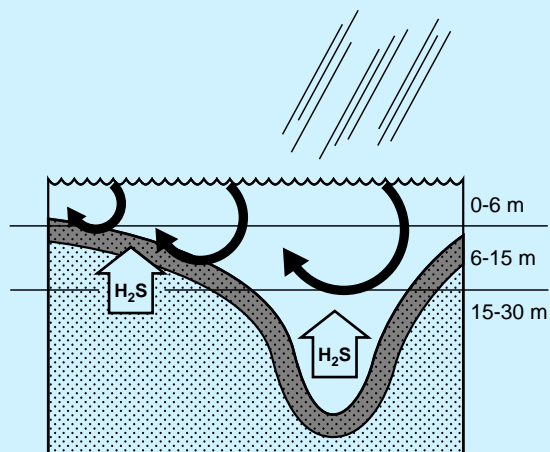




Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Produktion og forekomst af svovlbrinte i Mariager Fjord 1998

Faglig rapport fra DMU, nr. 270





Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Produktion og forekomst af svovlbrinte i Mariager Fjord 1998

*Faglig rapport fra DMU, nr. 270
1999*

*Henrik Fossing
Peter Bondo Christensen
Afdeling for Sø- og Fjordøkologi*

Datablad

Titel: Produktion og forekomst af svovlbrinte i Mariager Fjord 1998

Forfattere: Henrik Fossing og Peter Bondo Christensen
Afdeling: Afd. for Sø- og Fjordøkologi

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 270

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser©

URL: <http://www.dmu.dk>

Udgivelsestidspunkt: April 1999

Layout: Pia Nygård Christensen
Tegninger: Henrik Fossing

Bedes citeret: Fossing, H. & P.B. Christensen (1999): Produktion og forekomst af svovlbrinte i Mariager Fjord 1998. Danmarks Miljøundersøgelser. 19 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 270.

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Sammenfatning: I Mariager Fjord er den dybeste del af inderfjorden (Dybet) permanent iltfri, men overalt i inderfjorden er iltindholdet i bundvandet i perioder meget lavt eller helt væk. Rapporten beskriver, hvor meget svovlbrinte der blev dannet ved omsætningen af organisk stof dels i fjordbunden, dels i vandsøjlen i Dybet i løbet af 1998. Undersøgelserne viste, at store mængder H₂S blev dannet i fjordbunden på de lavvandede områder, især i sensommeren. Her nåede H₂S lige akkurat op til sedimentoverfladen, hvor det blev oxideret med ilt i bundvandet og forsvandt. En varm og vindstille periode af blot nogle få ugers varighed om sommeren ville hurtigt føre til iltsvind ved bunden. Giftigt H₂S ville derfor uhindret kunne slippe ud fra bunden og op i vandet, som det sås i sommeren 1997 med dødelig effekt for både flora og fauna, og medføre et yderligere iltforbrug i vandsøjlen.

ISBN: 87-7772-455-0

ISSN: 0905-815X

Papirkvalitet: Cyclus Print
Tryk: Silkeborg Bogtryk
EMAS registreret nr. DK-S-0084

Sideantal: 20 sider

Oplag: 300

Pris: kr. 40,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser
Postboks 413
Vejlsovej 25
DK-8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Miljøbutikken
Information og Bøger
Læderstræde 1
1201 København K
Tlf.: 33 37 92 92
Fax: 33 92 76 90

Indhold

1 Undersøgelserne	5
2 Hovedkonklusion	7

[Tom side]

1 Undersøgelserne

Undersøgelserne i Mariager Fjord er foregået i perioden 17.3-7.12 1998. Sediment blev indsamlet på følgende stationer:

Station 1: 56°39,7N / 9°57,4Ø, vanddybde ca. 3 m

Station 2: 56°40,5N / 9°58,9Ø, vanddybde ca. 12 m

Station 3: 56°39,8N / 9°58,0Ø, vanddybde ca. 20 m i den permanent iltfrie del af fjorden

på skrænten i Dybet.

Vandprøver blev indsamlet tæt ved Station 3 på det dybeste sted i Mariager Fjord (Århus Amt's og Nordjyllands Amt's Station M3 - Dybet):

Station M3: 56°39,8N / 9°58,4Ø, vanddybde ca. 30 m

Rapporten beskriver produktionen af svovlbrinte (H_2S) i fjordbunden i 1998 på de tre stationer og mængden af H_2S i vandsøjlen i Dybet. Resultatet af undersøgelsen er bl.a. brugt til at vurdere årsag og kilde til det H_2S -udslip, der fandt sted i august 1997 i forbindelse med det omfattende iltsvind i store dele af Mariager Fjord.

[Tom side]

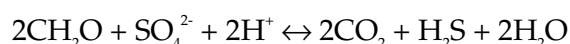
2 Hovedkonklusion

- På grund af en generel høj belastning af sedimentet med organisk materiale er det hovedsageligt temperaturen, der styrer H₂S-produktionen i Mariager Fjord.
- Gennem hele 1998 blev der observeret produktion af H₂S i fjordbunden overalt i fjorden. Produktionen skete i lagene umiddelbart under sedimentoverfladen og til en dybde på mere end 10 cm.
- Det H₂S, der blev dannet i fjordbunden på de lavvandede områder (0-15 m), blev oxideret i sedimentets øverste få mm. I 1998 blev der derfor ikke observeret udslip af H₂S fra fjordbunden på de lavvandede områder.
- I Dybet var der en produktion af H₂S både i sediment og i vandsøjle. I det tidlige forår var der mindre end 6 tons svovl i den iltfrie vandsøjle. Den kraftige produktionen af H₂S gennem sommeren fik mængden af svovl i vandsøjlen til at overstige 700 tons midt i september.
- Fra maj måned var H₂S konstant tilstede i de nederste 15 meter af vandsøjlen i Dybet. Iltet overfladevand trængte samtidig 2-5 m ned i H₂S-zonen og dannede en kemoklin, hvori H₂S blev oxideret. I løbet af 1998 slap der derfor ikke H₂S ud fra Dybet.
- Produktionen af H₂S i fjordbunden i de dele af Inderfjorden¹, der udgør de lavvandede områder (0-15 m), svarede i 1998 til 47% af Inderfjordens totale H₂S-produktion. Mere end 50% af H₂S-produktionen fandt altså sted i Dybet - dvs. i mere end 15 m vanddybde i både sediment og vandsøjle.
- Udslippet af H₂S i august 1997 fandt efter al sandsynlighed fra sted som følge af en øget H₂S produktion i de lavvandede områder og var ikke kun et udslag af H₂S produktionen i Dybet.

