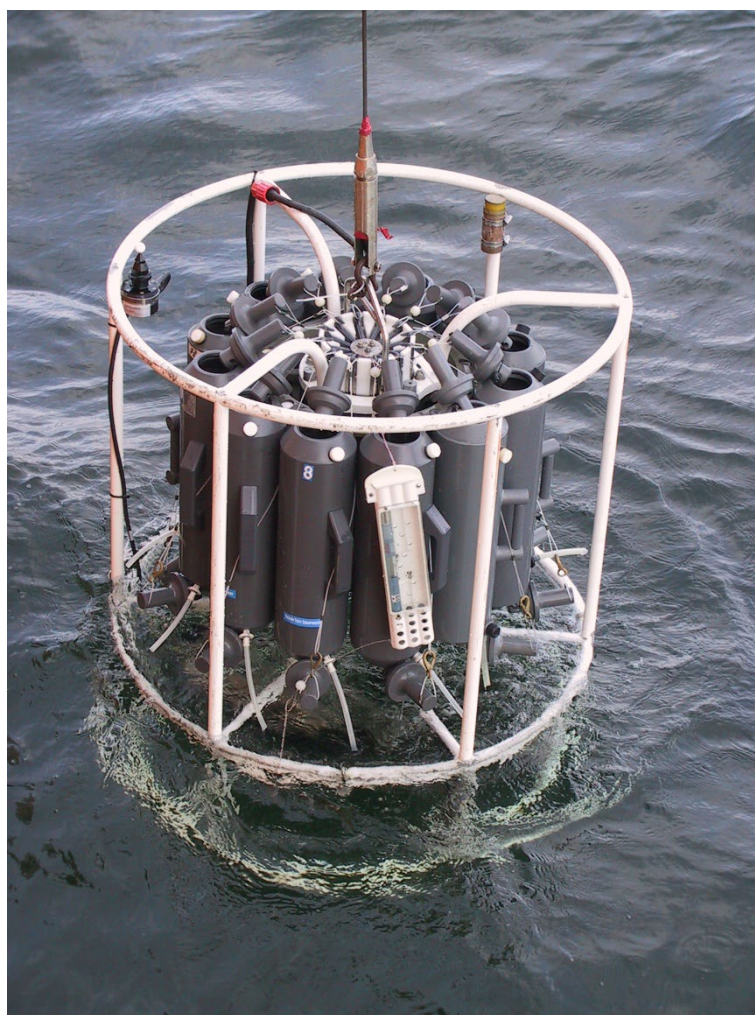


Beregning af lyssvækkelse baseret på CTD og vandkemiske data

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: April 2024 | **78**



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Beregning af lyssvækkelse baseret på CTD og vandkemiske data

Forfatter(e): Andreas Holbach, Sanjina Upadhyay Stæhr og Stiig Markager
Institution(er): Aarhus universitet, Institut for Ecoscience

Faglig kommentering: Peter Stæhr
Kvalitetssikring, DCE: Anja Skjoldborg Hansen

Ekstern kommentering: Der var ingen kommentarer

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Holbach, A., Stæhr, S. U., Markager, S., 2024. Beregning af lyssvækkelse baseret på CTD og vandkemiske data Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 10 s. – Fagligt notat nr. 2024|78

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: CTD med lysmåler – den lille hvide kugle til venstre (foto: Stiig Markager)

Sideantal: 10

Indhold

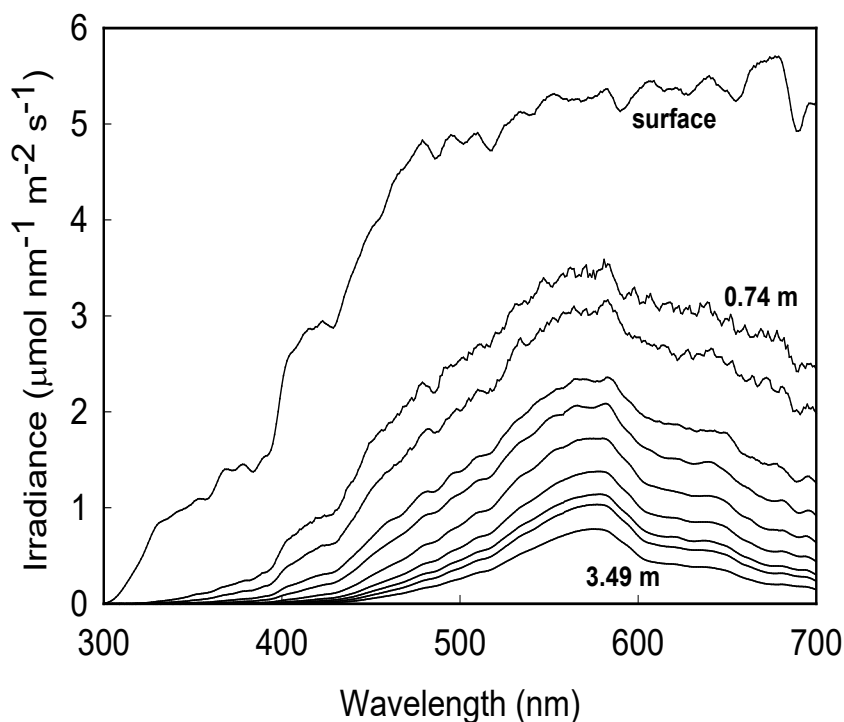
1	Indledning	4
2	Metodik og resultater	7
3	Konklusion og perspektiver	9
	Referencer	10

