

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

katedra ekologie



FYTOPLANKTON EXPERIMENTÁLNÍCH TŮNÍ:
KOLONIZACE A SEZÓNÍ VÝVOJ

(PHYTOPLANKTON IN EXPERIMENTAL PONDS:
COLONIZATION AND SEASONAL SUCCESSION)

Diplomová práce

Lenka Hrušková

Školitel: RNDr. Linda Nedbalová, Ph.D.

Praha, září 2010

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pouze s použitím uvedené literatury a jiných citovaných pramenů.

V Praze dne 1. září 2010

Lenka Hrušková

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi ráda poděkovala své školitelce. RNDr. Lindě Nedbalové, Ph.D. za ochotné vedení mé práce, za její trpělivost, rady a vstřícný přístup během mého celého studia na katedře.

Ke své práci jsem využívala fixované vzorky z kokořínských tůní z let 2007–2008 odebírané Mgr. Jiřím Hotovým, Bc. Danem Vondrákem a dalšími studenty a pracovníky katedry ekologie, kterým tímto děkuji za odběr vzorků, ale také za poskytnutá data o parametrech prostředí a zooplanktonu. Kokořínsko jsem „na vlastní kůži“ poznala za jednoho velmi studeného jarního dne v březnu 2008, kdy jsme odebírali tůně ve čtyřech. Terénní práce hydrobiologa je náročná a velmi obdivuji kolegy, kteří dokázali s třítydenním intervalem zajistit podrobné sledování všech osmnáct tůní.

Za cenné rady při určování fytoplanktonu bych velmi ráda vyjádřila svůj dík svému konzultantovi RNDr. Janu Fottovi, CSc.

Velký dík dále patří také mé rodině, která mě podporuje po celou dobu mého studia.

Svému partnerovi a přátelům, děkuji za to, že při mně stáli, psychicky mě podporovali a ve slabých chvílích mě podrželi, jinak by tato práce zřejmě vůbec nevznikla.

Vám všem patří můj srdečný dík.

ABSTRAKT

Umělé tůně představují ideální systémy pro studium ekologie fytoplanktonu, umožňují opakované nastolení počátečních podmínek a dostatečné množství opakování u nezávislých experimentálních jednotek v komplexních pokusech k testování hypotéz o kontrole struktury a funkci přírodních společenstev. V CHKO Kokořínsko bylo vytvořeno 20 experimentálních tůní, z nichž jsem zpracovala vzorky fytoplanktonu, tento výzkum byl součástí projektu EU BIOPool. Během prvních dvou let po naplnění tůní jsem zkoumala kolonizaci a sezónní vývoj společenstev fytoplanktonu v tůních. Provedla jsem kvalitativní analýzu fytoplanktonu tůní, poté jsem stanovila relativní početnost jednotlivých taxonů. Data o druhovém složení jsem porovnávala s naměřenými parametry prostředí (teplota, koncentrace kyslíku, pH, konduktivita, průhlednost, hloubka, koncentrace chlorofylu *a*, zástin a zooplankton). Tůně měly na jaře 2007 periodický charakter a jejich vývoj v čase (únor–duben) byl podobný, dominovaly následující taxonomické skupiny: Dinophyta, Chrysophyta, Cryptophyta a Euglenophyta. Po instalaci fólií na dno v červenci 2007 měly tůně trvalý charakter, z hlediska parametrů prostředí se jednotlivé tůně lišily v konduktivitě, koncentraci kyslíku, průhlednosti, hloubce, koncentraci chlorofylu *a*, v druhové bohatosti a složení zooplanktonu. V období od července 2007 do prosince 2008 dominovaly tyto taxonomické skupiny: Chlorophyta, Cryptophyta a Euglenophyta. V červenci 2007 proběhla inokulace poloviny tůní druhem *Daphnia curvirostris* a měla zásadní vliv na další vývoj tůní z hlediska druhové bohatosti a diverzity v tůních. Inokulované tůně si byly velmi blízké druhovým složením. Druhová bohatost i diverzita v tůních s perloočkami byla nižší v porovnání s tůněmi bez perlooček. Všechny sledované faktory prostředí vysvětlily 8.5 % celkové variability druhového složení fytoplanktonu, proměnná *Daphnia* vysvětlila 1 % variability.

Klíčová slova: experimentální tůně, fytoplankton, kolonizace, sezónní vývoj

ABSTRACT

Artificial ponds are excellent for the study of phytoplankton ecology. They permit repeatable initial conditions and sufficient replication of independent experimental units in complex experiments to test hypotheses about the control of structure and function in natural communities. There were 20 experimental ponds constructed in Kokořínsko Protected Landscape Area, from which samples were taken and analyzed. This study was part of the EU BIOPOOL. During the first two years after the filling of the ponds the colonization and the seasonal development of phytoplankton communities in the ponds were examined. The phytoplankton species composition was determined, then species richness and relative abundance of individual taxa were quantified. Species composition data were compared with the environmental parameters measured (temperature, oxygen concentration, pH, transparency, conductivity, depth, chlorophyll-*a* concentration, and zooplankton). In the spring 2007, the ponds were periodic, and followed a similar trend over time (February–April). There were dominated by the following taxonomic groups: Dinophyta, Chrysophyta, Cryptophyta, and Euglenophyta. After installing foil on the bottom of the ponds, the ponds were of permanent character. In terms of environmental parameters, the individual ponds differed in conductivity, oxygen concentration, transparency, depth, chlorophyll-*a*, shade and in zooplankton species richness and composition. In the period July 2007–December 2008, the following taxonomic groups dominated: Chlorophyta, Cryptophyta and Euglenophyta. In July 2007, the ponds were inoculated with *Daphnia*, which significantly influenced further development of the ponds in terms of phytoplankton species richness and diversity. The inoculated ponds were quite similar in species composition. Species richness and diversity in ponds with *Daphnia* were lower in comparison with ponds without cladocerans. All the environmental parameters measured explained 8,5 % of the variability in species composition, the variable *Daphnia* explained 1 % of the variability.

Keywords: experimental ponds, phytoplankton, colonization, seasonal succession

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. MATERIÁL A METODY	9
2. 1. Popis lokalit	10
2. 2. Experimentální tůň	10
2. 3. Odběr a zpracování vzorků	11
2. 4. Fotografická dokumentace	12
2. 5. Analýza dat	12
3. VÝSLEDKY	13
3. 1. Složení fytoplanktonu a sezónní vývoj	13
3. 1. 1. Parametry prostředí v období od února do dubna 2007	13
3. 1. 2. Parametry prostředí v období od července 2007 do prosince 2008	15
3. 2. Druhová bohatost a diverzita fytoplanktonu	22
3. 2. 1. Druhová bohatost	22
3. 2. 2. Druhová diverzita	24
3. 3. Sezónní vývoj fosfatázové aktivity	27
3. 3. 1. Taxonomické složení fytoplanktonu tůní	27
3. 3. 2. Sezónní vývoj druhového složení fytoplanktonu tůní na počátku roku 2007	30
3. 3. 3. Sezónní vývoj druhového složení fytoplanktonu tůní v období od července 2007 do prosince 2008	31
3. 3. 4. Analýza vztahu výskytu druhů a parametrů prostředí	39
4. DISKUSE	43
4. 1. Parametry prostředí	43
4. 2. Druhová bohatost a diverzita fytoplanktonu	47
4. 3. Druhové složení	49
5. ZÁVĚR	53
6. SEZNAM LITERATURY	54
7. APPENDIX	61

1. ÚVOD

Experimentální tůně jsou využívány ke studiu nejrůznějších ekologických otázek (ALFORD & WILBUR 1985, KASAI & HANAYATO 1995, WILBUR 1997, LOUETTE *et al.* 2008). Velkou výhodou experimentálních tůní oproti velkým nádržím je možnost zkoumat odděleně jednotlivá společenstva, možnost napodobovat přírodní podmínky a modelovat nejrůznější ekologické vlivy (PARK *et al.* 2008). Experimenty je možné provádět opakovaně, ve velkém počtu tůní najednou, navíc je možné účinně ovlivňovat řadu parametrů prostředí (WILBUR 1997). Malé tůně jsou proto velmi vhodné pro výzkum obecných ekologických principů na úrovni populací a společenstev, struktur potravních sítí (WILBUR 1997), fluktuaace podmínek prostředí v čase (JACOBS *et al.* 2008), případně kolonizace planktonními organismy a sezónní sukcese společenstev (ROSENZWEIG & BUIKEMA 1994, HIGGINS *et al.* 2007).

Výzkum dvaceti experimentálních tůní na Kokořínsku, ve kterých jsem studovala sezónní vývoj druhového složení fytoplanktonu, byl součástí projektu EU BIOPOL (Konektivita, disperze a efekt priority jako determinanty biodiverzity a fungování ekosystému na modelu společenstev malých vod). Tento projekt byl řešen v období 2006–2008, byl financovaný nadací ESF a národními grantovými agenturami. Projekt byl zaměřen na výzkum biodiverzity v dočasných vodách a faktorů, které ji ovlivňují. Cílem bylo porovnání výsledků z různých oblastí Evropy, projekt byl rozdělen do čtyř částí a byl realizován v následujících zemích: Belgie, Holandsko, Španělsko, ČR, Německo a Maďarsko. Náplní jednoho z programů bylo studium kolonizace nově vytvořených tůní a změn v druhovém složení v průběhu osidlování (včetně srovnání různých typů vodních ploch a různých geografických oblastí). Pozornost byla věnována především fytoplanktonu a zooplanktonu. Dále byl zkoumán vliv propojenosti lokalit na druhové bohatství na různých úrovních, vliv regionální biodiverzity, možných vektorů (vodní ptáci) či efekt priority. Součástí projektu byl i obecný výzkum dočasných vod a jejich biodiverzity ve vztahu k charakteristikám lokalit a jejich okolí.

Oblast CHKO Kokořínsko se vyznačuje velkou přírodní hodnotou s malým antropogenním vlivem, území je hojně zalesněné a velice členité, hluboká kaňonovitá údolí působí nepřístupně a izolovaně. Bylo zajímavé zjistit, jak v těchto přírodních podmínkách probíhá kolonizace nových lokalit z hlediska fytoplanktonu a které vlivy se při tomto procesu uplatňují.

Cílem této diplomové práce bylo pokusit se objasnit odpovědi na následující otázky týkající se kolonizace a sezónní sukcese fytoplanktonu ve sledovaných experimentálních tůních:

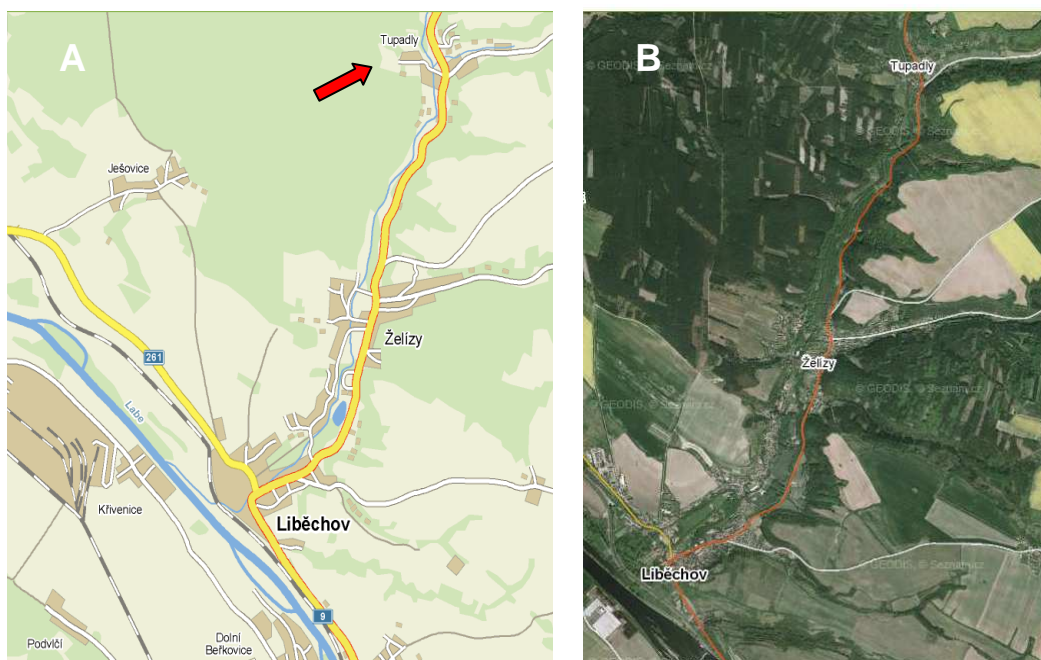
- Jak se tůně vyvíjely v čase z hlediska parametrů prostředí?
- Jaké druhy osídlily tůně jako první? Jaký byl vývoj druhové bohatosti a diverzity fytoplanktonu?
- Jaký byl sezónní vývoj druhového složení sinic a řas v jednotlivých tůních v čase? Vyvíjely se tůně stejným způsobem?
- Do jaké míry měřené parametry prostředí vysvětlují variabilitu druhového složení fytoplanktonu?
- Ovlivnila inokulace části tůní druhem *Daphnia curvirostris* druhovou diverzitu a složení fytoplanktonu?

2. MATERIÁL A METODY

2.1. Popis lokality

Sledované experimentální tůně se nachází na Kokořínsku, tato oblast je od roku 1976 vyhlášena chráněnou krajinnou oblastí o celkové rozloze 272 km². Základními rysy reliéfu krajiny jsou dvě hlavní skupiny povrchových tvarů – plošiny a často hluboce zahloubená několikapatrová údolí, na jejichž hranách se vytvořila skalní města. Podloží tvoří z velké části pískovce, které jsou často překryty nivními sedimenty, příkladem toho je okolí obce Tupadly (www.kokorinsko.ochranaprirody.cz), kde byly vytvořeny sledované tůně, jejich přesná poloha dle GPS je (N 50° 26' 14,5'', E 14° 28' 17,5'').

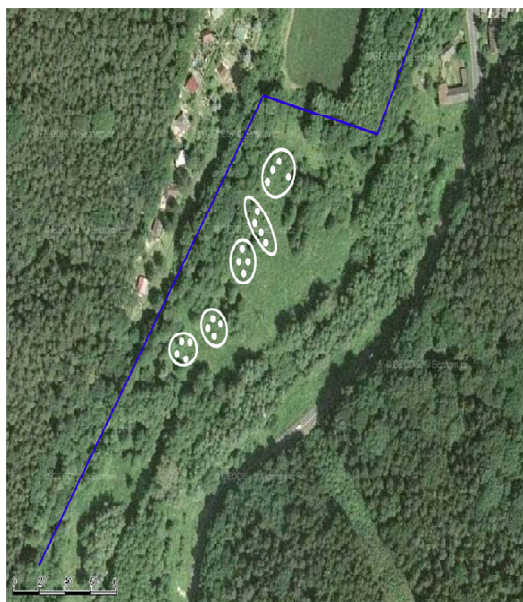
Tupadly leží v údolí potoka Liběchovky (obr. 1), které je typické vlhkými loukami, mokřadními společenstvy a vodními tůňmi. Zdejší mokřadní společenstva mají velkou přírodní hodnotu, v listopadu 1997 byla zařazena do území chráněných v rámci Ramsarské úmluvy. V mokřadních biotopech se nachází druhy živočichů i rostlin zapsaných v Červeném seznamu. Celých 72 % plochy lesních porostů je tvořeno dřevinami přirozené druhové skladby (obr.1B). Zdejší oblast je typická poměrně nízkou migrační aktivitou ptáků, ale z hlediska šíření organismů zde působí i jiné faktory (lesní zvěř, jarní zátopy).



obr. 1. Mapa lokality (Tupadly vyznačeny šipkou) (A) a ortofotoomapa (B).
Převzato z internetového zdroje www.mapy.cz

2.2. Experimentální tůň

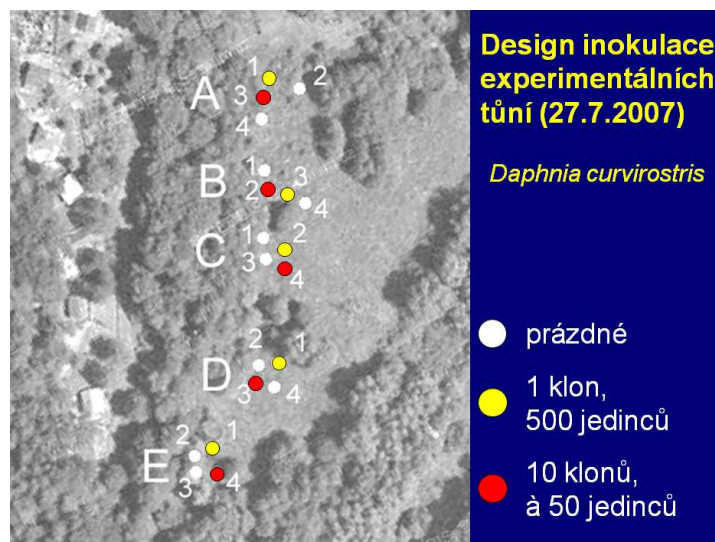
V centru mého zájmu bylo celkem pět skupin po čtyřech nově vytvořených experimentálních tůň (označených A1–E4), jejich poloha je zřejmá na obr. 2. Tůň jsou si podobné morfologií, hloubka je cca 1,5 m (předpokládaná hloubka vody je 1m), plocha je 5x5 m a plocha dna je 2x2 m (obr. 3). Původním předpokladem experimentu bylo, že tůň budou mít periodický charakter a že budou zaplavované od zimy do léta. Tůň byly vytvořeny v roce 2006 poté, co se střídavě se plnily po krátká období vodou a zase vysychaly, bylo přistoupeno k jejich umělému napuštění. První napouštění těchto tůň probíhalo postupně v květnu a červnu 2007 do výšky 70 cm filtrovanou vodou přes síto 40 μm z potoka Liběchovky. Nastal problém, jak udržet vodu v tůň – u většiny tůň hladina poklesla zásakem. Proto byly 27. června 2007 na dno umístěny fólie. 3. července 2007 byly vodou z Liběchovky naplněny tůň ze skupin A–C, 23. července 2007 byly napuštěny zbývající tůň (skupiny D a E). 27. července téhož roku proběhla inokulace tůň druhem *Daphnia curvirostris*. Schéma inokulace bylo následující: v rámci jedné skupiny (= 4 tůň) se vždy inokulovalo tímto způsobem: 500 jedinců jednoho klonu, 500 jedinců deseti klonů (po 50-ti jedincích z jednoho klonu) a zbylé dvě tůň ve skupině zůstaly prázdné



obr. 2. Rozmístění tůň na lokalitě.



obr. 3. Experimentální tůň.



obr. 4. Design inokulace tůní druhem *Daphnia curvirostris*.

2.3. Odběr a zpracování vzorků

První vzorky z tůní byly odebrány 29. listopadu 2006, poté se tůně střídavě plnily vodou a opět vysychaly, pravidelné odběry vzorků po třech týdnech byly tedy prováděny až od 31. července 2007. Od roku 2008 bylo odebíráno už jen 18 tůní, z důvodu snížení vodní hladiny na minimum a zaplnění tůně vegetací makrofyt. Vzorky byly fixovány Lugolovým roztokem a uchovány v plastových lahvích o objemu 250 ml na chladném a temném místě až do doby zpracování. Během odběrů byla ve všech tůních měřena teplota, konduktivita, koncentrace kyslíku a pH pomocí multisondy YSI a koncentrace chlorofylu *a* pomocí terénního fluorimetru Turner. Vzhledem k malé hloubce tůní byla průhlednost měřena pomocí Snellerovy trubice.

Kvalitativně a semikvantitativně jsem zpracovala fytoplankton z počátku roku 2007 (únor, březen a duben) a dále pak vzorky z druhé poloviny téhož roku (červenec, srpen, září, dva odběry v říjnu, listopad a prosinec). Pro porovnání jsem zpracovala vybrané vzorky z roku 2008 (březen, červenec, říjen a prosinec). Vzorky k porovnání jsem vybrala tak, abych mohla porovnat sezónní vývoj v experimentálních tůních v průběhu roku. Používala jsem světelné mikroskopy Nikon Eclipse a Carl Zeiss Jena k určování jednotlivých druhů fytoplanktonu ve fixovaných vzorcích jsem použila příručky HINDÁK (2008), KOMÁREK & FOTT (1983), HINDÁK (1978), POPOVSKÝ & PFEISTER (1990),

STARMACH (1985), KALINA & VÁŇA (2005). Zastoupení nalezených taxonů v jednotlivých tůních jsem vyjádřila v relativních počtech na stupnici 0–3.

2.4. Fotografická dokumentace

Fotografie jsem pořizovala na světelném mikroskopu Nikon Eclipse z fixovaných vzorků. Zcentrifugovala jsem 45 ml vzorku po dobu 15-ti minut, po slítí horní vrstvy vody jsem vzorek ještě krátce centrifugovala, získaný centrifugát jsem kápala na podložní sklo a přiklopila krycím sklem a pozorovala při zvětšení 40 a 100x0.65.

Následně jsem vyfotografovala pozorované objekty a zpracovala snímky pomocí programu Lucia Net. Snímky posloužily k přesnější determinaci fytoplanktonu experimentálních tůní.

2.5. Analýza dat

Pro základní statistické analýzy a grafická zobrazení variability parametrů prostředí, druhové bohatosti a diverzity byl použit program Graph Pad Prism 5.03. Pro analýzu druhových dat byly použity čtyři třídy relativních abundancí taxonů, tato data byla spolu s naměřenými proměnnými prostředí vyhodnocena mnohorozměrnými analýzami v programu CANOCO for Windows 4.5. Ordinační diagramy byly vytvořeny programem CanoDraw for Windows 4.0 (TER BRAAK & ŠMILAUER 1998, TER BRAAK & ŠMILAUER 2002). Vzhledem k délce gradientů byla použita lineární metoda (PCA) pro analýzu dat o prostředí i pro analýzu druhových dat. Pro nepřímou gradientovou analýzu (PCA) nebyla data transformována předem, ale byla centrována podle „species“ přímo v programu CANOCO for Windows 4.5. Pro analýzu vztahu druhů a parametrů prostředí byla použita s ohledem na délku gradientů lineární metoda (RDA). Data s naměřenými proměnnými prostředí byla transformována dle vzorce ($\log_{10}(x+1)$), data vyjádřená relativními počty nebyla transformována. Faktory prostředí byly testovány Monte-Carlo permutačními testy (n=1000) a postupným výběrem (forward selection) byly získány statisticky průkazné proměnné vysvětlující rozdíly v druhovém složení fytoplanktonu (na hladině významnosti $p=0,05$). Kovariátami pro analýzu vztahu druhů a parametrů prostředí (RDA) byly datum odběru a přesný čas odběru, pro zjištění čistého vlivu proměnné *Daphnia* byly jako kovariáty zadány všechny proměnné prostředí kromě proměnné *Daphnia*.