2.1 Uddybning af hovedkonklusionen

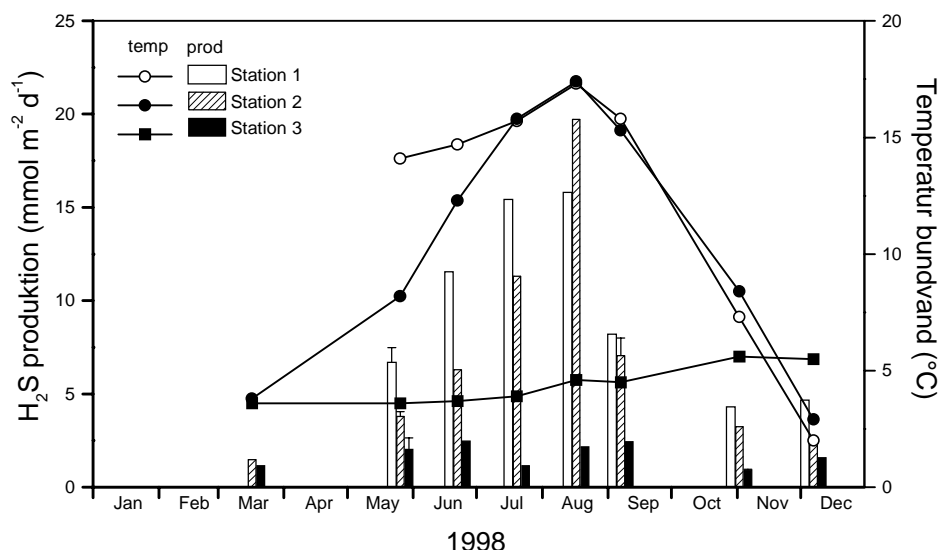
H₂S-produktionen i fjordbunden

Bakterier, der ånder med sulfat, findes overalt i den iltfrie fjordbund, hvor de nedbryder organisk stof (CH₂O) til CO₂ ved reduktion af SO₄²⁻ til H₂S:



Da sulfatreduktion er en biologisk proces, regulerer tilgængeligheden af organisk stof og temperaturen produktionen af H₂S i fjordbunden. Der er altid masser af SO₄²⁻ til rådighed for bakterierne i fjordbundens øverste 10 cm, og det begrænser derfor ikke H₂S-produktionen.

¹ Området mellem Lundals Tørven og Dania (12,5 km²)



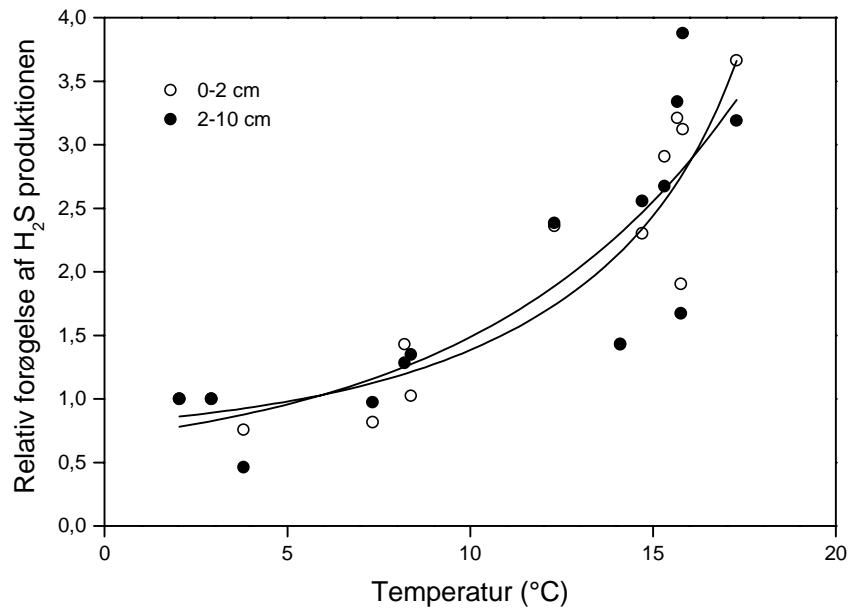
Figur 1. H₂S produktionen i sedimentet (1998) på tre stationer i Mariager Fjord sammenholdt med bundvandets temperatur. Tredobbelbestemmelse af H₂S-produktionen er vist ved gennemsnitsværdi ± stdafv og blev udført på Station 1: 26.5 og 17.8; på Station 2: 26.5 og 7.9; og på Station 3: 26.5 og 2.11. H₂S-produktionen på Station 1 blev ikke målt i marts.

Primærproduktionen i vandsøjlen er høj i foråret og om sommeren, og det organiske stof falder i sidste ende ned på fjordbunden. Tilførslen af organisk stof stimulerer H₂S produktionen, og i kombination med de højere sommertemperaturer er H₂S-produktionen derfor størst på de lavvandede stationer (Station 1 og 2) i sommermånederne (Figur 1).