1 Indledning

I dag beregnes lyssvækkelsen ned gennem vandsøjlen (K_d , enhed m^{-1}) ud fra målinger af lys i bølgelængdeintervallet 400 til 700 nm (forkortet PAR – photosynthetic active radiation). Dette er en standard metodik, som i dag bruges overalt i verden i akvatisk forskning til at beregne lyssvækkelsen i vandsøjlen. Danmark har anvendt denne teknik i miljøovervågningen siden 1980'erne, og fra 1998 har det været standardmetoden med tilhørende tekniske anvisninger i det nationale overvågningsprogram (Kaas & Markager 1998). Det var ret unikt på verdensplan at anvende denne metode systematisk i miljøovervågning allerede for 26 år siden, og det har betydet, at Danmark har et meget stort datasæt med omkring 40.000 lysprofiler og tilhørende estimater af lyssvækkelsen i de danske farvande. Alle profiler og tilhørende beregnede K_d -værdier er kvalitetssikrede og tilgængelige i databasen (oda.dk).

Metodiske svagheder ved K_d målinger over et bredt lysspektrum – Det har altid været kendt, at beregning af K_d -værdier over et bredt spektrum har en indbygget svaghed i forhold til den spektrale forskydning af lyset som sker ned gennem vandsøjlen (se Fig. 1). Lysets intensitet vil gradvist forskydes med dybden. Bølgelængder med høj lyssvækkelse, typisk rødt og blått lys, vil derfor svækkes hurtigt, mens bølgelængder med lav svækkelse, typisk grønt lys, bliver mere dominerende på dybere vand. Effekten på K_d -beregningen er, at estimatet vil afhænge af det dybdeinterval, som man beregner K_d for. Den optimale løsning er derfor at anvende en spektral lysmåler. Dette udstyr er imidlertid dyrere og var tidligere meget store, f.eks. 33 kg og plus 300.000 kr. i forhold til en PAR-sensor, som vejer få gram. Desuden er der begrænsninger i forhold til følsomheden. Det var, og er, således ikke en fejl, at man anvender PAR-målinger, som i sin tid blev implementeret ud fra daværende tekniske og økonomiske begrænsninger. I dag er teknikken for sensorer udviklet, så spektrale sensorer er mange gange mindre, men følsomheden kan stadig være et problem.

