

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Biologie a ochrana zájmových organismů
Katedra: Katedra biologických disciplín
Vedoucí katedry: doc. RNDr. Ing. Josef Rajchard, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vztah rozvoje fytoplanktonu a perifytonu

(Relation between phytoplankton and periphyton)

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Irena Šetlíková, Ph.D.
Autor: Bc. Gabriela Chadtová

České Budějovice, 2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Gabriela CHADTOVÁ**
Osobní číslo: **Z13470**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Biologie a ochrana zájmových organismů**
Název tématu: **Vztah rozvoje fytoplanktonu a perifytonu**
Zadávací katedra: **Katedra biologických disciplin**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce bude (1) vyhodnotit souvislosti mezi kvantitou společenstev fytoplanktonu a perifytonu a koncentrací živin (N a P) ve vodě a zároveň (2) porovnat růst fytoplanktonu a perifytonu (nárostů) v rybnících s dvěma různými substráty. Předmětem pokusu bude odběr vzorků v pokusných rybníčcích a kvantifikace společenstva fytoplanktonu a perifytonu (biomasa a spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu-a). Výsledky práce budou součástí širšího hodnocení potravní základny pro juvenilního candáta říčního v rybníčcích s podporou růstu perifytonu (přítomnost substrátu) a bez ní.

Rozsah grafických prací: 10
Rozsah pracovní zprávy: 40
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

Azim, M.E. (ed), 2005. Periphyton: ecology, exploitation and management. Wallingford, CABI Publishing, 319 s.

Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., Singh, M., Dam, A.A., Beveridge, M.C.M., 2003. The effects of periphyton substrate and fish stocking density on water quality, phytoplankton, periphyton and fish growth. Aquaculture Research, 34: 685-695.

Boll, T., Balayla, D., Andersen, F.O., Jeppesen, E., 2012. Can artificial plant beds be used to enhance macroinvertebrate food resources for perch (*Perca fluviatilis* L.) during the initial phase of lake restoration by cyprinid removal? Hydrobiologia 679: 175-186.

Lorenzen, C. J., 1967. Determination of chlorophyll a and pheopigments: spectrofotometric equations. Limnology and Oceanography, 12: 343-346.

van Dam, A.A., Beveridge, M.C.M., Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., 2002. The potential of fish production based on periphyton. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 12(1): 1-31.

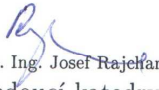
Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Irena Šetlíková, Ph.D.**
Katedra biologických disciplin

Datum zadání diplomové práce: 10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2015


prof. Ing. Milošlav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


doc. RNDr. Ing. Josef Rajchard, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 6. března 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 24. dubna 2015

.....

Bc. Gabriela Chadtová

Poděkování:

Touto cestou bych ráda poděkovala zejména vedoucí mé diplomové práce RNDr. Ireně Šetlíkové, Ph.D. za její neuvěřitelnou trpělivost, čas, připomínky a návrhy k mé práci i za velkou pomoc v laboratoři a organizaci všech výjezdů do Vodňan. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Martinovi Bláhovi, Ph.D za organizaci, pomoc v terénu a dopravu. Poděkování patří jak výše zmíněným, tak i studentům, Nikole Třešňákové a Markovi Urbánkovi, za týmovou spolupráci, utváření celkové pohody a dobré nálady během všech odběrů.

ABSTRAKT

Experimentální část této práce byla rozdělena na dvě fáze. V první fázi byl testován vliv substrátů z geotextílie a vřesovce na podporu rybníčního perifytonu s cílem podpory rozvoje potravních organismů pro plůdek candáta obecného (*Sander lucioperca*) a jejich umístění do vodního sloupce. V první fázi se množství živin ve vodě (TN, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, TP PO₄-P) statisticky průkazně nelišilo mezi jednotlivými variantami, pouze teplota vody v první fázi byla vyšší v kontrolních rybnících.

V první fázi experimentu nebyl prokázán vliv dvou substrátů na kvantitu fytoplanktonu ani na kvalitu vody v rybníce. Sušina (DW) a ani bezpopelná sušina (AFDW) se mezi geotextílií a vřesovcem v první fázi nelišila (DW: $F(4,12) = 1,0$; $p = 0,42$ a AFDW: $Z = 1,8$; $p = 0,08$). U perifytonu byla fluorescence na geotextílii statisticky průkazně vyšší než jeho fluorescence na vřesovci ($F(4,12) = 14,2$; $p = 0,0002$). Tento výsledek byl ovlivněn mnoha faktory, které jsou podrobněji rozebrány a vysvětleny v diskusi. Vřesovec byl vyhodnocen jako vhodnější substrát pro podporu růstu perifytonu.

Ve druhé fázi se množství živin statisticky průkazně nelišilo. Vývoj fytoplanktonu se nelišil v rybnících bez a se substrátem (vřesovec). Podpora nárůstu perifytonu byla sledována jen ve variantě se substrátem z vřesovce. Sušina (DW), bezpopelná sušina perifytonu (AFDW) ani celkové fluorescence se během druhé fáze pokusu neměnily.

Statisticky průkazně vyšla závislost mezi celkovým fosforem (TP) a fytoplanktonem i závislost mezi TP a perifytonem. Byla prokázána i závislost mezi fluorescencí fytoplanktonu a perifytonu v podobě nepřímé úměry.

Klíčová slova: fytoplankton, perifyton, chlorofyl-a, substrát, fluorescence

ABSTRACT

The experimental part of this thesis was divided into two work phases. In the first phase the impact of the substrates from geotextiles and heather on the support of pond periphyton was tested with the aim of supporting the development of food organisms for Zander fry (*Sander lucioperca*) and their placement in the water column.

In the first phase the amount of nutrients in water (TN, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, TP PO₄-P), differences between the variants were not statistically significant, only the water temperature in the first stage was higher in the control ponds. No influence of both substrates on the quantity of phytoplankton or the quality of water in the pond was proved in the first phase of the experiment. In the case of periphyton, dry weight (DW) and ash-free dry weight (AFDW) between geotextiles and heather did not show any differences in the first phase (DW: $F(4,12) = 1,0$; $p = 0,42$ a AFDW: $Z = 1,8$; $p = 0,08$). Fluorescence of periphyton was significantly higher on the geotextiles than fluorescence on the heather. This result was influenced by many factors, which are analyzed and explained in more detail in the discussion. Heather is evaluated as a more suitable substrate for growth of periphyton support.

In the second phase the amount of nutrients in water differences between the variants were not statistically significant. The growth of phytoplankton was not different between ponds with substrate and without substrate. In the second phase of the experiment only the variant with heather substrate was observed to promote the growth of periphyton. Dry weight (DW), ash-free dry weight (AFDW) and total fluorescence did not show any differences during the second phase of the experiment.

Statistically significant correlation between the total phosphorus (TP) and phytoplankton and correlation between periphyton and TP has been demonstrated. Negative correlation between total fluorescence of phytoplankton and periphyton was also statistically significant.

Key words: Phytoplankton, Periphyton, Chlorophyll-a, Substrate, Fluorescence

Obsah

1	ÚVOD	9
2	LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
2.1	Definice fytoplanktonu a perifytonu	10
2.2	Význam a produktivita perifytonu a fytoplanktonu	11
2.3	Kvantitativní charakteristiky perifytonu a fytoplanktonu	12
2.4	Vývoj a růst perifytonu.....	14
2.5	Role perifytonu a fytoplanktonu v rybníční akvakultuře	17
2.6	Faktory ovlivňující složení a kvantitu perifytonu a jeho vztah s fytoplanktonem	17
2.6.1	Teplota.....	18
2.6.2	Světlo	18
2.6.3	Živiny	19
2.6.4	Dostupnost CO ₂ a kyslíku	21
2.6.5	Substrát.....	22
2.6.6	Mechanické působení a zanášení sedimentem.....	22
2.6.7	Spásání	23
3	MATERIÁL A METODIKA	24
3.1	Uspořádání pokusu	24
3.2	Odběry a zpracování vzorků fytoplanktonu	27
3.3	Stanovení chl-a spektrofotometricky.....	30
3.4	Odběry a zpracování vzorků perifytonu	31
3.5	Chemické analýzy vody	32
3.6	Statistické hodnocení dat.....	33
4	VÝSLEDKY	34
4.1	Fyzikální a chemická kvalita vody v první fázi experimentu.....	34

4.2	Charakteristika fytoplanktonu v první fázi experimentu.....	40
4.3	Charakteristika perifytonu v první fázi experimentu	44
4.4	Fyzikální a chemická kvalita vody v druhé fázi experimentu.....	47
4.5	Charakteristika fytoplanktonu v druhé fázi experimentu	53
4.6	Charakteristika perifytonu v druhé fázi experimentu.....	56
4.7	Srovnání perifytonu v první a druhé fázi experimentu.....	58
4.8	Závislost fytoplanktonu a perifytonu na obsahu celkového fosforu (TP) a dusíku (TN) ve vodě.....	60
4.9	Vztah fytoplanktonu a perifytonu.....	62
5	DISKUSE	64
5.1	Fyzikální a chemické parametry vody.....	64
5.2	Chlorofyl-a ve fytoplanktonu a hodnocení trofie rybníků.....	65
5.3	Perifyton	66
5.4	Závislost fytoplanktonu a perifytonu na obsahu celkového fosforu (TP) a dusíku (TN) ve vodě.....	68
5.5	Závislost fytoplanktonu a perifytonu	69
5.6	Potravní závislost mezi fytoplanktonem a zooplanktonem.....	70
6	ZÁVĚR.....	71
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72

1 ÚVOD

Perifyton a fytoplankton má pro život ostatních organismů žijících ve vodních ekosystémech velký význam. Tyto fototrofní organismy významným způsobem ovlivňují fyzikální (průnik světla a teplotu) a chemické (režim kyslíku a oxidu uhličitého, pH a množství živin ve vodě) vlastnosti vody a slouží jako potrava nebo úkryt pro bezobratlé živočichy (Azim *et al.*, 2005).

V literárním přehledu této práce je porovnávána dynamika růstu, primární produkce a biotické interakce perifytonu a fytoplanktonu ve vztahu k jednotlivým faktorům prostředí tj. živinám, světlu, substrátu, kyslíku a spásání. Pokud přijmeme definici perifytonu jako soubor všech přisedlých organismů překrývá se tato definice nejen s definicí pojmu Aufwuchs, ale i bentosu. V této práci je kvantifikována autotrofní složka perifytonu. V paralelní práci mého kolegy Marka Urbánka (FROV) je kvalitativně i kvantitativně popsáno heterotrofní část tohoto společenstva (velikost nad 500 μm) pod pojmem substrátový bentos (Urbánek, 2015 v tisku).

Výsledky práce jsou součástí pilotního projektu s názvem Podpora rybníčního perifytonu s cílem využít trofii rybníků k produkci plůdku candáta obecného (C2.1.25/3.4.00013.00460). Cílem první fáze experimentu bylo otestovat vliv vybraných substrátů (přírodní rohože z vřesovce a rohože z geotextilie) na podporu výskytu perifytonu, a tím i jiných potravních organismů v rybnících při odchovu larev a juvenilních ryb candáta obecného (*Sander lucioperca*) do kategorie rychleného plůdku. Cílem druhé fáze experimentu bylo otestovat, zda substrát rohože z vřesovce podporuje růst juvenilních ryb candáta obecného přes nárůst perifytonu a jiných potravních organismů, v porovnání s odchovem candáta společně s nasazenou krmnou rybou. Předpokladem obou fází experimentu bylo, že substráty budou bohatě osídlovány bezobratlými živočichy, kteří se tak dostanou do vodního sloupce.

Cílem mé práce bylo (1) vyhodnotit souvislosti mezi kvantitou společenstev fytoplanktonu a perifytonu a koncentrací živin (N a P) ve vodě a zároveň (2) porovnat růst fytoplanktonu a perifytonu (nárostů) v rybnících se dvěma různými substráty - vřesovcem a geotextilií. Předmětem pokusu byly odběry vzorků v pokusných rybnících ve Vodňanech a kvantifikace společenstva fytoplanktonu a perifytonu.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Definice fytoplanktonu a perifytonu

Fytoplankton jsou drobné, často mikroskopické druhy řas a sinic vznášející se pasivně ve vodě (Jarklová & Pelikán, 1999). Sinice se od řas liší především prokaryotickou stavbou buňky, kdežto řasy patří mezi eukaryota (Poulíčková & Jurčák, 2001). Asimilační barviva sinic nejsou, na rozdíl od řas uložena v chromatoforech, ale jsou rozptýlena ve vnější plazmě na tylakoidech. Kromě chlorofylu-a (chlorofyl-b chybí) mají sinice světlosběrné komplexy fykobilisomy, které obsahují pigmenty modré (c-fykocyanin, allofykocyanin) a někdy i červené (fykoerytrin) (Kaštovský & Hauer, 2003). Sinice i řasy jsou fotoautotrofní, ale některé řasy jsou schopny mixotrofní výživy (Poulíčková & Jurčák, 2001).

Perifyton je společenstvo trvale nebo dočasně přisedlých organismů na ponořeném substrátu (Reid & Wood, 1976; Weitzel, 1979). Termín perifyton se v klasické limnologii vztahuje ke společenstvu mikroflóry tj. sinic a řas, která je připojena k povrchu ponořeného objektu (Weitzel, 1983). Tato definice však nezahrnuje houby, bakterie, prvoky ani další živočichy, které také mohou být součástí ponořeného substrátu. Ty jsou shrnuty pod německým termínem 'Aufwuchs', který zahrnuje všechny organismy připojené nebo pohybující se na ponořených substrátech, ale do nich nepronikající (Reid & Wood, 1976; Weitzel, 1979). Někdy se používají pojmy „euperiphyton“, tj. nepohyblivé organismy připojené k substrátu pomocí rhizoidů, stonků nebo jiných mechanismů a „pseudoperiphyton“ nebo „metaphyton“, tj. volně žijící, pohyblivé formy organismů v perifytonu (Weitzel, 1979). Termín perifyton má také různá synonyma v závislosti na substrátu, na kterém roste. Epiphyton má jako podklad vodní rostliny, epipelon nánosy či bláto, epixylon dřevo, epilithon kámen a epipsammon písek (Azim *et al.*, 2005). Mezi běžné morfologické charakteristiky perifytonních organismů patří stonky s lepkavými konci, lepkavé tobočky, polštáře nebo vlákna, svalnaté přísavky, lepidlo nebo se jednoduše drží na podkladu. (Reid & Wood, 1976).

2.2 Význam a produktivita perifytonu a fytoplanktonu

Perifyton je ve vodních ekosystémech důležitý z mnoha důvodů: (1) spolupodílí se na primární produkci, tj. velmi významně přispívá k fixaci uhlíku a koloběhu živin ve vodních ekosystémech, (2) poskytuje potravu drobným bezobratlým živočichům a může poskytovat speciální potravu pro ryby a larvy koryšů v chovech, (3) je vynikajícím indikátorem změn, které mohou ve vodním prostředí nastat, (4) používá se ke zlepšení kvality vody v jezerech a nádržích a (5) může být využit pro čištění odpadních vod (Azim *et al.*, 2005).

Jak biomasa perifytonu, tak biomasa fytoplanktonu a jejich produktivita může být ovlivněna přirozenými abiotickými faktory prostředí tak i managementovými opatřeními (např. hustotou rybí obsádky, hnojením, hustotou nebo typem substrátu). Pohybu schopný fytoplankton (ve srovnání s perifytonem) je zodpovědný za většinu primární produkce v oceánech, velkých hlubokých jezer a řekách (Mann, 1982). Perifyton může mít významný podíl na celkové roční produkci, hlavně v mělkých jezerech s rozsáhlou litorální zónou, kde tvořil 42 % celkové roční produkce (Wetzel, 1964). V pěti oligotrofních jezerech přispěl perifyton 43 – 97 % k celkové produkci v mělkých (2 – 3 m) zónách (Loeb *et al.*, 1983). Při srovnání primární produkce v kalném a čistém jezeře byla u fytoplanktonu zjištěna celková roční produkce 96 % z celkové primární produkce v kalném jezeře, zatímco epipelon (nárosty na sedimentech) v čistém (průhledném) jezeře tvořil 77 % primární produkce (Liboriussen & Jeppesen, 2003). Nicméně celková roční produkce fytoplanktonu a perifytonu byla o 34 % vyšší v kalném jezeře ($190 \text{ g C m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$), než v čistém jezeře ($141 \text{ g C m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$). V některých případech může roční primární produkce perifytonu dosahovat až 1 kg C m^{-2} (Goldsborough & Robinson, 1985).

2.3 Kvantitativní charakteristiky perifytonu a fytoplanktonu

Biomasa a primární produkce fytoplanktonu je relativně snadno měřena *in situ* v celém vodním sloupci nebo v jeho jednotlivých vrstvách. Naproti tomu, perifyton bývá rozložen velmi nerovnoměrně na různých substrátech a jeho kvantifikace je obtížnější (Sand-Jensen *et al.*, 1988).

Fytoplankton lze podobně jako perifyton kvantitativně charakterizovat jako hmotnost sušiny (DW-dry weight), bezpopelovou sušinu (AFDW - ash free dry weight), koncentraci chlorofylu-a, obsah organického uhlíku v sušině příp. jako energetický obsah. Sušina se stanovuje tak, že se určitý objem vzorku přefiltruje přes předsušený, zvážený filtr, dále se suší při 85°C a opět se zváží (Dykyjová, 1989). Bezpopelná sušina (AFDW) se stanovuje z hmotnosti popela, který získáme spálením při 550°C.

Koncentrace chlorofylu-a je všeobecně akceptována jako vhodná míra celkového množství biomasy fytoplanktonu. Je proto indikátorem trofie a potencionální fotosyntetické aktivity řas a sinic (Pitter, 2009). Při stanovení koncentrace chlorofylu-a se vzorek zfiltruje, pigmenty se extrahují nejčastěji v acetonu (např. Dykyjová, 1989) nebo ethanolu (např. ISO 10 260) příp. ve směsi alkoholů (např. Vernon, 1960) a měření se provádí nejčastěji spektrofotometricky (Dykyjová, 1989., ISO 10 260) nebo fluorometricky (např. Beutler *et al.*, 2002).

U perifytonu se navíc, pomocí tzv. autotrofního indexu (AI), stanovuje jeho autotrofní resp. heterotrofní povaha. AI je poměr bezpopelné sušiny a koncentrace chlorofylu-a. Průměrné hodnoty AI se pohybují v rozmezí od 50 do 200, nižší hodnoty indikují autotrofii a vyšší hodnoty dominanci heterotrofů ve společenstvu perifytonu. Ve skutečnosti se hodnoty AI samotných řas pohybují od 65 do 85 za předpokladu, že 1 mg chlorofylu odpovídá 65 – 85 mg bezpopelné sušiny řas (Dempster *et al.*, 1993).

K nepřímé kvantifikaci fytoplanktonu ve vzorcích z vodního prostředí může být využito měření fluorescence chlorofylu. Fluorescence je popisována jako fyzikální jev, kdy absorpce fotonů světla určité vlnové délky molekulou fluoreskující

látky vyvolává emisi fotonů o vyšší (tj. energeticky méně bohaté) vlnové délce. Při metodě měření indukované fluorescence chlorofylu se využívá navíc faktu, že fluorescence chlorofylu se v průběhu času mění v závislosti na probíhající fotosyntéze a lze tak pomocí jejích charakteristik popsat stav fotosyntetického aparátu sledované řasy nebo sinice (Gregor *et al.*, 2008). V případě, že je intenzita fluorescence nízká, účinnost fotochemických reakcí primární fáze fotosyntézy je vysoká a naopak (Krause & Weis, 1991).

Pomocným měřením může být okamžitá fluorescence chlorofylu (Ft) a kvantový výtěžek (QY). Okamžitá fluorescence chlorofylu (Ft) se rovná minimálnímu výtěžku fluorescence chlorofylu v temnotně adaptovaném stavu (F_0). Hodnota F_0 je konstantní, nezávislá na fotosyntetické aktivitě. Hodnotu minimální fluorescence získáme, pokud buňku vystavíme pouze slabému měřicímu světlu, které nemá významný aktinický efekt. Ve stavu F_0 jsou reakční centra fotosystému PSII otevřena a primární akceptor (QA) je oxidován (Papageorgiou & Govindjee, 2004).

Maximální kvantový výtěžek fluorescence chlorofylu (QY) je mírou účinnosti fotosystému II a odpovídá poměru F_V/F_M , kde F_V je maximální výtěžek variabilní fluorescence chlorofylu ve světelně adaptovaném stavu a F_M je maximální výtěžek fluorescence chlorofylu ve světelně adaptovaném stavu. Poměr F_V/F_M poskytuje přesný odhad fotosyntetické aktivity. (Papageorgiou & Govindjee, 2004). Jeho hodnota v rozsahu 0,0 – 0,823 udává maximální kapacitu fotosystémů PS II řas a sinic ve vzorku pro zachycování světelné energie (tzv. maximální kvantový výtěžek PS II). Kvantový výtěžek je tedy dobrým indikátorem fotoinhibice a metodou, jak odhalit vliv nejrůznějších faktorů na fyziologii sledovaných autotrofních organismů (Demmig & Björkman, 1987).

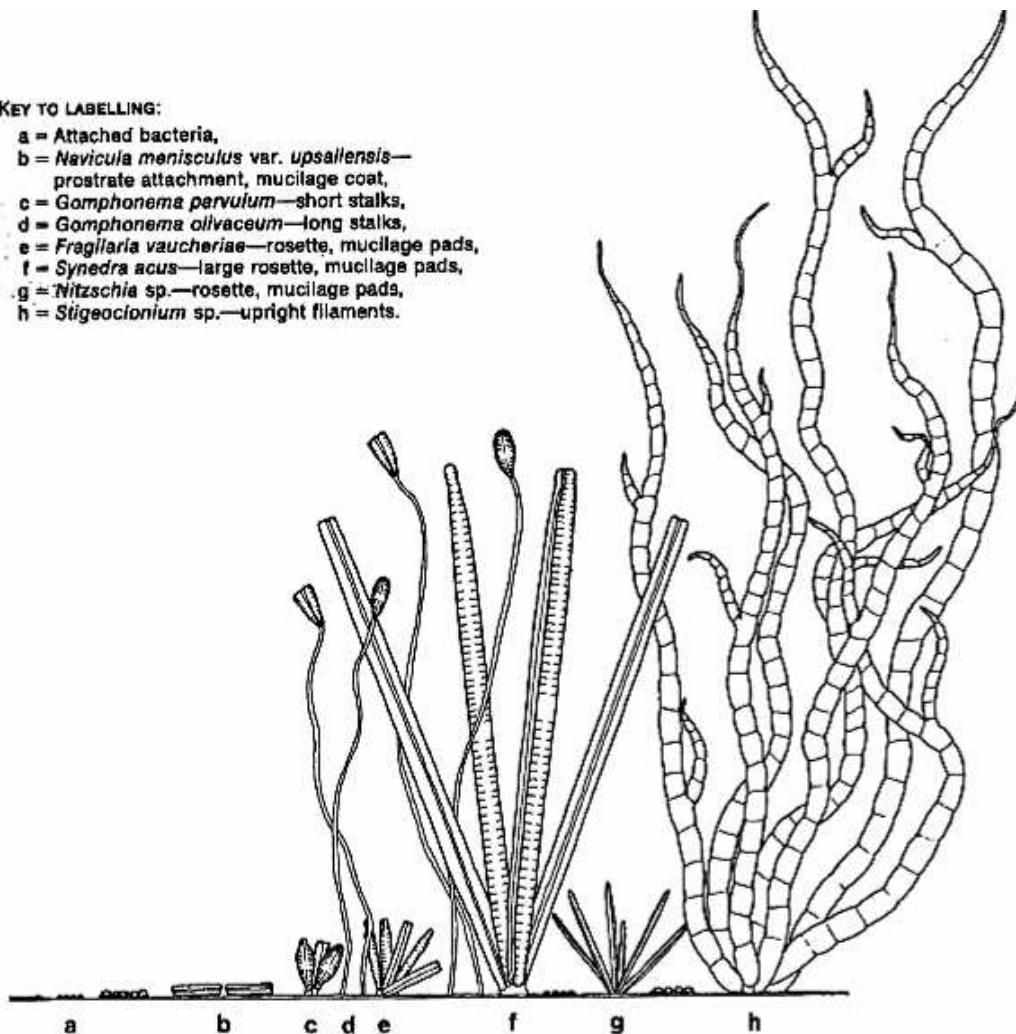
2.4 Vývoj a růst perifytonu

Vrstva perifytonu začíná vytvořením povlaku rozpuštěných organických látek (především aminokyselin a mukopolysacharidů) přichycených na substrát elektrostatickými silami (Hoagland *et al.*, 1982). Rozpuštěné, neživé částice organické hmoty jsou podkladem pro rychlý (řádově do několika hodin) rozvoj bakterií. Proces kolonizace substrátu je tedy stimulován přítomností volně plovoucích organických částic v eutrofních vodách (Carrias *et al.*, 2002).

Bakterie se aktivně připojují k substrátu pomocí slizových vláken. Sliz produkovaný bakteriemi nabízí potenciální vazebná místa pro různé koloidní, organické a anorganické látky (Flemming, 1995). Bakterie také produkují extracelulární enzymy, které se významně podílejí na rozkladu rozpuštěných organických látek, zejména degradaci větších frakcí organických molekul do vstřebatelných nízkomolekulárních tj. anorganických látek (Marxsen & Witzel, 1991). Bakterie jsou zřejmě nezbytným předpokladem pro následné připojení jiných organismů, ale jejich funkce v kolonizačním procesu není zcela vysvětlena. Po několika dnech se již mohou, k organické hmotě vylučované bakteriemi, připojovat např. malé rozsivky. Ty jsou pak následovány dalšími druhy rozsivek, které produkují sliz, pomocí něhož se pevně přichycují k podkladu. Během klimaxových stádií se mohou vyvíjet zelené nebo červené řasy se vzpřímenými nebo dlouhými vlákny a vytvářet další vrstvy společenstva (obr. 1).