3. VÝSLEDKY

3.1. Parametry prostředí

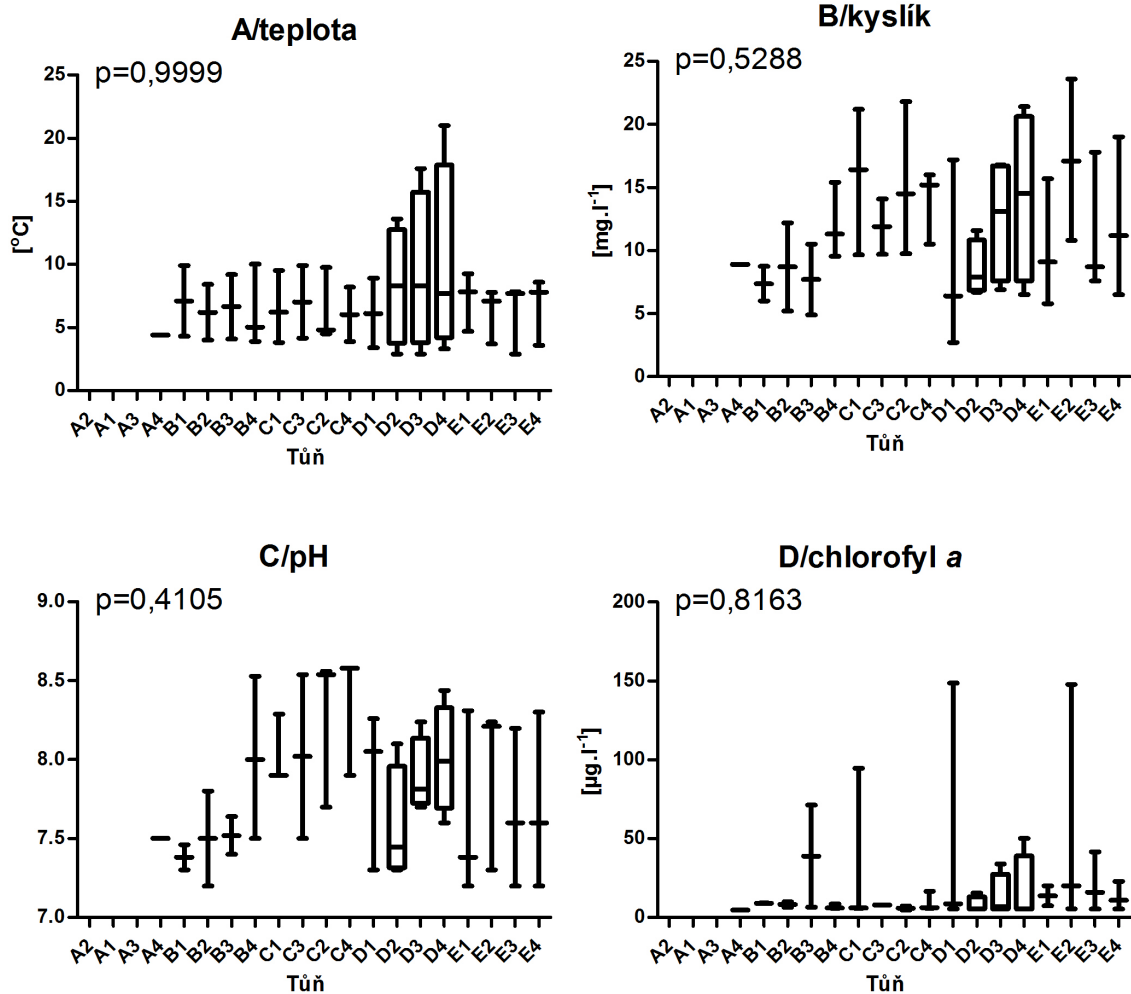
Sledované experimentální tůně na Kokořínsku měly od února do dubna 2007 zcela odlišný charakter ve srovnání s obdobím od července 2007 do prosince 2008. Tato rozdílnost byla dána především tím, že tůně na počátku roku 2007 měly periodický charakter, zatímco od července, kdy byly na dno tůní instalovány folie a tůně byly naplněny vodou z Liběchovky, hladina vody v tůních již zůstala až na výjimky konstantní. Proto jsem tato dvě období analyzovala zvlášť.

3.1.1. Parametry prostředí v období od února do dubna 2007

Skutečný počet odebíraných tůní z celkových dvaceti tůní (A1–E4) byl na jaře 2007 velmi variabilní vlivem různorodého vysychání tůní.

Z období před instalací folií (v období od února do dubna 2007) jsem měla k dispozici poměrně málo dat (obr. 5, tab. 1), velká část tůní byla vyschlá. Průhlednost nebyla měřena, hodnoty konduktivity kvůli technickým problémům s elektrodou nelze použít.

Teplota vody v tůních (obr. 5A) od února do dubna rostla, nejvyšší teplota (21 °C) byla naměřena koncem dubna v tůni D4, zatímco nejnižší teplota (2,9 °C) byla naměřena v únoru v tůních D2, D3 a E3. Koncentrace kyslíku (obr. 5B) měla zpočátku rostoucí tendenci, ale později v dubnu klesá, nejvyšší hodnota (23,6 mg.l⁻¹) byla naměřena v tůni E2 v únoru, nejnižší hodnota koncentrace (2,7 mg.l⁻¹) byla naměřena v tůni v D1 v únoru. Hodnota pH v tůních (obr. 5C) měla zpočátku rostoucí tendenci, koncem dubna klesla, nejvyšší hodnota pH (8,58) byla naměřena v tůni C4 v březnu a v dubnu, nejnižší hodnota pH byla naměřena v tůních E1, E3 a E4 v únoru. Koncentrace chlorofylu *a* v tůních (obr. 5 D) od února do dubna 2007 klesala, nejvyšší hodnota (148,7 µg.l⁻¹) byla naměřena v tůni D1 v únoru, nejnižší hodnota (4,5 µg.l⁻¹) byla naměřena také v únoru v tůni A4. V jarních tůních bylo velmi málo zooplanktonu, převažovali vířníci, v tůních se dále vyskytovala naupliová stádia klanonožců.

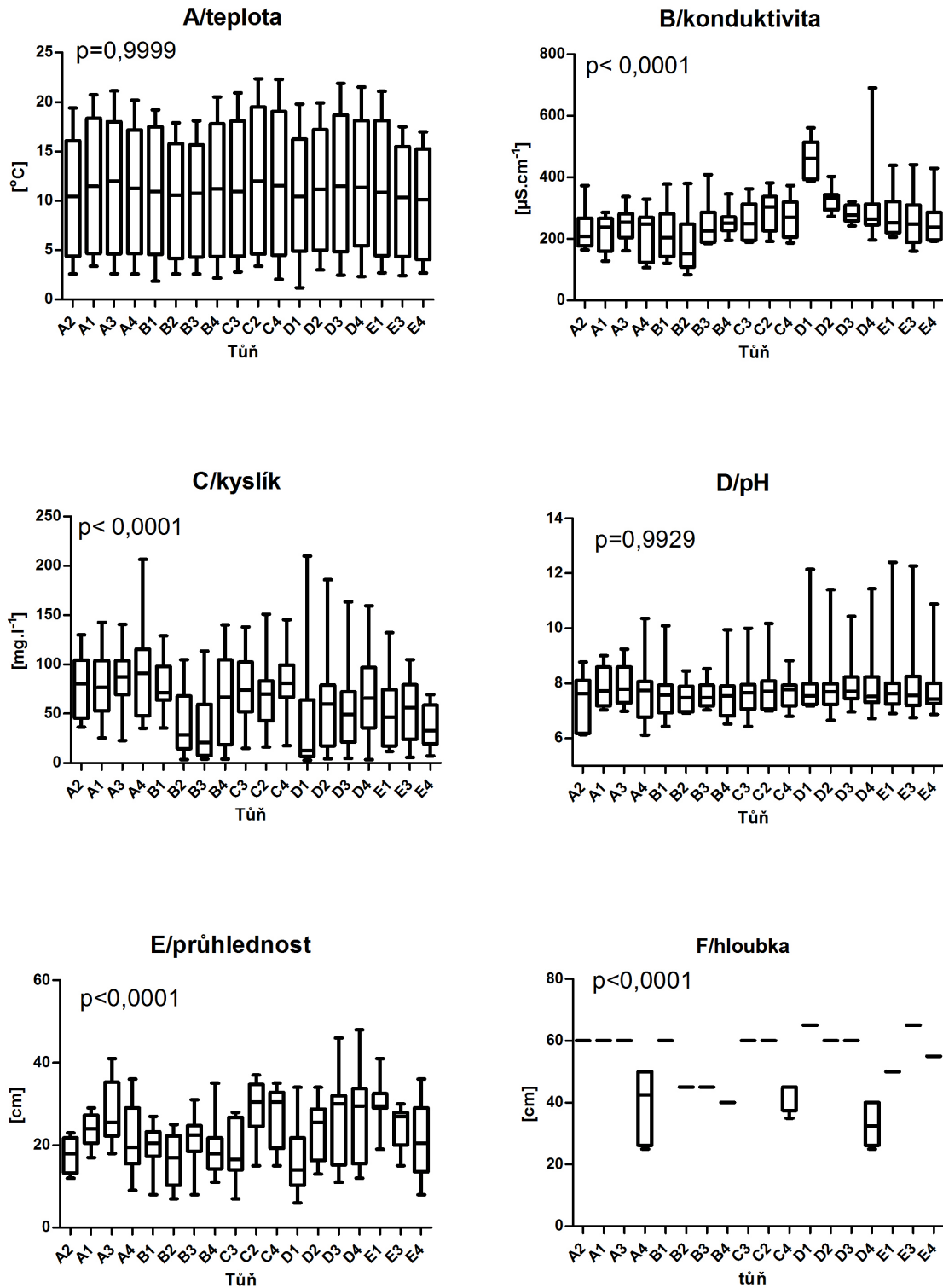


obr. 5. Parametry prostředí v tůňích před instalací folií (krabicové grafy znázorňují minimum, medián a maximum).

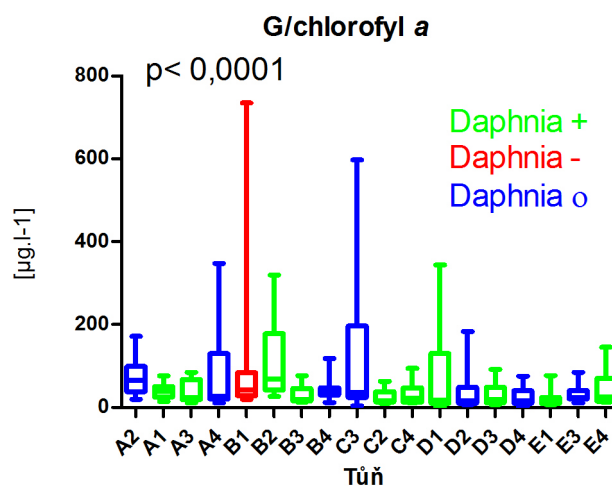
Rozdíly mezi naměřenými parametry prostředí v jednotlivých tůňích (obr. 5) nebyly statisticky signifikantní ($p > 0,05$), testováno neparametrickým testem (Kruskal-Wallis)

3.1.2. Parametry prostředí v období od července 2007 do prosince 2008

Abiotické faktory a koncentrace chlorofylu a



obr. 6. Parametry prostředí v tůňích od července 2007 do prosince 2008.



obr. 6. – pokračování (*Daphnia*+ inokulované tůňe, *Daphnia*- tůň, do které se perloočky během sledovaného období vůbec nerozšířily, *Daphnia o* tůňe, do kterých se perloočky postupně rozšířily)

Krabicové grafy (obr. 6.) zobrazují minimum, medián a maximum.

Na obr. 6 jsou znázorněny naměřené hodnoty parametrů prostředí od července 2007 do prosince 2008. Tůňe C1 a E2 vyschly, proto nebyly do analýz zařazeny.

Rozdíly v teplotě vody v jednotlivých tůňích v daném období nebyly signifikantní ($p > 0,05$), testováno parametrickým testem Anova. Teplota v tůňích (obr. 6A) směrem ke konci roku zpočátku pozvolna klesala, od listopadu do prosince roku 2007 měl pokles skokový ráz. Na jaře dalšího roku teplota rostla do července a poté opět poklesla. Nejnižší teplota ($1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) byla naměřena v tůňi D1 v prosinci roku 2008 a nejvyšší teplota ($22,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) byla naměřena v tůňi C2 v srpnu roku 2007.

Rozdíly v naměřených hodnotách konduktivity naměřené v jednotlivých tůňích byly signifikantní ($p < 0,0001$), testováno parametrickým testem Anova. Konduktivita v tůňích (obr. 2B) ke konci roku 2007 klesla, výjimkou byla tůň D1, kde byl trend opačný. Hodnoty konduktivity v roce 2008 dále klesaly, výjimkou byla opět tůň D1. Nejvyšší hodnota konduktivity ($690\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) byla naměřena v tůňi D4 v listopadu roku 2007 a nejnižší hodnota ($97\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) byla naměřena v tůňi B2 v červenci 2008.

Rozdíly v naměřených hodnotách koncentrace kyslíku naměřené v jednotlivých tůňích byly signifikantní ($p = 0,0011$), testováno parametrickým testem Anova. Koncentrace

kyslíku naměřená v tůních (obr. 6C) od července do prosince roku 2007 většinou klesala, v dalším roce již nebyl patrný jednotný trend u tůní. Nejvyšší hodnota koncentrace kyslíku ($23,6 \text{ mg.l}^{-1}$) byla naměřena v tůni E2 v únoru 2007 a nejnižší koncentrace kyslíku ($0,4 \text{ mg.l}^{-1}$) byla naměřena také v tůni D1 v listopadu roku 2007.

Rozdíly v hodnotách pH naměřené v jednotlivých tůních nebyly signifikantní ($p=0,9806$), testováno parametrickým testem Anova. Hodnoty pH naměřené v tůních (obr. 6D) od července do prosince roku 2007 postupně klesaly, v následujícím roce je patrný zcela opačný trend. Nejvyšší hodnota pH (12,4) byla naměřena v tůni E1 v prosinci 2008 naopak nejnižší hodnota (6,1) byla naměřena v tůni A4 v listopadu 2007.

Rozdíly v naměřených hodnotách průhlednosti byly statisticky signifikantní ($p<0,0001$), testováno parametrickým testem (Anova). Naměřená průhlednost v tůních (obr. 6E) v rozmezí od července do prosince roku 2007 v převážné části tůní klesá, v následujícím roce je tento trend obdobný. Nejvyšší hodnota průhlednosti (48 cm) byla naměřena v tůni v D4 v červenci 2008, naopak nejnižší hodnota průhlednosti (6 cm) byla naměřena v tůni D1 v květnu 2008.

Rozdíly v naměřených hodnotách hloubky tůní byly statisticky signifikantní ($p<0,0001$), data neměla normální rozložení, proto byla data testována neparametrickou Anovou (Kruskal-Wallis). Naměřená hloubka v tůních (obr. 6F) byla většinou konstantní až na výjimky A4, C4 a D4. Nejvyšší hloubka (65 cm) byla zjištěna v tůních D1 a E3 konstantně po celé časové rozmezí, naopak nejnižší hodnota (25 cm) byla naměřena v tůních A4 a D4, kde koncem roku 2008 výrazně poklesla hladina vody.

Rozdíly v naměřených hodnotách koncentrace chlorofylu byly statisticky signifikantní ($p<0,0001$), testováno neparametrickým testem (Kruskal-Wallis).

U koncentrace chlorofylu *a* v tůních není patrný jednotný trend růstu nebo poklesu koncentrace, nejvyšší hodnota koncentrace chlorofylu ($735,2 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$) byla naměřena v tůni B1 v květnu 2008, naopak nejnižší hodnota ($1,4 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$) byla naměřena v tůni D4 koncem října 2007.

Sezónní vývoj parametrů prostředí a jejich variabilitu mezi tůněmi v celém období sledování přehledně shrnuje tab. 1.

tab. 1 Přehled sezónního vývoje faktorů prostředí v tůňích. Pro každé datum je uvedena průměrná hodnota a směrodatná odchylka.

Datum	Teplota (°C)	Konduktivita (μS.cm-1)	Kyslík (mg.l-1)	pH	Průhlednost (cm)	Chlorofyl <i>a</i> (μg.l ⁻¹)
7.2.2007	3,8 ± 0,6	–	11,4 ± 7,0	7,5 ± 0,2	–	44,0 ± 47,8
7.3.2007	9,0 ± 1,0	–	15,2 ± 3,3	7,9 ± 0,4	–	8,4 ± 4,1
4.4.2007	6,6 ± 1,2	–	9,6 ± 1,4	8,3 ± 0,2	–	5,7 ± 0,2
27.4.2007	17,4 ± 3,7	–	6,9 ± 0,4	7,7 ± 0,3	–	5,7 ± 0,2
31.7.2007	18,8 ± 1,9	366,9 ± 51,8	12,2 ± 2,9	8,8 ± 0,4	19,2 ± 4,3	61,6 ± 35,6
21.8.2007	20,0 ± 1,6	314,1 ± 39,7	7,6 ± 1,9	8,0 ± 0,3	24,8 ± 6,9	31,9 ± 20,5
11.9.2007	13,8 ± 0,7	297,6 ± 41,3	8,6 ± 2,4	7,4 ± 0,2	28,1 ± 5,9	25,2 ± 23,0
4.10.2007	13,8 ± 1,0	274,2 ± 46,7	6,1 ± 2,8	7,7 ± 0,2	26,7 ± 6,0	25,2 ± 22,4
23.10.2007	5,7 ± 0,3	291,1 ± 56,8	5,8 ± 3,0	7,8 ± 0,4	27,1 ± 6,3	24,1 ± 18,5
19.11.2007	4,2 ± 0,4	284,8 ± 120,8	2,2 ± 2,1	6,8 ± 0,3	18,9 ± 6,6	31,0 ± 21,1
17.12.2007	2,8 ± 0,5	265,2 ± 66,0	3,4 ± 3,3	6,9 ± 0,3	17,3 ± 7,9	33,1 ± 19,5
12.3.2008	8,0 ± 0,7	223,0 ± 74,1	7,3 ± 3,2	7,4 ± 0,3	22,1 ± 8,3	44,8 ± 59,8
30.7.2008	18,9 ± 1,4	366,9 ± 51,8	6,2 ± 3,6	7,4 ± 0,5	22,8 ± 9,0	73,7 ± 87,6
6.10.2008	9,4 ± 0,6	211,5 ± 101,0	6,3 ± 3,3	7,5 ± 0,3	27,6 ± 10,4	57,3 ± 87,4
10.12.2008	2,7 ± 0,6	204,3 ± 86,9	6,3 ± 6,4	10,1 ± 1,6	19,3 ± 8,5	140,5 ± 158,5

Zástin

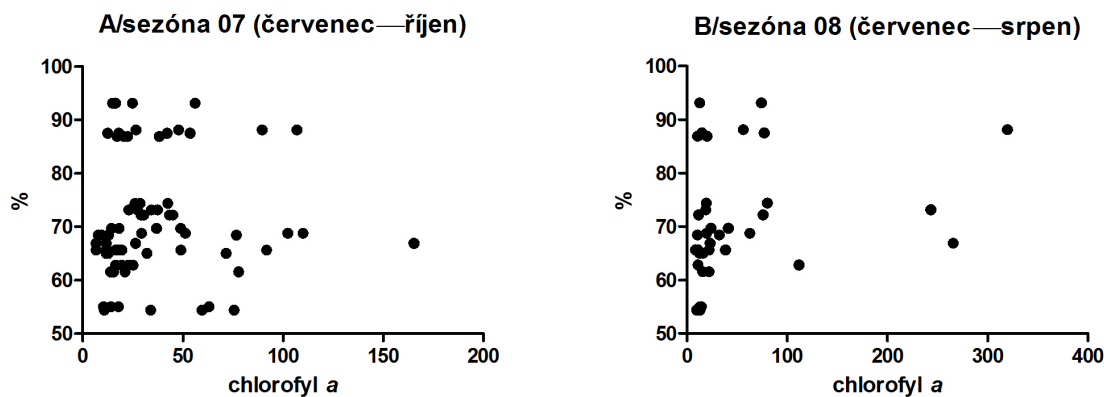
Na sledované tůně nedopadaly světelné paprsky ve stejné míře, zastínění tůní bylo způsobeno stromy a vegetací na březích. Míra zástinu je vypočtena jako průměrné zastínění během dne v procentech, tedy kolik procent dne nedopadá na hladinu přímé světlo. Hodnoty (tab. 2) vznikly přepočítáním údajů získaných z celodenního pozorování tůní dne 1. 7. 2009. Jedná se o součet přímo osvětlené plochy (v procentech, terénní pozorování každou hodinu u každé tůně) / 24 (dohromady tedy aritmetický průměr) (Vondrák os. sdělení).

tab. 2 Přepočítané hodnoty zástinu tůní, vyjádřeno v procentech (tůně C1 a C2 byly vyschlé).

Tůň	A2	A1	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C3	C2	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4
%	79	80	77	75	83	92	92	81	—	82	70	77	78	74	77	70	79	—	91	95

Z tab. 2 je patrné, že nejvíce osvětlené tůňe byly např. D4, C2, A4 a D2, naopak nejvíce zastíněné byly např. E4, E3, B2 a B3.

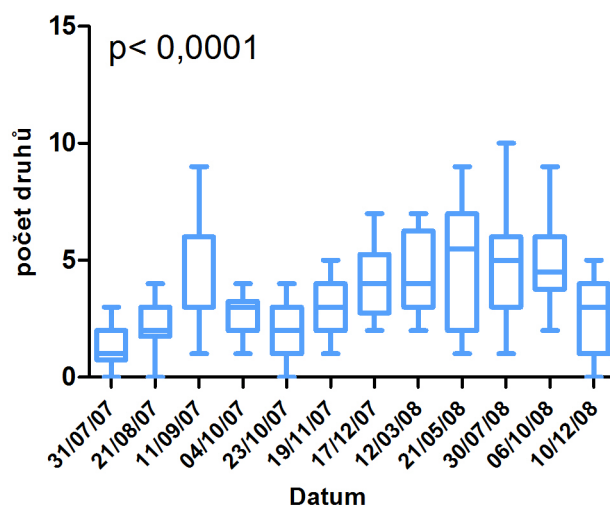
Koncentrace chlorofylu *a* v tůňích byla nezávislá na zastínění tůňí (obr. 7).



obr. 7. Závislost koncentrace chlorofylu *a* na zastínění tůňí.

