

Využití fluorescence sinic a řas při hodnocení kvality vod

RNDr. Štěpán Zezulka, PhD.



CENTRUM PRO CYANOBAKTERIE A JEJICH TOXINY

Kamenice 126/3, 625 00 Brno, Česká Republika

Tel.: (+420) 549 495 967

E-mail: sinice@sinice.cz

Web: www.sinice.cz



Kvalita vod

- Přehrady – zdroje pitné vody
- Umělé i přírodní nádrže pro rekreaci
- Řeky, potoky, rybníky
- Odpadní vody



Kvalita vody – co se hodnotí?

- Chemické vlastnosti vody
 - pH, přítomnost toxických kovů, prvků, iontů, anorganických sloučenin (fosfáty, sloučeniny dusíku...)
 - Přítomnost organických látek
 - Metody: chemické analýzy
- Biologické vlastnosti vody
 - Přítomnost a životnost mikro- i makroorganismů, od bakterií přes sinice, řasy a prvoky až po vyšší rostliny a živočichy (korýši , ryby, obojživelníci...)
 - Metody: hodnocení druhového složení, výskytu a fyziologické aktivity



Hodnocení fytoplanktonu

- Druhové složení společenstev
- Kvantifikace biomasy (např. na základě celkového obsahu chlorofylu, norma ČSN ISO 10260)
- Velká variabilita:
 - Velikost buněk a přítomnost kolonií
 - Obsah pigmentů
 - Stáří populace
 - Fyziologický stav



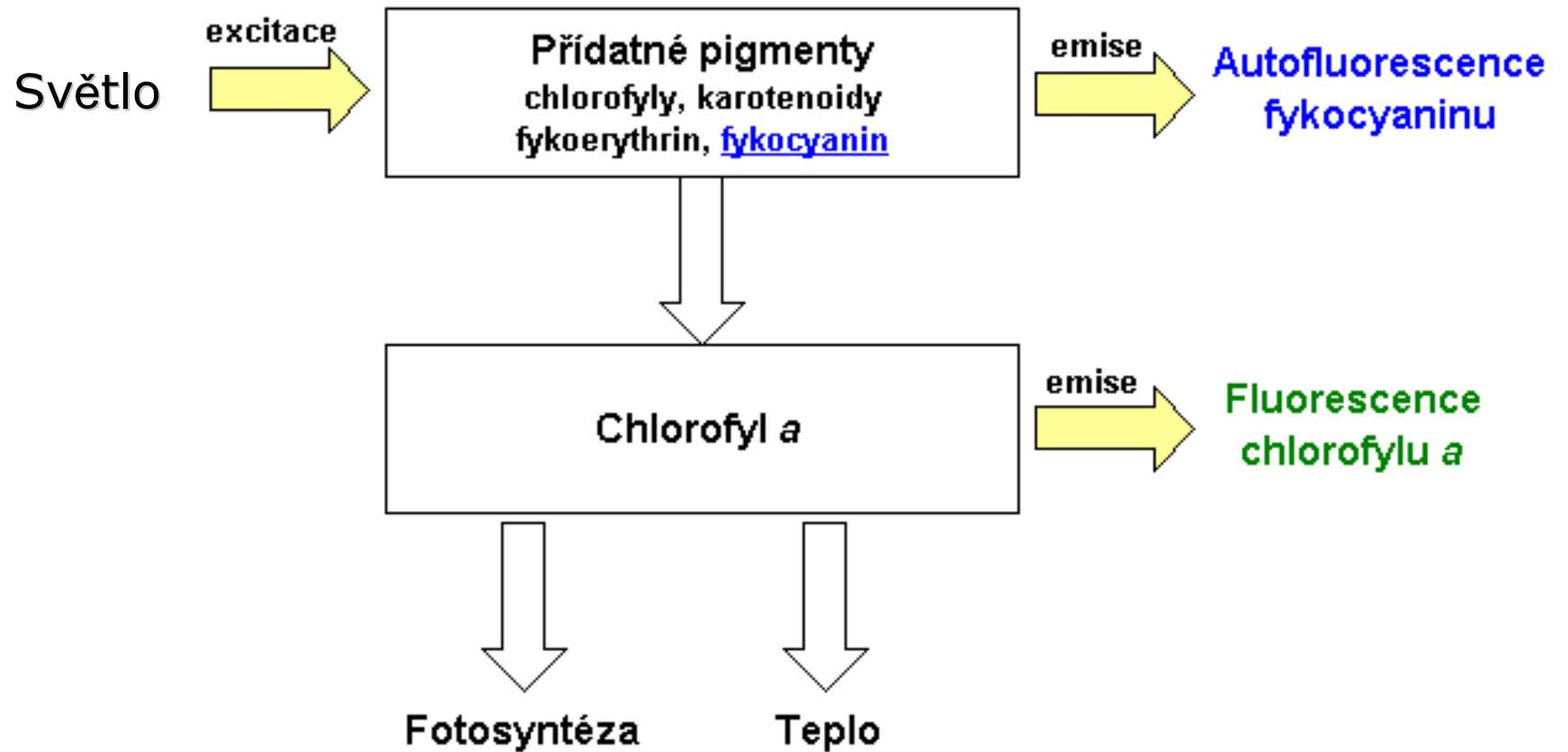
Fytoplankton a fluorescence

- Fluorescence
 - *in vivo* fluorescence organismů schopných fotosyntézy (řasy a sinice)
 - fluorescence jejich pigmentů
 - Nezaměňovat s bioluminiscencí!

<i>Oddělení</i>	<i>Pigmenty</i>	<i>Excitace (nm)</i>	<i>Emise (nm)</i>
Chlorophyta	Chlorofyl-b	480	685*
Chromophyta Dinophyta	Chlorofyl-c Karotenoidy	460 525	685*
Cyanobacteria	Fykocyanin	610	650 685*
Cryptophyta	Fykoerythrin Chlorofyl-c	550 460	620 685*



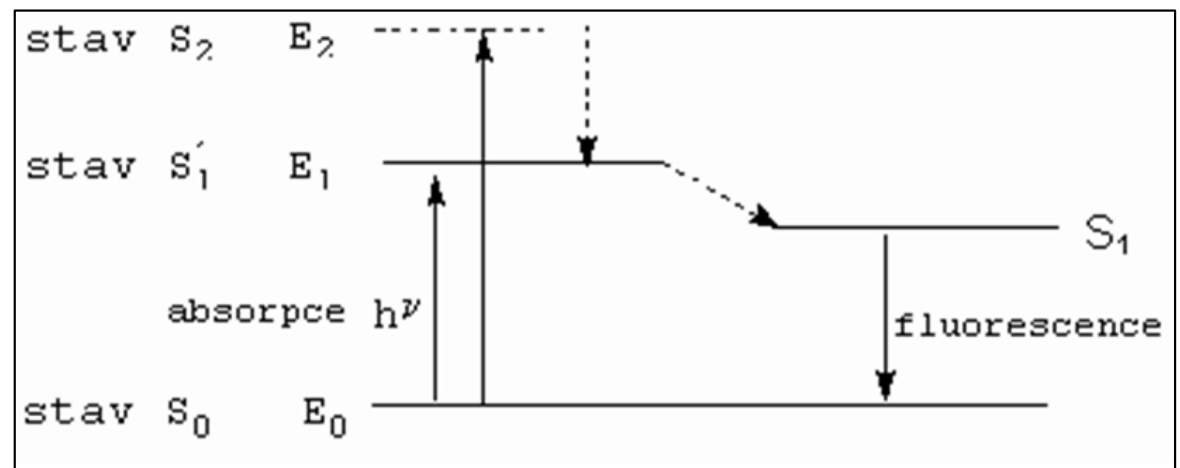
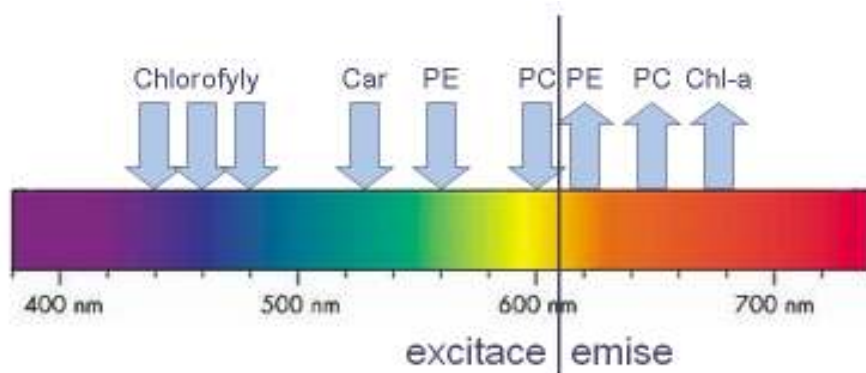
Fytoplankton a fluorescence



