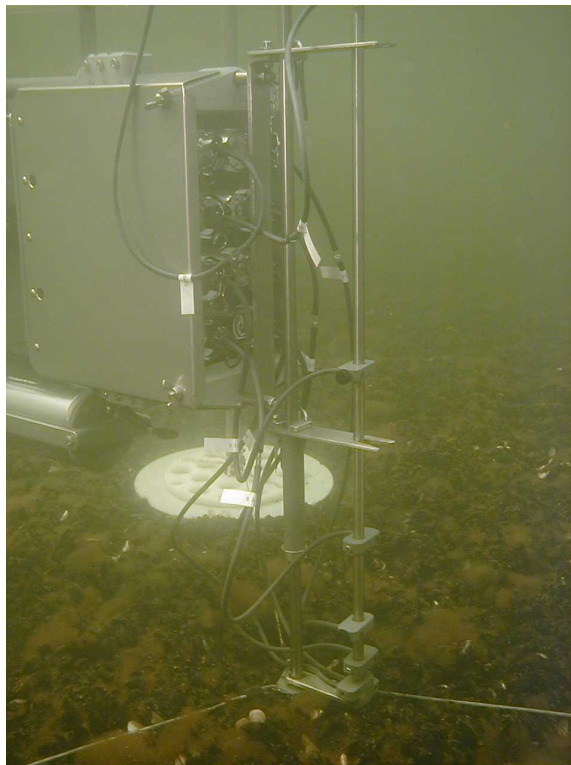


Betydningen af iltforbruget i fjordbunden og vandsøjlen for iltsvind i bundvandet på Mariager Fjords lavvandede områder¹

Notat til Nordjyllands Amt og Aarhus Amt udarbejdet af Henrik Fossing, Afd. Sø- og Fjordøkologi, Danmarks Miljøundersøgelser, marts 2001

Notatet diskuterer betydningen af iltforbruget i vandsøjlen og fjordbunden for iltsvind i bundvandet på fjordens lavvandede områder. Notatet er udarbejdet på baggrund af undersøgelser i fjorden udført i samarbejde mellem Nordjyllands Amt, Århus Amt og Danmarks Miljøundersøgelser (Afd. Sø- og Fjordøkologi).



¹ Tak til Uffe Frisenette (Aarhus Amt) for godt sømandsskab og stor hjælp i forbindelse med prøveindsamling. Også tak til Tanja Quottrup, Kitte Gerlich Lauridsen, Marlene Venø Skjærbæk og Egon R. Frandsen (alle DMU) for assistance på fjorden og for veludført analysearbejde i laboratoriet.

Baggrund

I Mariager Fjord er der et konstant iltforbrug i fjordvandet pga. iltforbrugende processer både i fjordbunden og i selve vandsøjlen. Hvis der ikke før eller siden skal opstå iltsvind i fjorden, er det derfor nødvendigt, at iltforbruget balanceres af en tilsvarende ilttilførsel fra atmosfæren eller ved O₂-produktion i vandsøjlen gennem algernes fotosyntese.

Fjordbunden optager ilt fra vandsøjlen ved respirationsprocesser på sedimentoverfladen (muslinger og bundlevende dyr), ved aerob mikrobiel nedbrydning af organisk stof og ved oxidation af H₂S, der dannes i sedimentets iltfrie lag. Også i selve vandsøjlen bruges ilt, dels til omsætningen af organisk stof i vandsøjlen (døde alger mm.) og i mindre omfang gennem alger og planktons respiration. I dagtimerne overstiger iltproduktionen (dvs. primærproduktionen) i den fotske zone oftest egenrespirationen, og der observeres en netto O₂-produktion. I nattetimerne og under den fotske zone er der derimod et netto O₂-forbrug i vandsøjlen.

Med kendskab til vandsøjlenes eget iltforbrug og iltoptaget i fjordbunden vil vi vurdere den relative betydning af de to iltforbrugende processer for iltsvind i fjorden. Samtidig vil vi vurdere, hvor hurtigt fjordbundens iltoptag kan føre til iltsvind i fjordens lavvandede områder.

Metoder

En gang i foråret og 4 gange i sommerhalvåret år 2000 målte vi iltforbruget i fjorden, som det fordelte sig mellem bundvandets eget iltforbrug, og det iltoptag der var i sedimentet. Målingerne blev udført på 2 forskellige vanddybder, hhv. 2 og 12 m.

Før hver måleserie indsamlede vi på de to vanddybder

- 5 sedimentkerner vha. HAPS
- 8 vandprøver ved brug af "Edderkoppen", hhv. 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 og 120 cm over fjordbunden.