KEY TO LABELLING:

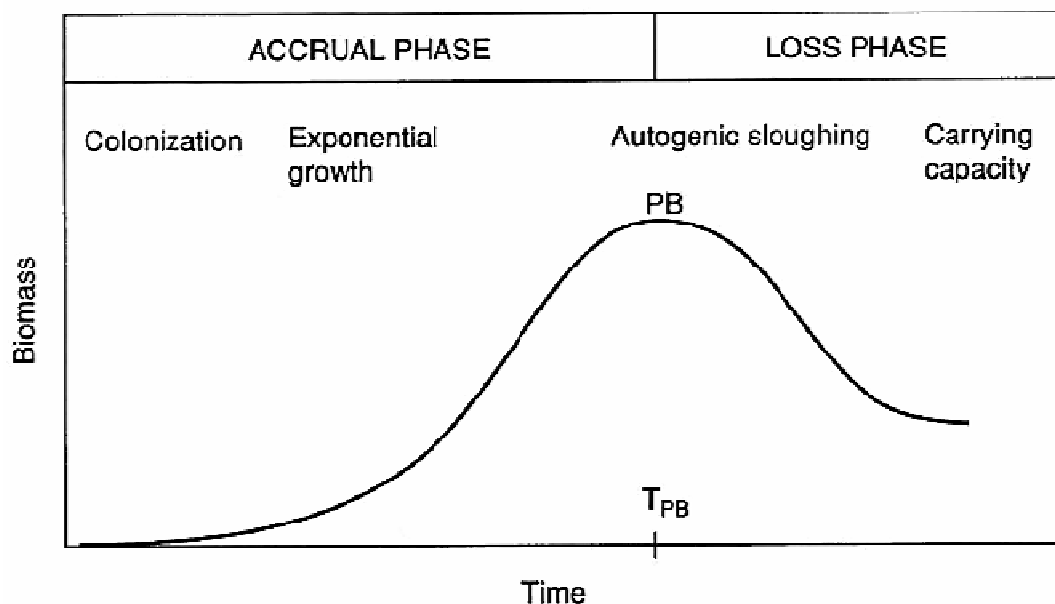
- a = Attached bacteria,
- b = *Navicula menisculus* var. *upsallensis*—prostrate attachment, mucilage coat,
- c = *Gomphonema parvulum*—short stalks,
- d = *Gomphonema olivaceum*—long stalks,
- e = *Fragilaria vaucheriae*—rosette, mucilage pads,
- f = *Synedra acus*—large rosette, mucilage pads,
- g = *Nitzschia* sp.—rosette, mucilage pads,
- h = *Stigeoclonium* sp.—upright filaments.



Obr. 1: Proces kolonizace substrátu - tvorba společenstva perifytonu (převzato z Hoagland *et al.*, 1982).

Tento model kolonizace substrátu je zčásti podporován zjištěnými hodnotami AI. Hodnoty AI byly vyšší v prvních dnech kolonizace a postupně do čtvrtého týdne klesly. Poté se jak hodnoty AFDW tak hodnoty koncentrace chlorofylu-a začaly zvyšovat. To znamená, že organické látky neřasového původu (látky z vodního sloupce a bakterie) v perifytonu zpočátku převažují. Během posledních týdnů zase buňky řas v perifytonu postupně odumírají, což způsobí nárůst AI (Steinman, 1996). Průběh krátkodobého přírůstku biomasy řas perifytonu je znázorněn na obr. 2. Při kolonizaci kamenů perifytonem jeho biomasa nejdříve exponenciálně rostla (exponential growth). Po 4 - 6 týdnech dosáhla maxima (PB: peak biomass). Čas (T) potřebný k dosažení maximální biomasy (PB) závisí na dostupnosti světla, živin a na

intenzitě spásání. Celá přírůstková fáze (tzv. lag fáze a fáze exponenciálního růstu na obr. 2 (accrual phase) může tak trvat od několika dnů po několik měsíců. Po stacionární fázi následuje, vlivem úmrtí, emigrace, konkurence, odlupování a spásání, fáze odumírání (loss phase) (Biggs, 1996). Tento vývoj biomasy perifytonu ukazují na třech různých substrátech (bambus, bambusové postranní výhony zvané kanchi a tzv. hizol z rostliny *Barringtonia* sp.) např. Hillebrand & Sommer (2000). Biomasa perifytonu na všech třech substrátech dosáhla maxima během prvních třech týdnů, v druhé polovině experimentu se buďto ustálila (stacionární fáze) nebo vlivem konkurence řas o prostor na substrátu, živiny a světlo klesla (Hillebrand & Sommer, 2000).



Obr. 2: Obecná křivka růstu perifytonu pro vodní toky znázorňující fázi růstu a poklesu (převzato z Biggs, 1996).

2.5 Role perifytonu a fytoplanktonu v rybníční akvakultuře

Tradiční akvakultura považuje společenstvo fytoplanktonu za nejdůležitější složku z hlediska fixace energie v potravním řetězci, a proto zvyšuje svou produkci optimalizací využití tohoto společenstva. Býložravé ryby ale kromě fytoplanktonu obvykle vyžadují další potravní zdroje, jako je perifyton (bentické řasy), částečně rozložené řasy ve formě detritu nebo vyšší vodní rostliny (Dempster *et al.*, 1993). Horn (1989) dokonce uvádí, že většina býložravých druhů ryb upřednostňuje větší bentické řasy (tj. perifyton) před fytoplanktonem.

Bylo prokázáno, že produkce ryb v rybnících s pevnými povrchy, kde se může rozvinout perifyton (dále jen substráty) je vyšší než v rybnících bez substrátu (Azim *et al.*, 2001). Dno v tomto případě není vhodným substrátem, neboť na dně, většinou vysoce eutrofního rybníka, je nedostatek světla. Navíc perifyton potřebuje k růstu pevný substrát, kterého je však v rybníce málo. Pro podporu rozvoje perifytonu v rybníčních akvakulturách lze využít veškeré materiály, které poskytují pevnou oporu (Azim *et al.*, 2005)

2.6 Faktory ovlivňující složení a kvantitu perifytonu a jeho vztah s fytoplanktonem

Malé organismy, které tvoří perifyton obvykle žijí jen krátce, a proto se společenstvo perifytonu může měnit i v kratších časových intervalech (dny i hodiny). Exponenciální růst společenstva bývá rychlý. Pokud v perifytonu převládají malé druhy řas, může se za den jeho biomasa zdvojnásobit (Rodriguez, 1987). Druhová rozmanitost a kvantita perifytonu závisí na řadě faktorů, jako je např.: teplota, intenzita světla (Maltais & Vincent, 1997), dostupnost živin (Dodds *et al.*, 2002), dostupnost CO₂ a kyslíku (Sand-Jensen & Borum, 1990), typy ponořených substrátů dostupných pro kolonizaci (Biggs & Smith, 2002), stáří substrátu (tj. čas, který je k dispozici pro kolonizaci) a jeho umístění v litorálu (Cebrian *et al.*, 1999), schopnost organismů obsadit substrát a zrychlit svůj růst (Azim *et al.*, 2005), mechanické působení vln a zanášení sedimentem (Blenkinsopp & Lock, 1994), intenzita spásání

(Mufioz *et al.*, 2000), konkurence, typ biotopu, sezónnost (Goldsborough & Robinson, 1985) a kyselost (zásadová neutralizační kapacita) (Verb & Vis, 2000).

Rovnováha mezi perifytonem a jinými fotoautotrofními společenstvy (fytoplanktonem a vodními makrofyty) je dána velikostí vodní plochy, hloubkou vody a dalšími výše zmíněnými faktory. Tyto rozdíly ovlivňují dynamiku růstu, množství biomasy a biotické interakce v jednotlivých typech vodních ekosystémů. V každém společenstvu se vyskytují různé životní strategie, s odlišnou schopností využívat přírodní zdroje a odolnosti vůči stresům a disturbancím (Reynolds, 1987). Rychlost růstu a adaptace na kolísavé podmínky prostředí jsou několikanásobně vyšší u řas než u mnohobuněčných rostlin (Nielsen & Sand-Jensen, 1990). Rozkladné procesy (fáze odumírání viz obr. 2) probíhají také rychleji u řas než u makrofyt (Lehman & Sandgren, 1985). Rychlost rozkladných procesů závisí samozřejmě také na druhu řas nebo makrofyt a vlastnostech biotopu (Reynolds, 1987). Rozmanitost podmínek prostředí a rozmanitost fototrofních společenstev organismů však velmi komplikuje jakákoliv zobecnění.

2.6.1 Teplota

Obecně platí, že teplota ovlivňuje enzymatické procesy, a to tak, že vyšší teploty zvyšují reakční rychlost, což umožňuje rychlejší růst, ale i vyšší rychlost respirace. Čistý efekt těchto procesů a relativní schopnost příjmu živin určuje z velké části úspěch různých taxonů ve společenstvu perifytonu při různých teplotách. Například zelená řasa rodu *Scenedesmus* upřednostňuje vysoké teploty (Vermaat & Hootsmans, 1994), zatímco nízké teploty vyhovují rozsivkám rodu *Navicula* (Bothwell, 1988). Teplotní rozdíly budou mít celkově velký vliv na složení a rozvoj společenstva perifytonu v případě, že jeho růst není limitován světlem (Azim *et al.*, 2005). Teplota většinou koreluje s množstvím dopadajícího světla.

2.6.2 Světlo

Jakýkoliv ponořený povrch je rychle pokryt tenkou vrstvou bakterií (Baker & Orr, 1986), a je-li dostatek dostupného světla, následně se připojí řasy a stanou se hlavní součástí rozvíjejícího se perifytonu. Dostupnost světla je proto hlavním

abiotickým faktorem, který určuje dominantní taxony. Sinice často převládají při nízké dostupnosti světla např. v hlubokých jezerech, to znamená v hloubce kolem kompenzačního bodu fotosyntézy (1% z množství světla dopadajícího na hladinu) (Loeb & Reuter, 1981). Ve vysoce kalných vodách, pod eufotickou zónou v hlubších jezerech, kam proniká málo světla nebo když okolní voda má velký obsah organických látek (BSK₅ a CHSK) nebo je dokonce anoxická, je společenstvo perifytonu heterotrofní a mohou v něm převažovat (fakultativně) anaerobní bakterie. Například pod hustou vrstvou okřehku, způsobí strmý gradient světla přechod od rozsivek k anaerobním fotosyntetickým zeleným a purpurovým bakteriím (Goldsborough, 1993).

Perifyton roste ve specifitějších a předvídatelnějších světelných podmínkách než fytoplankton a jeho fotoadaptace by tak měla být snažší (Sand-Jensen *et al.*, 1989). Nicméně, fytoplankton v dobře promíchávaném vodním sloupci periodicky (minuty až hodiny) cirkuluje mezi osvětlenou hladinou a dnem. Ve stratifikovaných vodách často dominují řasy s bičíky nebo řasy a sinice (fytoplankton), které na rozdíl od perifytonu mohou regulovat vztlak a určovat si tak svou pozici ve vodním sloupci (Reynolds, 1987). Díky této schopnosti se mohou např. při nedostatku světla (nebo živin) přesunovat do míst, kde jsou lepší světelné podmínky čímž zároveň snižují riziko predace (Ganf & Oliver, 1982). Minimální požadavky na světlo u makrofyty jsou pravděpodobně až desetkrát vyšší než u fytoplanktonu, ale nebyly zatím stanoveny experimentálně (Sand-Jensen & Borum, 1990).

2.6.3 Živiny

V celé řadě jezer s nízkou produkcí fytoplanktonu byl zjištěn zřetelný nárůst biomasy perifytonu (měřeno jako koncentrace chlorofylu), se zvyšující se koncentrací fosforu v intersticiální vodě sedimentu. Nicméně biomasa perifytonu byla shora limitována dostupností světla (zákalem vody) (Hansson, 1992). Lepší dostupnost živin vede k posunu v taxonomickém složení směrem k dominanci vláknitých zelených řas a sinic a ke zvýšení hustoty perifytonu a tloušťky jeho vrstvy biomasy. (Azim *et al.*, 2005). Povrch společenstva perifytonu je obklopen difuzní mezivrstvou, která je v závislosti na pohybech vody 100 µm až několik mm tlustá

(Gundersen & Jorgensen, 1990). Možné difúzní omezení je zvýšeno tvorbou hustých řasových rohoží při vysokém osvětlení, nízkou predací a malým fyzikálním narušováním. Pro odhad taxonomického složení a míry limitace růstu biomasy fytoplanktonu a perifytonu živinami je třeba vzít v úvahu právě zmíněné difúzní omezení, koncentrace dostupných živin (fosfor, dusík, v případě rozsivek i křemík) a požadavky jednotlivých organismů. Kapacita příjmu živin na jednotku rostlinné biomasy se zvyšuje se zmenšující velikostí organismů (Wallentinus, 1984).

Sediment je stále zásobován živinami z detritového potravního řetězce a koncentrace živin a rychlost mineralizace sedimentů je tak na jednotku objemu často řádově mnohem vyšší než ve vodním sloupci (Denny, 1980). Biomasa fytoplanktonu v jezerech a přímořských oblastech je často významně limitována živinami (Wetzel, 1983) oproti perifytonu, který obývá i jezera a ústí řek s nízkou dostupností živin, protože má nižší nároky na živiny z vodního sloupce a vazbu na bohatý sediment (Sand-Jensen & Borum, 1990). Větší zásoby živin a míra mineralizace v sedimentech jsou zřejmě pro perifyton důležitější, než fakt, že difúzní transport živin ze sedimentu je pomalejší než z vody. Limitace živin u perifytonu je pravděpodobná snad jen v případě vzájemného stínění v hustých porostech makrofyt nebo u epilitických mikrořas obývajících skalní plochy, neboť substrát je ve srovnání s aktivně mineralizujícím jemnozrnným sedimentem, inertní (bez živin). Epilitické mikrořasy jsou tedy závislé na zásobení živinami pomalou difúzí z vody přes hraniční vrstvy a mohou tak být i ve vhodných světelných podmínkách v oligotrofních vodách limitovány živinami i snížením průtoku vody (Sand-Jensen & Borum, 1990).

Požadavky buněk na dusík a fosfor se vzhledem k požadavkům na uhlík pravděpodobně příliš neliší mezi fytoplanktonem a perifytonem. Nicméně kapacita fotosyntézy a rychlost růstu perifytonu je obvykle nižší než u fytoplanktonu, a proto jsou nároky perifytonu na dusík a fosfor na jednotku času menší než nároky společenstva fytoplanktonu (Admiraal, 1977). Nároky makrofyt na živiny za jednotku času jsou nižší než u řas z důvodu pomalejšího růstu makrofyt, vysokých vnitřních C: N: P poměrů a schopnosti uchovávat živiny delší dobu než perifyton a fytoplankton (Sand-Jensen & Borum, 1990).

Azim *et al.*, (2002) analyzoval poměry uhlíku, vodíku a dusíku v perifytonu na různých umělých substrátech v rybnících. Uhlík tvořil 46 – 49 % (AFDW), vodík 6 – 7 % a dusík tvořil 4– 7 % AFDW. Koncentrace dusíku a fosforu v perifytonu jsou v průběhu sezóny velmi variabilní. V perifytonu z jezer v NP Florida Everglades se koncentrace celkového dusíku (TN) pohybovaly v rozmezí od 8,4 - 14,0 g kg⁻¹ sušiny (DW) a hodnoty koncentrace celkového fosforu (TP) od 29 - 112 g kg⁻¹ sušiny v závislosti na ročním období (Inglett, *et al.*, 2004). V tekoucích vodách byly zjištěny hodnoty pro koncentrace celkového dusíku jen 12 - 21 g kg⁻¹ a pro celkový fosfor jen 0,6 – 4,7 g kg⁻¹ sušiny (Stelzer & Lamberti, 2001).

Koncentraci anorganického uhlíku je věnována podstatně menší pozornost než koncentracím dusíku a fosforu. Bylo ale prokázáno, že tento faktor ovlivňuje vývoj perifytonu hlavně v interakci s dalšími živinami a spásáním. S vysokou dostupností živin se zvýšilo množství rozpuštěného anorganického uhlíku nad 2 M (medián pro středně tvrdé sladké vody), což vedlo k čtyřnásobnému zvýšení hustoty perifytonu. Tento jev byl pozorován v podmínkách, kdy růst perifytonu nebyl výrazně omezen spásáním (Jones *et al.*, 2002).

2.6.4 Dostupnost CO₂ a kyslíku

Intenzivní mineralizace v sedimentech zvyšuje dostupnost CO₂ a snižuje dostupnost kyslíku a to hlavně v období, kdy je málo světla. Pro perifyton (a makrofyta) je CO₂ ze sedimentů dostupnější než pro fytoplankton. Časté bezkyslíkaté podmínky v sedimentech a v řasových rohožích ve tmě dokazují, že tyto organismy jsou schopné tolerovat anoxii (Admiraal, 1984). V řasových rohožích a hustých porostech makrofyt je, vzhledem k velké koncentraci chlorofylu, fotosyntéza a dýchání na jednotku biomasy velmi intenzivní. Rychlost těchto procesů převyšuje u makrofyt 100 x a u perifytonu 10 000 x rychlosti fotosyntézy a dýchání ve vodním sloupci (Sand-Jensen *et al.*, 1989). Jak již bylo uvedeno, difúzní transport je pro perifyton (podobně jako pro makrofyta) významnější než transport volným prouděním vody a kolísání kyslíku, rozpuštěného anorganického uhlíku a pH určují do jisté míry složení společenstva (Sand-Jensen *et al.*, 1989). Fotosyntéza a respirace

je více limitována difúzí plynů v perifytonu (a kořenujících makrofyt) než ve společenstvu fytoplanktonu (Sand-Jensen *et al.*, 1989).

2.6.5 Substrát

Podkladem pro perifyton může být jak vodní vegetace, tak i anorganické substráty jako jsou např. kameny nebo písek. V akvakultuře se navíc používá i mnoho umělých materiálů jako plastové (např. PVC) desky nebo trubky, různé rohože, keramické dlaždice a sklíčka. Typ substrátu má zřetelný vliv na růst perifytonu (Horne & Goldman, 1994). Např. pro rozvoj mikrobiálního perifytonu (především prvoků) se doporučuje polyuretanová pěna. Perifyton rostl lépe většinou na přírodních materiálech (větve stromů a bambus) než na materiálech umělých (plasty) (van Dam *et al.*, 2002). V jedné malajské řece bylo srovnáváno složení perifytonu rostoucího na přírodním (listy) a umělém (sklíčka) substrátu. Na přírodním substrátu bylo nalezeno 37 druhů mikrobiálních organismů perifytonu (hlavně prvoků) a na umělém substrátu 35 druhů, z nichž 25 druhů bylo přítomno na obou substrátech (Nather Khan *et al.*, 1987). Ve švédských jezerech byla zjištěna vyšší diverzita perifytonu na substrátu ze skleněných tyčí než na dřevu. Na plastovém substrátu narostla pouze vrstva bakterií (Danilov & Ekelund, 2001). V rybníčních kulturách v Indii a Bangladéši byla hustota perifytonu vyšší na substrátech z bambusu než na plastových trubkách nebo na svazcích cukrové třtiny (Azim *et al.*, 2002). Příčiny těchto rozdílů nejsou zcela známe, ale vliv může mít i vyluhování živin či toxických látek ze substrátů nebo charakter povrchu jednotlivých substrátů (např. jejich drsnost). Navíc společenstvo perifytonu je ovlivňováno celou řadou dalších faktorů (viz dříve), které nelze mezi jednotlivými experimenty porovnat.

2.6.6 Mechanické působení a zanášení sedimentem

V řekách, pobřežních oblastech jezer a mořských pobřeží pohyb vody způsobuje změny v přítomnosti tvrdých kamenitých substrátů a jemnozrnných sedimentů. Vlny a proudy zabraňují makrofytům zakořenit, protože jsou buď mechanicky zničeny nebo dostupný substrát (štěrk a kameny) není vhodný (Spence,

1982). Tyto substráty jsou kolonizovány bentickými mikrořasami, jejichž biomasa se často mění v závislosti na fyzikálních podmínkách (Sand-Jensen *et al.*, 1988). Řasy mohou mechanicky stabilizovat společenstvo uvolněním slizu a vysrážením CaCO₃ (Holland *et al.*, 1974). Zanášení buněk bentických řas jemnozrnným sedimentem je pro perifyton ztrátovým faktorem (Biggs & Close, 1989).

2.6.7 Spásání

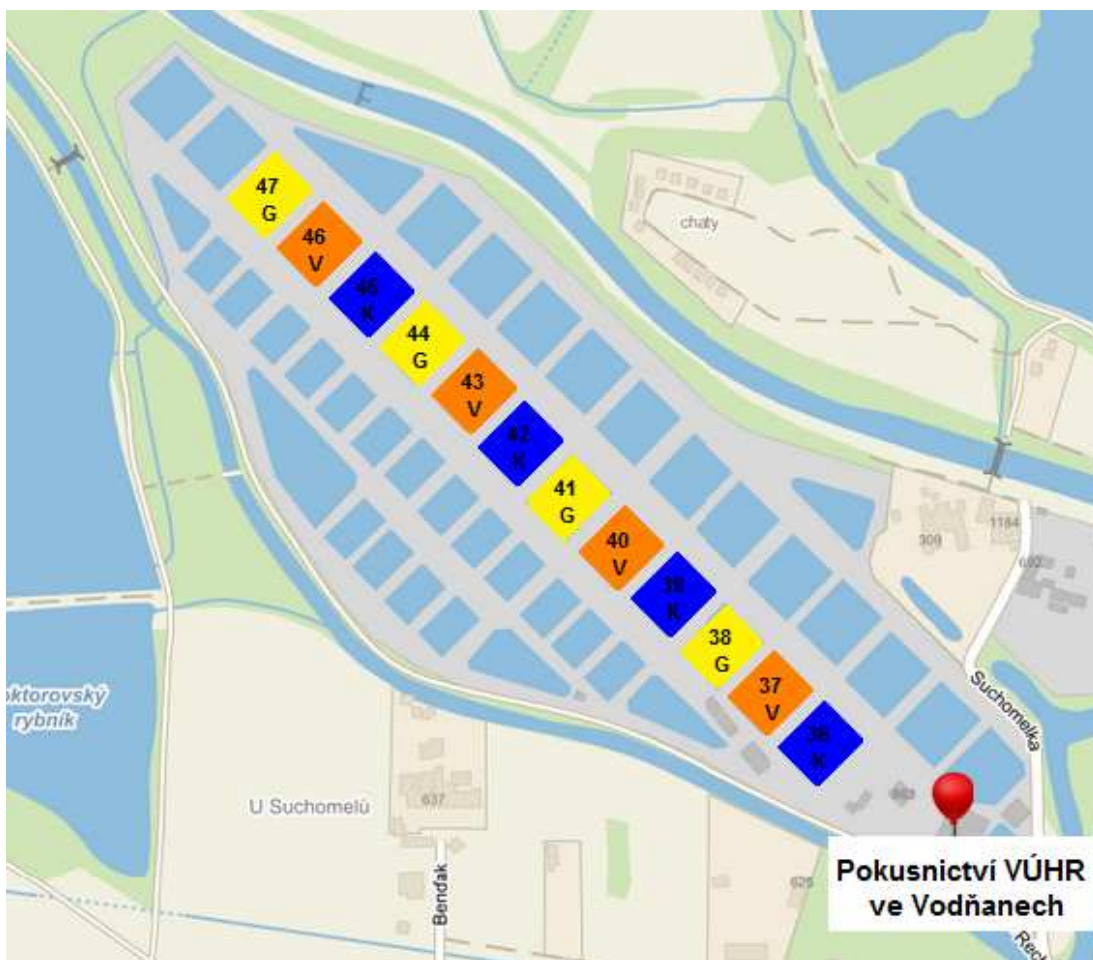
Požírání perifytonu je účinnější způsob příjmu potravy než filtrování fytoplanktonu z prostředí (Dempster *et al.*, 1993). Konzumenti perifytonu mohou snížit jeho biomasu, ale zároveň tak může zvýšit jeho produktivitu (Hay, 1991). Spásáči totiž často odstraní mrtvé nebo staré řasy, a tím zvýší prostupnost světla a dostupnost živin na substrát, společenstvo řas je pak zdravější a produktivnější (Huchette *et al.*, 2000). Ve sladké vodě jsou nejdůležitějšími spásáči bezobratlí: plži, koryšci a larvy hmyzu. Z obratlovců jsou to hlavně některé druhy ryb a pulci. Z různorodosti spásáčů perifytonu (Vermaat & Hootsmans, 1994) vyplývá různá intenzita vlivu na prostorovou strukturu a společenstvo perifytonu (Samelle, 1993). Rychlost odstraňování perifytonu jedním jedincem se pohybuje mezi 0,03 a 0,9 mg AFDW za den, v závislosti na velikosti a hustotě spásáčů a dostupnosti potravy (Cattaneo & Mousseau, 1995).

3 MATERIÁL A METODIKA

3.1 Uspořádání pokusu

Pokus probíhal ve dvanácti malých rybnících o rozměrech 46 x 38 m (cca 0,2 ha) a o průměrné hloubce u výpusti 1,2 m na pokusnictví Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického (VÚRH) ve Vodňanech (GPS souřadnice: (49°09' s. š., 14°09' v. d., nadmořská výška 393 m n. m.). Pokus měl 3 varianty: substrát vřesovec (V), substrát geotextilie (G) a kontrola (bez substrátu: K). Každá varianta měla čtyři opakování (obr. 3).