Fytoplankton a fluorescence

○ Princip vzniku fluorescence:

Excitační vyvolá excitaci molekuly pigmentu do S_1 stavu → návrat na původní energetickou hladinu vede k vyzáření energie v podobě fotonu záření o větší vlnové délce než excitační světlo = emise fluorescence



Fytoplankton a fluorescence

- Fytoplankton a fytobentos jako **součást** znečištění vod
 - kvantifikace „co a kolik“ (druhovému zastoupení, objem biomasy, atd.)

- Fytoplankton a fytobentos jako **indikátor** znečištění vod
 - kvalitativní přístup (změny druhového složení), zaměření na fyziologii (růstové testy, fyziologie fotosyntézy, metabolická aktivita atd.)



Fytoplankton jako součást znečištění vod

- Hodnocené výstupy:
 - Druhové složení společenstva
 - Biomasa jednotlivých skupin

- Metody (s využitím fluorescence):
 - Mikroskopické hodnocení
 - (Spektro)fluorometrické analýzy



Fytoplankton jako součást znečištění vod

Mikroskopické hodnocení

- Využitelnost:
 - Hodnocení výskytu fytoplanktonu v jakémkoliv vzorku (voda i sedimenty)
 - Kvantifikace na základě pozorování a počítání s pomocí fluorescenčního mikroskopu a např. analýzy obrazu
- Výhody:
 - Podrobné
- Nevýhody:
 - Náročné na přípravu vzorků (zahušťování, fixace)
 - Časově a fyzicky náročné
 - Zpracování malého množství vzorků za relativně dlouhý čas
 - Možná velká statistická chyba



Fytoplankton jako součást znečištění vod (Spektr)fluorometrické analýzy

- Využitelnost:
 - Pro libovolné vzorky (voda i sediment)
 - Kvantifikace a rozlišení na základě **přepočtu intenzity** fluorescenčního signálu vzhledem k excitačnímu a emisnímu spektru hledaného pigmentu **na koncentraci** pigmentu, resp. počet buněk
- Výhody:
 - Rychlé měření, možnost zpracovat velké množství vzorků v krátkém čase
 - Bez nutnosti speciální úpravy vzorků (kromě homogenizace)
- Nevýhody:
 - Možnost rozlišit pouze základní skupiny fytoplanktonu (úroveň tříd)
 - Nutnost dobré kalibrace pro jednotlivé skupiny
 - Možné pod- nebo nadhodnocení výsledků v případě kolonií fytoplanktonu



Fytoplankton jako součást znečištění vod (Spektr)fluorometrické analýzy

- Dva typy přístrojů:
 - Měření emisního spektra pigmentů po excitaci světly o specifických vlnových délkách – **spektrofluorometry, detektory chlorofylu a dalších pigmentů**
 - Měření indukované fluorescence chlorofylu (excitace **chlorofylu a** modrým nebo červeným světlem) – **fluorometry, fluorimetry**



Spektrofluorometry a detektory

- Dva a více zdrojů excitačního záření o specifických vlnových délkách
- Emisní detektor pro chlorofyl (680-685 nm), případně pro další pigmenty
- Vysoká citlivost i při nízkých počtech buněk v suspenzi (cca 100 buněk /mL) / nízkém obsahu chlorofylu (desítky ng /L)
- Kontinuální měření, u ponorných verzí možnost vyhodnotit zastoupení fytoplanktonu v různých hloubkách
- Verze laboratorní i pro práci v terénu



Spektrofluorometry a detektory

- bbe Moldaenke (Německo) www.bbe-moldaenke.de
 - FluoroProbe, Benthofluor, AlgaeLabAnalyser, AlgaeOnlineAnalyser, Algaetorch
- Chelsea Technologies (UK) www.chelsea.co.uk
 - Aqua^{tracka}, TriLux, UniLux
- Hach Environmental www.hachenvironmental.com
 - Hydrolab DS5X + senzory
- Turner Designs (USA) www.turnerdesigns.com
 - Algae/CyanoWatch Online Fluorometer, Cyclops submersible sensors, C3 Submersible Fluorometer (dříve SCUFA)
- YSI Incorporated (USA) www.ysi.com
 - 6-Series Water Quality sensors
- Opti-Science (USA) www.optisci.com
 - Quantification GLF1 Field Fluorometer



FluoroProbe

biological · biophysical · engineering

bbe

moldaenke

- Výrobce: bbe Moldaenke, Kiel, Německo
web: www.bbe-moldaenke.de
- Prodejce v ČR: Ing. Jan Kříž – Ekotechnika, Praha
web: www.ekotechnika.com
- Světelné zdroje:
 - excitační LED diody (450nm, 525nm, 570nm, 590nm a 610nm)
 - UV LED dioda (370nm) pro měření fluorescence organických „žlutých“ částic
 - LED dioda (710 nm) pro stanovení zákalu
- Čidlo pro měření teploty
- Čidlo pro měření tlaku
- Emisní detektor pro chlorofyl - 680 nm
- Transmisní detektor
- Detekční limit: 0 až 200 µg/L **chl a**, minimálně desítky nanogramů



FluoroProbe

- Základní účel:
 - Kvantifikace čtyř základních tříd fytoplanktonu ve vodním sloupci *in situ*
 - Výsledky vyjádřené jako koncentrace **chlorofylu a** pro každou skupinu zvlášť
 - Možnost posoudit zastoupení jednotlivých složek fytoplanktonu v různých hloubkách
 - Rychlé měření
 - Při vhodné kalibraci možnost přepočítat zjištěnou koncentraci chlorofylu na počet buněk, biomasu atd.



