



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Betydning af de hydrografiske forhold for effekt af belastningsreduktion

Larsen, Torben

Publication date:
1993

Document Version
Accepteret manuscript, peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Larsen, T. (1993). *Betydning af de hydrografiske forhold for effekt af belastningsreduktion*. Paper præsenteret ved Fjorde- Virkning af spildevandsrensning, Viborg, Danmark.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Betydning af de hydrografiske forhold for effekt af belastningsreduktion

Torben Larsen

Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik • Aalborg Universitetscenter
Sohngaardsholmsvej 57 • 9000 Aalborg • tlf. 98 15 85 22 lokal 6520

Introduktion

Dette indlæg er udarbejdet med henblik på ovennævnte møde. Titlen på indlægget har DIFmiljø fastlagt, og formålet er at beskrive, hvorledes de varierende hydrografiske forhold i fjordene i sig selv ofte har en væsentlig indflydelse på vandkvaliteten. Det kan derfor være vanskeligt udelukkende at henføre ændringer i vandkvaliteten til de reduktioner i fjordenes belastning af især næringssalte, der er sket i det seneste årti.

I det følgende gives først en præsentation af nogle af de vigtigste faktorer af betydning for hydrografien i fjordene, herunder diskuteres begreberne vandskifte og opholdstid. Dernæst omtales to eksempler, Mariager fjord og Ringkøbing fjord, hvor det med forholdsvis enkle metoder har været muligt at opgøre vandskiftets betydning for fjordenes massebalancer af næringsalte.

Hovedtræk af danske fjordes hydrografi

De fleste danske fjorde munder ud i de indre danske farvande. Det er her vigtigt at gøre sig klart, at de indre danske farvande på mange måde bør betragtes som i sig selv værende et fjordsystem, nemlig som mundingsområdet for Østersøen, som hører til blandt verdens store fjorde eller estuarier.

Østersøen er markant anderledes end andre lukkede havområder, som f.eks. Middelhavet, på grund af den store ferskvandstilførsel. Østersøen har en gennemsnitlig ferskvandstilførsel på omkring 10.000 m³/sec, hvilket indebærer, at saltholdigheden i Østersøens øvre lag kun er 8 - 15 promille. De indre danske farvande syd for Skagerrak samt Østersøen er lagdelte. Vand fra Nordsøen med en saltholdighed på 33 - 35 promille strømmer i nedre lag ind i Østersøen, primært gennem Storebælt. På grund af blanding mellem de to modsat rettede strømninger udgør udstrømningen fra Østersøen en vandføring på 5 - 6 gange ferskvandstilførslen. Overfladevand strømmer ud gennem Store Bælt, Øresund og Lille Bælt, og disse vandmasser er randbetingelsen for de fleste danske fjorde. Populært sagt består en stor del af det vand, der befinder sig i vore fjorde, af vand fra Østersøens overfladelag. Variationer i fjordenes saltholdighed kan derfor have årsag i forholdene i Østersøen.

Geologisk kystmorfologi

De fleste danske fjorde kan i geologisk og kystmorfologisk sammenhæng karakteriseres som værende *initialformer*, dvs. landskaber, som i det væsentlige fremstår, som da de blev dannet under istiden. Men der er tale om en stadig nedbrydning og opfyldning og man må derfor have for øje, at fjorde til stadighed undergår langsomme ændringer. Et markant og smukt eksempel på en initialform er den indre del af Mariager fjord.

I modsætning hertil ser man enkelte tilfælde af udviklingsformer, dvs. landskaber, som fremstår som resultatet af påvirkninger, som er aktive til stadighed. Et eksempel herpå er Vadehavet, som er dannet af en kombination af den bølgeskabte sandtransport på Vesterhavskysten, den tidevandsskabte sandtransport i den indre del af Vadehavet og vindens evne til klitdannelse.

Den vigtigste topografiske faktor er vanddybden. Udover middeldybden spiller fordelingen af dybe og lave områder ofte en væsentlig rolle. Denne fordeling karakteriseres ofte med den såkaldte *hypsometriske kurve*, dvs. den kurve der angiver, hvorledes fjordens volumen fordeler sig på dybden fra overfladen.

Bunds sedimenternes karakter i fjordene afspejler strømningsforholdene tæt ved bunden. Sedimenterne kan enten være grovkornede og sandede eller finkornede og dyndede. De sidstnævnte betegnes *kohæsive sedimenter*, fordi partiklerne gradvist knyttes sammen og danner et sediment, hvis tæthed og styrke mod resuspension vokser med tiden. De fleste miljømæssige problemer med f.eks. iltsvind og akkumulering af tungmetaller er knyttet til de kohæsive sedimenter.

Cirkulation på grund af forskelle i densitet

Ferskvand har en densitet (vægtfylde), som 1 til 2 % mindre end havvand. Dette betyder, at ferskvandet i første omgang strømmer ud i et lag over havvandet. Samtidigt sker der en vis blanding mellem de to lag, hvorved vandføringen i det øvre lag stadig vokser jo længere man kommer fra udledningen. Tilsvarende opstår der en modsat rettet kompensationsstrøm i det nedre lag rettet indad i fjorden. Dette strømningsmønster betegnes den estuarine cirkulation og er karakteristisk ved, at de inducerede strømme er mindst en størrelsesorden større end ferskvandstilførslen.

