



Restaurering af Furesø

... et EU Life-Nature projekt

Opsamlingsforsøg til dokumentation af iltningsanlæggets effektivitet



Forsøg og rapport er udarbejdet af Jydsk Dykkerfirma Aps

Jydsk Dykkerfirma ApS (JD-Contractor ApS Denmark)

Nybovej 8-9
7500 Holstebro
Tlf.: 97426311
Fax: 97411922

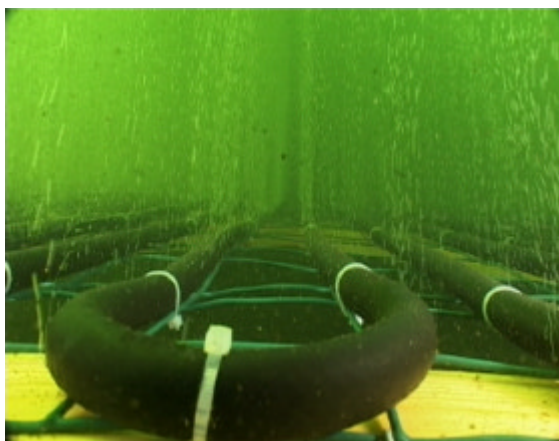


Beskrivelse af opsamlingsforsøg i Furesøen d. 12. og 13. august 2004 Projekt nr LIFE02NAT/DK/8589

Opsamlingsforsøget til dokumentation af iltningsanlæggets effektivitet blev gennemført den 12. og 13. august 2004.

Forsøget blev gennemført ved at måle vandets indhold af ikke-opløste gasser i dybdeområdet fra 2 meter under overfladen og ned til bunden. Forsøget fandt sted i området ved diffusor nr. 1, der ligger på 34-35 meter vand og i overensstemmelse med proceduren for Effektivitetsmålinger ved iltningsanlæg i Furesøen af 25. februar 2004.

Udstyr og metodebeskrivelse



Figur 1 Iltfaner fra Minidiffusor

En mini-diffusor blev fremstillet ved at montere i alt 50 meter diffusorlange på en ramme på 2x2 meter. Rammen blev i hvert hjørne udstyret med en 30 cm bred og ca. 40 cm høj fodplade til at forhindre diffusoren i at synke ned i sedimentet. Diffusorlangen blev via en trykslange forbundet til manifolden ved diffusor nr. 1. Mini-diffusoren blev placeret på bunden, så rammen med diffusorlange befandt sig i 34 meters dybde. To opstrammede markeringsbøjler placeret i to modstående hjørner af rammen markerede diffusorens placering på overfladen.

En dragt med en indgang på 0,98 m² blev brugt til opsamling af de ikke-opløste gasser. Tragten var udstyret med en luftudlader i toppen og en armeret trykslange der førte til overfladen.

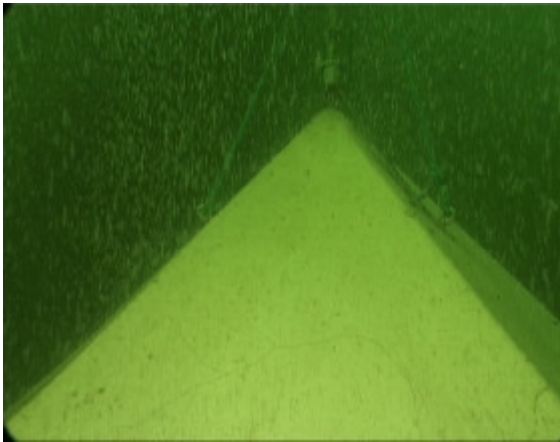
En båd med måleudstyr blev ankret op midt imellem markeringsbøjlerne i en stram trekantsfortøjning. Tragten blev sænket ned midt over gasfanen fra mini-diffusoren og kunne ved hjælp af et målebånd placeres præcist i den ønskede dybde.

Måling blev gennemført ved trinvist at sænke tragten. I hver ny dybde blev flowet i slangen registreret, for at måle hvor meget ikke-opløst gas der befandt sig i pågældende dybde. Ved udvalgte dybder blev gassens sammensætning analyseret ved hjælp af elektronisk måleudstyr.

