

# Auka vassutskifting i Skjoldafjorden

## Om moglege fysiske tiltak, konsekvensar og kostnader

Av Lars G. Golmen.

Lars G. Golmen er tilsett ved NIVAs Vestlandsavdeling.

*Innlegg på konferansen om Skjoldafjorden 31. mai 1989.*

### 1. Innleiing

Tilgjengelege målingar frå 1930-åra til i dag tyder på at Skjoldafjorden og Grindefjorden i Rogaland er inne i ei negativ utvikling når det gjeld djupvasskvalitet. I løpet av dei siste 50 åra har grenseflata som representerer overgang mellom oksygenhaldig og oksygenfritt vatn gradvis flytta seg oppover i vassøyla. Nye målingar indikerer at denne grenseflata no ligg i 10–12 meters djup. Denne djupneendringa er urovekkjande, og ein vil på lokalt hald freiste å stanse denne utviklinga, og om mogleg iverksetje tiltak som kan forbetre vasskvaliteten. Om ingen ting blir gjort, fryktar ein at vatn med høgt innhald av H<sub>2</sub>S tidvis vil kunne trenge opp til overflata. Dette vil medføre utrydding av eksisterande livsformer i fjorden, i tillegg til gasslukt og andre plager for lokalbefolkninga.

Det finns fleire tiltak som kan iverksetjast for å betre vasskvaliteten. Det er behov for ein analyse av kost/nytte for dei ulike tiltaka. For kostnadane må ein sjå både på etablering og drift. Nyttan

må betraktast i vid forstand, både m.o.t. folkesetnaden, og økosystemet i fjorden.

Grovt sett kan ein dele tiltaka inn i belastningsreducerande, og sirkulasjonsfremjande. Førstnemnde vil typisk dreie seg om å redusere utslepp som bidrar til den negative utviklinga. Tiltak som stimulerer vassutskifting vil dreie seg anten om auka vassutbyte over terskelen, eller auka omrøring i sjølve fjorden (-eller ein kombinasjon av desse). Av omsyn til å begrense ressurs/energibruken, må ein freiste å angripe fjorden på det «svakaste punktet» (tid eller stad). Dette innlegget omhandlar dei generelle fysiske trekk ved Skjoldafjorden. Moglege tiltak for å stimulere vassutskiftinga blir vurdert i lys av generelle hydrofysiske tilhøve i og utanfor fjorden.

### 2. Moglege tiltak

Moglege tiltak for Skjoldafjorden må sjåast i lys av fysisk-biologisk tilstand og eigenskap for fjorden. Målsetjinga er å betre vasskvaliteten på ein rimeleg og sikker måte. Det første går på kostnader, både investering og drift. Det andre inneber tiltak utan uønska

biologiske eller fysiske sekundæreffekter. Tiltak vil kunne resultere i fullstendig renovering av vatnet, eller berre delvis. Det vassvolumet som i det siste er blitt forringa tilsvarar ca. 10 mill. m<sup>3</sup>/år. Som eit minimum bør aktuelle tiltak kunne halde eit slikt volum i sjakk.

Iverksetjing av *belastningsreducerande tiltak* vil måtte sjåast i lys av eutrofitilstanden til Skjoldafjorden. (I det fylgjande nyttar vi Skjoldafjorden som samnemning for Skjoldafjorden og Grindefjorden, viss anna ikkje er sagt). Data som blir presentert på denne konferansen (J. Molvær, NIVA), indikerer at fjorden i dag er lite til middels (moderat) belasta. Ein tar då utgangspunkt i tilførsler (N og P) i høve til topografiske karakteristika for fjorden, og relaterer dette til data frå andre fjordar.

Det har vore ein auke i tilførsler til fjorden gjennom dei siste ti-åra. Spørsmålet om denne auken er skuld i den forringa vasskvaliteten kan ikkje umiddelbart svarast på. Dersom dette er tilfelle, er det relevant å vurdere belastningsreducerande tiltak. Men det kan vere at dei naturlege tilførslene, som er vanskelege å kontrollere, event. saman med andra fysiske vilkår (t.d. endra brakkvasskarakteristikk i Ryfylkefjord-systemet p.g.a. vassdragsregulering) åleine kan oppretthalde den negative tendensen. Belastningsreducerande tiltak blir berørt i andre foredrag på konferansen.

