Suspensionsernæring – om filtrerende dyrs liv i en tynd algesuppe

Havet er en tynd suppe af mikroskopiske planktonalger. Mange filtrerende dyr har specialiseret sig i at leve af disse suspenderede fødepartikler. For at dække fødebehovet skal dyrene pumpe store mængder vand, samtidig med at de små planktonalger effektivt tilbageholdes, og det koster energi. Er det energimæssigt en marginal levevej? Denne artikel belyser spørgsmålet på baggrund af ny forskning. Samtidig omtales den økologiske betydning af filtrerende 'nøgleorganismer' i vore fjorde og kystnære områder.

Hans Ulrik Riisgaard og Poul Scheel Larsen

Halvdelen af den globale primærproduktion sker i havet. Her er det altovervejende de éncellede planktonalger, under ét kaldet fytoplankton, som står for nyproduktionen af det organiske stof, der danner energigrundlaget for havets økosystemer. Men højt specialiserede filtrerende dyr, som kan indfange og omdanne planktonalgerne til animalsk stof, er et nødvendigt bindeled mellem de mikroskopiske primærproducenter og de større dyr højere oppe i fødenettet. Derfor er suspensionsernæring et vigtigt forskningsområde område inden for marinbiologien /2, 3, 9,10/.

Suspensionsernæring er vidt udbredt hos hvirvelløse dyr. De fjerner suspenderede fødepartikler, hovedsagelig fytoplankton (2-200 μm), men i mange tilfælde også fritlevende bakterier (0,2 to 2 μm) fra vandet. I havets frie vandmasser "græsses" planktonalgerne af zooplankton-organismer, hvoraf de vigtigste repræsentanter for disse filtratorer er vandlopperne, der bl.a. udgør fødegrundlaget for silde- og makrelfisk højere oppe i fødekæden. Nær havbunden, på sten og planter findes mange bundlevende hvirvelløse dyr, der også lever af at filtrere planktonalger og andre suspenderede fødepartikler fra vandet. Typiske repræsentanter, der er tilpasset denne levevis som suspensionsædere, er en lang række arter af svampe, mosdyr, muslinger, søpunge og børsteorme /7/.

Energiudgifterne til pumpe- og filtreringsarbejde må nødvendigvis være nøje tilpasset dyrenes filtrerende levevis, herunder ikke mindst koncentrationen af fødepartikler i de frie vandmasser. Det afspejler sig i filter-pumpernes design og i dyrenes aktivitet. Der er nemlig ikke levnet dem tid til ret meget andet end at filtrere og æde. Problemet med at koncentrere tilstrækkelig føde i form af små partikler fordelt i et stort vandvolumen har de filtrerende dyr løst på mange vidt forskellige måder. Det er fascinerende at studere og prøve at forstå virkemåden af de forskellige design på filter-pumper, noget der kan virke inspirerende på fluid-mekanikere og ingeniører, der interesserer sig for menneskeskabte pumper, væskestrømme og fine filtre, der skal være effektive uden at stoppe til. Trods forskelle mellem havdyrenes filter-pumper er der et ultimativt krav, som udgør en fællesnævner. Dyrene skal nemlig kunne fange de samme små partikler effektivt og samtidig pumpe store mængder vand med nogenlunde samme lave energi-udgifter. Derfor er der også mange funktionelle ligheder mellem de forskellige dyrs filter-mekanismer og væskepumper.

Formålet med de senere års sammenlignende studier af mekanismer for partikelfangst og egenskaber ved de biologiske filterpumper har været mere præcist at beskrive og forstå grundlaget for suspensionsernæring, herunder at belyse energiomkostningerne, pumperater, fangst-effektiviteter af partikler og de forskellige tilpasninger til et filtrerende liv. Et mere overordnet formål har også været at finde nøglen til en bedre forståelse af variation i mængden af planktonalger, som i mange situationer er betinget af samspillet mellem tætte bestande af filtrerende bunddyr og de varierende strømningsforhold i havet /4/.

En væsentlig del af den omtalte forskning er udført i Kerteminde på Marinbiologisk Forskningscenter, SDU i et tæt samarbejde med Sektionen for Fluid Mekanik på DTU.