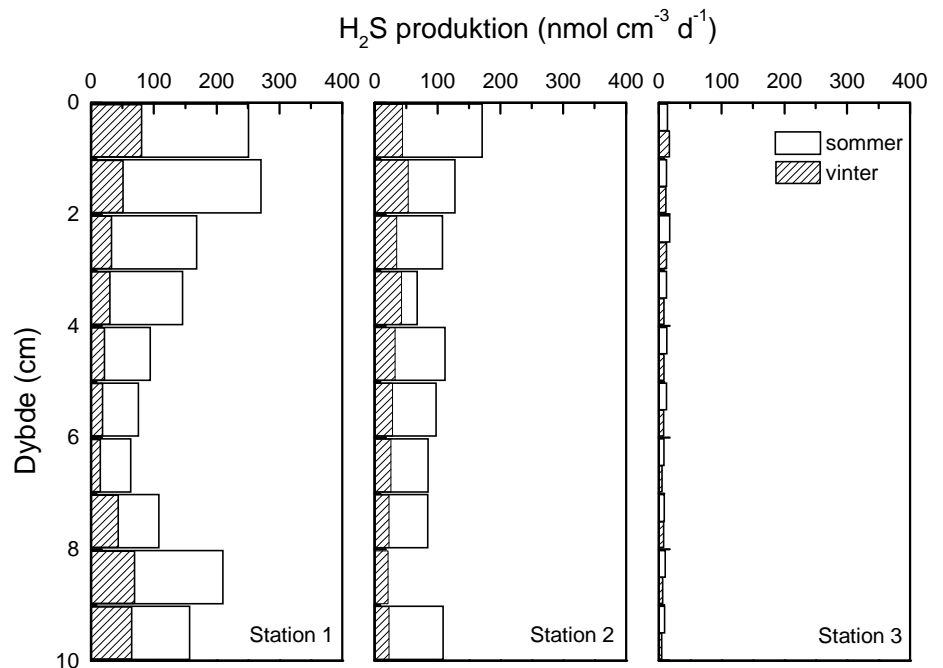
Men er det temperaturstigningen eller tilførslen af organisk stof til fjordbunden, der har størst betydning for H₂S-produktionen i Mariager Fjord? Det organiske stof, der tilføres fjordbunden i sommermånederne, lægger sig på sedimentoverfladen og blandes kun nogle få cm ned i fjordbunden. Opdeler vi derfor fjordbunden i to 2 zoner: 0-2 cm og 2-10 cm kan vi adskille effekten af de to faktorer. I den øverste zone stimulerer både temperaturen og tilførslen af organisk stof H₂S-produktionen, mens temperaturen er den vigtigste faktor i den dybe zone. På både Station 1 og 2 var der omtrent samme eksponentielle stigning i H₂S-produktionen med øget temperatur i begge zoner (Figur 2). For situationen i Mariager Fjord i 1998, hvor der har været et ekstraordinært højt indput af organisk materiale, må vi derfor antage, at temperaturforøgelsen var den vigtigste stimulerende faktor for H₂S-produktionen i de lavvandede områder af Mariager Fjord, og at de sulfatreducerende bakterier i overfladesedimentet kun i ringe grad blev stimuleret af den ekstra mængde organisk stof, der blev tilført i løbet af sommeren 1998.

Målingerne af H₂S-produktionen på Station 3 understøtter dette resultat. Her er temperaturen næsten konstant $4 \pm 1^\circ\text{C}$ året igennem og H₂S-produktionen var stort set uændret året rundt (Figur 1).

I de lavvandede områder af Mariager Fjord var Q_{10} (et udtryk for temperatureffekten) på mellem 2,1 og 3,0. Det svarer godt til Q_{10} -værdier på op til 4, som er rapporteret i den internationale litteratur for det tilsvarende temperaturinterval.



Figur 2. Den relative forøgelse af H_2S -produktion i Mariager Fjord (1998) vist som funktion af temperaturen. H_2S -produktionen ($mmol\ m^{-2}\ d^{-1}$) er beregnet for 2 dybdeintervaller, hhv. 0-2 cm og 2-10 cm og derefter normaliseret i forhold til H_2S -produktionen ved den laveste temperatur ($2^\circ C$). De ubrudte linier viser den eksponentielle rateforøgelse i hhv. 0-2 cm og 2-10 cm dybdeintervallet.

