

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze

katedra ekologie

Lenka Hrušková

Diverzita a ekologie řas experimentálních tůní
v povodí Liběchovky (CHKO Kokořínsko)

Bakalářská práce



Praha, srpen 2008

Vedoucí práce: Mgr. Linda Nedbalová, Ph.D.

Poděkování:

Děkuji vedoucí mé práce Mgr. Lindě Nedbalové, Ph.D. za pomoc při shromažďování literatury a poskytnutí cenných rad, za pomoc při zpracování vzorků děkuji RNDr. Janu Fottovi, CSc., můj dík patří i mým rodičům, kteří mě podporují po celou dobu studia.

Abstract

Shallow ponds, floodplains and wetlands are ecosystems of very high biodiversity. In many of them, littoral communities and their productivity completely dominate the ecosystem. Hundreds of thousands of small, often temporary, ponds and lakes occur in the floodplains of major river ecosystems. Shallow ponds tend to accumulate terrestrial organic matter and nutrients, the loading of nutrients per unit volume can be very high. The resulting dominance of photosynthetic communities utilizing phosphorus and nitrogen, however, is coupled to the timing of competition between the macrophyte and algal communities. Organisms living in such irregular, transient habitats must have many structural, behavioral and physiological adaptations for surviving or avoiding drought. Artificial ponds are excellent arenas for the study of phytoplankton, they permit repeatable initial conditions and sufficient replication of independent experimental units in complex experiments to test hypothesis about the control of structure and function in natural communities.

Keywords: shallow ponds, algal communities, transient habitats, artificial ponds

Abstrakt

Mělké tůně, nivní oblasti a mokřady jsou ekosystémy s velmi vysokou biodiverzitou. V mnoha z nich dominují litorální společenstva a jejich produktivita. V nivách okolo velkých řek se vyskytuje velké množství malých často dočasných tůní a jezer. Mělké tůně mají tendenci akumulovat terestrické organické látky a živiny, zatížení živinami na jednotku objemu může být velmi vysoké. Fotosyntetická společenstva čerpají fosfor a dusík, avšak na to, jaké organismy budou dominovat má společný vliv načasování a kompetice mezi makrofyty a společenstvy řas. Organismy žijící v takto nepravidelných a proměnlivých habitatech musí mít mnoho strukturních, behaviorálních a fyziologických adaptací pro přežití či vyhnutí se suchu. Umělé tůně pak představují ideální systémy pro studium fytoplanktonu, dovolují 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.

Klíčová slova: mělké tůně, společenstva řas, proměnlivé habitaty, umělé tůně

OBSAH

1. ÚVOD	5
2. ŘÍČNÍ TŮŇ	7
2.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA	7
2.2. OŽIVENÍ TŮNÍ	8
2.3. SEZÓNNOST	12
2.4. EXPERIMENTÁLNÍ TŮŇ	17
3. MATERIÁL A METODY	19
3.1. POPIS LOKALITY	19
3.2. ODBĚR A ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ	20
3.3. ANALÝZA DAT	21
4. VÝSLEDKY	22
5. DISKUSE	27
6. ZÁVĚR	29
7. PŘEHLED LITERATURY	30

1. Úvod

Říční tůň představují unikátní přírodní biotopy vznikající činností řek po celém světě, jsou charakteristické pro řeky s přírodním hydrologickým režimem, zůstávají v okolí řeky po opadnutí velké vody při záplavách, bývají dotované i průsakem z blízké řeky, typický bývá též mokřadní charakter říční nivy, napomáhající udržení vody v tůních. Mezi říční tůně patří i mrtvá ramena řek oddělená od hlavního řečiště. Charakteristické je pro ně mělké dno zanesené materiálem, časté anoxické podmínky nejen u dna. Hojná vegetace makrofyt a okolní terestrická vegetace snižují dostupnost sluneční radiace. Vysoké koncentrace živin (N, P) v kombinaci s poměrně nízkou teplotou vytváří specifické podmínky pro život. (Wetzel 2001). Podmínky na těchto stanovištích se mění v důsledku záplav, během nízkého stavu vody jsou tůně izolované a dostí se od sebe liší, v době záplav voda tůně propojí a „zhomogenizuje“ je, po opadnutí vody se opět nastartuje proces diverzifikace (Pithart 2007). Tůně jsou osídleny celou řadou společenstev, často zde dominují sinice (Cyanobacteria), některé druhy rozsivek a malé zelené řasy (Izaguirre et al. 2004). Velký význam má i tzv. „priority effect“, neboli který druh či společenstvo bude danou tůň kolonizovat jako první, významný je i vliv náhodných procesů, protože druh, který se dostane do již osídlené tůně, bude vystaven kompetici o zdroje a prostor. Během roku je zejména v mírném pásu možné pozorovat určité časové a prostorové výkyvy ve struktuře fytoplanktonních společenstev, souhrnně se tomuto jevu říká sezonalita (Sthapit et al. 2008). Mnohé z říčních tůní koncem jara ztrácejí vodu, přes léto jsou zcela vyschlé a plní se až na podzim.