Pokus byl rozdělen na dvě fáze. V té první, byl na konci dubna (23.4. 2014) do všech rybníků nasazen váčkový plůdek candáta obecného (průměrná délka $5,194 \pm 0,225$ mm) o obsádce $374\ 000$ ind. ha^{-1} (do každého rybníka bylo vysazeno celkem $65\ 000$ ks larev. V třítydenních intervalech byly provedeny 3 odběry: 22. 4., 12. 5. a 2. 6. 2014. Plůdek candáta byl poté, na začátku června (3. 6. - 9.6. 2014) vyloven, tj. rybníky byly vypuštěny. V polovině června (12.6.) bylo do všech rybníků vysazeno 2000 ks juvenilního candáta obecného (průměrná délka těla $40,2 \pm 3,1$ mm) v podobě rychleného plůdku. Varianta se substrátem z geotextílie nebyla v druhé fázi experimentu testována na základě výsledků z I. fáze pokusu a srovnávány byly jen varianty s vřesovcem a kontrolní rybníky. Všech pět odběrů perifytonu a fytoplanktonu ve druhé části experimentu probíhalo stejně jako v prvním experimentu (viz dále), opět ve 3 týdenních intervalech od začátku června do začátku září (16. 6., 7. 7., 28. 7., 14. 8., 8. 9. 2014).



Obr. 3: Uspořádání pokusu: 12 rybníků na pokusnictví VÚHR, FROV JU ve Vodňanech (mapa: <https://www.google.cz/maps/@49.1558382,14.1651978,17z>)

Substráty byly do rybníků nainstalovány na začátku dubna (1. 4. - 11. 4. 2014). Oba typy substrátů tvořily v rybníce dva souběžné podélné pásy v délce 25 m a výšce 1,5 m (obr. 4 a 5). Průměrná plocha ponořených pásů substrátů se pohybovala mezi 44 - 48 m² a jejich procentuelní zastoupení vzhledem k ploše dna a břehů bylo cca 20%.



Obr. 4: Substrát z vřesovce umístěný do 4 rybníků, v každém 2 pásy v délce 25 m a výšce 1,5 m (foto Policar, 2014).



Obr. 5: Substrát z geotextílie umístěný do 4 rybníků, v každém 2 pásy v délce 25 m a výšce 1,5 m (foto Policar, 2014)

Pro účely odběru bylo do každého rybníku se substrátem nainstalováno ještě 8 úzkých odběrových pruhů substrátu (0,1 x 1,5 m). Ty byly upevněny na železnou (kari) síť připevněnou na dřevěnou násadu, která byla následně zakotvena ve dně rybníku (obr. 6).



Obr. 6: Odběrové proužky vřesovce a geotextílie a odběr jednoho proužku v průběhu prvního experimentu (foto Bláha a Šetlíková, 2014).

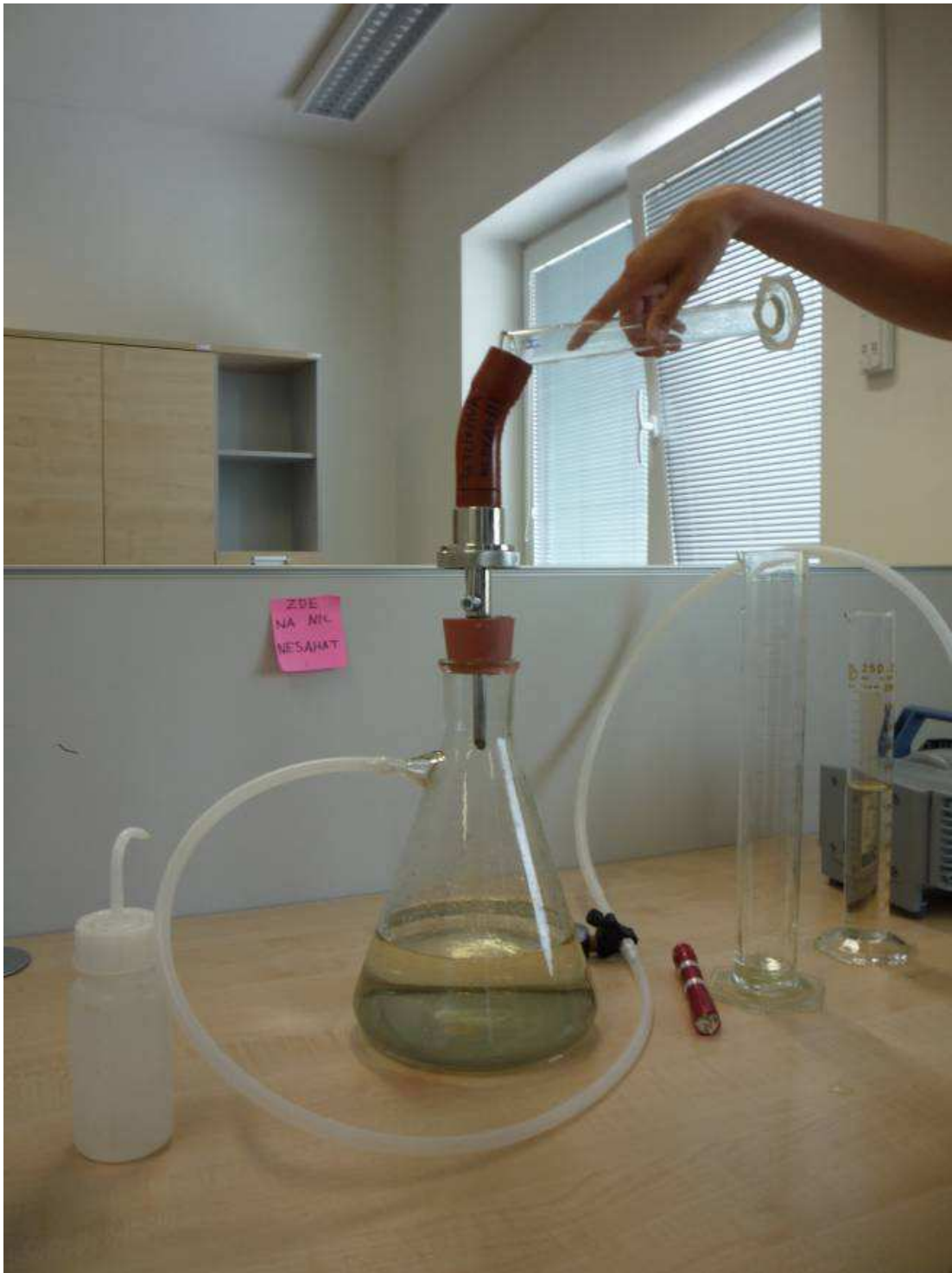
3.2 Odběry a zpracování vzorků fytoplanktonu

Metodika odběrů vzorků fytoplanktonu (i perifytonu) v první a v druhé fázi pokusu byla stejná. Z každého rybníka bylo vždy odebráno 30 l vody z celého vodního sloupce, v několika náhodně zvolených místech pomocí Patalasova planktonního odběráku. Voda byla přefiltrována přes sítko (200 μm) do plastových láhví. Ihned po odebrání vzorků fytoplanktonu byla ve 3 podvzorcích z jednotlivých rybníků změřena okamžitá fluorescence chlorofylu (Ft) a kvantový výtěžek (QY) v modrém i červeném světle při 680 nm a 720 nm pomocí přístroje AquaPen AP 100 (obr. 7).



Obr. 7: Měření fluorescence pomocí AquaPen AP 100 (foto Chadtová, 2014).

Známý objem vzorků fytoplanktonu (140– 1500 ml) byl zfiltrován přes filtr ze skleněných vláken (Whatman GF/C, velikost pórů: 0,1-0,2 μm) ve vakuové filtrační aparatuře (max. tlak 20 kPa) (obr. 8 a 9). Polovina vzorků fytoplanktonu na filtru byla usušena při 85 °C (DW) do konstatní hmotnosti a druhá část vzorků fytoplanktonu na filtru byla uložena na silikagel do – 20 °C.



Obr. 8: Vakuová filtrační aparatura (foto Šetlíková, 2014).



Obr. 9: Filtr se vzorkem fytoplanktonu (foto Šetlíková, 2014).

3.3 Stanovení chl-a spektrofotometricky

Přibližně po dvou týdnech od odběru byla ve fytoplanktonu stanovena koncentrace chlorofylu-a spektrofotometrickou metodou dle Lorenzena (1967). Skleněné filtry s filtrátem (fytoplanktonem) byly nastříhány a vloženy do zkumavek. Do každé zkumavky bylo přidáno 8 ml 90 % acetonu. Nastříhané filtry ve zkumavkách byly zhomogenizovány pomocí přístroje Heidolph typ RZR1. Poté jsme zkumavky obalili alobalem a nechali v lednici extrahovat po dobu 24 h.

Druhý den byl obsah zkumavek zcentrifugován (centrifuga GR 4-12 JOUAN) při otáčkách 3000 x g po dobu 10 minut. Po centrifugaci byla na spektrofotometru (Helios α) pomocí programu Vision 32 (na PC) změřena absorbance chl-a při dvou vlnových délkách (665 nm a 750 nm) před okyselením a po okyselení (tj. korekce koncentrace chl-a na rozkladné produkty). K okyselení vzorků byla použita 1 M HCl

(30 μ l do kyvety o objemu vzorku 3 ml). Koncentrace chl-a byla vypočtena podle vzorce: chlorofyl-a [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$] = $a*k*(A - A_a) \times (v/V)$

kde: a je absorbanční koeficient chlorofylu, k je konstanta (2,43), A je ($A_{665} - A_{750}$) absorbance před okyselením, A_a je ($A_{a665} - A_{a750}$) absorbance po okyselení, v je objem extraktu v mililitrech, V je objem zfiltrovaného vzorku v litrech.

3.4 Odběry a zpracování vzorků perifytonu

Z každého rybníka byl pomocí plastové roury (průměr 16 cm) odebrán pruh substrátu (obr. 6). U takto odebraného pruhu substrátu byla změřena délka ponořené části a vystřižen proužek o šířce cca 3 cm. Tento proužek byl předán do fotografické misky s 0,5 l vodovodní vody a mechanicky očištěn kartáčkem (obr. 10). Takto získaný vzorek perifytonu byl přelit přes sítko o velikosti ok 500 μm . Tím byl získán vzorek perifytonu, u kterého byly na přístroji AquaPen AP 100 změřeny stejné fotosyntetické parametry jako u fytoplanktonu. Známý objem vzorků perifytonu (10 – 50 ml) byl zfiltrován a byla stanovena jeho sušina (DW) při teplotě 85 $^{\circ}\text{C}$. U perifytonu byl kromě sušiny stanoven i obsah organické hmoty (resp. popela) jeho spálením při teplotě 550 $^{\circ}\text{C}$ (AFDW). Obsah organické hmoty byl vztažen na zjištěnou plochu odebraného proužku obou typů substrátů. Plocha substrátů byla v prvním odběru mechanicky spočítána. Geotextílie jako klasická plocha obdélníku (šířka x délka vystřiženého proužku). Plocha vřesovce byla stanovena v několika podvzorcích, kdy bylo dané množství substrátu (suchá hmotnost) rozebráno na jednotlivé větvičky (kužele) a byla spočtena jejich plocha podle vzorce plochy válce. V dalších odběrech byla stanovována plocha obou substrátů pouze na základě hmotností proužků z daného odběru a spočítaných ploch z prvního odběru ($1\text{g} = 132,9\text{ cm}^2$ pro vřesovec a $1\text{g} = 206,4\text{ cm}^2$) pro geotextílii.

Pomocí AFDW mohl být spočítán autotrofní index perifytonu **dle vzorce:**

$$\text{AI} = \text{AFDW} [\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}] / \text{chlorofyl-a} [\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}].$$

Z důvodů ucpávání filtru dalšími složkami perifytonu nemohla být stanovena koncentrace chlorofylu-a přímo v perifytonu. Byla stanovena podle rovnice závislosti mezi námi naměřenými hodnotami koncentrací chlorofylu-a a jeho celkovou

fluorescencí fytoplanktonu (součet fluorescence na modrém a červeném světle (viz výsledky).

Chlorofyl-a [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]= $0,024\cdot(\text{celková fluorescence perifytonu} / 2000)$

Chlorofyl-a [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$] byl převeden na chlorofyl-a [$\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$], aby mohl být spočítán autotrofní index.

Chlorofyl-a [$\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$]= $(\text{chlorofyl-a} [\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}]/\text{plocha proužku} [\text{m}^2])/10000$



Obr. 10: Mechanické očišťování vzorku perifytonu z vřesovce (foto Šetlíková, 2014).

3.5 Chemické analýzy vody

Kvalita vody byla monitorována v laboratoři zaměstnanci na pokusnictví VÚHR Vodňanech ve stejných intervalech jako ostatní odběry. Při každém odběru vody pro chemické analýzy byla měřena hloubka vody v daném rybníce u výpusti a průhlednost vody pomocí Secchiho desky. Chemické analýzy vody (BSK_5 , ChSK_{Mn} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, TN, $\text{PO}_4\text{-P}$ a TP) byly prováděny podle metod Horáková *et al* (1989) a pH pomocí kapesního pH metru (WTW MultiLine P4 Probe). Po celou dobu obou fází pokusu byla automaticky měřena teplota vody v 1 metru od hladiny u výpustního zařízení v 1 hodinovém intervalu pomocí registračního teplotního snímače Minikin T. U každé varianty byla teplota vody měřena jen ve dvou rybnících z celkových čtyř.

3.6 Statistické hodnocení dat

Vliv různých substrátů (resp. přítomnosti potravní ryby v druhé fázi pokusu) (dále varianta) byl vyhodnocen hierarchickou ANOVA, přičemž varianta a termín odběru byly považovány za faktory s pevným efektem a rybník jako náhodný faktor. Rybník byl zároveň podřízen variantě. Vliv varianty byl považován za statisticky průkazný, když interakce mezi variantou a termínem odběru měla $p < 0,05$, resp. když Tukeyův test mnohonásobného porovnání mezi všemi variantami v daném termínu odběru měla $p < 0,05$. Normalita dat byla testována Kolmogorov-Smirnov testem a homogenita variance Bartlettovým testem (Zar, 1984) v programu Statistica 12. Pokud neměla data normální rozdělení, byla transformována (Box-Cox transformace, logaritmická příp. odmocninová transformace). Pokud neměla data normální rozdělení ani po jejich transformaci, byl pro porovnání variant použit Kruskal-Wallisův test nebo Mann-Whitneyův test pro srovnání charakteristik perifytonu na rohožích z vřesovce a geotextílii. Data, která měla normální rozdělení nebo se je transformací podařilo znormalizovat jsou prezentovány jako průměry spolu se směrodatnými odchylkami (S.D.). V případě nenormálních dat je uveden medián a variabilita jako kvartilové rozpětí. Závislosti mezi proměnnými byly testovány jednoduchou lineární regresí.

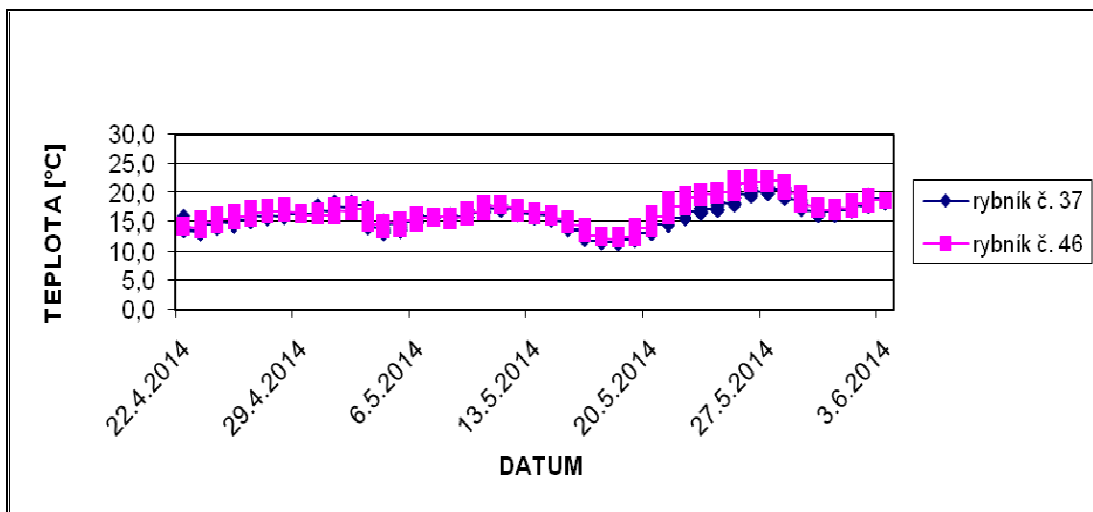
4 VÝSLEDKY

4.1 Fyzikální a chemická kvalita vody v první fázi experimentu

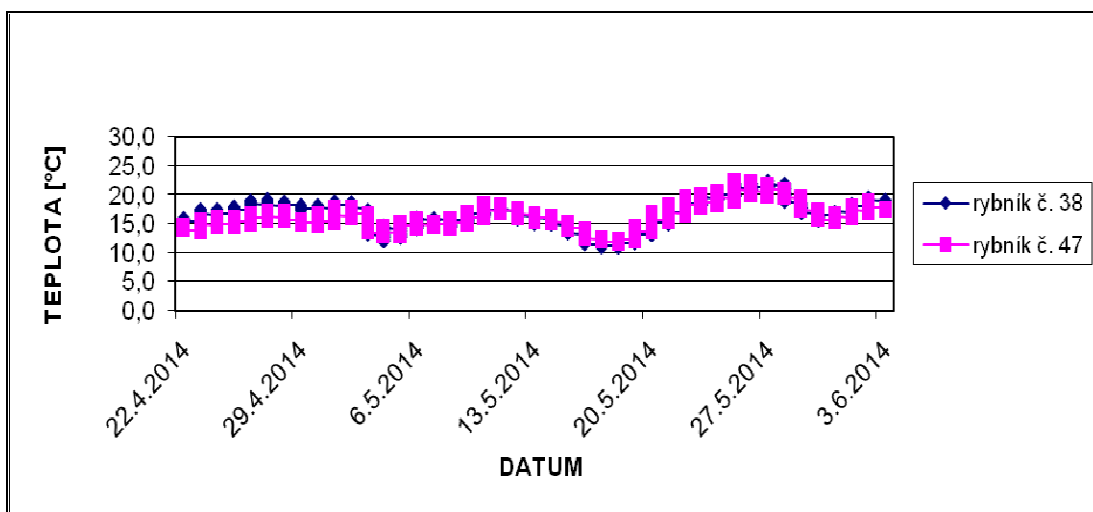
Teplota vody (obr. 11 až 13) se statisticky průkazně lišila ($H(2,N=6018) = 13,1$, $p = 0,001$) mezi jednotlivými variantami. Nejvyšší teplota vody byla naměřena v kontrolních rybnících. Teplota vody ve variantách se substráty byla srovnatelná (tab. 1). Průhlednost vody se v jednotlivých variantách lišila jen na začátku první fáze pokusu (22.4), kdy byla nejvyšší v rybnících s rohoží z vřesovce. V dalších dvou odběrech (12. 5. a 2. 6. 2014) byla průhlednost vody ve všech variantách již podobná (obr. 14). Hodnoty všech měřených hydrochemických parametrů (TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, TP $\text{PO}_4\text{-P}$) (obr. 15 až 20) byly srovnatelné ve všech třech testovaných variantách (tab. 1).

Tab. 1: Přehled hydrochemických parametrů vody (průměr \pm S.D.) v jednotlivých variantách první fáze pokusu ($n=12$). Rozdílné indexy v rámci řádku označují statisticky průkazně odlišné hodnoty ($p < 0,05$).

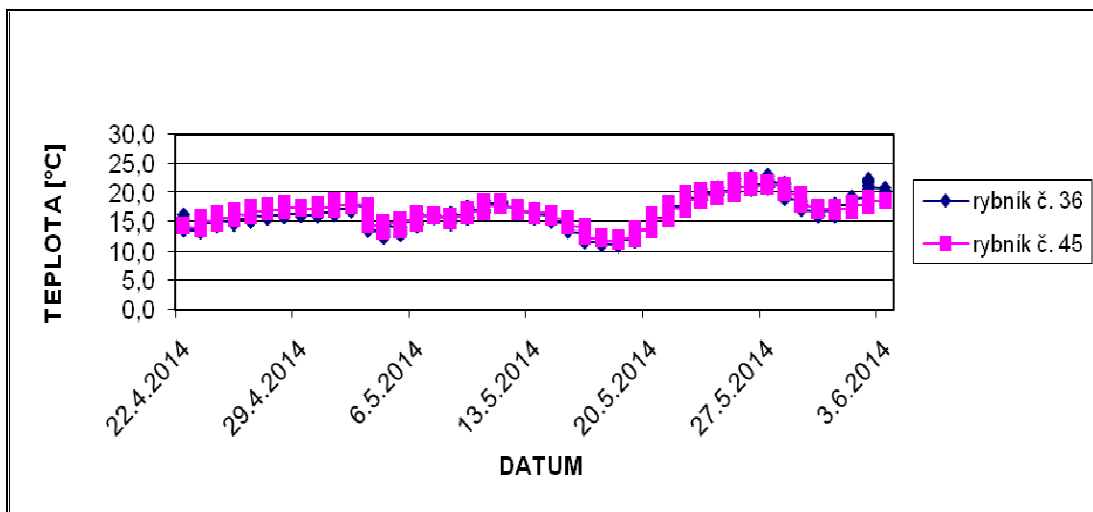
parametr/varianta	vřesovec (V)	geotextílie (G)	kontrola (K)
teplota vody [$^{\circ}\text{C}$]	$16,3 \pm 2,3^b$	$16,3 \pm 2,4^b$	$16,6 \pm 2,4^a$
průhlednost vody [cm]	125 ± 11^a	114 ± 20^a	120 ± 22^a
$\text{PO}_4\text{-P}$ [mg l^{-1}]	$0,044 \pm 0,026^a$	$0,067 \pm 0,091^a$	$0,058 \pm 0,041^a$
TP [mg l^{-1}]	$0,17 \pm 0,13^a$	$0,12 \pm 0,05^a$	$0,13 \pm 0,05^a$
$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg l^{-1}]	$0,47 \pm 0,74^a$	$0,16 \pm 0,09^a$	$0,52 \pm 0,86^a$
$\text{NO}_2\text{-N}$ [mg l^{-1}]	$0,018 \pm 0,027^a$	$0,018 \pm 0,015^a$	$0,016 \pm 0,013^a$
$\text{NO}_3\text{-N}$ [mg l^{-1}]	$0,13 \pm 0,07^a$	$0,18 \pm 0,13^a$	$0,11 \pm 0,05^a$
TN [mg l^{-1}]	$2,34 \pm 0,23^a$	$2,34 \pm 0,23^a$	$2,46 \pm 0,51^a$



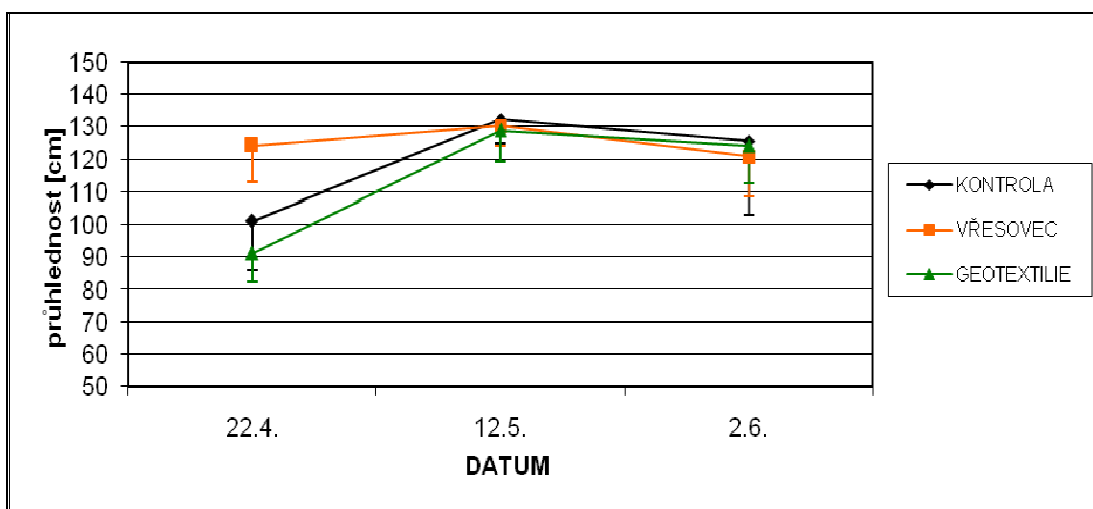
Obr. 11: Teplota vody ve variantě s vřesovcem (rybníky č. 37 a 46) v průběhu první fáze experimentu.



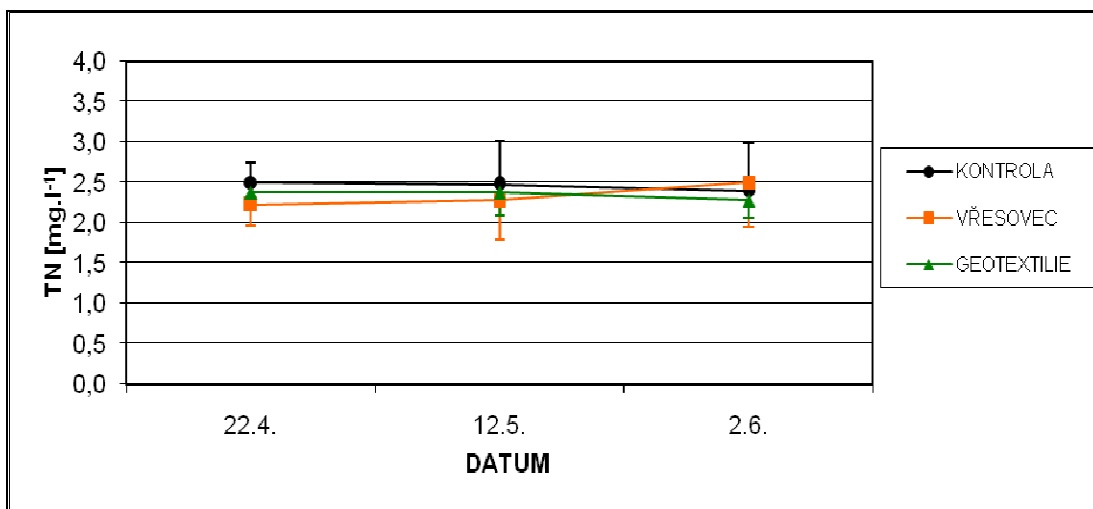
Obr. 12: Teplota vody ve variantě s geotextílií (rybníky č. 38 a 47) v průběhu první fáze experimentu.