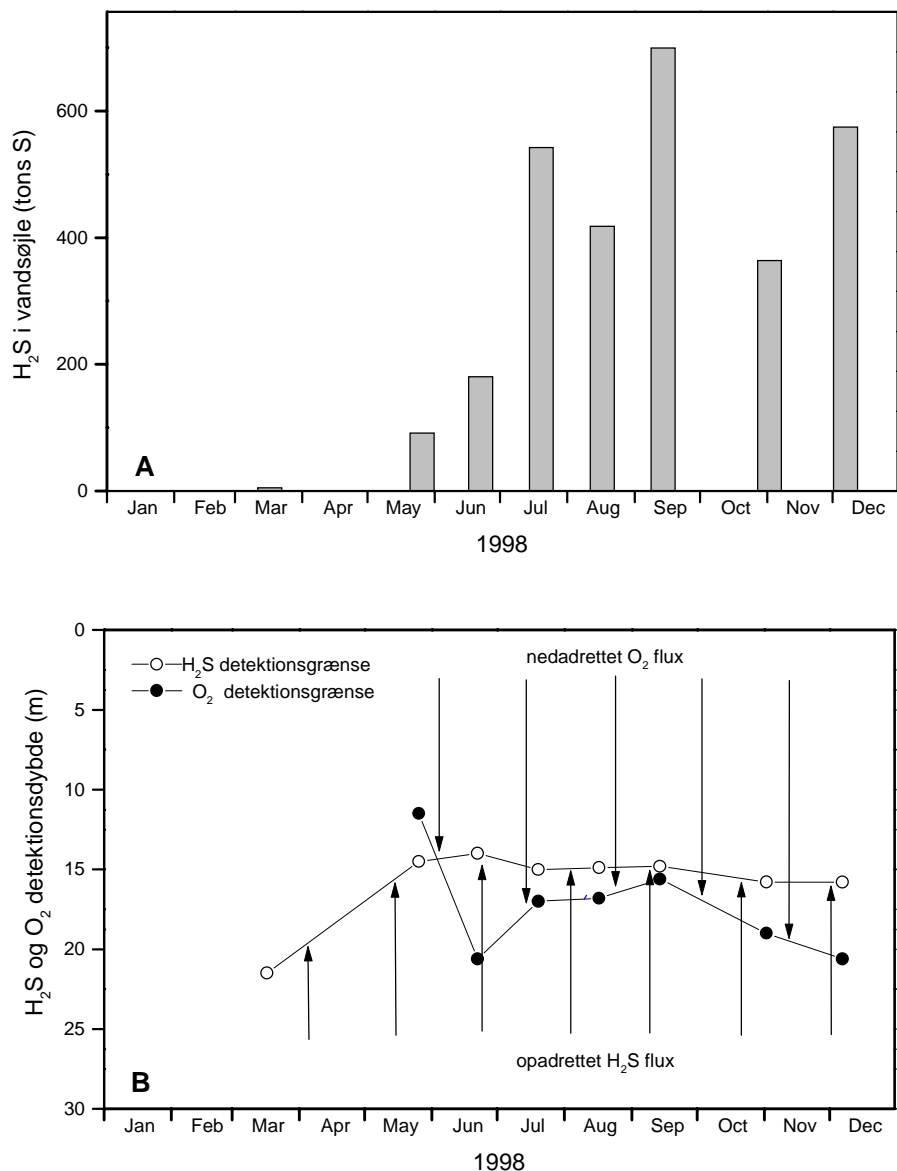


Figur 3. H_2S -produktionen i sedimentet på tre stationer, hhv. vinter (2/11) og sommer (20/7). H_2S -produktionen på Station 3 er vist "side om side", da sommer- og vinterraterne ikke afviger væsentligt fra hinanden. På Station 2 blev sommerproduktionen ikke målt i dybdeintervallet 8-9 cm.

Den udprægede forskel mellem sommer- og vinterproduktionen af H_2S på Station 1 og 2 viser sig gennem hele sedimentet fra sedimentoverfladen til 10 cm dybde (Figur 3). Det usædvanlige forhold, at H_2S -produktionen er højest i sedimentets øverste cm, kendetegner en fjordbund med høj organisk belastning. Århus Bugt (Station 6) havde til sammenligning i 1990 den højeste H_2S -produktionen i 2-4 cm dybde (op til ca. $150 \text{ nmol cm}^{-3} \text{ døgn}^{-1}$), mens raten i sedimentets øverste centimeter sjældent oversteg $25 \text{ nmol cm}^{-3} \text{ døgn}^{-1}$.

H_2S -produktionen i Dybet

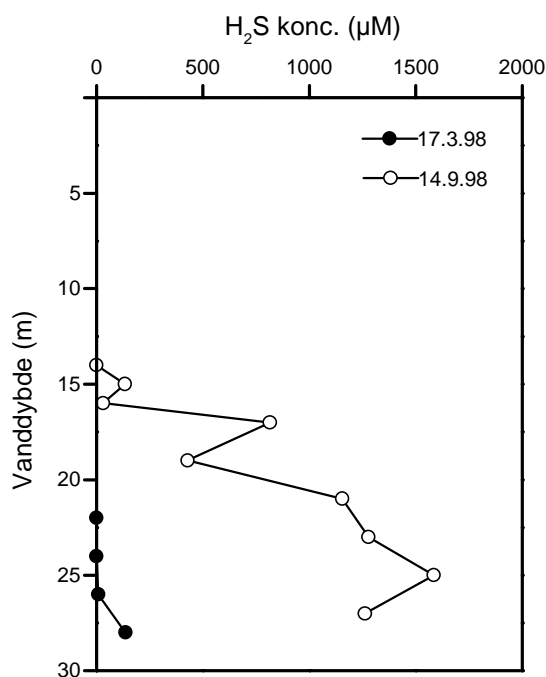
Mængden af svovlbrinte i Dybet ($2,90 \times 10^7 \text{ m}^3$) stiger voldsomt fra maj til september ($>700\%$, Figur 4a). Trods den forhøjede produktion finder man stort set kun H_2S i de nederste 15 m af vandsøjlen fra maj til januar (Figur 4b). Detektionsdybden for H_2S ligger i $14,9 \pm 0,6 \text{ m}$ ($n=7$) under vandoverfladen gennem sommer og efterår (Figur 4b og 5). Det iltholdige overfladevand når i samme periode ned i H_2S -zonen til en dybde af $17,3 \pm 3,0 \text{ m}$ ($n=7$). Der er altså en nedadrettet flux af ilt og en opadrettet flux af H_2S og i kemoklinen, der udgør en overgangszone på ca. 2,5 m, oxideres H_2S af O_2 (Figur 4b). Ved den proces forsvinder H_2S så at sige fra Dybet.



Figur 4. A: Det totale H_2S -indhold i Dybet (Station M3, $2,9 \times 10^7 \text{ m}^3$) vist som tons svovl. B: Udbredelsen af H_2S zonen (detektionsgrænse $\approx 2 \mu\text{M}$) og ilt zonen (detektionsgrænsen vist ved 1% luftmætning). I dybden, hvor H_2S og O_2 overlapper, opstår kemoklinen.

Produktionen af H_2S i de øverste 10 cm af fjordbunden på Station 3 (Figur 1 og 3) er ikke stor nok til at forklare den stigende H_2S -mængde i Dybet gennem sommeren (Figur 4a). Beregninger af nettoforøgelsen af H_2S i Dybet for perioden 17/3 til 7/12 og oxidationen af H_2S i kemoklinen (se nedenfor), viser, at der blev produceret godt 680 tons svovl (som H_2S) i Dybet i løbet af 1998. Heraf blev kun 83 tons (dvs. 12%) produceret i sedimentet repræsenteret ved Station 3.

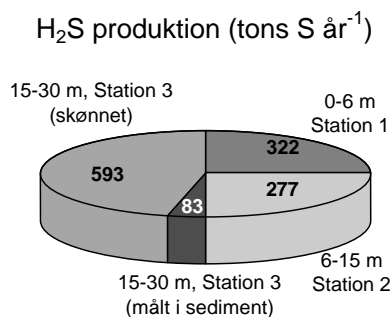
Station 3 ligger på 20 m vanddybde på skrænten i Dybet og repræsenterer altså ikke sedimentet fra de dybeste dele af Dybet. Det er derfor tænkeligt, at den mest intense H_2S -produktion foregår på bunden af Dybet (28-30 m), hvor organisk materiale og ophvirvlet sediment samler sig og danner, hvad der bedst kan beskrives som, "beskidt vand" eller en "tyndtflydende sedimentsuppe". Det var derfor ikke muligt at indsamle uforstyrrede sedimentkerner fra denne del af Dybet. Målinger af H_2S -koncentrationen i vandsøjlen om sommeren viser endvidere karakteristiske opadrettede konkave kurveforløb (Figur 5), der også indikerer en egentlig H_2S -produktion i selve vandsøjlen. Svovlbrinteproduktionen i den iltfrie vandsøjle og i det opslæmmede sediment/bundvand allerdybest i Dybet (28-30 m) er altså vigtige H_2S -kilder i Mariager Fjord.