FluoroProbe

○ Princip měření:

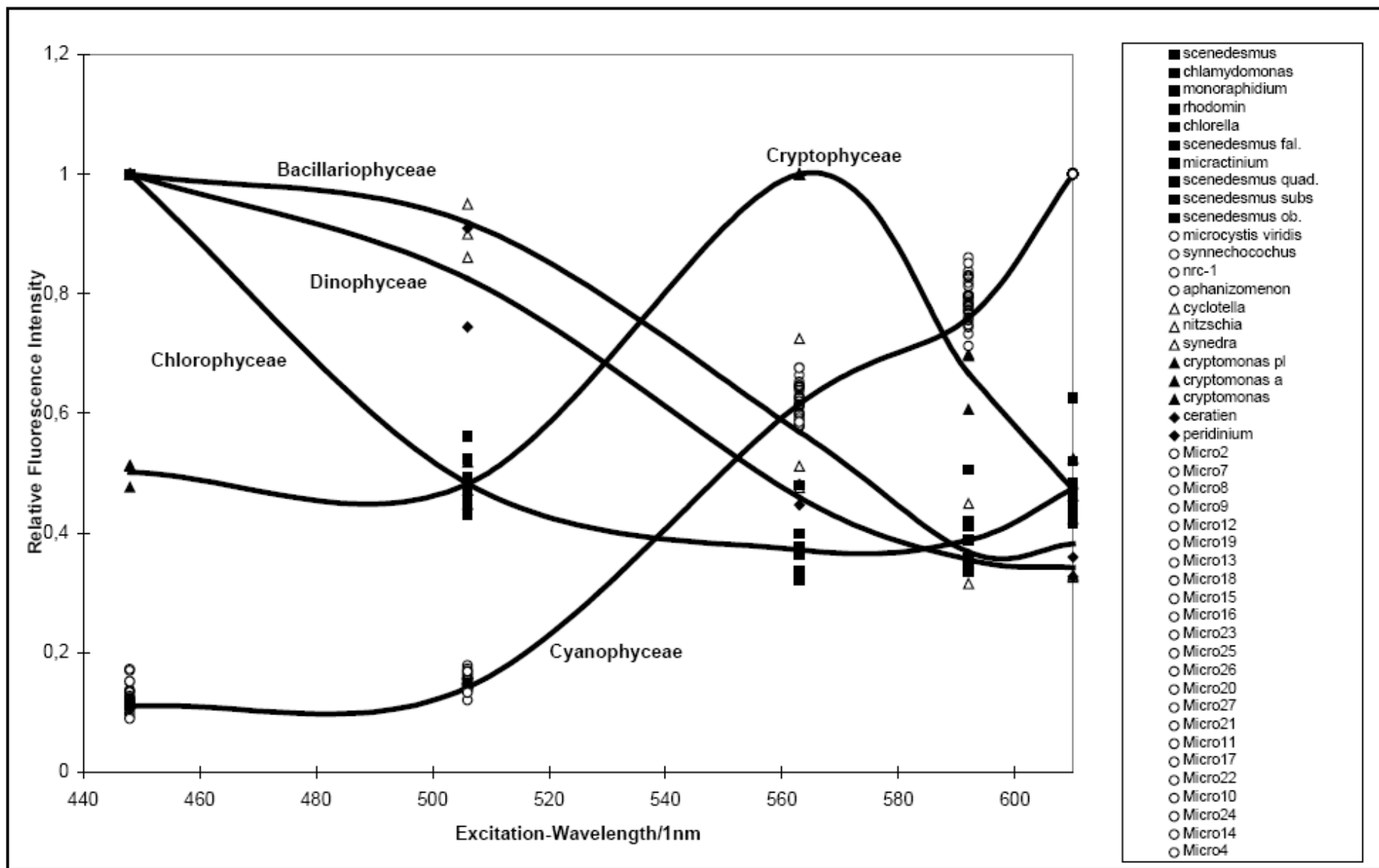
- Ozáření vzorku krátkými pulsy střídavě ze všech excitačních zdrojů
- Zaznamenání intenzity fluorescence **chlorofylu a** po pulsu excitačního světla
- Přepočet koncentrací **chl a** podle kalibračních parametrů pro jednotlivé skupiny
- Korekce vzhledem k obsahu žlutých částic a zákalu



FluoroProbe

<i>Excitační světlo</i>	<i>Skupina fytoplanktonu a složení pigmentů</i>
450 nm	Chlorophyta (chl a + <u>chl b</u>)
525 nm	Bacillariophyta a Dinophyta (chl a + chl c + <u>karotenoidy (fukoxanthin, peridinin)</u>)
570 nm	Cryptophyta (chl a + chl c + <u>fykoerytrin</u>)
590 nm	
610 nm	Cyanophyta (chl a + <u>fykocyanin</u>)





The fluorescence intensities of the 5 divisions divided by the intensity of the LED and normalised to the maximum intensity of each division. In this measurement several species of the cyanobacteria microcystis (abbreviation micro) were tested as well.



FluoroProbe



FluoroProbe with cuvette kit and integrated stirrer

smes_06

Data | Graphics 1 | Graphics 2 | Common parameters | Parameters of measurement | Parameters of fit

Send

Times

Warm up 10 s

measuring duration 10 1/10s

measuring interval 0 s

LED measuring time 10 1/10s

LED measuring interval 60 s

Measurement

single

continuously

number: 20

Switches

measurement on power up

power down after measurement

send current data via RS485

store results

Version

version and serial number

Version 2.26, Ser.Nr. 801

smes_06

Data | Graphics 1 | Graphics 2 | Common parameters | Parameters of measurement | Parameters of fit

LEDs

DA-value (1-5)	149	167	165	119	177	124	104
req. value	1350	334.9	497.1	595.7	529.2	1080.8	460.0

Send

Temperature floor. sensor

offset 0 digits

gradient 0.065 °C/digits

Temperature LED sensor

offset 0 digits

gradient 0.064 °C/digits

Temperature of sample

offset 165 digits

gradient 0.090 °C/digits

Pressure

offset 0 digits

gradient 0.013 bar/digits

air pressure 1000 mbar

salinity 0 psu

Transmission

offset 0 digits

gradient 0.234 %/digits

coefficient 0

global corr. factor 1

compensation table for temp. floor./LEDs

0-5	0.964	1
5-10	0.973	1
10-15	0.982	1
15-20	0.991	1
20-25	1	1
25-30	1.02	1
30-35	1.041	1
35-40	1.062	1
40-45	1.083	1
45-50	1.104	1
>50	1.125	1

smes_06

Data | Graphics 1 | Graphics 2 | Common parameters | Parameters of measurement | Parameters of fit

Offsets LEDs filtrated water distilled water

525	3.228	570	1.444	610	2.494	590	3.265	470	1.2898	UV	1.4221
-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	--------	----	--------