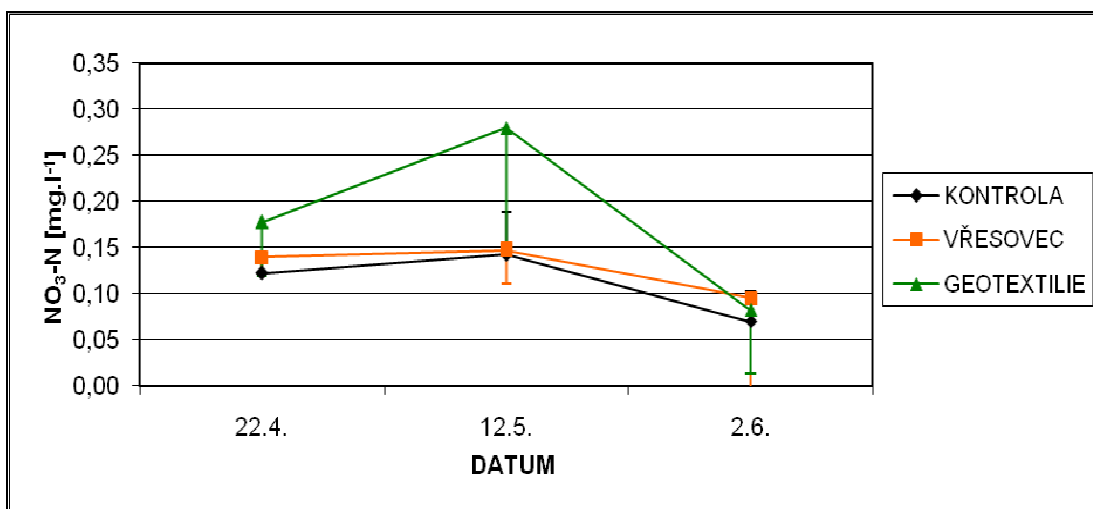
Obr. 13: Teplota vody v kontrole (rybníky č. 36 a 45) v průběhu první fáze experimentu.



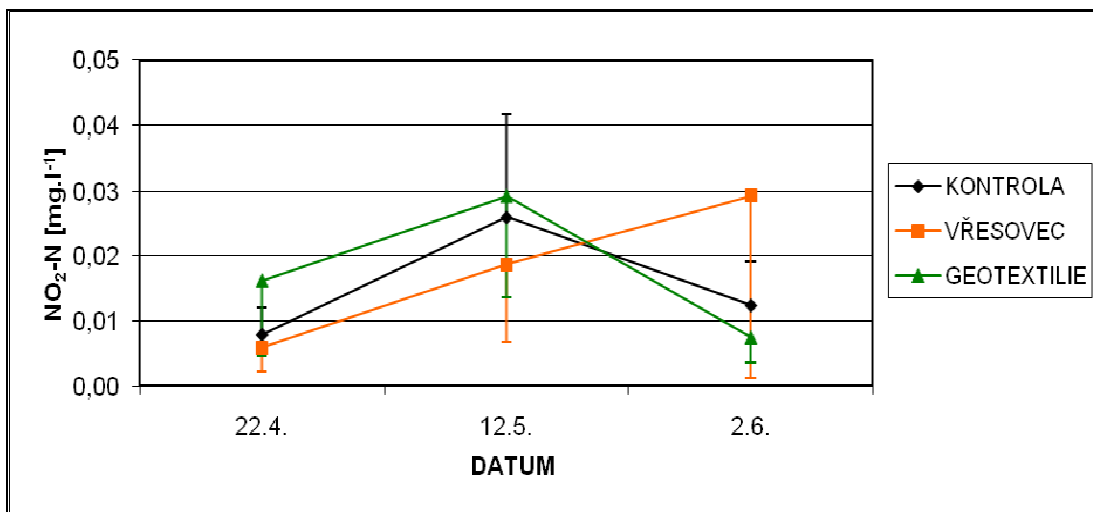
Obr. 14: Průměrná průhlednost vody (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



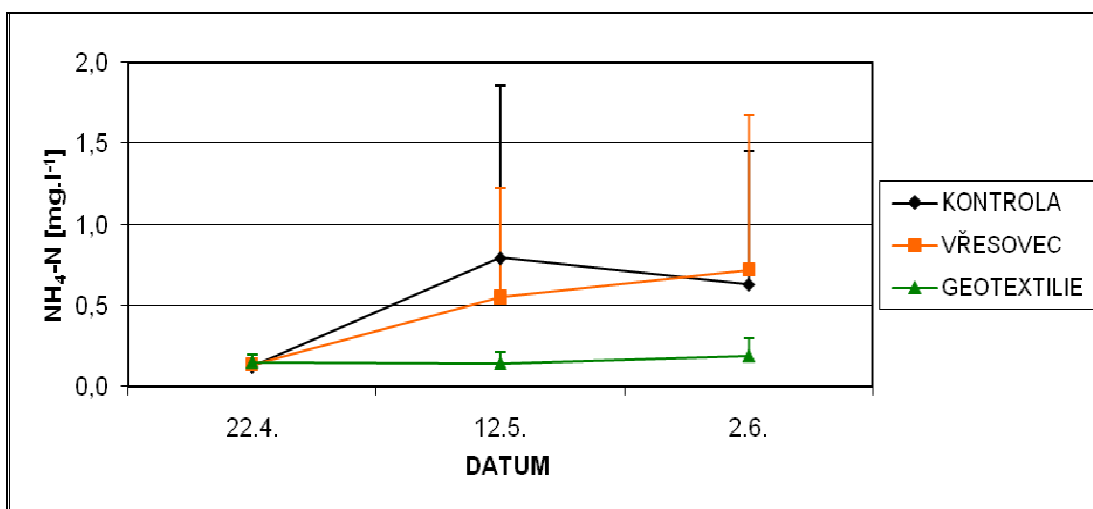
Obr. 15: Průměrné hodnoty celkového dusíku (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



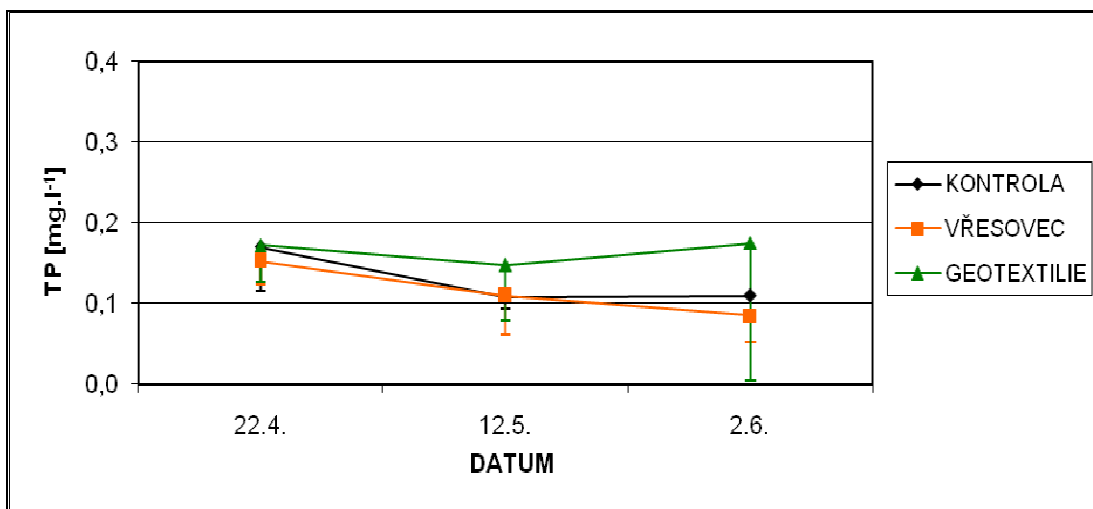
Obr. 16: Průměrné hodnoty dusičnanů (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



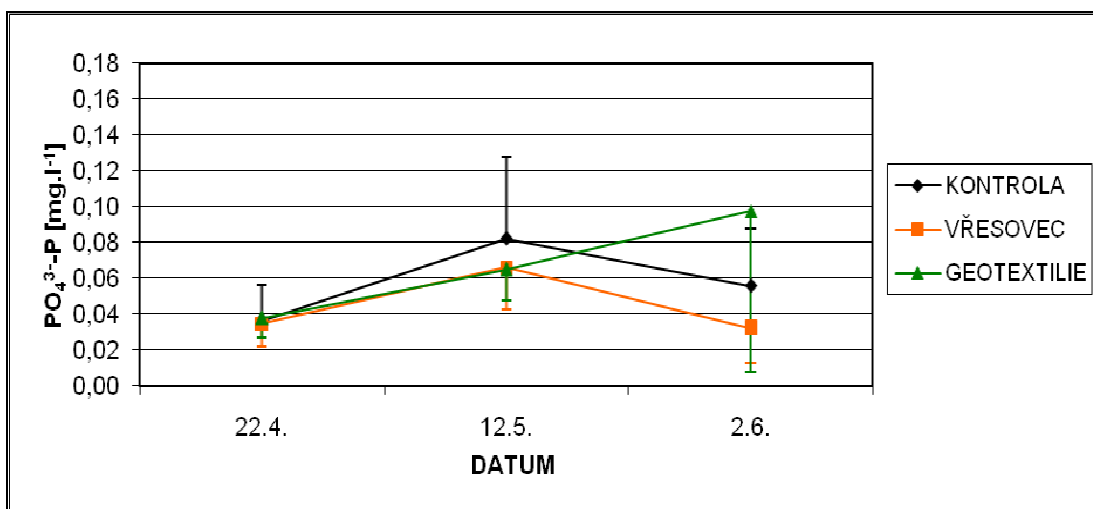
Obr. 17: Průměrné hodnoty dusitanů (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



Obr. 18: Průměrné hodnoty amoniakálního dusíku (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



Obr. 19: Průměrné hodnoty celkového fosforu (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



Obr. 20: Průměrné hodnoty fosforečnanů (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.

4.2 Charakteristika fytoplanktonu v první fázi experimentu

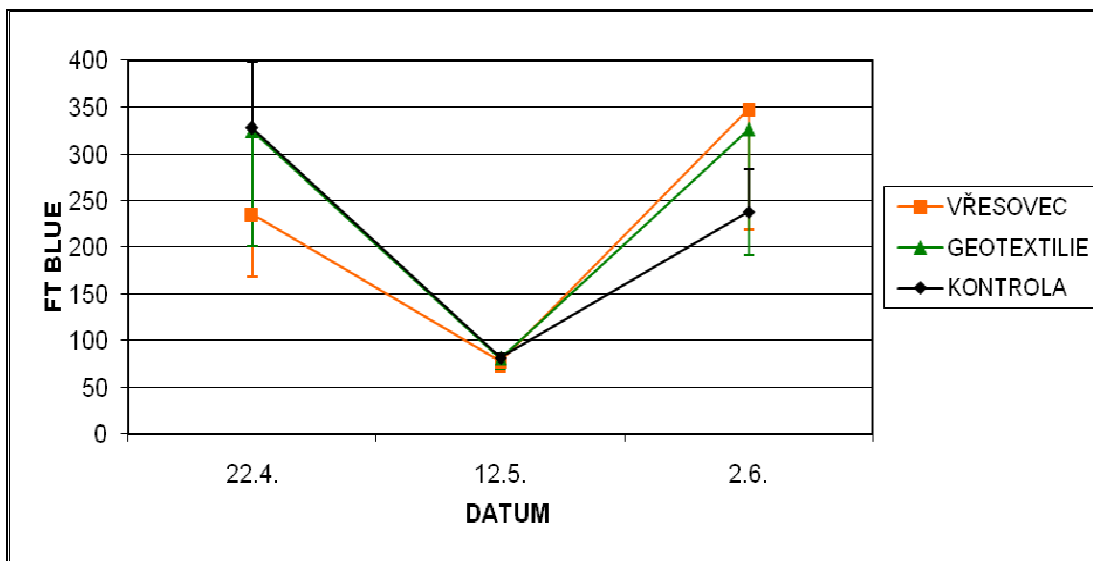
Fluorescence fytoplanktonu v modrém a červeném světle a jeho kvantový výtěžek v modrém světle se v jednotlivých termínech odběru statisticky průkazně nelišily v jednotlivých variantách (tab. 2). Zpočátku převažovaly zelené řasy absorbující v modré části spektra (22.4.), ale poté nastalo tzv. stadium „clear water“ (12.5.), po kterém se opět rozvinuly řasy i sinice (2.6.) (obr. 21 a 22). Kvantové výtěžky v červeném světle byly v prvních dvou odběrech pod hranicí detekce (obr. 24). Podíl fluorescence v modrém světle na celkové fluorescenci se měnil v průběhu pokusu (obr. 23), ale v daném odběru byl vždy srovnatelný ve všech variantách ($82 \pm 7 \%$). Podíl řas ve fytoplanktonu absorbujících v modrém světle byl vyšší než jejich podíl v perifytonu ($72 \pm 9 \%$) tzn., že podíl sinic v perifytonu byl vyšší než ve fytoplanktonu.

Koncentrace chl-a a sušina fytoplanktonu (DW) (obr. 25 a 26) se v jednotlivých variantách v jednotlivých termínech odběru statisticky průkazně nelišily (tab. 2). Fluorescence, kvantové výtěžky, koncentrace chlorofylu-a i sušiny fytoplanktonu samozřejmě sledovaly určitou časovou dynamiku, která byla však obdobná ve všech variantách.

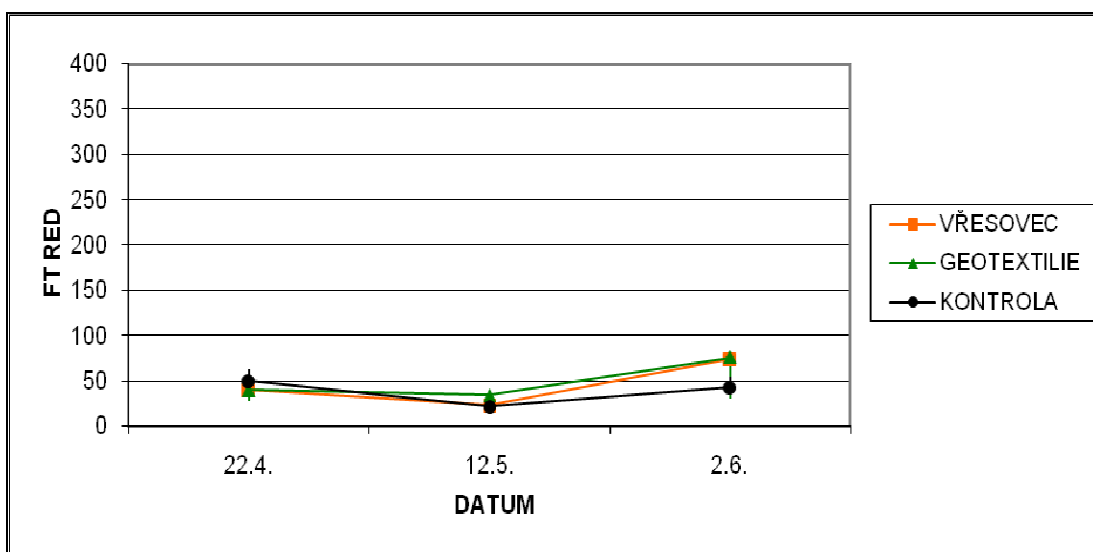
Tab. 2: Kvantitativní charakteristika fytoplanktonu (průměr \pm S.D.) v jednotlivých variantách první fáze pokusu (n = 12). Rozdílné indexy v rámci řádku označují statisticky průkazně odlišné hodnoty ($p < 0,05$).

parametr/varianta	vřesovec (V)	geotextílie (G)	kontrola (K)
[chl-a] [mg m^{-3}]	$9 \pm 9,6^a$	$9 \pm 11,1^a$	$12 \pm 15,8^a$
DW [g m^{-3}]	$4,7 \pm 2,2^a$	$3,8 \pm 2,0^a$	$4,2 \pm 2,8^a$
Ft blue	221 ± 146^a	244 ± 164^a	216 ± 118^a
Ft red	46 ± 31^a	50 ± 36^a	38 ± 17^a
Σ Ft	266 ± 175^a	294 ± 190^a	254 ± 134^a
QY blue	$0,16 \pm 0,13^a$	$0,13 \pm 0,12^a$	$0,15 \pm 0,13^a$

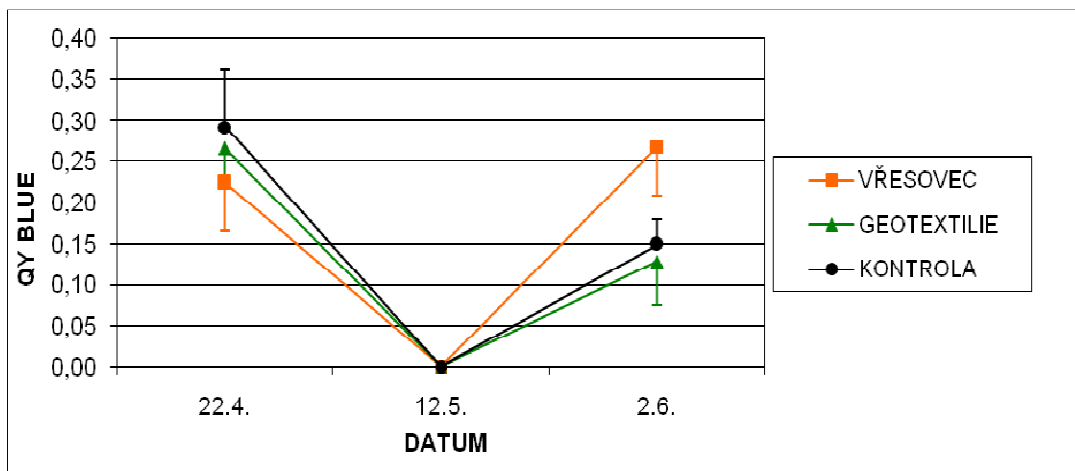
..



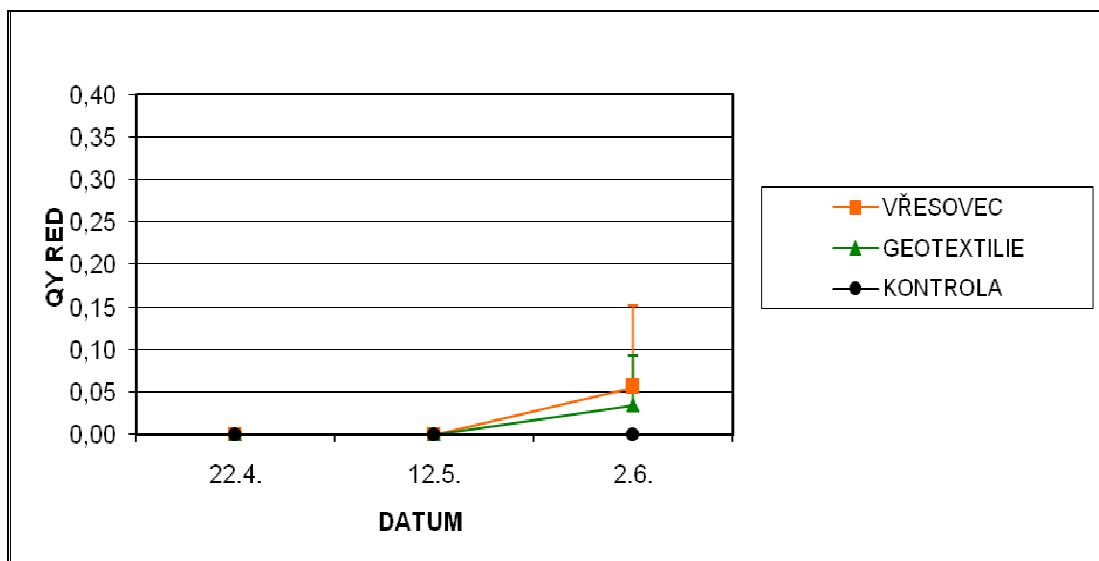
Obr. 21: Průměrná fluorescence (\pm S.D.) fytoplanktonu v modrém světle (Ft blue) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



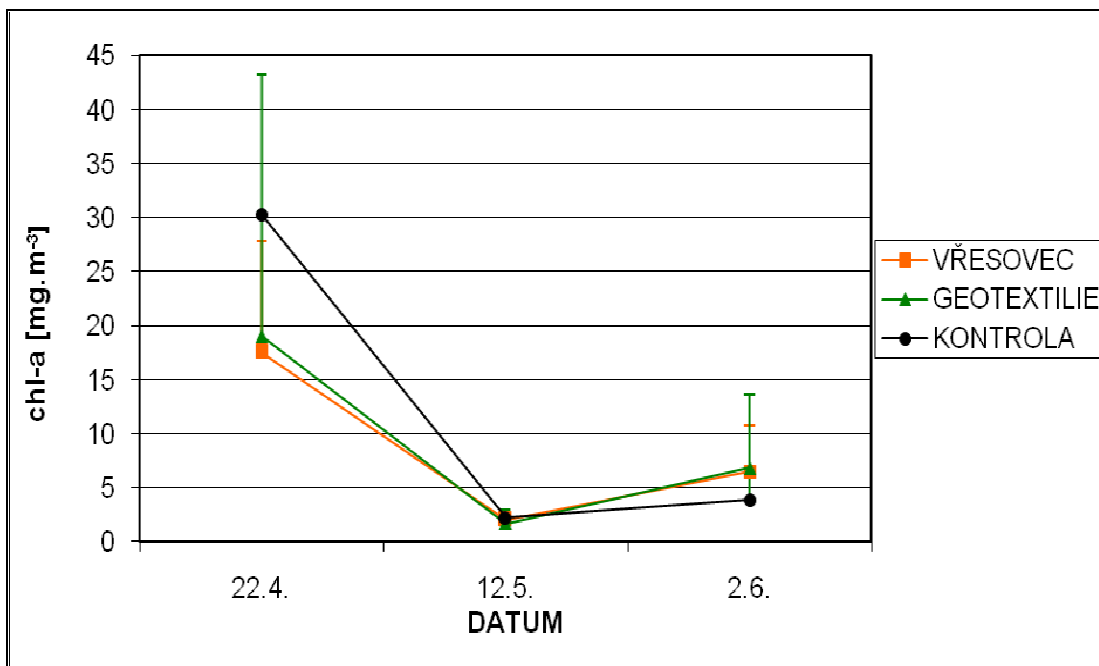
Obr. 22: : Průměrná fluorescence (\pm S.D.) fytoplanktonu v červeném světle (Ft red) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



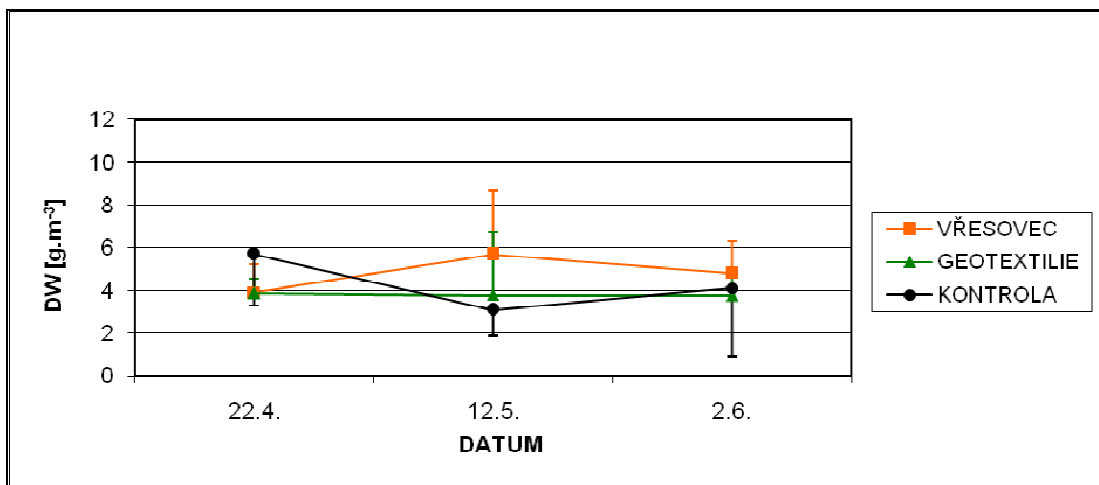
Obr. 23: Průměrný kvantový výtěžek (\pm S.D.) fytoplanktonu v modrém světle (QY blue) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



Obr. 24: Průměrný kvantový výtěžek (\pm S.D.) fytoplanktonu v červeném světle (QY red) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



Obr. 25: Průměrné koncentrace chlorofylu-a ve fytoplanktonu (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.



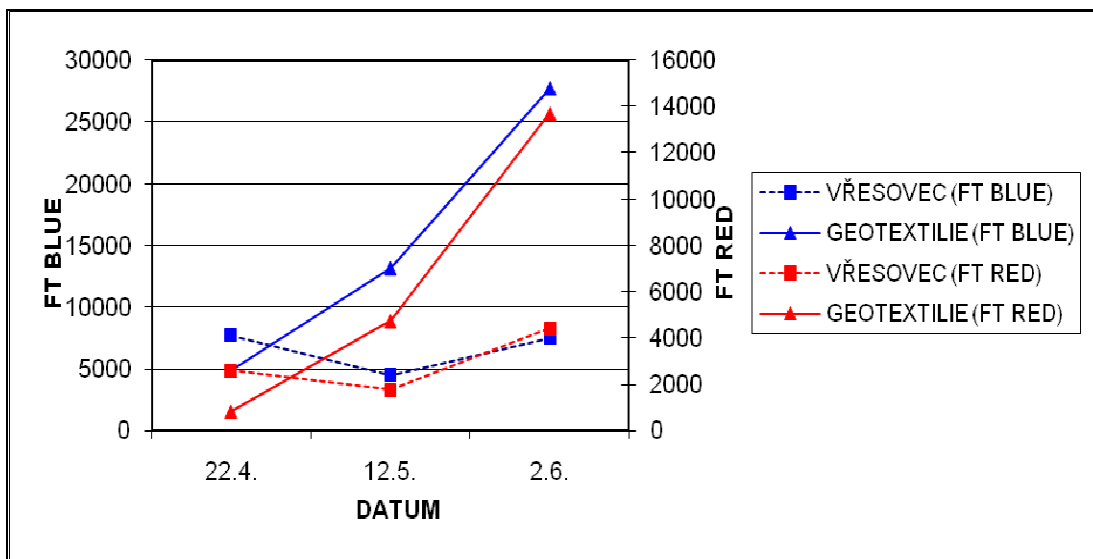
Obr. 26: Průměrné množství sušiny (DW) [g.m⁻³] ve fytoplanktonu (\pm S.D.) v jednotlivých variantách (n=12) v průběhu první fáze experimentu.