Figur 5. Eksempler på H_2S -koncentrationen i Dybet hhv. forår (17/3) og efterår (14/9), hvor den mindste og største H_2S mængde blev målt.

H_2S -produktionen i Mariager Inderfjord 1998

Produktionen af H_2S i Mariager Inderfjord for 1998 er bestemt ud fra direkte målinger på Station 1 og 2 (Figur 1) og ved beregning af H_2S -produktionen i de dybeste dele af Dybet. Produktionen er fordelt på tre dybde-områder af Inderfjorden, hhv. 0-6 m (repræsenteret ved Station 1), 6-15 m (repræsenteret ved Station 2) og 15-30 m (Dybet).



Figur 6. H_2S -produktionen i 1998 i Mariager Inderfjord opdelt i flg. områder: fjordbunden på vanddybde 0-6 m (\approx Station 1), 6-15 m (\approx Station 2) og i 20 m dybde (\approx Station 3) samt den beregnede H_2S -produktion på større dybder end 20 m af Dybet, dvs. den totale H_2S -produktion i Dybet ekskl. H_2S -produktionen på Station 3.

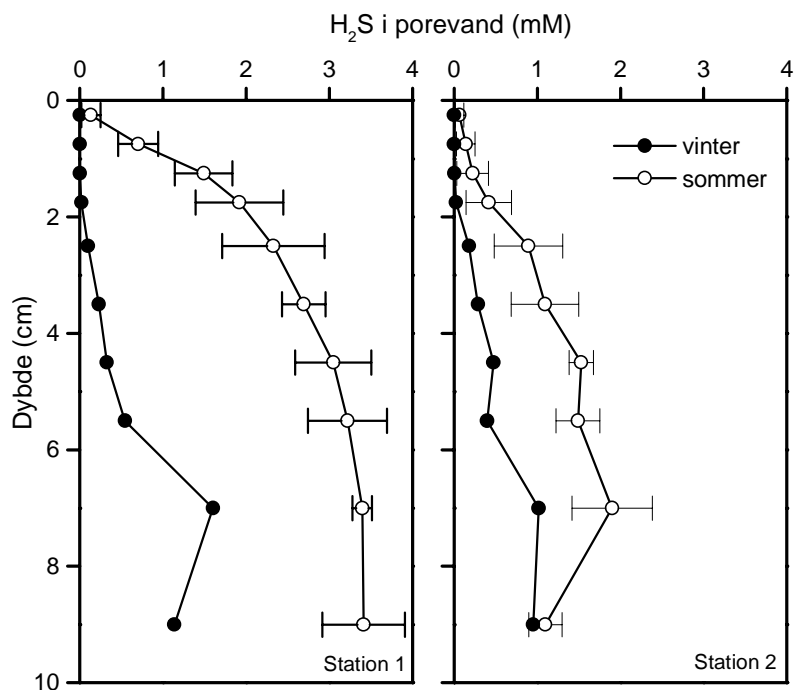
H_2S -produktionen i 15-30 m dybde er yderligere opdelt i produktionen på Station 3 og den beregnede H_2S -produktion på større dybder end 20 m af Dybet, dvs. den totale H_2S -produktion i Dybet ekskl. H_2S -produktionen på Station 3. I Mariager Inderfjord (mellem Lunddals Tørven og Dania) fordeler H_2S -produktionen i 1998 sig nogenlunde ligeligt (1:1) mellem sedimentet i de lavvandede områder (<15 m) og produktionen i Dybet (Figur 6).

Den totale 1998 H_2S -produktion i Mariager Inderfjord ($3,18 \text{ mol S m}^{-2} \text{ år}^{-1}$) var ca. dobbelt så høj som den årlige H_2S -produktion i Århus Bugt i 1990.

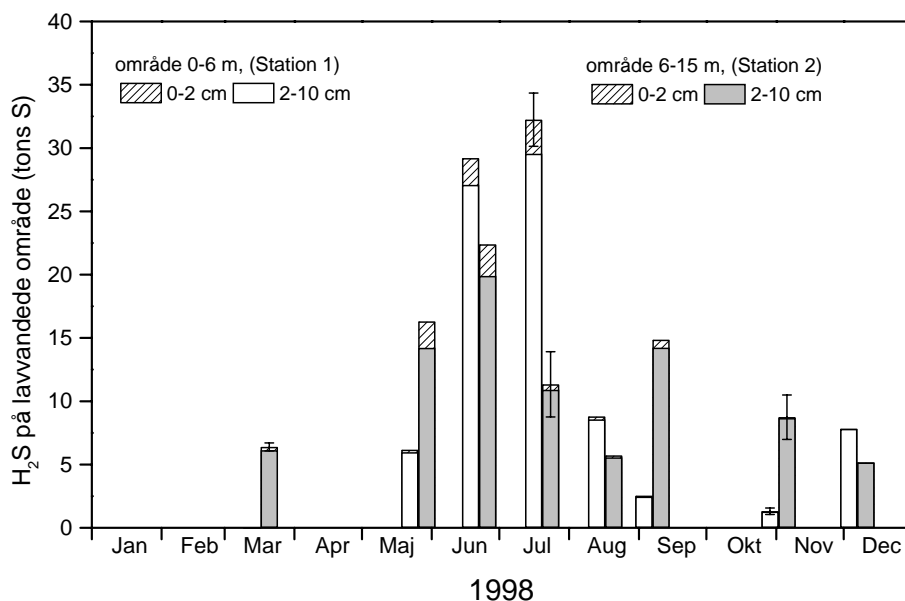
H_2S -koncentrationen i bunden af fjorden på de lavvandede områder

I sedimentet på station 1 og 2 blev H_2S observeret umiddelbart under overfladen (Figur 7), hvilket kendetegner et organisk belastet område. Årets højeste H_2S -koncentration på 3,5 mM blev observeret i 9 cm dybde den 20.7.98 på Station 1, og det var omtrent den samme koncentration som målt måneden før. Til sammenligning var den største H_2S -koncentration i Århus Bugt i 1990 0,4 mM (målt i 8-10 cm dybde), og der blev slet ikke detekteret H_2S i sedimentets øverste 2-3 cm. H_2S -koncentrationen i Mariager Fjord er altså meget høj.