Ultimative krav

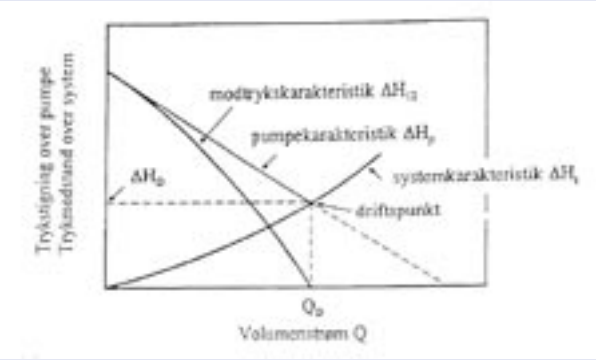
Det er karakteristisk, at suspensionsernæring hos marine dyr er en sekundær tilpasning, som har fundet sted i løbet af evolutionen. Blåmuslingen har eksempelvis to store W-formede gæller, der er trådt i ernæringens tjeneste. Gællerne er således blevet mange gange større end nødvendig for at dække optagelsen af ilt og udskillelsen af kuldioxid; faktisk er gennemstrømningen af vand blevet så kraftig, at gællen som respiratorisk organ er blevet overflødig, fordi der finder tilstrækkelig med passiv diffusion af ilt ind og kuldioxid ud over de ydre overflader /2, 3/. Hvor meget vand skal der pumpes og filtreres, for at muslingen kan opretholde livet i en tynd algesuppe? Hvad er kort sagt det ultimative krav til filter-pumpen? Besvarelsen af dette spørgsmål illustrerer noget generelt om suspensionsernæring.

For at vurdere tilpasningen af en filtrerende organisme til et bestemt miljø er det af interesse at kende den minimale fødeoptagelse, der er nødvendig for at dække dyrets energibehov. De energetiske omkostninger til at dække basalstofskiftet hos et sultende dyr kan bekvemt udtrykkes ved respirationen (R), målt som dyrets iltforbrug, der direkte kan konverteres til energi-ækvivalenter. Fødeindtagelsen kan udtrykkes som energi per tid optaget fra det vandvolumen (F), som dyret filtrerer multipliceret med koncentrationen af fødepartikler, der tilbageholdes i dyrets filter. Forholdet F/R, der umiddelbart kan måles, udtrykker potentialet for at pumpe vandet igennem det biologiske filter, og den traditionelle 'enhed' er liter vand filtreret per ml ilt forbrugt. Dette 'filter-potentiale' er et nyttigt redskab til at karakterisere suspensionsernæring /7, 8/, se tabel 1.

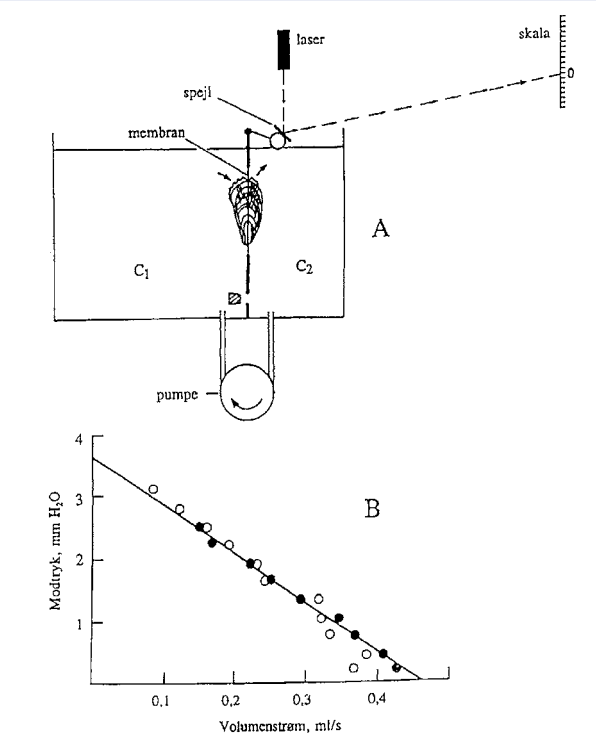
Generelt skal en suspensionsæder kunne filtrere mindst 10 liter vand per ml O_2 for-

BOKS 1: Ingeniørmæssig analyse af biologiske pumper

For enhver filtrerende organisme er det muligt at identificere en pumpe og et tilhørende pumpesystem bestående af kanaler, filtre, indsnævringer osv. Pumpen driver med en vis hastighed et vandvolumen (volumenstrømmen Q) gennem pumpesystemet, som yder forskellig grad af modstand (kaldet »systemmodstand«). Hvis pumpetrykket, som pumpen leverer ved forskellige pumpehastigheder (kaldet »pumpekarakteristikken«), og trykfaldet ved vandstrømning gennem systemet (kaldet »systemkarakteristikken«) afbildes på samme graf (se Fig. 1), så definerer skæringspunktet af de to karakteristikker pumpens normale driftspunkt (Q_D, ΔH_D), der bestemmer den resulterende vandstrøm. Filter-pumpens normale pumpetryk er således udtrykt ved ΔH_D.



