

Nieuwe lichtmeetapparatuur t.b.v. het kwaliteitsonderzoek van oppervlaktewater

Samenvatting

De primaire productie van het fytoplankton in open water staat in nauwe relatie tot de toetredende hoeveelheid licht. Om de lichtintensiteit op verschillende diepten onder het wateroppervlak te kunnen kwantificeren is een lichtmeetapparaat ontwikkeld waarmee de lichtgradiënt onder water wordt bepaald t.o.v. de lichtintensiteit boven water. Met de gegevens van een zelf-registrerende solarimeter met integrator is voor iedere diepte de lichtenergie te bepalen.

Inleiding

In het biologisch regiem van het oppervlaktewater speelt de fotosynthese een belangrijke rol. Bij het onderzoek naar de factoren, die bij de primaire productie van het fytoplankton een rol spelen, zal dus ook informatie moeten worden verzameld over de hoeveelheid licht. In eerste instantie moet de lichtenergie gemeten worden, die in een bepaalde periode aan de oppervlakte wordt aangeboden. Een solarimeter met integrator zal hierover informatie kunnen verschaffen. Een ander apparaat is nodig om de afname van de lichtintensiteit in de diepere waterlagen te meten. In dit artikel zal de apparatuur voor de lichtmetingen, zoals die door de RIJP wordt gebruikt, worden beschreven. Met de verkregen informatie is op iedere diepte de hoeveelheid toegevoerde lichtenergie te bepalen. Samen met zuurstofmetingen in flesjes die op verschillende niveaus hangen en de meting in een donker flesje kan de invloed van de fotosynthese worden gekwantificeerd.

Meetapparatuur voor de lichtenergie

Op een representatieve plaats in het meetgebied wordt de luxurenteller (solarimeter met integrator) opgesteld. De door ons toegepaste solarimeter van Lintronic heeft een gevoeligheid van 10.45 mV/Langley (= 0,149 mV/mWcm⁻²) (1 Langley = 1 gcal cm⁻² min⁻¹ = 70 mW cm⁻²) over het traject van 0,3 tot 3,5 μm van het spectrum. De Digitale Volt-tijd integrator heeft een gevoeligheid van 100 counts/mV-hour. Een uitgelezen waarde

$$\text{van bijv. } 001264 \text{ in één uur betekent dus: } \frac{12,64}{0,149} =$$

84,6 mW cm⁻² uur.

De integrator heeft een analoge en een digitale uitgang. De integrator is uit te breiden met klok en printer die één-, twee- of viermaal per uur de totale waarde uitprint. Ook is het mogelijk dat de printer alleen de integraal per tijdsinterval uitprint.

Meetapparatuur voor de lichtintensiteit

Voor de bepaling van de lichtintensiteitsgradiënt in het water is het voldoende de verhouding tussen de lichtintensiteiten op een bepaalde diepte en aan de oppervlakte te bepalen. In de regel zal met incidentele bepalingen kunnen worden volstaan omdat de gradiënt nooit

snel zal veranderen. De metingen van de gradiënt zullen in het algemeen vanuit een boot plaatsvinden.

Omdat de omstandigheden in een boot vaak verre van ideaal zijn voor gevoelige apparatuur is een meetinstrument ontwikkeld zonder kwetsbare bewegende delen dat eenvoudig en nauwkeurig is in te stellen en af te lezen. Het principe van deze differentiële lichtmeter is als volgt. Van twee lichtgevoelige cellen fungeert de ene als referentiecel boven water. Het afgegeven elektrische signaal van deze cel wordt verzwakt tot het signaalniveau van de cel die op een bepaalde diepte hangt. Op het moment dat beide signalen overeenstemmen dooft een signaallampje. De verzwakkingsfactor van de referentiecel is een maat voor de verhouding van de lichtintensiteiten. De gradiënt wordt gevonden door de meting op verschillende diepten uit te voeren.

De differentiële lichtmeter

Als referentie- en meetwaarde opnemer is de silicium foto-elektrische cel het meest geschikt. De siliciumcel onderscheidt zich o.a. door een:

- brede spektrale gevoeligheid van 0,2 tot 1,2 μm;
- grote temperatuurstabiliteit van — 60 tot 175 °C;
- de kortsluitstroom is proportioneel met de belichtingssterkte.