På Inderfjordens lavvandede områder steg H_2S -indholdet i fjordbunden i løbet af foråret og forsommeren (Figur 8). Det største H_2S -indhold blev målt i juni, hvor de lavvandede områder tilsammen indeholdt ca. 55 tons svovl i de øverste 10 cm af fjordbunden. Det svarede til ca. 23% af Inderfjordens samlede H_2S -mængde i juni måned.



Figur 7. H₂S-koncentration i porevandet på Station 1 og 2, hhv. vinter (7.12.98) og sommer (20.7.98). Sommerværdier er vist som gennemsnit af tre målinger ± stdafv.



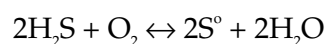
Figur 8. Det totale H₂S-indhold i fjordbundens øverste 10 cm på de lavvandede områder. Station 1 og Station 2 repræsenterer hhv. fjordbunden på 0-6 m dybde (3,61 km²) og 6-15 m dybde (4,58 km²). Tredobbelbestemmelse af H₂S-indholdet er vist ved gennemsnitsværdi ± stdafv og blev foretaget på Station 1: 20.7 og 2.11 og på Station 2: 17.3, 20.7. og 2.11. Station 1 blev ikke undersøgt i marts.

Der kan være flere årsager til det høje H₂S-indhold i fjordbunden på de lavvandede områder. Eftervirkningerne fra det kraftige iltsvind i august 1997 øgede tilførslen af (dødt) organisk stof til sedimentet i

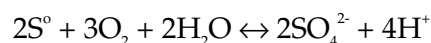
efteråret 1997, og det blev i løbet af vinteren rodet ned i sedimentet. Samtidig blev forårets primærproduktion ikke som tidligere år spist af fjordens mange muslinger, da de alle var døde pga. H₂S-forgiftning i forbindelse med iltsvindet. Det er derfor sandsynligt, at der i den tidlige sommer (maj 1998) var mere organisk stof i sedimentet, der kunne omsættes ved ilt og sulfatrespiration, end tidligere år. Nedbrydningen af det organiske materiale førte til et betydeligt iltforbrug i fjordbunden, så der var iltfrie forhold helt oppe under sedimentoverfladen. Det skabte optimale forhold for de sulfatreducerende bakterier i hele sedimentets udstrækning. Bakteriernes effektivitet til at omsætte det organiske materiale blev yderligere stimuleret af en gradvis stigende temperatur i løbet forsommeren, og H₂S-indholdet i fjordbunden steg frem til juni/ juli 1998 (Figur 8). Det faldende H₂S-indhold i fjordbunden i sidste halvår af 1998 bliver diskuteret nedenfor.

Oxidationen af H₂S forbruger ilt

Produktionen af H₂S i Mariager Fjord fører til et omfattende iltforbrug. Det første produkt ved oxidationen af H₂S er oftest partikulært svovl (S⁰):



efterfulgt af en oxidation til sulfat:

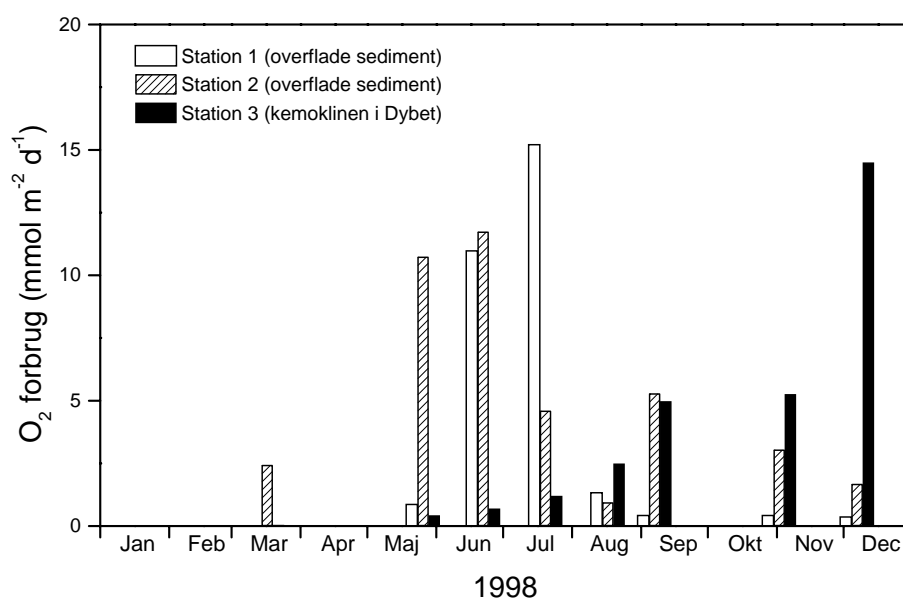


Den komplette oxidation af 1 mol H₂S til SO₄²⁻ forbruger derfor 2 mol O₂.

H₂S-produktionen i Dybet medførte en konstant flux af H₂S op mod kemoklinen, hvor H₂S blev oxideret i 15-17 m vanddybde. Iltforbruget i Dybet var størst mod slutningen af året, hvor 14,5 mmol O₂ m⁻² døgn⁻¹ blev brugt til at oxidere H₂S (Figur 9). Den betydelige oxidation af H₂S i Dybet hænger sammen med, at iltrigt overfladevand afkøles, og synker ned i det svovlbrinteholdige vand. Oxidationen af H₂S i forbindelse med nedsynkningen af overfladevandet førte dog ikke til, at et egentligt fald i H₂S-indholdet blev observeret inden for undersøgelsesperioden (Figur 4). Vi forventer, at H₂S-mængden i Dybet vil aftage i løbet af indeværende vinter (98/99), hvilket vil blive be-lyst gennem de fortsatte koncentrationsbetømmelser af H₂S i Dybet i 1999.