Figur 1. *Analyse af biologisk pumpe. Pumpen leverer typisk en stigende volumenstrøm Q, når den skal arbejde mod et mindre tryk ΔH_p, hvilket forklarer den faldende pumpekarakteristik. Det til pumpen tilsluttede kanalsystem yder en stigende modstand ΔH_s, når volumenstrømmen Q øges, hvilket illustreres ved den stigende systemkarakteristik.*



Figur 2. *Eksempel på anvendt eksperimentel teknik til måling af modtrykskarakteristik, her på blåmusling (A). Ind- og udstrømsvandet er adskilt af en membran. Laserstrålen reflekteres på en skala vha. et spejl på en flydende ping-pong kugle. Muslingens pumpehastighed (volumenstrøm) ved kendte pålagte modtryk kan måles via en mekanisk doseringspumpe, der sættes til at pumpe vandet tilbage. Af modtrykskarakteristikken (B) ses, at det maksimale tryk, en blåmuslingen kan skabe er 3,6 mm vandsøjle ("muslingepumpens løftehøjde").*

Det samlede trykfald i et filtrerende dyrs pumpe-system er summen af gnidningsmodstanden inkl. trykfald over filter (ΔH_f), kinetisk energitab til skabelse af jetstrøm ved dyrets indsnævrede udløb (ΔH_k), og hydrostatisk modtryk (ΔH_{12}), der under naturlige forhold er nul, men som kan pålægges i forsøgsopstillinger (se Fig. 2), altså: $\Delta H_s = \Delta H_f + \Delta H_k + \Delta H_{12}$. Hos filtrerende dyr kan pumpekarakteristikken ikke måles. Men det kan til gengæld modtrykskarakteristikken ΔH_{12}, der ofte er blevet bestemt eksperimentelt, hvorefter pumpekarakteristikken kan fastlægges, når systemkarakteristikken forinden er blevet beregnet vha. standardformler for trykfald for vand, der strømmer igennem et pumpe-filter-system med kendte dimensioner. Ved det normale driftspunkt uden noget pålagt modtryk (Fig. 1) leverer pumpen nøjagtig en trykstigning (ΔH_D), som er lig kanalsystemets samlede trykmodstand (ΔH_s), dvs. $\Delta H_s = \Delta H_D$ (målt i mm H_2O, »millimeter vandsøjle«). Pumpeeffekten (angivet i watt, W) beregnes som P = [pumpetryk, angivet i Pascal, Pa] × [volumenstrøm, angivet i m^3/s] = $[\rho g \Delta H_D] \times [Q_D]$, hvor ρ = massefylden af havvand (1024 kg/m^3, 34.8 0/00 S, 20 °C) og g = tyngdeaccelerationen (9.81 m/s^2).

Som det fremgår, er energiudgifterne til pumpearbejde direkte betinget af pumpetrykket. For at spare energi, er alle filtrerende dyrs pumper lavtryks-pumper. Et lavt pumpetryk sikres ved at vandet pumpes med lav hastighed gennem store filtre. Hos søpunge udgør filter-pumpen omkring 3/4 af hele dyret, og arealet af det meget tynde (typisk 10-40 nm) finmaskede slim-net (maskestørrelse typisk på 0,5 × 2 µm), der anvendes til partikelfangst, er relativt stort, således at vandhastigheden gennem filteret kun er 0,3 mm/s. Det kan beregnes, at trykmodstanden over et sådan slim-net kun er 0,07 mm vandsøjle, eller omkring 20% af det samlede pumpetryk på 0,3 mm vandsøjle, se Tabel 1. De 80% af trykfaldet sker i kanaler til og fra filteret og specielt til at frembringe en kraftig jet-stråle af det filtrerede og nu fødefattige vand, så det kommer væk fra dyret og ikke suges ind igen.