*Sirkulasjonsfremjande tiltak.* nedanfor følgjer ei oppstilling av nokre moglege fysiske inngrep eller tiltak. Disse tiltaka har som målsetjing å stimulere vertikal blanding og/eller terskelutveksling. Tiltaka er av svært

varierende omfang, dels prøvde og dels uprøvde i andra fjordar:

1. Etablere fast røyrleiding over terskelen, kombinert med pumpe.
2. Utvide, og/eller utdjupe terskelen.
3. Tunnel gjennom terskelen (event. nordover mot Ålfjorden).
4. Leie ferskvatn til botn gjennom røyr.
5. a. Oksygenering eller lufting av djupvatn: stimulert sirkulasjon.
5. b. Selektiv oksygenering eller lufting av djupvatn.
6. Pumping av djupvatn til overflata.
7. Oppdemming av terskelen, og røyr over denne.

For fleire av dei ovanfor nemnde tiltaka kan fleire ulike utformingar og praktiske gjennomføringsmetodar kombinerast. Praktisk iverksetjing må baserast på ei grundig førehandsanalyse av den fysiske og biologiske tilstanden for Skjoldafjorden.

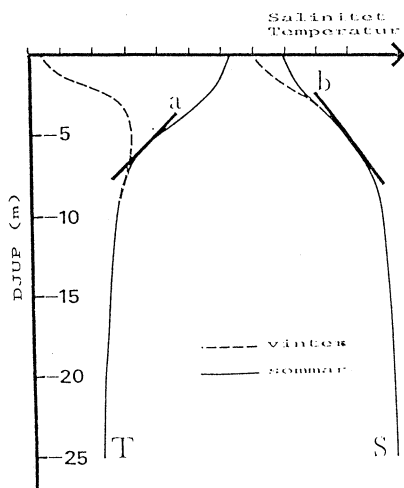
### **3. Fysiske karakteristika for Skjoldafjorden**

Med sitt svært grunne (1,5 m) utlaup er Skjoldafjorden å rekne som ein ekstrem terskelfjord. Betrakningar om vassutskifting i vanlege terskelfjordar kan knapt brukast. Det klassiske mønsteret med regelmessig innstrøyming av tungt vatn utanfrå som fortrengjer gammalt djupvatn finn truleg stad kun i svært avgrensa omfang. Nedanfor blir det peikt på ein del fysiske trekk ved Skjoldafjorden som er med på å avgrense vassutskiftinga. Dette avsnittet dannar såleis grunnlaget for diskusjonen i avsnitt 4.

### 3.1. Hydrografi og utskifting

Eksisterande data indikerer at øvre 15—20 meter av vassøyla i Skjoldafjorden er stabilt sjikta heile året (Strand, 1956, Ravdal, 1973). Fig. 1 antydar vertikalfordeling av salinitet og temperatur. Temperaturen i øvre lag varierer relativt sett mest, og avkjølinga om vinteren medfører ein viss destabilisering av vassøyla.

Karakteristisk for Skjoldafjorden er dei låge salinitetsverdiane også i djupvatnet (S rundt 26). I såpass ferskt sjøvatn vil ei eventuell temperaturendring medføre mindre endring i densiteten enn i saltare sjøvatn (Sündermann, 1986). Også i overflatevatnet vil ei temperaturendring (avkjøling) medføre svært liten densitetsauke. Dette



Figur 1. Skissert vertikalprofil av temperatur (T) og salinitet (S) i Skjoldafjorden, med antyda skilnad mellom sommar og vinter. Linjene a og b representerer vertikalgradientar av T og S i vilkårlig valt djup.