Send

Algae classes

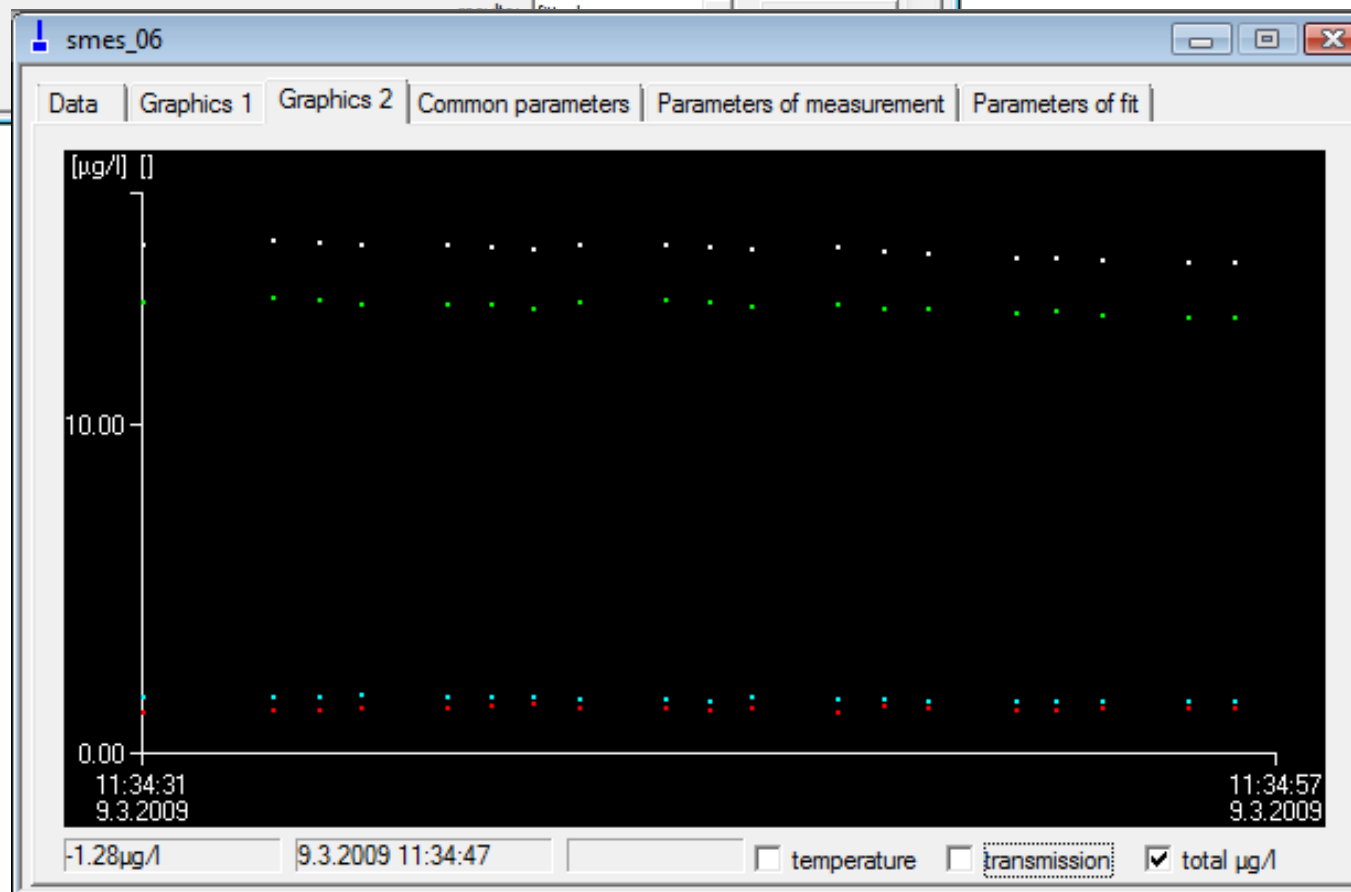
fit type	name	factor LEDs						standard deviation of LEDs					
		525	570	610	590	470	UV	525	570	610	590	470	UV
<input checked="" type="checkbox"/>	Green Algae	1.746	0.325	1.626	1.947	8.239	3.603	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Bluegreen	1.684	0.737	5.073	5.891	0.459	1.006	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Diatoms	4.956	0.704	1.368	1.783	9.398	4.758	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Cryptophyta	4.409	1.338	2.634	4.017	5.038	2.313	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<input type="checkbox"/>	zelene-kyveta	3.155	0.547	3.489	3.957	14.285	8.452	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<input type="checkbox"/>	cyano-kyveta	1.894	0.589	4.57	5.099	3.117	2.341	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<input type="checkbox"/>	#6	1	1	1	1	1	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Yellow substances	2.523	0.264	0.387	0.477	6.841	10.452	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1



smes_06

time	depth [m]	temp. [°C]	chlorophyll-a [µg/l] / YS [r.u.]					total [µg/l]	transm. [%]	int. temp. [°C]	
			Green	Bluegr.	Diatom.	Crypto.	Yellow.				
11:34:38	0.25	23.7	13.73	1.79	0.00	0.00	1.47	15.52	91.83	24.8	23.5
11:34:39	0.18	23.7	13.70	1.75	0.00	0.00	1.48	15.45	91.99	24.8	23.3
11:34:40	0.20	23.7	13.58	1.81	0.00	0.00	1.55	15.39	91.88	24.8	23.5
11:34:41	0.19	23.7	13.81	1.74	0.00	0.00	1.45	15.54	91.90	24.8	23.4
11:34:43	0.23	23.7	13.87	1.70	0.00	0.00	1.44	15.57	91.90	24.8	23.4
11:34:44	0.23	23.7	13.81	1.65	0.00	0.00	1.41	15.46	91.72	24.8	23.4
11:34:45	0.21	23.7	13.65	1.76	0.00	0.00	1.45	15.41	91.57	24.9	23.5
11:34:47	0.06	23.8	13.75	1.69	0.00	0.00	1.31	15.44	92.14	24.9	23.5
11:34:48	0.26	23.8	13.60	1.71	0.00	0.00	1.48	15.32	91.84	24.8	23.6
11:34:49	0.18	23.8	13.62	1.63	0.00	0.00	1.42	15.25	91.98	24.8	23.5
11:34:51	0.26	23.7	13.47	1.65	0.00	0.00	1.39	15.13	91.73	24.8	23.6
11:34:52	0.17	23.8	13.50	1.61	0.00	0.00	1.37	15.11	91.60	24.8	23.7