Sedimentets iltforbrug eller iltoptag, om man vil, blev målt i mørke ved *in situ* temperatur. De fem indsamlede sedimentrør blev tilproppet, og ændringen af iltindholdet i vandet over sedimentet blev målt efter 1-6 timers inkubation. Sedimentkerne fra 2 m vand blev typisk inkuberet 1 time, mens sedimentet fra 12 meter blev inkuberet 5-6 timer. Sammen med sedimentker-

med sedimentkernerne inkuberede vi også tre rør, som kun indeholdt bundvand (dvs. kontrolrør). Efter at inkubationen var afsluttet, brugte vi iltkoncentrationen i kontrolrørene som startværdi for iltkoncentrationen i bundvandet over sedimentet. På den måde kunne vi korrigere for bundvandets eget iltforbrug i løbet af inkubationen. I løbet af den relativt korte inkubationstid målte vi dog ikke nogen betydende ændring af iltindholdet i kontrolrørene i forhold til bundvandets *in situ* iltindhold.

Iltforbruget i bundvandet blev derfor bestemt på otte vandprøver, der blev indsamlet med Edderkoppen. Disse prøver blev inkuberet ved *in situ* temperatur og i mørke – typisk mere end en uge, før vi kunne måle et signifikant fald i iltindholdet.

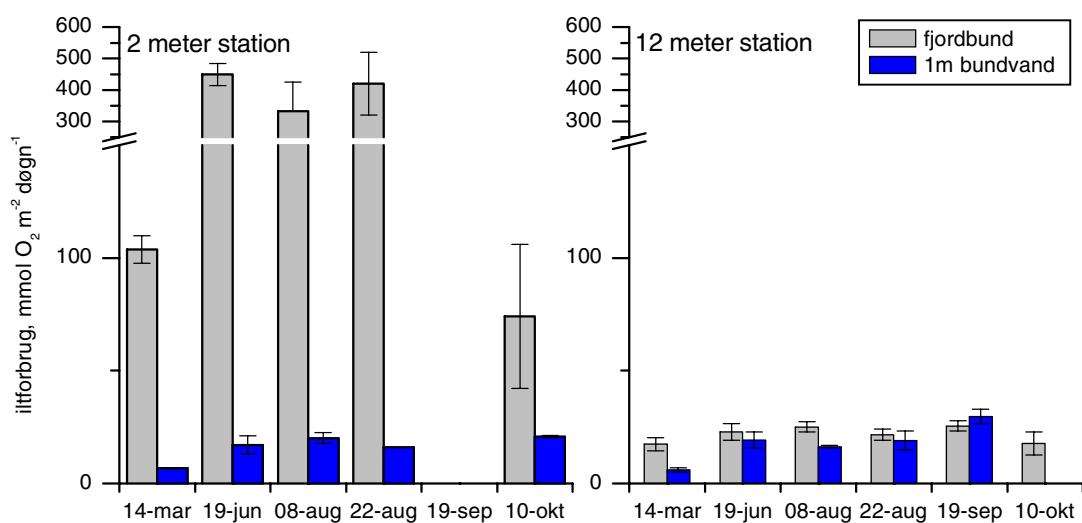
Iltkoncentrationen i vandprøverne blev bestemt ved Winkler-titrering af 5 ml prøve inden for 24 timer, efter inkubationen var afsluttet.

Resultater og diskussion

Fjordbundens iltforbrug er udtrykt efter endt inkubation ved gennemsnitsværdien af de tre kontrolrørs iltkoncentration fratrukket O₂-koncentrationen i vandet over de 5 sedimentkerner (Tabel 1). Fjordbunden på 2 meters dybde indeholdt et stort antal levende muslinger, hvis iltforbrug (respiration) er inkluderet i beregningen af fjordbundens O₂-optagelse. Den relativt store standardfejl på iltoptaget skyldes netop, at muslingerne ikke var homogent fordelt over fjordbunden og derfor ikke var ligeligt fordelt i de fem sedimentkerner. På 12 meters dybde var der ingen muslinger, og fjordbundens iltoptag blev derfor bestemt med en væsentlig mindre standardfejl (Figur 1 og Tabel 1).