V této práci se budu věnovat fytoplanktonu říčních a experimentálních tůní, diverzitě a společenstvům fytoplanktonu. V poslední době jsou čím dál více využívány pro studium fytoplanktonu experimentální tůně, proto jsem se zaměřila hlavně na ně. Umělé experimentální tůně jsou výhodné pro různé typy experimentů. Mnohé přírodní tůně mizí, vysychají v důsledku nízké hladiny spodní vody i v době, kdy by teoreticky měly být naplněné, dalším problémem přírodních tůní je zemědělská činnost zvyšující trofiu tůní.

V další části práce jsem zařadila kapitolu s výsledky zpracovaných vzorků z tůní z CHKO Kokořínsko. Výzkum tůní, ve kterých jsem určovala fytoplankton, je součástí evropského projektu BIOPOOL, jehož cílem je mezinárodní spolupráce a porovnání výsledků z různých oblastí Evropy, jeden z programů v České republice Španělsku, Belgii a Maďarsku je právě zaměřen na studium kolonizace nově vytvořených tůní a změn v druhovém složení v průběhu osidlování, srovnání různých typů vodních ploch a různých geografických oblastí

organismů, řas a sinic, vodních makrofyt, zooplanktonu, zkoumá se též vliv propojenosti lokalit na druhové bohatství na různých úrovních, dále též vliv regionální biodiverzity, možných vektorů (vodní ptáci) či tzv. „priority effect“. Součástí je i obecný výzkum dočasných vod a jejich biodiverzity ve vztahu k charakteristikám lokality a okolí.

2. Říční tůň

2.1. Základní charakteristika

Říční tůň jsou unikátní přírodní biotopy, tato mělká stojatá vodní tělesa nalezneme téměř po celém světě v podobě reliktních mrtvých ramen v povodí řeky Paraná v Jižní Americe, řeky Amazonky, v severní Evropě, ale i na území České republiky v Polabí či jižních Čechách. Tyto biotopy se též vyskytují v okolí řek (Reynolds 1996), které mají, či v minulosti měly tendenci se vylévat z koryta a zaplavovat okolní říční nivu, záplavy jsou běžné hlavně pro arktické a tropické řeky, kde trvají až několik měsíců a zaplavené plochy mají velkou rozlohu (Wetzel 2001), u nás by mohla být příkladem řeka Lužnice a jejích 29 trvale zavodněných tůní a mrtvých ramen, záplavy nemívají tak velký rozsah, vzniklé tůň jsou malé a mělké (Pithart et al. 2007). Říční tůň patří mezi dočasné habitaty, které procesem sukcese a postupného zazemňování a zanášení materiálem směřují ke vzniku mělkého mokřadu. Jejich dočasnost je též způsobena ztrátami vody během roku hlavně v období od konce jara do pozdního léta, některé tůň vysychají v tuto dobu docela.

Některé říční tůň jsou i nadále spojeny s řekou, která ovlivňuje jejich hydrologický režim. Ostatní jsou ovlivňovány hlavně v době záplav (Ward & Blaustein 1994), které mohou nastat i několikrát v roce (Paidere et al. 2007), řeka se rozlije a spojí tato malá vodní tělesa, což do určité míry znamená nastolení podobných podmínek a homogenizaci těchto biotopů. (Thomaz et al. 2006).

Na charakter těchto biotopů mají vliv abiotické faktory a v řadě studií je zkoumána i míra vlivu faktorů biotických. Zjišťuje se vliv hydroperiody na planktonní společenstva (Bovo-Scomparin & Train 2008) rozlohy vodního tělesa, jeho hloubky, tvaru, zastínění terestrickou vegetací, roční doby, chemismu, fytoplanktonních a zooplanktonních společenstev (Roozen et al 2008), potravní vztahy, atd. Prolínání vlivu těchto faktorů má za následek vznik různorodých habitatů. (Pithart et al 2007). Vzhledem k dočasnému charakteru tůní a velmi často malé rozloze jsou téměř či zcela bez ryb, specifickým případem jsou tůň v povodí řeky Amazonky, z nichž některé zcela nevysychají ani v období sucha a poskytují útočiště převážně malým rybám a rybímu plůdku (Moss 2007).

Zcela klíčový vliv mají dva faktory a to hloubka a rozloha tůně. Relativní hloubka tůně koreluje se vzdáleností od řeky a to tak, že čím dále se nachází tůň od řeky tím je hlubší. Některé extrémní hodnoty relativní hloubky mohou dosáhnout až sedmnáct metrů. (Pithart et al 2007). Hloubka tůně má vliv na světelné podmínky v tůni, v mělkých tůních bývá dostatek

světla i u dna, stejně tak ovlivňuje i teplotu a obsah rozpuštěného kyslíku což má dále vliv na složení vegetace v tůni (Coops et al. 2007). Hloubka se může výrazně měnit v závislosti na ročním období, za horkého léta se hladina snižuje a v tůni dochází ke vzniku anoxických podmínek v zimě naopak ohrožuje život v tůni mráz (Lellák & Kubíček 1991). Vliv rozlohy tůně je dosti korelován s její hloubkou, více vegetace se nachází spíše v tůních o menší rozloze, kde je též stav ryb roven nule nebo velmi nízký (Scheffer & van Nes 2007).