First



Legend

Algae classes

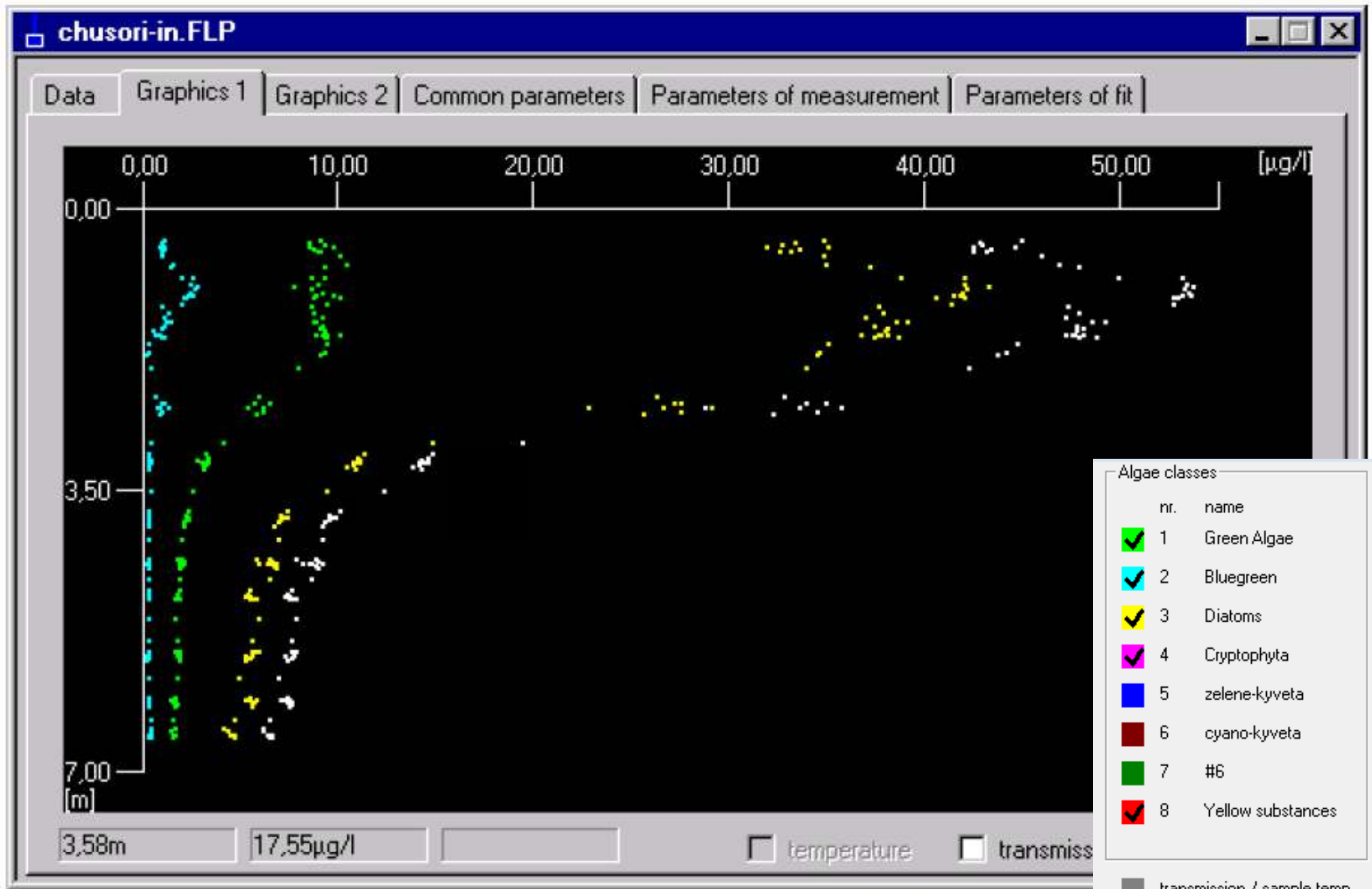
nr.	name
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Green Algae
<input checked="" type="checkbox"/> 2	Bluegreen
<input checked="" type="checkbox"/> 3	Diatoms
<input checked="" type="checkbox"/> 4	Cryptophyta
<input type="checkbox"/> 5	zelene-kyveta
<input type="checkbox"/> 6	cyano-kyveta
<input type="checkbox"/> 7	#6
<input checked="" type="checkbox"/> 8	Yellow substances

transmission / sample temp.

total

Cancel





- Algae classes
- | nr. | name |
|-------------------------------------|---------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Green Algae |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Bluegreen |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Diatoms |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Cryptophyta |
| <input type="checkbox"/> | 5 zelene-kyveta |
| <input type="checkbox"/> | 6 cyano-kyveta |
| <input type="checkbox"/> | 7 #6 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 8 Yellow substances |
- transmission / sample temp.
- total



BenthoFluor Kit

- rozšíření FluoroProbe pro hodnocení fyto-bentosu (na povrchu sedimentů, kamenů atd.)



Fluorometry

- Nejčastěji dva zdroje excitačního světla – modrý (450-470 nm) a červený (oranžový, žlutý)
- Emisní detektor pro chlorofyl (nad 680-685 nm)
- Rozlišení hrubější, nejčastěji pouze řasy (hlavně zelené) a sinice
- Výhodné pro velmi rychlý monitoring, pro kontinuální měření



Fluorometry pro kvantifikaci

- Photon Systems Instruments (ČR) www.psi.cz
 - Algae Online Monitor, FluorPen, AquaPen



- Turner Designs (USA) www.turnerdesigns.com
 - PhytoFlash Submersible Active Fluorometer



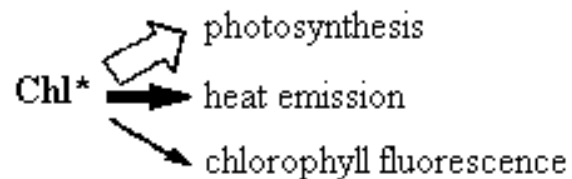
- Walz (Německo) www.walz.com
 - PhytoPAM



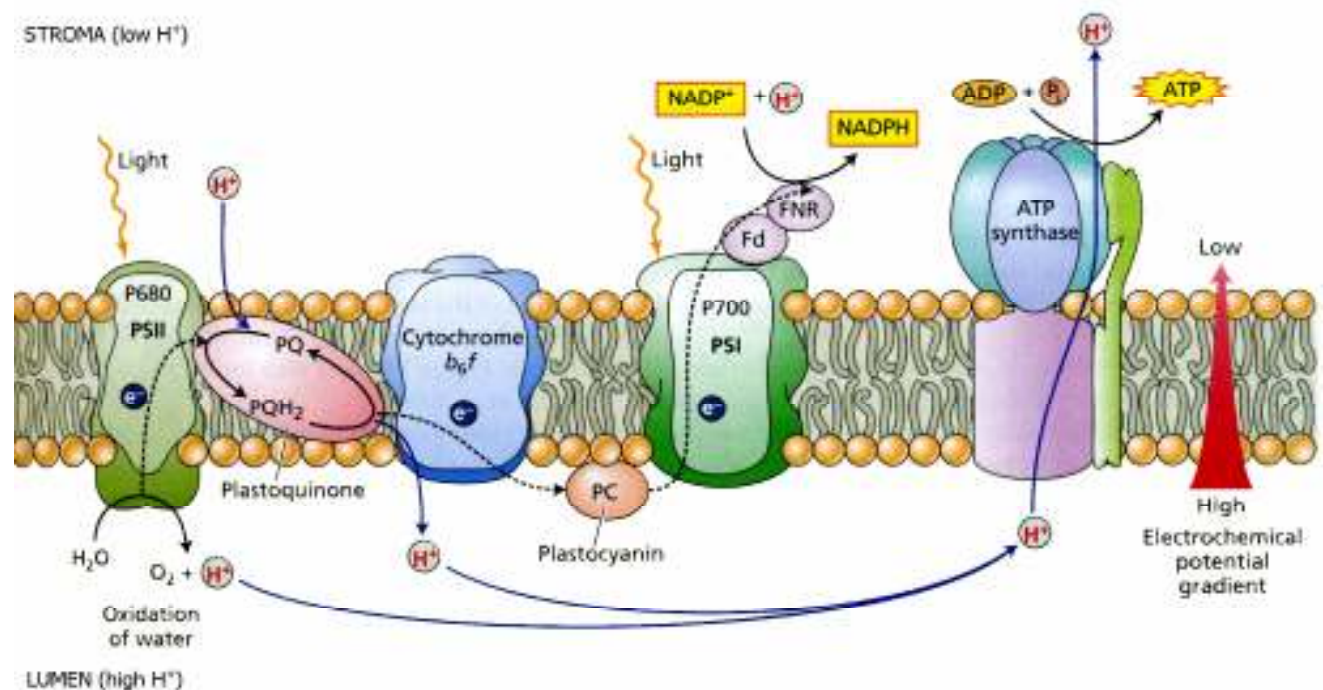
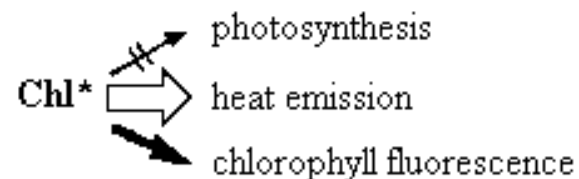
Fluorescence chlorofylu jako fyziologický jev