4.3 Charakteristika perifytonu v první fázi experimentu

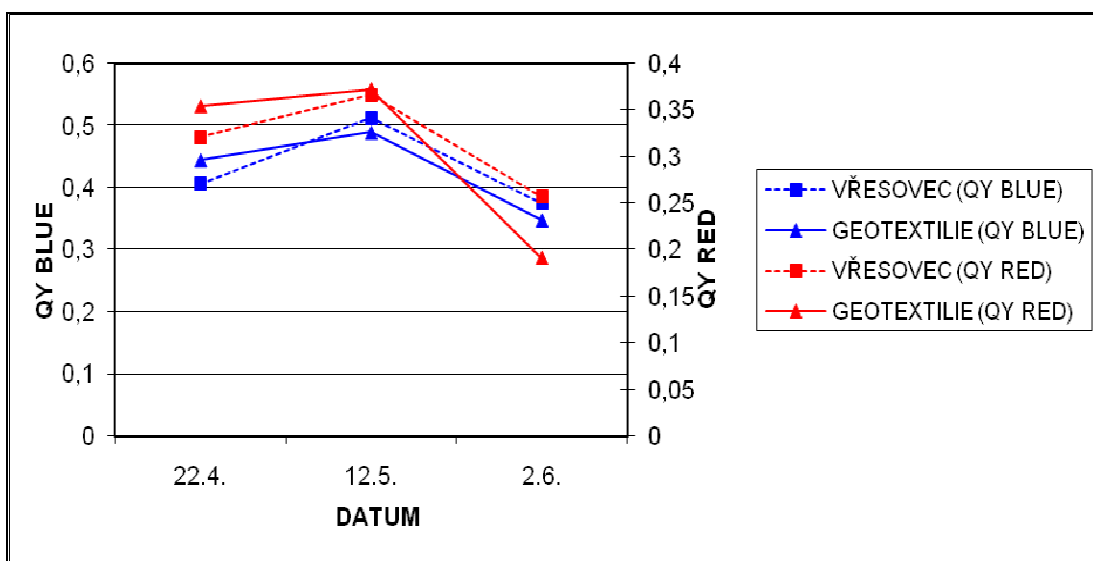
Celková fluorescence perifytonu byla statisticky průkazně nižší na vřesovci než na geotextílii ($F(4,12)=14,2$; $p=0,0002$) (tab. 3). Na vřesovci se hodnota celkové fluorescence v průběhu pokusu téměř neměnila, zatímco fluorescence perifytonu na geotextílii v průběhu pokusu rostla (obr. 27 a 28). Tento časový trend sledovala i sušina perifytonu (obr. 29). Kvantové výtěžky (obr. 28) se statisticky průkazně na jednotlivých substrátech nelišily (tab. 3). Sušina (obr. 29) ani bezpopelná sušina perifytonu (obr. 30) na jednotku plochy se na vřesovci a geotextílii taktéž statisticky průkazně nelišily ($DW: F(4,12) = 1,0$; $p = 0,42$ a $AFDW: Z = 1,8$; $p = 0,08$) (tab. 3). Podíl organické hmoty mezi substráty se také statisticky průkazně nelišil (tab. 3). Celkově byl autotrofní index perifytonu na vřesovci (4871 ± 2154) po celou dobu o řád vyšší než na geotextílii (525 ± 330) (obr. 41). V první fázi experimentu došlo zpočátku (12.5.) k výraznému vzrůstu autotrofního indexu perifytonu na vřesovci (obr. 31). Hodnoty autotrofního indexu u perifytonu geotextílie se v průběhu času výrazně neměnily.

Tab. 3: Kvantitativní charakteristika perifytonu (průměr \pm S.D.) v jednotlivých variantách první fáze pokusu ($n = 12$). Rozdílné indexy v rámci řádku označují statisticky průkazně odlišné hodnoty ($p < 0,05$).

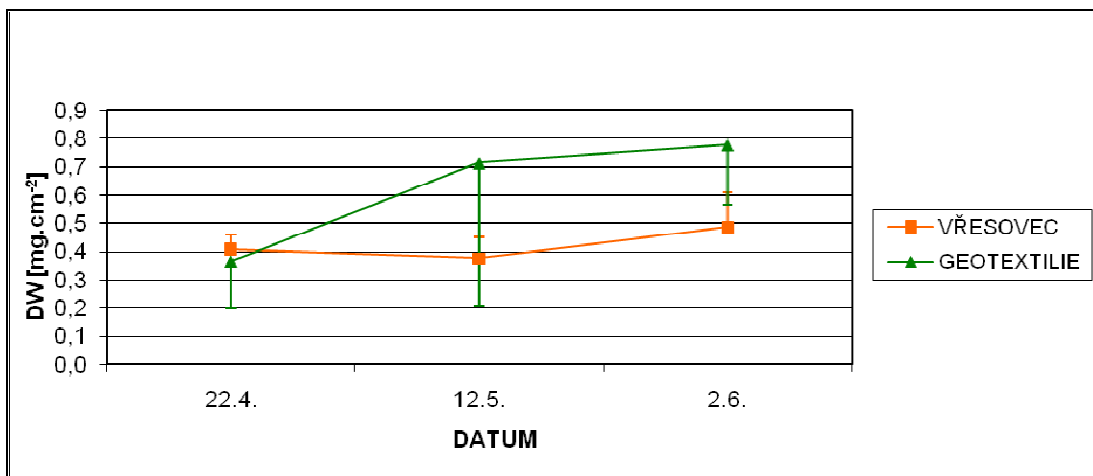
parametr/varianta	vřesovec (V)	geotextílie (G)
AI	4871 ± 2154^a	525 ± 330^b
DW [mg m^{-2}]	$0,42 \pm 0,10^a$	$0,62 \pm 0,39^a$
AFDW [mg m^{-2}]	$0,18 (0,12)^a$	$0,30 (0,33)^a$
popel [%]	47 ± 12^a	57 ± 15^a
Ft blue	6561 ± 2797^b	15215 ± 11359^a
Ft red	2916 ± 1562^b	6415 ± 6290^a
\sum Ft	9477 ± 3861^b	21630 ± 17481^a
QY blue	$0,43 \pm 0,08^a$	$0,43 \pm 0,11^a$
QY red	$0,31 \pm 0,07^a$	$0,31 \pm 0,11^a$



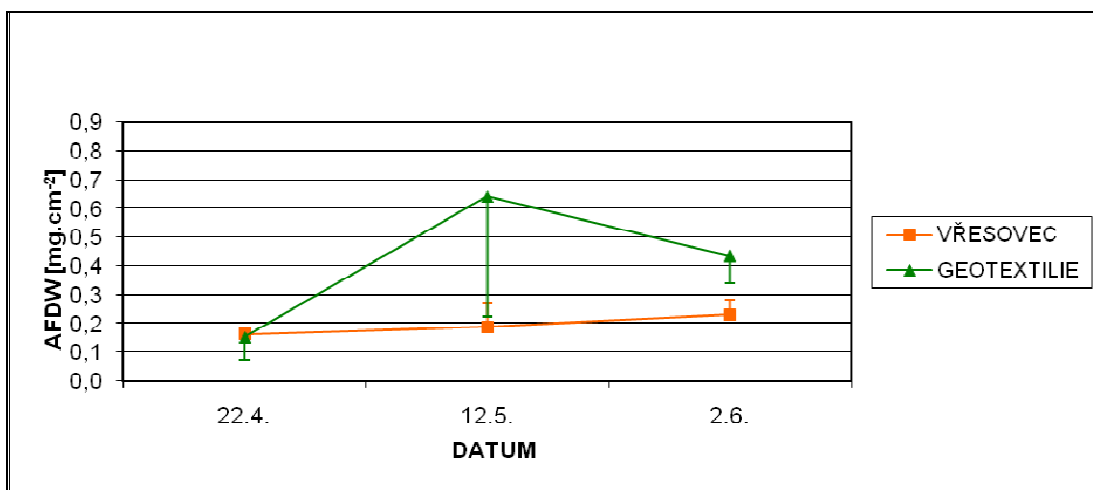
Obr. 27: Průměrné fluorescence perifytonu v modrém (Ft blue) a červeném světle (Ft red) na vřesovci a geotextílii (n=8) v průběhu první fáze experimentu.



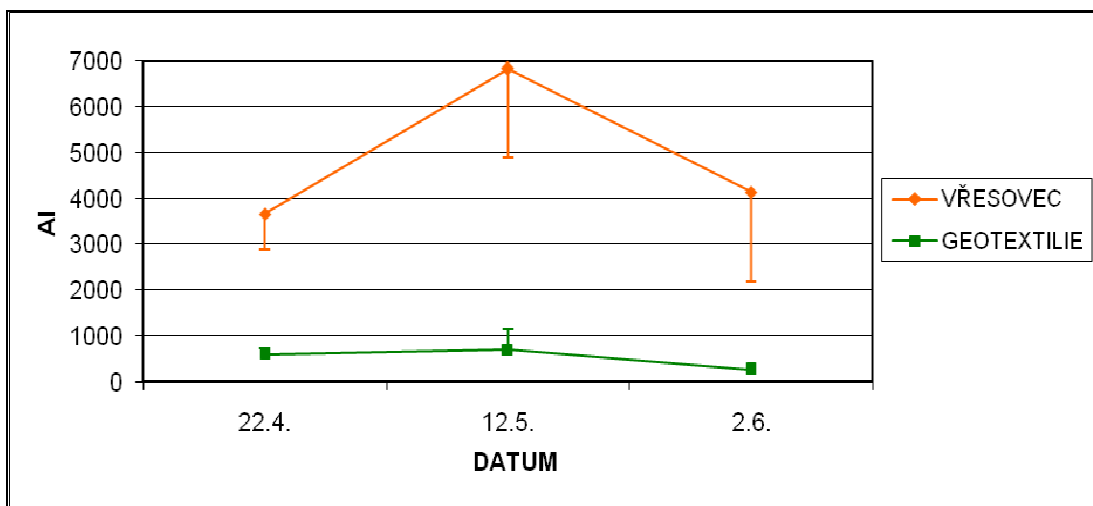
Obr. 28: Průměrný kvantový výtěžek perifytonu v modrém světle (QY blue) a červeném světle (QY red) na vřesovci a geotextílii (n=8) v průběhu první fáze experimentu.



Obr. 29: Průměrné množství sušiny (DW) (\pm S.D.) v perifytonu na vřesovci a geotextílii (n=8) v průběhu první fáze experimentu.



Obr. 30: Průměrné množství bezpopelné sušiny (AFDW) (\pm S.D.) v perifytonu na vřesovci a geotextílii (n=8) v průběhu první fáze experimentu.



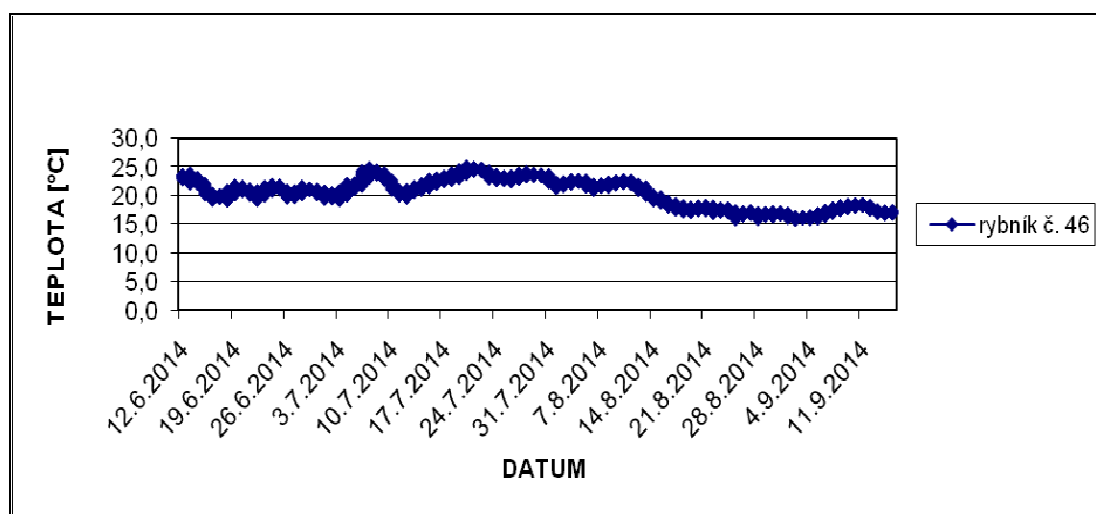
Obr. 31: Průměrné hodnoty autotrofního indexu (\pm S.D.) na vřesovci a geotextílii ($n=8$) v průběhu první fáze experimentu.

4.4 Fyzikální a chemická kvalita vody v druhé fázi experimentu

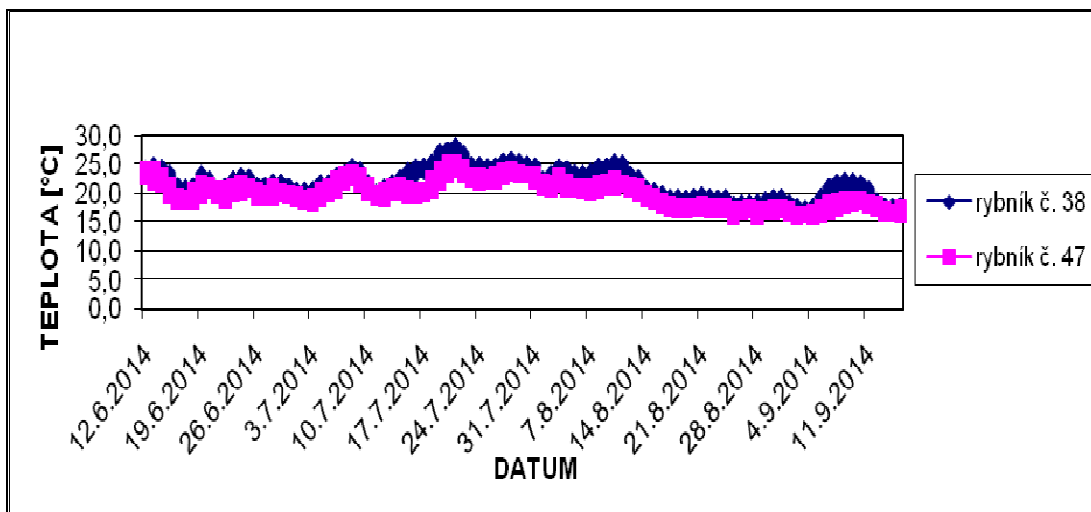
Teplota vody byla ve variantě se substrátem vřesovce a v kontrolní variantě srovnatelná (obr. 32 a 33). Průhlednost vody se v kontrolní variantě a variantě se substrátem z vřesovce nelišila (obr. 34), stejně tak podobné byly i hodnoty všech měřených hydrochemických parametrů ve všech variantách (tab. 4). Většina z nich (TN, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, TP PO₄-P) se však lišila v jednotlivých rybnících, což je důvodem větší variability uvnitř jednotlivých variant (obr. 35 až 40).

Tab. 4: Přehled hydrochemických parametrů vody (průměr ± S.D.) na vřesovci a geotextílii druhé fáze pokusu (n=8). Rozdílné indexy v rámci řádku označují statisticky průkazně odlišné hodnoty ($p < 0,05$).

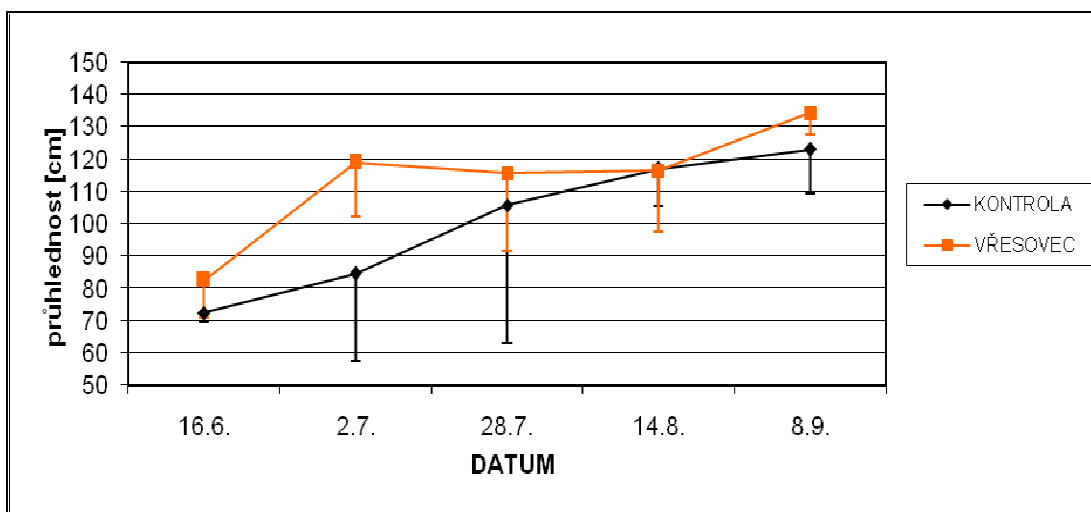
parametr/varianta	vřesovec (V)	kontrola (K)
teplota vody [°C]	$20,4 \pm 2,5^b$	$20,6 \pm 2,5^b$
průhlednost vody [cm]	113 ± 24^a	100 ± 31^a
PO ₄ -P [mg l ⁻¹]	$0,051 \pm 0,038^a$	$0,079 \pm 0,110^a$
TP [mg l ⁻¹]	$0,10 \pm 0,04^a$	$0,16 \pm 0,15^a$
NH ₄ -N [mg l ⁻¹]	$0,33 \pm 0,34^a$	$0,29 \pm 0,11^a$
NO ₂ -N [mg l ⁻¹]	$0,012 \pm 0,022^a$	$0,009 \pm 0,009^a$
NO ₃ -N [mg l ⁻¹]	$0,17 \pm 0,15^a$	$0,16 \pm 0,10^a$
TN [mg l ⁻¹]	$2,75 \pm 0,76^a$	$2,88 \pm 0,69^a$



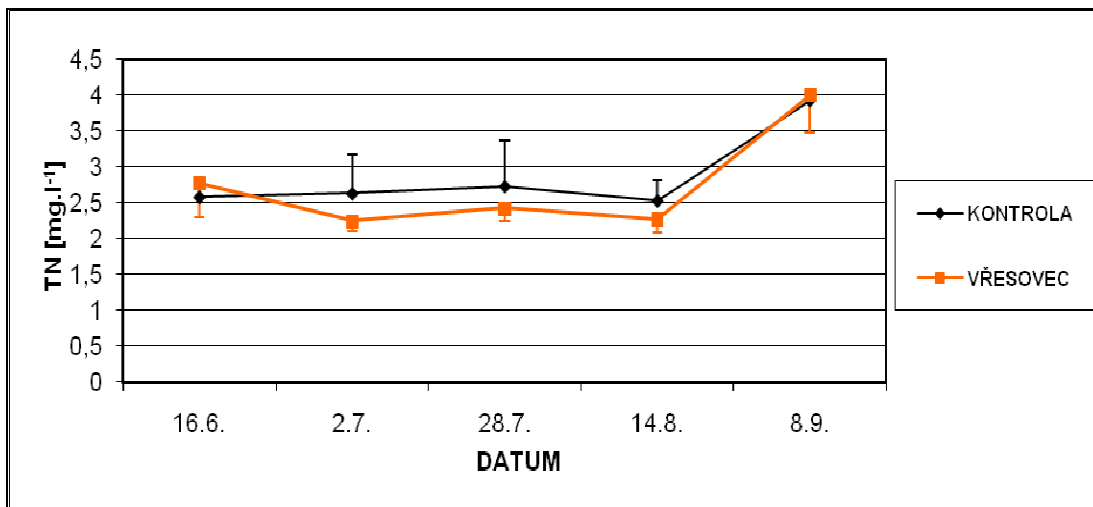
Obr. 32: Teplota vody ve variantě s vřesovcem (rybník č. 46) v průběhu druhé fáze experimentu.



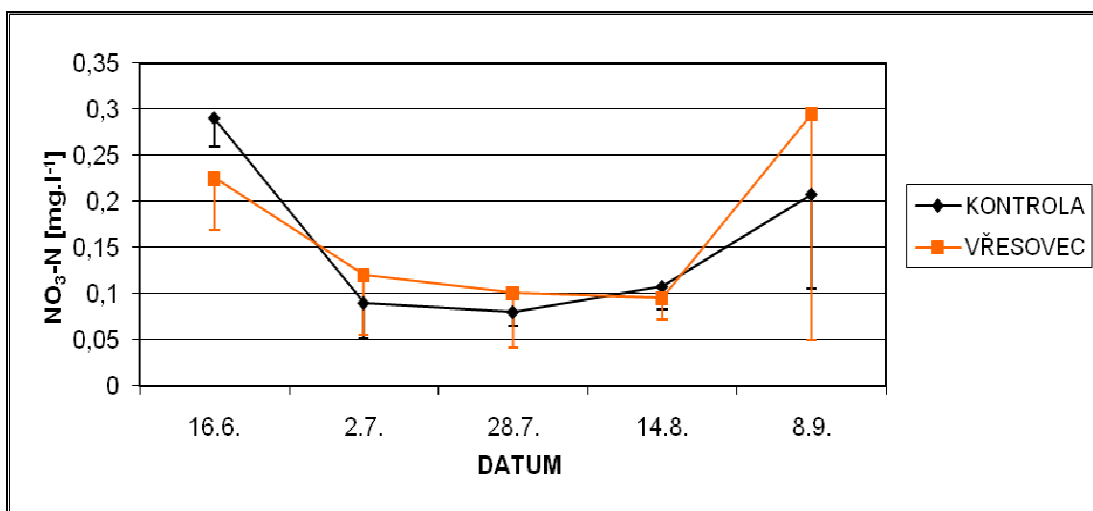
Obr. 33: Teplota vody v kontrole (rybníky č. 38 a 47) v průběhu druhé fáze experimentu.



