

Brugsvejledning for 7891.00 Respirometersystem

22.12.10

Aa 7891.00

Indledning

Respirometersystemet er udviklet med henblik på langvarige og automatiske målinger af vandåndende dyrs (Feks. fisk eller muslinger) iltforbrugsrate under kontrollerede forhold (temperatur, lys/mørke etc.).

Der opnås måleresultater for dyrets iltforbrugsrate hvert 5-10 minut og systemet eigner sig dermed til undervisningssituationer med begrænset tid!

Respirometersystemet giver mulighed for at engagere de studerende gennem eksperimentelt arbejde med aktuelle problemstillinger (iltsvind!) og konkretisering af lærebogsteorierne indenfor fagområder som akvatisk økologi, fysiologi samt miljøbiologi. Under arbejdet med målesystemet får studerende i faget biologi hands-on erfaring med pc-baseret dataopsamling og -analyse.

Målingerne er non-invasive og totalt uskadelige for forsøgsdyrene, eksempelvis kan guldfisk eller andre "havedamsfisk" typisk bruges igen og igen, år efter år. Køb dem billigt hos en dyrehandler eller plante-skole og hold dem i et prisbilligt plastakvarium med lidt postevand og noget foder. Alternativt kan egne dyr som fisk, krebsdyr, muslinger o.lign. hjembringes fra ekskursioner i felten!

Udpakning:

Respirometersystemet leveres emballeret og færdigmonteret. Pakken indeholder:

1 stk. brugsvejledning

1 stk. respirometer

1 stk. gummidprop

2 stk. pumper

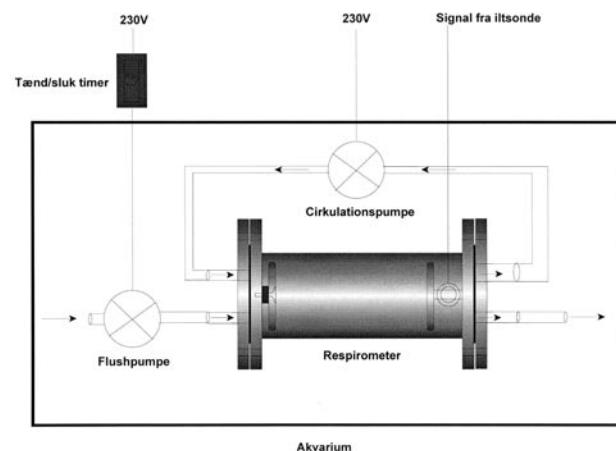
1 stk. timerinstrument

diverse slanger

12 stk. rustfri vingemøtrikker

12 stk. rustfri spændskiver

Opstilling



Respirometer, slanger og begge pumper anbringes i et passende akvarium, eksempelvis 27 l plastakvarium (nr. 7615.30).

Tilslut timerinstrument samt cirkulationspumpen til 230V/50Hz med jord og tilslut dernæst flushpumpen til stikproppen på timerinstrumentets udgang!

Sørg for at ledninger, stikpropper, timerinstrument samt evt. forlængerledning fikseres over vandniveau for at sikre mod vandstænk!

Af samme grund tilsluttet udstyret kun til vægudtag med korrekt jordforbindelse - dette gælder også for evt. forlængerledninger, dataopsamlingsudstyret (eks. Pasco Science Workshop interface) samt pc!

Fyld vand i akvariet, gerne dagen inden eksperimentet starter for at tillade termostatering til rumtemperatur og luft-ekvilibriering. Alternativt kan akvarievandet med fordel beluftes kontinuerligt med en akvariumluftpumpe og/eller køles/varmes til den valgte forsøgstemperatur.

Placer udløbsslanguens udmunding lige over vandoverfladen, dette gøres nemt med en laboratorieklemme. Dette sikrer at friskt vand ikke trænger ind denne vej når pumpen er slukket (i måleperioden) og gør det nemt at checke at vandet skiftes i flush-perioden (når flushpumpen er tændt).