Zooplankton – vířníci

V období od července 2007 do prosince 2008, mi byla poskytnuta data od zooplanktonu v tůňích (Vondrák os. sdělení), průměrný počet druhů nepřesahoval číslo pět, maximální počet druhů byl nalezen v tůňi (10 druhů) A1 v červenci 2008, naopak minimální počet druhů (0 druhů) byl zaznamenán v tůňích A3 v červenci 2007, A4 v říjnu 2007, B3 a B4 v červenci 2007, v D1 v srpnu 2007 a v říjnu 2008, dále v D4 v říjnu 2007 a v E3 v červenci a v srpnu 2007. Z grafu (obr. 8) je patrné, že počet druhů se v jednotlivých odběrech signifikantně lišil ($p < 0,0001$). V červenci 2007 byly tůňe inokulovány druhem *Daphnia curvirostris*, ty se pak postupně rozšířily do dalších tůňí, šíření perlooček v tůňích, probíhalo postupně (tab. 3).



obr. 8. Druhová bohatost zooplanktonu v tůních v období od července 2007 do prosince 2008 (Vondrák os. sdělení).

tab. 3. První výskyt *Daphnia curvirostris* v neinokulovaných tůních.

A2	A4	B4	B1	C3	D4	D2	E3
07/07	07/07	08/07	—	08/07	09/07	10/07	07/08

V tůni B1 v období od července 2007 do prosince 2008 nebyl výskyt druhu *Daphnia curvirostris* potvrzen.

Korelace a sezónnost parametrů prostředí

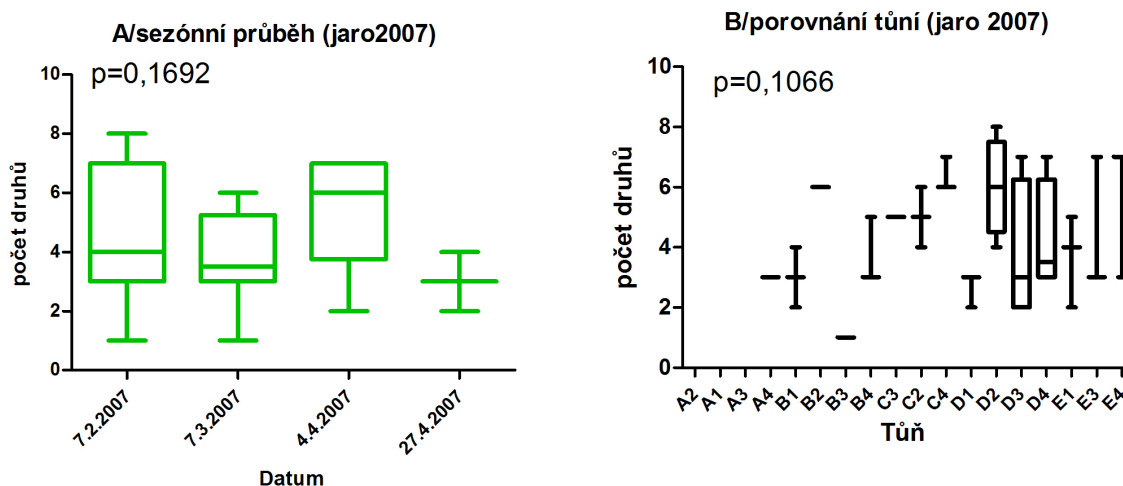
Vzájemný vztah parametrů prostředí zjištěný nepřímou gradientovou analýzou (PCA) je zobrazen v obr. 9. První dvě osy vysvětlují 88,2 % celkové variability souboru. Zřejmá je pozitivní korelace mezi průhledností a přítomností perlooček, dále mezi koncentrací kyslíku a pH, pozitivní korelace je též patrná mezi teplotou, konduktivitou a hloubkou. Silná negativní korelace je naopak patrná u vztahu koncentrace chlorofylu *a* přítomností perlooček a průhledností. Nápadně odlišné (vysoké) hodnoty pH, koncentrace kyslíku a konduktivity byly pozorovány v tůních v červenci 2007.

3.2. Druhová bohatost a diverzita fytoplanktonu

3.2.1. Druhová bohatost

únor – duben 2007

Na jaře roku 2007 byla velká část tůní vyschlá, z obr. 10 je patrne, že v odebraný tůních byl nízký počet druhů. Počet druhů v tůních byl proměnlivý, nelze zde hovořit o žádném trendu, nejnižší počet druhů (1 druh) jsem nalezla v tůní B3 z odběrů v únoru a v břežnu 2007. Nejvíce druhů (8 druhů) jsem nalezla v tůní D2 v únoru.

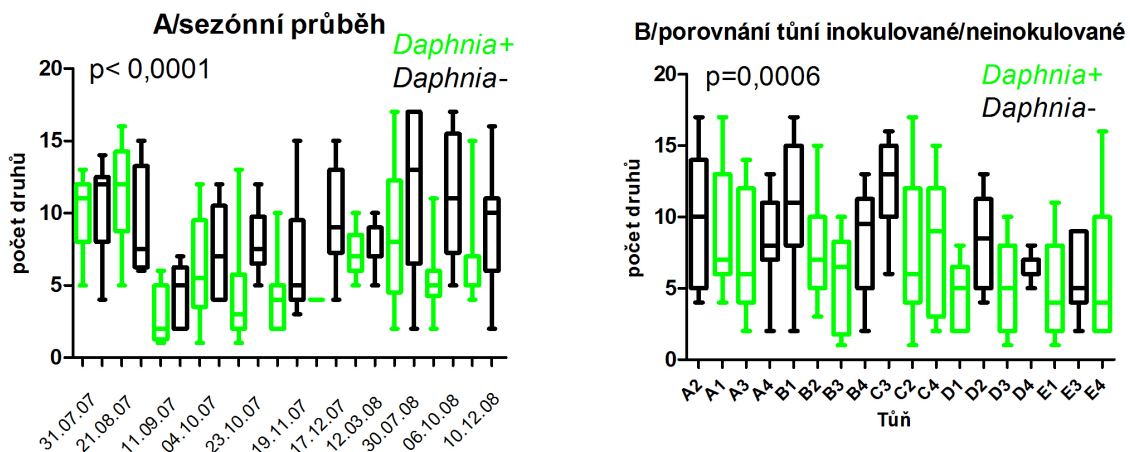


obr. 10. Druhová bohatost v tůních na jaře 2007 (A – počet druhů fytoplanktonu v tůních v jednotlivý měsících odběru, B – celkove porovnanı počtu druhů v jednotlivý tůních). Všechny krabicové grafy v kapitole 4. 2. znazornujı minimum, medián a maximum.

Počet druhů v jednotlivý odběrech se signifikantně nelišil ($p=0,1692$). Počet druhů v jarních tůních se tez signifikantně nelišil ($p=0,1066$). Data neměla normální rozdělení a byla testována neparametrický m testem (Kruskal–Wallis).

ervenec 2007 – prosinec 2008

V období od ˇervence 2007 do prosince 2008 se v porovnanı s předchozím obdobím výrazně zvryšil počet druhů v tůních (obr. 11). Nejmenší počet druhů (1 druh) jsem nalezla v následujících tůních: B3 v zarı a v říjnu 2007, C2 v zarı 2007, D3 v zarı 2007 a E1 v říjnu 2007. Nejvyšší počet druhů (17 druhů) jsem v tomto časovém rozmezí nalezla v tůních A2 a A1 v ˇervenci 2008, v tůní B1 v ˇervenci a v říjnu 2008 a v tůní C2 v ˇervenci 2008.



obr. 11. Druhová bohatost v tůních od července 2007 do prosince 2008 (A – počet druhů v jednotlivých odběrech, zelené krabicové grafy označují tůně, ve kterých byly nalezeny perloočky z rodu *Daphnia*, B – počty druhů v jednotlivých tůních od července 2007 do prosince 2008, zelené krabicové grafy označují počet druhů v inokulovaných tůních a černé označují počet druhů v neinokulovaných tůních).

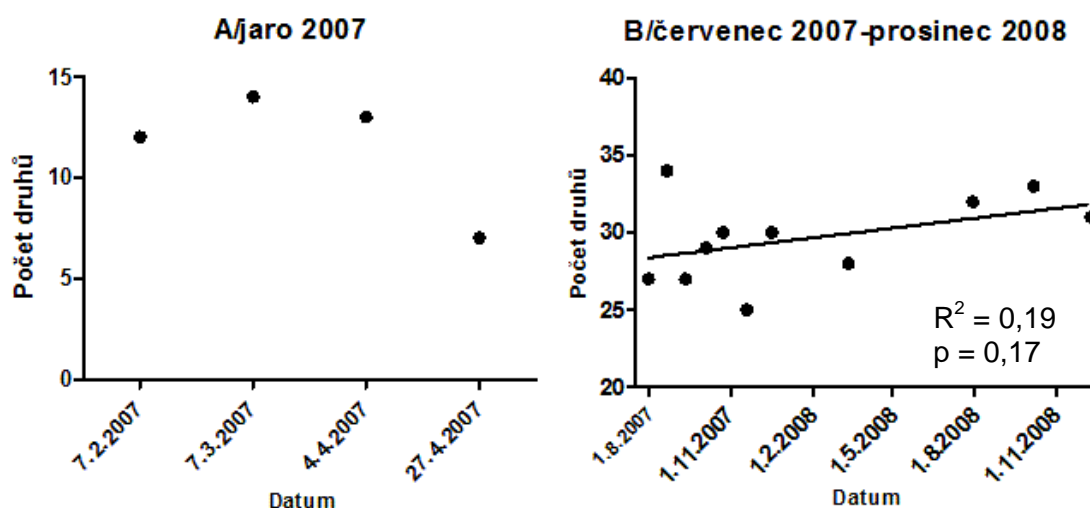
Počet druhů se v průběhu sezón 2007 a 2008 signifikantně lišil ($p < 0,0001$). Data většinou neměla normální rozložení, proto byla testována neparametrickým testem (Kruskal–Wallis). V tůních, kde byl zaznamenán výskyt druhu *Daphnia curvirostris*, byl počet druhů nižší v porovnání s tůněmi, kde perloočky nebyly zaznamenány. Přítomnost perlooček vysvětlila 5,5 % variability ($p = 0,0001$), proměnná čas 21, 1 % variability ($p < 0,0001$). Interakce mezi oběma vysvětlujícími proměnnými byla nevýznamná ($p = 0,1128$) (two-way ANOVA).

V období od července 2007 do prosince 2008 se tůně signifikantně lišily počtem druhů ($p = 0,0006$), data měla normální rozložení, proto byla testována parametrickým testem (Anova). Inokulované tůně měly signifikantně nižší počet druhů (průměr = 6,8) v porovnání s neinokulovanými tůněmi (průměr = 8,6) (t-test, $p = 0,0014$).

Celkový počet druhů v tůních

Na počátku roku 2007 byl celkový počet druhů nízký, nejvíce druhů (15) jsem našla v březnovém odběru, nejméně (7) jsem našla v dubnu (obr.12A), toto číslo však není reprezentativní, protože voda byla pouze ve třech tůních.

V období od července 2007 do prosince 2008, jsem zaznamenala vyšší počet druhů, nejvíce druhů (34) jsem zaznamenala v odběru ze srpna 2007, nejméně (25) jsem zaznamenala v odběru z listopadu 2007 (obr. 12B).

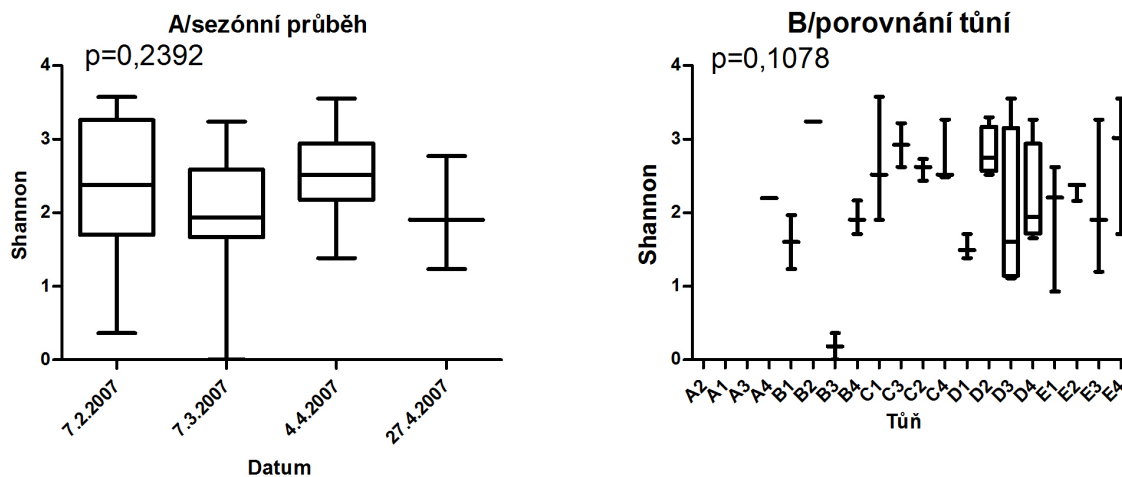


obr. 12. Celkový počet druhů fytoplanktonu v tůních (A – únor–duben 2007, B – červenec 2007– prosinec 2008).

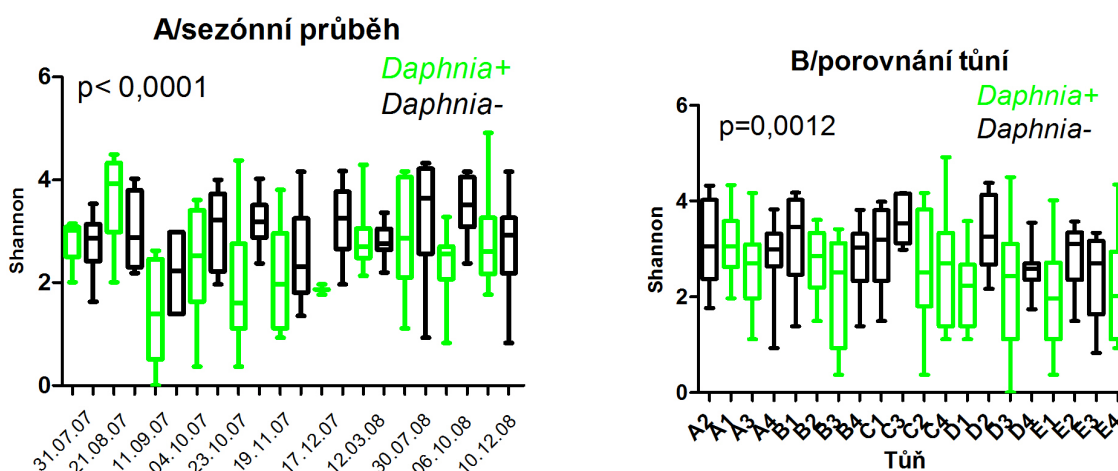
3.2.2. Druhov diverzita

Únor – duben 2007

Druhov diverzita se na počátku roku 2007 v průběhu sledování signifikantn nelišila ($p=0,2392$) (obr. 13A). Totéž platilo pro porovnání druhov diverzity v jednotlivých tůních se za cel toto období (obr. 9B) ($p=0,1078$). Data neměla normln rozložení, proto byla testována neparametrickými testy (Kruskal–Wallis).



obr. 13. Druhová diverzita (Shannon-Weaverův index) v tůních na počátku roku 2007 (A – sezónní průběh, B – celkové porovnání jednotlivých tůní).



obr. 14. Druhová diverzita (Shannon-Weaverův index) v tůních od července 2007 do prosince 2008 (A – sezónní průběh, zelené krabicové grafy označují tůně, ve kterých byly nalezeny perloočky z rodu *Daphnia*, B – počty druhů v jednotlivých tůních, zelené krabicové grafy označují index diverzity v inokulovaných tůních a černé v neinokulovaných tůních).

Index diverzity v průběhu sledování se signifikantně lišil ($p < 0,0001$), data měla normální rozložení, proto byla testována parametrickým testem (Anova) (obr. 14A). V tůních, kde byl zaznamenán výskyt druhu *Daphnia curvirostris*, byla diverzita nižší v porovnání s tůněmi, kde perloočky nebyly zaznamenány. Přítomnost perlooček vysvětlila 4,5 %

variability ($p=0,001$), proměnná čas 13,1 % variability ($p=0,0006$). Interakce mezi oběma vysvětlujícími proměnnými byla nevýznamná ($p=0,07$) (two-way ANOVA).

Index diverzity v jednotlivých tůních za celé období sledování se signifikantně lišil ($p=0,0012$), data měla normální rozložení, proto byla testována parametrickým testem (Anova) (obr. 14B). Inokulované tůně měly signifikantně nižší druhovou diverzitu (průměr = 2,48) v porovnání s neinokulovanými tůněmi (průměr = 2,97) (t-test, $p=0,0002$).

3.3. Druhové složení a jeho sezónní vývoj

3.3.1. Taxonomické složení fytoplanktonu tůní

V rozmezí let 2007–2008 se ve sledovaných experimentálních tůních na Kokořínsku vyskytovalo 51 druhů ze sedmi taxonomických skupin a dále dva taxony ze sběrné skupiny ostatní (viz tab. 4). V mnoha případech byla determinace provedena jen do úrovně rodu, protože vzorky byly fixované Lugolovým roztokem. Kromě taxonů determinovaných na úroveň druhu či rodu, jsem dále v tůních nalezla pikoplankton (viz tab. 4). Skupinu „pikoplankton“ jsem si zvolila jako sběrnou skupinu pro blíže neurčený piko- a nanoplankton. Zaznamenávala jsem též přítomnost nálevníků.

tab. 4. Seznam druhů nalezených v tůních.

	DRUH	AUTOR/AUTOŘI	AKRONYM
Cyanobacteria	<i>Chroococcus</i> sp.	NÄGELI	Chroocc
	<i>Merismopedia</i> sp.	MEYEN	Meris
	cf. <i>Myxobaktron</i> sp.	SCHMIDLE	Myxoba
Dinophyta	<i>Peridinium</i> sp.	EHRENBERG	Peridi
	<i>Gymnodinium</i> sp.	STEIN	Gymnod
	<i>Woloszynskia</i> sp.	R. H. THOMPSON	Wolosz
Cryptophyta	<i>Cryptomonas marsonii</i>	SKUJA	CrypMa
	<i>Cryptomonas</i> sp.	EHRENBERG	CrypSt
	<i>Cryptomonas</i> sp.	EHRENBERG	CrypMI
	<i>Cryptophyceae</i> g. sp.		Flage
Chrysophyta	<i>Dinobryon</i> sp.	EHRENBERG	Dinobr
	<i>Chromulina</i> sp.	L. CIENKOWSKY	Chromul
	<i>Chrysococcus</i> sp.	G. A. KLEBS	Chrysoc
Chlorophyta	<i>Ankistrodesmus</i> cf. <i>bibraianus</i>	(REINSCH) KORSHIKOV	AnkBib
	<i>Ankistrodesmus</i> cf. <i>fusififormis</i>	CORDA EX KORSHIKOV	AnkFus
	cf. <i>Closteriopsis</i> sp.	LEMMERMANN	Closte
	<i>Closteriopsis</i> cf. <i>acicularis</i>	(CHODAT) J. H. BELCHER & SWALE	CloAci
	<i>Coelastrum</i> sp.	NÄGELI	Coelas
	<i>Coelastrum microporum</i>	NÄGELI	CoelMi
	<i>Coelastrum reticulatum</i>	(P. A. DANGEARD) SENN	CoelRe
	<i>Crucigenia fenestrata</i>	(SCHMIDLE) SCHMIDLE	CrucFen
	<i>Distyosphaerium</i> sp.	NÄGELI	Dictyo
	<i>Didymocystis fina</i>	J. KOMÁREK	DidyFi
	<i>Golenkiniopsis</i> sp.	KORSHIKOV	Golenk
Chlorophyta	<i>Chlamydomonas</i> sp.	EHRENBERG	Chlamyd

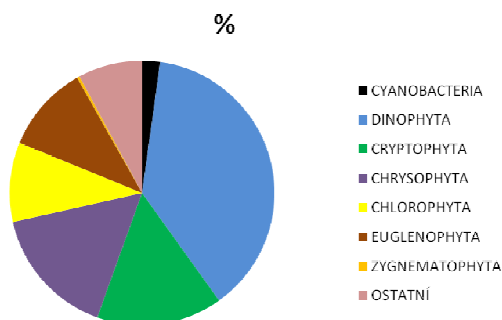
	DRUH	AUTOR/AUTOŘI	AKRONYM
	cf. <i>Chlorella</i> sp.	M. BEIJERINCK	Chlore
	<i>Kirchneriella</i> cf. <i>irregularis</i>	(G. M. SMITH) KORSHIKOV	KirchIre
	<i>Monoraphidium arcuatum</i>	(KORSHIKOV) HINDÁK	MonArc
	<i>Monoraphidium</i> cf. <i>braunii</i>	(NÄGELI) KOMÁRKOVÁ—LEGNEROVÁ	MonBra
	<i>Monoraphidium contortum</i>	(THURET) KOMÁRKOVÁ—LEGNEROVÁ	MonCon
	<i>Monoraphidium irregulare</i>	(G. M. SMITH) KOMÁRKOVÁ—LEGNEROVÁ	MonIre
	<i>Monoraphidium</i> cf. <i>komarkovae</i>	NYGAARD	MonKom
	<i>Monoraphidium minutum</i>	(NÄGELI) KOMÁRKOVÁ—LEGNEROVÁ	MonMin
	<i>Monoraphidium obtusum</i>	(KORSHIKOV) KOMÁRKOVÁ—LEGNEROVÁ	MonObt
	<i>Oocystis</i> sp.	NÄGELI EX A. BRAUN	Oocyst
	<i>Pediastrum boryanum</i>	(TURPIN) MENEGHINI	PedBor
	<i>Pediastrum duplex</i>	MEYEN	PedDup
	<i>Pediastrum simplex</i>	MEYEN	PedSim
	<i>Pediastrum tetras</i>	(EHRENBERG) RALFS	PedTet
	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>	G. M. SMITH	PlaGel
	<i>Scenedesmus abundans</i>	(O. KIRCHNER) CHODAT	SceAbu
	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	(LAGERHEIM) CHODAT	SceAcu
	<i>Scenedesmus acutus</i>	MEYEN	SceAcut
	<i>Scenedesmus ecornis</i>	(EHRENBERG) CHODAT	SceEco
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	(TURPIN) BRÉBISSON	SceQua
	<i>Suxenella</i> cf. <i>mitrae</i>	(G. L. TIWARI & D. C. PANDEY) B. FOTT	SuxMit
	<i>Tetraedron</i> sp.	KÜTZING	Tetrae
Euglenophyta	<i>Euglena</i> sp.	EHRENBERG	Euglena
	<i>Phacus</i> sp.	DUJARDIN	Phacus
	<i>Trachelomonas volvocina</i>	EHRENGERG	TrachVo
Zygnematophyta	<i>Closterium</i> sp.	NITZSCH EX RALFS	Closte
Ostatní	<i>Strombidium</i> +Ciliata		Stromb
	pikoplankton		Pikopl

Srovnání zastoupení taxonomických skupin na počátku roku 2007 a v období červenec 2007 až prosinec 2008

Na počátku roku 2007, kdy měly tůně periodický charakter, měly největší podíl v tůních obrněnky (Dinophyta), nejmenší podíl měly sinice (Cyanobacteria) (tab. 5).

tab. 5. Zastoupení taxonomických skupin na počátku roku 2007 vyjádřené v procentech (na základě semikvantitativních dat).