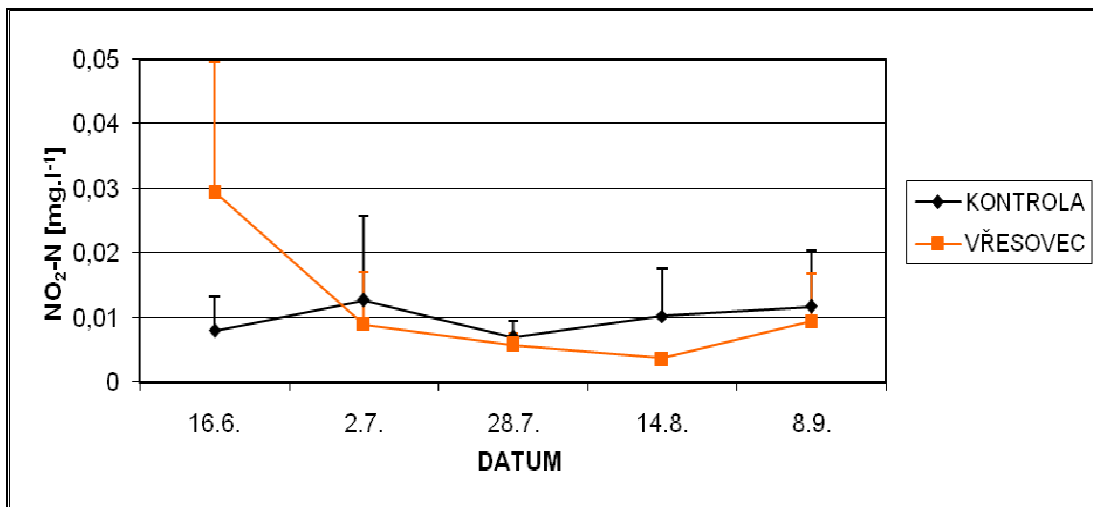
Obr. 34: Průměrná průhlednost vody (\pm S.D.) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



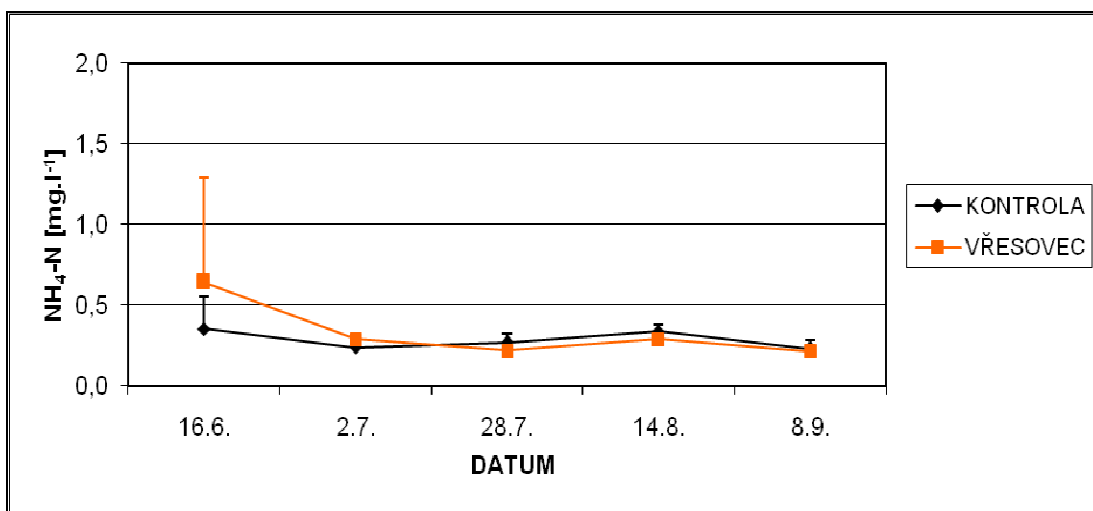
Obr. 35: Průměrné hodnoty celkového dusíku (\pm S.D.) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



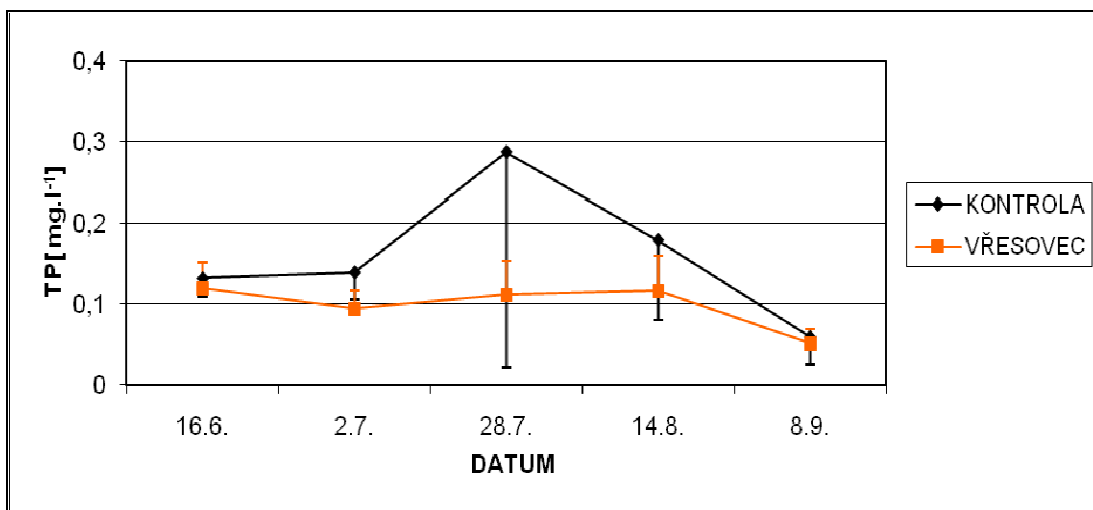
Obr. 36: Průměrné hodnoty dusičnanů (\pm S.D.) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



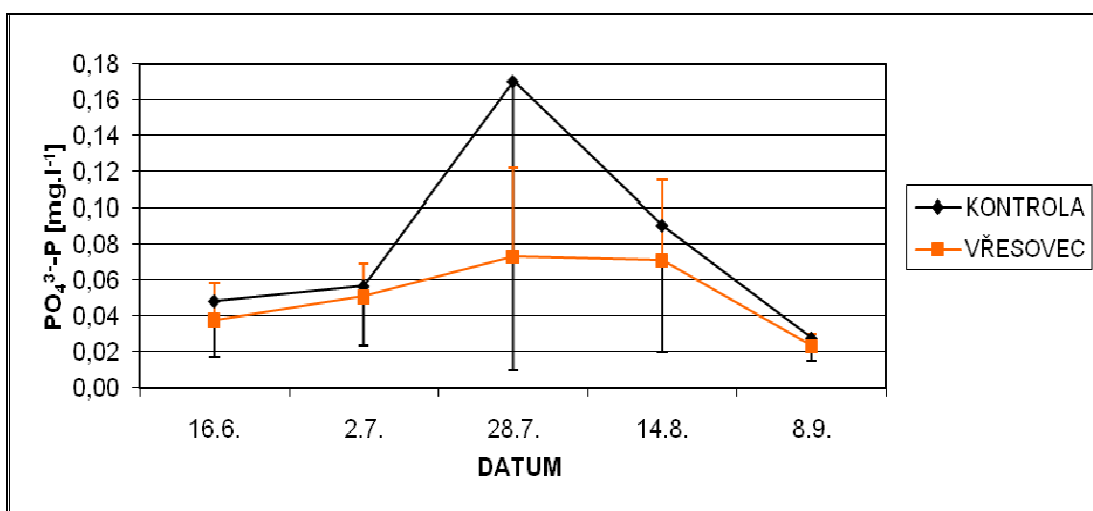
Obr. 37: Průměrné hodnoty dusitanů (\pm S.D.) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



Obr. 38: Průměrné hodnoty amoniakálního dusíku (\pm S.D.) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



Obr. 39: Průměrné hodnoty celkového fosforu (\pm S.D.) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



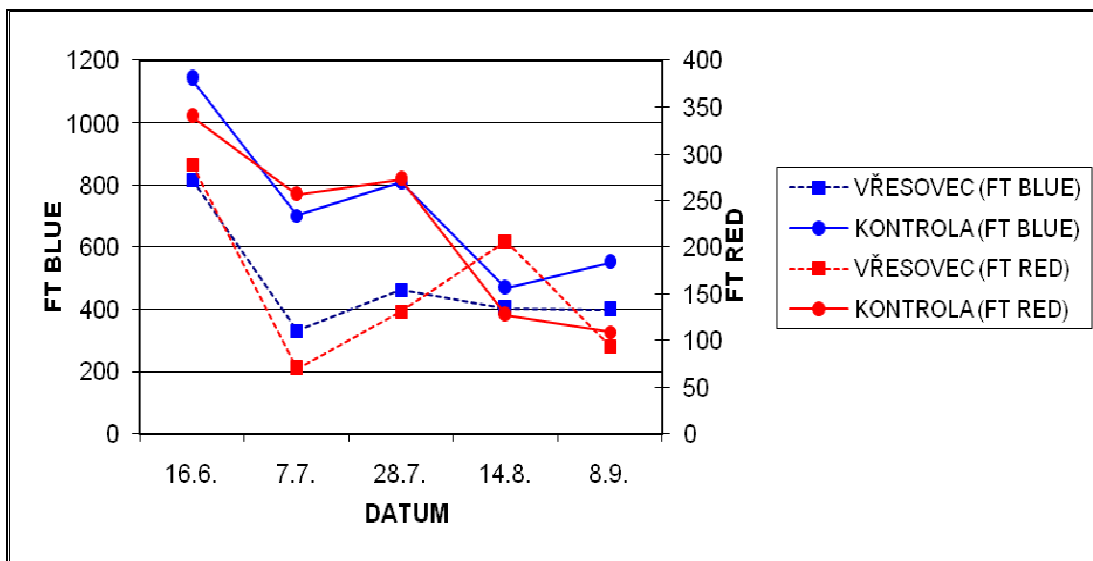
Obr. 40: Průměrné hodnoty fosforečnanů (\pm S.D.) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.

4.5 Charakteristika fytoplanktonu v druhé fázi experimentu

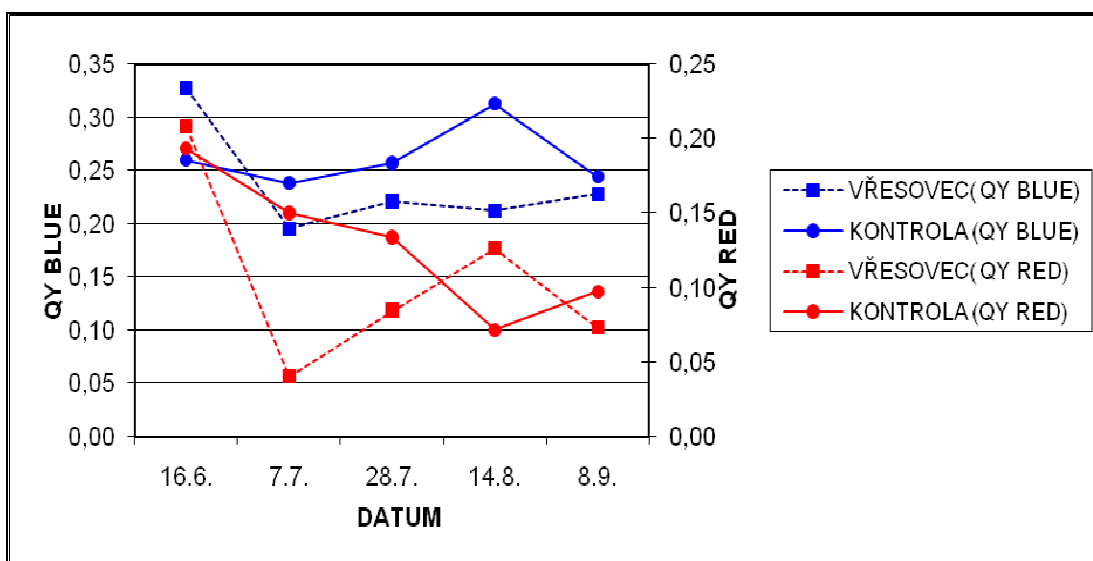
Žádný z měřených kvantitativních charakteristik fytoplanktonu tj. koncentrace chl-a (obr. 43), sušina fytoplanktonu (obr. 44), fluorescence (obr. 41) a kvantové výtěžky v modré a červeném světle (obr. 42) se v jednotlivých termínech odběru statisticky průkazně nelišily v jednotlivých variantách, měnily se pouze v čase (tab. 5). Podíl fluorescence v modrém světle na celkové fluorescenci ($78 \pm 7 \%$) byl srovnatelný ve všech variantách.

Tab. 5: Kvantitativní charakteristika fytoplanktonu (průměr \pm S.D.) v jednotlivých variantách druhé fáze pokusu ($n = 8$). Rozdílné indexy v rámci řádku označují statisticky průkazně odlišné hodnoty ($p < 0,05$).

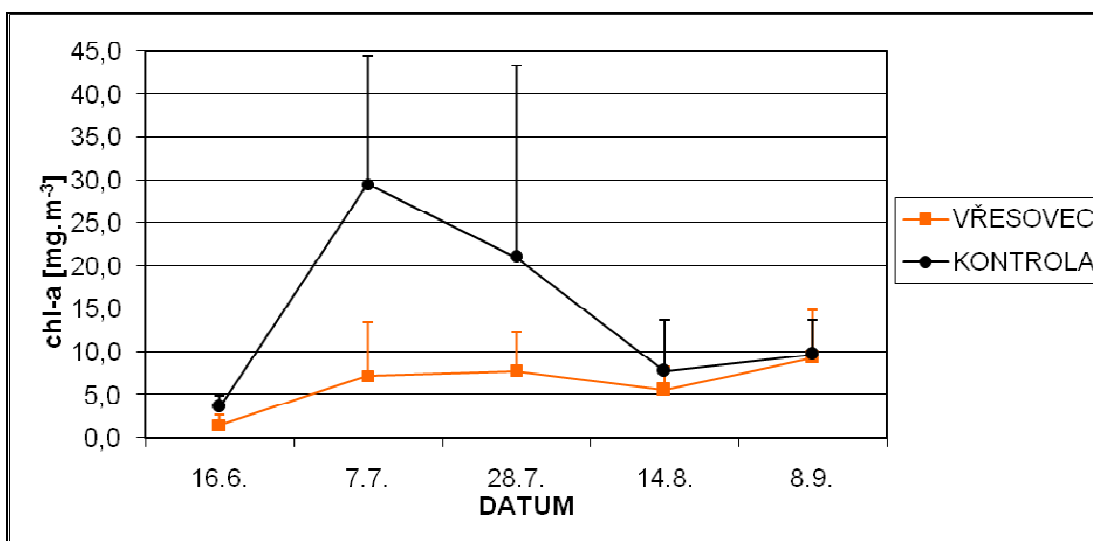
parametr/varianta	vřesovec (V)	kontrola (K)
[chl-a] [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]	$6 \pm 5,3^a$	$14 \pm 17,9^a$
DW [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]	$4,7 \pm 2,8^a$	$8,2 \pm 6,1^a$
Ft blue	483 ± 243^a	735 ± 471^a
Ft red	147 ± 112^a	221 ± 207^a
Σ Ft	630 ± 345^a	956 ± 659^a
QY blue	$0,24 \pm 0,09^a$	$0,26 \pm 0,08^a$
QY red	$0,11 \pm 0,10^a$	$0,12 \pm 0,11^a$



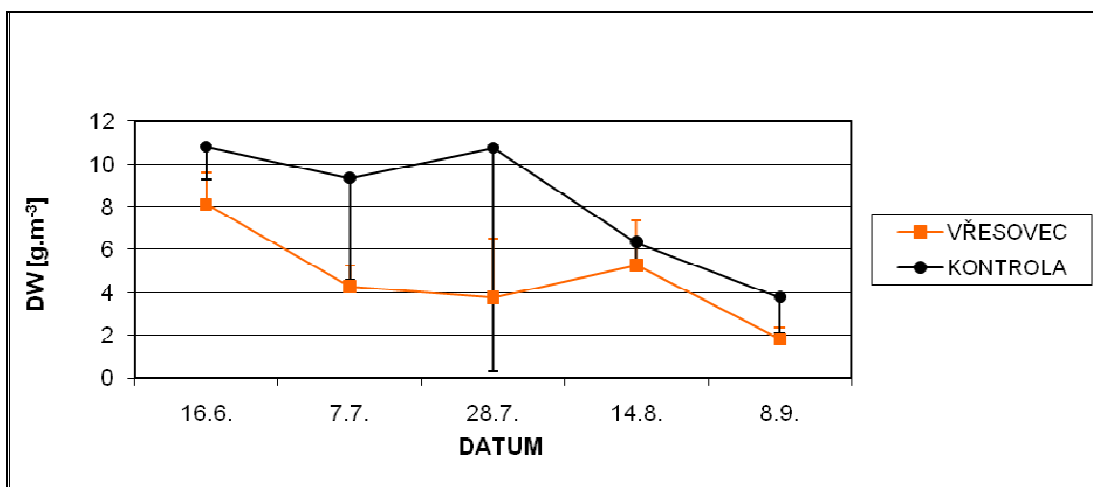
Obr. 41: Průměrná fluorescence fytoplanktonu v modrém (Ft blue) a v červeném (Ft red) světle na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



Obr. 42: Průměrný kvantový výtěžek fytoplanktonu v modrém (QY blue) a červeném světle (QY red) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



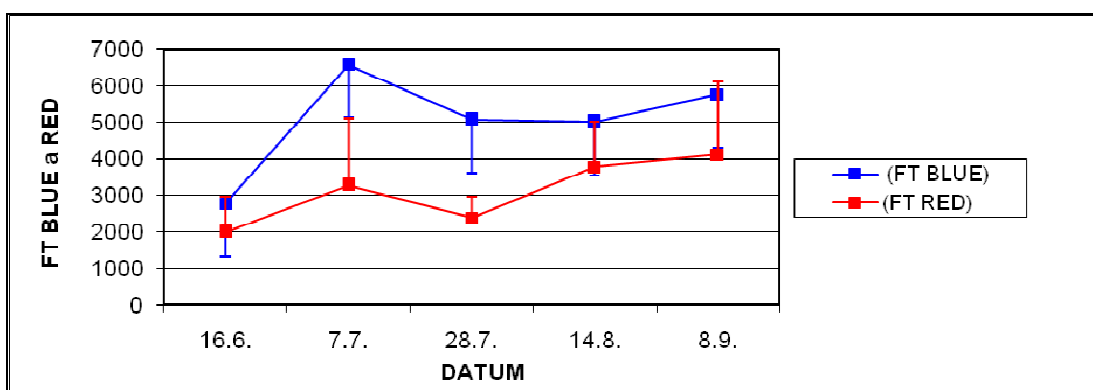
Obr. 43: Průměrná koncentrace chlorofylu-a fytoplanktonu (\pm S.D.) na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.



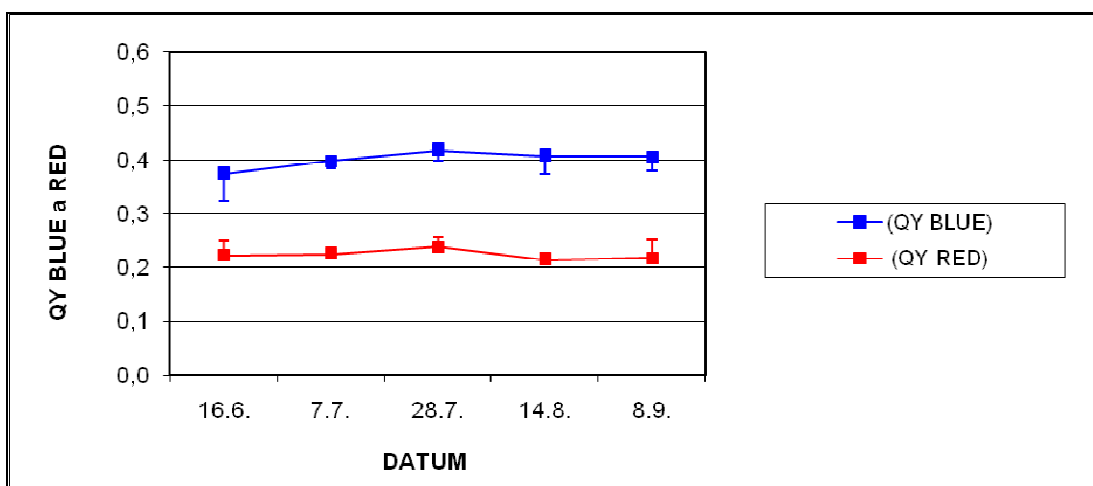
Obr. 44: Průměrné množství sušiny (DW) (\pm S.D.) ve fytoplanktonu na kontrole a vřesovci (n=8) v průběhu druhé fáze experimentu.

4.6 Charakteristika perifytonu v druhé fázi experimentu

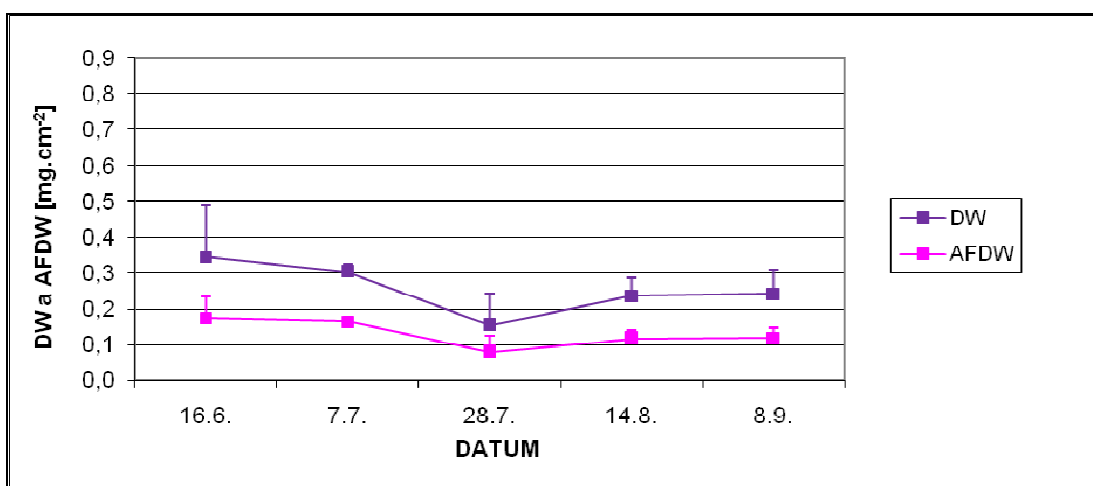
Sušina (DW) perifytonu ($0,26 \pm 0,11 \text{ mg cm}^{-2}$) ani bezpopelné sušiny perifytonu (AFDW) ($0,12 \pm 0,05 \text{ mg cm}^{-2}$) na vřesovci se během pokusu neměnily (obr. 47) (DW: $F(4,15) = 2,1$; $p = 0,11$ a AFDW: $H(4,N=20) = 9,0$; $p = 0,06$). To samé platí pro podíl popela, jehož průměrná hodnota byla $52 \pm 5 \%$. Celková fluorescence perifytonu (8086 ± 3847) se také statisticky průkazně neměnila v průběhu druhé fáze pokusu ($H(4,N=20)=7,2$; $p = 0,13$). Po celou dobu pokusu převažoval kvantový výtěžek a fluorescence perifytonu v modrém světle ($63 \pm 8 \%$ z celkové fluorescence) nad fluorescencí a kvantovým výtěžkem ve světle v červeném (obr. 45 a 46) ve všech rybnících. Podíl fluorescence v modrém světle na celkové fluorescenci se v průběhu pokusu neměnil a byl srovnatelný ve všech rybnících. Autotrofní index (3204 ± 2176) dosahoval na začátku druhé fáze nejvyšších hodnot a postupně se ustálil k hodnotám kolem 2000 (obr. 48).



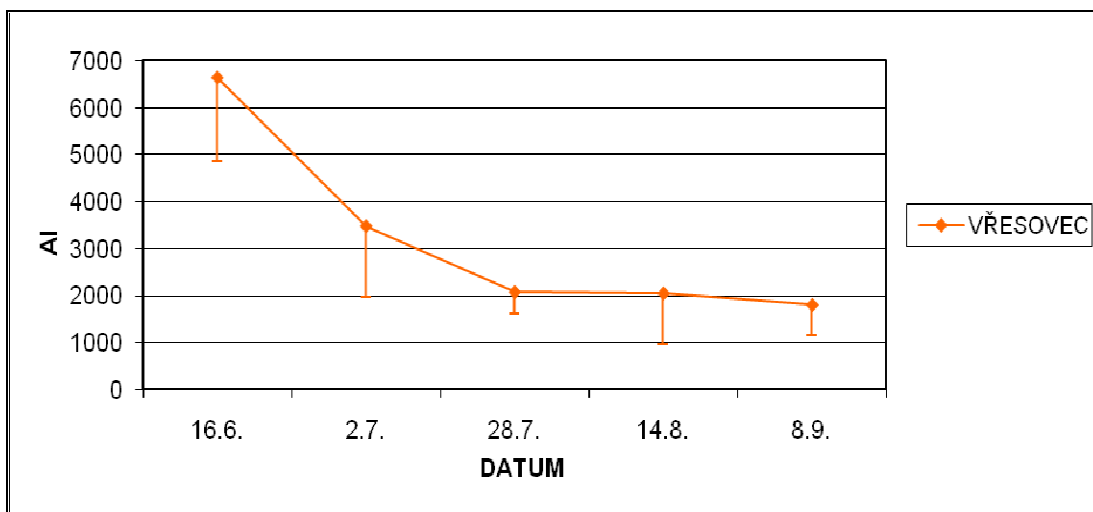
Obr. 45: Průměrná fluorescence perifytonu v modrém (Ft blue) a červeném (Ft red) světle na vřesovci ($n=4$) v průběhu druhé fáze experimentu.



Obr. 46: Kvantový výtěžek perifýtonu v modrém (QY blue) a červeném (QY red) světle na vřesovci (n=4) v průběhu druhé fáze experimentu.



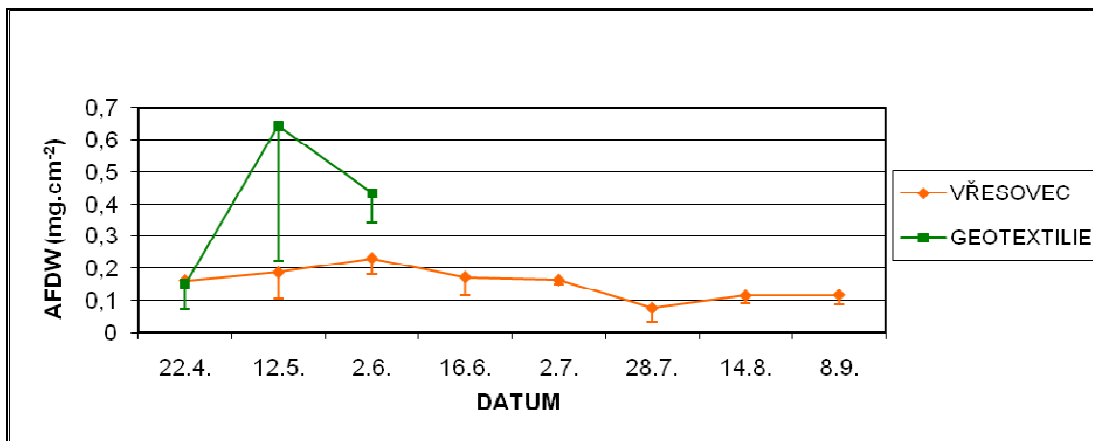
Obr. 47: Průměrné množství sušiny (DW) a bezpopelné sušiny (AFDW) (\pm S.D.) v perifýtonu na vřesovci (n=4) v průběhu druhé fáze experimentu.