Vliv morfologických faktorů se je jistě nepopíratelný, nad faktorem klimatu ale stále visí otazník. Stále není zcela jasné, jaký by byl důsledek oteplení klimatu, zda by v tůních převládl stav s velkým stupněm vegetace nebo spíše zakalený stav o velké turbiditě. Již víme, že teplejší klima ovlivňuje trofickou kaskádu, toto bylo zkoumané v jezerech v nižších zeměpisných šířkách, tzv. top-down kontrola zooplanktonu rybami je zde velmi silná po celý rok, ryby jsou hojné a narozdíl od mírného pásu se reprodukují nepřetržitě (Dumont 1944, podle Scheffer & van Nes 2007).

Oteplování klimatu neposune společenstva do subtropického typu, spíše to povede k vzrůstu turbidity (Jeppensen et al. 2003; Scheffer & van Nes 2007). Na druhou stranu existují názory, že při oteplování se v jezerech mírného pásu zvýší podíl vegetace (Scheffer & van Nes 2007). Do jaké míry by oteplávání ovlivnilo hydrologii a tok živin v tůni není ještě zcela jasné. Dokonce i krátký teplotní extrém může mít vliv dlouhodobějšího charakteru (Scheffer 1998 Scheffer & van Nes 2007) Přesto zřejmě největší vliv klimatu spočívá ve fluktuacích výšky vodní hladiny.

2.2. Oživení tůní

Říční tůně se liší nejen svou morfologií, ale i ve vlastnostech, které mají podíl na tom, zda bude tůň osídlená, jaké druhy tuto tůň osídlí a kolik biomasy se zde přibližně vytvoří (Miller et al. 1978). Jsou známy tůně, které od sebe dělí jen malá vzdálenost několika metrů, přesto poskytují odlišné podmínky pro život. Specifické existenční podmínky jsou vytvářeny astatickými, periodickými vodami, které vznikají na vhodných místech po tání sněhu, jarních záplavách, při zvýšené hladině podzemních vod a po deštích (Lellák & Kubíček 1991). Výsledky pokusů, které byly dělány na tůních v zalesněné krajině se od tůní nalézajících se v otevřené krajině dost podstatně odlišují. Bylo prokázáno, že tůně v zalesněné krajině mají silnější heterotrofickou síť, sníženou dostupnost slunečního záření a to jak nad tak i pod hladinou, hlavně vlivem velkého stínění okolní terestrické vegetace zejména ráno, večer

a v zimě. Dále u nich byl potvrzen vyšší obsah rozpuštěných organických látek a přesycení oxidem uhličitým. (Sand-Jensen & Staehr 2007). V mrtvých ramenech hustě porostlých vegetací makrofyt se průměrná nejnižší naměřená teplota lišila alespoň o 6 °C od teploty v mělkých tůních, které byly zarostlé jen spoře nebo vůbec. Měření v tomto případě probíhala v mokřadní lokalitě v Jižní Americe v blízkosti řeky Paraná. Dále bylo zjištěno, že plovoucí vegetace ve studovaných mrtvých ramenech silně ovlivňuje množství dopadajícího fotosynteticky aktivního záření, v mrtvých ramenech pronikají do hloubky 5 cm jen asi 4 %, v mělkých tůních bez vegetace ale téměř 50 %. Tyto dva biotopy se lišily i v dalších ohledech. V mrtvých ramenech byly naměřeny vyšší koncentrace u středních hodnot rozpuštěných pevných látek a to dvojnásobné oproti mělkým tůním, asi nejvíce překvapující rozdíl jev obsahu kyslíku. Mrtvá ramena zůstala po celou dobu trvání studie anoxická, zatímco v mělkých tůních střední hodnota rozpuštěného kyslíku přesáhla 4,9 mg l⁻¹. Koncentrace dusíku a fosforu byla naopak v mělkých tůních vyšší než v mrtvých ramenech (Izaguirre et al. 2004). Z této studie je dosti patrný vliv plovoucí vegetace, tomu jaký vliv mají na tůň společenstva řas, se budu věnovat v dalších kapitolách.

Charakteristická vlastnost planktonu je vznášet se, popřípadě omezeně plavat, součástí sladkovodního planktonu je široký soubor primárních hydrobiontů - od bakterií a jednobuněčných řas a prvoků po mnohobuněčné řasy a různé bezobratlé. Příslušníci planktonu se značně liší velikostí i tvary. Pro velikostní klasifikaci, která se využívá jak pro sladkovodní tak pro mořský fytoplankton, se používá třídění (Lellák & Kubíček 1991):

ultranaplankton	< 2 μm (bakterie, řasy a sinice)
nanoplankton	2-20 μm (řasy, sinice, bičíkovci, prvoci)
mikroplankton	20-200 μm (větší prvoci, řasy, vířníci, nauplia)
mezoplankton	200-2 000 μm (kořýši, vířníci- <i>Aschplachna</i>)
megaplankton	>2 000 μm (velcí kořýši)

Fytoplankton tvoří řasy a sinice, je fotoautotrofní, je to vodní primární producent. Obojí řasy i sinice obsahují jako fotosyntetický pigment chlorofyl *a* a řasy obsahují navíc ještě karotenoidy a biliproteiny. Fytoplankton je významným producentem kyslíku, potravou zooplanktonu, býložravých ryb atd.