Vandstandsforhold, tidevand og vindstuvning

De vandspejlsændringer, som observeres i fjordene, stammer primært fra de tilstødende havområder. Nord for Bælterne skyldes vandspejlsændringer primært vandstandsforholdene i Nordsøen og tilsvarende er Østersøen styrende for forholdene syd for Bælterne.

Tidevandet genereres i oceanerne og har her en højde på ca. en halv meter. Fra Atlanterhavet trænger tidevandet ind i Nordsøen og opnår i Vadehavet en højde på ca. 1.5 m. I det nordlige Kattegat er højden omkring 0.3 - 0.4 m, den aftager mod syd og udgør syd for Bælterne kun 0.05 til 0.1 m. Tidevandet har ofte en stor betydning for fjordenes vandskifte ved rolige meteorologiske forhold, hvor tidevandet er basis for, at vandmasserne aldrig kommer helt i ro, i modsætning til hvad der kan observeres i søer.

Vandstanden i Nordsøen og i Østersøen afhænger i høj grad af vindforholdene. Kraftige vindforhold er normalt knyttet til passage af lavtryk og man har derfor identificeret vandspejlsændringer i vore farvande, som har en periode af samme størrelsesorden, som perioden for lavtrykspassager, dvs. ca. 1 uge.

De vindskabte vandspejlsændringer skaber ofte betydelige strømninger og har især om efteråret stor indflydelse på fjordenes vandskifte.

Bølger

Vinden skaber vindstuvning, vindgenereret overfladestrøm samt kortperiodiske bølger. Bølgernes størrelse afhænger af vindens styrke, det frie stræk og vindens varighed. Bølgerne akkumulerer en del af vindenergien, som transporteres mod kysten, hvor energien primært afgives ved bølgernes brydning. Herved skabes kraftig lokal turbulens og en langsgående kyststrøm, bølgestrømmen, og der foregår derfor ofte en betydelig sedimenttransport i bølgebrydningszonen.

Bølgebevægelsen trænger ned vandmassen, samtidigt med at der sker en vis afklingning, som afhænger af bølgelængden. Lange bølger trænger således dybere ned end korte. Bølgebevægelsen kan derfor påvirke bunden og skabe resuspension af bundsedimenterne. Et fjordområdes bundsedimenter er derfor ofte en afspejling af bølgeforholdene.

Metoder til beskrivelse af fjordes nærings saltbalance

At få overblik over forholdene i en fjord er vanskeligt. Alting varierer stort set både i tid og i sted. Når man forsøger at vurdere, hvad der foregår på en konkret målestation, vil man ofte komme ud for, at variationerne tilsyneladende er diskontinuerte, dvs. man har ikke mulighed for at vurdere, hvad der har foregået mellem målingerne. Hvis man sammenligner målingerne for flere stationer til samme tid opdager man ligeledes, at det er yderst usikkert, hvad man tør sige om forholdene mellem stationerne.

Med et givent materiale vil det normalt kun være muligt at skabe overblik ved at benytte en eller

anden grad for gennemsnit. Gennemsnitsdannelsen er den principielle metode til at bringe overblik over materialet. Men at danne gennemsnit i tid og/eller i sted er også at kaste information bort. Metoden må derfor anvendes med største omhu. Man kan således tage gennemsnit for en konkret målestation over året og sammenligne årsmidler år for år. Man kan ligeledes tage volumenvægtede gennemsnit over hele fjorden og se på tidsforløbet heraf.

I det følgende skitseres forskellige metoder til beskrivelse af samspillet mellem vandkvalitet og hydrografi. Forskellen mellem disse metoder ligger primært i graden af gennemsnitsdannelsen.

Det grundlæggende princip for metoden er i al sin enkelhed kontinuitetsligningen for vandet og for de forskellige stoffraktioner.

Simple beskrivelser

Den simpleste beskrivelse opnås ved at betragte hele fjorden under et. Vi vil i det følgende forudsætte, at vandstande, saltholdigheder og koncentrationer foreligger som målinger med en tidsafstand Δt , som ikke nødvendigvis behøver at være konstant, og som ofte er af størrelsesordenen nogle uger. Det forudsættes også, at antallet af salt- og koncentrationsmålinger er tilstrækkelige til, at volumenvægtede gennemsnit kan beregnes. Kontinuitetsligningen for vandet i fjorden lyder

$$F \frac{\Delta h}{\Delta t} = Q_F - Q_N$$

hvor

- F er fjordens overfladeareal
- Δt tidsskridtet
- Δh vandstandsændringen over tidsskridtet
- Q_F ferskvandstilførslen i gennemsnit over tidsskridtet
- Q_N den aktuelle nettovandføring til havet over tidsskridtet

Af denne ligning kan nettovandføringen til havet beregnes. Man vil ofte vælge et så stort tidsskridt, at magasineringsleddet bliver meget lille, hvorved nettovandføringen bliver lig ferskvandstilførslen, men det afhænger af den aktuelle situation.