- Kautsky et Hirsch 1934
 - objev záblesku s časem slábnoucí fluorescence u rostlin přenesených ze tmy na stálé světlo (tzv. Kautského efekt)
- Doprovodný jev primárních procesů fotosyntézy

A. Physiological condition



B. Under stress



Indukovaná fluorescence chlorofylu

- Původ indukované fluorescence chlorofylu: především molekuly **chlorofylu a** ve světlosběrných komplexech a reakčních centrech fotosystémů, zejména fotosystém II.
- Měření fluorescence (systém Pulse-Amplitude-Modulation):
 - Měřicí světlo – slabé krátké pulsy modrého nebo červeného světla
 - Aktinické (stálé) světlo – středně silné světlo, nejčastěji červené, optimální pro fotosyntézu
 - Saturační světlo – silné pulsy, volitelná barva (červená, modrá, bílá), pro dočasné zahlcení fotochemických cest excitační energií

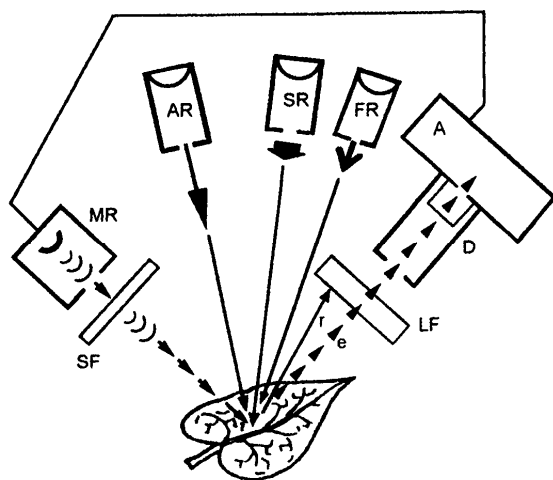


Schéma PAM fluorometru
Zdroj: Roháček et Barták,
Photosynthetica 37(3):339-363, 1999

Základní parametry:

- Základní fluorescence na tmě adaptovaného vzorku – F_0
- Maximální fluorescence na tmě (na světlo) adaptovaného vzorku po ozáření saturačním pulsem – F_M (F_M')
- Maximální fluorescence na tmě adaptovaného vzorku po ozáření stálým světlem – F_p
- Fluorescence při rovnováze fotochemického a nefotochemického využití excitační energie po aklimatizaci na aktinické světlo – F_s , F_t



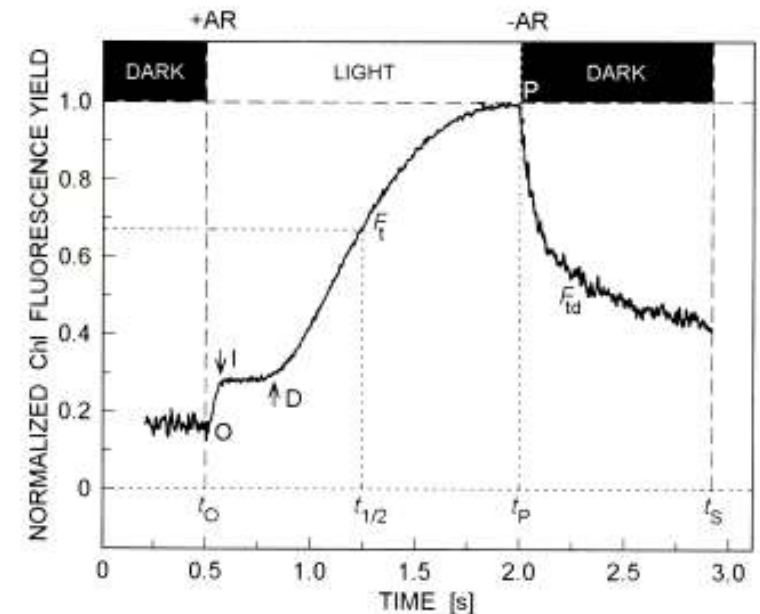
AOM – Algae Online Monitor

- Výrobce: PSI, Brno
- Světelné zdroje
 - Měřící světlo – modrá (455nm) a červená (630nm) nebo žlutá (590nm), nastavitelná intenzita
 - Aktinické (stálé) a saturační světla – barva volitelná, intenzita 0 až 3000 $\mu\text{mol fotonů/m}^2/\text{s}$
- Emisní detektor – PIN fotodioda s detekčním pásmem 660 – 750 nm
- Detekční limit: cca 30 ng/L chl a
 - řasy 10 buněk /mL,
sinice 100 buněk /mL



AOM – Algae Online Monitor

- Princip měření:
 - Vzorek adaptovaný na tmu (alespoň 30s)
 - Slabé pulsy měřícího světla – zjištěna úroveň základní fluorescence chlorofylu (F_0) – délka pulsu řádově jednotky μs
 - Saturační puls (nebo silné aktinické záření) – zjištěny hodnoty fluorescence v bodech I a J (I a D) rychlé kinetiky a maximální hodnota fluorescence F_M .
- Měření samostatně při modré a při červené (oranžové, žluté) excitaci
- Porovnání rozdílu F_0 a F_M při různých excitacích, porovnání oblastí nad křivkou rychlé kinetiky
- Podle kalibrace přepočet na koncentraci **chlorofylu a** a množství biomasy