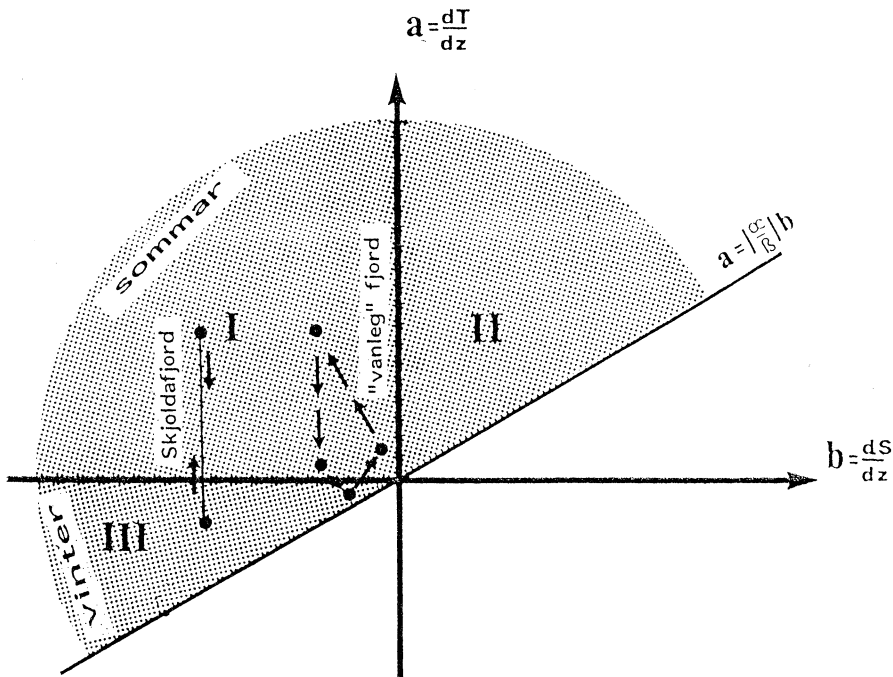
begrensar vertikalomrøringa som i saltare fjordvatn ville ha blitt stimulert ved vinteravkjøling.

Utskifting av djupvatnet blir i typiske terskelfjordar stimulert ved at det gamle djupvatnet gradvis blir lettare p.g.a. vertikal diffusjon av salt og varme. På molekylær skala diffunderer varme raskare en salt. Fordi djupvatnet i Skjoldafjorden er såpass ferskt, bidrar varmediffusjonen av ovannemnde årsak lite til å redusere densiteten. Densitetsreduksjonen i djupvatnet skjer dermed truleg svært langsomt. Tungt vatn som tidvis strøymmer inn utanfrå over terskelen, vil kun søkkje ned eit stykke under pyknoklinen.

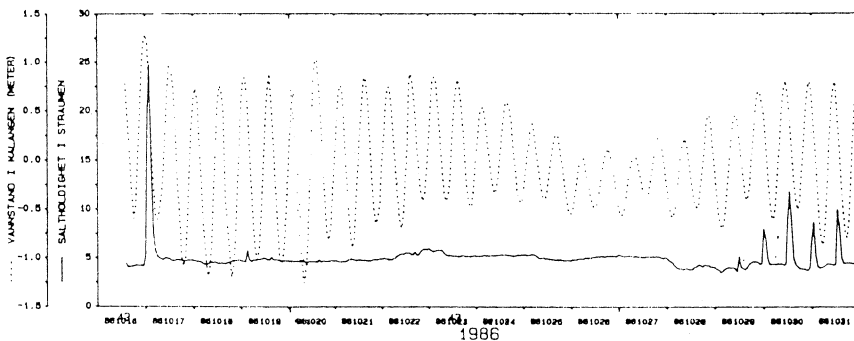
Skjoldafjorden gjennomlever også ein atypisk årssyklus når det gjeld generell hydrografisk tilstand. Dette er antyda i Fig. 2, der storleik og forteikn på vertikalgradientar av salinitet (b) og temperatur (a) definerer vertikal stabilitet (skravert) og instabilitet. Sektor I og III definerer gradientar typisk for h.h.v. sommar og vinter i norske fjordar. (Sektor II er typisk for tropiske farvatn). Dess veikare gradientar, d.v.s. dess nærare sentrum av Fig. 2 eit punkt definert ved a og b befinn seg, dess lettare skjer vertikal blanding i vassøyla.

Av Fig. 2 ser ein at Skjoldafjorden skil seg ut ved markerte vertikalgradientar heile året.

Terskeloverskylling av relativt tungt vatn kan ein anta skjer tidvis også i Skjoldafjorden. Fig. 3 syner målingar på terskelen til Rossfjordvatn i Troms (Magnusson, 1987). Rossfjordvatn og Skjoldafjorden har samanliknbare tilhøve m.o.t. topografi og hydrografi. Ein tydeleg pulsvis og aperiodisk innstrøyming av salt vatn framtrer. Tidevatnet dominerer straumbiletet. Tidevassamplituden utanfor Skjoldafjorden er



Figur 2. Karakteristikk av fjordvatn definert ved vertikalgradient av temperatur (a) og salinitet (b) i øvre lag. Pilene antyder tidsutvikling mellom (sesongmessige) ekstrempunkt.