Eksempel:

For en blåmusling med en skallængde på 35 mm lang blev pumpetrykket bestemt til ΔH_D = 1 mm vandsøjle og pumpehastigheden til Q_D = 1 ml/s, dvs. muslingepumpens 'power output' er P = [pumpetryk] × [pumpehastighed] = $[\rho g \Delta H_D] \times [Q_D] = [1024 \times 9.81 \times 0.001] \times [10^{-6}]$= 10 µW (mikrowatt), jvf. pumpeeffekten angivet i Tabel 1.

brugt. Det tal er beregnet på basis af indholdet af »suspenderet føde-energi«, repræsenteret ved en typisk middelkoncentration af alger i danske farvande. Men suspensionsernærende dyr, der har tilpasset sig et liv i ekstremt næringsfattigt vand, kan have væsentligt højere F/R-værdier. Børsteormen *Sabella penicillus* kan således filtrere 354 liter vand per ml O_2 forbrugt. Af tabel 1 ses, at de fleste svampe har lave F/R-værdier, hvilket afspejler at svampene, udover at konsumere planktonalger, også fanger fritlevende bakterier og kolloidale partikler i deres meget fine krave-filter. Til sammenligning er blåmuslingens filter »kun« 100 % effektivt for partikler ned til 4 μm, hvorefter effektiviteten falder til ca. 50 % for 1-2 μm partikler. Det er vigtigt at slå fast, at F/R-værdien ikke udtrykker noget om energiomkostningerne til pumpe- og filtreringsarbejde; men derimod noget om den nødvendige filtreringskapacitet, der skal til for at en suspensionsernærer kan leve i et bestemt område med en given algekoncentration.

I de senere år har vi studeret en række suspensionsernærende havdyrs filter-pumper, bl.a. for at fastlægge energiudgifterne til pumpearbejdet /6, 7, 8/. I boks 1 omtales nogle af principperne for de opnåede resultater, som har været med til at besvare det store relevante spørgsmål, om suspensionsernæring energimæssigt er en marginal levevej.

Fysiologisk regulering af filter-pumpen?

Det har i de senere år været stærkt omdiskuteret, om især blåmuslingen, men også de øvrige filtrerende havdyr, er i stand til fysiologisk at regulere fødeindtaget efter energibehov. Eller om filtrerings-processen snarere skal opfattes som en overvejende autonom, ureguleret proces, der ikke kan fin-justeres til algekoncentrationen i det omgivende vand /5/. Nogle elementer, der indgår i diskussionen, skal kort fremføres her.

Koncentrationen af klorofyl-a er et mål for biomassen af planktonalger i havet, og med kendskab til f.eks. blåmuslingens 'filter potentiale' (F/R) kan det beregnes, at der skal være 1,5 mg klorofyl-a per m^3 for lige akkurat at dække dyrets basale energibehov, så muslingen ikke sulter. Kommer koncentrationen under denne værdi, lukker muslingen sine skaller for at nedsætte respirationen og dermed spare energi. Hvis omvendt at koncentrationen af partikler bliver for høj og gælle-filterpumpen og fordøjelsessystemet overbelastes, vil blåmuslingen producere slim, som indhyller de overskydende partikler, der herefter udskilles som pseudofaeces /3/. Blåmuslingen kan med sine mundpalper, som andre suspensionsædende muslinger, effektivt frasortere uorganiske partikler uden fødeværdi samtidig med, at planktonalger og andre organiske partikler ædes. Hvis koncentrationen af planktonalger bliver meget høj, reagerer muslingen ved at lukke skallerne. Det har været et problem i mange laboratorieforsøg, hvor kultiverede planktonalger er blevet tilsat i så høje koncentrationer, at de ikke repræsenterer værdier i naturen. Det har resulteret i mange tvivlsomme laboratoriestudier.

Med kendskab til blåmuslingens energibudget, er det beregnet – og bekræftet eksperimentelt i kontrollerede vækstforsøg – at den mindste algekoncentration, der giver maksimal vækst, er 5,5 mg klorofyl-a per m^3 havvand, forudsat at muslingen kontinuerligt filtrerer med maksimal hastighed. Den gns. koncentration af klorofyl-a i danske fjorde og kystvande (baseret på 1400 serier af data) ligger på 5,1 mg per m^3. Men da der er mange filtrerende dyr på havbunden og derfor indbyrdes konkurrence, er den aktuelle koncentration, muslingerne oplever sædvanligvis betydelig lavere. Derfor udnytter blåmuslingen generelt ikke sit fulde vækstpotentiale i naturen. Meget tyder på, at blåmuslingen generelt filtrerer med maksimal hastighed, så snart koncentrationen af planktonalger ligger over den nedre tærskelværdi, hvor muslingen lukker skallerne /5/. Lignende forhold gør sig gældende for alle suspensionsædere. Disse forhold er vi ved at undersøge med undervands-video-optagelser i Kerteminde Fjord.