Saltbalancen for fjorden for samme tidsrum er

$$\frac{\Delta(VS)}{\Delta t} = qS_0 - (Q_N + q)S$$

hvor

- V fjordens volumen
- $\Delta(VS)$ ændringen i fjordens samlede saltindhold over tidsskridtet
- S den volumenvægtede gennemsnitssaltholdighed over fjorden i middel over tidsskridtet
- q den ukendte udveksling, som er en funktion af tiden

Da alle størrelser er målte, undtagen udvekslingen q , kan denne derfor beregnes. Det antages nu, at denne udveksling, som egentlig er udvekslingen af konservativt stof, også er udvekslingen af andre ikke-konservative stoffer, f.eks. næringsalte. For disse stoffer lyder kontinuitetsligningen

$$\frac{\Delta(VC)}{\Delta t} = Q_F C_F + q C_0 - (Q_N + q)C + R$$

- $\Delta(VC)$ ændringen i fjordens samlede indhold af det aktuelle næringsalt
- C den volumenvægtede middelkoncentration i middel over tidsskridtet

C_F	koncentrationen i ferskvandstilførslen herunder også spildevandsbelastningen
C_0	baggrundskoncentrationen i havet
R	resttilførslen der får massebalancen til at passe

Da vi har målt koncentrationen i fjorden og i havet, er den eneste ubekendte i ligningen R , som derfor kan beregnes som funktion af tiden. I de fleste tilfælde vil R være stofudvekslingen med bundsedymenterne.

Det afgørende for anvendelsen af denne metode er, at ændringen af fjordens samlede indhold af salt og næringssalt kan beregnes nøjagtigt fra et tidsskridt til det næste, eller i matematisk formulering, at de volumenvægtede koncentrationer kan betragtes som værende differentiable med hensyn til tiden. Dette kræver, at målingerne ligger tidsmæssigt tættere end den senere omtalte opholdstid.

Eksempler på anvendelse af denne metode ses senere.

Begreberne opholdstid og vandskifte

Med udgangspunkt i ovenstående kan en fjords vandskifte Q_V defineres som

$$Q_V = Q_N + q$$

Man kan måske kalde dette vandskifte for nettovandskiftet, fordi det indeholder den nettoudveksling, der får saltbalancen til at passe.

Herefter bliver opholdstiden T

$$T = \frac{V}{Q_N + q}$$

Med denne definition bliver T den gennemsnitlige opholdstid for et konservativt stof udledt med ferskvandet.

Man kan eventuelt definere en fjords bruttovandskifte Q_B , som den samlede vandmængde, der føres ind i fjorden i den pågældende periode. Dette bruttovandskifte Q_B er ofte flere eller mange gange større end den effektive udveksling q . Bruttovandskiftet og den tilhørende opholdstid har ingen direkte relevans for vurderingen af stofmæssige forhold.

Mere avancerede beskrivelser

Ovennævnte princip kan umiddelbart udvides til at gælde for en opdeling af fjorden i et antal delområder afhængigt af topografien og datamaterialet. Det grundlæggende princip er stadig kontinuitetsligningen. Først benyttes denne til at bestemme nettovandføringen. Herefter udnyttes saltbalancen til beregning af udvekslingerne, og til sidst kan stoftransporter og resttilførsler beregnes. Men som tidligere nævnt, indebærer mere avancerede beskrivelser af hydrografi og stofbalancer af fjordene, at der tages gennemsnit i tid og sted over mindre områder.

Et ønske om en højere opløselighed i stedet, medfører automatisk et højere krav til målehyppighed. Hvis man f.eks. i en fjord med opholdstid på et par måneder måler koncentrationer i 3 - 4 vertikaler med ligeledes 3 - 4 punkter i hver vertikal én til to gange pr. måned, har man sandsynligvis tilstrækkeligt materiale til ovennævnte simple metode. Ønsker man nu et mere differentieret billede med en opdeling af fjorden i 4 delområder, vil det skønsomt være nødvendigt at udvide til 10 - 15 vertikaler samtidigt med, at målefrekvensen skal øges til måske 1 til 2 gange pr. uge. Et sådant måleprogram vil kun sjældent være realistisk. Men i fremtiden, hvor automatiske instrumenter på bøger og andre platforme forventes at have vundet indpas, vil der måske være basis for sådanne forbedringer.

Det ligger uden for hensigten med dette indlæg at komme nærmere ind på de egentlige kausale strømnings- og vandkvalitetsmodeller, som har været anvendt siden begyndelsen af 70-erne. Disse modeller er mest rettet mod at kunne forudsige ændringer f.eks. på grund af ændrede belastninger, hvorimod ovennævnte principper i højere grad skal betragtes som metoder til analyse af data fra de

løbende måleprogrammer.

Det er desværre en kendsgerning, at de egentlige vandkvalitetsmodeller ikke for alvor har slået igennem i det praktiske arbejde. Dette skyldes formentlig to forhold. For det første kræver modellerne et langt større måleprogram for den nødvendige kalibrering og validering, end man normalt regner med. For det andet mangler de procedurer, der benyttes til kalibrering og fortolkning af resultater fra modellerne, en tilstrækkelig og rimelig måde at håndtere metodens betydelige usikkerheder på.

Mariager fjord og Ringkøbing fjord som eksempler

På bilag nr. 1, som er et uddrag af tidsskriftet *Vand og Miljø*, ses, hvorledes ovennævnte simple metode har været udnyttet for Mariager fjord. På bilag nr. 2 er vist et kort uddrag af resultaterne fra en tilsvarende beregning for Ringkøbing fjord med samme metode.