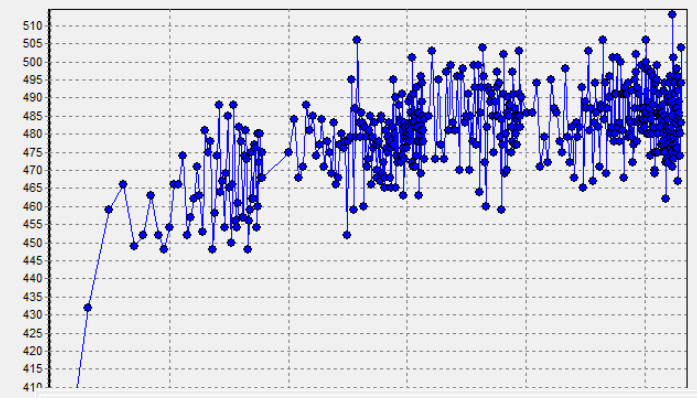


D:\+++Uzivatele+++Stepan\CCT_BU_vyzkum\AOM_PSI\AOM_Jundrov\pitna voda.dat

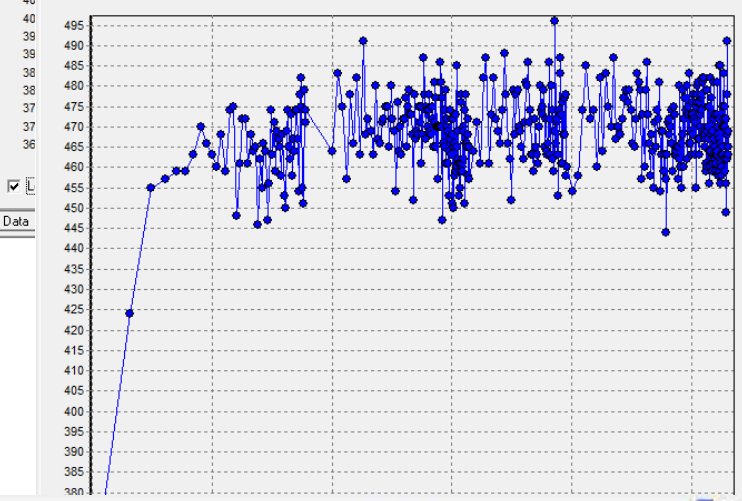
Index	1	2	3			
Time	11:14:20 10.11 2008	11:15:15 10.11 2008	11:16:9 10.11 2008			
ID	OJIP	OJIP_A	OJIP_B			
Value	Bckg	360	Bckg	364	Bckg	366
	Fo	194	Fo	93	Fo	100
	Fj	199	Fj	108	Fj	105
	Fi	236	Fi	98	Fi	117
	Fm	246	Fm	132	Fm	147
	Fv	52	Fv	39	Fv	47
	Vj	0.096	Vj	0.385	Vj	0.106
	Vi	0.808	Vi	0.128	Vi	0.362
	Fm/Fo	1.268	Fm/Fo	1.419	Fm/Fo	1.470
	Fv/Fo	0.268	Fv/Fo	0.419	Fv/Fo	0.470
	Fv/Fm	0.211	Fv/Fm	0.295	Fv/Fm	0.320
	Mo	0.769	Mo	-0.103	Mo	0.255
	Area	1529	Area	7686	Area	200012
	Fix Area	225417	Fix Area	106062	Fix Area	120101
	Sm	29.411	Sm	197.088	Sm	4255.585
	Ss	0.125	Ss	-3.750	Ss	0.417
	N	235.285	N	-52.557	N	10213.403
	Phi_Po	0.211	Phi_Po	0.295	Phi_Po	0.320
	Psi_o	0.904	Psi_o	0.615	Psi_o	0.894
	Phi_Eo	0.191	Phi_Eo	0.182	Phi_Eo	0.286
	Phi_Do	0.789	Phi_Do	0.705	Phi_Do	0.680
	Phi_Pav	873.033	Phi_Pav	805.168	Phi_Pav	809.118
	Pi_Abs	0.067	Pi_Abs	-0.743	Pi_Abs	0.526
	ABS/RC	37.846	ABS/RC	-0.903	ABS/RC	7.506
	TRo/RC	8.000	TRo/RC	-0.267	TRo/RC	2.400
ETo/RC	7.231	ETo/RC	-0.164	ETo/RC	2.145	
Description	AMBER+BLUE	AMBER	BLUE			

Data Notes Graph:11:14:20 10.11 2008 Graph:11:15:15 10.11 2008 Graph:11:16:9 10.11 2008

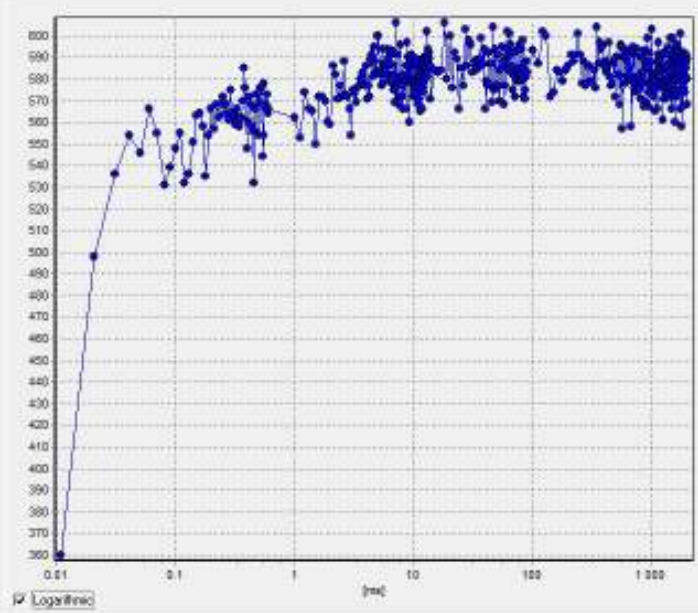
Device: Not Connected



BLUE



AMBER



AMBER+BLUE

Data Notes Graph:11:14:20 10.11 2008 Graph:11:15:15 10.11 2008 Graph:11:16:9 10.11 2008

Fytoplankton jako indikátor znečištění vod

- Dlouhodobé změny (týkající se celého společenstva)
 - Změna druhového složení
 - Změna kvantity biomasy
- Krátkodobé změny, reakce na akutní vlivy (týkající se především konkrétní populace)
 - Změna morfologie
 - Změny ve fyziologii (ovlivnění fotosyntézy, degradace barviv...)



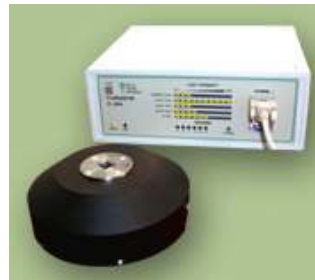
Fytoplankton jako indikátor znečištění vod

- Na čem záleží?
 - Dávka a intenzita vstupu toxické látky (dlouhodobé zamořování x náhodný únik)
 - Vlastnosti a aktuální fyziologický stav fytoplanktonu (fáze životního cyklu)
- Způsob testování
 - Řasové testy toxicity = testy inhibice růstu (doba: několik dní)
 - Sledování změn ve fyziologii – změny ve fotosyntéze, metabolických procesech a enzymatické aktivitě (doba: několik minut, hodin, max 1-2 dny)
- Využití fluorescence:
 - Dlouhodobý vliv – monitorovací metody
 - Akutní vliv – potřeba rychlých metod
 - **Průtoková cytometrie**
 - **Indukovaná fluorescence chlorofylu**



Fytoplankton a indukovaná fluorescence chlorofylu

- Chelsea Technologies (UK) www.chelsea.co.uk
 - Fast^{tracka} III (Fast repetition rate fluorimeter)
- Photon Systems Instruments (ČR) www.psi.cz
 - FluorPen, AquaPen
 - FluorCam, Fluorometer FL3500 Superhead (i verze „Submersible“)