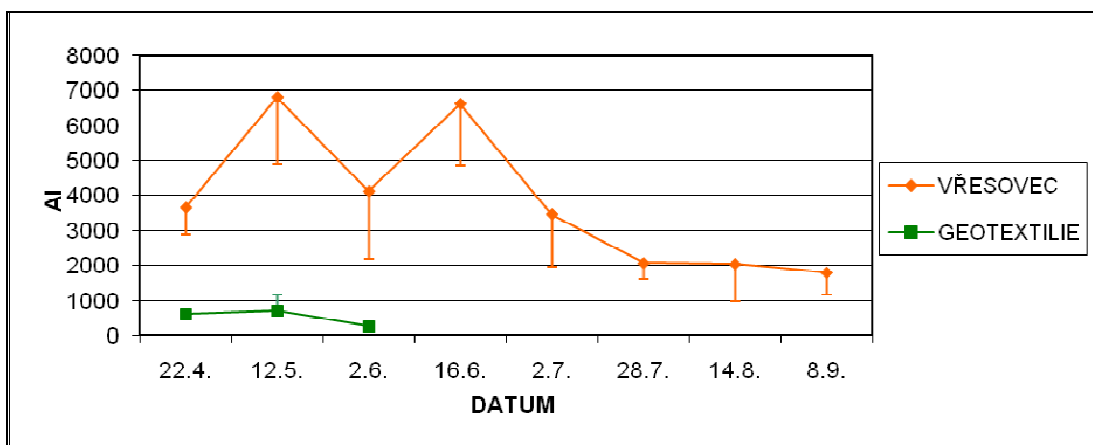
Obr. 48: Průměrné hodnoty autotrofního indexu (\pm S.D.) na vřesovci ($n=4$) v průběhu druhé fáze experimentu

4.7 Srovnání perifytonu v první a druhé fázi experimentu

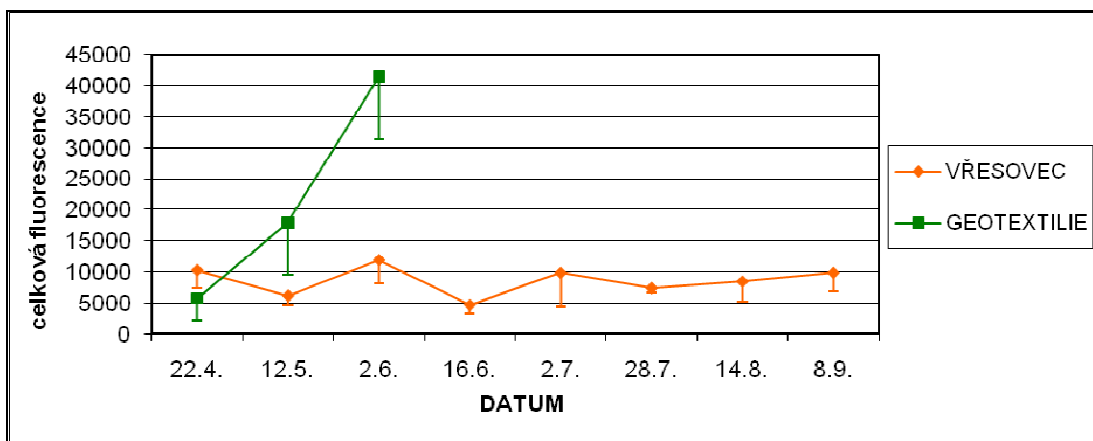
Obsah organické hmoty (AFDW) v perifytonu na vřesovci nejprve rostl a dosáhl maxima (2.6), poté postupně klesal až do 28.7. a následovně se zvýšil jen málo (obr. 49). Podíl autotrofní složky v perifytonu (index AI) na vřesovci byl na začátku a na konci první fáze experimentu srovnatelný. Nejvyšších hodnot dosahoval uprostřed první fáze (12.5) a na začátku fáze druhé (16.6.). Poté výrazně klesl až na hodnoty kolem 2000 (obr. 50). Průběh hodnot celkové fluorescence inverzně kopíroval hodnoty autotrofního indexu až do 16.6, avšak celková fluorescence se po celou dobu sezóny příliš neměnila a pohybovala se okolo hodnoty 7000 (obr. 51).



Obr. 49: Průměrné hodnoty bezpopelné sušiny perifytonu (AFDW) (\pm S.D.) na vřesovci a geotextílii v průběhu obou fází experimentu (n=8).



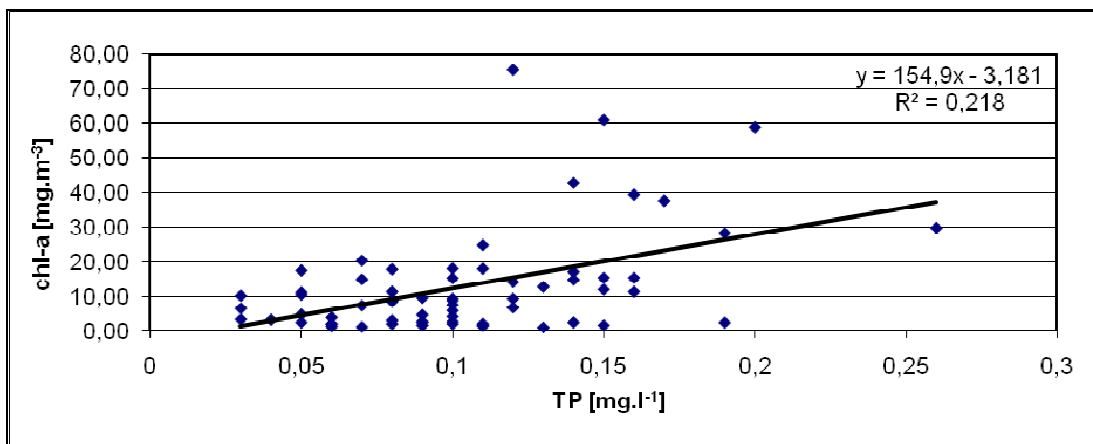
Obr. 50: Průměrné hodnoty autotrofního indexu perifytonu (\pm S.D.) na vřesovci a geotextílii v průběhu obou fází experimentu (n=8).



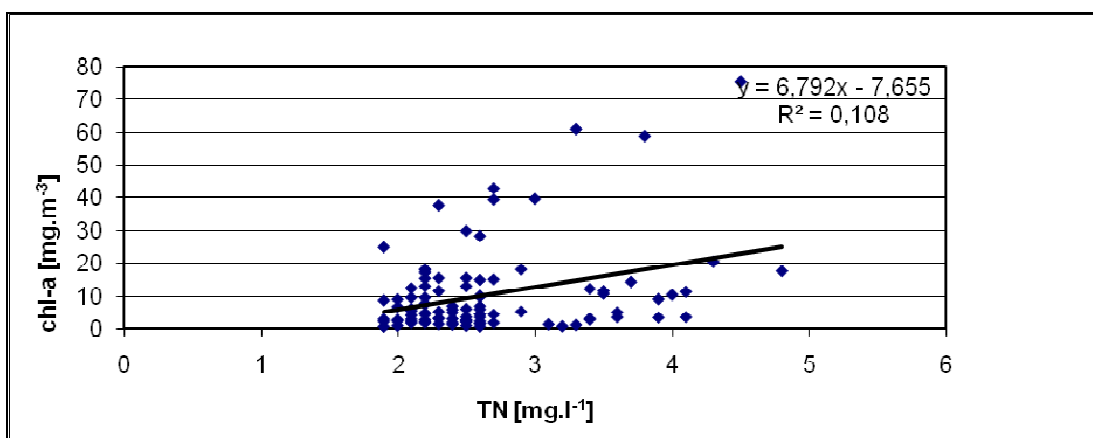
obr. 51: Průměrné hodnoty celkové fluorescence perifytonu (\pm S.D.) na vřesovci a geotextílii v průběhu obou fází a na geotextílii v průběhu první fáze experimentu (n=8).

4.8 Závislost fytoplanktonu a perifytonu na obsahu celkového fosforu (TP) a dusíku (TN) ve vodě

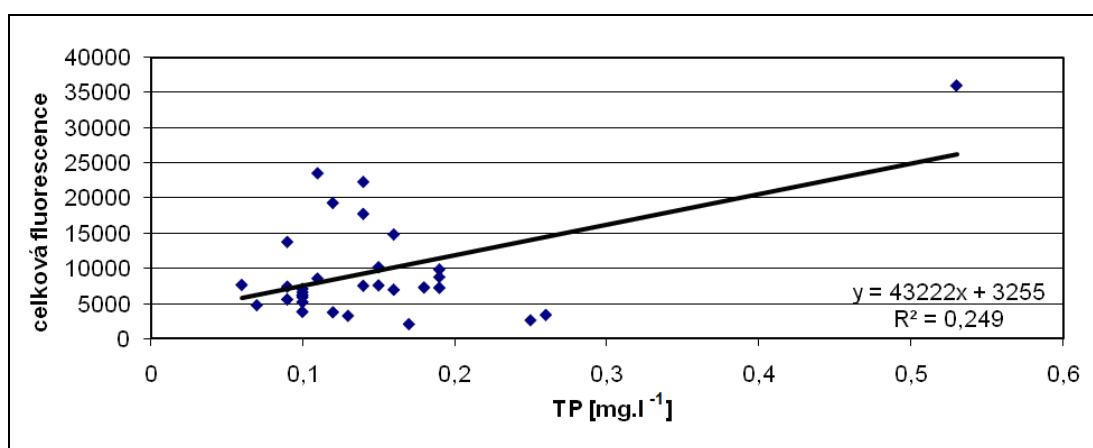
U fytoplanktonu se podařila prokázat závislost mezi koncentrací chlorofylu-a a koncentrací celkového fosforu (TP) ve vodě ($p=0,0001$), podíl vysvětlené variability byl ale jen 21,81% (obr. 52) i závislost mezi koncentrací chlorofylu-a a koncentrací celkového dusíku (TN) ve vodě ($p=0,001$), podíl vysvětlené variability byl 10,85 % (obr. 53). Závislost mezi fosforečnany a množstvím fytoplanktonu prokázána nebyla. Stejně statisticky průkazně vyšla i závislost mezi celkovou fluorescencí perifytonu a koncentrací TP ($p=0,0043$), ale podíl vysvětlené variability činil pouze 24,9% (obr. 54). Závislost mezi celkovou fluorescencí perifytonu a koncentrací TN prokázána nebyla.



Obr. 52: Závislost mezi koncentrací chlorofylu-a fytoplanktonu a obsahem celkového fosforu (TP) ve vodě.



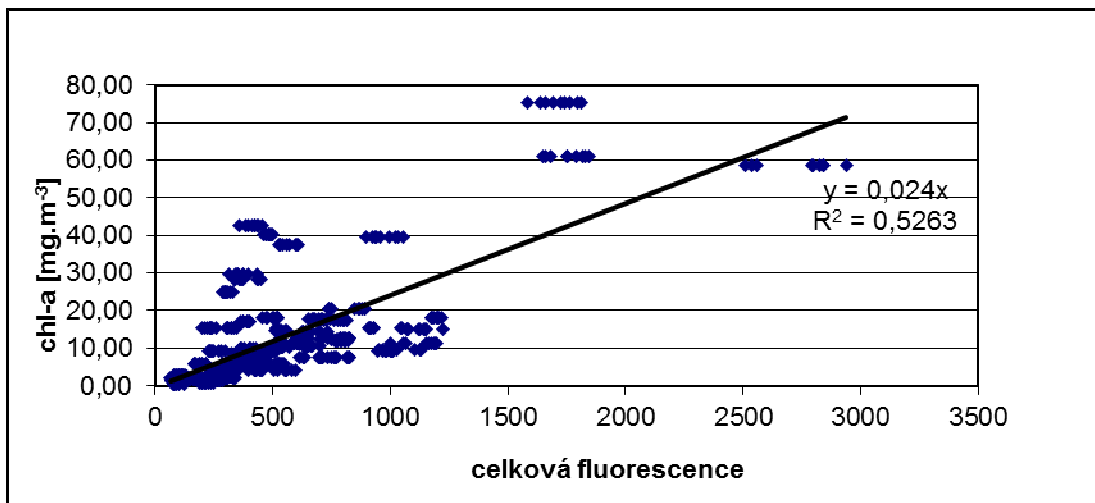
Obr. 53: Závislost mezi koncentrací chlorofylu-a fytoplanktonu a obsahem celkového dusíku (TN) ve vodě.



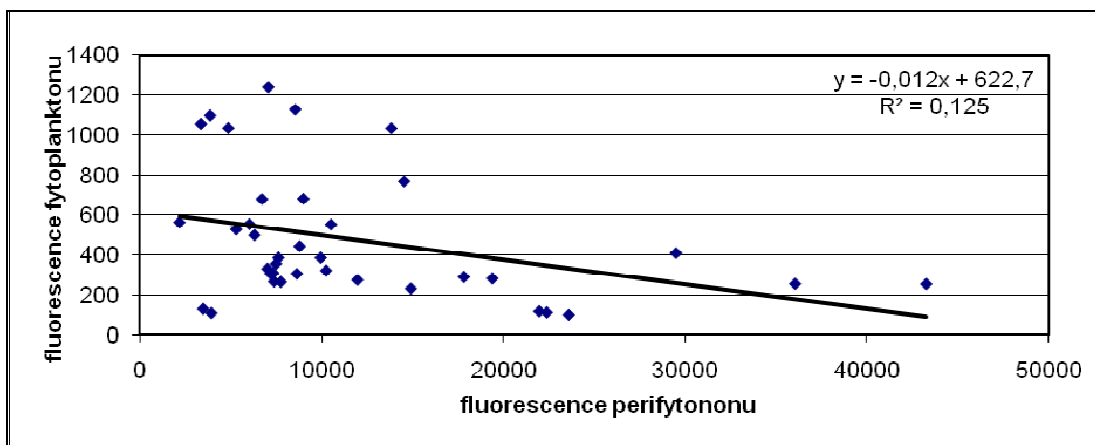
Obr. 54: Závislost mezi celkovou fluorescencí perifytonu a obsahem celkového fosforu (TP) ve vodě.

4.9 Vztah fytoplanktonu a perifytonu

Byla prokázána závislost mezi koncentrací chlorofylu-a a celkovou fluorescencí fytoplanktonu na 1% hladině významnosti ($p=10^{-6}$). Podíl vysvětlené variability byl 52,63 % (obr. 55). Z této závislosti a regresní rovnice byly pomocí naměřených hodnot celkové fluorescence perifytonu zpočítány koncentrace chlorofylu-a v perifytonu (viz metodika). Závislost mezi celkovou fluorescencí perifytonu a celkovou fluorescencí fytoplanktonu se podařilo prokázat na 5% hladině významnosti ($p=0,0315$), ale procento prvysvětlené variability bylo jen 12,54%. Hodnoty fluorescencí perifytonu a fytoplanktonu byly mezi sebou negativně korelovány (obr. 56).



Obr. 55: Závislost mezi koncentrací chlorofylu-a a celkovou fluorescencí fytoplanktonu.



Obr. 56: Závislost mezi celkovou fluorescencí fytoplanktonu a perifytonu.

5 DISKUSE

5.1 Fyzikální a chemické parametry vody

Statisticky průkazně vyšší teplota v kontrolních rybnících v první fázi (tab. 1) je velmi překvapující, jelikož umístění jednotlivých variant v rámci rybníků bylo střídavé, s cílem co nejvíce eliminovat vliv abiotických faktorů a podmínek jednotlivých použitých rybníků. Avšak jak je patrné z teploty vody, umístění rybníků je velmi důležitý faktor významně ovlivňující produkční charakteristiky realizovaného chovu ryb. Vyšší zjištěná teplota vody v průběhu odchovu rychleného plůdku candáta obecného (*Sander lucioperca*) pravděpodobně významně podpořila růst v této variantě. Průhlednost vody se v jednotlivých variantách nelišila, jen na začátku první fáze pokusu byla vyšší v rybnících s rohoží z vřesovce (tab. 1). Tato odlišnost byla dána abiotickým zákalem, neboť koncentrace chl-a ve fytoplanktonu (obr. 25) byla ve všech variantách srovnatelná (viz dále). Všechny hodnoty měřených hydrochemických parametrů v první i druhé fázi (TN, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, TP PO₄-P) dle tab. 6 odpovídaly hodnotám pro rybníky (Hartman *et al.*, 1998). Parametry se lišili se pouze v jednotlivých rybnících, nikoliv mezi variantami. Hodnoty celkového fosforu (TP) se v rybnících pohybovaly celkem nízko (průměr ± smodch: 0,13 ± 0,06 [mg.l⁻¹]), oproti typickým hodnotám chemismu našich rybníků v rozpětí 0,025-1,4 [mg.l⁻¹]. To odpovídá faktu, že rybníky byly vyhodnoceny dle většiny měření (67%) jako oligotrofní často s velmi nízkými koncentracemi chlorofylu-a (viz dále).

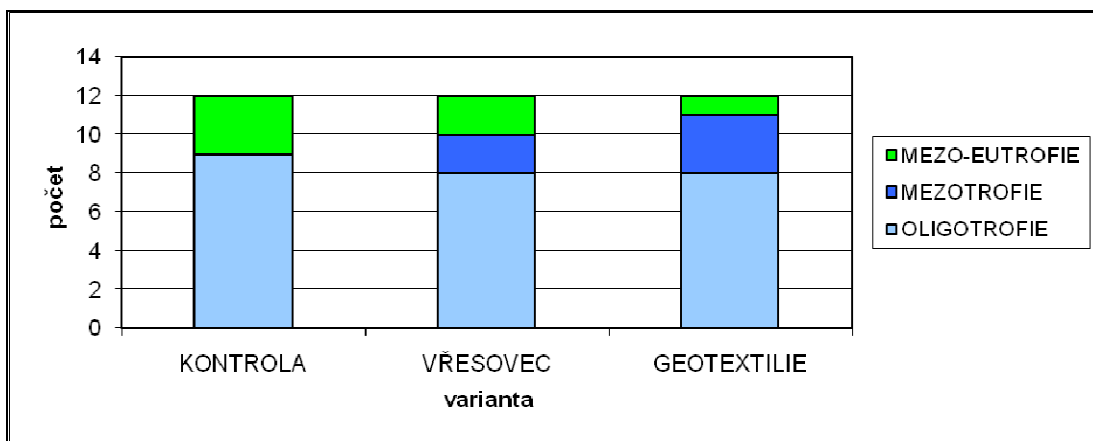
Celkový dusík (TN) zahrnuje dusík anorganický i organický vázaný. K anorganickému dusíku řadíme amoniakální dusík (NH₄-N), dusitany (NO₂-N) a dusičnany (NO₃-N) (Kozelský, 2008). Námi naměřené průměrné hodnoty celkového dusíku v rybnících byly 2,55 ± 0,35 [mg.l⁻¹] Podobné hodnoty celkového dusíku byly naměřeny i v rybnících Nesyt (2,68±0,94), Šibeník (3,31 ± 1,27) a Kurdějovský (2,82±1,26) (Všetičková, 2013).

Tab. 6: Typické hodnoty chemismu našich rybníků (Hartman *et al.*, 1998).

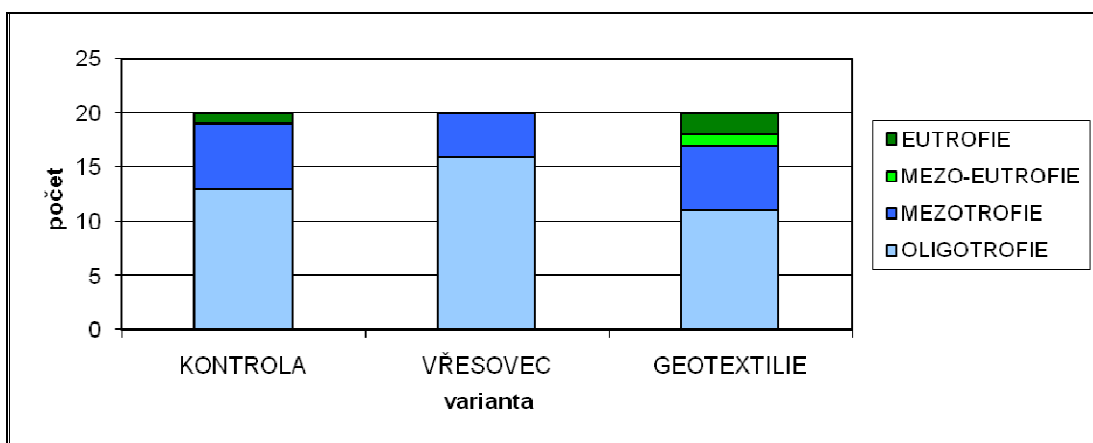
UKAZATEL [mg.l ⁻¹]	ROZPĚTÍ	STŘED
TP	0,025-1,4	0,2
PO ₄ ³⁻ N	0,01-0,1	0,05
TN	0,12-7	1,5
N-NO ₃	0,05-3	0,24
N-NO ₂	0,001	0,08
NH ₄ -N	0,01-1,2	0,15

5.2 Chlorofyl-a ve fytoplanktonu a hodnocení trofie rybníků

Podle klasifikační stupnice ČSN 75 7221 dosahovala trofie v testovaných rybnících různých stupňů od oligotrofie po eutrofii. V první fázi experimentu odpovídaly naměřené koncentrace chl-a v rybnících při prvním odběru (22. 4. 2014) ve většině případů mezoeutrofii (koncentrace chl-a 25-50 μg.l⁻¹). Ve druhém odběru (12. 5. 2014) značily koncentrace chlorofylu-a ve všech rybnících oligotrofii. To odpovídá výsledkům, kdy bylo zjištěno, že (22.4) převažovaly zelené řasy absorbující v modré části spektra (obr. 21), ale poté nastalo tzv. stadium „clear water“ (12.5), po kterém se opět rozvinuly řasy i sinice (2.6), avšak trofie rybníků zůstává podle naměřené koncentrace chlorofylu-a oligotrofního charakteru, kromě dvou případů mezotrofie. Ve druhé fázi po zbytek sezóny patřila většina rybníků dle stupnice trofie k oligotrofii a mezotrofii. Výjimkou byl jeden rybník (č. 44), který 7.7 a 28.7 dosáhl stupně eutrofie (60,86 a 58,81 μg.l⁻¹) (obr. 44). Srovnání jednotlivých testovaných variant dle stupně trofie vody je za první i druhou fázi na obr. 57 a 58.



Obr. 57: Úroveň trofie rybníků v jednotlivých variantách v průběhu první fáze experimentu.



Obr. 58 :Úroveň trofie rybníků v jednotlivých variantách v průběhu druhé fáze experimentu.

5.3 Perifyton

Perifyton na vřesovci v první fázi experimentu měl oproti perifytonu na geotextílii nižší (i když statisticky neprůkazně) podíl popelovin (tab. 2). To znamená, že vřesovec by měl mít vyšší obsah organické hmoty. Podle výsledků se však podíl bezpopelné sušiny (obr. 40) perifytonu na jednotku plochy na vřesovci a geotextílii statisticky průkazně nelišil, naopak dle obr. 40 rostla AFDW u geotextílie (obr. 50). Tento fakt byl způsoben cca 10 x vyšší plochou proužku rohože stejných rozměrů (3 cm x ponořená část rohože) z vřesovce než z geotextílie. To je dáno prostorovou

strukturou rohože z vřesovce, tj. přítomností mnoha větviček, které tak zvětšují plochu pro perifyton. Plochy substrátu byly v prvních odběrech mechanicky počítány, ale v dalších odběrech byl stanoven přepočít hmotností obou substrátů na jejich plochu ($1g = 132,9 \text{ cm}^2$ pro vřesovec a $1g = 206,4 \text{ cm}^2$ pro geotextílii) (viz metodika). Množství sušiny (DW) a bezpopelné sušiny (AFDW) by tak bylo nebyť přepočtu vyšší na vřesovci, než na geotextílii. Celkově také rohož svým charakterem větviček z vřesovce poskytovala, na rozdíl od geotextílie, úkryt pro drobné živočichy a zároveň tak i vyšší množství perifytonu. Tento fakt také může být důvodem statisticky průkazně vyšší abundance živočichů na vřesovci oproti geotextílii ($p = 0,0114$) (Urbánek, 2015 v tisku) a může tak i vysvětlit statisticky průkazně nižší celkovou fluorescence na vřesovci než na geotextílii (tab. 4). Fluorescence na geotextílii v průběhu pokusu rostla (obr. 37), zatímco na vřesovci se neměnila. To lze přičítat spásání perifytonu přisedlými živočichy na rohožích z vřesovce, kterých zde bylo více než na geotextílii. Dalším faktorem, který mohl způsobit nižší fluorescence řas na vřesovci ve srovnání s geotextílií, mohla být limitace světlem na větvičkách umístěných uprostřed proužku. Svou roli hrála pravděpodobně i světlejší barva vřesovce a strukturovanější povrch, který odrážel více světla oproti geotextílii, jejíž černá barva a rovná plocha zřejmě pohlcovала více světla a energie fotonů vyzářená v podobě fluorescence byla tak vyšší.

Vzhledem k tomu, že podpora růstu perifytonu substrátem z vřesovce zvýšila produkci rychleného candáta přibližně o 7 – 21 %, může být po zhodnocení a promyšlení tato chovatelská inovace pro některé produkční podniky v budoucnosti zajímavá (Policar *et.al.*, 2014).

Aby mohl být vypočítán autotrofní index, byla přepočítána celková fluorescence perifytonu na chlorofyl-a v perifytonu pomocí závislosti mezi celkovou fluorescencí a chlorofylem-a fytoplanktonu, kdy hodnoty celkové fluorescence fytoplanktonu byly až 20 x nižší, než ty změřené v perifytonu. Spočtené hodnoty AI mohly být silně ovlivněny právě tímto přepočtem. Průměrné hodnoty autotrofního indexu stanovené z poměru AFDW a chl-a se pohybují v rozmezí od 50 do 200, nižší hodnoty značí dominanci autotrofní složky a vyšší hodnoty dominanci heterotrofní složky ve společenstvu perifytonu (Dempster *et al.*, 1993). Spočtené hodnoty

autotrofního indexu u perifytonu vřesovce i geotextílie v obou fázích experimentu vysoce přesahovaly hodnotu 200 (obr. 41 a 49), což indikovalo převahu heterotrofů. V první fázi navíc průměrné hodnoty autotrofního indexu vřesovce (3829 ± 2313) mnohonásobně převyšovaly hodnoty autotrofního indexu geotextílie (525 ± 330). Tento fakt mohl být dán již zmíněným přepočtem chlorofylu-a i různou plochou těchto dvou substrátů. V prostoru větviček se navíc usazovalo i mnoho sedimentu (bahna).