Trods de markante forskelle på de to fjorde udviser forholdene for næringssaltene kvælstof og fosfor nogle bemærkelsesmæssige lighedspunkter. I begge tilfælde gælder det, at kvælstoffjernelsen i systemet er betydelig, svarende til 40 - 50 % på årsbasis af tilførslerne. Nærmest det omvendte er gældende for fosfor, hvor koncentrationen i vandfasen kun svagt eller slet ikke afspejler de stærkt reducerede tilførsler, hvilket må henføres til afgivelse af fosfor akkumuleret i bundsedimenterne.

De viste tidsforløb giver et godt indtryk af, hvordan forholdene varierer over året og man bemærker, hvorledes det kun har meget begrænset værdi at vurdere to på hinanden følgende år. Først når tidsforløbet har en længde af 4 - 5 år, kan tendenser aflæses.

Neurale netværk og andre empiriske modeller for hydrografi og vandkvalitet

Som et alternativ til de omtalte kausale edb-modeller skal det nævnes, at empiriske modeller baseret på de såkaldte neurale netværk skønnes at have store muligheder ved beskrivelse af hydrografi og vandkvalitet i fjordområder. Dette har været studeret i flere projekter ved AUC de sidste år og er nu under nøjere bearbejdning i et eksamensarbejde, som udføres af Flemming Muldbjerg med undertegnede som vejleder. I projektet medvirker Fyns og Nordjyllands amter.

Neurale netværk er i princippet **black-box-modeller**, dvs. modeller som ikke indeholder en direkte beskrivelse af de fysiske, kemiske og biologiske forhold. De indeholder istedet en række matematiske grundoperationer, der noget misvisende betegnes *neuroner*. Disse neuroner er knyttet sammen i et netværk. Til hver af neuronerne er knyttet nogle få kalibreringskonstanter. Den samlede netværksmodel er således karakteriseret ved det samlede sæt af kalibreringskonstanter. Anvendelsen af et neuralt netværk kræver derfor et grundigt kalibreringsgrundlag i form af flere års vandkvalitetsmålinger i fjorden samt af de input, f.eks. næringstiltførslerne og vandskiftet, som forventes at være styrende for vandkvaliteten.

Neurale netværk og lignende empiriske modeller er velegnede, når datagrundlaget er stort. Dette er netop tilfældet for de fleste danske fjorde.

Afslutning

Begrænset plads har været til rådighed for dette indlæg. De fleste punkter er derfor meget kortfattede og måske også lidt uklart behandlet. Kommentarer og spørgsmål er derfor meget velkomne.

VIBORG.DOC/1.043

Mariager Fjords næringssaltbalance

Af Torben Larsen, Aalborg Universitetscenter, Finn Andersen, Nordjyllands Amt og Kurt Nielsen, Århus Amt

Amtskommunernes overvågningsprogrammer har nu skabt mulighed for, at næringssaltenes videre skæbne fra fjordene til de åbne farvande kan beskrives.

Denne artikel omhandler næringssaltbalancen i Mariager fjord, som danner amtsgrænse og derfor overvåges af Nordjyllands og Århus Amter i fællesskab.

Amtskommuners måleprogram dækker både i tid og sted koncentrationsvariationerne i fjorden så godt, at de totale massebalancer for salt, kvælstof og fosfor kan opgøres med god nøjagtighed.

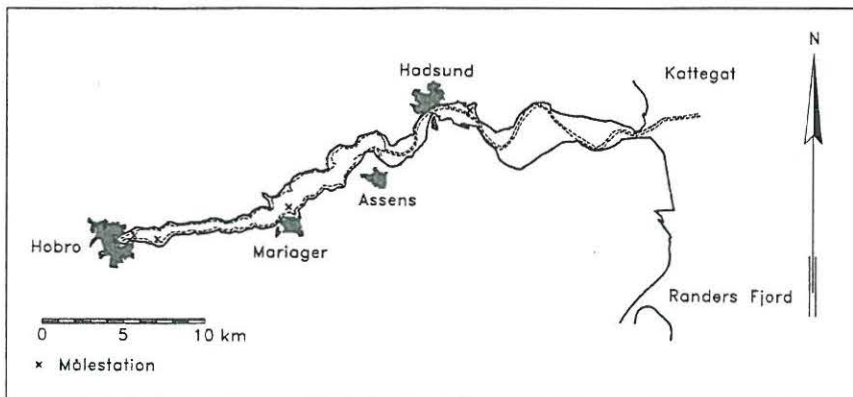
Ca. 50% af det tilførte kvælstof denitrificeres (eller sedimenteres) i fjorden. Om sommeren eksporteres kun ca. 30% af tilførslerne videre til Kattegat.

Der eksporteres mindst 20-30% mere fosfor til Kattegat, end der tilføres fra land. Dette tilskrives en frigivelse fra bundsedimenterne. En markant reduktion af fosfortilførslerne de sidste 5-6 år har kun givet sig udslag i et svagt fald i koncentrationerne i fjorden.