Hvad koster suspensionsernæring?

Energiudgifterne til pumpearbejdet hos filtrerende dyr kan vurderes på grundlag af nyttevirkningen beregnet som pumpeeffekten (P) i forhold til stofskiftet (R), altså P/R. Sådanne værdier, bestemt for en række repræsentanter for forskellige taksonomiske grupper af filtratorer, er vist i tabel 1. Det ses, at nyttevirkningen kun udgør mellem 0,26 % og 4 % af organismens stofskifte. Det koster tilsyneladende ikke meget at være suspensionsæder. En væsentlig del af forklaringen er, at alle filtrerende dyr benytter sig af lavtryks-pumper, uanset om pumpen drives med muskelkraft eller cilier (fimrehår) /6, 7, 8/. De højeste pumpetryk på 1,43 og 1,49 mm vandsøjle er fundet hos to børsteorme med muskel-pumper, nemlig *Chaetopterus variopedatus* og *Nereis diversicolor*. Hos eksempelvis muslinger og søpunge, som benytter cilie-pumper, er det normale pumpetryk kun henholdsvis 1,0 og 0,3 mm vandsøjle. Det afspejler, at filter-pumperne er udviklet til snarere at flytte vand end at løfte

Tabel 1. *Filter-pumpe karakteristika for nogle suspensionsernærende hvirvelløse havdyr. M = muskelpumpe, C = cilie-pumpe, pumpetryk (ΔH_D), pumpeeffekt ('power output', P), respiration (R), pumpe-effektivitet (P/R), F/R = vandbearbejdningspotentiale = liter vand filtreret (F) per ml O_2 forbrugt (R). µW = mikrowatt.*

Gruppe og art	Pumpe type	ΔH_D (mm $H\neq_2O$)	P (µW)	R (µW)	P/R (%)	F/R (l H_2O per ml O_2)
Svampe						
Haliclona urceolus	C	0,673	0,677	80	0,85	-
Halichondria panicea	C	-	-	-	-	2,7
Mycale sp.	C	-	-	-	-	19,6
Verongia gigantea	C	-	-	-	-	4,4
Verongia fistularis	C	-	-	-	-	9,7
Tethya crypta	C	-	-	-	-	22,8
Mosdyr (bryozoer)						
Crisia eburnea	C	0,065	-	-	-	-
Celleporella hyalina	C	0,05	0,0002	0,02	1,0	68
Vandlopper	M					
Acartia tonsa		-	-	-	-	37
Børteorme						
Sabella penicillus	C	0,022	0,451	112	0,403	354
Chaetopterus variopedatus	M	1,43	4,3	107	4,0	50
Nereis diversicolor	M	1,49	2,10	70	3,0	40
Muslinger						
Mytilus edulis	C	1,0	10	900	1,1	18
Spisula subtruncata	C	-	-	-	-	10
Søpunge						
Styela clava	C	0,3	2,3	891	0,26	-
Ciona intestinalis	C	-	-	-	-	82
Lancetfisk (amphioxus)						
Brachiostoma lanceolatum	C	-	-	-	-	79

vand. Det maksimale tryk, en blåmusling kan skabe (»løftehøjden«) er således kun 3,6 mm vandsøjle. Det gjorde det i mange år (siden begyndelsen af 1900-tallet) vanskeligt at lave direkte eksperimentelle målinger og analyser af muslingepumpen, fordi utilsigtede modtryk på blot få millimeters vandsøjle drastisk nedsatte pumpehastighederne. Med laser-ping-pong-opstillingen i boks 1 blev vejen banet for meget præcise målinger af pumpehastigheder ved kendte pålagte modtryk. Modifikationer af den viste opstilling er siden blevet benyttet til karakterisering af filterpumper hos svampe, søpunge og filtrerende børsteorme /6, 7/.

Men pumpetryk og pumpeeffekten er ikke nøglerne til den fuldstændige forståelse af de filtrerende dyrs tilpasning til suspensionsernæring. For man kan med rette spørge om hvilke principper, der ligger til grund for selve fiter-pumpernes dimensionering. Og hvorfor er suspensionsernæring generelt baseret på kontinuerlig filtrering med udnyttelse af den maksimalt mulige filtrationshastighed? Her kan vi igen anvende blåmuslingen som eksempel til at illustrere et generelt princip, nemlig princippet om »minimal skalering« af filter-pumpen.