Gennemførelse og beregningsgrundlag

I 34 meters dybde er trykket 4,4 bar. Jfr. Boyles lov er tryk og rumfang omvendt proportionale ved samme temperatur. 4,4 liter gas ved overfladen fylder således 1,0 liter i 34 meters dybde. Forholdet er som nævnt temperaturafhængigt, idet varm gas fylder mere end kold gas. Opvarmningen op gennem vandsøjlen fra koldt bundvand til varmere overfladevand betyder således, at gassen udvider sig en smule. På den anden side betyder trykfaldet, at temperaturen i gassen falder, hvorved den trækker sig en smule sammen. Betydningen af disse to sidstnævnte faktorer er ikke medtaget i beregningen af anlæggets effektivitet, idet disse forhold må betragtes som marginale set i forhold til andre mere betydende faktorer.

Første måling blev gennemført om aftenen den 12. august under helt rolige vindforhold. På grund af det fremskredne tidspunkt på dagen blev der ved den lejlighed kun målt helt nede ovenpå mini-diffusoren og 2 meter under overfladen. Gassens sammensætning blev ikke analyseret ved denne lejlighed. Flowmålingerne var meget konstante og viste, at af den opsamlede gas ved bunden nåede 1/18 op til 2 meters dybde, hvilket svarer til et spild til atmosfæren på 5,6 %, uden at der er taget hensyn til gassens evt. forskellige



Figur 2 Tragt

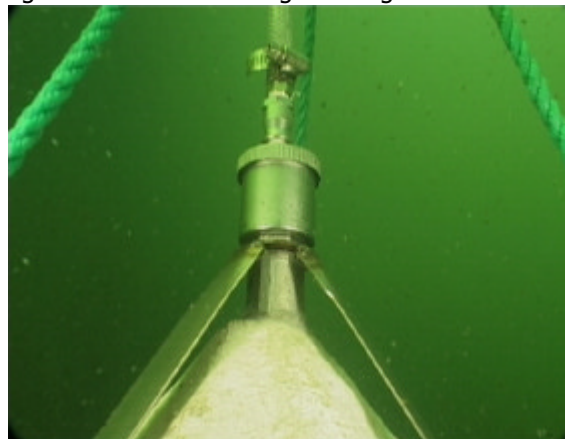
meters dybde var den frie gasmængde reduceret til 0,2 liter/minut, eller 13-15 % med et iltindhold på 90-95 %. Fra 30 meter og op til 20 meters dybde skete der et fald i gasmængden fra ca. 0,2 l/minut til ca. 0,1 l/minut. Fra 20 meter og op til overfladen skete der kun en svag reduktion af den frie gasmængde. Fra 15 meter og op til overfladen var iltindholdet i gassen ca. 90 %.

Det reducerede iltindhold i gassen skyldes fortrængning af andre gasser i vandet, jfr. Henrys lov, der siger, at mængden af en luftart, der optages i en væske, hvormed den ikke indgår kemisk forbindelse, er proportional med den pågældende luftarts partialtryk. Det høje iltpartialtryk, der skabes over diffusoren, fortrænger således helt eller delvis andre gasser, der måtte være opløst i vandet. Der blev på udvalgte dybder analyseret for CO₂ (kultveilde) og CH₄ (metan), som dannes i forbindelse med nedbrydning af organisk stof. På ingen af dybderne kunne der registreres indhold af disse gasser, hvilket heller ikke ville være videre sandsynligt under velilte forhold, idet CH₄ sammen med O₂ vil danne CO₂ og vand, som straks vil opløses til H₂CO₃ (kulsyre). Det må derfor antages, at de resterende 10 % består af N₂ (kvælstof), idet tilstedeværelsen af andre gasarter end ovennævnte ikke er videre sandsynlig. Opløst N₂ i vandet stammer deles fra diffusion ned gennem vandoverfladen, dels fra afgasning fra sedimentet i forbindelse med anaerob omsætning. Afgasning af N₂ fra sedimentet er formentlig ringe ved det aktuelle iltmætningsniveau i bundvandet. Efter en periode med iltmangel i bundvandet vil afgasningen af N₂ formentlig kunne registreres tydeligere i vandfasen. Forskellen i massefylde for hhv. O₂ og N₂ er ikke medtaget i beregningen, idet betydningen betragtes som marginal.