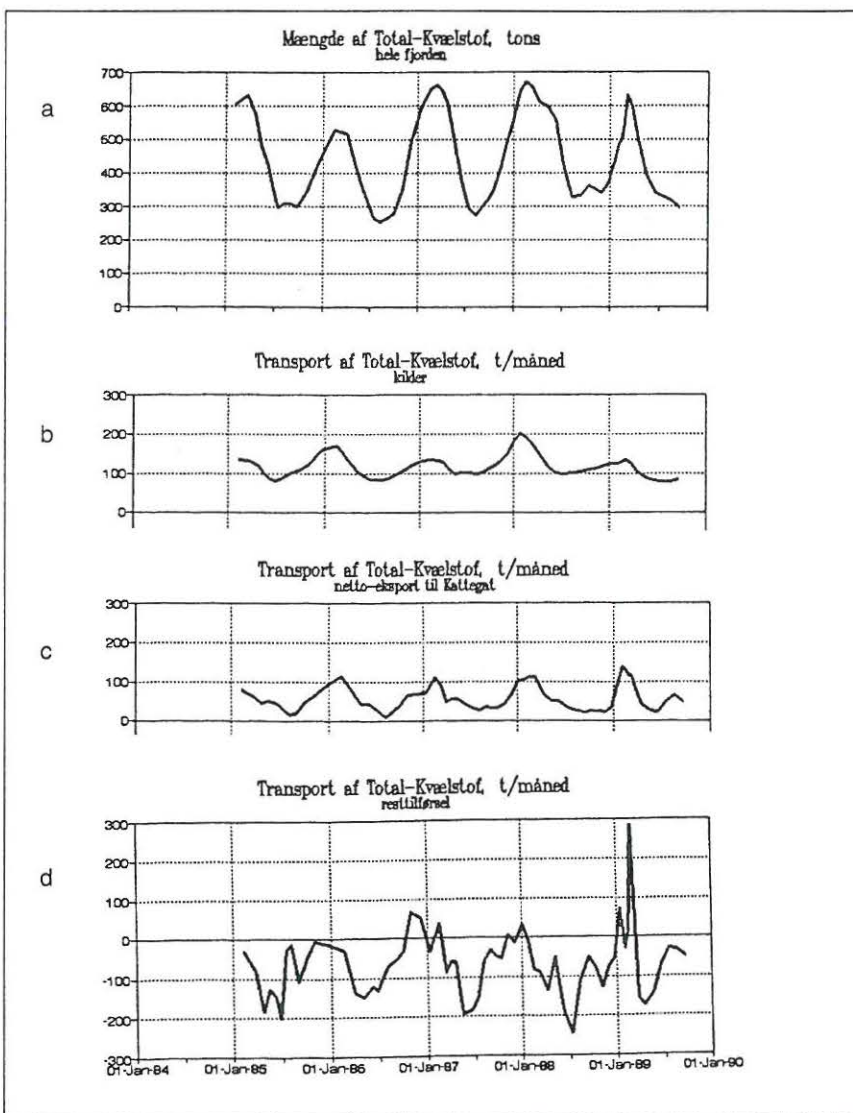
Mariager fjord

Mariager fjord udgør i geologisk henseende en af de karakteristiske øst-vestgående tunneldale i denne del af det jyske landskab, hvortil også hører f.eks. Tjele Langsø. Den centrale del af fjorden er dyb med en maksimum dybde på 28 m ud for Mariager. Yderfjorden mellem Dania og Kattegat er derimod lavvandet med vanddybder overvejende under 1 m undtagen i den smalle sejltrede, som er 6 til 10 m dyb, men som volumenmæssigt er ubetydelig. Til trods for at yderfjorden og inderfjorden er nogenlunde lige store, ligger 90% af fjordens vandvolumen i inderfjorden.

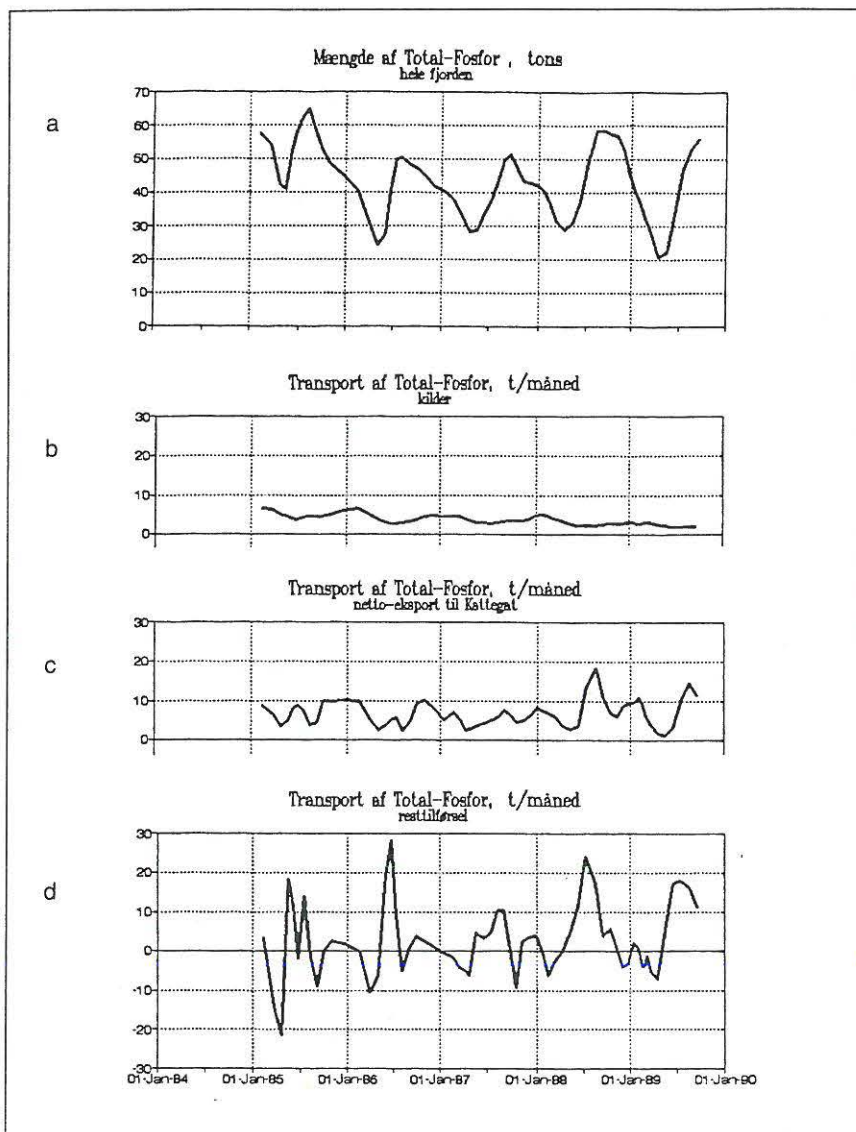
Den samlede ferskvandstilførsel udgør som årgennemsnit 5-6 m³/sec, som fordeles sig omtrent ligeligt mellem inder- og yderfjorden. Den relativt store vanddybde i inderfjorden medfører, at denne del er tagdelte hele året med undtagelse af ekstreme stormsituationer, i størrelsesordenen en gang pr. år, hvor fjorden i kort tid kan være fuldt opblandet i dybden. Normalt har