Minimal skalering

En måde at vurdere filtrerings-omkostningerne for eksempelvis blåmuslingen, er at beregne forholdet mellem energiforbruget til de store W-formede gæller (R_g), og dyrets totale respiratoriske energiudgifter (R), altså R_g/R /6, 7/. For blåmuslingen er det beregnet, at $R_g/R = 19$ %. Det vil altså sige, at energiudgifterne til blåmuslingens filtrerende levevis, baseret på en stor specialiseret gælle-filterpumpe, udgør omkring 1/5 af de samlede energiudgifter, hvilket er en ret betydelig andel. Energiudgifterne til gælle-filter-pumpens vedligeholdelse er altså store i forhold til selve det mekaniske pumpearbejde, der kun udgør 1,1 % af det totale stofskifte (jvf. P/R-værdien i tabel 1). Med andre ord kan blåmuslingen ikke spare meget energi ved i perioder at standse pumpen (eller regulere den). Energi til vedligeholdelse snarere end til pumpearbejde kan derfor kun retfærdiggøres, når den del af organismen, der er ansvarlig for pumpning, er dimensioneret mindst muligt og til kontinuerlig filtrering. For blåmuslingen – og alle andre filtrerende dyr – er konsekvensen derfor kontinuerlig fødeoptagelse med lav hastighed snarere end diskontinuert fødeoptagelse ved tilsvarende høj hastighed. Det er da også observeret, at uforstyrrede, suspensionsernærende dyr filtrerer kontinuerligt med hastigheder karakteristisk for arten.

Filtrerende »nøgleorganismer«

Forskningen i marine filtrerende dyr, som udføres ved Marinbiologisk Forskningscenter i Kerteminde, har også resulteret i betydelig ny viden om den økologiske betydning af populationer af filtrerende dyr, så som blåmuslinger, søpunge, børsteorme og vandmænd i Odense Fjord og Kerteminde Fjord/Kertinge Nor /4/. I mange tilfælde er filtrerende dyr »nøgleorganismer« i økosystemet. I indløbet til Kerteminde Fjord er der eksempelvis en stor blåmuslingebanke med op til 1000 muslinger per m^2. Målinger viser, at disse muslinger filtrerer omkring 200 m^3 vand per m^2 per dag. Der sidder altså et kæmpe »biofilter« i fjordens indløb. De udførte undersøgelser viser, at store og hurtige variationer i mængden af plante- og zooplankton i danske fjorde og kystvande i høj grad bestemt af samspillet mellem hydrografi og filtrerende dyr.

Filtrerende dyr og plankton-dynamik

Filtrerende dyr som muslinger og søpunge kan virkelig fortære mange planktonalger i vore fjorde og kystvande. Den samlede bestands filtrering er typisk 1 til 10 m^3 vand per m^2 per dag, hvilket ofte svarer til et vandvolumen, der kan være adskillige gange større end den overliggende vandsøjle /4/.

I det lavvandede Kertinge Nor findes således en tæt population af søpungen *Ciona intestinalis*, som kan filtrere et vandvolumen, der svarer til hele vandmassen én gang pr. dag. Det kan holde vandet næsten krystalklart, strøm og vindpåvirkning sikrer en rimelig opblanding af vandmasserne. Lignende potentialer for at filtrere vandsøjlen gælder for den filtrerende børsteorm *Nereis diversicolo*r i bl.a. Odense Fjord. Blåmuslingen, *Mytilus edulis*, som findes i alle vore fjorde, hvor den ofte forekommer i tætte banker, kan typisk filtrere mere end 100 m^3 per m^2 per dag. Det er således indlysende, at en nøgle til forståelse af variation i mængden af planktonalger i mange situationer er kendskab til de omstændigheder, hvorunder filtreringen finder sted.

Hyppige ændringer i saltholdighederne forårsaget af vandudvekslingen mellem den meget salte Nordsø og den brakke Østersø, eller udstrømmende ferskvand fra vandløb, er med til at skabe såkaldte densitets-drevne strømme, som er af stor betydning ikke kun for, hvor mange alger bundlevende muslinger, søpunge og børsteorme kan optage, men også for aktiviteten af svømmende filtratorer som eksempelvis vandmænd og deres zooplankton byttedyr. Effektiviteten af filtratorerne kan forklare store variationer i mængden af plankton, idet de fysiske omstændigheder dog først og fremmest er betinget af strømnings-forholdene. I Kertinge Nor kan samspillet mellem hydrauliske processer og filtrerende søpunge og vandmænd forklare store variationer i biomassen af både planteplankton og zooplankton. Inden for få kilometers afstand kan koncentrationen af klorofyl-a variere mellem 35 og 5 mikrogram per liter, og lignende variationer kan ofte registreres inden for få meters lodret afstand over bunden med filtrerende søpunge.