Målingerne var vanskeligere at gennemføre den 13. august end dagen i forvejen, idet bølgegang fik tragten til at hoppe, så gassen ved en given dybde ikke strømmede med samme kontinuitet som under de vindstille forhold dagen i forvejen. Ved gentagne målinger kunne der konstateres måleusikkerhed på såvel flowmåling som på iltanalyser. Denne usikkerhed vurderes at ligge indenfor ca. 10 % af resultatet.

sammensætning mellem bund og overflade. Manifolde var indstillet til totalt at yde ca. 50 kg O₂/h, hvilket for mini-diffusoren ligger på ca. det dobbelte af normalt driftsniveau.

Næste dag den 13. august blev manifold nr. 1 indstillet til totalt at yde ca. 25 kg O₂/h, hvilket for mini-diffusoren svarer til normalt driftsniveau for hele anlægget. Der blev målt for hver 5. meter ned gennem vandsøjlen. Desuden blev der målt direkte ovenpå mini-diffusoren, en meter over denne samt i to meters dybde under overfladen. Resultatet af målingerne kan ses i skemaet og af grafen i bilag 1. Målingerne viste, at i 34 meters dybde direkte ovenpå mini-diffusoren kunne der opsamles 1,5 liter fri gas per minut med et iltindhold på ca. 100 %. I 33 meters dybde, altså 1 meter over mini-diffusoren, var den frie gasmængde reduceret til ca. 0,75 liter/minut eller ca. 50 % af opsamlingen direkte ovenpå mini-diffusoren. I 30



Figur 3 Luftudlader i toppen af tragt



Konklusion

Målingerne viser, at ca. halvdelen af ilten går i opløsning indenfor den første meter over mini-diffusoren. 4 meter over mini-diffusoren ved 30 meter er 85-87 % af ilten gået i opløsning. Yderligere ca. 5-8 % går i



opløsning fra 30 meter og op til 15 meter, altså i bundvandet nede under springlaget. Over springlaget sker der kun en begrænset optagelse på yderligere 1-2 %. De resterende 5-6 % fortsætter op gennem overfladen og går tabt til atmosfæren. Af den del, der bobler gennem springlaget og senere går tabt, består ca. 10 % af andre gasser end ilt, formentlig N_2 . Når man trækker indholdet af N_2 fra flowmålingerne, har anlægget en effektivitet på ca. 94 % under springlaget, mens ca. 6 % af ilten bobler op gennem springlaget, og ca. 5 % afgasser til atmosfæren. Indregnes en måleusikkerhed på 10 %, ligger opløsningen under springlaget mellem 93 % og 95 %.

Figur 4 Minidiffusor sænkes

Bemærkninger

Det skal bemærkes, at de opnåede resultater afspejler forholdene den pågældende dag og under de aktuelle omstændigheder. Anlæggets belastningsniveau, vandets temperatur og iltmætning samt dybdeforholdene ved udledningsstedet spiller en rolle for anlæggets effektivitet.