Umiddelbart inden målingerne ønskes startet monteres iltsensoren i respirometeret. Den medfølgende gummiprop passer til iltsensorer med en ydre diameter på ca. 12mm (eksempelvis Pasco no. P-CI6542 eller Verniers/Data Harvest no. 3886.15) og den påføres forsigtigt sensoren så tippen stikker ca. 10 mm ud. Fugt evt. prop samt sensor forinden og pas godt på at membranen ikke ødelægges – dette gøres nemmest ved at skrue det yderste membranhylster af inden proppen påføres. Tilsidst skubbes prop + iltsensor ned i hullet bag beskyttelsesskærmen og det sikres at proppen slutter helt tæt.

Vær opmærksom på at vandet i det omgivende akvarium skal dække iltsensorens metalbånd (temperaturføler) helt når den sidder i respirometeret. Iltsensoren samt dataopsamlingsudstyr tilsluttes og målingerne påbegyndes.

Målinger af iltforbrug

Opstillingen består af en lukket beholder med kendt rumfang (et respirometer) som dyret eller dyrene anbringes i, hvorefter iltforbruget bestemmes udfra faldet i vandets iltindhold. Respirometeret er anbragt i et vandbad der termostaterer opstillingen og virker som bufferkar hvorfra vand udveksles med respirometeret.

Iltforbruget bestemmes over en kort måleperiode på 3 minutter, efterfulgt af en 3 minutters flushperiode hvor vandet i respirometeret fornys (figur/graf). Heretter starter slukker flushpumpen automatisk og en ny måleperiode begynder og så fremdeles.

Herved undgås problemer med ophobet CO₂ og metabolitter samt iltfattigt vand respirometeret som følge af dyrets stofskifte. En anden fordel ved denne målemetode, er bla. at forsøgets varighed i principippet er ubegrænset og at man opnår målinger med høj tidsopløsning.

Bemærk at cirkulationspumpen kører kontinuerligt for at sikre opblanding samt tilstrækkeligt flow forbi iltsensorens membran.

Iltkoncentrationen i vandet inde i respirometeret, måles kontinuerligt vha. af dataopsamlingsudstyr og tilhørende iltsensor. Efterfølgende kan dyrets masse-spesifikke iltforbrugsrate beregnes som:

$$MO_2 = d[O_2]/dt \cdot 3600 \cdot V/BW$$

Hvor

$$MO_2 = \text{iltforbrugsraten i mgO}_2/\text{kg/time}$$

$$d[O_2]/dt = \text{hældningskoefficienten mgO}_2/l/\text{sekund}$$

$$V = \text{respiometervolumen fratrukket dyrets volumen i liter}$$

$$BW = \text{dyrets vægt i kg}$$

Det er vigtigt at måle hældningen på iltkurven nøjagtigt, og derfor anbefales det for hver måleperiode, at bestemme hældningen udfra en lineær regressionsanalyse. Husk at medtage alle datapunkter der ligger på den rette linie.

Iltindholdet i respirometeret bør maksimalt falde ca. 0.5 mgO₂/l i hver måleperiode, idet dyrets respiration afhænger af det omgivende vands iltindhold. Det anbefales at benytte dyr med en samlet vægt på 30-60 gram afhængigt af temperatur og typen af dyr - eksempelvis har fisk meget højere iltforbrug end muslinger!

Timerinstrumentet. Tidsintervallet er *default* sat til ca. 3 minutter og da flushpumpen giver > 3 l/min, svarer det til at respirometerets volumen udskiftes >15 gange i hver flushperiode. Dette interval kan indstilles, men bør altid tillade at volumenet udskiftes minimum 10 gange i hver flushperiode, for at sikre tilstrækkelig udvaskning.

Rengøring og vedligehold

Når respirometersystemet bruges over længere tid dannes der biofilm på faste overflader, der kan medføre et betydeligt iltforbrug. Rengør derfor jævnligt respirometeret samt slanger og pumper i rent ferskvand og tør af med fnugfrei klud. Brug evt. mild sæbeopløsning til at fjerne snavs og belægninger med.

Respirometeret er udført i akryl (PMMA) og bør ikke anvendes sammen med de fleste opløsningsmidler især ikke de polære, alkohol, benzin eller koncentrede syrer.

Dyp slanger i varmt vand for at lette evt. montage/afmontage af slanger.

Husk at måle respirometerets volumen inklusive cirkulationspumpe samt slange, såfremt slanger afkortes eller erstattes med andre!