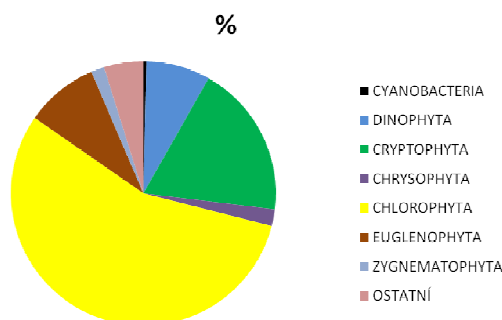
	%
Cyanobacteria	2,2
Dinophyta	37,9
Cryptophyta	15,4
Chrysophyta	16,0
Chlorophyta	9,7
Euglenophyta	10,7
Zygnematophyta	0,3
Ostatní	7,8



Po vyložení tůní foliemi a opětovném zaplnění vodou tůně ztratily periodický charakter, změnilo se též druhové složení, jak ukazuje tab. 6. V období od července 2007 do prosince 2008 byly v tůních hojně zastoupeny zejména obrněnky (Dinophyta), zlativky (Chrysophyta), skrytěnky (Cryptophyta) a krásnoočka (Euglenophyta) (tab. 6).

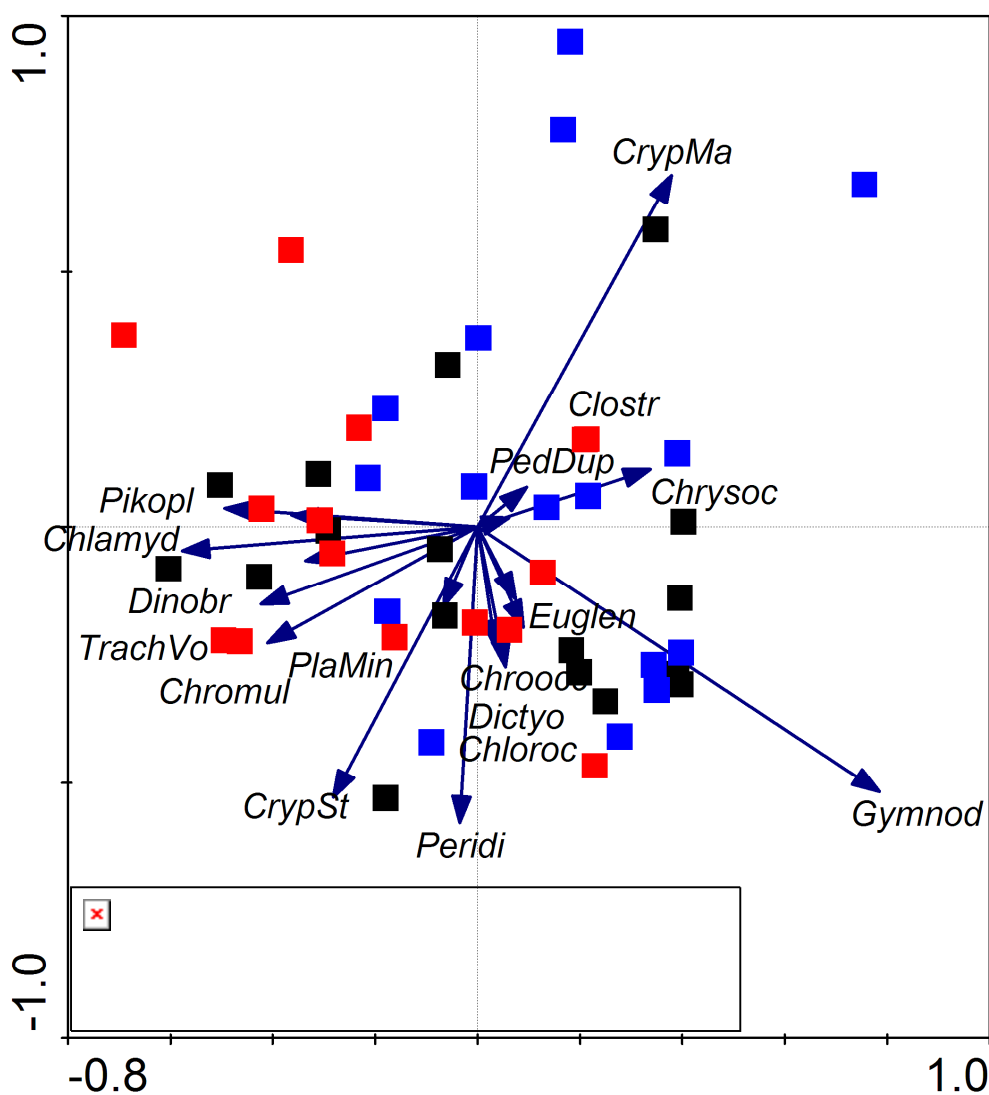
tab. 6. Zastoupení taxonomických skupin od července 2007 do prosince 2008 (na základě semikvantitativních dat).

	%
Cyanobacteria	0,3
Dinophyta	7,8
Cryptophyta	18,7
Chrysophyta	2,0
Chlorophyta	55,7
Euglenophyta	8,9
Zygnematophyta	1,6
Ostatní	4,8



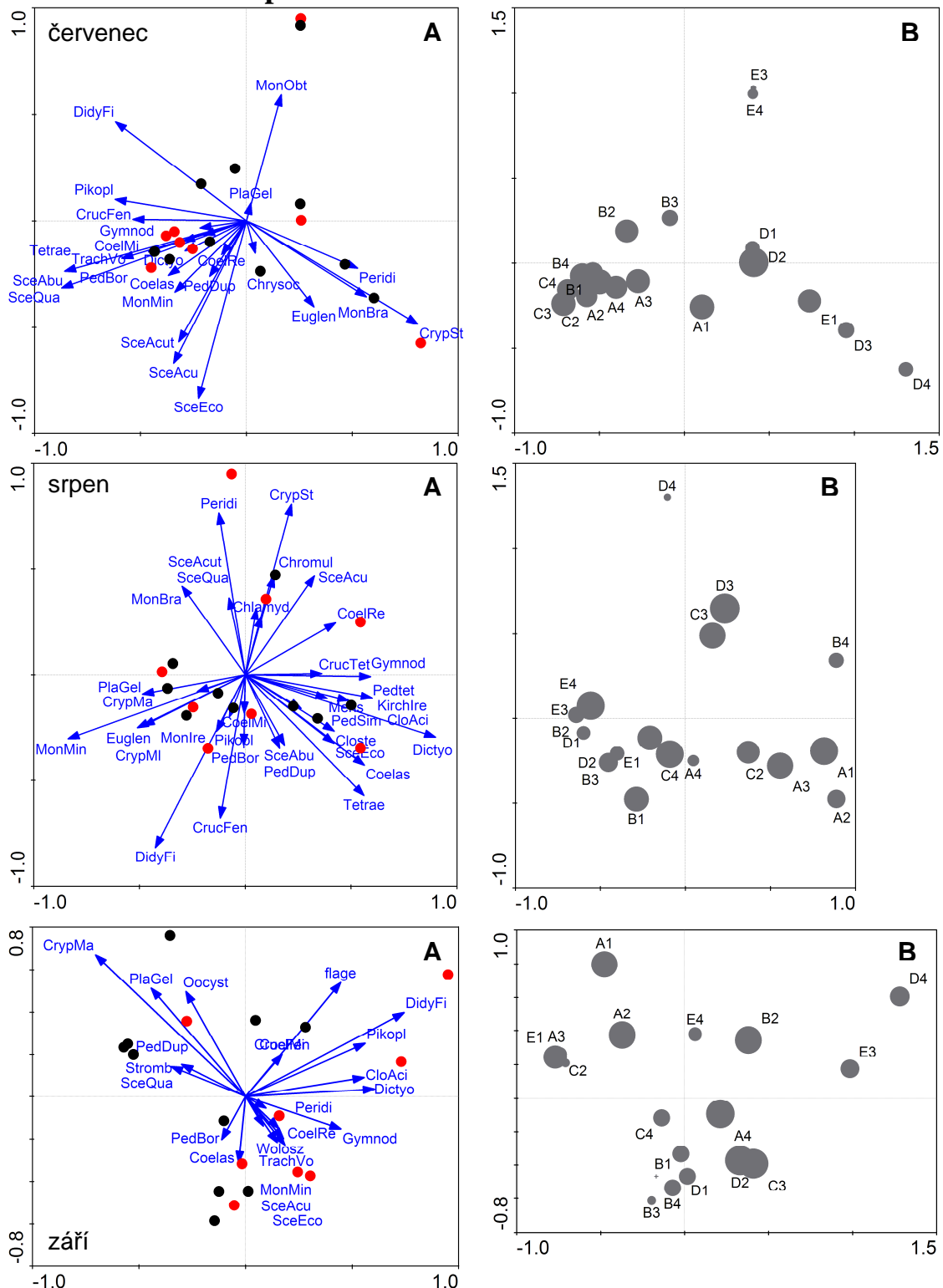
3.3.2. Sezónní vývoj druhového složení fytoplanktonu tůní na počátku roku 2007

Na obr. 15 jsou zobrazeny výsledky PCA analýzy druhového složení fytoplanktonu tůní na počátku roku 2007. Z grafu je patrné, že fytoplankton tůní se v tomto období v jednotlivých odběrových datech (únor–duben) příliš nelišil. V tůních převažovaly rody: *Cryptomonas*, *Gymnodinium* a *Peridinium*, velmi časté byly rody: *Chromulina*, *Trachelomonas*, *Chlamydomonas*, *Chrysooccus* a *Dinobryon* a pikoplankton. Počet druhů v jednotlivých tůních byl nízký (medián = 4) (obr. 10).

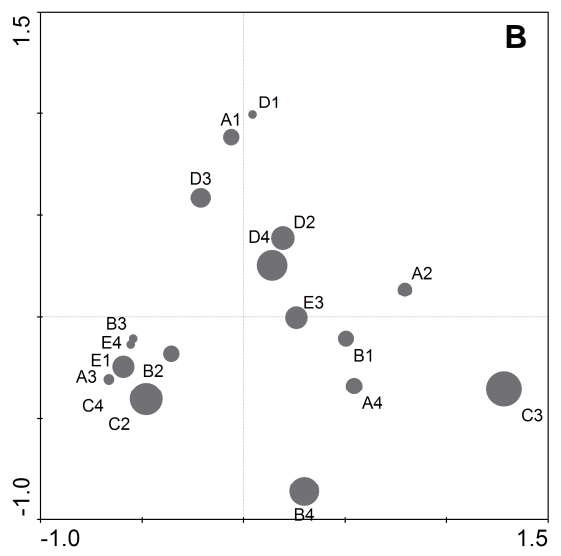
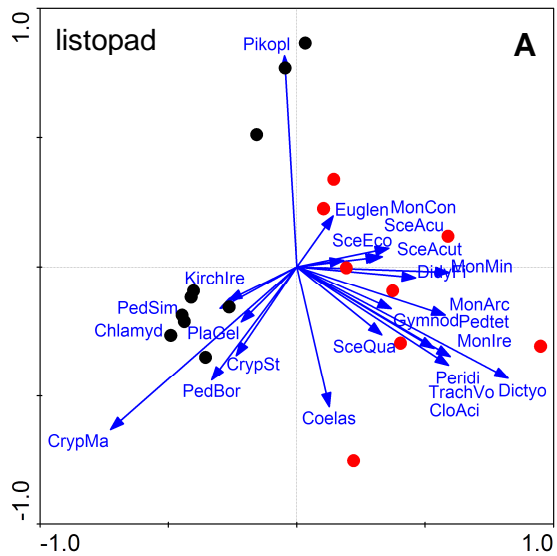
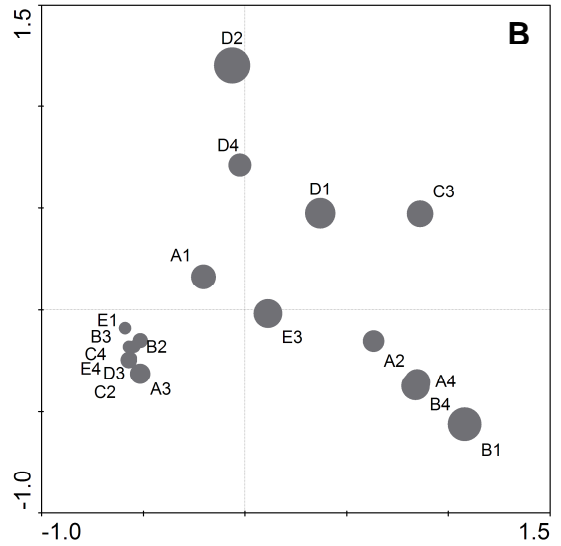
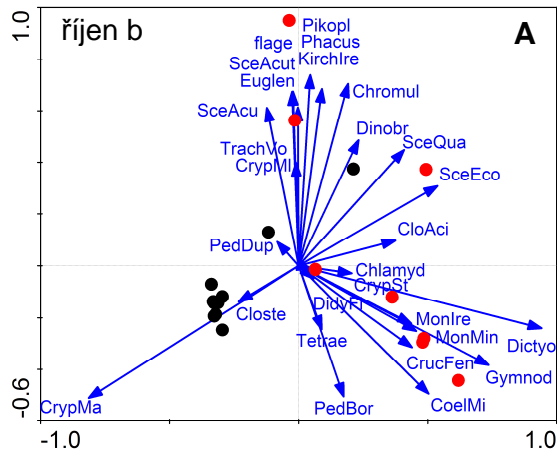
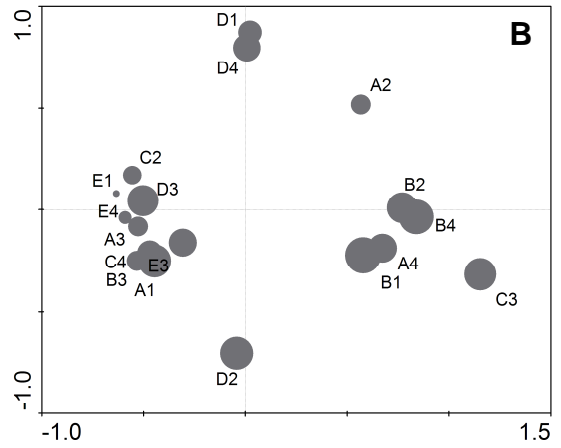
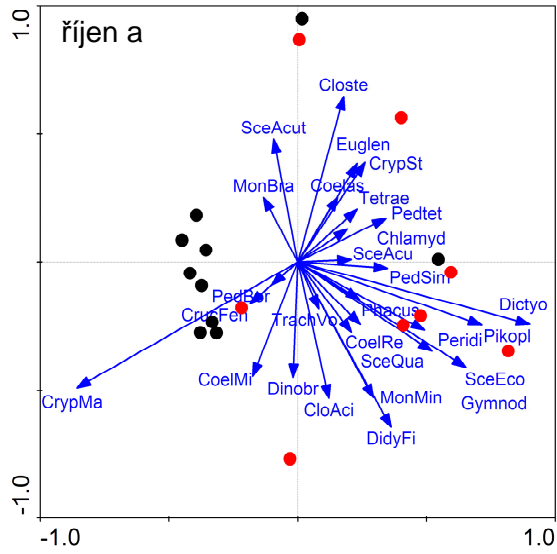


obr. 15. PCA analýza druhového složení fytoplanktonu tůní na jaře 2007. První dvě kanonické osy vysvětlily 36,6 % variability.

3.3.3. Sezónní vývoj druhového složení fytoplanktonu tůní v období od července 2007 do prosince 2008



obr. 16. PCA analýzy druhového složení fytoplanktonu tůní v období červenec–prosinec 2007. A/druhy a tůně – černé tečky znázorňují tůně, které byly inokulovány druhem *Daphnia curvirostris*, červené tečky tůně, kde inokulace neproběhla. B/relativní hodnota Shannon-Weaverova indexu diverzity v rámci jednoho odběru.



obr. 16. – pokračování.

Pediastrum, *Gymnodinium*, *Didymocystis* a *Monoraphidium minutum*, hojně se též vyskytoval pikoplankton, v neinokulovaných tůních se hojně vyskytovaly rody: *Coelastrum*, *Dictyosphaerim*, *Trachelomonas* a *Scenedesmus* a druhová diverzita zde byla vyšší a méně variabilní.

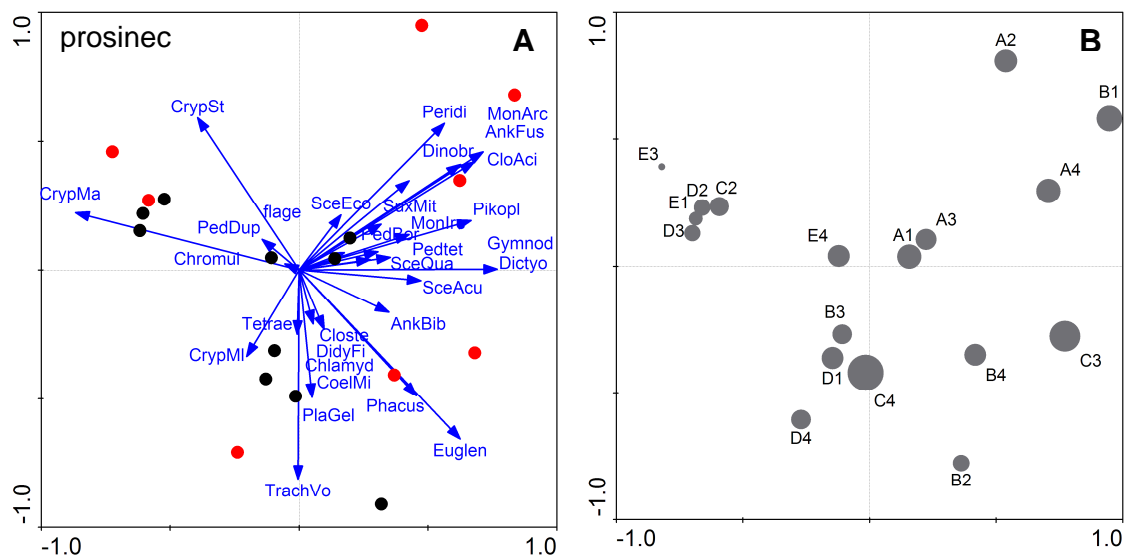
Koncem října došlo k další homogenizaci druhového složení inokulovaných tůní, převažovaly v nich rody: *Cryptomonas*, *Coelastrum*, *Crucigenia*, *Pediastrum* a *Monoraphidium*. Neinokulované tůně byly, co se druhového složení týče velmi rozmanité. V inokulovaných tůních byla výrazně nižší druhová diverzita.

V listopadu v inokulovaných tůních převažovaly rody: *Cryptomonas*, *Closterium* a *Pediastrum*. Neinokulované tůně byly nadále druhově velmi různorodé a jejich druhová diverzita se snížila a přiblížila se hodnotám v inokulovaných tůních (obr. 14, 16).

V prosinci v inokulovaných tůních převažovaly rody: *Cryptomonas*, *Closterium*, *Dinobryon*, *Peridinium*, *Didymocystis* a *Coelastrum*, od této většiny se liší tůň D2, kde převažovaly rody *Coelastrum*, *Tetraedron* a *Pediastrum*, hojný byl též pikoplankton, druhové složení neinokulovaných tůní bylo velmi různorodé. V inokulovaných tůních byla stále patrná nižší druhová diverzita, v neinokulovaných tůních diverzita oproti listopadu vzrostla (tab. P6).

V roce 2008 již vliv inokulace druhem *Daphnia curvirostris* nebyl příliš patrný (obr. 17), důvodem byla patrně úspěšná kolonizace většiny neinokulovaných tůní. Přetrvávající vliv přítomnosti perlooček na druhovou diverzitu fytoplanktonu je zřejmý z obr. 14A. V březnu 2008 bylo v inokulovaných tůních až na výjimky (A1, C2 a D3) podobné druhové složení, velmi časté byly rody *Trachelomonas*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Pediastrum* a *Chlorella*. Druhové složení neinokulovaných tůní bylo různorodé. V tůních byla až na výjimky (D2) nízká druhová diverzita.

V červenci bylo druhové složení fytoplanktonu v tůních již značně rozrůzněné. Je však možné rozlišit gradient směřující od tůní převážně ze skupin D–E (nižší diverzita, charakteristický výskyt rodu *Cryptomonas*) k tůním převážně ze skupin A–C (vyšší diverzita, hojné rody *Monoraphidium*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Gymnodinium* a *Dictyosphaerium*, obr. 17).