Store og hurtige variationer i mængden af plankton i lavvandede kystområder og fjorde er resultatet af et kompliceret samspil mellem hydrografi og filtrerende dyr. Denne indsigt har overordentlig stor betydning ikke kun for en basal forståelse for hvordan lavvandede fjorde fungerer; men også for marine miljøovervågnings-programmer, som interesserer sig for, om vandet er grønt eller rent og klart. Som vi har set, kan filtratorerne ofte periodevis holde vandet klart – men de kan ikke holde vandet rent for udvaskede næringsstoffer fra land, så når filtratorerne afkobles som følge af dårlig opblanding eksploderer koncentrationen af planktonalger.

REFERENCER

/1/ Garby, L., P.S. Larsen (1995). Bioenergetics. Cambridge University Press. Cambridge.
/2/ Jørgensen, C.B. (1966). Biology of suspension feeding. Pergamon Press.
/3/ Jørgensen, C.B. (1990). Bivalve filter feeding: hydrodynamics, bioenergetics, physiology and ecology. Olsen & Olsen, Fredensborg.
/4/ Riisgård, H.U. (1998). Filter feeding and plankton dynamics in a Danish fjord: a review of the importance of flow, mixing and density-driven circulation. Journal of Environmental Management. 53: 195-207
/5/ Riisgård, H. U. (2001). Physiological regulation versus autonomous filtration in filter-feeding bivalves: starting points for progress. Ophelia 54: 193-209.
/6/ Riisgård, H. U. & P. S. Larsen (1995). Filter-feeding in marine macro-invertebrates: pump characteristics, modelling and energy cost. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society 70: 67-106.
/7/ Riisgård, H. U. & P. S. Larsen (2000). Comparative ecophysiology of active zoobenthic filter feeding, essence of current knowledge. Journal of Sea Research 44: 169-193.
/8/ Riisgård, H. U., P. S. Larsen (2001). Minireview: Ciliary filter feeding and bio-fluid mechanics - present understanding and unsolved problems. Limnology and Oceanography 46: 882-891.
/9/ Vogel, S. (1996). Life in moving fluids. The physical biology of flow. Princeton University Press.
/10/ Wildish, D., D. Kristmanson (1997). Benthic suspension feeders and flow. Cambridge University Press

Hans Ulrik Riisgård, lektor, ph.d. & dr. scient., Marinbiologisk Forskningscenter, Syddansk Universitet, Hindsholmvej 11, 5300 Kerteminde, E-mail: hur@biology.sdu.dk
Poul Scheel Larsen, professor, ph.d., Afd. for Fluid Mekanik, Danmarks Tekniske Universitet, Bygning 403, 2800 Kgs. Lyngby, E-mail: psl@mek.dtu.dk

Mødeprogram forår 2003

ATV Jord og Grundvand

4.- 5. marts
Vingstedcentret Bredsten v/Vejle
Vintermøde om jord- og grundvandsforurening

Så er vi igen klar til ATV Jord og Grundvands årlige konference, hvor de nyeste problemstillinger, erfaringer og forskningsresultater inden for jord- og grundvandsforurening præsenteres og diskuteres i et bredt forum med deltagelse af alle faggrupper indenfor området. Vintermødet er en to-dages konference, hvor der bliver rig lejlighed til at hente inspiration, drøfte problemstillinger m.m. blandt fagfolk, som det ellers kan være svært at møde i hverdagen. Som de foregående år vil der blive sat fokus på den rivende udvikling, der pågår inden for udvikling af afværgeteknikker. Erfaringer med projektering, anlæg, drift og monitering af afværgeforanstaltninger vil blive fremlagt, ligesom de nyeste tiltag fra udlandet vil blive præsenteret. Vandrammedirektiv – grundvandskvalitet – kortlægning og indsatsplanlægning er emner, der også vil blive fokuseret på. Som tidligere vil der på Vintermøde 2003 blive arrangeret workshops og fagspecifikke minisessioner. Desuden en poster-udstilling, hvor der bl.a. præsenteres resultater fra udvalgte, nyligt afsluttede eksamensprojekter.
Fagligt ansvarlige: Formand: Seniorprojektleder, ph.d. Lars Elkjær, Rambøll, Næstformand : Kemiingeniør Trine Korsgaard, Fyns Amt, Udviklingsleder Thomas Larsen, Hedeselskabet, Civilingeniør Bente Villumsen, Miljøstyrelsen, Mikrobiolog, ph.d. Jens Aamand, GEUS.