Tips & Tricks

Fisk og andre hvirveldyr bliver i laboratoriet let stressede af lys, lyde og bevægelser samt pludselige ændringer i vandtemperaturen, og dette kan forøge stofskiftet og dermed iltforbruget betydeligt. Derfor måles ofte et højt og varierende iltforbrug lige efter forsøgsstart, hvorefter det gradvis falder til et mere stabilt niveau (se eksempel på dat på figur ?).

Ønsker man målinger af uforstyrrede dyr i hvile, bør man derfor starte forsøget >5 timer inden målingerne startes og gerne dagen inden. Man kan også overdække akvariet med et håndklæde eller lignende for at minimere stresspåvirkningen af dyret i respirometeret. Dette er også en god ide at termosta-

tere vandet i det omgivende akvarium ved at fylde det i god tid inden forsøgsgangen og lade det opnå rumtemperatur.

EKSEMPLER PÅ FORSØG MED RESPIROMETERSYSTEMET

Forsøg 1 –

bestem et vandåndende dyrs stofskifte

Formålet med øvelsen er at måle et dyrs iltforbrugsrate som mål for stofskiftet.

Øvelsesgang

Indledningsvist kalibreres iltsensoren iflg. producentens anvisninger.

Respirometerlåget løsnes, pumperne startes (sæt evt. flushpumpen direkte i vægudtag) og slanger samt respirometeret tømmes omhyggeligt for luftbobler.

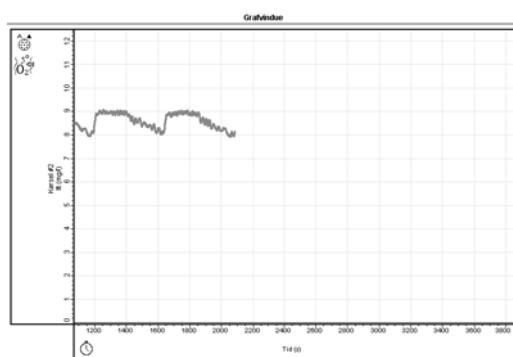
Overfør en egnet fisk fra opbevaringskaret til akvariet med respirometeret og lemp den forsigtigt ind i røret hvorefter låget skubbes på plads.

Fisken kan sprælle noget, så pas på at evt. vandsænk ikke rammer de elektriske installationer.

Check igen respirometeret for luftbobler inden vinjemøtrikkerne i låget skrues på så tæthed opnås.

Tilsidst monteres iltsensoren øverst i respirometeret vha. gummiproppen så tæthed opnås. Husk at metalbåndet på sensoren skal være dækket helt, efterfyld eventuelt akvariet.

Fra iltsensoren får vi nu en kontinuerlig registrering af iltkoncentrationen inde i respirometeret. Iltsporet kan følges på pc-skærmen og skulle gerne ligne det på nedenstående figur.



Figurforklaring. Ved tiden 0 starter flushpumpen automatisk og pumper friskt vand ind i respirometeret, hvorved iltkoncentrationen gradvist stiger til det omgivende vands iltniveau. Efter ca. 200 s slukkes

flushpumpen automatisk, respirometeret er nu lukket for udveksling af vand og iltkoncentrationen begynder umiddelbart herefter at falde som følge af dyrets respiration der nu måles i et lukket volumen. Efter yderligere ca. 200 s måleperiode, tændes flushpumpen automatisk igen og målecyklus starter frafra.

I principippet kan eksperimentet nu forsætte i dagevis for på den måde at kunne bestemme standardstofskiftet ud fra uforstyrrede målinger (typisk om natten) og se på evt. døgnrytmer.

P.g.a. fiskens respiration og udskillelse af affaldsprodukter (kvælstofforbindelser mm.), anbefales det at belufte vandet i bufferkaret (akvariet) og forny eller rense vandet ved langvarige eksperimenter.

Vær opmærksom på at såvel de vekselvarme dyrs iltforbrug samt iltsensoren påvirkes af skiftende temperaturer. Derfor anbefales det at benytte dyr der trives ved rumtemperatur eller at termostatere vandet i bufferkaret vha. køler/varmer eller rindende poste-vand.

Efter forsøgets afslutning bestemmes dyrets/dyrenes masse. Fyld en passende beholder med vand og placer den på en vægt der herefter nulstilles. Fang dyret/dyrene med et dafnienet og afdryp hastigt net samt dyr på et håndklæde, derefter placeres de/det forsigtigt i beholderen med vand og vådvægten aflæses.