Multidyk

22. august 2004

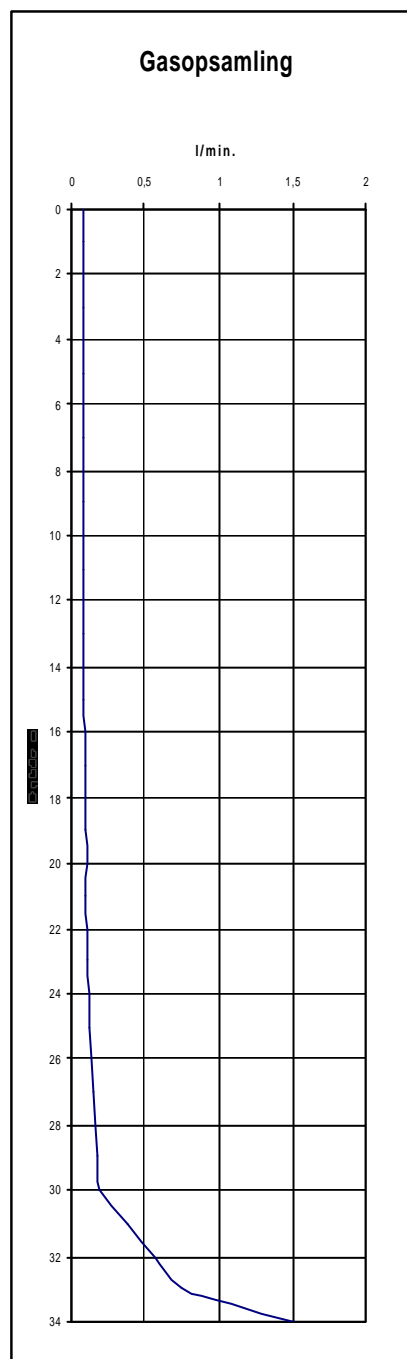
Leo Mosgaard Nielsen



Bilag 1

Dybde m	l/min.	% fri gas	O ₂ %	% fri O ₂
2	0,08	5,3	90	4,8
5	0,08	5,3		
10	0,08	5,3	90	4,8
15	0,10	6,7	90	6,0
20	0,11	7,3		
25	0,13	8,7		
30	0,20	13,3	95	12,7
33	0,75	50,0		
34	1,50	100,0	100	100,0

Gennemsnit for flere målinger. Målt flow i 34 meters dybde er sat til 100 %. Kolonnen viser, hvor mange % ikke-opløst gas der findes i pågældende dybde. Kolonnen yderst til højre er reduceret med indholdet af andre gasser end ilt.



Grafisk fremstilling af ikke-opløst gas i vandsøjlen. Måling blev udført ved dybderne angivet i modstående tabel. Mellemliggende resultater er interpoleret.



Procedure for Effektivitetsmålinger ved iltningsanlæg i Furesøen

Formål

Effektivitetsmålingerne gennemføres for at bestemme og dokumentere iltningsanlæggets effektivitet. Målingerne skal belyse, hvordan den udledte ilt bliver opløst i søvandet.

Metodebeskrivelse

Målingerne gennemføres ved i forskellige dybder ovenover en specialindrettet test-diffusor at opsamle og måle den del af ilten – og evt. andre gasser – der på et givet sted i vandsøjlen stadig optræder som frie bobler.

Test-diffusoren er udstyret med et veldefineret slangeareal, fx 50 meter diffusorlange, udspændt på en ramme, fx 2x2 meter. Denne placeres lige over bunden i samme område og dybde som de rigtige diffusorer og er tilsluttet en af afgangene på manifolden. Iltflowet til test-diffusoren reguleres til ønsket mængde inde på ilttanken, så det passer med flowet per arealenhed for anlægget ved normal drift.

En specialindrettet tragte til opsamling af ikke-opløst gas sænkes ned over test-diffusoren. Tragten dækker et veldefineret areal, fx diameter 1 meter. Tragten er indrettet med en anordning, så opsamlet gas via en slange ledes til overfladen. Her måles mængden per tidsenhed, og gassen analyseres for hhv. ilt, kultveilt og metan – restkoncentrationen vil være nitrogen.

Slangerne på test-diffusoren placeres med en sådan afstand, at tragten uanset pendling til stadighed dækker det samme slangeareal.

Ved første måling placeres tragten helt nede over test-diffusoren. Den opstigende gas samles i toppen af tragten og ledes til overfladen. Ved konstant flow bestemmes gasmængden over tid, og sammensætningen analyseres. Herefter hæves tragten trinvis, og måling og analyse gentages. Dette gentages indtil overfladen – eller indtil der ikke længere kan erkendes frie gasbobler i vandet.

Resultaterne afrapporteres i skema med angivelse af tid og sted for målingernes gennemførelse samt mængden af ikke-opløste gasser i en række dybder op gennem vandsøjlen.

Leo Mosgaard Nielsen

Arne Sørensen

25. februar 2004