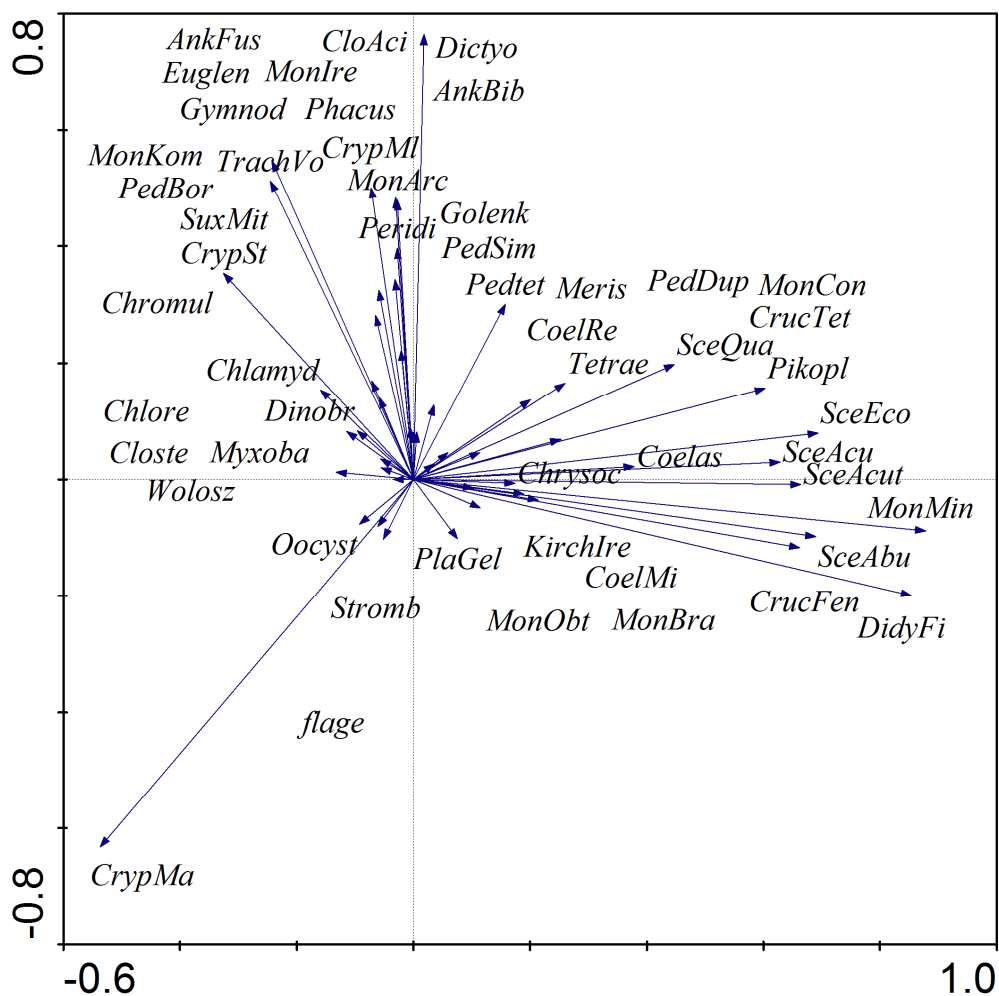


obr. 17. – pokračování.

V říjnu došlo k částečné homogenizaci druhového složení, v části tůní převažoval druh *Cryptomonas marsonii*, např. v tůních: B3, D3, E1 a E4, kde byl též hojný druh *Planktosphaeria gelatinosa*. Zbylé tůně měly různorodé druhové složení. Druhová diverzita v tůních byla až na výjimky (tůně s *Cryptomonas marsonii*) poměrně vysoká (obr. 14A, 17).

V prosinci se ještě výrazději vyčlenila skupina tůní s dominantním rodem *Cryptomonas* (C2, D2, D3, E1, E3). V tůních B3, C4 a D1 převažovaly rody *Cryptomonas*, *Tetraedron*, *Trachelomonas* a *Planktosphaeria*. V tůních A1 a A3 byly hojné rody: *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Gymnodinium* a *Suxenella*. Relativní rozložení druhové diverzity bylo podobné jako v červenci a v říjnu, (obr. 17), celkově byly hodnoty Shannonova indexu poměrně vysoké (obr. 14A).

Výsledky PCA analýzy celého souboru druhových dat od července 2007 do prosince 2008 jsou pro přehlednost znázorněny na dvou grafech, obr. 18 (druhy) a obr. 19 (vzorky). První dvě kanonické osy vysvětlily 36, 9 % celkové variability. Z grafu na obr. 14 je patrné, že druhy je možné podle výskytu v tůních rozdělit do tří pomyslných skupin.

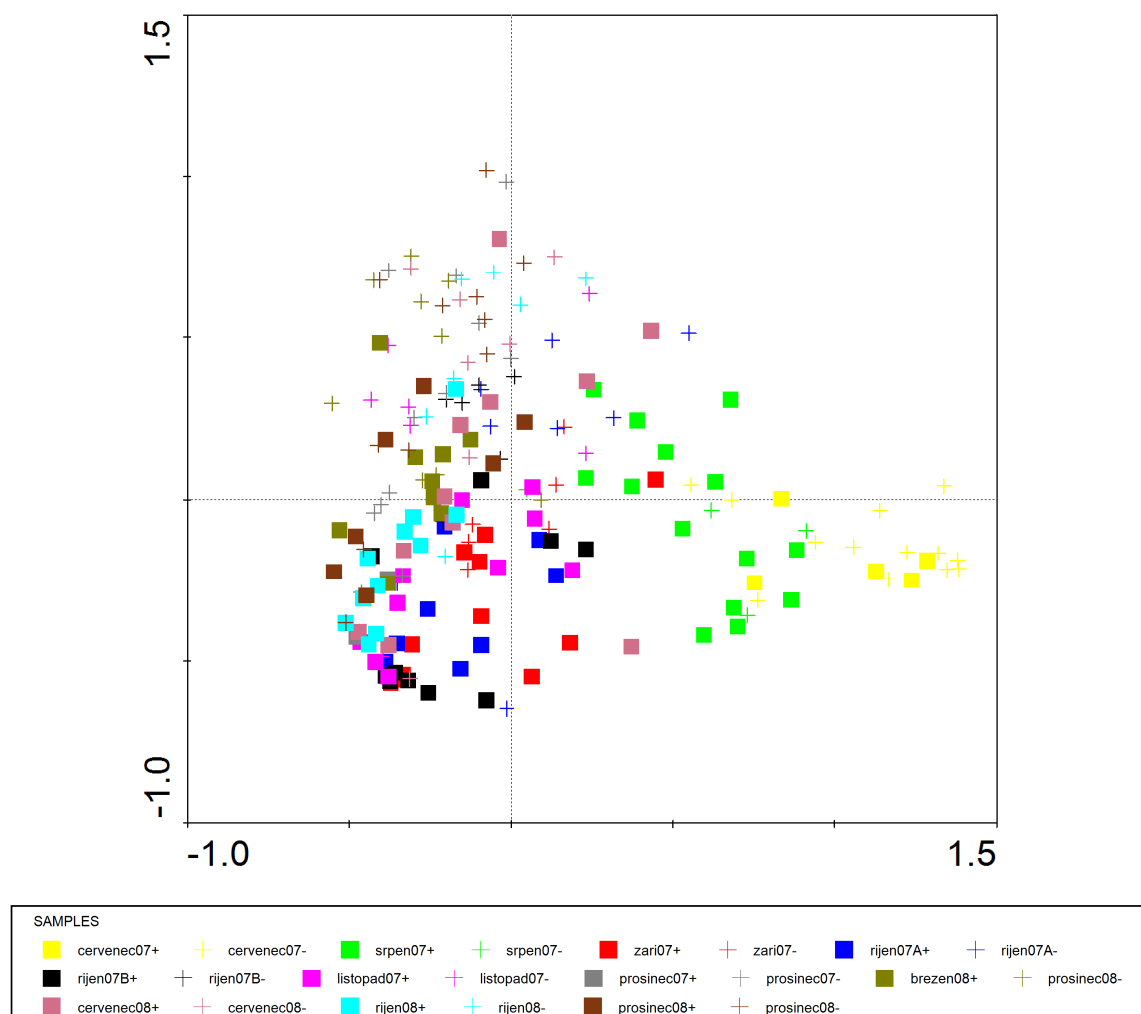


obr. 18. Nepřímá gradientová analýza (PCA) zobrazující korelace výskytu druhů fytoplanktonu v tůních v období červenec 2007–prosinec 2008.

Druhy zobrazené v grafu na obr. 18 vpravo dominovaly převážně v odběrech v červenci a srpnu 2007 (1. skupina). Jednalo se zejména o druhy *Monoraphidium minutum*, *Scenedesmus ecornis*, *Scenedesmus abundans*, *Didymocystis fina*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Monoraphidium contortum* a *Crucigenia fenestrata* ze skupiny zelených řas. Druhy, které začaly být významné v zářijových odběrech, leží v grafu nalevo. Později došlo, patrně vlivem filtrace perlooček, k rozrůznění tůní, v neinokulovaných tůních převažovaly druhy *Dictyosphaerium* sp., *Gymnodinium* sp.,

Pediastrum boryanum, *Cryptomonas* sp., *Trachelomonas volvocina*, *Ankistrodesmus bibraianus* a *Ankistrodesmus fusiformis* (2. skupina). V tůních bez perlooček převažovaly druhy *Cryptomonas marsonii*, *Oocystis* sp., *Planktosphaeria gelatinosa* a blíže neurčení zástupci skupiny Cryptophyta (3. skupina).

Graf na obr. 19. zobrazuje vyhodnocení nepřímé gradientové analýzy (PCA) z hlediska tůní. Jsou zde opět patrné tři pomyslné skupiny tůní, skupina vpravo reprezentuje červencové a srpnové tůně z roku 2007, horní skupina představuje tůně, ve kterých nebyla nalezena *Daphnia* a skupina dole představuje tůně s perloočkami.

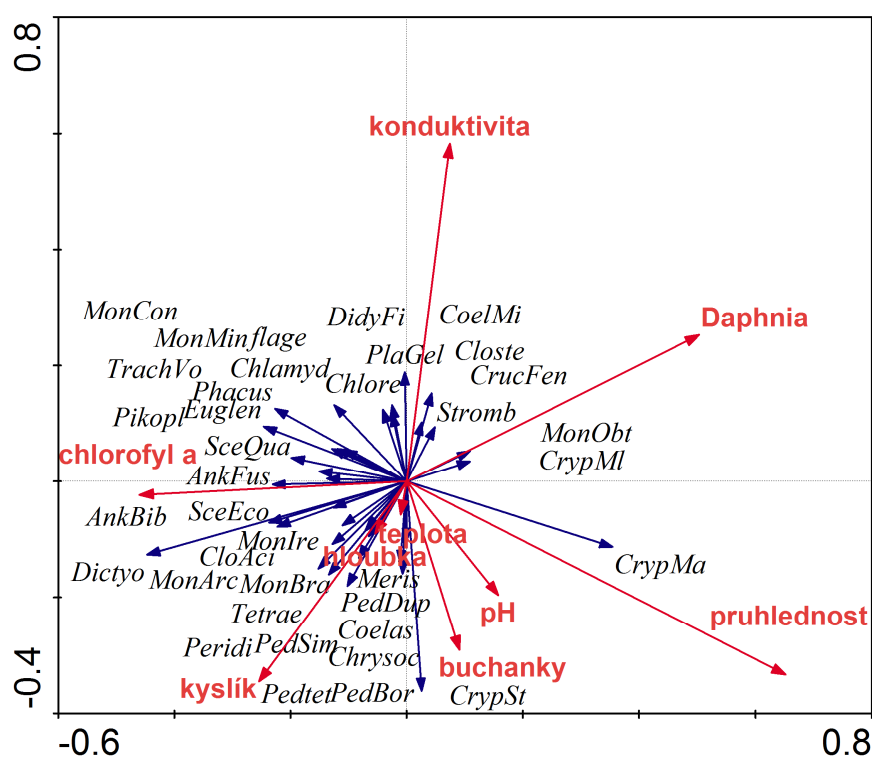


obr. 19. Nepřímá gradientová analýza (PCA) zobrazující rozdělení tůní na základě druhového složení fytoplanktonu. Vzorky jsou rozlišeny barevně podle data odběru a typem symbolu podle přítomnosti rodu *Daphnia* (čtverce – perloočky přítomny, křížky – perloočky nepřítomny). V grafu je patrný hlavní gradient vývoje druhového složení směřující od červencového a srpnového odběru v roce 2007 směrem doleva, v pozdějším

období je patrné ustálení druhového složení tůň. Tůň se poté na základě přítomnosti/absence perlooček rozdělily do dvou skupin.

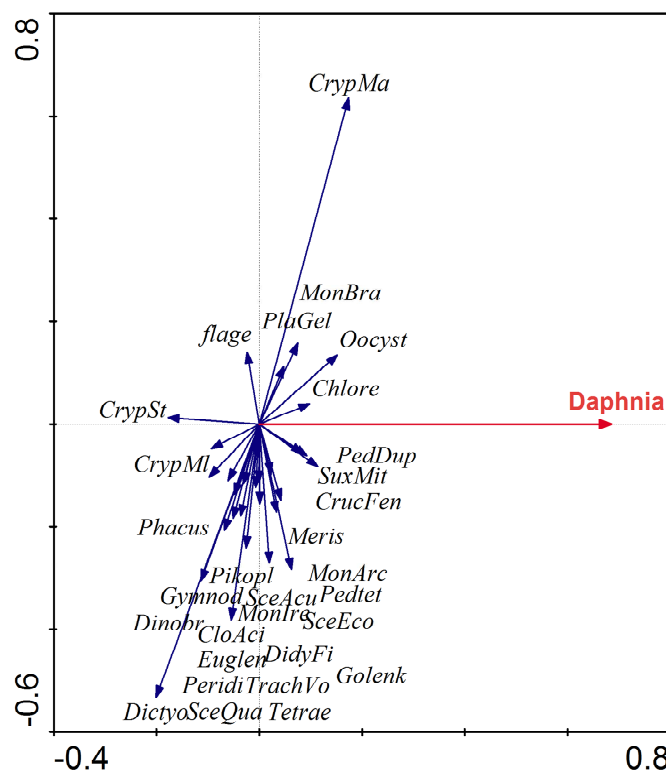
3.3.4. Analýza vztahu výskytu druhů a parametrů prostředí.

Data o druhovém složení fytoplanktonu v období červenec 2007–prosinec 2008 byla korelována s měřenými parametry prostředí pomocí přímé gradientové analýzy (RDA, obr. 20.). První dvě osy vysvětlily 65,9 % celkové variability, všechny faktory vysvětlily 8,5 % variability, signifikantní ($p < 0,05$) byly faktory průhlednost, *Daphnia*, koncentrace chlorofylu *a*, konduktivita, kyslík a pH.



obr. 20. Přímá gradientová analýza (RDA) vztahu druhů a parametrů prostředí (červenec 2007–prosinec 2008).

Při korelování dat o druhovém složení fytoplanktonu s parametry prostředí (pouze proměnná *Daphnia*, ostatní proměnné jako kovariáty) pomocí přímé gradientové analýzy (RDA obr. 20) vyšla proměnná *Daphnia* jako statisticky signifikantní ($p = 0,005$), celkově vysvětlila 1 % variability.

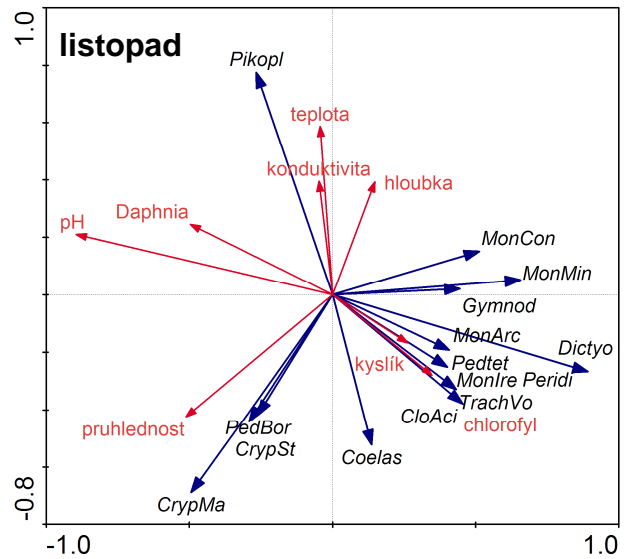
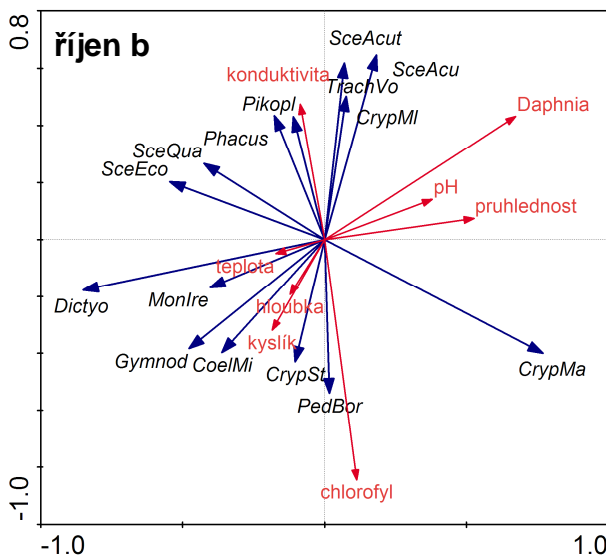
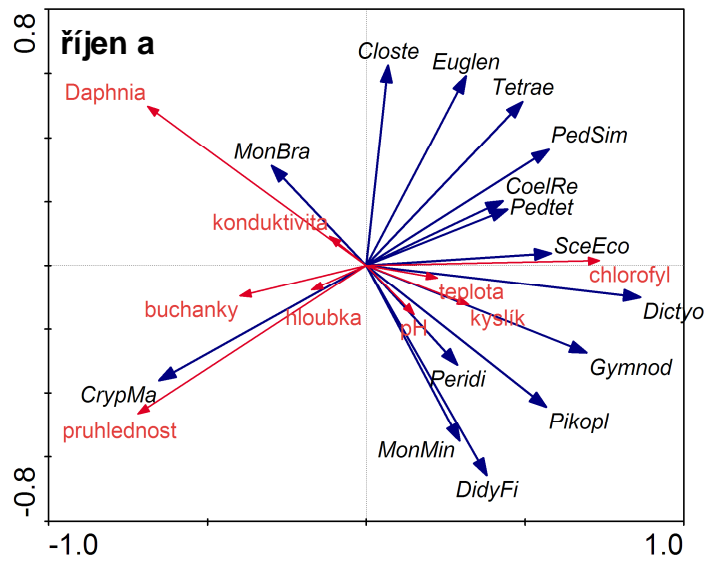
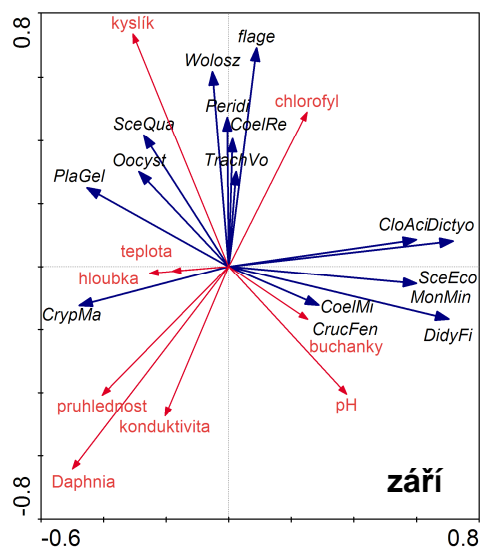
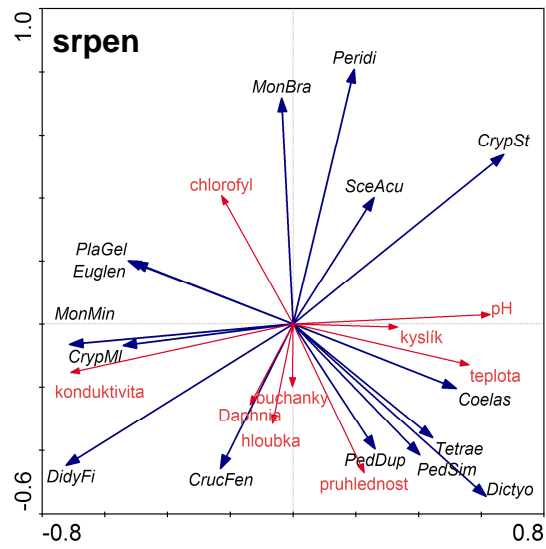
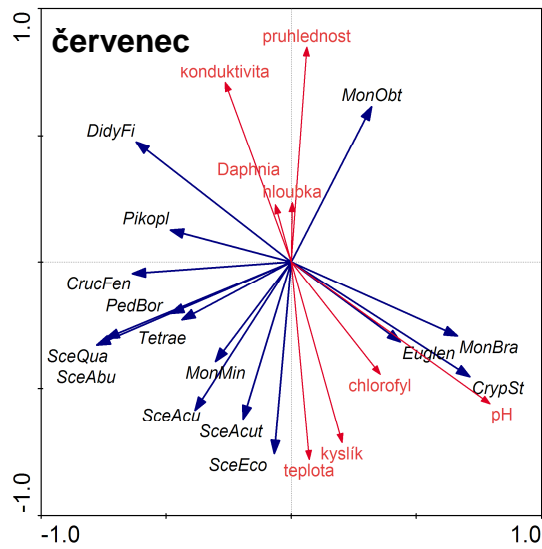


obr. 20. Přímá gradientová analýza (RDA), znázorněn čistý vliv proměnné *Daphnia* (červenec 2007–prosinec 2008).