30. april
Schæffergården
Jægersborg Allé 166, Gentofte
MTBE – et stof, som truer drikkevandet?

MTBE har været på avisernes forside mange gange i de sidste 10 år, siden de første advarsler indløb fra Californien om, at MTBE tilsætning til benzinen var et potentielt problem for drikkevandet. Stoffet blev anset for at være meget mobilt og stort set unedbrydeligt i grundvandsmiljøet. I den mellemliggende periode er der lavet meget forskning og mange undersøgelser af nedbrydelighed, spredning og risiko ved MTBE. Det er kommet frem, at stoffet er nedbrydeligt under visse forhold i grundvandszonen. Både amter og Miljøstyrelsen (Teknologiudviklingspuljen) har initieret undersøgelser af forholdene ved danske tankstationer, for at vurdere hvor stort problemets omfang er i Danmark. Ligeledes har flere danske universiteter forsket i stoffets fjernelse enten i forbindelse med traditionel vandbehandling til drikkevand og/eller dedikerede afværgesystemer. På mødet vil vi prøve at opsummere de informationer, der er genereret i den mellemliggende periode, både med hensyn til fund på danske lokaliteter, spredning og afværgeteknologier, og med hensyn til behandling på vandværker, og på den måde prøve at belyse spørgsmålet. Mødet er et heldagsmøde.
Fagligt ansvarlige: Udviklingsleder Thomas Larsen, Hedeselskabet, Professor Poul L. Bjerg, Miljø & Ressourcer DTU, Afdelingschef, cand.pharm Helle Westphal, Dansk Toksikologi Center.

21. maj
Radisson SAS, H.C. Andersen Hotel, Claus Bergs Gade 7, Odense
Fremtidens vandforsyning

Du bor på dit drikkevand – men er det også situationen i Danmark om 10 år? Antallet af vandværker er faldet gennem en årrække, men hvor længe vil det fortsætte? Nye krav til kontrollen med drikkevandet betyder større krav til administrationen af små, lokale vandværker. Trusler fra forureningskilder, ikke mindst pesticider, kan gøre livet surt for såvel store som små vandværker. Hvordan ser fremtidens vandværk ud - kan vi fortsat basere forsyningen på rent grundvand, eller bliver vi nødt til at rense drikkevandet? Hvordan går det med vandværkssamarbejder og indsatsplaner – kan de give små, lokale vandværker nyt liv? Det er nogle af de spørgsmål, vi vil forsøge at belyse på dette møde. Mødet er et heldagsmøde og arrangeres i samarbejde med Foreningen af Vandværker i Danmark (FVD) og Dansk Vand- og Spildevandsforening (DANVA).
Fagligt ansvarlige: Civilingeniør Bente Villumsen, Miljøstyrelsen, Seniorprojektleder, ph.d. Lars Elkjær, Rambøll, Afdelingsleder, ph.d. Jørn-Ole Andreasen, Århus Kommunale Værker

11. juni
Schæffergården
Jægersborg Allé 166, Gentofte
Jordforureningsloven – år 4

Der er nu gået ganske lang tid siden Jordloven trådte i kraft den 1.1.2000. Jordloven er fulgt op af en lang række bekendtgørelser og vejledninger, og der er efterhånden ved at udvikle sig en fast praksis vedrørende administrationen af loven. Der er nu behov for at gøre status over loven, de tilhørende regelsæt og den administrative praksis' håndtering af jordforureningssager. På mødet vil både miljøtekniske, administrative og juridiske forhold blive inddraget. Der vil i forbindelse med mødet være oplæg fra personer, der har en indgående praktisk erfaring med lovens og de tilhørende regelsæts administration, både fra myndighedsside, rådgiverside og brugerside. Mødet er et heldagsmøde.

Fagligt ansvarlige:
Advokat Håkun Djurhuus, Lind & Cadovius Advokataktieselskab, Akademiingeniør Laila Stub, COWI, Kontorchef Lars Kaalund, Amternes Videncenter for Jordforurening

Tilmelding
NB: På fondens hjemmeside www.atv-jord-grundvand.dk foreligger de mere detaljerede mødeprogrammer, med mulighed for tilmelding, i god tid før mødernes afholdelse.
Nærmere oplysninger fås også ved henvendelse til sekretariatet v/Bente Bruun. Telefon 45 25 21 77 – E-mail atvbb@pop.dtu.dk (ma-to 10 – 16)