Tabel 1. Iltforbruget i sediment og vandsøjle - Mariager Fjord 2000

dato	mmol O ₂ m ⁻² døgn ⁻¹							
	2 m station				12 m station			
	sediment		1 m vandsøjle		sediment		1 m vandsøjle	
		std.fejl	std.fejl		std.fejl		std.fejl	
14-mar	103.70 ±	6.07	6.77 ±	0.17	17.51 ±	2.86	6.02 ±	0.95
19-jun	449.68 ±	34.90	17.18 ±	4.01	22.88 ±	3.66	19.30 ±	3.53
08-aug	332.77 ±	91.59	20.22 ±	2.41	25.07 ±	2.26	16.35 ±	0.48
22-aug	420.23 ±	99.49	16.04		21.70 ±	2.39	19.10 ±	4.17
19-sep					25.57 ±	2.22	29.74 ±	3.13
10-okt	74.02 ±	31.88	20.86 ±	0.55	17.71 ±	5.15		

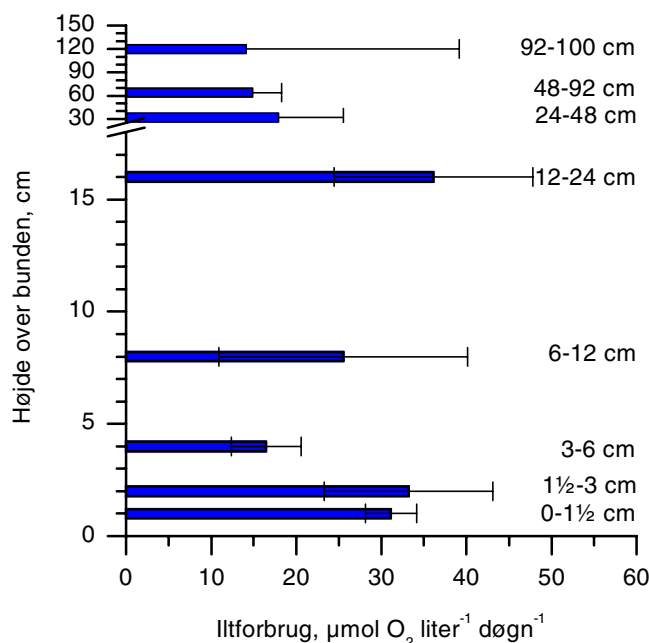


Figur 1. Iltforbruget ($\text{mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dogn}^{-1}$) i bundvandet på hhv. 2 og 12 meters dybde fordelt mellem fjordbundens iltoptag og vandets eget iltoptag i den nederste meter af vandsøjlen. Bemærk, at der mangler et stykke af akse vedr. iltforbruget mellem 150 og 250 $\text{mmol m}^{-2} \text{ dogn}^{-1}$, og at akseinddelingen varierer før og efter bruddet.

På 2 meters vanddybde var der statistisk set ingen signifikant forskel ($p < 0,01$) på sedimentets iltoptagelse i sommermånedene (juni-august). I denne periode er der derfor beregnet et iltoptag i fjordbunden på $400,89 \pm 58,22 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dogn}^{-1}$ ($n = 9$). På 12 meter vand var iltoptaget statistisk set det samme ved samtlige målinger: $21,70 \pm 1,37 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dogn}^{-1}$ (middelværdi, $n = 28$). Til sammenligning bør nævnes, at i 1999 var iltoptaget på 12 meters vanddybde omkring $12 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dogn}^{-1}$ *

Vandsøjleens eget iltforbrug er udtrykt ved at vægte iltforbruget i hver af de 8 vanddybder i forhold til det vandvolumen, som målingen repræsenterer (Figur 2). Vandsøjleens eget iltforbrug over bunden på 2 meter viste ingen signifikant forskel i perioden juni-oktober, og derfor er en (sommer)rate på $18,58 \pm 1,16 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dogn}^{-1}$ ($n = 4$) brugt i forbindelse med nedenstående beregninger. På 12 meter vand er (sommer)raten: $18,25 \pm 0,95 \text{ O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dogn}^{-1}$ ($n = 3$) beregnet som det gennemsnitlige iltforbrug i vandsøjleens nederste meter for perioden juni-august. Til sammenligning nævnes, at vandsøjleens eget iltforbrug i den nederste meter af vandsøjlen i Aarhus Bugt midlet over et år var $3,8 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dogn}^{-1}$ (målt i Hav90-Forskningsprogrammet 1990-91).

* se tidligere tilsendt rapport: Sedimentprocesser og næringsstofudveksling i Mariger Fjord 1999 (Henrik Fossing, Afd. Sø- og Fjordøkologi, Danmarks Miljøundersøgelser).