Figur 3. Observert salinitet (heiltrekt line) og vannstand h.h.v. på og utanfor terskelen til Rossfjordvatn i perioden 16/10—31/10 1986. (Magnusson, 1987).

berre 25—30% av tilsvarende for Rossfjordvatn. Ein kan difor ikkje forvente å observere same signalstyrke for Skjoldafjorden.

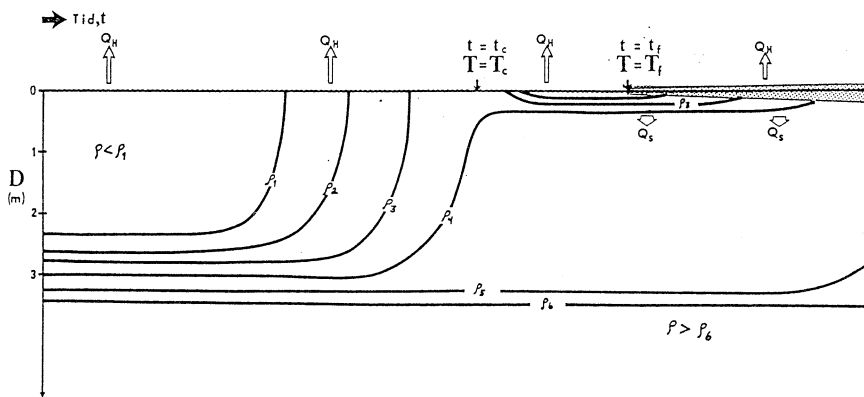
Terskeloverskylling er betinga av at det til rett tidspunkt finns tilstrekkelege mengder tungt vatn til stades i rett djup utanfor terskelen. Det paradoksale for Skjoldafjorden er at det utanfor terskelen vanlegvis finns tilstrekkeleg tungt vatn nær terskeldjupet, men at terskeloverskylling likevel tilsynelatande sjeldan skjer. Faktisk er heile djupvassøyla inne i fjorden mykje lettare enn tilsvarende utanfor (-motsatt av vanleg terskelfjord).

Granskingar som nyleg er utført i 30 fjordar i Møre og Romsdal (Aure og Stigebrandt, 1988) tyder på at fjordar med dei grunnaste tersklane blir utskifta først (1. eller 2. kvartal). Om ein overfører desse resultatata til Skjoldafjorden, skulle ein kunne anta sannsynlegaste tidspunkt tidleg på vinteren. Det finns ikkje data som evt. kan dokumentere dette.

Tilhøva i øvre vassøyla vinterstid er avgjerande for utskiftingsgraden. Vanlegvis er ferskvasstilrenninga då låg. Dette vil påverke straumtilhøva på terskelen (svakare utstrøyming), med gunstigare tilhøve for innstrøyming. Sidan fjordområdet utanfor terskelen er påverka av kraftverksregulering (Ulla-Førre), vil ein i dag truleg ha lettare vatn om vinteren i øvre lag enn for regulering. Dette tilseier at innstrøyming no har vanskelegare for å skje.

### 3.2. Islegging

På grunn av lang opphaldstid for overflatelaget, særleg i Grindfjorden, forblir overflatelaget ferskt også om vinteren. Dette, kombinert med lang opphaldstid, stimulerer danning av is. Når isen først ligg, dempar han den vidare avkjølinga i vatnet, som potensielt kunne ha gitt eit visst bidrag til densitetsauke og dermed omrøring. Den innstrøyminga som skjer i dag, består sannsynlegvis av ferskare vatn



Figur 4. Tidsutvikling for avkjølingsprosess og islegging i brakkvatn. Sprangsjiktet blir gradvis redusert p.g.a. avkjøling (repr. ved varmeflukt  $Q_H$ ) som i førstninga gjev auka densitet i øvre lag.

enn tidlegare (sjå forrige avsnitt). Ferskvassinnslaget i overflatevatnet kan derfor ha blitt enno meir markert etter vassdragsreguleringane. Dette vil stimulere islegging, som i roleg brakkvatn har særskilte gunstige vilkår. Fig. 4 illustrerer ein modell for tidsutviklinga av densitet i øvre lag ved eit varmetap  $Q_H$ . Under avkjølinga blir vatnet gradvis tyngre. Essensielt ved Fig. 4 er det som skjer når temperaturen i vatnet når  $T_c$  (kritisk temperatur som er bestemt av verdi for S og T). Vidare avkjøling gjer vatnet lettare, og eit tynt sekundærsjikt blir danna. Dette er særskilt følsamt for islegging. Denne prosessen skjer sannsynlegvis i Skjoldafjorden. Auka ferskvasspåverknad frå fjordområda utanfor kan i så fall ha vesentleg påverknad på isleggingsmekanismen inne i fjorden.