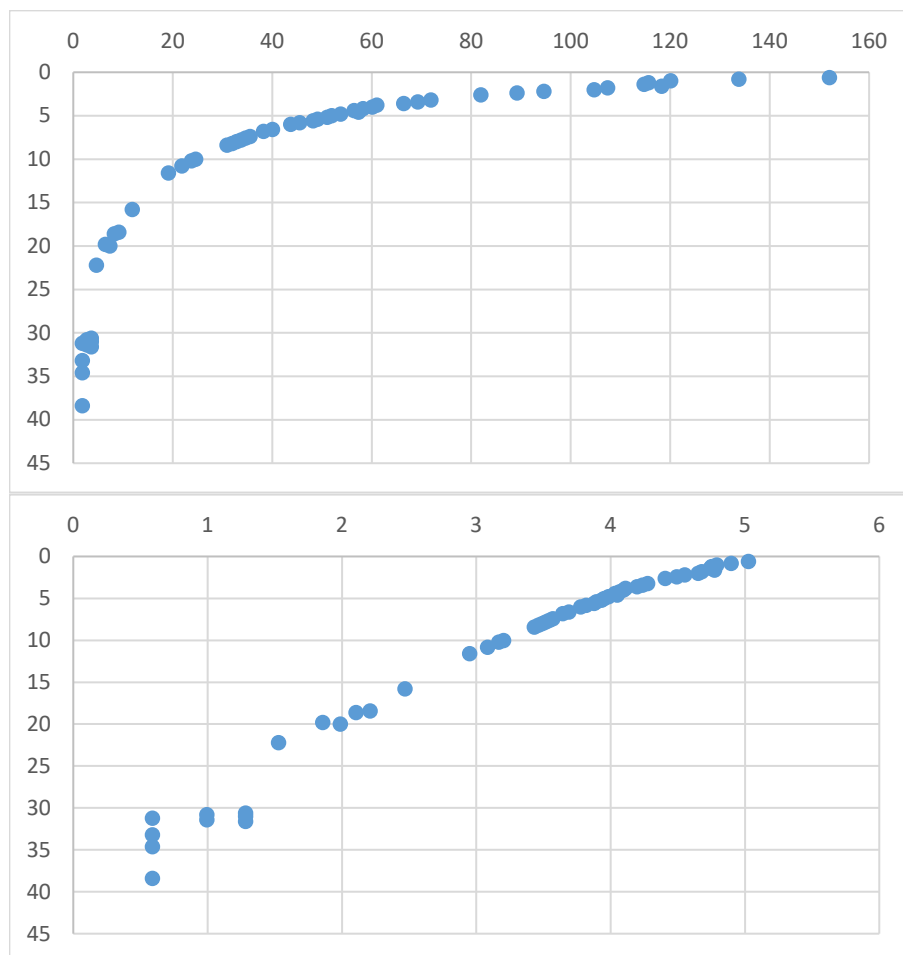
Figur 1. Lysspektre fra Horsens Fjord ved forskellige dybde. Figuren viser, at lysets sammensætning ændrer sig fra overfladen (næsten samme intensitet fra 460 nm og opefter) og nedad i vandsøjlen, så der ved 3,5 meters dybde er en tydelig top i intensiteten i det grønne vindue ved ca 580 nm hvor der er minimal lyssvækkelse.



I praksis er det ikke muligt at måle lyset i den øverste del af vandsøjlen pga. bølgebevægelser. Det betyder, at den øverste meter med en meget høj lyssvækkelse, ikke er repræsenteret i vores estimer af K_d , som derfor systematisk underestimeres. I andre tilfælde sker der en systematisk overestimering af K_d . Det sker f.eks. hvis lyset måles når der er lav overfladeindstråling som er tilfældet morgen, aften og om vinteren. I disse perioder er der således kun lys nok til at lyssensoren kan måle i den øverste del af vandsøjlen, og målinger fra større dybde med lavere K_d indgår derfor ikke i beregningerne. Effekterne af spektrale ændringer på estimerede K_d -værdier ses på Fig. 2 som viser måleprofiler fra Øresund. Hvis man skal vurdere den mængde lys, som er tilgængelig for en plante på en given dybde, er det således helt afgørende, at man har estimer af K_d som repræsenterer vandsøjlen samlede lyssvækkelse korrekt.

De nye miljøskibe har sensorer for CDOM-fluorescens og lysspredning, udover de tidligere anvendte sensorer for f.eks. klorofyl. Det gør det muligt at estimere de vigtigste komponenter i lyssvækkelsen med en spektral model. I tillæg til denne nyudvikling på det sensor-tekniske område, så er der nu adgang til satellitdata fra EU's Sentinel satellitter.

Figur 1. Figurene viser lysprofiler fra Øresund som henholdsvis absolutte og log-transformerede værdier (dybde nedad i meter og lys relativt til en luftsensor vandret). Den øverste kurve ser umiddelbart ud til at vise en eksponentielt aftagende lysintensitet, men ved log-transformation (Fig. 2b) er det tydeligt at lyssvækkelsen er højere mellem 0 og ca 5 meter end længere nede (mere flad kurve = større ændring i lyset pr. meter). Over ca 25 meter er der så lidt lys tilbage at lysensoren ikke kan måle lyset korrekt. Beregninger viser, at den beregnede lysintensitet i 10 meters dybde afviger med minus 70 procent og plus 30 procent for K_d -værdier estimeret for henholdsvis 0-5 meter og fra 5 til 20 meter.