Der er beskrevet ovenfor, hvordan der foregik en H₂S-produktion i de øverste 10 cm af fjordbunden af Inderfjordens lavvandede områder (Figur 3). Produktionen i fjordbunden førte til en diffusion af H₂S op mod sedimentoverfladen (Figur 7), hvor H₂S blev oxideret af O₂ i fjordbundens allerøverste mm i lighed med processen i kemolinen i Dybet. På de lavvandede områder blev det største iltforbrug til H₂S oxidation i sedimentet observeret i perioden maj - juli, hvor vi registrerede samme høje iltforbrug øverst i sedimentet som under nedsynkningen af overfladevandet i Dybet i vintermånederne (Figur 9). Det er ikke umiddelbart muligt at forklare, hvorfor O₂ forbruget i overfladesedimentet falder dramatisk mellem juli og august på trods af den højeste H₂S-produktion i sedimentet blev målt i august.

Selv om iltindholdet i bundvandet af den lavvandede del af fjorden nåede kritisk lave værdier fra 7 meters dybde og nedefter i månederne maj og juni, var der året igennem ilt nok ved bunden til at hindre et udslip af H_2S til bundvandet. Kraftig vind i sommermånederne medførte, at iltet overfladevand blev blandet ned mod bunden, og fra midt i juni og frem til september var der velilteede forhold overalt i de lavvandede områder (0-15 m). Bedre iltforhold i bundvandet betyder en større iltpenetrering og dermed forbedret oxidationskapacitet i sedimentet, hvilket igen vil fjerne mere af den producerede H_2S i sedimentet ved at oxidere det til S^0 eller binde det som FeS ved reaktionen med oxideret jern. Det betød, at H_2S -indholdet faldt i fjordbunden af den lavvandede del af fjorden i løbet af sensommeren (Figur 8), særligt i de øverste 2 cm og mest markant på Station 1 (Figur 8) til trods for en fortsat stigning i H_2S -produktionen på begge stationer (Figur 1).



Figur 9. Det beregnede iltforbrug på station 1 og 2 ved den komplette oxidation af H_2S til SO_4^{2-} i de allerøverste mm af fjordbunden samt iltforbruget ved oxidation af H_2S i kemoklinen i Dybet. O_2 forbruget blev ikke bestemt på Station 1 i marts.

H_2S -udslip fra bunden af de lavvandede områder

Det er beskrevet ovenfor, at der i 1998 ikke slap H_2S ud fra bunden på de lavvandede områder, og at H_2S i Dybet blev oxideret i kemoklinen i ca. 15 m vanddybde. Der var med andre ord i 1998 tilstrækkeligt med ilt over fjordbunden og over det svovlbrinteholdige vand i Dybet til at balancere den opadrettede H_2S -flux - godt hjulpet på vej af vind og køligt vejr i juli og august.

Hvad kunne der være sket, hvis ikke vind og vejr havde sørget for gode iltforhold ved fjordbunden i 1998; men sommeren i stedet havde udviklet sig som i 1997? Altså, hvis vindstille perioder og høj bundvandstemperatur (op til $23^{\circ}C$) havde præget perioden fra juni til august.

I en vindstille periode vil der i løbet af kort tid (timer/døgn) opstå iltvind over bunden på de lavvandede områder pga. lagdeling af

vandsøjlen og forbruget af O₂ til oxidation af H₂S. Når først al ilten er væk fra bunden, vil H₂S derfor slippe direkte ud i bundvandet, da det ikke fjernes ved oxidation. Stiger temperaturen samtidig i fjordbunden blot nogle få grader øges H₂S-produktionen tilmed betydeligt (Figur 2) - således vil en temperaturstigning fra 17°C til 23°C øge produktionen af H₂S ca. 2,4 gange.

H₂S-produktionen i fjordbunden blev målt tre gange i perioden 1.6 - 31.8 1998. Ud fra disse målinger er den samlede produktion på de lavvandede områder beregnet til 320 tons svovl for perioden juni-august (Tabel 1). Det svarer til godt halvdelen af årets H₂S-produktion på de lavvandede områder (Figur 6). I samme periode steg temperaturen i bundvandet fra 14°C til 17°C. H₂S produktionen i Dybet var i samme tidsrum 169 tons svovl (inkl. 21 tons svovl produceret i sedimentet på Station 3). Hvis bundvandstemperaturen i juni, juli og august blot havde været hhv. 2, 4 og 6°C højere, ville den samlede H₂S-produktionen i de lavvandede områder have været 632 tons svovl, hvilket er omtrent det dobbelte af den observerede produktion i sommeren 1998 (Tabel 1). Temperaturen i bunden af Dybet er temmelig stabil året rundt, og H₂S-produktionen i Dybet vil derfor ikke stimuleres væsentligt selv i en varm sommer.

Opstår der iltsvind ved fjordbunden i august måned, vil H₂S hurtigt slippe ud i bundvandet på de lavvandede områder. Ved en bundvandstemperatur på 23°C viser beregningerne, at op til 40 mmol H₂S m⁻² døgn⁻¹ (≈ 139 tons S/måned, Tabel 1) kan slippe ud i det lavvandede område mellem 0 og 6 m og ca. 60 mmol H₂S m⁻² døgn⁻¹ (≈ 218 tons S/måned, Tabel 1) kan slippe ud på vanddybder mellem 6 og 15 m. Hvis de øverste lag af vandsøjlen er luftmættet med ilt ved H₂S-udslippets begyndelse og iltkoncentrationen i vandet aftager lineært mod den iltfrie fjordbund, vil der med de angivne H₂S-fluxe gå mellem 1 og 2 uger, før hele fjorden fra bunden til vandoverfladen (≈ 12,4 x 10⁷ m³) er totalt iltfri.

Tabel 1. Beregning af H₂S-produktion i Mariager Fjord mellem Lunddals Tørven og Dania i sommermånedene juni-august 1998.