Figur 2. Bundvandets eget iltforbrug ($\mu\text{mol O}_2 \text{ liter}^{-1} \text{ døgn}^{-1}$) i de nederste 120 cm af vandsøjlen på 12 meter vand (19/6 2000). Iltforbruget blev målt i flg. højder over fjordbunden: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 og 120 cm. Ved beregningen af vandsøjleens iltforbrug (0-1 m) vægtes det målte iltforbrug i forhold til de intervaller, der er vist på figuren. Den 19/6 var vandsøjleens eget iltforbrug i den nederste meter af bundvandet: $19.30 \pm 3.53 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ døgn}^{-1}$ (se Tabel 1).

Sedimentets vs. vandsøjleens andel i iltsvind i Mariager Fjord.

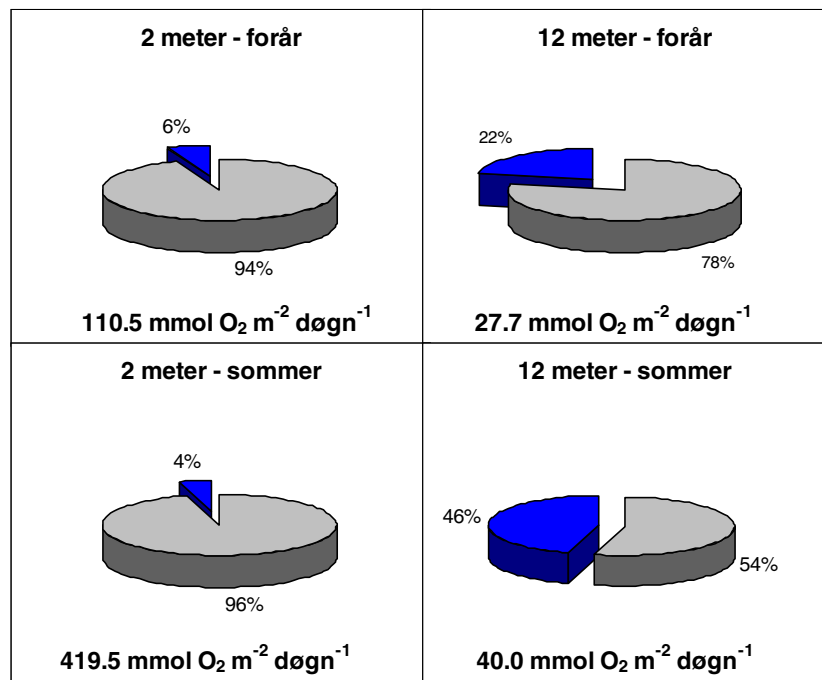
Bundvandets eget iltforbrug var ens på både 2 og 12 meters vanddybde, 6 og 18 $\text{mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ døgn}^{-1}$ hhv. forår og sommer (Tabel 2). Derimod afhang fjordbundens iltforbrug af vanddybden, hvor iltoptaget var højest på den laveste dybde (2 meter). I foråret var iltforbruget ca. 3 gange større på denne vanddybde relativt til 12 meter, og denne forskel blev markant forøget i løbet af sommeren, hvor fjordbundens iltoptag på 2 meters vanddybde var ($401/22 =$) næsten 20 gange højere end iltoptaget på 12 meter. Med andre ord var fjordbunden på 2 meters vanddybde fuldstændig dominerende for det totale iltforbrug i bundvandet (0-1 m), dvs. bundvandets eget iltforbrug + fjordbundens iltforbrug (Figur 3).

En del af forklaringen på det høje iltforbrug på 2 meters vanddybde kan være det store antal af muslinger, der fandtes på fjordbunden, men en egentlig vurdering af muslingernes andel i fjordbundens samlede iltoptag er ikke omfattet af denne undersøgelse.

Tabel 2. Iltforbruget i sediment og vandsøjle i Mariager Fjord hhv. forår og sommer vises sammen med beregninger af antallet af dage, hvor bundvandet i fjordens lavvandede områder kan modstå totalt iltsvind, hvis O₂-tilførslen til bunden afbrydes.

		O ₂ indhold i bundvand	O ₂ forbrug			Antal dage inden iltsvind i bundvandet		
		mmol O ₂ m ⁻²	mmol O ₂ m ⁻² døgn ⁻¹			iltforbrug alene ved		total
			bundvand	sediment	i alt	bundvand	sediment	bundvand +sediment
2 m								
forår	14-mar	360	6.77	103.70	110.47	53.2	3.5	3.3
sommer	19-jun	396	18.58	400.89	419.47	21.3	1.0	0.9
	8-aug	171				9.2	0.4	0.4
	22-aug	294				15.8	0.7	0.7
12 m								
forår	14-mar	356	6.02	21.70	27.72	59.1	16.4	12.8
sommer	19-jun	308	18.25	21.70	39.95	16.9	14.2	7.7
	8-aug	152				8.3	7.0	3.8
	22-aug	228				12.5	10.5	5.7