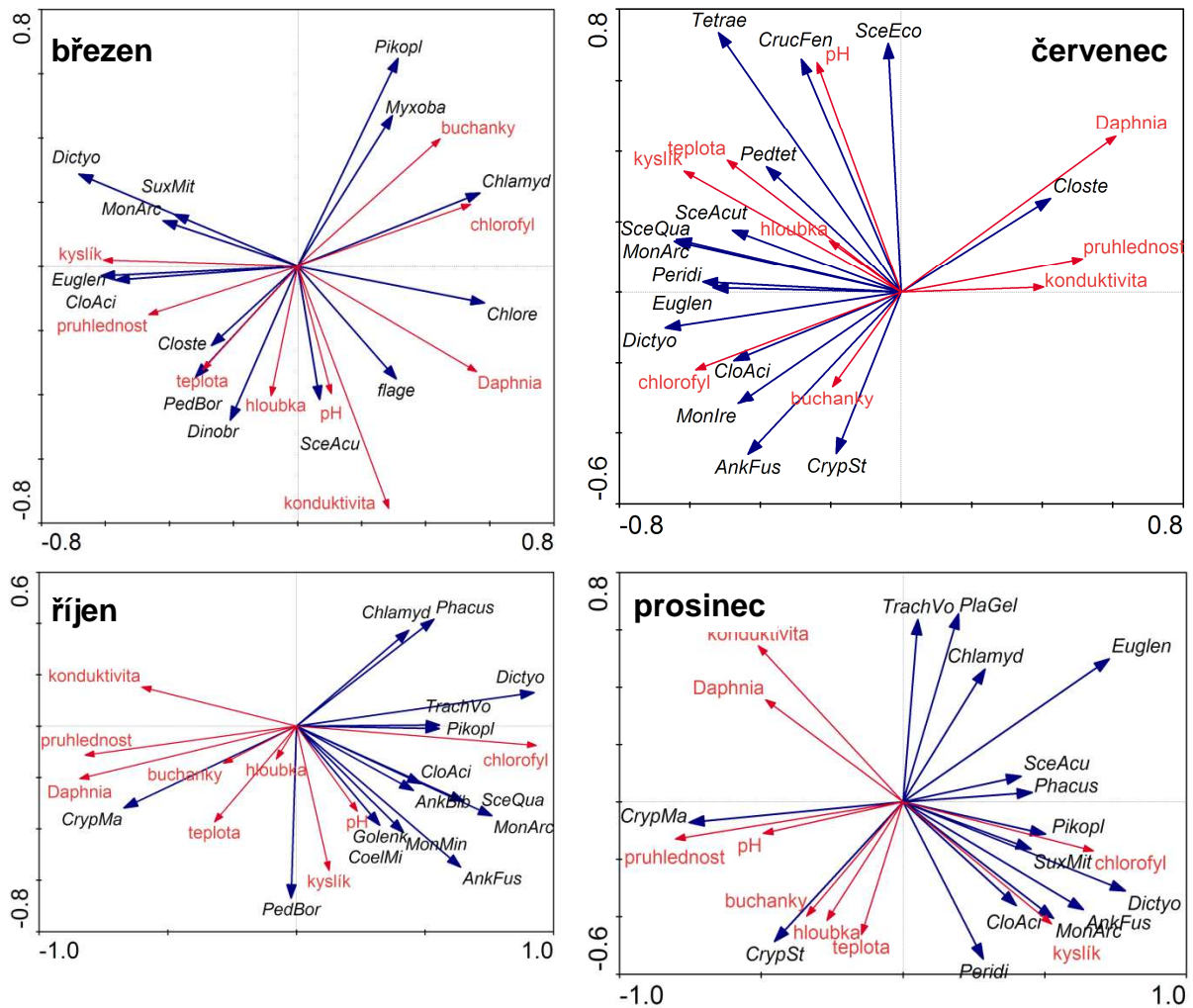
Postupné RDA analýzy pro jednotlivé odběry umožňují sledovat sezónní vývoj vlivu faktorů prostředí na druhové složení fytoplanktonu (obr. 21 a 22, tab. 7).

tab. 7. Výstupy postupných RDA analýz (procenta variability vysvětlené 1. a 2. osou, procenta celkové variability vysvětlené měřenými faktory prostředí a čistý vliv přítomnosti perlooček).

Datum	% var. 1.+2. osa	% vysvětlené var.	% vysvětlené var. <i>Daphnia</i>
31.7.2007	44,8	67,4	3,2
21.8.2007	33,9	61,7	8,8
11.9.2007	29,2	52,1	8,2
4.10.2007	38,4	60,8	9,5
23.10.2007	41,0	64,4	13,3
19.11.2007	44,8	64,6	3,6
12.3.2008	24,6	54,8	5,4
30.7.2008	29,3	56,1	4,2
6.10.2008	34,3	62,2	6,7
10.12.2008	35,1	64,9	4,2



obr. 21. Postupné RDA analýzy se všemi měřenými faktory prostředí (červenec–listopad 2007, pro pruhlednost je zobrazeno jen 15 druhů).



obr. 22. Postupné RDA analýzy se všemi měřenými faktory prostředí (březen–prosinec 2008, pro přehlednost je zobrazeno jen 15 druhů).

Proměnná *Daphnia* vysvětlila nejvíce variability ve druhovém složení fytoplanktonu na konci října 2007, nejméně v červenci 2007.

4. DISKUSE

Experimentální tůně umožňují opakovatelné nastavení počátečních podmínek a práci s dostatečným množstvím experimentálních jednotek (WILBUR 1997). Tyto systémy jsou využívány k výzkumu ekologie společenstev poměrně krátkou dobu – přibližně od 80. let minulého století, a to zejména ke studiu mechanismů regulace struktury potravních sítí (SCHEFFER *et al.* 1993, WILBUR 1997), kolonizace nových lokalit (WARD & BLAUSTEIN 1994) či ke studiu evolučně biologických aspektů a k získávání dat relevantních pro ochranu přírody (DE MEESTER *et al.* 2005). Pokud jde o taxonomické zařazení studovaných organismů, největší pozornost byla dosud věnována zooplanktonu (JENKINS & BUIKEMA 1998), vodním makrofytům, obojživelníkům (WILBUR & ALFORD 1985) a dalším vodním živočichům (HARRIS 1995).

Společenstva fytoplanktonu byla v experimentálních tůních dosud zkoumána spíše okrajově (HARRIS 1995) a je pro ně tedy z těchto podmínek pouze velmi omezené množství dat. Starší studie se vesměs zabývaly druhovým složením a ekologií fytoplanktonu v přírodních tůních a jezerech (LITTLER & GRAFFIUS 1974, BUCKA & WOŽNIAK 2007), proto je porovnávání výsledků analýz z odběrů experimentálních tůní na Kokořínsku s jinými studii poměrně obtížné. Další překážkou pro srovnávání je i stáří tůní. Tůně, které jsou napuštěné alespoň rok, jsou ve značně pokročilejším stadiu sukcese než ty, které jsou napuštěny pouze krátkou dobu, jak tomu bylo v případě kokořínských tůní. Nejblíže problematice řešené v této diplomové práci je studie, zabývající se kolonizací a sezónní sukcesí fytoplanktonu v nových experimentálních tůních, které byly sledovány za účelem ustanovení standardních podmínek pro toxikologické testy herbicidů (ROSENZWEIG & BUIKEMA 1994).

4. 1. Parametry prostředí

Druhové složení, kvantita i sezónní dynamika fytoplanktonu jsou ovlivňovány abiotickými i biotickými parametry prostředí (BONNER *et al.* 1997, STRECKER *et al.* 2004, REYNOLDS 2006, SCHEFFER & NES 2007).

Sledované tůně před instalací folií (únor–duben 2007) měly periodický charakter, vlivem postupného vysychání se měnil počet odebíraných tůní, z parametrů prostředí byla měřena teplota, koncentrace kyslíku, pH a koncentrace chlorofylu *a*. Rozdíly v hodnotách všech parametrů prostředí naměřených v jednotlivých tůních, byly neprůkazné, podmínky v tůních byly v tomto období podobné. Tato podobnost ale byla dána spíše malým

množstvím dat, rozdíly mezi tůněmi tak byly málo patrné. Vysychání tůní znemožnilo porovnávání tůní, na konci dubna 2007 již chyběly údaje o 17 tůních. V tůních, kde voda nevyschla, byly zjištěny nízké koncentrace zooplanktonu – pelagických filtrátorů byli zastoupeni převážně vířníky a jen malým množstvím naupliových stádií bucharek (VONDRÁK, os. sdělení). Vzhledem k malému množství jedinců a k poměrně nízkým filtračním rychlostem zastoupených organismů (STARKWEATHER *et al.* 1979, THOMPSON *et al.* 1982) nelze v tomto období předpokládat vliv zooplanktonu na složení fytoplanktonu (REYNOLDS 2006).

Tůně v období od července 2007 do prosince 2008, již nebyly periodické, vlivem na dno instalovaných folií byla hladina vody konstantní, výjimku tvoří tři tůně A4, C4 a D4, kde zřejmě došlo k poškození folií. Z parametrů prostředí byla měřena teplota, konduktivita, koncentrace kyslíku, pH, průhlednost, hloubka, koncentrace chlorofylu *a* a zástin. Mezi parametry prostředí patřil též počet druhů zooplanktonu (vířníků), inokulace tůní druhem *Daphnia curvirostris* a jehodalší šíření v tůních. Příchod nových druhů (kolonistů) na lokality s již ustanovenými populacemi, může mít dlouhodobý vliv na strukturu společenstva na dané lokalitě (ALFORD & WILBUR 1985, REYNOLDS 2006, GREMBERGHE *et al.* 2009).

Teplota vody a sedimentu je významný faktor v mělkých tůních (WANG *et al.* 2007, JACOBS *et al.* 2008), ovlivňující růst a složení společenstev fytoplanktonu (GOLDMAN 1977, BAIRD *et al.* 2001, BUTTERWICK 2005). Zvýšená teplota mění strukturu společenstva fytoplanktonu, zvyšuje žrací tlak zooplanktonu, ale také zvyšuje růstovou rychlost fytoplanktonu, což ve výsledku může favorizovat fytoflageláty (*Mallomonas*, *Synura*, *Trachelomonas*), kteří jsou díky své pohyblivosti schopni zaujmout optimální polohu ve vodním sloupci a díky vysoké rychlosti růstu kompenzovat ztráty v jejich počtech, na celkovou biomasu fytoplanktonu nemusí mít zásadní vliv, protože ta je většinou výhradně kontrolována zooplanktonem a koncentrací živin (STRECKER *et al.* 2004). To je v souladu s koncentracemi chlorofylu *a* v kokořínských tůních, kde byly poměrně vysoké hodnoty zjištěny jak v chladných, tak v teplejších obdobích roku (tab. 1). Pro dělení většiny planktonních řas a sinic je optimální teplota v rozmezí 25–35 °C. Změny teploty nemají stejný vliv na růstové rychlosti u různých druhů planktonních řas. Vliv teploty je dále kombinován s dalšími parametry prostředí např. světelnými podmínkami a koncentrací živin (REYNOLDS 2006). Ve sledovaných tůních byly rozdíly v teplotách jednotlivých tůní

statisticky neprůkazné (obr. 6A) a nemohly být příčinou rozrůznění tůní z hlediska fytoplanktonu. Rozdíly v zastínění tůní (tab. 2) se tedy neprojevily teplotním rozrůzněním tůní. Sezónní průběh teplot tůní však mohl ovlivnit druhové složení v jednotlivých odběrech. Výsledky přímé gradientové analýzy (RDA) ukázaly, že faktor teplota celkově vysvětlil 0,5 % variability v druhovém složení fytoplanktonu v období od července 2007 do prosince 2008. Teplota je jedním ze základních abiotických faktorů, které ovlivňují přímo (růstové rychlosti) i nepřímo (teplotní stratifikace a její důsledky) sezónní periodicitu planktonu (SOMMER *et al.* 1986). Přestože v našich tůních teplota vysvětlila tak velké procento variability, nebyla ve skutečnosti významným faktorem, údaje o teplotě měly nízkou vypovídací hodnotu, jednalo se o artefakt napuštění tůní vodou z Liběchovky.

Pokud jde o další abiotické parametry prostředí, rozdíly mezi jednotlivými tůněmi byly statisticky významné v případě konduktivity, koncentrace kyslíku, průhlednosti a hloubky. Nejvyšší hodnoty konduktivity byly naměřeny v červenci 2007 a 2008, nejnižší v březnu 2008, což by mohlo být způsobeno vyšším odparem v letním období.

Změny v průhlednosti vody během roku, souvisejí se kvantitativními i kvalitativními změnami společenstev planktonu v tůních (ROSENZWEIG & BUIKEMA 1994), případně s mechanickou disturbancí lokalit, která může být v případě malých tůní (jakými jsou i sledované lokality) způsobena například aktivitou zvěře V kokořínských tůních parametr průhlednost negativně koreloval s koncentrací chlorofyl *a* (obr. 7), což naznačuje autochtonní původ změn průhlednosti. Nebyl zjištěn žádný sezónní trend hodnot průhlednosti obvyklý ve větších vodních nádržích (tab. 1) SOMMER *et al.* (1986). V tůních s vysokými hodnotami průhlednosti byla druhově chudá a celkově podobná společenstva fytoplanktonu, typickým druhem zde byla skrytěnka *Cryptomonas marsonii* (obr. 16, 17, 21, 22). Nejvyšší hodnota průhlednosti byla naměřena v červenci roku 2008 (v tůni D4), společenstvo fytoplanktonu zde bylo velmi chudé s nízkou abundancí zastoupených druhů, byli zde převážně zástupci rodů *Pediastrum* a *Cryptomonas*, ojedinelé se zde též vyskytovaly rody *Scenedesmus*, *Closterium* a *Trachelomonas*. V minulém roce byla v této tůni naměřena méně než poloviční průhlednost, vysvětlením tohoto faktu je, že v červenci roku 2007 nebyla potvrzena přítomnost rodu *Daphnia*, naopak v červenci následujícího roku se zde již hojně vyskytovala. V květnu 2008 byla naměřena vůbec nejnižší hodnota průhlednosti v tůních v rozmezí let 2007–2008 v tůni D1, druhová data v tomto odběru nejsou k dispozici, ale z dat o prostředí je známo, že se zde hojně vyskytovala perloočka rodu *Daphnia*, v tůních s nízkými hodnotami průhlednosti jsem našla v hojných počtech převážně zástupce rodu *Dictyosphaerium*, *Cryptomonas* a *Trachelomonas* s velké množství

pikoplanktonu, z toho usuzuji že druhové složení fytoplanktonu bylo v té době v tůni D1 podobné.

Hodnoty pH se v jednotlivých tůních signifikantně nelišily, na území, kde tůně leží, nelze vzhledem k malé ploše a charakteru lokality předpokládat rozdíly v geologickém podloží. Zjištěná variabilita pH v průběhu sezóny byla pravděpodobně způsobena rozdíly v biologických procesech v tůních (MIDDELBOE & HANSEN 2007).

Vliv intenzity světla působí na fytoplankton v kombinaci s dalšími parametry prostředí: teplotou a obsahem živin (BAIRD *et al.* 2001, PITHART *et al.* 2007). Parametr Mezi zastíněním tůní a koncentrací chlorofylu *a* v kokořínských tůních jsem však nenalezla žádnou souvislost.

Koncentrace chlorofylu *a* se v jednotlivých tůních signifikantně lišila, což mohlo být způsobeno inokulací části tůní druhem *Daphnia curvirostris*. Do dalších tůní se později perloočky rozšířily, jedinou tůní s nepotvrzeným výskytem rodu *Daphnia* zůstala tůň B1 (tab. 3). Perloočky rodu *Daphnia* jsou velmi účinnými filtrátory, kteří redukují množství planktonních sinic a řas a tedy i koncentrace chlorofylu *a* (LYNCH & SHAPIRO 1981, WILBUR 1995, WELLBORN *et al.* 1996, LAMPERT 2006, REYNOLDS 2006, LOUETTE & DE MEESTER 2007, VANORMELINGEN *et al.* 2008). Vliv filtrátorů z rodu *Daphnia* byl statisticky průkazný, v inokulovaných tůních byla naměřena větší průhlednost vody než v tůních, které inokulované nebyly (obr 6E).

Jako horní hranice velikosti částic, které je filtrující zooplankton schopen zpracovat, byla stanovena hodnota kolem 40 μm (REYNOLDS 1984, WATSON & MCCAULEY 1988, ALLENDE & PIZARRO 2006). Přítomnost herbivorního zooplanktonu je považována za hlavní faktor, který určuje relativní zastoupení nanoplanktonu a síťového planktonu (WATSON & MCCAULEY 1988, SCHEFFER *et al.* 1997), velké druhy zooplanktonu rodu *Daphnia* jsou známé jako druhy s klíčovým vlivem na strukturu sladkovodních pelagických společenstev (STEINER 2002). V našich tůních vlivem inokulace výrazně poklesla druhová bohatost fytoplanktonu v září a v říjnu 2007, v té době v inokulovaných tůních měl velmi výraznou abundanci *Cryptomonas marsonii*, který je sice výbornou potravou pro perloočky, ale má též vysokou růstovou rychlost, která mu pomáhá odolávat jejich žracímu tlaku.

Navzdory blízkosti tůní se *Daphnia* šířila z inokulovaných tůní jen zvolna a zpočátku měla v kolonizovaných tůních velmi nízkou abundanci. Přestože inokulace tůní proběhla v červenci roku 2007, byl již v odběru z tohoto měsíce nedlouho po inokulaci zjištěn výskyt rodu *Daphnia* ve dvou neinokulovaných tůních. Domnívám se, že se jednalo o dosti

ojedinělou událost, protože pozdější kolonizace má výrazně pomalejší ráz. Perloočky rodu *Daphnia* mají vysokou schopnost disperze (LOUETTE *et al.* 2008). V blízkých vodních plochách se perloočky vyskytují, domnívám se tedy, že se jednalo o jedince, které do tůní zanesli zřejmě vodní ptáci nebo lesní zvěř. Okolní lokality slouží jako zdroj inokula (REYNOLDS 2006). Problematikou kolonizace v nově vytvořených tůních se zabývá LOUETTE *et al.* (2008) ve studii společenstev zooplanktonu .

4. 2. Druhová bohatost a diverzita fytoplanktonu

Kolonizace nově vytvořených vodních ploch je zajišťovaná tzv. C-stratégií, jedná se o druhy zjevně malé a rychle rostoucí, analogický proces probíhá při osidlování ostrovů a nových ploch v terestrických ekosystémech zajišťovaný R-stratégií (REYNOLDS 2006). Kolonizaci lokalit novými druhy ovlivňuje též přítomnost predátora na těchto lokalitách (KRAUS & VONESH 2010). Nízká schopnost šíření druhů do nových tůní je vysvětlována efektem zakladatele, kdy se tyto druhy rozšířily do již osídlených tůní a musely se vyrovnat s přítomností jiných druhů. Je velmi důležité, kdo danou lokalitu osídlí jako první (KÖRNER *et al.* 2008, GREMBERGHE *et al.* 2009). V mnoha případech může hrát velkou roli v efektu zakladatele i kompetice jedinců různé velikosti a v různé fázi vývoje (ALFORD & WILBUR 1985, BLAUSTEIN & MARGALIT 1996, KNIGHT *et al.* 2009).

Fytoplankton mělkých tůní má specifický charakter, daný malými rozměry vodní plochy, malou hloubkou a obvykle nízkou průhledností (WILBUR 1995, REYNOLDS 2006, MIDDELBOE & HANSEN 2007). Pro tento typ tůní je charakteristický rychlý koloběh živin, ale též vysoká tendence ke vzniku zákalu. Obecně má na druhové složení a diverzitu fytoplanktonu nejvýznamnější vliv přítomnost ryb, zooplanktonu a vegetace v tůní (REYNOLDS 2006, HIGGINS *et al.* 2007). Pro sledované tůně byla z těchto faktorů relevantní pouze přítomnost zooplanktonu. Na počátku roku 2007 (únor–duben), byla druhová bohatost fytoplanktonu v tůních velmi proměnlivá, a to i v rámci jednoho odběru (obr. 10). Největší průměrný počet druhů jsem našla v odběru z počátku dubna, v té době byla však voda již pouze v deseti tůních (osm bylo vyschlých), a proto srovnání s ostatními jarními odběry prakticky není možné. Celkově byla pro tůně v tomto období typická nízká druhová bohatost (obr. 10), což může souviset s jejich periodickým charakterem. Pro planktonní koryše byla prokázána pozitivní korelace mezi počtem druhů v dočasných tůních a délkou hydroperiody (MAHONEY *et al.* 1990).

Počátkem července byly naplněny tůně A–C vodou z Liběchovky a o tři týdny později byl naplněn vodou i zbytek tůní (D–E). V období od července 2007 do prosince 2008 celkově vzrostl počet druhů v tůních oproti druhové bohatosti zjištěné na počátku roku 2007 (obr. 12). Časový posun v plnění tůní se jasně odrazil na druhovém složení a na diverzitě fytoplanktonu v červencovém odběru (obr. 16). I malé rozdíly v příchodu kolonistů mohou mít velký význam na složení společenstev (KÖRNER *et al.* 2008). V později naplněných tůních převažovaly druhy: *Peridinium* sp., *Cryptomonas* sp., *Monoraphidium braunii* a *Euglena* sp a druhová diverzita byla celkově nižší. Druhová diverzita v těchto tůních zřejmě odrážela inokulum, které se do tůní dostalo s přefiltrovanou vodou z Liběchovky. V dříve napuštěných tůních byla až na výjimky vyšší druhová bohatost, v těchto tůních byly hojné velké coenobiální řasy doplněné o kokální zelenou řasu *Monoraphidium minutum* a drobný pikoplankton. Nárůst počtu druhů oproti skupině D–E byl pravděpodobně dán delším časovým obdobím, kdy mohlo docházet k šíření druhů větrem, vodními ptáky a lesní zvěří (KRISTIANSEN 1996).

Koncem července 2007 proběhla inokulace tůní druhem *Daphnia curvirostris*, vliv inokulace začal, byl zřejmý až v září, kdy celkově výrazně poklesl počet druhů. V tůních, kde byla přítomna *Daphnia*, byl počet druhů nižší než v tůních, kde nebyla nalezena (obr. 11). Pokles počtu druhů fytoplanktonu v září, mohl též ovlivnit celkově vysoký počet druhů zooplanktonu v tůních (obr. 8). Později počet druhů fytoplanktonu v tůních opět rostl, ale zároveň platilo, že v tůních, kde byla zaznamenána *Daphnia*, byl celkově nižší počet druhů. Počet druhů v inokulovaných tůních byl většinou nižší než v tůních neinokulovaných. Přítomnost zooplanktonu v tůních ovlivňovala také druhové složení v tůních (obr. 19) (REYNOLDS 2006). Podstatným vlivem u sousedních tůní byla zřejmě též disperze, jejímž důsledkem je homogenizace tůní, co do druhového složení a počtu druhů. Proti tomuto vlivu působí selekční tlak ostatních složek potravního řetězce, tedy ve výsledku jsou společenstva fytoplanktonu i na velmi blízkých lokalitách spíše rozdílná (VANORMELINGEN *et al.* 2008).

Od napuštění tůní v červenci 2007 byl pozorován nárůst celkového počtu druhů fytoplanktonu, závislost však nebyla průkazná, pokud byl do analýzy zahrnut srpnový odběr, který se vyznačoval vysokým počtem druhů (obr. 12). Podobný trend v průběhu jednoho roku byl pozorován v experimentálních tůních, které studovali ROSENZWEIG & BUIKEMA (1994). Bylo by zajímavé zjistit, jak se druhová bohatost fytoplanktonu kokořínských tůní vyvíjela v dalším roce.

Diverzita je základní vlastností systémů a vyjadřuje různorodost jejich prvků. Vysoká diverzita je znakem mnoha biologických systémů a je obecně považována za velmi důležitou pro jejich fungování (REYNOLDS & ELLIOTT 2002, DE BIE *et al.* 2008). Druhá diverzita koreluje s velikostí ekosystému (SCHEFFER *et al.* 2006, FUKAMI 2004), je výsledkem biotických interakcí a abiotických vlivů (HAMBRIGHT & ZOHARY (2000), HUMBERT & DORIGO 2005). Lokální diverzita by neměla být limitována pouze počtem dostupných nik během utváření určitého habitatu, ale také regionálním druhovým bohatstvím (CORNELL & LAWTON 1992, MOUQUET *et al.* 2003). Diverzita je vyjádřena Shannonovým indexem diverzity, je to číslo, které shrnuje informaci o počtu druhů a relativních početnostech jejich populací na lokalitě (SHANNON & WEAVER 1949). Diverzitu v tůních ovlivňuje průhlednost vody, ale také sousedství dalších tůní (VANORMELINGEN 2008).