1998		tons S måned ⁻¹		Scenario		tons S måned ⁻¹	
	temp. °C	Station 1 3,61 km ²	Station 2 4,58 km ²	temp. °C	Produktions- forøgelse	Station 1	Station 2
juni	14	39	27	16	1,3	51	35
juli	16	54	51	20	1,8	97	92
august	17	58	91	23	2,4	139	218
		151	169			287	345
Station 1 og 2 i alt		320				632	
Station 3 (4°C; 4,33 km ²)		169				169	
Mariager Fjord (juni - august)		489				801	

Situationen i sommeren 1997 var omtrent som beskrevet i ovenstående scenario. Det er derfor sandsynligt, at en betydelig del af det svovlbrinte, der undslap fjorden i de sidste uger af august 1997, kom fra fjordbunden i de lavvandede områder og ikke alene fra Dybet. Vindstille vejr førte til en lagdeling af vandsøjlen og dermed "blev der lagt låg på fjorden", hvorved ilten i bundvandet hurtig blev brugt til oxidation af H_2S . I løbet af få timer strømmede H_2S uhindret op i bundvandet. Fjordbunden i Mariager Inderfjord indeholder altså så meget organisk stof, at H_2S -produktionen bliver meget voldsom på de lavvandede områder, når temperaturen i sommermånederne stiger blot nogle få grader over "normalen". En kontinuert strøm af O_2 til fjordbunden er derfor særlig vigtig i sommermånederne for at fjerne H_2S fra fjordbundens allerøverste mm. Selv et kortvarigt iltsvind i fjorden kan få katastrofale følger og vil i løbet af meget kort tid føre til H_2S -udslip fra fjordbunden på de lavvandede områder samtidig med, at H_2S også slipper ud fra Dybet. En vindstille og varm periode af få ugers uafbrudt varighed vil markant påvirke fjordens evne til at fjerne H_2S ved oxidation, og i løbet af få uger vil H_2S nå overfladevandet af Mariager Fjord.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

Direktion og Sekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Systemanalyse

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejløvej 25
Postboks 413
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Afd. for Sø- og Fjordøkologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Vandløbsøkologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 14

Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Tagensvej 135, 4
2200 København N
Tlf.: 35 82 14 15
Fax: 35 82 14 20

Afd. for Arktisk Miljø

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

1998

- Nr. 237: Råvildt og forstyrrelser. Af Olesen, C.R., Theil, P.K. & Coutant, A.E. 53 s., 60,00 kr.
- Nr. 238: Indikatorer for naturkvalitet i søer. Af Jensen, J.P. & Søndergaard, M. 39 s., 50,00 kr.
- Nr. 239: Aromater i spildevand. Præstationsprøvning. Af Nyeland, B.A. & Hansen, A.B. 64 s., 60,00 kr.
- Nr. 240: Beregning af rejsetider for rejser med bil og kollektiv trafik. ALTRANS. Af Thorlacius, P. 54 s., 74,00 kr.
- Nr. 241: Control of Pesticides 1997. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Køppen, B. & Petersen, K.K. 24 pp., 50,00 DKK.
- Nr. 242: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 1997/98 i Danmark. Af Clausager, I. 50 pp., 45,00 kr.
- Nr. 243: The State of the Environment in Denmark 1997. By Holten-Andersen, J., Christensen, N., Kristensen, L.W., Kristensen, P. & Emborg, L. (eds.). 288 pp., 190,00 DKK.
- Nr. 244: Miljøforholdene i Tange Sø og Gudenåen. Af Nielsen, K., Jensen, J.P. & Skriver, J. 63 s., 50,00 kr.
- Nr. 245: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Report 1997. By Kemp, K., Palmgren, F. & Mancher, O.H. 57 pp., 80,00 DDK.
- Nr. 246: A Review of Biological Resources in West Greenland Sensitive to Oil Spills During Winter. By Boertmann, D., Mosbech, A. & Johansen, P. 72 pp., 95,00 DKK.
- Nr. 247: The Ecology of Shallow Lakes - Trophic Interactions in the Pelagial. Doctor's dissertation (DSc). By Jeppesen, E. 358 pp., 200,00 DKK.
- Nr. 248: Lavvandede søers økologi - Biologiske samspil i de frie vandmasser. Doktordisputats. Af Jeppesen, E. 59 s., 100,00 kr.
- Nr. 249: Phthalater i miljøet. Opløselighed, sorption og transport. Af Thomsen, M. & Carlsen, L. 120 s., 45,00 kr.
- Nr. 250: Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg, III. Feltundersøgelser og litteraturudredning. Af Jeppesen, J.L., Madsen, A.B., Mathiasen, R. & Gaardmand, B. 69 s., 60,00 kr.
- Nr. 251: Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Jensen, J.P., Jeppesen, E., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L. & Sortkjær, L. 102 s., 125,00 kr.
- Nr. 252: Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Laubel, A.R., Paulsen, I., Jensen, P.G. & Rasmussen, P. 154 s., 150,00 kr.
- Nr. 253: Ferske vandområder - vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Windolf, J., Svendsen, L.M., Ovesen, N.B., Iversen, H.L., Larsen, S.E., Skriver, J. & Erfurt, J. 102 s., 150,00 kr.
- Nr. 254: Marine områder. Åbne farvande - status over miljøtilstand, årsagssammenhænge og udvikling. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Ærtebjerg, G. et al. 246 s., 250,00 kr.
- Nr. 255: Atmosfærisk deposition af kvælstof. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Frohn, L., Skov, H. & Hertel, O. 97 s., 100,00 kr.
- Nr. 256: Emissioner fra vejtrafikken i Danmark 1980-2010. Af Winther, M. & Ekman, B. 73 s., 75,00 kr.
- Nr. 257: Landbrugsscenarier - integreret miljøøkonomisk modelanvendelse. Af Andersen, J.M., Wier, M., Hasler, B. & Bruun, H.G. 93 s., 100,00 kr.
- Nr. 258: Tungmetaller i tang og musling ved Ivittuut 1998. Af Johansen, P., Riget, F. & Asmund, G. 29 s., 40,00 kr.
- Nr. 259: Kontrol af konserveringsmidler og farvestoffer i legetøjskosmetik. Analytisk-kemisk kontrol af kemiske stoffer og produkter. Af Rastogi, S.C. & Jensen, G.H. 28 s., 50,00 kr.
- Nr. 260: Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Af Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. 86 s., 150,00 kr.
- Nr. 261: Udvidet pesticidmetode i forbindelse med grundvandsovervågning. Af Vejrup, K.V. & Ljungqvist, A. 52 s., 50,00 kr.
- Nr. 262: Proceedings of the 16th Mustelid Colloquium, 9th - 12th October 1997, Århus, Denmark. Ed. by Madsen, A.B., Asferg, T., Elmeros, M. & Zaluski, K. 45 pp., 40,00 DKK.
- Nr. 264: Phenoler i drikkevand. Præstationsprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 159 s., 80,00 kr.