Figur 1. Oversigtsplan. Placering af målestationer.



Figur 2a-2d. Kvælstof i Mariager fjord.



Figur 3a-3d. Fosfor i Mariager fjord.

øvre lag i inderfjorden en tykkelse på 12-14 m og er oftest homogent med en saltholdighed på 13-17‰, medens nedre lag har stigende saltholdighed med dybden svarende til et gennemsnit på 20‰.

Det er en væsentlig pointe at konstatere, at inderfjordens øvre lag for det første næsten altid er homogent og dernæst, at volumen af dette lag udgør ikke mindre end ca. 80% af fjordens samlede volumen. Man kan derfor konkludere, at fjordens totale indhold af salt og næringsalte i de frie vandmasser stort set befinder sig i inderfjordens øvre lag.

Yderfjordens sejlbare er under rolige vejrforhold domineret af en tidevandsstrøm på +/- 0,5 m/sec, og er derfor fuldt lodret opblandet. Derimod har

man her en langsgående saltholdighedsvariation, som er nær lineær mellem inderfjorden (øvre lag) på 13-17‰ og Kattegats øvre lag på 20-25‰.

En generel beskrivelse af Mariager fjords vandkvalitet er givet i /1/.

Overvågningsprogram

Nordjyllands og Århus Amter har hvert år siden starten af 1985 i fællesskab gennemført et overvågningsprogram af vandkvaliteten af Mariager fjord.

Programmet har omfattet måling af tilførsler fra alle større vandløb og renseanlæg af organisk stof og næringsalte. Månedlige koncentrationmålinger sammen med de kontinuerlige vandføringsmålinger i de vigtigste vandløb giver således de

samlede tilførsler af kvælstof og fosfor på månedsbasis. De summerede værdier for hele fjorden ses på figur 2b og figur 3b.

I selve fjorden har man på de figur 1 angivne målestationer målt den vertikale fordeling af en række fysiske, kemiske og biologiske parametre, herunder saltholdighed og kvælstof og fosfor. Målingerne af disse vertikaler blev udført på 1 til 3 dage i sammenhæng ca. en gang månedligt, dog siden starten af 1990 to gange månedligt.

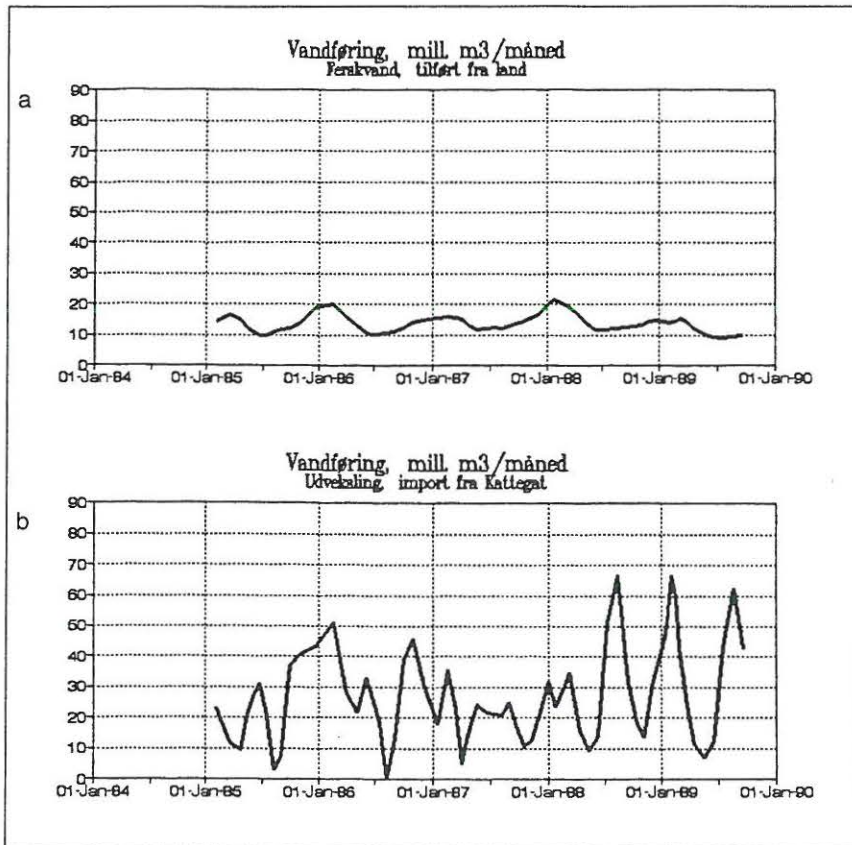
Som senere omtalt benyttes disse målinger til bestemmelse af fjordens samlede stofindhold og den totale middelkoncentration. På figur 2a og figur 3a ses fjordens totale indhold af hhv. kvælstof og fosfor, og det er vigtigt at bemærke, at ovennævnte målehyppighed er tilstrækkelig til at beskrive, hvorledes det samlede stofindhold ændrer sig fra gang til gang. Én gang månedligt svarer til 6 gange inden for systemets opholdstid, som er ca. 6 måneder beregnet ud fra saltbalancen. Set i denne sammenhæng er måleprogrammet for Mariager fjord af høj kvalitet sammenlignet med målingerne i de fleste øvrige danske fjorde.