Z hlediska druhové diverzity si byly jarní tůně (únor–duben) velmi podobné, opět to bylo dáno asi spíše nedostatkem dat z tohoto období, než charakterem jednotlivých tůní. V období od července 2007 do prosince 2008 diverzita podobně jako druhová bohatost tůních vzrostla, v jednotlivých tůních, ale i odběrech se hodnoty Shannonova indexu signifikantně lišily (obr. 14). Tůně inokulované se signifikantně lišily od neinokulovaných, v neinokulovaných tůních byla hodnota Shannonova indexu vyšší než v inokulovaných. Filtrace perlooček snížila druhovou diverzitu fytoplanktonu. Vliv zooplanktonu na diverzitu fytoplanktonu je doložen v řadě prací (REYNOLDS 2006, LOUETTE *et al.* 2008, EITAM & BLAUSTEIN 2010, MUYLEAERT *et al.* 2010).

4. 3. Druhové složení

Pro společenstva fytoplanktonu mělkých tůní jsou typické jednobuněčné, nanoplanktonní, invazivní a rychle rostoucí formy: z chlorokokálních řas např. rody *Chlorella* a *Monoraphidium*; z bičíkovců např. rody *Chlamydomonas*, *Plagioselmis*, *Chrysochromulina*, časté jsou také obrněnky (REYNOLDS 2006). Překvapivě velký vliv na složení společenstva fytoplanktonu v mělkých vodních plochách má sediment nádrže a koncentrace živin, podstatně menší vliv má rybí obsádka či zooplankton (ORTEGA-MAYAGOITIA *et al.* 2003).

V jarních tůních (únor–duben) se vyskytovalo poměrně málo druhů, nejhojněji se vyskytovaly obrněnky (Dinophyta), skrytěnky (Cryptophyta) a krásnoočka

(Euglenophyta), minoritní zastoupení měly sinice (tab. 5). Podobné druhové složení bylo nalezeno na jaře také v experimentálních tůních, které studovali (ROSENZWEIG & BUIKEMA 1994). V období od července 2007 do prosince 2008 bylo v tůních rozdílné složení fytoplanktonu, nejhojnější byly zelené řasy (Chlorophyta), skrytěnky (Cryptophyta), obrněnky (Dinophyta) a krásnoočka (Euglenophyta), minoritní zastoupení měly opět sinice (tab. 6). Převahu zelených řas (v letním období) pozorovali také (ROSENZWEIG & BUIKEMA 1994). Celkově se dá shrnout, že studované tůně kolonizovaly druhy, které lze v podobných typech habitatů očekávat (HARRIS 1986, REYNOLDS 2006).

V červenci 2007 byly tůně naplněny vodou z Liběchovky, druhové složení v červenci a v srpnu bylo výrazně odlišné od složení v pozdějších odběrech (obr. 15, viz kapitola 4.2.), v červenci převažovali zejména: zástupci skupiny Chlorophyta (*Monoraphidium minutum*, *Didymocystis fina* a *Scenedesmus* spp.), Cryptophyta (*Cryptomonas* sp.) a drobný fytoplankton. Je pravděpodobné, že většina těchto druhů se do tůní dostala s potoční vodou. Fytoplanktonní druhy jsou běžně transportovány vodními toky, tento způsob šíření může být důležitý pro homogenizaci druhového složení vzájemně propojených stojatých vod. Při strukturaci společenstev sladkovodního fytoplanktonu však často převládá vliv lokálních podmínek prostředí (BERGSTROM *et al.* 2008, VANORMELINGEN *et al.* 2008)

V srpnu se k těmto řasám přidaly druhy *Coelastrum* sp. a *Dictyosphaerium* sp. ze skupiny Chlorophyta. Tyto druhy jsou zcela běžné planktonní řasy, jedná se o skupinu tzv. C-strategů, tj. rychle rostoucích a invazivních druhů v mělkých vodách (REYNOLDS 2006). V případě kokořínských tůní se tyto druhy dostaly do tůní mezi prvními, je možné je tedy považovat za pionýrské druhy (REYNOLDS 2006), a je zde tedy uvažovat o efektu zakladatele („priority effect“) (HOVERMAN 2008). Při kolonizaci nových lokalit druhy hraje velkou roli náhoda, efekt zakladatele může být příčinou dlouhotrvajících rozdílů v dominanci druhů na lokalitách, což v praxi znamená, že druhy, které osídlily lokalitu jako první, bývají na lokalitě dominantní (LOUETTE & DE MEESTER 2007).

V září, kdy výrazně poklesl počet druhů zřejmě v důsledku namnožení filtrujícího zooplanktonu (BRETT & GOLDMAN 1996, DEJENIE *et al.* 2008), převládaly druhy *Cryptomonas marsonii* a *Didymocystis fina*. Druhy z rodu *Cryptomonas* jsou běžnou součástí planktonu, dominují v mrtvých ramenech řek a v malých tůních bez rybí obsádky. Mají vysokou růstovou rychlost, díky níž odolávají žracímu tlaku zooplanktonu (PADISÁK *et al.* 2003). To byl i případ kokořínských tůní, kde byly kryptomonády často dominantním druhem tůní, kde byly přítomné perloočky (obr. 12). Druh *Didymocystis fina* je

dvoubuněčná coenobiální řasa s kosmopolitním rozšířením, je velmi častá v planktonu jezer a tůní (KOMÁREK & FOTT 1983). V září však nebylo ještě příliš patrné rozrušení druhového složení tůní vlivem inokulace druhem *Daphnia curvirostris*. Počátkem října již bylo patrné odlišné druhové složení fytoplanktonu inokulovaných tůní od neinokulovaných, v inokulovaných tůních převažovaly rody: *Cryptomonas* a *Chlamydomonas*, poměrně dosti hojné byly rody *Pediastrum*, *Gymnodinium*, *Didymocystis* a *Monoraphidium minutum*, hojně se též vyskytoval pikoplankton, v neinokulovaných tůních se hojně vyskytovaly rody: *Coelastrum*, *Dictyosphaerim*, *Trachelomonas* a *Scenedesmus*. Pro rod *Chlamydomonas* je typická vysoká růstová rychlost a nenáročnost na typ stanoviště stejně jako pro rod *Cryptomonas* (HINDÁK 1978), domnívám se, že tyto vlastnosti byly rozhodující a favorizovaly tyto druhy je oproti ostatním v inokulovaných tůních. Řasy jako *Coelastrum* spp. a *Pediastrum* spp. mají coenobia z buněk o velikosti v rozmezí 4–30 μm a jako celek tedy dosahují horní hranice velikosti částic, které je filtrující zooplankton schopen zpracovat, tj. kolem 40 μm (REYNOLDS 1984, WATSON et. MCCAULEY 1988), proto byly pravděpodobně tyto řasy též velmi častou součástí fytoplanktonu inokulovaných tůní.

Ve složení společenstva fytoplanktonu a relativních abundancí jednotlivých druhů dochází postupně ke změnám (REYNOLDS 1984). V průběhu roku je zejména v mírném pásu možné pozorovat určité časové a prostorové výkyvy ve struktuře fytoplanktonních společenstev (LITTLER & GRAFFIUS 1974), souhrnné označení tohoto jevu je sezonalita, někdy je vzhledem ke krátkým generačním dobám též používán termín periodicitá (REYNOLDS 1980, SOMMER *et al.* 1986, BOVEN *et. al.* 2008, STHAPIT *et al.* 2008). Sezónní dynamiku a periodicitu v druhovém složení ve vodních nádržích od jara do zimy popisuje PEG-model (SOMMER *et al.* 1986). Sezónní dynamiku řas ovlivňují fyzikální a chemické faktory vodního prostředí a vzájemné interakce mezi organismy (SOMMER *et al.* 1986, ANNEVILLE *et al.* 2002). Do konce roku 2007 se druhové složení fytoplanktonu tůní příliš nezměnilo (obr. 12, 15), převažovaly druhy s vysokou růstovou rychlostí a hojné byly též druhy, které není zooplankton schopen vyfiltrovat. V následujícím roce (2008), se druhové složení inokulovaných tůní rozrůžnilo během roku, nejvíce to bylo parné v odběru z července, ke konci roku se opět vytvořily skupiny tůní s podobným druhovým složením (obr. 13). Přetrvávající vliv filtrátorů z rodu *Daphnia* na společenstva inokulovaných tůní se projevil na druhovém složení fytoplanktonu (obr. 15), v tůních převažovaly druhy s vysokou růstovou rychlostí a coenobiální velké druhy. Ve druhovém složení fytoplanktonu sledovaných tůní byla též pozorovatelná sezónní sukcese a s ní spojené střídání

společenstev. Sezónní dynamika fytoplanktonu v nádržích je známá hlavně u klíčových druhů (REYNOLDS *et al.* 2002). V jarních tůních převažovaly jednobuněčné druhy, během léta a podzimu byly hojné velké coenobiální řasy typu *Pediastrum* a *Scenedesmus*. Ke konci roku v tůních opět převažovaly jednobuněčné řasy, častý byl též rod *Dinobryon*, jehož výhodou je schopnost změny autotrofie na fagotrofii za nízkých intenzit slunečního záření. Na výskyt rodu *Dinobryon* má proto vliv i nízká koncentrace živin a množství bakteriálních buněk (BIRD & KALFF 1987).

5. ZÁVĚR

- Cílem této diplomové práce byl výzkum kolonizace a sezónní sukcese fytoplanktonu ve dvaceti experimentálních tůních na Kokořínsku, kde byly v letech 2007–2008 v třítydenních intervalech měřeny parametry prostředí a odebírány vzorky planktonu.

Na počátku roku 2007 (únor – duben) byly tůně periodické, od července 2007 měly trvalý charakter. V červenci 2007 byla také provedena inokulace poloviny tůní druhem *Daphnia curvirostris*.

- Vzorke fytoplanktonu jsem zpracovala semikvantitativně a data o druhovém složení jsem porovnávala s naměřenými parametry prostředí. Jak vyplývá z výsledků nepřímé gradientové analýzy (PCA), podmínky v tůních ihned po napuštění byly značně odlišné. V průběhu celého sledování byla zjištěna značná variabilita i v rámci jednoho odběru – tůně se lišily řadou parametrů prostředí.
- V průběhu roku 2007 byl počet druhů v trvalých tůních značně variabilní, ve druhé polovině roku 2008 se průměrná druhová bohatost ustálila na vyšších hodnotách, variabilita v rámci jednoho odběru však zůstala stále vysoká. Druhová bohatost v inokulovaných tůních byla obecně nižší. Celkový počet druhů v trvalých tůních byl vyšší (maximum 34) v porovnání s počátkem roku 2007, kdy byl zjištěn maximální počet 14 druhů. Druhová diverzita fytoplanktonu sledovala podobné trendy jako druhová bohatost. Nižší druhová diverzita byla pozorována v inokulovaných tůních a také v tůních, do kterých se perloočky rozšířily.
- Na druhovém složení fytoplanktonu tůní byl patrný sezónní vývoj a vliv filtrace perlooček. V inokulovaných tůních převažovaly drobné jednobuněčné řasy jako *Cryptomonas marsonii*, *Monoraphidium minutum* a *Chlamydomonas* sp., hojně zastoupené byly též velké coenobiální řasy jako *Pediastrum boryanum* a *Scenedesmus abundans*. Vliv výskytu perlooček na druhové složení fytoplanktonu v tůních potvrdily též výsledky přímé gradientové analýzy (RDA). Všechny měřené parametry prostředí vysvětlily celkově 8,5 % variability druhových dat.

..

6. SEZNAM LITERATURY

ALLENDE, L. & PIZARRO, H. (2006): Top-down control on plankton components in an Antarctic pond: experimental approach to the study of low-complexity food webs. *Polar Biology*, 29: 893–901.

- ANNEVILLE, O., GINOT, V., DRUART, J.-C. & ANGELI, N. (2002): Long-term study (1974–1998) of seasonal changes in the phytoplankton in Lake Geneva: a multi-table approach. *Journal of Plankton Research*, 24: 993–1008.
- BAIRD, M., EMSLEY, S. M. & MC GLADE, J. M. (2001): Modelling the interacting effect of nutrient uptake, light capture and temperature on phytoplankton growth. *Journal of Plankton Research*. 23: 829–840.
- BIRD, D.F. & KALFF, J. (1987): Algal phagotrophy: regulating factors and importance relative to photosynthesis in *Dinobryon* (Chrysophyceae). *Limnology and Oceanography*, 32: 277–284.
- BLAUSTEIN, L. & MARGALIT, J. (1996): Priority effects in temporary pools: nature and outcome of mosquito larva-toad tadpole interactions depend on order of entrance. *The Journal of Animal Ecology*, 65: 77–84.
- BONNER, L.A., DIEHL, W.J. & ALTIG, R. (1997): Physical, chemical and biological dynamics of five temporary dystrophic forest pools in central Mississippi. *Hydrobiologia*, 353: 77–89.
- BOVEN, L., STOKS, R., FORRÒ, L. & BRENDONCK, L. (2008): Seasonal dynamics in water quality and vegetation cover in temporary ponds pools with variable hydroperiods in Kiskunság (Hungary). *Wetlands*, 28: 401–410.
- BRETT, T.M. & GOLDMAN, R.C. (1996): A meta-analysis of the freshwater trophic cascade. *Ecology*, 93: 7723–7726.
- BUCKA, H. & WOŹNIAK, W.E. (2007): Future in the past: review of plankton studies conducted in southern Poland over the past fifty years. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, 36(Supplement 1): 67–76.
- BUTTERWICK, C., HEANEY, S.I. & TALLING, J.F. (2005): Diversity in the influence of temperature on the growth rates of freshwater algae, and its ecological relevance. - *Freshwater Biology*, 50: 291–300.
- CORNELL, H.V. & LAWTON, J.H. (1992): Species interactions, local and regional processes, and limits to the richness of ecological communities: a theoretical perspective. *Journal of Animal Ecology*, 61: 1–12.
- DEJENIE, T., ASMELASH, T., DE MEESTER, L., MULUGETA, A., GEBREKIDAN, A., RISCH, S., PALS, A., VAN DER GUCHT, K., VYVERMAN, W., NYSSSEN, DECKERS, J. & DECLERCK, S. (2008): Limnological and ecological characteristic of tropical highland reservoirs in Tigray, Northern Ethiopia. *Hydrobiologia*, 610: 193–209.

- DE BIE, T., DECLERCK, S., MARTENS, K., DE MEESTER, L. & BRENDONCK, L. (2008): A comparative analysis of cladoceran communities from different water body types: patterns in community composition and diversity. *Hydrobiologia*, 597: 19–27.
- DE MEESTER, L., DECLERCK, S., STOKS, R., LOUETTE, G., VAN DE MEUTTER, F., DE BIE, T., MICHELS, E. & BRENDONCK, L. (2005): Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic conservation-marine and freshwater ecosystems*, 15: 715–725
- EITAM, A. & BLAUSTEIN, L. (2010): Effects of predator density and duration of predator occupancy on crustacean abundance and diversity in experimental pools. *Hydrobiologia*, 652: 269–276
- FUKAMI, T. (2004): Assembly history interacts with ecosystem size to influence species diversity. *Ecology*, 85: 3234–3242.
- GOLDMAN, T.C. (1977): Temperature Effects on Phytoplankton Growth in Continuous Culture. *Limnology and Oceanography*, 22: 932–936.
- HAMBRIGHT, K.D. & ZOHARY, T. (2000): Phytoplankton species diversity control through competitive exclusion and physical disturbances. *Limnology and Oceanography*, 45: 110–122.
- HARRIS, G.P. (1986): *Phytoplankton ecology*. Chapman and Hall, New York, 384 p.
- BERGSTROM, A.K., BIGLER, C., STENS DOTTER, U. & LINDSTROM, E.S. (2008): Composition and dispersal of riverine and lake phytoplankton communities in connected systems with different water retention times. *Freshwater Biology* 53: 2520–2529.
- HARRIS, P.M. (1995). Are autecologically similar species also functionally similar? A test in pond communities. *Ecology*, 76: 544–552.
- HIGGINS, T., KENNY, T. & COLLERAN, E. (2007): Plankton communities of artificial lakes created on Irish cutaway peatlands. *Biology and Environment*, 107: 77–85.
- HINDÁK, F. (ed.) (1978): *Sladkovodné riasy*. SPN, Bratislava, 270 s.
- HINDÁK, F. (ed.) (2008): *Colour Atlas of Cyanophytes*. Veda, 15s.
- HOVERMAN, J.T. & RELYEA, R.A. (2008): Temporal environmental variation and phenotypic plasticity: a mechanism underlying priority effects. *Oikos*, 117: 23–32.
- HUMBERT, J.F. & DORIGO, U. (2005): Biodiversity and aquatic ecosystem functioning. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 8: 367–374.

JACOBS, F.G.A., HEUSINKVELD, G.B., KRAAI, A. & PAAIJMANS, P.K. (2008): Diurnal temperature fluctuations in an artificial small shallow water body. *International Journal of Biometeorology*, 52: 271–280.

JENKINS, D.G. & BUIKEMA, JR., L. (1998): Do similar communities develop in similar sites? A test with zooplankton structure and function. *Ecological Monographs*, 68: 421–443.

KALINA, T. & VÁŇA, J. (2005): Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii, Karolinum, 213 s.

KNIGHT, C.M., PARRIS, M.J. & GUTZKE, W.H.N. (2009): Influence of priority effects and pond location on invaded larval amphibian communities. *Biological Invasions*, 11: 1033–1044.

KRAUS, J.M. & VONESH, J.R. (2010): Feedbacks between community assembly and habitat selection shape variation in local colonization. *Journal of Animal Ecology*, 79: 795–802.

KRISTIANSEN, J. (1996): Dispersal of freshwater algae – a review. *Hydrobiologia* 336: 151–157.

KOMÁREK, J. & FOTT, B. (1983): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Fischer Verlag, Jena, 400 s.

KÖRNER, C., STÖCKLIN, J., REUTHER-THIÉDAUD, L. & PELAEZ-RIEDL, S. (2008): Small differences in arrival time influence composition and productivity of plant communities. *New Phytologist*, 177: 698–705.

LAMPERT, W. (2006): *Daphnia*: model herbivore predator and prey. *Polish Journal of Ecology*, 54: 607–620.

LELLÁK, J. & KUBÍČEK, F. (1991): *Hydrobiologie*, Karolinum, Praha, 98 s.

LITTLER, M.M. & GRAFFIUS, H.J. (1974): The annual distribution of phytoplankton communities in a southeastern Ohio pond. *The Ohio Journal of Science*, 74: 313–324.

LOUETTE, G., DE MEESTER, L. & DECLERCK, S. (2008): Assembly of zooplankton communities in newly created ponds. *Freshwater Biology* 53: 2309–2320.

LOUETTE, G. & DE MEESTER, L. (2007): Predation and priority effects in experimental zooplankton communities. *Oikos*, 116: 419–426.

- LYNCH, M. & SHAPIRO, J. (1981): Predation, enrichment and phytoplankton community structure. *Limnology and Oceanography* 26: 86–102.
- MAHONEY, D.L., MORT, M.A. & TAYLOR, BE (1990). Species richness in calanoid copepods, cladocerans and other branchiopods in Carolina Bay temporary ponds. *American Midland Naturalist* 123: 244–256.
- MIDDELBOE, A.L. & HANSEN, P.J. (2007): High pH in shallow-water macroalgal habitats. *Marine Ecology-Progress Series*, 338: 107–117
- MUYLAERT, K., PÉREZ-MARTÍNEZ, C., SÁNCHEZ-CASTILLO, P., LAURIDSEN, T. L., VANDERSTUKKEN, M., DECLERCK, S. A. J., VAN DER GUCHT, K., CONDEPORCUNA, J. M., JEPPESEN, E., DE MEESTER, L., & VYVERMAN, W. (2010): Influence of nutrients, submerged macrophytes and zooplankton grazing on phytoplankton biomass and diversity along a latitudinal gradient in Europe. *Hydrobiologia*, 653: 79–90.
- MOUQUET, N., MUNGUÍA, P., KNEITEL, J.M. MILLER & T.E. (2003): Community assembly time and the relationship between local and regional species richness. *Oikos*, 103: 618–626.
- ORTEGA-MAYAGOITIA, E, ROJO, C. & RODRIGO, M.A. (2003): Controlling factors of phytoplankton assemblages in wetlands: an experimental approach. *Hydrobiologia*, 502: 177–186.
- PADISÁK, J., BORICS, G., FEHÉR, G., GRIGOZSKY, I., OLDAL, I., SCHMIDT, A. & ZÁMBÓNÉ-DOMA, Z. (2003): Dominant species, functional assemblages and frequency of equilibrium phases in late summer phytoplankton assemblages in Hungarian small shallow lakes. *Hydrobiologia*, 502: 157–168.
- PITHART, D., PICHLOVÁ, R., BÍLÝ, M., HRBÁČEK, J., NOVOTNÁ, K. & PECHAR, L. (2007): Spatial and temporal diversity of small shallow waters in river Lužnice floodplain. *Hydrobiologia*, 584: 265–275.
- POPOVSKÝ, J. & PFEISTER, L.A. (1990): Dinophyceae (Dinoflagelida). *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (Band 6), Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 270 p.
- REYNOLDS, C.S. (1980): Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake systém. *Holarctic Ecology*, 3: 141–159.
- REYNOLDS, C.S. (1984): The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge university Press, 300 p.
- REYNOLDS, C.S. (1984): Phytoplankton periodicity: the interactions of form, fiction and environmental variability. *Freshwater Biology*, 14: 111–142.