Herefter kan iltforbrugsraten bestemmes for hver måleperiode som:

$$MO_2 = \frac{d[O_2]}{dt} \cdot 3600 \cdot V/BW$$

Hvor

$$MO_2 = \text{iltforbrugsraten i } mgO_2/kg/\text{time}$$

$$\frac{d[O_2]}{dt} = \text{hældningskoefficienten } mgO_2/l/\text{sekund}$$

$$V = \text{respiometervolumen fratrukket dyrets volumen i liter}$$

$$BW = \text{dyrets vægt i kg}$$

Iltforbruget kan til omregnes til energiforbrug vha. følgende :

$$1 \text{ mol } O_2/\text{min} = 108 \text{ kcal/min} = 460 \text{ kJ/min} = 7,5 \text{ kW}$$

Herefter kan man sammenligne forsøgsdyrenes energiforbrug, eksempelvis med lærebogsværdier for varmlodede dyrs (menneskers, fugle, pattedyr) og diskutere årsager til forskellene.

Regnexample – omregn en guldfisks iltforbrug ved 20 °C til energiforbrug

$$\text{Molvægt } O_2: 32 \text{ g/mol}$$

Målt iltforbrugsrate: 240 mgO₂/kg/time

Dette giver et energiforbrug på:

$$240 \text{ mgO}_2/\text{kg}/\text{time} =$$

$$0,240/32 \text{ mol O}_2/\text{kg}/\text{time} / 60 \times 7,5 \text{ kW} = 0,94 \text{ W/kg}$$

$$240 \text{ mgO}_2/\text{kg}/\text{time} =$$

$$0,240/32 \text{ mol O}_2/\text{kg}/\text{time} \times 460 \text{ kJ} = 3,46 \text{ kJ/kg}/\text{time}$$

$$240 \text{ mgO}_2/\text{kg}/\text{time} =$$

$$0,240/32 \text{ mol O}_2/\text{kg}/\text{time} \times 108 \text{ kcal} = 0,82 \text{ kcal/kg}/\text{time}$$

Til sammenligning bruger et vågent menneske der ligger ubevægelig cirka 1 kcal/time, og mere end 20 kcal/time ved maksimal arbejdsintensitet!

Forsøg 2 - hvordan påvirker iltsvind fisks respiration?

Denne øvelse går ud på at måle fisks stofskifte og ventilation under fremskreden iltsvind. Resultaterne anvendes til at beregne den kritiske iltmætning (pcrit) og anskueliggøre/diskutere de adaptive fysiologiske mekanismer der sætter visse fiskearter i stand til at klare langvarige iltsvind andre ikke klarer. Data lægger op til at gennemgå lærebogsstof der omhandler vandkemi/-miljø og idræts-/respirationsfysiologi.

Den store variation i vandets iltindhold i de forskellige akvatiske miljøer har medført store forskelle mellem eksempelvis fisk og invertebraters tilpasninger til ændringer i iltforholdene. Fisks er generelt oxyregulatorer, dvs. at de kan regulere og opretholde deres stofskifte, på trods af svingninger i omgivelsernes iltindhold. Denne evne, beror på evnen til at regulere ventilationen (dvs. vandstrømmen over gællerne) såvel som ekstraktionen af ilt fra denne vandstrøm. Dette kan ses af følgende formel:

$$\text{MO}_2 = V_g ([\text{O}_2]_i - [\text{O}_2]_u)$$

der giver iltforbruget MO₂ som produktet af ventilation og ekstraktion.

Hvor

$$\text{MO}_2 = \text{iltforbrug i mgO}_2/\text{min}$$

$$V_g = \text{ventilation i liter/min}$$

$$[\text{O}_2]_i = \text{iltindhold i indåndingsvandet i mgO}_2/\text{l}$$

$$[\text{O}_2]_u = \text{iltindhold i udåndingsvandet i mgO}_2/\text{l}$$

Hvis iltindholdet i indåndingsvandet falder har fisken i princippet to muligheder for at kompensere. Ventilationen kan øges eller den kan ekstrahere en større andel af indåndingsvandets iltindhold.

Ved at måle en række sammenhørende værdier for iltforbrugs- og ventilationsrate under faldende iltind-

hold i vandet, undersøges det hvorledes og indenfor hvilke grænser fisken er i stand til at opretholde et konstant stofskifte.