*bundvandet svarer til vandsøjlen fra 0-1 meter over fjordbunden



Figur 3. Bunden vs. vandsøjlels andel i fjordens iltforbrug i bundvandet (0-1 m) på 2 og 12 meters dybde hhv. forår og sommer. Det blå udsnit viser vandsøjlels eget iltforbrug i % af det totale iltforbrug i bundvandet. Det grå stykke repræsenterer fjordbundens iltforbrug. Det totale iltforbrug (mmol O₂ m⁻² døgn⁻¹) i bundvandet er vist under hver af de fire figurer (se Tabel 2). Til sammenligning viste tilsvarende undersøgelser i Aarhus Bugt (1990-91), at bundvandets eget iltforbrug på 3.8 mmol O₂ m⁻² døgn⁻¹ svarede til 5.5% af det totale iltforbrug i den nederste meter af vandsøjlen.

Iltsvind i Mariager Fjord. I 2000 fulgte Danmarks Miljøundersøgelser sammen med Nordjyllands Amt og Aarhus Amt iltindholdet i den lavvandede del af fjorden gennem hele sommeren. Til trods for det høje iltforbrug i fjorden (Tabel 1) blev der ikke på noget tidspunkt i 2000 observeret alvorligt iltsvind hverken på 2 eller 12 meter vand. Grunden hertil må skyldes den kraftige omrøring af fjordvandet især i sommerperioden, som har ført tilstrækkeligt med luft (dvs. O₂) ned til bunden. Denne ilttilførsel har altså været i stand til at balancere det store iltforbrug i bundvandet, som var domineret af fjordbundens iltoptag, især på 2 meters vanddybde.

Forestiller vi os, at der ikke hele tiden bliver tilført ”frisk luft” til bunden, f.eks. i forbindelse med en vindstille periode og eventuel lagdeling af vandsøjlen, er der i fjordbunden et stort potentiale for meget hurtigt at optage al ilten fra bundvandet. Tabel 2 viser iltindholdet i den nederste meter af bundvandet (mmol O₂ m⁻²) forår (14. marts) og sommer (19. juni, 8. august og 22. august) på hhv. 2 og 12 meter vand, som det blev målt i tilknytning til nærværende projekt. Vi kender også iltoptaget i fjordbunden og vandsøjleens eget iltforbrug i bundvandet (0-1 m) både forår og sommer (Tabel 1 og 2), så det er let at forudse, at der om sommeren på 2 meter vand (teoretisk set og i værste fald) kan optræde totalt iltsvind i løbet af mindre end et døgn, hvis forsyningen af iltet overfladevand til bunden ophører. Med andre ord er der potentiel mulighed for, at der kan opstå iltsvind i bundvandet på de lavvandede områder så at sige fra den ene dag til den anden, og som derefter meget hurtigt kan udvikle sig til et massivt iltsvind i hele vandsøjlen á la Mariager Fjord sommeren 1997. Selv om vi følger iltindholdet i bundvandet på de lavvandede områder ved ugentlige målinger, har vi pga. af fjordbundens enorme iltoptag altså kun en lille chance for at forudse og varsle et kommende alvorligt iltsvind i fjorden.

I bestræbelserne på at forudse et kommende iltsvind i fjorden vil et værdifuldt supplement til iltmålingerne i vandsøjlen være at bestemme fjordbundens iltoptag f.eks. ved inkubation af intakte sedimentkerner. Ved at gennemføre sådanne målinger et par gange i løbet af sommerhalvåret vil det være muligt at kende fjordbundens iltoptag og derfor beregne en ”worst case” tidshorisont for et evt. iltsvind i bundvandet i Mariager Fjord.

Resultatet af vores undersøgelser underbygger lignende konklusioner fra andre undersøgelser i Mariager Fjord gennemført inden for de senere år: Iltsvind i fjorden bliver ikke ”importeret” fra Dybet ved, at iltfrit/iltfattigt vand herfra breder sig ind over bunden på de lavvandede områder. Alvorlige iltsvind, som senest ramte fjorden i 1997, har deres oprindelse på de lavvandede

på de lavvandede områder og kan opstå uden varsel, hvis 1) transporten af ilt til bunden pludselig ophører, og 2) iltoptaget i fjordbunden i øvrigt er højt (f.eks. af samme størrelse, som det blev målt på 2 meters vanddybde i sommeren 2000).