Fytoplanktonní společenstva: ve stojatých vodách často koexistuje větší množství druhů řas, dominovat může jeden nebo dva a více druhů. Každý druh má své specifické

fyziologické požadavky a snaží se zaujmout místo, kde by měl nejlepší podmínky. Kompetiční schopnost druhů není stejná, ve společenstvech panují složité vztahy, některé druhy proto osidlují extrémní habitaty, kde je pro statní druhy obtížné přežít (Wetzel 2001)

Obecně můžeme prohlásit, že mělká vodní tělesa-různé tůně, rybníky, nádrže, jezera atd., mají velmi dobře vyvinutou litorální zónu a díky tomu poskytují vhodné podmínky pro rozvoj různorodých společenstev (Popovský & Pfeister 1990). Typický fytoplankton, čímž jsou míněny planktonní formy, je relativně málo rozvinutý v kontrastu s množstvím bentických euglenophyt v hlubších profilech, souvisí to s tím, že životní cyklus u skupiny Euglenophyta (krásnoočka) začíná na dně na sedimentu (Bucka & Wilk-Woźniak 2007). V mokřadních biotopech, říčních nivách a mrtvých ramenech řek (např. řeka Lužnice) dominují ze skupin řas: Cryptophyta (skrytěnky), Chrysophyceae (zlativky) (Starmach 1985) a krásnoočka, zatímco sinic je málo. Zastínění a relativní hloubka korelují negativně s fytoplanktonní biomasou (Wang et al. 2007) a celou řadou fytoplanktonních taxonů, výjimku tvoří skrytěnky, u kterých je korelace pozitivní. Z výsledků studie na řece Lužnici dále vyplývá, že skrytěnky se vyskytovaly celoročně, v září tvořily 70 % biomasy řas na všech zkoumaných lokalitách a v lednu 67 %. V kontrastu s tím je výskyt ostatních fytoplanktonních skupin (kromě rozsivek), sinice bývají typické pro eutrofní mělké nádrže, zde tvořila nejvýše 2 %, méně hojně byly též zelené chlorokokální řasy-nejvýše 10 %. Ve zkoumané lokalitě byla velká druhová bohatost, bylo zde velké množství zelených řas (66 druhů) a bičíkaté skupiny-krásnoočka (34 druhů) a zlativky (16 druhů), množství druhů na jednotlivé lokality kolísalo od 4 do 42 druhů. Při hlubším analyzování (RDA) se ukázalo, že stinná a relativně hluboká místa v tůních jsou osídlená hojně skupinou řas skrytěnky v lednu a květnu. Rozloha signifikantně korelovala s chlorofylem a v srpnu a v září, dále též s krásnoočky, zelenými řasami a sinicemi. Analýzou CCA se testoval vliv sezóny na fytoplanktonní společenstva, ukázalo se, že krásnoočka, rozsivky a zelené řasy byly typické pro léto, zatímco skrytěnky byly více typické pro podzim. Detailní sezónní analýzy ukázaly, že povrchová saturace kyslíkem v květnu korelovala s chlorofylem a a s pH, ale ne se zastíněním, což indikovalo, že rychlý nárůst biomasy řas byl hlavním zdrojem kyslíku ve sledovaných vodních tělesech. Toto tvrzení též podporuje korelace mezi biomasou zlativek a skrytěnek, když dosáhly svého jarního vrcholu. Na druhou stranu v létě saturace kyslíkem korelovala signifikantně s pH, chlorofylem a negativně se zastíněním, v říjnu již korelovala jen se zastíněním, což indikovalo snížení fotosyntézy a zkracující se den.

Obecně relativně mělká vodní tělesa bývají dobře míchaná větrem, což též podporuje růst řas (Pithart et al. 2007). Významný vliv na druhové složení fytoplanktonních

společenstev má i koncentrace živin v jezerech je možné pozorovat změny ve společenstvech podél gradientu eutrofizace, jako jakési kontinuum v němž dochází k tomu, že postupná výměna druhů je přerušena v kritickém bodě významným posunem, vzhledem k jinému stavu, kde dominují odlišné druhy. I přes intenzivní studium nejsme stále schopni přesně predikovat který druh a kdy přesně bude dominovat. Poměrně dobře prozkoumanou skupinou jsou sinice (Kalina & Váňa 2005)-hlavně vláknité typy, které se vyskytují v mělkých stinných nádržích, mohou dominovat po celý rok. Je pro ně též typické, že začínají převažovat s rostoucí turbiditou vody, zajímavé je, že svoji masou zastínění dále znásobuje a tím minimalizuje šanci ostatních řas na růst. Výhodou pro ostatní řasy je, že vláknité sinice rostou velmi pomalu a většina řas je schopna rychlejšího růstu, proto v méně zakalených vodách je často přerostou zelené řasy a začnou dominovat (Scheffer & van Nes 2008).