Karpefisk, såsom guldfisk eller karudser, er eksempler på fisk der er yderst tolerante overfor lave iltkoncentrationer (oxytolerante), medens laksefisk er relativt følsomme overfor ændringer i vandets iltindhold (oxysensitive).

Som sammenligning kan denne øvelse evt. også gennemføres med invertebrater, såsom muslinger, hvor iltforbruget generelt følger vandet iltindhold (oxykonforme).

Forsøg 3 – Temperaturens indflydelse på stofskiftet

Denne øvelse går ud på at bestemme et dyrs stofskifte ved to forskellige temperaturer. Forudsætningen for målinger som disse er et veldefineret iltforbrug. Her gælder det om at opnå forsøgsbetingelser således at man kan måle på dyrets hvilestofskifte, altså et minimalt "vedligeholdelsesstofskifte", svarende til ensvarme pattedyrs "basalstofskifte". Hos fisk og andre vekselvarme dyr betegnes dette dog som "standardstofskiftet" og afhænger som bekendt af omgivelsernes temperatur.

Det kan være vanskeligt at måle standardstofskiftet, da dyret ofte har varierende og ukontrolabel spontan aktivitet der medfører et "forhøjet" iltforbrug. Dette problem kan dog løses ved at måle iltforbruget gennem hele døgnet da de fleste dyr har en karakteristisk døgnrytme i deres aktivitet. Det er muligt at foretage sådanne observationer vha. målesystemet det automatisk foretager et stort antal målinger døgnet igennem under kontrollerede forhold. Et typisk resultat fra sådanne Døgnmålinger på en fisk ses på figur ?.

Når vandtemperaturen stiger forløber de biokemiske processer hurtigere, og øger dermed den metabolske rate (stofskiftet) hos de vekselvarme vandåndende dyr. Denne sammenhæng mellem temperatur og stofskifte er ekspotentiel og udtrykkes ofte ved faktoren Q₁₀, der beskriver den fakultelle ændring i metabolsk rate som følge af en 10°C stigning i temperaturen. Q₁₀ kan beregnes som følgende:

$$Q_{10} = (M_2/M_1) (10/t_2-t_1)$$

Hvor

$$M_1 = \text{metabolsk rate ved temperatur 1}$$

$$M_2 = \text{metabolsk rate ved temperatur 2}$$

$$t_1 = \text{laveste temperatur}$$

$$t_2 = \text{højeste temperatur}$$

Det kan være praktisk at kunne sammenligne resultater fra forsøg ved forskellige temperaturer. En sådan temperaturkorrektion kan udtrykkes som følgende:

$$M(t) = M(20) * C^{(t-20)}$$

M(t): metabolisme ved temperaturen t

C : temperatur koefficient

Hvis C = 1,07 betyder det eksempelvis at stofskiftet øges med en faktor $1,07^{(30-20)} = 2$, der når temperaturen øges fra 10°C til 20°C, og dette er en generel værdi for metabolsk rate hos hvirveldyr.

BAGGRUNDSTEORI

Måling af dyrs stofskifte

Metabolsk rate er en af de vigtigste fysiologiske variable til sammenligning af dyrs tilpasninger samt formåen, og er et mål for organismens totale energiforbrug over tid.

Det er dog kun muligt at bestemme energiforbruget indirekte ved en af følgende fire analyser:

1. energiindholdet i indtaget føde minus affaldsstofferne energiindhold
2. mængden af forbrugt ilt eller udskilt CO₂ (respirometri)
3. mængden af produceret varme (kalorimetri)
4. mængden af produceret metabolsk vand (isotop-teknikker)

Af disse er iltforbruget nemmeste at måle og er generelt tæt forbundet til varmeproduktionen, uanset hvilket type føde (organisk materiale) der forbrændes, med en gennemsnitlig værdi på 20 kJ per liter ilt.

Målinger af dyrs iltforbrug tager dog ikke hensyn til evt. anaerob metabolisme, og kan derfor resultere i misvisende resultater for nogle organismer. Husk på at mange typer organismer klarer sig fint uden ilt vha. anaerob metabolisme. Andre ånder normalt ilt, men har tilpasninger der gør det muligt for dem at klare sig i perioder med lidt eller slet ingen ilt. I disse tilfælde udgør dyrets iltforbrugsrate et dårligt estimat af det totale energiforbrug eller den metabolske rate.