Formålet med dette projekt, finansieret fra ad-hoc puljen i 2023, er at undersøge mulighederne for at beregne spektrale værdier for lyssvækkelse ud fra de værdier som indsamles fra CTD-profiler for klorofyl-fluorescens, CDOM-fluorescens og lysspredning, dvs. uden investeringer i nye spektrale lysmålere. Endvidere, er der lavet en sammenligning til K_d -værdier som er beregnet direkte fra Sentinel-3 data.

2 Metodik og resultater

I projektet er anvendt data for station 170006, som ligger i Aarhus Bugt for årene 2022 og 2023.

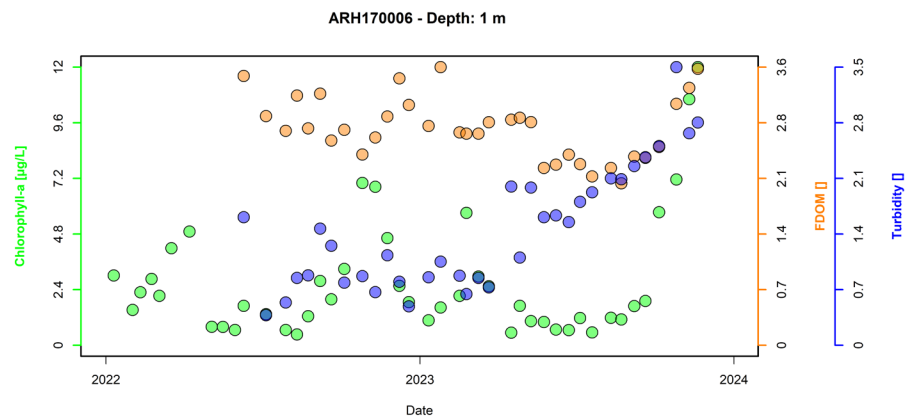
Der er anvendt en model:

$$K_d(\lambda) = (a_{\text{wat}}(\lambda) + a_{\text{pig}}(\lambda) + a_{\text{org}}(\lambda)) * f_b$$

hvor: λ =bølgelængde, a_{wat} =absorption af vand, a_{pig} =absorption af partikler, a_{org} = absorption af organisk stof (CDOM og detritus) og f_b =en faktor for effekten af spredning af lys som er relateret til vandets turbiditet. a_{wat} er en fysisk konstant som kan fås fra tabelværdier. a_{pig} beregnes ud fra en estimeret klorofylkoncentration og et standardspektrum for fytoplanktons lysabsorption (Stæhr & Markager 2004). a_{org} beregnes ud fra data for fluorescens fra CDOM og et standardspektrum for CDOM-absorption. Desværre har vi ikke en eksperimentel fastlagt sammenhæng mellem fluorescenssignalet fra sonden og lysabsorption. Vi har derfor anvendt værdier for en estimeret CDOM-absorption fra Sentinel3 til at kalibrere niveauet for CDOM-absorption. Variationen i CDOM-absorption i tid og rum er således baseret på NOVANA målinger, mens det absolutte niveau er bestemt ud fra estimerer fra Sentinel3. Det samme er tilfælde for sammenhængen mellem turbiditet og spredning af lyset (b). Her er det forudsat, at der ikke er nogen spektral variation.

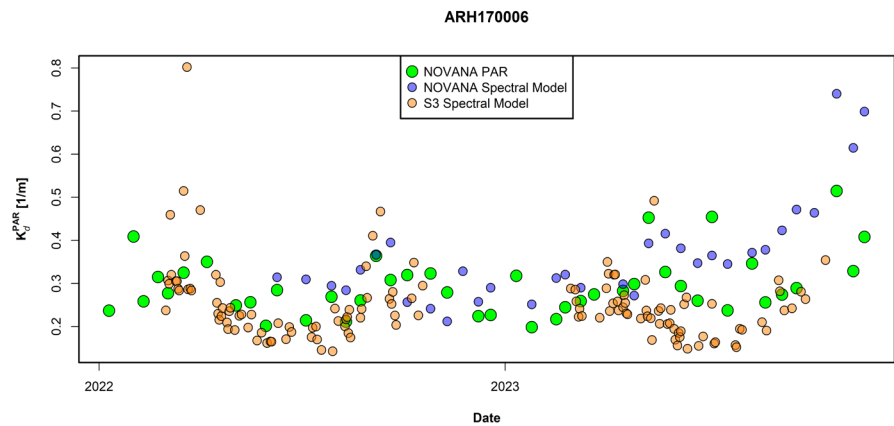
Figur 3 viser den tidsmæssige variation for de estimerede værdier for klorofylkoncentration, CDOM og turbiditet. Bemærk den meget kraftige stigning i turbiditet i sidste halvdel af 2023 og i klorofyl for den sidste måned af 2023, hvor der er data.