Sinice jsou výjimečné též svou tolerancí k extrémním podmínkám v nádržích, často je nalezneme v mrtvých ramenech řek, mokřadech, tůních vzniklých po záplavách, v rybnících atd. Místní často téměř anoxické podmínky, zastínění a vysoká koncentrace P, N a K, zvýhodňují sinice a pár druhů rozsivek, kteří zde dominují. V menší míře bývají zastoupené zelené řasy a bičíkovci. Společenstva řas jsou zde ovlivněna též plovoucí vegetací a vegetací v okolí nádrže způsobující její zastínění, jsou velkým zdrojem huminových kyselin pro nádrž, ovlivňují pH, proto mohou mít jednotlivé tůně v mokřadu odlišné pH (Izaguirre et al. 2004).

Fytoplanktonní společenstva jsou významným článkem potravního řetězce (Brett & Goldman 1996), a proto je důležité pochopení složitých vztahů mezi fytoplanktonem, zooplanktonem, rybami, vlivem abiotických faktorů, též je nutné si uvědomit, že termín fytoplankton je souhrnný termín pro obrovské množství druhů, které se od sebe mohou velmi podstatně lišit. Autoři studie z roku 1975 Lynch a Shapiro zkoumali nádrž Pleasant z hlediska predace, obohacení živinami a struktury fytoplanktonních společenstev. Z výsledků studie vyplývá, že po dodání planktivorních ryb došlo k odstranění velkých herbivorů, celková biomasa fytoplanktonu vzrostla. Zvláštní druhem je *Aphanizomenon flos-aquae*, jedná se o vláknitou Cyanobakterii dosahující maximální hustoty v přítomnosti velkých zástupců rodu *Daphnia*, vytváří velké nikým „nespásané“ kolonie. Populace rodu *Daphnia* vyfiltrují malé řasy, odstraní tak kompetitora rodu *Aphanizomenon*, který obsadí nádrž. Důvodem proč kolonie rodu *Aphanizomenon* narostou do obřích rozměrů a stanou se „nespásatelnými“ může být charakter nádrže. V nádržích s dostatečně prokysličenou vodou až ke dnu nachází *Aphanizomenon* útočiště, před tím než se dostane do vodního sloupce vytvoří velké kolonie. V anoxických nádržích a též ve vodě, kde je vodní sloupec oddělený od sedimentu se jeho kolonie těchto rozměrů neobjevily. Strategií, které využívají řasy k přežití je mnoho, zdaleka

ne všechny jsou důkladně prozkoumané. V této studii byl též zkoumán vliv přidání fosforu a dusíku, nebyla zjištěna žádná kvantitativní změna v celkové biomase fytoplanktonu, i v přítomnosti či absenci ryb, změny byly pozorovány ve složení společenstev, po přidání živin některé druhy vymizely, vliv živin na společenstva je zde chápán ne jednotlivě, ale jako součást komplexu interakcí, které fungují ve vodní nádrži (Lynch & Shapiro 1981).

V souvislosti s aktuálním problémem globálního oteplování, vyvstává otázka, jakým způsobem a do jaké míry bude oteplováním ovlivněn fytoplankton. Strecker et al. (2004) se ve své studii zabývá vlivem oteplování na fytoplanktonní a zooplanktonní společenstva v důsledku skleníkového efektu v alpínských jezerech bez rybí obsádky. Dle jejich hypotézy mělo oteplování potlačit velké konzumenty (např. Cladocera, Copepoda) a stimulovat rychlý růst mikroorganismů (např. rostlinní bičíkovci, vířníci) a tudíž, že se pozmění struktura společenstev a celkové množství zooplanktonu a fytoplanktonu. Na konci studie bylo zjištěno, že oteplování signifikantně potlačilo celkovou biomasu zooplanktonu, pokles se týkal hlavně druhu *Daphnia pulex*, zatímco biomasa vířníků vzrostla. Zajímavé je, že oteplování nemělo vliv na celkovou biomasu fytoplanktonu, ale signifikantně bylo pozměněno složení společenstev, zvýhodněni byly bičíkovci (např. *Mallomonas* sp., *Synura* sp., *Trachelomonas* sp.). Oteplování nezpůsobilo signifikantní nárůst koncentrací dusíku a fosforu. Tato studie podpořila názor vědců, že mírné oteplování může destabilizovat fytoplanktonní dynamiku a tím ovlivnit vyšší trofické úrovně (Strecker et al. 2004).