Hvad bruges ilten til?

Alle organismer har et energiforbrug der kan måles og udtrykkes på forskellig vis.

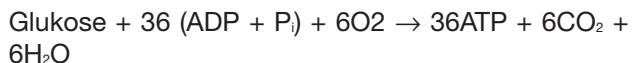
Energien går til at opretholde homeostase, til at hol-

de liv i livsvigtige energiforbrugene processer som osmoregulering, syre-base balance, proteinsyntese etc.

Højere dyrs stofskifte er baseret på energi fra såkaldt aerob metabolisme.

Stofskifte ilten bruges som elektrondonor i den respiratoriske kæde ! under nedbrydning af organiske molekyler og dannelse af ATP eller kemisk energi til energikrævende processer i kroppen.

Reaktionen for en komplet oxidation af et mol glucose under aerobe forhold kan sammenfattes som:



Som det ses forbruger processen ilt, dvs. at kropens iltforbrug afspejler det aerobe stofskifte.

Ilten bruges kort fortalt i den såkaldte oxidative fosforyleringsproces inde i cellernes mitochondrier. Her fungerer iltmolekylerne som elektrondonorer under dannelsen af ATP. I en trinvis proces overføres elektroner fra NADH og FADH₂ (fra Krebs cyklus) til O₂, hvilket medfører en protongradient (og pH-gradient) samt et transmembran elektrisk potentiale, henover den indre mitochondriemembran. ATP syntetiseres derefter, når protoner bevæger sig tilbage til den mitochondrielle matrix via en ATP syntase, et stort membranbundet proteinkompleks.

Noget om ilt i vand

Ilt opløselighed i vand udgør kun cirka 1/30 af opløseligheden i luft ved normalt tryk og iltmolekylers diffusionshastighed i vand er 10.000 gange lavere end i luft.

Atmosfærisk luft indeholder ca. 21% ilt, altså 210 ml O₂/l og luftåndende dyr kommer almindeligvis ikke ud for variationer i ilttilgængelighed.

Til sammenligning indeholder en liter "mættet" vand som er i ligevægt med atmosfærisk luft kun ca. 10 ml O₂/l og iltindholdet vil ændre sig med lufttrykket samt vandets temperatur og saltholdighed. Stigende temperatur samt saltholdighed bevirker et fald i ilt opløslighed i vand, medens stigende lufttryk øger mængden af ilt der kan opløses i vandet.

Eksempelvis vil en typisk dansk havørred om vinteren op holde sig i et vandløb med ferskvand der indholder ca. 14 mgO₂/l, medens den samme fisk om sommeren udsættes for 20° varmt havvand med et mættet iltindhold på kun ca. 7 mgO₂/l.

Det vil altså sige at mange vandåndende dyr, i modsætning til terrestriske dyr, er utsat for store udsving i ilttilgængeligheden i deres naturlige miljø.

Her tænkes ikke blot på de problemer med iltsvind, som er blevet aktuelle på grund af vandforurening. Det er feks. velkendt hvorledes iltkoncentrationen kan svinge kraftigt over døgnet i søer, vandløb eller kystnære områder med høj biologisk aktivitet. Om dagen dominerer algers eller grønne planters fotosyntese og giver anledning til høje iltkoncentrationer, mens ilten om natten respireres af planter, alger, bakterier etc. og kan medføre meget lave natlige iltkoncentrationer.

Derfor bestemmes forekomsten af diverse dyrearter i vandmiljøet ofte af iltsvindene, eksempelvis hvilke insekters larvestadier eller fiskearter der forekommer i et givent vandløb.

Forurening og iltsvind

Dårlige iltsvind kan forekomme ved udledning af iltsvindene stoffer, og kan udvikle sig til akut iltsvind i eksempelvis vandløb hvor pludselige regnskyl tømmer slam fra drænrør ud i åen eller får urensset spildevand til at flyde over og direkte i åen.

Kronisk iltsvind kan forekomme ved langvarige udledninger til vandmiljøet.

Iltbalancen

Iltforholdene i vandmiljøet afhænger af 1) iltproducerende processer, hovedsageligt alger og vandplanters primær production (photosyntese), samt 2) iltsvindene processer, primært nedbrydningen af organisk materiale og oxidation af ammoniakforbindelser.

