 1963. Oceanographic characteristics of inlets of Vancouver Island, British Columbia. J. Fish. Res. Bd Can., 20: 1109-1144.
- PICKARD, G.L. and STANTON, B.R. 1980. Pacific fjords- a review of their water characteristics. Pp. 1-51 in FREELAND, H.J., FARMER, D.M. and LEVINGS, C.D. ed. Fjord oceanography. Plenum Publishing Corp., New York.
- POMEROY, W.M. and STOCKNER, J.G. 1976. Effects of environmental disturbance on the distribution and primary production of benthic algae on a British Columbia estuary. J. Fish. Res. Bd Can., 33: 1175-1187.
- PRINSENBERG, S.J. 1982. Present and future circulation and salinity in James Bay. Naturaliste can., 109: 827-841.
- RYTHER, J.H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. Science, 166: 72-76.
- SAKSHAUG, E. 1976. Dynamics of phytoplankton blooms in Norwegian fjords and coastal waters. Pp. 139-143 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Association of Norwegian Oceanographers, Oslo.
- SAKSHAUG, E. and MYKLESTAD, S. 1973. Studies on the phytoplankton ecology of the Trondheimsfjord. III. Dynamics of phytoplankton

blooms in relation to environmental factors, bioassay experiments and parameters for the physiological state of the populations. J. exp. mar. Biol. & Ecol., 11: 157-188.

- SANDS, N.J. 1982. Skjomenundersøkelsen - anvendelse av resultater. S. 7-8 i Norske Havforskeres Forening. Årsrapport, 1981.
- SANDS, N.J. and SVENDSEN, H. 1980. Zooplankton variability in Skjomen, Northern Norway, and exchange with the outer fjord. Pp. 367-370 in FREELAND, H.J., FARMER, D.M. and LEVINGS, C.D. ed. Fjord oceanography. Plenum Publishing Corp., New York.
- SCHEI, B. 1975. Vassdragsreguleringer - betyr de noe for produksjonen i våre fjorder? Naturen, 1975: 199-204.
- SCHEI, B. 1976. Vassdragsregulering og fjorder- innvirkning på plante- og dyreliv. Ottar, 92/93: 18-22.
- SCHEI, B. 1977. Vassdragsreguleringenes innvirkning på fjordsystemer. S. 200-209 i GJESSING, J. red. Foredrag og diskusjoner ved konferansen 5.-7. desember 1976. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer, Universitetet i Oslo. Rapport nr. 3.
- SEKI, H., SKELDING, J. and PARSONS, T.R. 1968. Observations on the decomposition of a marine sediment. Limnol. Oceanogr., 13: 440-447.
- SEKI, H., STEPHENS, K.V. and PARSONS, T.R. 1969. The contribution of allochthonous bacteria and organic materials from a small river into a semi-enclosed sea. Arch. Hydrobiol., 66(1): 37-47.
- SINCLAIR, M. 1978. Summer phytoplankton variability in the lower St. Lawrence estuary. J. Fish. Res. Bd Can., 35: 1171-1185.
- SKRESLET, S. 1976. Influence of fresh waters outflow from Norway on recruitment to the stock of Arcto-Norwegian cod (Gadus morhua). Pp. 233-237 in SKRESLET, S. LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 April 1974, Geilo, Norway. The Association of Norwegian Oceanographers, Oslo.
- SKRESLET, S. 1979. Importance of natural freshwater outflow to the coastal marine ecosystem of Norway and possible effects of largescale hydroelectric power production on yearclass strenght in fish stocks. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea, 1979,(P:1): 1-32. [Mimeo.]
- SKRESLET, S. 1981. Informations and opinions on how freshwater outflow to the Norwegian coastal current influences biological production and recruitment to fish stocks in adjacent seas. Pp. 712-748 in SÆTRE, R. and Mork, M. ed. The Norwegian coastal current. University of Bergen, Bergen.

- SKRESLET, S. 1983. Effects of vernal freshwater outflow on biological production in coastal waters. NDH, Mat/nat fagseksjon. Rapport, 1983(9): 1-17. [Mimeo.]
- SKRESLET, S. and DANES, G.J. 1978. Seaward transport of eggs of coastal cod (Gadus morhua) from spawning grounds in Ullsfjord, North Norway. Astarte, 11: 11-20.
- SKRESLET, S. and LOENG, H. 1977. Deep water renewal and associated processes in Skjomen, a fjord in North Norway. Estuarine and Coastal Marine Science, 5: 383-398.
- SKRESLET, S. and SCHEI, B. 1976. Hydrography of Skjomen, a fjord in North Norway. Pp. 101-107 in SKRESLET S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Assosiation of Norwegian Oceanographers, Oslo.
- SOUTHWARD, A.J. 1980. The western English Channel - an inconstant ecosystem? Nature, Lond., 285: 361-366.
- STEPHENS, K., SHELDON, R.W. and PARSONS, T.R. 1967. Seasonal variations in the availability of food for benthos in a coastal environment. Ecology, 48: 852-855.
- STIGEBRANDT, A. 1981. A mechanism governing estuarine circulation in deep, strongly stratified fjords. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 13: 197-211.
- STOCKNER; J.B., CLIFF, D.D. and BUCHANAN, D.B. 1977. Phytoplankton production and distribution in Howe Sound, British Columbia: a coastal marine embayment-fjord under stress. J. Fish. Res. Bd Can., 34: 907-917.
- STOCKNER, J.G., CLIFF, D.D. and SHORTREED, K.R.S. 1979. Phytoplankton ecology of the Strait of Georgia, British Columbia. J. Fish. Res. Bd Can., 35: 657-666.
- STOCKNER, J.G., SHORTREED, K.S. and MACISAAC, E.A. 1980. The benevolent strait: reply. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37: 1048-1055.
- STORA, G. and ARNOUX, A. 1983. Effects of large freshwater diversions on benthos of a Mediterranean lagoon. Estuaries, 6: 115-125.
- STRØM, K.M. 1936. Land-locked waters. Hydrography and bottom deposits in badly ventilated Norwegian fjords with remarks upon sedimentation under anaerobic conditions. Norske Vidensk. Akad. Skr., 1(7): 1-85.