2.3. Sezónnost

Druhové složení fytoplanktonu se během roku mění, ve vodním tělese dochází k sukcesi (někdy je vzhledem ke krátkým generačním dobám používán termín periodicita) (Sommer et al 1986, Boven et. al. 2008). Za nejdůležitější faktory ovlivňující periodicitu fytoplanktonních společenstev jsou považovány: teplota, světlo, dostupnost živin a faktor mortality (vyžírání a parazitizmus). Je obtížné tyto procesy zobecnit, protože se v jednotlivých vodních nádržích značně liší (Sommer et al 1986). Ale obecně se dá říci, že platí:

- sezónní změny ve fytoplanktonních populacích jsou si rok od roku podobné
- sezónní změny ve velikosti biomasy jsou patrné hlavně v temperátních a polárních oblastech, málo patrné jsou v tropických oblastech
- maximální a minimální počty a biomasa fytoplanktonu se často neshodují s hodnotami primární produkce (Wetzel 2001)

Během roku je patrná sezónnost v osídlení tůní fytoplanktonními společenstvy. Roční sukcese řas byla pozorována například v jezeře Pamvotis v Řecku. Na jaře zde dominovaly zelené řasy a rozsivky, na počátku léta převládly Chlorophyta, v pozdním létě je vystřídaly sinice, na podzim a v zimě měly převahu rozsivky. Zdrojem sezónnosti je zřejmě odlišná dostupnost dusíku a fosforu, v závislosti na vyčerpání dusíku začínají sinice svůj sezónní růst v jezeře Pamvotis, naopak dostupnost fosforu v této době roste. V době jara a zimy je koncentrace dusíku vysoká, sinice jsou organismy fixující vzdušný dusík, v této době to ale pro ně není výhodou a jejich relativní zastoupení zůstává nízké. Při zkoumání ročního cyklu rozsivek, byl zjištěn celkem stabilní trend se dvěma hlavními vrcholy: jedním brzy na jaře a druhým na podzim. V květnu naopak populace rozsivek rapidně poklesly (Kagalou et al. 2001). Vliv různých faktorů na sezonní výskyt fytoplanktonu se výrazně liší, za nejdůležitější jsou považovány fyzikální faktory a chemické faktory (teplota, obsah živin, atd.), vliv biotických faktorů (grazing - spásání) je méně důležitý (Reynolds 1984). Sezonní sukcese v jezeře Pamvotis je poměrně komplikovaná, podobně jako v mnoha mělkých produktivních jezerech. V dočasných tůních se též koncentrace živin během roku mění a ovlivňuje tak růst řas, nejvyšší koncentrace řas byly zjištěny v pozdním sukcesním stádiu středně dlouhé a dlouhé hydroperiody tůní. V tůních s delší dobou zaplavení, měly řasy na rozvoj více času a těžily z vysokých letních teplot, obojí zmiňované (délka hydroperiody a teplota) bylo pro rozvoj řas velmi důležité. Růst řas ovlivňují do jisté míry i makrofyta, která podporují průzračnost vody tím, že stabilizují materiál na dně, mění světelné podmínky v tůni a snižují dostupnost živin pro řasy (Boven et. al. 2008). V ochranné nádrži Sardis na řece Mississippi v USA byly zkoumány časové a prostorové výkyvy ve struktuře planktonních společenstev ve vztahu k fyzikálně-chemickým podmínkám, době zdržení vody v nádrži, umístění v nádrži, koncentraci živin, teplotě a světelným podmínkám, vzorky byly odebírány ze šesti odlišných stanovišť po dobu čtrnácti měsíců. V době krátkého zdržení vody v nádrži (tudíž v době většího průtoku a vyššího stavu vody) byly měřena biomasa, složení a produkce homogenní pro fytoplanktonní společenstva v celé nádrži. S postupným prodlužováním doby zdržení od jara do léta homogenita nádrže klesá. Během delší doby zdržení se postupně vytvořily rozdíly mezi jednotlivými částmi nádrže. V místě, kde nádrž začíná, které se vyznačovalo mělkým dnem a velkou turbiditou tvořily velkou část celkové fytoplanktonní biomasy rozsivky a zelené řasy, zatímco sinice tvořily velkou část společenstva v hlubších lokalitách s nižší turbiditou blíže k výtoku nádrže. Sezonní sukcesi fytoplanktonních společenstev reprezentoval vysoký výskyt rozsivek na jaře, narůstající biomasa sinic během léta a druhotný nárůst biomasy rozsivek na podzim. Mezi první

kolonizátory na počátku sezóny patřily například druhy: *Cyclotella* sp., *Asterionella* sp., *Nitzschia* sp. a *Ankistrodesmus* sp., dále je následovala *Aulacoseira* sp, zatímco *Staurastrum* sp. a *Tetraedron* sp. se objevily později během jara. Během doby vzorkování se objevily *Synedra* sp., *Crucigenia* sp., *Selenastrum* sp., *Scenedesmus* sp. a *Merismopedia* sp. V době pokročilejšího jara začíná biomasa rozsivek klesat, biomasa skrytěnek roste, dříve než budou dominovat druhy *Pseudanabaena* sp. v létě. Byl zde též prokázán trend k vytváření prostorového gradientu ve fytoplanktonní biomase, který má tendenci narůstat od stanovišť blízko hráze ke stanovištím vzdálenějším s říčním charakterem. Největší prostorové výkyvy v biomase byly obzvláště v létě, prokazatelně odlišné od ostatních byly stanoviště 1 a 6 po celou dobu pozorování. Největší průměrné hodnoty biomasy za sezónu byly zjištěny na stanovišti 4 (v zátoce nádrže). Z výsledků studie plyne, že stanoviště položená blíže řeky měla vyšší hodnoty průměrné sezónní produkce než stanoviště u hráze, ale tyto rozdíly nebyly vždy statisticky signifikantní. Výše zmiňovaná stanoviště 1 a 6 jsou velmi zajímavá tím, že jsou od sebe dosti vzdálená, stanoviště 1 se nachází u hráze nádrže, zatímco stanoviště 6 je na druhém konci nádrže v místě, kam ústí několik přítoků, přesto byly ve vzorcích z těchto stanovišť nalezeny podobné druhy ze skupin zelených řas, rozsivek i sinic. V době letní stratifikace se ale tato stanoviště lišila množstvím biomasy jednotlivých skupin – u hráze (stanoviště 1) dosáhla biomasa sinic maximálních hodnot, kdežto na stanovišti 6 byla naměřena velká hodnota biomasy zelených řas a rozsivek. (Sthapit et. al. 2008).