Figur 3. Tidsmæssig variation i klorofylkoncentration, CDOM-fluorescens og turbiditet.



Ud fra disse data har vi beregnet værdier for K_d -PAR for lysmålinger, vores beregnede spektrale værdier og endelig fra estimerer baseret på Sentinel-3 (Fig. 4).

Figur 4. Beregnede værdier for K_d (PAR) for henholdsvis PAR-målinger af lyset ned gennem vandsøjlen (den nuværende metode, grønne punkter) og beregnede spektrale værdier af K_d , som er omregnet til en K_d (PAR) værdi med samme metodik der anvendes i NOVANA (blå punkter). Desuden har vi vist estimerede værdier for K_d (PAR) baseret på Sentinel-3 data.



Beregningerne viser, at det er muligt at beregning spektrale K_d -værdier og at disse, når de omsættes til K_d (PAR) værdier, giver realistiske værdier for K_d (PAR) som i både niveau og variation passer med de værdier, som man i dag estimerer fra lysmålinger i CTD-profiler (blå og grønne punkter på Fig. 4). Over det meste af perioden er der en god sammenhæng mellem de to dataserier. For de sidste måneder i 2023 er værdierne for de spektrale målinger noget højere. Det skyldes de usædvanligt høje værdier for turbiditet og klorofyl, som forekom i slutningen af 2023.

Det er vigtigt at understrege, at de nuværende K_d (PAR) estimerer skal ses som en proxy for lyssvækkelsen, på samme måde som en Secchi-skive måling er en proxy. En spektral beregnet $K_d(\lambda)$ -værdi er også en approksimation, men på et mere detaljeret niveau en K_d (PAR). En fuldstændig beskrivelse af lyset opførslen i vandsøjlen kan udføres med en såkaldt 'radiation transfer model', men det vil kræve målinger og bereg

Figuren viser endvidere, at K_d (PAR) også kan beregnes fra Sentinel3 data. Her er der i nogle perioder en systematisk forskel til de to andre estimerer (Fig. 4). Dette er ikke nødvendigvis en fejl, men kan skyldes at Sentinel-3 signalet er domineret af de allerøverste meter af vandsøjlen, og således ikke repræsentere det samme som de to andre estimerer.

3 Konklusion og perspektiver

Dette projekt er lavet som et 'ad hoc' projekt til overvågningen i 2023, med et budget på 50.000 kr. Det er derfor kun et demonstrationsprojekt, som skal undersøge om den metodiske tilgang er mulig.

Vores konklusion er, at det er muligt at lave disse beregninger systematisk for alle profilmålinger, og at det vil give bedre estimater af lyssvækkelsen end den man får i dag. Det vil give bedre estimater af den lysmængde som er til rådighed for den bentiske vegetation. Desuden vil det give information om hvilke faktorer som bestemmer lyssvækkelse i vores farvande og variationen i disse faktorer, både spatielt og over en sæson. En meget vigtig information, som vil fremkomme over årene, når vi får flere data, er hvordan de forskellige komponenter som styrer lyssvækkelsen, ændrer sig med tiden under en, forventet, aftagende tilførsel af næringsstoffer. Det vil gøre det muligt at estimere tidforsinkelsen fra man reducerer udledningerne af næringsstoffer, til man opnår en lavere lyssvækkelse og dermed bedre forhold for den bentiske vegetation og opfyldelse af målsætningen i vandrammedirektivet.

Metoden kan forbedres på en række punkter: 1) Der bør fastlægges en eksperimentel sammenhæng mellem CDOM-fluorescens og CDOM-absorption. 2) Der bør fastlægges en eksperimentel sammenhæng mellem turbiditet og den spredning som den spektrale lysmodel anvender. 3) Metoden bør udvikles og testes på flere stationer og over flere år. Når det er udført, kan vi med stor sikkerhed forvente bedre estimater af den lysmængde som reelt er til rådighed ved bunden.

Referencer

Kaas, H. & S. Markager, Eds. (1998) Technical guidelines for marine monitoring. *National Environmental Research Institute*, Denmark. www.dmu.dk.

Stæhr, P.A. & S. Markager (2004) Parameterization of the chlorophyll *a*-specific *in vivo* light absorption coefficient covering estuarine, coastal and oceanic waters. *Journal of Remote Sensing*, **25**, 5117-5130.