Deze laatste eigenschap laat zich wiskundig formuleren met:

$$i = CE^m \quad (1)$$

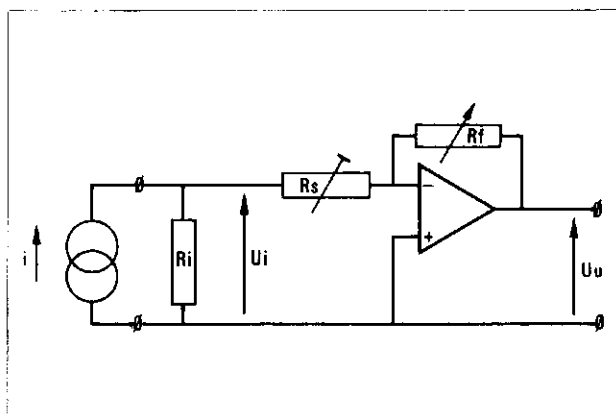
waarin i = kortsluitstroom in mA ($R_b \leq 1 \Omega$)

$$E = \text{lichtintensiteit in lux} = \frac{1}{6800} \text{ mW cm}^{-2}$$

m en C zijn celconstanten.

Om de kortsluitstroom naar een analoge spanning te transformeren wordt een operationele versterker toegepast. In afb. 1 is de schakeling schematisch weergegeven.

Afb. 1 - Principe schema van stroom-spanningsomvormer. Circuit of current-voltage converter.



Volgens de theorie van de operationele versterker geldt de volgende betrekking:

$$U_u = - \frac{R_f}{R_s} U_i \quad (2)$$

Door de grote versterkingsfactor van de operationele versterker zal de potentiaal op het knooppunt van R_s en R_f praktisch nul zijn. Dit is het zgn. „virtuele aardpunt”. De parallelschakeling van R_i en R_s kan dus als belasting van de lichtcel beschouwd worden, zodat geldt:

$$U_i = i \frac{R_i R_s}{R_i + R_s} \quad (3)$$

Door substitutie van (3) in (2) wordt de relatie tussen de lichtcelstroom i en de uitgangsspanning U_u gevonden.

$$U_u = - \frac{R_f R_i}{R_i + R_s} i \quad (4)$$

Om de gewenste relatie tussen de lichtintensiteit E en de uitgangsspanning U_u te vinden, wordt i geëlimineerd door substitutie van (1) in (4).

$$U_u = - C \frac{R_i}{R_i + R_s} R_f E^m \quad (5)$$

Dit versterkerprincipe wordt nu voor beide opnemer-elementen toegepast. Zo ontstaat een differentiële lichtmeter met twee meetversterkers, waarvan de schakeling schematisch is weergegeven in afb. 2. Uitgaande van betrekking (5) is uit deze figuur af te leiden: voor het referentiekanaal:

$$U_r = - C_r \frac{R_1}{R_1 + R_3} \cdot R_5 E_r^m \quad (6a)$$

voor het meetkanaal:

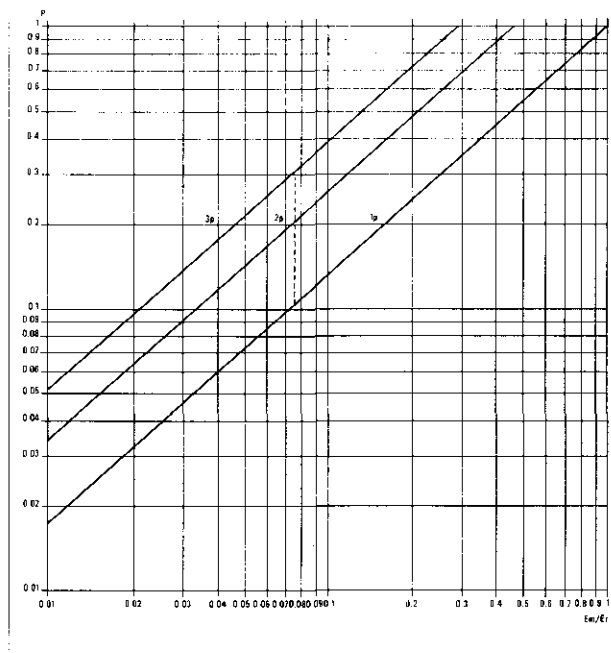
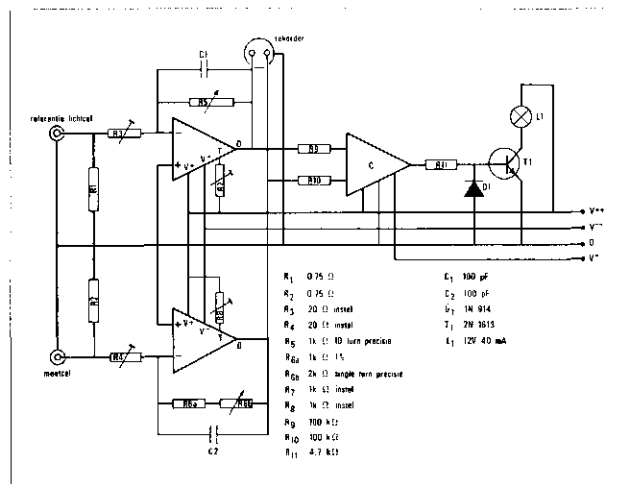
$$U_m = - C_m \frac{R_2}{R_2 + R_4} \cdot R_6 E_m^m \quad (6b)$$