Til bestemmelse af baggrundskoncentrationen af salt og næringsalte i Kattegat har man hidtil benyttet måletransektet ud for Dokkedal mellem Limfjorden og Mariager fjord, hvor der udføres samme målinger som i fjorden, også én gang månedligt. Dette er en relativ lav målehyppighed i forhold til de hurtige ændringer, som ses her. Da næringsaltværdierne imidlertid er små, er dette ikke kritisk, hvorimod en hyppigere måling af saltholdigheden er under overvejelse.

Beregning af vandskifte og næringsaltbalance

Fjordens relative høje saltholdighed viser, at der foregår en betydelig vandudveksling med Kattegat. Da fjordens saltindhold, som omtalt i sidste afsnit, i overvejende grad er samlet i inderfjordens øvre lag, har man i beregningerne af fjordens stofbalance valgt at betragte fjorden som et samlet område, og lade det samlede stofindhold være repræsenteret af en volumen-vægtet middelkoncentration for hele fjorden.

Med udgangspunkt i overvågningsprogrammets målestationer er fjorden opdelt i 4 (evt. 3) delområder. Ved at kombinere disse delområders hypsometriske kurve (dvs. delområdets are-



Figur 4. Ferskvandstilførsel og udveksling i Mariager fjord.

magasinerung = tilførsel - fjernelse

eller

$$V \frac{\Delta c}{\Delta t} = [S + q c_K + T] - [(Q_F + q)c] \quad (1)$$

hvor

- V er fjordens volumen
- Δc er ændringen i middelkoncentration fra én måling til den næste
- Δt er tidsafstanden fra én måling til den næste
- S er de samlede tilførsler fra vandløb, renseanlæg mv. over Δt
- T er de ukendte tilførsler fra bund (hvis negativ da fraførsel)
- c_K er baggrundskoncentrationen i Kattegat i middel over Δt
- q er udvekslingsvandføringen med Kattegat
- Q_F er ferskvandstilførslen
- c er middelkoncentrationen i fjorden over Δt .

Box 1.

al som funktion af dybden) med de dybdeafhængige målinger, kan de enkelte delområders samlede stofindhold beregnes. Disse summeres herefter, og fjordens samlede stofindhold og middelkoncentration kan beregnes. Princippet er simpelt, men er alligevel ret omfattende i praksis, og edb må anvendes.

Herefter kan fjordens samlede massebalance opstilles som vist i box 1. Først anvendes ligning (1) på saltbalancen. I dette tilfælde er S og T lig nul og derfor kan udvekslingen q bestemmes, når de øvrige størrelser er målte. Tidsforløbet af ferskvandstilførslen Q_F og udvekslingen q ses på figur 4a og 4b.

Herefter antages det, at nærings-saltene udveksles til Kattegat med den netop beregnede udvekslingsvandføring (q).

For kvælstofs vedkommende skønnes dette at være en god tilnærmelse, fordi kvælstoffet fra land netop følger ferskvandstilførslen. Det er lidt mere usikkert med fosfor, fordi tilførslen ikke i så høj grad er korreleret med ferskvandstilførslen og fordi den vertikale fordeling i perioder med stor afvigelse fra bunden afviger betydeligt fra ferskvandsfordelinger. Men trods usikkerhederne skønnes ligning (1) kalibreret med saltholdigheden at give et godt billede af fjordens totale nærings-saltbalance.

Figur 2c viser herefter de beregnede værdier for kvælstof. Det falder umiddelbart i øjnene, at kun ca. 50% af tilførslerne på årsbasis eksporteres videre til Kattegat og man ser, at denne procent er endnu lavere om sommeren, måske kun 30-40%. Årsagen hertil er utvivlsomt denitrifikation. Man bemærker iøvrigt at belastningen og fjordens samlede indhold af kvælstof ikke har ændret sig i perioden.