#### 4. Diskusjon omkring tiltak

Dei innleiingsvis nemnde tiltaka for å stimulere vassutskifting eller oksygentilførsel vil her kort bli nemnt, saman med nokre sannsynlege eller moglege konsekvensar. Ei endeleg vurdering av tiltak og konsekvensar må baserast på ei langt større detaljeringsgrad enn det som er tilfellet for dette foredraget.

##### 1. Røyrleidning over terskel

Med røyrleidning (kombinert med vasspumpe) vil ein kunne utnytte vannstandsforhøvelen mellom fjord og utsida (+/- 30 cm?) som m.a. tidevatnet skaper. Ved innpumping kan ein i tillegg i byrjinga utnytte forskjell i dynamisk høgd (ca. 5 dyn. cm for 0—50 meter vassøyle). For effektivitetens skuld må ei pumpe installerast, som kan startast/stoppast på gunstig tidspunkt i høve til tidevatnet. Stikkord er sensorteknikk (vannstand), automatisk

styring av sirkulasjon og minimalisering av energiforbruk ved optimal utnytting av vannstandsforhøvelen og omsyntaking til friksjon. Ved innpumping vil djupvatnet på sikt bli saltare, noko som også vil stimulere den tidlegare nemnde diffuse fornyingsprosessen.

##### 2. Terskelutviding

Det kan tenkjast ein kombinasjon av auke av terskelens breidde og djupne. Auke av djupne vil relativt sett truleg ha betre effekt enn auke av breidde, men vil truleg vere vanskelegare/dyrare å gjennomføre. Effekten her vil vere dels å minske blokkeringa i utlaupet, slik at vatn får betre høve til å strøyme inn. Ved utdjuping vil tungt vatn på utsida vera hyppigare tilgjengeleg enn i dag. Djupvatnet vil raskt bli saltare, og den diffuse utskiftinga blir stimulert. Ein får overgang til ein meir klassisk terskelfjordtilstand, med utskifting som avtar i hyppigheit, og til slutt tilpassar seg ein meir eller mindre regelmessig syklus styrt av indre og ytre prosessar.

##### 3. Tunnel gjennom terskel

Dette tiltaket vil umiddelbart stimulere djupvassutskiftinga, og salt (djup)vatn vil truleg bli transportert inn i fjorden. Turbulent blanding i djupvatnet vil auke. Etter kvart som skilnaden i T—S djupvasskarakteristikk mellom fjorden og utsida gradvis avtar, vil sirkulasjonen gjennom tunnelen også avta. Tunnelen vil endre (reduere) dagens tidevassstyrte straum over terskelen. Dette kan redusere den turbulente blandinga i øvre lag. Tunnel vil vere ei kostbar løysing, med god verknad på Skjoldafjorden, kanskje mindre på Grindefjorden.

#### 4. Ferskvatn til botn

Dette er ei utprøvd metode som har vist seg eigna i fleire høve. Ein bandlegg på denne måten til ei viss grad ferskvassressursar (kloakkavlaup kan teoretisk også nyttast. Negative biologiske konsekvensar kan i så fall oppstå). Inntaksnivået behøver ikkje vere meir enn 2—4 meter. Kontinuerleg ferskvasstraum på 20—50 l/sek totalt for fjorden kan halde tilstanden i sjakk. Det er behov for fleire utslepp i fjorden. Tiltaket kan medføre saltare overflatevatn (mindre is). Vatn blir transportert mot overflata: Pass på event. effekter p.g.a. næringsaltauke i eufotisk sone (-også truleg auka opphaldstid for overflatevatnet). Ein får lettare vatn i øvre deler av djupvatnet. Saman med minska brakkvassstraum utover, kan dette stimulere til hyppigare terskeloverskyllingar.

#### 5a, b. Tilførsel av oksygen eller luft

Desse metodene vil kunne fjerne *symtomet* (H<sub>2</sub>S), men ikkje umiddelbart *årsaken* til dagens tilstand. Ved bobling får ein stimulert vertikalblanding. Det er her moglegheit for negative eutrofiefekter p.g.a. at næringsrikt vatn kjem til overflata. Ved selektiv lufting er ein meir gardert mot uønska oppstrøyming.