Vývoj sezónní sukcese v jezeře Sardis je zvláštní svou podobností s temperátními mesotrofními jezery, a to jako prostorové rozdíly při letní stratifikaci nádrže. Během léta dochází k tomu, že místa nádrže ležící výš od hráze jsou více kalná, zviřená, mnohem více přicházejí do kontaktu se sedimentem, díky tomu jsou též bohatší na živiny, naproti tomu místa blíže ke hrázi jsou relativně čistší, stratifikovaná, ochuzená na živiny. Výše popisovaná místa, representují typické podmínky v temperátním jezeře na jaře a v létě. Fytoplankton reaguje na tyto specifické podmínky též specificky - napodobuje v těchto oblastech jarní a letní společenstva (Sthapit et al. 2008)

Studium fytoplanktonních populací a jejich sezónní dynamiky se ukázalo být velmi efektivní na menších vodních tělesech, která poskytují různé ekologické podmínky a více druhů než velká a v podstatě velmi podobná jezera. (Litter & Graffius 1974). Proto se Litter & Graffius (1974) rozhodli pro studium malé nádrže Penrod (spíše podobné tůni), která leží ve státě Ohio, v minulosti toto území nebylo zaledněno a po dobu dvanácti měsíců jej podrobili intenzivnímu zkoumání od října 1964 do října 1965. Identifikovali devadesát taxonů ze skupin: Chlorophyta, sinice, krásnoočka a zlativky. Na konci listopadu 1964 se začalo

s vypouštěním nádrže a v zimě téhož roku byly odstraněny ryby. K opětovnému plnění nádrže došlo v březnu následujícího roku, na konci studie v říjnu již byla nádrž více jak z poloviny plná. Z pozorování je patrné, že postupné vysoušení nemělo žádný výrazný vliv na fytoplanktonní společenstva. Z hlediska celkového počtu taxonů byly nejchudší odběry během prosince 1965 a ledna 1965 (7 taxonů), nejbohatší během srpna 1965 (65 taxonů). Většinou dominovaly zelené řasy (během července roku 1965 tvořily 86 % fytoplanktonu), výjimkou jsou odběry během října a listopadu 1964, kdy dominovaly sinice. Během podzimu roku 1964 tvořily sinice celých 81 % fytoplanktonu. Struktura fytoplanktonního společenstva nádrže byla do jisté míry periodická, s jistou měrou prediktability. Populace se střídaly rychle, druhy které se objevily v relativně velkých počtech v daných periodách, dominovaly v celé periodě. Otázkou je, do jaké míry ovlivnilo klima společenstva nádrže Penrod v této studii. Položíme-li si otázku, zda zjištěné informace o fytoplanktonních společenstvech mají obecnou platnost nebo zda platí pouze pro oblast státu Ohio, či dokonce jen pro nádrž Penrod. Při srovnání s dalšími studiemi je patrné, že klíčové informace si neodporují a studovanou nádrž Penrod můžeme brát jako obecný model pro tůňe a jezera. Bylo zjištěno, že sezónní změny, teplota, pH a celková alkalinita ovlivňují fytoplanktonní společenstva. Například zlativky preferují nízkou teplotu, pH a celkovou alkalinitu, kdežto zelené řasy preferovaly spíše vyšší teploty (Litter & Graffius 1974). Tato studie se též liší v názoru na sezónní výkyvy v relativním zastoupení ve fytoplanktonu. V limnologických příručkách jsou klasicky popisovány dva pulsy, kdy dominují určitá společenstva, na rozdíl od toho byly objeveny v nádrži Penrod tři pulsy: podzimní, jarní (neočekávaný) a letní (největší). Ukázalo se že, podzimní a letní pulsy byly spojené s pH větším než devět. Po dobu zkoumání byla nádrž mělká (cca 2 m) a kromě zimy byla často míchaná, v zimě byla pokryta ledem a hloubka byla jen cca 0,5 m. Pulsy fytoplanktonu jsou silně korelované s množstvím dodané sluneční energie a teplotními maximy v letních měsících. Byly též zjištěny sezónní fluktuace v počtu druhů, povrchové teplotě, pH a celkové alkalinitě, nejvyšší hodnoty byly zaznamenány během léta a nejnižší během zimy. Na charakter nádrže měla vliv i její mělkost, živiny byly relativně nejvíce dostupné ve eufotické zóně, což ve spojení se sluneční energií a teplotou v létě mělo za následek vznik letního pulsu. Cykly fytoplanktonu jsou ovlivněny kombinacemi mnoha faktorů, proto nenajdeme dvě v detailu identické tůňe, v těchto malých habitatech hraje i velkou roli náhoda. Na vývoj v tůňi mohou mít vliv i takové faktory jako: zatažená obloha nebo déšť (Litter & Graffius 1974).