- REYNOLDS, C.S. & ELLIOTT, J.A. (2002): Phytoplankton diversity: discontinuous assembly responses to environmental forcing. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 28: 336–344.
- REYNOLDS, C.S., HUSZAR, V., KRUK, C., NASELLI-FRORES, L. & MELO, S. (2002): Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24: 417–428.
- REYNOLDS, C.S. (2006): *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, 217 p.
- ROSENZWEIG, M.S. & BUIKEMA, A.L. (1994): Phytoplankton colonization and seasonal succession in new experimental ponds. *Environmental Toxicology and Chemistry* 13: 599–605.
- SCHEFFER, M., HOSPER, S.H., MEIJER, M.L., MOSS, B. & JEPPESEN, E. (1993): Alternative equilibria in shallow lakes. *Tree* 8: 275–279.
- SCHEFFER, M., RINALDI, S., KUZNETSOV Y. A. & VAN NES, E.H. (1997): Seasonal dynamics of *Daphnia* and algae explained as a periodically forced predator-prey system. *Oikos*, 80: 519–532.
- SCHEFFER, M. & VAN GEEST, G.J. (2006): Small habitat size and isolation can promote species richness: second-order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds. *Oikos*, 112: 227–231.
- SCHEFFER, M. & VAN NES, E.H. (2007): Shallow lakes theory revised: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*, 584: 455–466.
- SHANNON, C.E. & WEAVER, W. (1949): *The mathematical theory of communication*. Urbana University Press, Illinois, 127 p.
- SOMMER, U., GLIWICZ, Z., MACIEJ, LAMPERT, W. & DUNCA, A. (1986): The PEG - model of seasonal succession of planctonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*, (Stuttgart), 106: 433–471.
- STARKWEATHER, P.L., GILBERT, J.J. FROST, T.M. (1979): Bacterial Feeding by the rotifer *Brachionus calyciflorus*: clearance and ingestion rates, behavior and population dynamics. *Oecologia* 44: 26–30.
- STARMACH, K. (1985): *Chrysophyceae und Haptophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa (Band 1)*, Gustav Fischer Verlag, Jena, 500 p.
- STEINER, C. F. (2002): Context-dependent effects of *Daphnia pulex* on pond ecosystem function: observational and experimental evidence. *Oecologia*, 131:549–558.
- STHAPIT, E., OCHS, A.C. & ZIMBA, V.P. (2008): Spatial and temporal variation in phytoplankton community structure in a southeastern U.S. reservoir determined by HPLC and light microscopy. *Hydrobiologia*, 600: 215–228.

STRECKER, L.A., COBB, P.T. & VINEBROOKE, D.R. (2004): Effects of experimental greenhouse warming on phytoplankton and zooplankton communities in fishless alpine ponds. *Limnology and Oceanography*, 9: 1182–1190.

TER BRAAK, C. J. F. & ŠMILAUER, P. (1998): CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows. Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA, 353 p.

TER BRAAK, C. J. F. & ŠMILAUER, P. (2002): CANOCO Reference Manual CanoDraw for Windows User's Guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA, 500 p.

THOMPSON, J.M., FERGUSON, A.J.D. & REYNOLDS, C.S. (1982): Natural filtration-rates of zooplankton in a closed system - the derivation of a community grazing index. *Journal of Plankton Research* 4: 545–560.

VAN GREMBERGHE, I., VANORMELINGEN, P., VAN DER GUCHT, K., SOUFFEAU, C., VYVERMAN, W. & DE MEESTER, L. (2009): Priority effects in experimental populations of the cyanobacterium *Microcystis*. *Environmental Microbiology*, 11: 2564-2573.

VANORMELINGEN, P., COTTENIE, K., MICHELS, E., MUYLAERT, K., VYVERMAN, W. & DE MEESTER, L. (2008): The relative importance of dispersal and local processes in structuring phytoplankton communities in a set of highly interconnected ponds. *Freshwater Biology*, 53: 2170–2183.

WANG, X., LU, Y., HE, G., HAN, J. & WANG, T. (2007): Multivariate analysis of interactions between phytoplankton biomass and environmental variables in Taihu lake, China. *Environmental Monitoring Assessment*, 133: 243–253.

WARD, D. & BLAUSTEIN, L. (1994): The overriding influence of flash floods on species-area curves in ephemeral Negev desert pools: A consideration of the value of island biogeography theory. *Journal of Biogeography*, 21: 595–603.

WATSON, S. & McCAULEY, E. (1988): Contrasting patterns of net- and nanoplankton production and biomass among lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45(5): 915–920.

WELLBORN, G.A., SKELLY, D.K. & WERNER, E.E. (1996): Mechanisms creating community structure across a freshwater hydroperiod gradient. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27: 337–363.

WILBUR, H.M. & ALFORD, R.A. (1985): Priority effects in experimental pond communities: responses of *Hyla* to *Bufo* and *Rana*. *Ecology*, 66: 1097–1105.

WILBUR, M.H. (1997): Experimental ecology of food webs: complex systems in temporary ponds. *Ecology*, 78: 2279–2302.

www.kokorinsko.ochranaprirody.cz, Internetové stránky CHKO Kokořínsko, vyhledáno 10.8.2010.

7. APPENDIX

tab. P1. Druhová bohatost fytoplanktonu v tůních na počátku roku 2007 (únor–duben).

tůň	7.2.2007	7.3.2007	4.4.2007	27.4.2007
A2	–	–	–	–
A1	–	–	–	–
A3	–	–	–	–
A4	3	–	–	–
B1	4	2	–	–
B2	6	6	–	–
B3	1	1	–	–
B4	3	3	5	–
C3	5	5	–	–
C2	5	4	6	–
C4	7	6	6	–
D1	3	3	2	–
D2	8	6	6	4
D3	2	4	7	2
D4	4	3	7	3
E1	2	5	4	–
E3	7	3	3	–

tab. P2. Druhová bohatost fytoplanktonu v tůních od července 2007 do prosince 2008.

tůň	31.07.07	21.08.07	11.09.07	04.10.07	23.10.07	19.11.07	17.12.07	12.03.08	30.07.08	06.10.08	10.12.08
A2	13	14	5	4	5	4	14	9	17	15	10
A1	13	15	6	9	7	4	6	10	17	5	7
A3	12	14	2	4	4	5	4	6	13	8	10
A4	11	7	7	8	8	5	13	7	2	8	11
B1	11	15	2	11	12	4	8	9	17	17	14
B2	11	7	5	9	3	4	15	7	8	10	6
B3	8	10	1	4	1	2	—	9	7	6	7
B4	13	9	2	12	7	11	—	5	11	5	10
C3	14	14	6	12	7	15	13	10	15	12	16
C2	12	13	1	4	3	10	9	6	17	5	6
C4	12	15	2	5	2	3	9	6	9	11	15
D1	8	5	2	4	6	2	—	5	2	5	8
D2	12	8	6	11	13	4	—	10	9	5	5
D3	8	10	1	9	2	4	8	7	4	2	5
D4	8	6	5	6	5	8	7	7	6	6	7
E1	11	11	4	1	2	2	4	8	6	4	4
E3	4	8	4	6	9	5	9	9	2	5	2

tab. P3. Druhová bohatost fytoplanktonu v tůňích rozlišených podle výskytu (+) či absence (-) druhu *Daphnia curvirostris* od července 2007 do prosince 2008 .

tůň	31.07.07+	31.07.07-	21.08.07+	21.08.07-	11.09.07+	11.09.07-	04.10.07+	04.10.07-	23.10.07+	23.10.07-	19.11.07+	19.11.07-
A2	13	–	14	–	5	–	–	4	–	5	–	4
A1	–	13	15	–	6	–	9	–	7	–	4	–
A3	–	12	14	–	2	–	4	–	4	–	–	5
A4	11	–	–	7	–	7	–	8	–	8	–	5
B1	–	11	–	15	–	2	–	11	–	12	–	4
B2	11	–	7	–	5	–	–	9	3	–	4	–
B3	–	8	10	–	1	–	–	4	1	–	2	–
B4	–	13	9	–	–	2	–	12	–	7	–	11
C3	–	14	14	–	–	6	12	–	–	7	–	15
C2	–	12	13	–	1	–	–	4	3	–	10	–
C4	–	12	15	–	2	–	5	–	2	–	–	3
D1	–	8	5	–	2	–	4	–	6	–	2	–
D2	–	12	8	–	–	6	11	–	13	–	4	–
D3	–	8	10	–	1	–	9	–	2	–	4	–
D4	–	8	–	6	5	–	6	–	5	–	8	–
E1	11	–	11	–	4	–	1	–	2	–	2	–
E3	–	4	–	8	–	4	–	6	–	9	–	5
E4	5	–	16	–	2	–	2	–	2	–	2	–

tab. P3 – pokračování.

tůň	17.12.07+	17.12.07-	12.03.08+	12.03.08-	30.07.08+	30.07.08-	06.10.08+	06.10.08-	10.12.2008+	10.12.2008-
A2	–	14	–	9	–	17	–	15	–	10
A1	–	6	–	10	17	–	5	–	7	–
A3	4	–	6	–	13	–	8	–	–	10
A4	–	13	–	7	–	2	–	8	–	11
B1	–	8	–	9	–	17	–	17	–	14
B2	–	15	–	7	–	8	–	10	–	6
B3	–	–	–	9	7	–	6	–	7	–
B4	–	–	–	5	–	11	–	5	–	10
C3	–	13	10	–	–	15	–	12	–	16
C2	–	9	6	–	17	–	5	–	6	–
C4	–	9	6	–	9	–	11	–	15	–
D1	–	–	5	–	2	–	5	–	–	8
D2	–	–	10	–	9	–	5	–	–	5
D3	–	8	7	–	4	–	2	–	5	–
D4	–	7	7	–	6	–	6	–	7	–
E1	4	–	8	–	6	–	4	–	4	–
E3	–	9	–	9	2	–	5	–	–	2
E4	–	4	8	–	10	–	4	–	–	10

tab. P4. Hodnoty Shannonova indexu diverzity před instalací folií od února do dubna 2007.

H	7.2.2007	7.3.2007	4.4.2007	27.4.2007
A2	–	–	–	–
A1	–	–	–	–
A3	–	–	–	–
A4	2,2	–	–	–
B1	2,0	1,2	–	–
B2	3,2	3,2	–	–
B3	0,4	0,0	–	–
B4	1,9	1,7	2,2	–
C1	3,6	1,9	2,5	–
C3	3,2	2,6	–	–
C2	2,6	2,4	2,7	–
C4	3,3	2,5	2,5	–
D1	1,5	1,7	1,4	–
D2	3,3	2,7	2,5	2,8
D3	1,1	2,0	3,6	1,2
D4	2,0	1,7	3,3	1,9
E1	0,9	2,6	2,2	–
E2	2,4	2,2	2,4	–
E3	3,3	1,2	1,9	–
E4	3,6	1,7	3,0	–

tab. P5. Hodnoty Shannonova indexu diverzity po instalaci folií od července 2007 do prosince 2008.

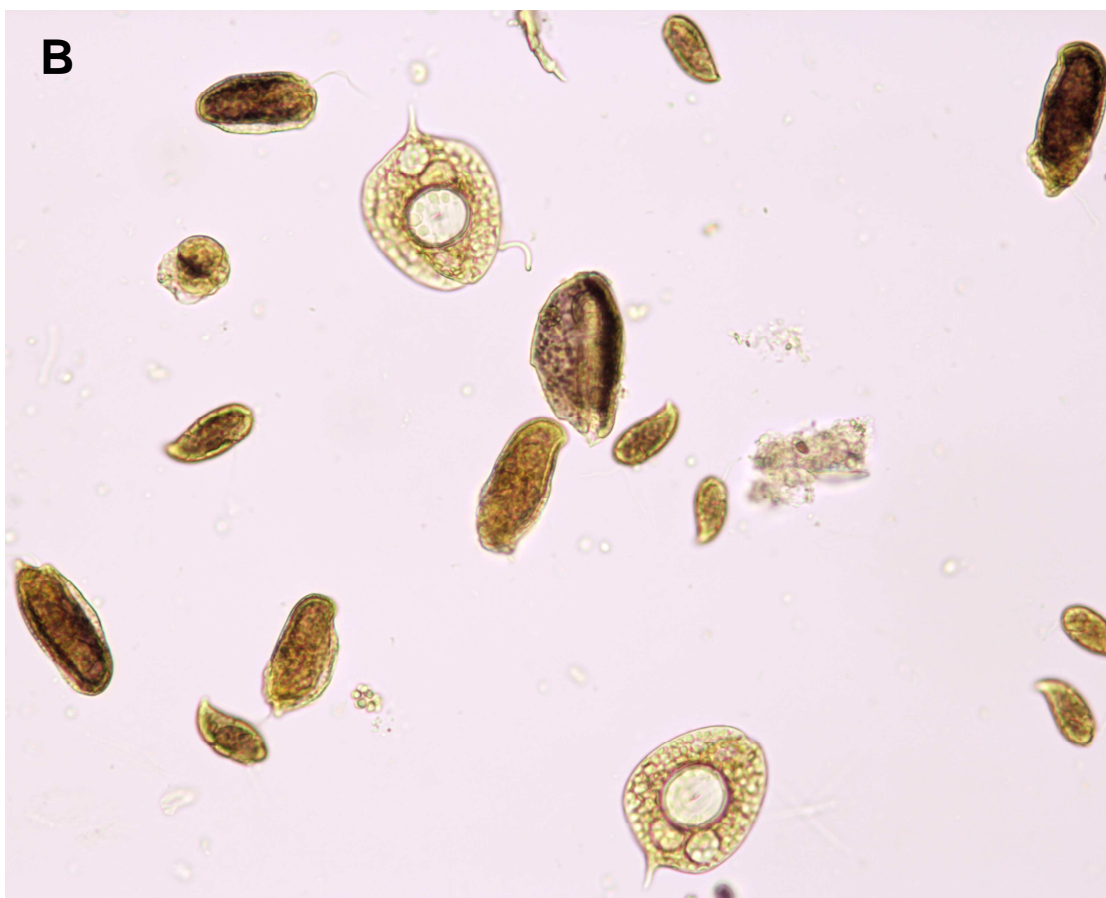
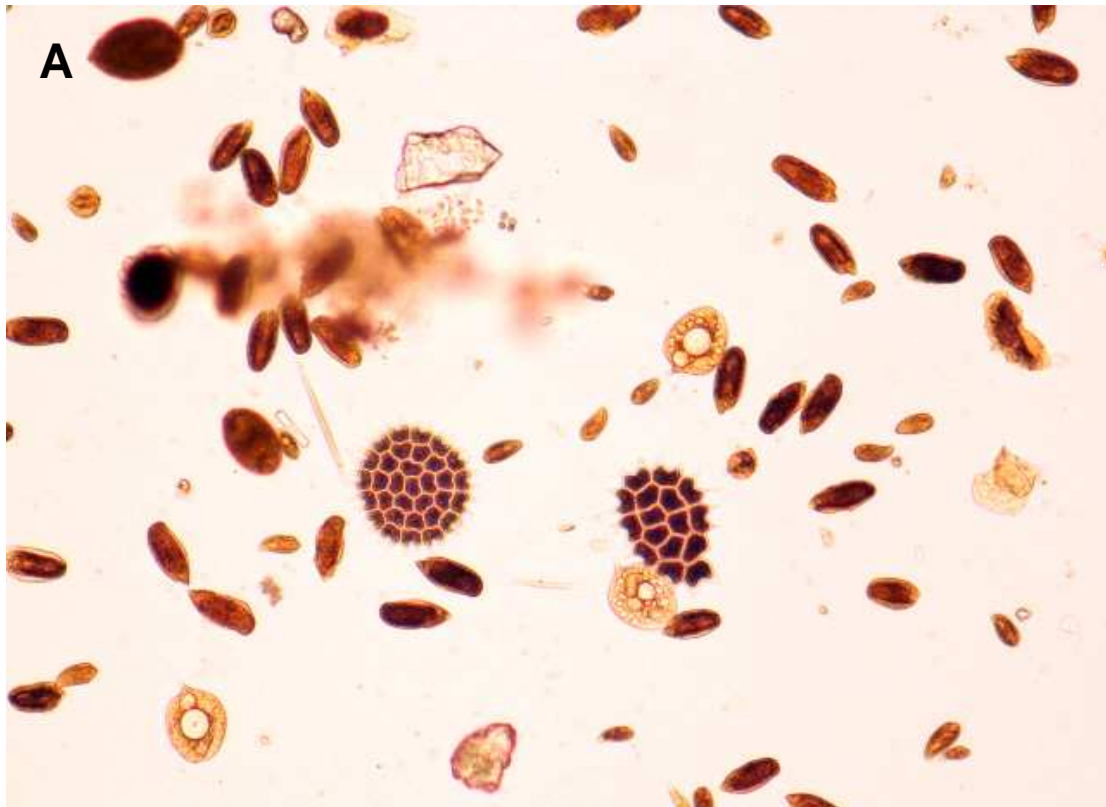
H	31.07.07	21.08.07	11.09.07	04.10.07	23.10.07	19.11.07	17.12.07	12.03.08	30.07.08	06.10.08	10.12.08
A2	3,1	3,3	2,6	2,0	2,4	1,8	4,2	2,8	4,3	4,0	3,1
A1	3,2	4,3	2,5	3,6	2,8	2,0	2,7	3,1	4,2	2,6	3,3
A3	3,1	4,2	1,1	2,0	2,2	2,6	1,8	2,9	4,0	2,7	2,8
A4	3,0	2,6	2,8	3,1	3,3	2,0	3,8	2,7	0,9	3,3	3,3
B1	2,8	4,0	1,4	4,0	4,0	1,9	2,5	3,0	4,2	4,2	3,5
B2	3,0	2,9	2,6	3,3	1,5	2,0	3,6	2,6	3,1	3,4	2,2
B3	2,5	3,4	0,4	2,0	0,4	1,1	–	3,4	3,0	2,5	2,6
B4	3,2	3,0	1,4	3,8	3,0	3,5	–	2,2	3,3	2,4	2,9
C1	2,8	3,8	2,7	3,6	4,0	2,2	3,7	1,5	–	–	–
C3	3,1	4,2	3,0	3,5	3,0	4,2	3,5	3,4	4,0	3,6	4,2
C2	2,9	3,8	0,4	1,8	1,7	3,8	3,8	2,5	4,2	1,9	2,5
C4	2,9	4,3	1,4	2,6	1,1	1,4	3,3	2,7	2,7	3,3	4,9
D1	2,3	2,0	1,4	2,4	3,6	1,1	–	2,1	1,4	2,6	2,9
D2	3,5	2,9	3,0	3,6	4,4	2,8	–	4,3	4,1	2,4	2,2
D3	2,5	4,5	0,0	3,4	1,1	2,4	3,1	2,5	2,0	0,8	2,2
D4	2,4	2,2	1,7	2,9	2,6	3,5	2,6	2,5	2,6	2,7	2,6
E1	3,0	4,0	2,2	0,4	1,1	0,9	2,0	2,7	2,5	2,0	1,8
E2	2,3	2,5	1,5	3,1	3,2	3,6	2,4	3,5	–	–	3,2
E3	1,6	3,1	1,6	3,0	3,3	2,6	3,2	2,7	1,1	3,2	0,8
E4	2,0	4,3	0,9	1,1	1,1	1,1	2,0	2,7	3,2	2,4	2,9

tab. P6. Hodnoty Shannonova indexu diverzity v tůňích rozlišených podle výskytu (+) či absence (-) druhu *Daphnia curvirostris* od července 2007 do prosince 2008.

tůň	31.07.07+	31.07.07-	21.08.07+	21.08.07-	11.09.07+	11.09.07-	04.10.07+	04.10.07-	23.10.07+	23.10.07-	19.11.07+	19.11.07-
A2	3,1	–	3,3	–	2,6	–	–	2,0	–	2,4	–	1,8
A1	–	3,2	4,3	–	2,5	–	3,6	–	2,8	–	2,0	–
A3	–	3,1	4,2	–	1,1	–	2,0	–	2,2	–	–	2,6
A4	3,0	–	–	2,6	–	2,8	–	3,1	–	3,3	–	2,0
B1	–	2,8	–	4,0	–	1,4	–	4,0	–	4,0	–	1,9
B2	3,0	–	2,9	–	2,6	–	–	3,3	1,5	–	2,0	–
B3	–	2,5	3,4	–	0,4	–	–	2,0	0,4	–	1,1	–
B4	–	3,2	3,0	–	–	1,4	–	3,8	–	3,0	–	3,5
C3	–	3,1	4,2	–	–	3,0	–	3,5	–	3,0	–	4,2
C2	–	2,9	3,8	–	0,4	–	1,8	–	1,7	–	3,8	–
C4	–	2,9	4,3	–	1,4	–	2,6	–	1,1	–	–	1,4
D1	–	2,3	2,0	–	1,4	–	2,4	–	3,6	–	1,1	–
D2	–	3,5	2,9	–	–	3,0	3,6	–	4,4	–	2,8	–
D3	–	2,5	4,5	–	0,0	–	3,4	–	1,1	–	2,4	–
D4	–	2,4	–	2,2	1,7	–	2,9	–	2,6	–	3,5	–
E1	3,0	–	4,0	–	2,2	–	0,4	–	1,1	–	0,9	–
E3	–	1,6	–	3,1	–	1,6	–	3,0	–	3,3	–	2,6
E4	2,0	–	4,3	–	0,9	–	1,1	–	1,1	–	1,1	–

tab. P6 – pokračování.

tůň	17.12.07+	17.12.07-	12.03.08+	12.03.08-	30.07.08+	30.07.08-	06.10.08+	06.10.08-	10.12.2008+	10.12.2008-
A2	–	4,2	–	2,8	–	4,3	–	4,0	–	3,1
A1	–	2,7	–	3,1	4,2	–	2,6	–	3,3	–
A3	1,8	–	2,9	–	4,0	–	2,7	–	–	2,8
A4	–	3,8	–	2,7	–	0,9	–	3,3	–	3,3
B1	–	2,5	–	3,0	–	4,2	–	4,2	–	3,5
B2	–	3,6	–	2,6	–	3,1	–	3,4	–	2,2
B3	–	–	–	3,4	3,0	–	2,5	–	2,6	–
B4	–	–	–	2,2	–	3,3	–	2,4	–	2,9
C3	–	3,5	3,4	–	–	4,0	–	3,6	–	4,2
C2	–	3,8	2,5	–	4,2	–	1,9	–	2,5	–
C4	–	3,3	2,7	–	2,7	–	3,3	–	4,9	–
D1	–	–	2,1	–	1,4	–	2,6	–	–	2,9
D2	–	–	4,3	–	4,1	–	2,4	–	–	2,2
D3	–	3,1	2,5	–	2,0	–	0,8	–	2,2	–
D4	–	2,6	2,5	–	2,6	–	2,7	–	2,6	–
E1	2,0	–	2,7	–	2,5	–	2,0	–	1,8	–
E3	–	3,2	–	2,7	1,1	–	3,2	–	–	0,8
E4	–	2,0	2,7	–	3,2	–	2,4	–	–	2,9



obr. P1. Mikrofotografie celkového aspektu fytoplanktonu, tůň B4, červenec 2007 (A, B)