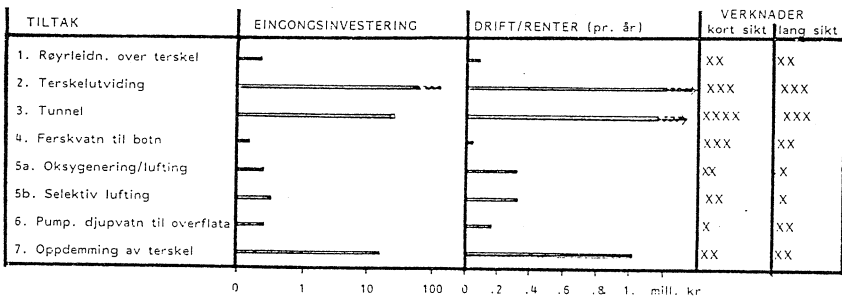
Desse metodene krev installasjonar av permanent karakter, med signifikante driftsutgifter. Lufting er i Norge prøvd i mindre fjordar, og har der hatt gunstig effekt.

#### 6. Djupvatn til overflata

Her er det snakk om opp-pumping av vatn frå djupare lag, for lufting, og evt. blanding med overflatevatn. Her vil ein med særskilt konstruksjonsprinsipp teoretisk kunne trekke ut gratis energi frå vassøyla, og såleis redusere pumpekostnader. Hydrografiske tilhøve i fjorden blir endra, noko som kan stimulere til auka terskeloverskylling. Dei endelege konsekvensane synest uklære, men vil truleg variere etter kva pumpejup og fluks som blir valt.

#### 7. Oppdemming av terskel

Denne metoden (kombinert med sluseanordning) inneber at ein styrer vannstanden i Skjoldafjorden slik at den blir permanent (eller periodisk) høgare eller lågare enn utanfor. Trafikk i innløpet vil som før kunne gå gjennom slusa. Vannstandsfor skjellen (+/- 0.5 m?) blir nytta saman med røyr frå djupvatnet og ut, til gradvis utskifting av djupvatn. Dersom ein vel å ha høgste



Figur 5. Oversyn over ulike tiltak i Skjoldafjorden, med anslagsvis vurdering av kostnader og verknader for utskiftinga.

vannstanden (permanent) i fjorden, vil trykkskilnaden hjelpe til å drive det salte djuvatnet ut, og fjorden vil til slutt bli bestående av kun ferskvatn. Alternativt, ved periodevis å etablere høgre vannstand utanfor, vil ein kunne generere kunstig innstrøyming til djuvatnet. Sistnemnde metode vil måtte styrast i takt med den aktuelle svingninga i overflatenivå i og utanfor terskelen.

## 5. Oppsummering

Ovanfor nemnde tiltak er kun overflattisk diskutert. Det er peika på ein del fordelar og ulemper. Ved praktisk gjen-

nomføring vil ein kunne nytte kombinasjonar av ulike tiltak. Når det gjeld moglege negative biologiske effekter (eutrofi m.m.), kan det tenkjast negative utslag for alle tiltaka. Særleg gjeld dette i første perioden etter at tiltak er sett i verk. Det synest uansett naudsynt å kunne regulere, evt. tidvis stoppe den ekstra sirkulasjonen dei ulike tiltaka inneber.

Dei tiltaka som er diskutert er samanstilt og sett opp i *Figur 5*. Det er foretatt ein skjønsmessig vurdering av verknad på kort og lang sikt når det gjeld utskifting. Ingen biologiske effekter er vurdert. Det er foretatt eit estimat for kostnader (drift og investering).

## LITTERATUR

- Aure, J. og A. Stigebrandt, 1988: Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastning for 30 fjorder i Møre og Romsdal. Havbruksplan, Møre og Romsdal, delrapp. 3 I. M & R Fylkeskommune, Molde.
- Magnusson, J., 1987: Vurdering av effekten av lavere ferskvannstilførsel på vannutskiftingen i Rossfjordvatn. Rapp. nr. 2021, NIVA, Oslo.
- Ravdal, E., 1973: Undersøkelse av Nord-Rogalandsfjordenes Forurensningstilstand, delrapp. 5. Rapp. O-41/70 NIVA, Oslo.
- Strand, O., 1956: En hydrografisk undersøkelse av Skjoldafjorden. Upubl. hovedfagsoppg., U. i Oslo.
- Sündermann, J. (red.), 1986: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Vol. V; 3a. Springer-Verlag Berlin.