Om aan de lichtcelkarakteristiek volgens (1) te voldoen, waarbij tevens wordt voldaan aan de voorwaarde dat de coëfficiënt m voor beide cellen gelijk is, moet gelden:

$$R_1 = R_2 \leq 1 \Omega$$

Met R_3 en R_4 is de gevoeligheid zodanig in te stellen dat de maximaal te verwachten lichtintensiteit overeen-

Afb. 2 - Schema van de differentiële lichtmeter.
Circuit diagram of the differential lightmeter.



Afb. 3 - Relatie tussen schaalaflezing p en lichtintensiteitsverhouding voor celconstante $m = 0,9$.
Curves of the relation of the dial-value p and the ratio of light intensity, for cells with $m = 0,9$.

komt met de maximale uitgangsspanning van de meetversterker. Daarbij worden dan automatisch eventuele verschillen tussen C_r en C_m gecorrigeerd, zodat gesteld mag worden:

$$C_r \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3} = C_m \frac{R_2}{R_2 + R_4} = K$$

Hiermede gaat (6) over in

$$U_r = - K R_5 E_r^m \quad (7a)$$

$$U_m = - K R_6 E_m^m \quad (7b)$$

De beide spanningen U_r en U_m worden toegevoerd aan een comparator (C). Het door de comparator gestuurde lampindicatorcircuit is „aan” voor de toestand dat $U_r > U_m$ en „uit” voor de toestand $U_r \leq U_m$. Op het moment dat het lampje uitgaat geldt dus $U_r = U_m$. Deze toestand wordt bereikt door R_5 of R_6 te variëren. R_5 is uitgevoerd als 10-slagen potentiometer met een schaalverdeling van 1000 eenheden. De ingestelde waarde van deze potentiometer bedraagt $p \cdot R_5$ waarbij $0 \leq p \leq 1$. R_6 is een eenslagpotentiometer waarvan de waarde ingesteld kan worden van R_5 tot $3 R_5$. Hierdoor is het dus mogelijk een schaalvergroting toe te passen bij lage meetwaarden.

In een evenwichtssituatie waarbij $U_r = U_m$ geldt dus:

$$p R_5 E_r^m = R_6 E_m^m$$

of

$$p \frac{R_5}{R_6} = \left(\frac{E_m}{E_r} \right)^m \quad (8)$$

Voor $m = 0,9$ is deze functie uitgezet in afb. 3.

De lichtgradiënt meting

Op een ijkpunt worden de beide lichtcellen van de differentiële lichtmeter opgesteld. Daarbij moet er voor wor-

NIEUWSBERICHTEN

den gezorgd, dat de omstandigheden zoveel mogelijk gelijk zijn aan die van de solarimeter.

Bij de ijking moet de schaalaflezing p maximaal zijn, dus $p = 1,000$. De lichtintensiteitsverhouding is dan immers 1 (zie afb. 3). Wordt vervolgens de meetcel in het water gelaten, terwijl de referentiecél op zijn ijkplaats blijft, dan kan p bepaald worden tegen de diepte onder de waterspiegel. Met de grafiek zijn dan uit de meetwaarden de lichtintensiteitsverhoudingen te herleiden. Hierbij geldt dus lijn 1p.

Is tijdens de meting de meetcel zo diep gezakt dat de meetwaarde p in de orde grootte van 0,100 komt, dan kan een schaalvergroting van 2 of 3 x worden toegepast. Is bijvoorbeeld op 70 cm diepte de meetwaarde $p =$

0,105, dan blijft de cel op die diepte en wordt p ingesteld op 0,315 (3x). Met P6 wordt vervolgens de versterking van het meetcelkanaal opgevoerd tot het signaallampje weer dooft. Dan is de versterkingsfactor 3x zo groot. In de grafiek geldt nu voor de volgende meetwaarden de lijn 3p. Hetzelfde geldt voor de lijn 2p, indien op het betreffende punt p was ingesteld op 0,210.

Uit de gevonden meetwaarden is m.b.v. de grafiek eenvoudig het verband af te leiden tussen lichtintensiteitsverhouding en diepte onder de waterspiegel. Uit de geregistreerde waarden van de solarimeter met integrator is dan voor iedere plaats de toegevoerde lichtenergie te bepalen.