STRØMGREN, T. 1974 a. Zooplankton investigations in Skjomen 1969-1973. Astarte, 7: 1-15.

STRØMGREN, T. 1974 b. Zooplankton and hydrography in Trondheimsfjorden on the west coast of Norway. K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Miscellanea., 17: 1-35.

STRØMGREN; T. 1976. Relationship between freshwater supply and standing crop of Calanus finmarchicus in a Norwegian fjord. Pp. 173-177 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Association of Norwegian Oceanographers, Oslo.

Snow and the survival of cod fry. Nature, Lond., 113:

Akvakultur i Vest-Finnmark, lokalisering av velegnete en og Havet Ser. B, 1976(10): 1-48.

Sammenhengen mellom ferskvannsavrenningen og en del Fiske og Havet Ser. B, 1979(7): 15-25.

Some relations of land drainage, nutrients, and fish catch in two eastern Canadian bays. J. Fish. Res. Board Can. 30: 357-362.

Relations between seasonal river discharge and American lobster (Homarus americanus) and Libinia hippolossus in the Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Board Can. 30: 856-859.

INKWATER, K.F. 1976. Coastal upwelling off the Scotian shelf and the Gulf of Maine. J. Geophys. Res. 81: 98-115.

INKWATER, K.F. 1977. Correlations between upwelling and fish catch in the Gulf of Maine. J. Geophys. Res.

and COOTE, A.R. 1977. Upwelling off the Scotian shelf and the Gulf of Maine. J. Geophys. Res. 82: 4000-4010.

Relationship between freshwater outflow and biological processes in fjords and coastal waters. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway.

in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The association of Norwegian Oceanographers, Oslo.

SVENDSEN, H. 1981. A study of circulation and exchange processes in the Ryfylkefjords. Report, 55 Geophysical Inst. Div. A, Univ. of Bergen: 1-70 + 139 p. tables and figures.

SVENDSEN, H. 1983. Hydrofysiske forhold i Skjomen etter vassdragsreguleringene. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Skjomenprosjektet. Rapport nr. 3, Oslo 1983. 66 s.

SVENDSEN, H. og UTNE, N. 1979. Fysisk-oseanografisk undersøkelse i Ryfylkefjordene 1972-1975. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser. Ryfylkeprosjektet. Rapport nr. 3, Oslo 1979. 81 s., + 103 s. tabell- og figurbind + 180 s. databind.

SÆLEN, O.H. 1962. The natural history of the Hardangerfjord. 3. The hydrographical observations 1955-1956. Tables of observations and longitudinal sections. Sarsia, 6: 1-25.

SÆLEN, O.H. 1967. Some features of the hydrography of Norwegian fjords. Pp. 63-70 in LAUFF, G.H. ed. Estuaries. AAAS, Washington D.C.

SÆTRE, R. 1974. En hydrografisk undersøkelse i Matrevågen, Nordhordland. Fisken og Havet Ser. B, 1974(6): 1-69.

TANG, C.L. 1980. Mixing and circulation in the northwestern Gulf of St. Lawrence. J. Geophys. Res., 85: 2787-2796.

TERRIAULT, J.C., LADURANTAYE, R. de and INGRAM, R.G. 1984. Particulate matter exchange across a fjord sill. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 18: 51-64.

TOLLAN, A. 1976. River runoff in Norway. Pp. 11-13 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 April 1974, Geilo, Norway. The Association of Norwegian Oceanographers, Oslo.

TOLMAZIN, D. 1979. Black Sea - dead sea? New Scientist, 84: 767-769.

WASSMANN, P. 1983. Poller: Særegne områder langs den norske kyst. Naturen, 1983: 197-206.

WINTER, D.F., BANSE, K. and ANDERSON, G.C. 1975. The dynamics of phytoplankton blooms in Puget Sound, a fjord in the northwestern United States. Mar. Biol., 29: 139-176.

AA, R.K. 1980. Faunaen assosiert med Mytilus edulis L. i Ryfylkefjordene. Hovedfagsoppgave i marinbiologi, Universitetet i Bergen. 143 s.

AARTHUN, K.E. 1961. The natural history of the Hardangerfjord. 2. Submarine daylight in a glacier-fed Norwegian fjord. Sarsia, 1: 7-20.

AAS, E. 1976. The influence of freshwater on light conditions in fjords. Pp. 129-138 in SKRESLET, S., LEINEBØ, R., MATTHEWS, J.B.L. and SAKSHAUG, E. ed. Fresh water on the sea. Proc. Symp. on the influence of freshwater outflow on biological processes in fjords and coastal waters, 22-25 april 1974, Geilo, Norway. The Assosiation of Norwegian Oceanographers, Oslo.