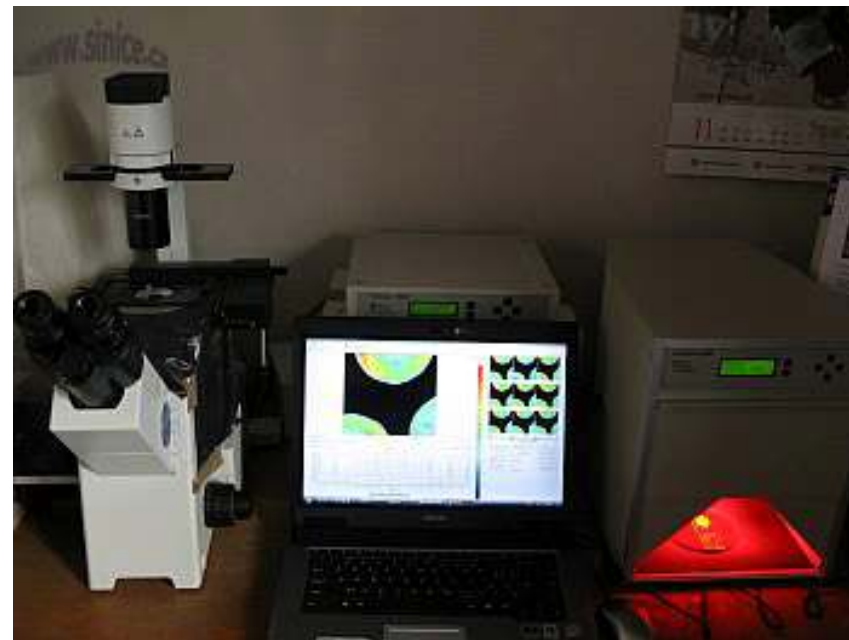


- Walz (Německo) www.walz.com
 - PhytoPAM, WaterPAM, Toxy-PAM, XE-PAM



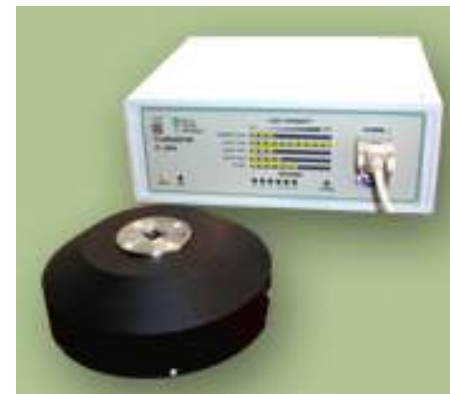
FluorCam 700 MF, HANDY FluorCam

- Výrobce: PSI, Brno
- Světelné zdroje:
 - LED panely (oranžová 620nm) pro měřicí a aktinické světlo, nastavitelná intenzita
 - Bílé saturační světlo – halogenová lampa
- Emisní detektor: CCD čip s filtry pro 680 nm
- Detekční limit: více než 100 $\mu\text{g /L}$ **chlorofylu a**
- Chlorophyll Fluorescence Imaging – měření změn v plošné distribuci fluorescence chlorofylu
- Rychlost měření: min. 40 ms



Fluorometer FL3500

- Výrobce: PSI, Brno
- Světelné zdroje:
 - Měřící světlo: modré (455 nm) nebo červeno-oranžové (617 nm)
 - Aktinické světlo: modré (455 nm) nebo červené (630 nm)
 - Saturační světlo: červené (630nm)
- Emisní detektory: Avalanche diody s filtry (690-730 nm a 830 nm)
- Detekční limit:
 - V supercitlivé verzi FL3500 HS od 1ng/L
- Rychlost měření: min. 2 - 5 μ s



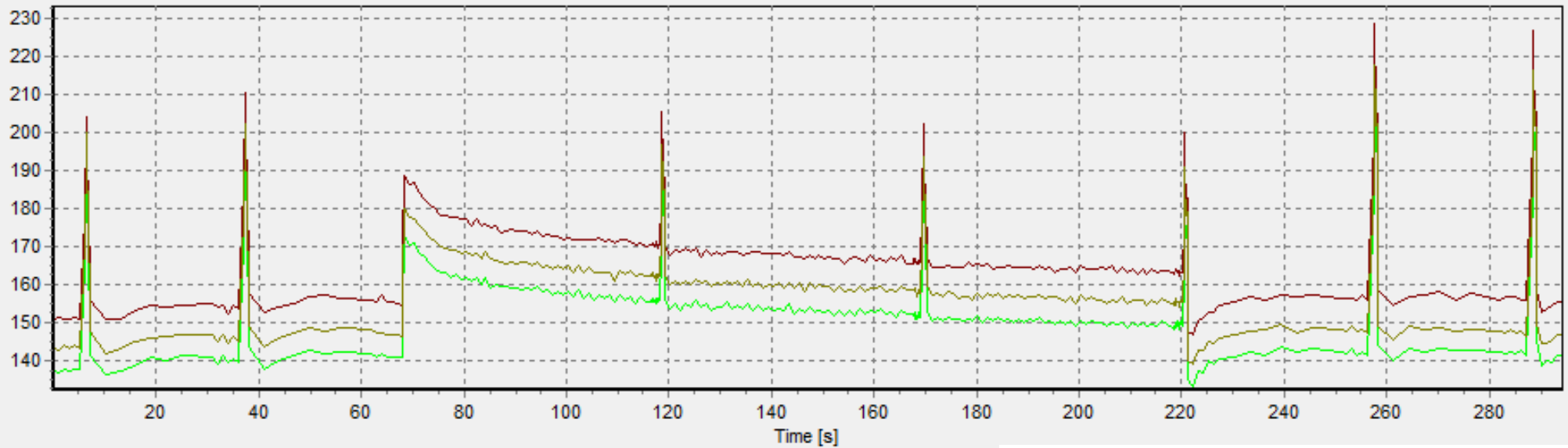
FluorCam a Fluorometer FL 3500

- Princip měření:
 - Měření rychlé (jen FL3500) i pomalé kinetiky indukované fluorescence chlorofylu
 - Detekce fluorescence pomocí slabých krátkých záblesků měřicího světla
 - Saturační puls – změření maximální úrovně fluorescence
 - Aktinické světlo pro optimální podmínky pro průběh primární fáze fotosyntézy
- Měřené parametry: F_0 , F_M , F_p , F_t , F_0' , F_M'
- Počítané parametry: F_V , F_V/F_M , Yield, q_N , q_P , NPQ, RfD a další
- Hodnocení: tvar křivky OJIP, redoxní stav Q_A a další

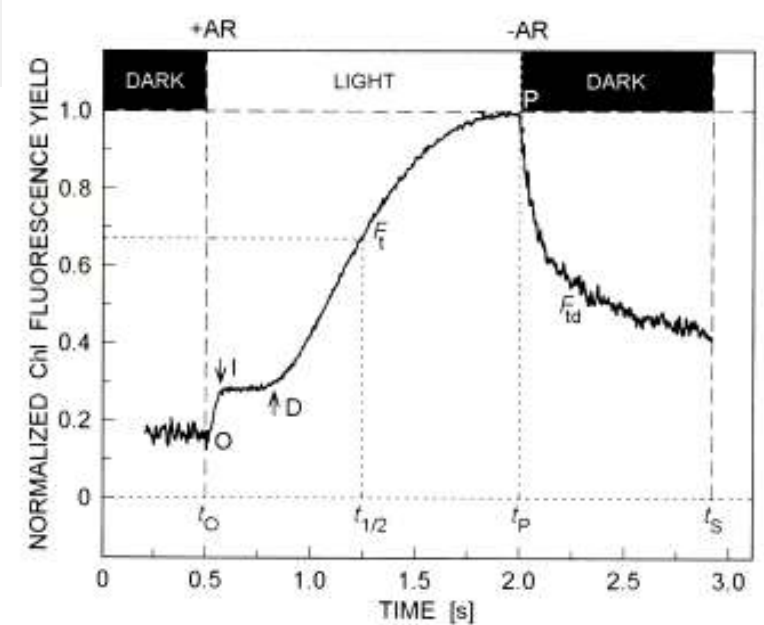


FluorCam, Fluorometry FL

Kinetics



- Object 1 - Object 2 - Object 3



Shrnutí

U fytoplanktonu je možné pomocí fluorescence fotosyntetických pigmentů hodnotit:

- kvantitu biomasy
- příslušnost ke skupině
- fyziologický stav

Metody měření fluorescence mohou o kvalitě vody vypovídat:

- jaké je zastoupení fytoplanktonu
- při speciálních adaptacích přístrojů také o přítomnosti organických látek