Derudover er iltbalance påvirket af iltdiffusion til og fra atmosfæren (luften) samt til- og fraførsel af vand med lavere eller højere iltmætrering (eks. iltfrit grundvand)

1) Iltproducerende processer

Her menes primærproduktion, altså de processer hvor uorganisk kulstof assimileres og konverteres til organiske molekyler under dannelsen af ren ilt. Disse processer kan lede til en betydelig overmætning af ilt i vandet ($>150\%$) under visse forhold.

Specielt kan kortvarige algeopblomstringer (eks. trådalgen *Cladophora*) påvirke iltbalanceen positivt om dagen og negativt om natten.

2) Iltsvindene processer

De iltsvindende processer i vandmiljøet er skyldes hovedsageligt oxidation af organisk materiale, ammoniak og andre reducerede nedbrydningsprodukter fra biologisk aktivitet (eks. hydrogensulfat). Bakterier er de vigtigste forbrugere af ilt i vandet, og når de oxiderer opløst stof, lagres den kemiske energi

v.h.a. energirige fosfatforbindelser (ATP) og bruges derefter i bakteriernes egen metabolisme. I denne sammenhæng er det vigtigt at huske at iltsvindene kan påvirkes dramatisk af naturlige årsager i upåvirkede miljøer.

Dette betyder dog også at selv små belastninger med iltsvindene stoffer, i nogle tilfælde kan medføre store ødelæggelser som følge af direkte som indirekte effekter af iltsvind.

Formler

$$[O_2] = PwO_2 * \beta$$

$[O_2]$ = iltkoncentration i vand (mg O₂/l)

PwO_2 = ilts partialtryk i vand (mmHg)

β = ilts opløselighedskoefficient i vand (mg O₂/l/mmHg)

Se Tabel 1 for β -værdier i relation til temperatur og saltholdighed.

Udfra lufttrykket (BP) og vanddampttrykket (pH₂O) kan ilts partialtryk i fuldmættet vand beregnes som:

$$pO_2 = (BP - pH_2O) * 0,2094$$

hvor 0,2094 er fraktionen af ilt i atmosfæren ved havoverfladen.

Se Tabel 2 for PwO₂- og pH₂O-værdier i relation til lufttryk og temperatur.

GARANTI

På dette produkt ydes en garanti på produktions- og materialefejl på 1 år regnet fra afsendelsestidspunktet fra A/S S. Frederiksen (SF) til kunde.

SF vil inden for denne periode reparere eller erstatte de dele, der på grund af produktions- eller materialefejl måtte være defekte.

Garantien dækker kun ved korrekt brug af udstyret, og således ikke hvis udstyret udsættes for uhensigtsmæssig brug eller i sammenhænge, der ikke er beskrevet i denne manual. En vurdering af om udstyret er anvendt korrekt, kan kun foretages af SF.

Returnering af defekt udstyr som garantireparation sker for kundens regning og risiko, og kan kun foretages efter aftale med SF.

Forsendelsen skal foregå i forsvarlig indpakning for at undgå skader på udstyret. Med mindre andet er aftalt med SF, skal fragtbeløbet forudbetales. Enhver skade på udstyret, der skyldes forsendelsen dækkes ikke af garantien. SF betaler for returnering af udstyret efter garantireparationer.

Returnering af udstyr

Hvis udstyr skal returneres til SF, kan det kun ske efter aftale med SF enten pr. telefon eller brev.

Når udstyret returneres skal det pakkes omhyggeligt. Transport-selskabet erstatter ikke udstyr, der transportskades på grund af dårlig indpakning.

Følgende regler bør overholdes ved forsendelse:

- 1) *Det anvendte karton skal være tilstrækkelig kraftigt til forsendelsen.*
- 2) *Der bør være mindst 5 cm pakkemateriale mellem enhver del af udstyret og kartonens inderside.*
- 3) *Vær opmærksom på, at der anvendes pakkemateriale, der ikke flytter sig i kartonen eller bliver komprimeret, så udstyret kommer i kontakt med kartonens inderside.*



A/S Søren Frederiksen, Ølgod
Viaduktvej 35 · DK-6870 Ølgod

Tel. +45 7524 4966
Fax +45 7524 6282

info@frederiksen.eu
www.frederiksen.eu