Vrůst hodnot AI (12.5. a 16.6.) u vřesovce mohl souviset buďto s nárůstem řas resp. podílem autotrofní složky (tj. fluorescence resp. chl-a v perifytonu) nebo s poklesem organické hmoty perifytonu. Prvotní nárůst AI (12.5.) (obr. 52) byl způsoben nárůstem řas, jeho pokles ke konci první fáze (2.6.) experimentu souvisel zřejmě s poklesem obsahu organické hmoty, neboť fluorescence perifytonu v průběhu první fáze experimentu stále rostla (obr. 37). Pokles organické hmoty mohli způsobit přisedlí živočichové, mezi kterými převažovali detritofágové (larvy pakomárů rodu *Glyptotendipes*, *Endochironomus*, *Chironomus* a *Polypedilum* a plži *Physella acuta* a *Lymnaea auricularia*) (Urbánek, 2015 v tisku), tj. konzumenti částečně či zcela odumřelé hmoty řas, čímž podpořili jejich růst (viz nárůst fluorescence). Nárůst hodnot AI 16.6. (obr. 52), tj. na začátku druhé fáze mohla být ovlivněna výlovem rybníku, tj. vypuštěním vody (několik dní), který snížil množství řas na substrátu. Nárůsty a poklesy AI byly až do 16.6. inverzně kopírovány celkovou fluorescencí (i když ne tak významně).

5.4 Závislost fytoplanktonu a perifytonu na obsahu celkového fosforu (TP) a dusíku (TN) ve vodě

Zvýšené zatížení vodních ekosystémů živinami (hlavně dusíkem a fosforem) často vede ke zvýšenému rozvoji fytoplanktonu a tím snížení obsahu kyslíku ve vodě, snížení kvality vody a změnám ve druhovém složení společenstva. Biomasa fytoplanktonu stanovená pomocí koncentrace chlorofylu-a bývá často silně závislá na množství celkového fosforu ve vodě (Dillon & Rigler, 1974., Sakamoto, 1996., Jones & Bachmann, 1976., Canfield, 1983). Silná závislost mezi chlorofylem-a a celkovým

fosforem byla zjištěna v mnoha japonských jezerech s podílem vysvětlené variability 67%, kde se hodnoty celkového fosforu pohybovaly v rozmezí 0,015-0,057 [mg.l⁻¹] a hodnoty celkového chlorofylu-a od 3,5-41 [mg.m⁻³] (Sakamoto, 1996). Naše závislost mezi koncentrací chlorofylu-a (rozsah 0,57-75,38 [mg.m⁻³]) a obsahem celkového fosforu (rozsah 0,03-0,74) byla v rybnících za celou sezónu průkazná, ale podíl vysvětlované variability byl jen 21,83 %) (obr. 52). Nízký podíl vysvětlené variability mohl být způsoben hlavně časovými rozdíly v jednotlivých odběrech. Navíc naměřené absorbance (hlavně při vlnové délce 750 nm), které se používají při výpočtu koncentrace chlorofylu-a, byly u většiny vzorků chlorofylu-a z 50% menší než 0,01, což přesahuje možnost přesného měření na spektrofotometru a více vzorků nešlo z důvodu ucpání filtru při zachování tlaku (20 kPa) zfiltrovat.

Perifyton rychle reaguje na změny kvality vody (Gaiser, 2009). Mnohé studie potvrdily, že biomasa perifytonu pozitivně koreluje s koncentrací celkového fosforu (TP) ve vodě (Bolas & Lund, 1974., Cattaneo, 1984., Vadeboncoeur & Lodge, 2000). Oproti tomu jiné studie ukazují, že v některých případech obohacování vod fosforem může mít jen malý, nebo dokonce negativní vliv na růst perifytonu (Mulholland & Rosemond, 1992., Greenwood & Rosemond, 2005). V práci byla prokázána závislost mezi celkovou fluorescencí perifytonu a koncentrací celkového fosforu s vysvětleným podílem variability 24,9% (obr. 53).

Ve studii amazonských jezer (Giselle a Forsberg, 2007) byla zjištěna silná závislost mezi chlorofylem-a a celkovým dusíkem ($r^2 = 0,88$, $p = 0,000$). V této práci se nám povedlo prokázat závislost mezi chlorofylem-a a celkovým dusíkem ($r^2 = 10,85$, $p = 0,001$).

5.5 Závislost fytoplanktonu a perifytonu

Interakce mezi perifytonem a fytoplanktonem byla zatím relativně málo prozkoumána. V experimentálních studiích však byly prokázány konkurence mezi těmito organismy jak o světlo, tak i o živiny (Hansson, 1990., Vadeboncoeur & Lodge, 2000). Fytoplankton má výhodu v konkurenci o světlo, protože může volně cirkulovat ve vodním sloupci, naopak perifyton má schopnost snižovat dostupnost živin ve vodním sloupci (hlavně fosfor), čímž omezuje růst fytoplanktonu (Hansson,

1990). Fakt, že si fytoplankton a perifyton o živiny takto konkurují nás přivedl k předpokladu (negativní) korelace mezi celkovou fluorescencí fytoplanktonu a perifytonu. Závislost v podobě nepřímé úměry byla statisticky prokázána ($p=0,0315$), tj. fluorescence perifytonu rostla, zatímco fluorescence perifytonu klesala a naopak.

5.6 Potravní závislost mezi fytoplanktonem a zooplanktonem

Početnost velkého zooplanktonu se řídí dle biomasy primárních producentů (Giselle & Forsberg, 2007). Carpenter *et. al.* (1996) prokázali ve svých experimentálních studiích, že biomasa řas je regulována hustotou zooplanktonu, a že efekt spásání je závislý na velikosti dominujícího zooplanktonu. Když dominují malé formy zooplanktonu, které spásají málo, fytoplankton se volně rozvíjí. Když dominuje zooplankton velkých forem, biomasa fytoplanktonu je snížena spásáním (Brooks a Dodson, 1965, Lampert, 1987). V rybnících ve Vodňanech, ve stejných termínech odběrů fytoplanktonu a perifytonu, byly stanovovány početnosti zooplanktonu v různých velikostních frakcích v jednotlivých rybnících (Třešňáková, 2015, v tisku). Data o početnosti zooplanktonu a chlorofyl-a byly dány do souvislosti. Závislost mezi chlorofylem-a fytoplanktonu a zooplanktonu velikostní frakce 71 nebyla průkazná a $r^2= 0,07$ bylo malé. Závislost mezi chlorofylem-a fytoplanktonu a zooplanktonu velikostní frakce 526 μm také nebyla průkazná, ale linerní křivka u menšího zooplanktonu měla tendenci přímé úměrnosti a u většího zooplanktonu nepřímé úměrnosti, tj. s množstvím většího zooplanktonu koncentrace chlorofylu-a klesala.

6 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vyhodnotit souvislosti mezi početností fytoplanktonu a perifytonu a jejich vztah ke koncentraci živin ve vodě. Dostupnost živin (N a P) byla do jisté míry zodpovědná za primární produkci fytoplanktonu i perifytonu. Mezi perifytonem rostoucím na umělém substrátu a fytoplanktonem pohybujícím se ve vodním sloupci byl prokázán vztah ve smyslu negativní závislosti na základě jejich celkových fluorescencí, tj. čím více bylo fytoplanktonu, tím méně perifytonu a naopak. Mezi těmito autotrofními organismy tedy zřejmě docházelo k určité konkurenci.

Druhým cílem bylo porovnat růst fytoplanktonu a perifytonu v rybnících s vřesovcem a v rybnících s geotextílií. Množství fytoplanktonu, kvantifikované jako chlorofyl-a a celková fluorescence, se nelišilo a jeho vývoj probíhal podobně na vřesovci i na geotextílii. Substráty neměly vliv ani na kvalitu vody v rybníce, množství živin a průhlednost vody byla mezi oběma variantami srovnatelná.

Vliv testovaných substrátů z vřesovce a geotextílie na charakteristiky perifytonu (AFDW a DW) nebyl jednoznačně prokázán. Na substrátu z geotextílie celková fluorescence chlorofylu-a rostla. Na vřesovci fluorescence nerostla, protože autotrofní složka perifytonu byla zřejmě na rozdíl od geotextílie spásána organismy, kteří byli na substrát z vřesovce vázáni. Množství vyzářené fluorescence mohlo být ovlivněno i světlejší barvou vřesovce, který odrážel více světla, na rozdíl od černé geotextílie.

Vřesovec se jeví jako vhodnější substrát pro osídlení perifytonem hlavně z hlediska jeho struktury větviček a plochy. V rámci praxe je instalace pruhu vřesovce výhodnější než instalace stejně dlouhého pruhu geotextílie, protože vřesovec bude poskytovat organismům perifytonu až 10 x vyšší plochu pro osídlení a nebude tolik zasahovat do rybníční sféry rozdělováním na mikrohabity.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ADMIRAAL, W. (1984): The ecology of estuarine diatoms. Progress in Phycological Research, Bristol, 269-323.

AZIM, M.E., WAHAB, M.A., van DAM, A.A., BEVERIDGE, M.C.M., MILSTEIN, A. & VERDEGEM, M.C.J. (2001): Optimization of fertilization rates for maximizing periphyton growth on artificial substrates and implications for periphyton-based aquaculture. *Aquaculture Research* 32, 749-760.

AZIM, M.E., WAHAB, M.A., VERDEGEM, M.C.J., van DAM, A.A. , van ROOIJ, J.M. & BEVERIDGE, M.C.M. (2002): The effects of artificial substrates on freshwater pond productivity and water quality and the implications for periphyton-based aquaculture. *Aquatic Living Resources* 15, 231- 241.

AZIM, M.E., VERDEGEM, M.C.J., van DAM, A.A. & BEVERIDGE, M.C.M (2005): Periphyton: ecology, exploitation, and management, Cambridge, CABI Publishing, 319 p.

BAKER, J.H. & ORR, D.R. (1986): Distribution of epiphytic bacteria on freshwater plants. *Journal of Ecology* 74, 155-165.

BEUTLER, M., WILTSHIRE, K.H., MEYER, B., MOLDAENKE, C., LÜRING, C., MEYERHÖFER, M., HANSEN, U. P. & DAU, H., (2002): A fluorometric method for the differentiation of algal populations in vivo and in situ. *Photosynthesis Research* 72, 39 – 53.

BIGGS, B.J.F. & CLOSE, M.E (1989): Periphyton biomass dynamic in gravel bed rivers: the relative effects of flows and nutrients. *Freshwater Biology* 22, 209-23.

BIGGS, B.J.F. (1996): Patterns in benthic algae of streams. In: Stevenson, R.J. , Bothwell, M.L. and Lowe, R.L. (eds) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems* . Academic Press, San Diego, California, 31-56.

BIGGS, B.J.F. & SMITH, R.A. (2002): Taxonomic richness of stream benthic algae: effects of flood disturbance and nutrients. *Limnology and Oceanography* 47, 1175-1186.

BLENKINSOPP, S.A. & LOCK, M.A. (1994): The impact of storm-flow on river biofilm architecture. *Journal of Phycology* 30, 807-818.

BOLAS, P.M. & LUND, J.W.G. (1974): Some Factors Affecting the Growth of *Cladophora glomerata* in the Kentish Stour. *Proceedings of the Society for Water Treatment and Examination* 23, 25-51.

BOTHWELL, M.L. (1988): Growth responses of lotic periphytic diatoms to experimental phosphorus enrichment: the influence of temperature and light. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45, 261-270.

BROOKS, J.L. & DODSON, S.I. (1965): Predation, body size and composition of plankton. *Science* 150, 28-35.

CANFIELD, D.E. (1983): Prediction of chlorophyll a concentration in Florida lakes: the importance of phosphorus and nitrogen. *Water Resources Bulletin* 9, 255-262.

CARPENTER, S. R., KITCHEL, H.E., COTTINGHAM, K., SCHINDLER, D.L., CHRISTENSEN, D.M., POST, D.M & VOT-CHICK (1996): Chlorophyll variability, nutrient input and grazing:evidence from whole-lake experiment. *Ecology* 77: 725-735.

CARRIAS, J .F. , SERRE, P., NGANDO, T.S. & AMBLARD, C. (2002): Distribution, size and bacterial colonization of pico- and nano- detrital organic particles (DOP) in two lakes of different trophic status. *Limnology and Oceanography* 47, 1202- 1209.

CATTANEO, A. (1987): Periphyton in Lakes of Different Trophic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44, 296-303.

CATTANEO, A. & MOUSSEAU, B. (1995): Empirical analysis of the removal rate of periphyton by grazers. *Oecologia* 103, 249-254.

CEBRIAN, J., ENRIQUES, S., FORTES, M.D., AGAWIN, N., VERMAAT, J.E. & DUARTE, C.M. (1999): Epiphyte accrual on *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves: implications for light absorption. *Botanica Marina* 42, 123-128.

ČSN 75 7221 (1989): Klasifikace jakosti povrchových vod, Vydavatelství norem, Praha.

van DAM, A.A., BEVERIDGE, C.M., AZIM, M.E. & VERDEGEM, M.C.J (2002): The potential of fish production based on periphyton, *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12, 1–31.

DANILOV, R.A. & EKELUND, N.G.A. (2001): Comparison of usefulness of three types of artificial substrata (glass, wood and plastic) when studying settlement patterns of periphyton in lakes of different trophic status. *Journal of Microbiological Methods* 45, 167–170.

DEMMIG, B & BJÖRKMAN, O. (1987): Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O-2 evolution in leaves of higher-plants. *Planta* 171, 171-184.

DEMPSTER, P.W., BEVERIDGE, M.C.M. & BAIRD, D.J. (1993): Herbivory in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.): a comparison of feeding rates on periphyton and phytoplankton. *Journal of Fish Biology* 43, 385-392.

DENNY, P. (1980): Solute movement in submerged angiosperms. *Biological Reviews* 50, 65-92.

DILLON, P.J & RIGLER, F.S (1974): The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes., *Limnology and Oceanography* 19, 767-773p.

DODDS, W.K., SMITH, V.H. & LOHMAN, K. (2002): Nitrogen and phosphorous relationships to benthic algal biomass in temperate streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59, 865-874.

DYKYJOVÁ, D (1989): Metody studia ekosystémů, Akademia Praha, 689p.

FLEMMING, H.C. (1995): Sorption sites in biofilms. *Water Science and Technology* 32, 27-33.

GAISER, E.E. (2009): Periphyton as an Indicator of Restoration in the Florida Everglades. *Ecological Indicators* 9, 37-45.

GANF, G.G & OLIVER, R.L (1982): Vertical separation of light and available nutrients as a factor causing replacement of green algae by blue-green algae in the plankton of a stratified lake. *Journal of Ecology* 70, 463-471.

GISELLE, V.T & FORSBERG, B.R. (2007): Relationship among nitrogen and total phosphorus, algal biomass and zooplankton density in the central Amazonia lakes. *Hydrobiologia* 586, 357-365.

GOLDSBOROUGH, L.G. & ROBINSON, G.G.C (1985): Seasonal succession of diatom epiphyton on dense mats of *Lemna minor*. *Canadian Journal of Botany* 63, 2332-2339.

GOLDSBOROUGH, L.G. (1993): Diatom ecology in the phyllosphere of the common duckweed (*Lemna minor* L.). *Hydrobiologia* 269/270, 463-471.

GREENWOOD, J.L & ROSEMOND, A.D (2005): Periphyton Response to Long-Term Nutrient Enrichment in a Shaded Headwater Stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62, 2033-2045.

GREGOR, J., JANČULA, D., MARŠÁLEK, B. (2008): Growth assays with mixed cultures of cyanobacteria and algae assessed by *in vivo* fluorescence: One step closer to real ecosystems? *Chemosphere* 70, 1873-1878.

- GUNDERSEN, J.K. & JORGENSEN, B.B. (1990): Microstructure of diffusive boundary layers and the oxygen uptake of the sea floor. *Nature* 345, 604-607.
- HANSSON, L.A. (1990): Quantifying the impact of periphytic algae on nutrient availability for phytoplankton. *Freshwater Biology* 24, 265-273.
- HANSSON, L.A. (1992): Factors regulating periphyton biomass. *Limnology and Oceanography* 37, 322-328.
- HARTMAN, P., PŘIKRYL, I. & ŠTĚDRONSKÝ, E. (1998): Hydrobiologie, Praha, 335p.
- HAY, M.E. (1991): Fish-seaweed interactions on coral substrates: effects of herbivorous fishes and adaptations of their prey. In: Sale, P.F. (ed.) *The Ecology of Fishes on Coral Substrates*. Academic Press, London, 96-119.
- HILLEBRAND, H. & SOMMER, U. (2000): Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquatic Botany* 67, 221-236.
- HOAGLAND, K.D., ROEMER, S.C. & ROSOWSKI, J.R. (1982): Colonization and community structure of two periphyton assemblages with emphasis on the diatoms (*Bacillariophyceae*). *American Journal of Botany* 69, 188-213.
- HOLLAND, A.F., ZINGMARK, R.G. & DEAN, J.M. (1974): Quantitative evidence concerning the stabilization of sediments by marine benthic diatoms. *Marine Biology* 27, 191-196.
- HORÁKOVÁ, M., LISCHKE, P. & GRÜNWARD, A. (1989): Chemické a fyzikální metody analýzy vod. 1.vyd., Praha: SNTL, 389 s.
- HORN, M.H. (1989): Biology of marine herbivorous fishes. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 27, 167-272.
- HORNE, A.J. & GOLDMAN, C.H.R. (1994): *Limnology*, 2nd edn. New York: McGraw-Hill, 576 p.
- HUCHETTE, S.M.H., BEVERIDGE, M.C.M., BAIRD, D.J. & IRELAND, M. (2000): The impacts of grazing by tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) on periphyton communities growing on artificial substrate in cages. *Aquaculture* 186, 45-60.
- INGLETT, P.W., REDDY, K.R. & McCORMICK, P.V. (2004): Periphyton chemistry and nitrogenase activity in a northern Everglades ecosystem. *Biogeochemistry* 67, 213-233.
- ISO 10 260 (1996): Jakost vod. Měření biochemických ukazatelů. Spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu-a [online]. [cit. 2015-25-03]. Dostupné z: http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/75/18971_nahled.htm

JARKLOVÁ, J. & PELIKÁN, J. (1999): Ekologický slovník terminologický a výkladový, Praha, Fortuna, 144p.

JONES, J.R. & BACHMANN, R.W. (1976): Prediction of phosphorus and chlorophyll levels in lakes, *Journal of the Water Pollution Control Federation* 48, 2176-2182.

JONES, J.J., YOUNG, J.O., EATON, J.W. & MOSS, B. (2002): The influence of nutrient loading, dissolved inorganic carbon and higher trophic levels on the interaction between submerged plants and periphyton. *Journal of Ecology* 90, 12-24.

JORGENSEN, B.B. & MARAIS, D.J.P. (1988): Optical properties of benthic photosynthetic communities: Fiber-optic studies of cyanobacterial mats. *Limnology and Oceanography* 33, 99-113.

KAŠTOVSKÝ, J. & T. HAUER. (2003): "Oddělení Cyanobacteria [online]. [cit. 2015-25-03]. <http://www.sinicearasy.cz/134/Cyanobacteria>.

KOZELSKÝ, J., 2008: Minimalizace nutrientů a odpadních vod vypouštěných do povrchových vod. *Vodní hospodářství a vodní stavby*, 313 p.

KRAUSE, G. H & WEIS, E (1991): Chlorophyll fluorescence and photosynthesis - the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42, 313-349.

LEHMAN, J.T. & SANDGREN, C.D (1985): Species-specific rates of growth and grazing loss among freshwater algae. *Limnology and Oceanography* 30, 34-46.

LIBORIUSSEN, L & JEPPESEN, E (2003): Temporal dynamics in epipelagic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and turbid shallow lake., *Freshwater Biology* 48, 418-431.

LOEB, S.L & REUTER, J.E. (1981): The epilithic periphyton community: a five-lake comparative study of community productivity, nitrogen metabolism and depth distribution of standing crop. *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Limnologie* 21, 346-352.

LOEB, S.L., REUTER, J.E. & GOLDMAN, C.R. (1983): Littoral zone production of oligotrophic lakes- the contributions of phytoplankton and periphyton, In: R.G. Wetzel (ed.) *Periphyton of Freshwater Ecosystems. Developments in Hydrobiology* 17, The Netherlands, 161-167.

LORENZEN, C. J. (1967): Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations., *Limnology and Oceanography* 12, 343-346.

MALTAIS, M.J. & VINCENT, W.F. (1997): Periphyton community structure and dynamics in a subarctic lake. *Canadian Journal of Botany* 75, 1556-1569.

MANN, K.H.(1982): Ecology of coastal waters. A system approach. *Studies in Ecology* 8, Blackwell, Oxford, 322p.

MARXSEN, J. & WITZEL, K.P. (1991): Significance of extracellular enzymes for organic matter degradation and nutrient regeneration in small streams. In: Chrost, R.J. (ed .) *Microbial Enzymes in Aquatic Environments*. Springer-Verlag, Berlin, 270-285p.

MULHOLLAND, P. J. & ROSEMOND, A.D. (1992): Periphyton Re-sponse to Longitudinal Nutrient Depletion in a Woodland Stream: Evidence of Upstream-Downstream Linkage. *Journal of the North American Benthological Society* 11, 405-419.

MUFIOZ, I., REAL, M. , GUASCH, H. , NAVARRO, E. & SABATER, S. (2000): Resource limitation by freshwater snail (*Stagnicola vulnerata*) grazing pressure: an experimental study. *Archiv für Hydrobiologie* 148, 517-532.

NATHER KHAN, I.S.A., FURTADO, J.I. & LIM, R.P. (1987): Periphyton on artificial and natural substrates in a tropical river. *Archiv für Hydrobiologie–Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 28, 473–484.

NIELSEN, S.L. & SAND-JENSEN, K. (1990): Variation in growth rates of submerged rooted macrophytes. *Aquatic Botany* 39, 109-120.

PAPAGEORGIOU, G. C & GOVINDJEE (2004): Chlorophyll *a* fluorescence: a signature of photosynthesis. *Advances in photosynthesis and respiration*. Vol. 19, Springer, Netherlands, 497-523p.

PHILLIPS, G.L., EMINSON, D.F. & MOSS, B. (1978): A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated waters. *Aquatic Botany* 4, 103-125.

PITTER, P (2009): Hydrochemie, Praha, VŠCHT, 579p.

POLICAR, T., SVAČINA, P., BLÁHA, M & ŠETLÍKOVÁ, I. .:(2014): Technická zpráva pilotního projektu: Podpora rybničního perifytonu s cílem využít trofii rybníků k produkci plůdku candáta obecného, Vodňany, 49p.

POULÍČKOVÁ, A & JURČÁK, J (2001): Malý obrazový atlas našich sinic a řas, Univerzita Palackého v Olomouci, 81p.

REID, G.K. & WOOD, R.D (1976): Ecology of Inland Waters and Estuaries, 2nd edn. D. van Nostrand Company, New York, 485-495.

- REYNOLDS, C.R (1987): The response of phytoplankton communities to changing lake environments. *Schweizerische Zeitschrift Für Hydrologie (Swiss Journal of Hydrology)* 49, 220-236.
- RODRIQUEZ, M.A. (1987): Estimating periphyton growth parameters using simple models. *Limnology and Oceanography* 32, 458-464.
- SAND-JENSEN, K., MOLLER, J & OLESEN, B.H. (1988): Biomass regulation of microbenthic algae in Danish lowland stream, *Oikos* 53, 332-340.
- SAND-JENSEN, K., JEPPESEN, E., NIELSEN, K., van der BIJL, L., HKJERMIND, A.L., NIELSEN, L.W. and IVERSEN, T.M. (1989): Growth of macrophytes and ecosystem consequences in a lowland Danish streams. *Freshwater Biology* 22, 15-32.
- SAND-JENSEN, K & BORUM, J (1990): Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries, *Aquatic Botany* 41, 137-175.
- SAKAMOTO, M. (1966): Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Archiv für Hydrobiologie* 62, 1-28.
- SPENCE, D.H.N. (1982): The zonation of plants in freshwater lakes. *Advances in Ecological Research* 12, 37-125.
- STEINMAN, A.D. (1996): Effects of grazers on freshwater benthic algae. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. and Lowe, R.L. (eds) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, California, 341-373.
- STELZER, R.S. & LAMBERTI, G.A. (2001): Effects of N:P ratio and total nutrient concentration on stream periphyton community structure, biomass, and elemental composition. *Limnology and Oceanography* 46, 356-367.
- TŘEŠŇÁKOVÁ, N (2015, v tisku): Vliv perifytonu na rozvoj zooplanktonu v rybnících, BP FROV České Budějovice.
- URBÁNEK, M (2015, v tisku): Vliv perifytonu na rozvoj bentosu v rybnících, BP FROV České Budějovice.
- VADEBONCOEUR, Y. & LODGE, A.D. (2000): Periphyton Production on Wood and Sediment: Substratum-Specific Response to Laboratory and Whole-Lake Nutrient Manipulations," *Journal of the North American Benthological Society* 19, 68-81.
- VERB, R.G. & VIS, M.L. (2000) Comparison of benthic diatom assemblages from streams draining abandoned and reclaimed coal mines and nonimpacted sites. *Journal of North American Benthological Society* 19, 274-288.

VERMAAT, J.E & HOOTSMANS, M.J.M. (1994): Periphyton dynamics in a temperature-light gradient In van VIERSEN, W., HOOTSMANS, M.J.M. & VERNON, L.P. (1960): Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Analytic Chemistry*. 32, 1144-1150.

WALLENTINUS, I. (1984): Comparisons of nutrient uptake rates for Baltic macroalgae with different thallus morphologies. *Marine Biology*. 80, 215-225.

WEITZEL, R.L (1979): Periphyton measurements and applications In: Weitzel, R.L. (ed.) *Methods and Measurements of Periphyton Communities: a Review*. American Society for Testing and Materials, *Special Technical Publication* 690, 3 -33.

WETZEL, R.G (1964): A comparative study of the primary productivity of higher aquatic plants, periphyton and phytoplankton in a large, shallow lake. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 48, 1-61.

WETZEL, R.G. (1983): *Limnology*, 2nd edition. Saunders, Philadelphia., 860 p.

VŠETIČKOVÁ, L. (2013): Hodnocení interakcí mezi chovem ryb v rybnících a indikátory kvality vody, Disertační práce. Masarykova univerzita, přírodovědecká fakulta v Brně, 107 p.

ZAR, J.H. (1984): *Biostatistical analysis*, 2nd ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 718 s.