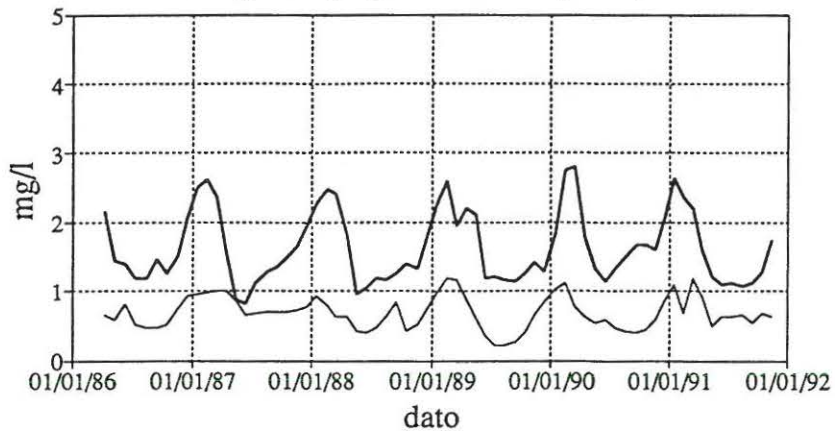
Figur 3c viser resultaterne for fosfor, og modsat ved kvælstof ser man, at der sendes mere videre til Kattegat end der tilføres fra land, svarende til mindst 20-30% mere. Man ser også, at der i løbet af året sker store interne både tilførsler og fjernelser, utvivlsomt med bundsedimenterne. Konsekvensen af denne frigivelse fra bunden i perioden har været, at til trods for de reducerede kilder fra vandløbet og renseanlæg, har der ikke kunnet registreres en reduktion i det gennemsnitlige koncentrationsniveau i fjorden. Der skal formetlig mindst en yderligere 5-årig periode til at forudsige, hvornår fjorden vil komme i steady state med de reducerede kilder.

Man har således fået bekræftet de store forskelle der er på kvælstofs og fosfors opførsel i systemet. Selv en markant reduktion i fosfortilførslerne kræver formentlig mindst en 10-årig periode for at slå igennem. På grund af denitrifikationen er det modsatte gældende for kvælstof. En reduktion i kvælstoftilførslen vil slå fuldt igennem inden for det år, hvori den finder sted. Om denitrifikationen falder eller stiger relativt set, når tilførslen falder, er derimod uafklaret.

Referencer

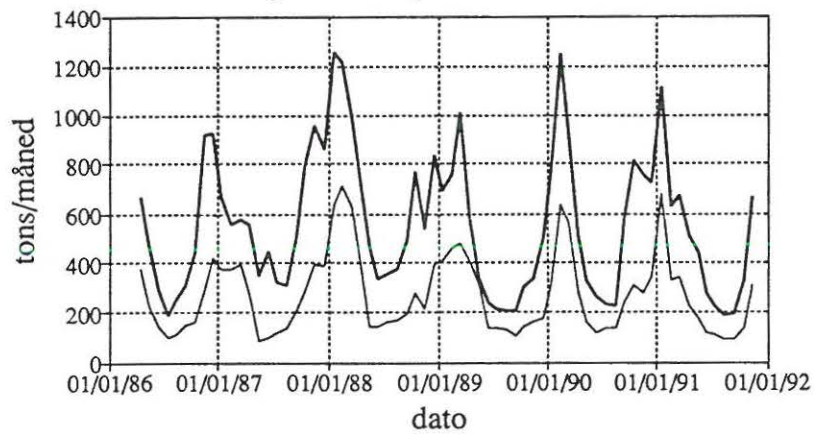
/1/ Mariager fjord, 1985-1989. Udvikling og status, Nordjyllands Amt og Århus Amt..

Total-Kvælstof, 1986-1991.
Ringkøbing og Vesterhavet (St.41)



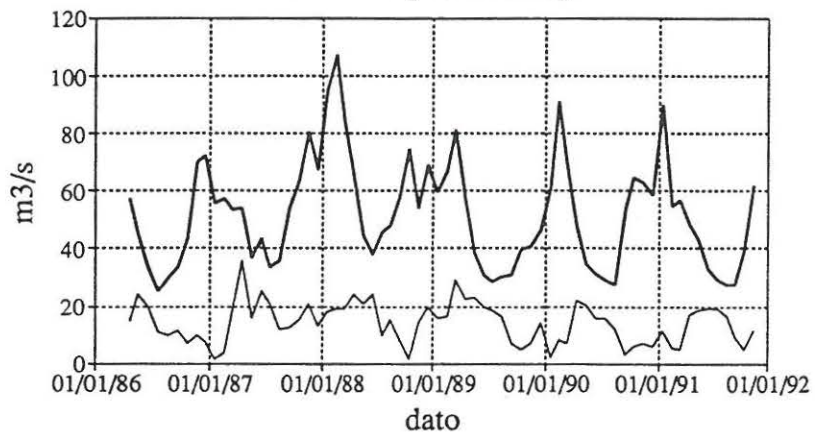
— Ringkøbing Fjord — Vesterhavet (St.41)

Transport af Total-Kvælstof, 1986-1991.
Kilder og netto-eksport til Vesterhavet



— kilder — netto-eksport

Vandføringer, 1986-1991.
Ferskvand og udveksling



— ferskvand — udveksling