Velmi zajímavá je maďarská studie, zabývající se sezónní dynamikou z hlediska kvality vody a vegetačního pokryvu v dočasných tůňích v národním parku Kiskunság. Od

předešlých studií se liší hlavně tím, že zde nezkušují jen jednu tůň či nádrž, ale současně třicet-šest tůň sdružených do tří skupin. Tůňe byly do skupin rozděleny dle geografie s hydro periodou v rozmezí od sedmi do osmnácti a výše týdnů. Okolí první skupiny (I.) tvořily mokré louky mimo národní park podél silnice, druhá skupina (II.) již ležela v národním parku s alkalickými jezery v blízkosti vesnice, třetí skupina (III.) je též částí národní rezervace obklopená bažinami a lesy. Maďarské kontinentální klima je typické studenými zimami a horkými suchými léty, je zde mnoho dočasných tůň plnicích se brzy na jaře (březen-duben) táním sněhu. V závislosti na morfologii a počasí vysychají na jaře (duben-červen) nebo v létě (červenec-srpen). Pozorování tůň začalo dva týdny po zaplavení (v březnu) a trvalo do července téhož roku, kdy byla většina tůň vyschlá. Pro dané skupiny tůň lišící se ve velikosti a hydro periodě (dlouhé, střední a krátké) byla měřena maximální hloubka kalibrační tyčí, průhlednost vody byla měřena Snellerovou trubicí, namísto Secchiho desky, která se využívá pro větší hloubky. Dále bylo zjišťováno pH, živiny, alkalinita, konduktivita, biomasa řas a vegetační pokryv. Ve sledované sezóně vzrostla koncentrace živin a konduktivita ve všech tůňích, kyslík nebyl vyčerpán ani na konci sezóny, saturace kyslíkem se běžně pohybovala mezi 50 % až 150 %, v extrémních případech mezi 31 % až 236 %. Voda v tůňích měla velkou pufrací kapacitu, což zřejmě způsobilo téměř konstantní pH po celou dobu studie. Průměrná hodnota pH byla 8,4 s rozsahem od 7,3 do 9,7. Průhlednost vody jednotlivých tůň se podstatně lišila, nejnižší pozorovaná průhlednost byla v hloubce 6 cm (u skupiny II) a nejvyšší pozorovaná průhlednost byla v hloubce 49 cm (u skupiny I). Koncentrace chlorofylu *a* se pohybovala v rozmezí od 1,4 $\mu\text{g l}^{-1}$ do 604 $\mu\text{g l}^{-1}$. Byla zde signifikantní interakce mezi časem a typem hydro periody. U tůň s dlouhou nebo střední hydroperiodou byly naměřeny vyšší koncentrace chlorofylu *a* v pozdním stupni sukcese, opakovaná měření ukázala, že v tůňích s krátkou hydro periodou se koncentrace chlorofylu *a* nemění. Nárůst koncentrace živin během sezóny poskytl ideální podmínky pro růst řas. Koncentrace řas byly největší v pozdním stupni sukcese u tůň se středně dlouhou a dlouhou periodou. U tůň s delší dobou zaplavení měly řasy více času na růst a rozvoj, využily vyšší letní teploty, vliv na růst řas měly též délka hydro periody a sezónní vlivy. Vliv na rozvoj řas měla též makrofyta v tůňi, vegetace podporuje průhlednost vody hlavně tím, že stabilizuje materiál na dně a snižuje dostupnost živin pro řasy (Joniak et al. 2007, Boven et al. 2008)

2.4. Experimentální tůně

Experimentální tůně jsou dnes využívány ke studiu různých biologických aspektů (Kasai & Hanayato 1995). Velmi dobře se v nich dají zkoumat potravní sítě, obecné principy v ekologii populací a společenstev (Wilbur 1997), planktonní společenstva (Higgins et al. 2007), fluktuace teploty vody během dne (Jacobs et al. 2008), osidlování vodního tělesa fytoplanktonem a sezónní sukcese (Rosenzweig & Buikema 1994). Experimentální tůně mají velkou výhodu oproti velkým přírodním nádržím v tom, že jednotlivá společenstva se zde dají zkoumat odděleně, dají se v nich napodobovat přírodní podmínky a modelovat nejrůznější ekologické vlivy (Park et. al 2008), experimenty můžeme provádět opakovaně, v několika tůních najednou, můžeme zasahovat do parametrů tůně (Wilbur 1997). Experimentální tůně mají dočasný charakter, jsou v podstatě dvojího druhu - přírodní a umělé.

Přírodní experimentální tůně:

Jedná se o speciální případ tůní, které vznikly přírodními procesy, mohou se značně lišit ve své velikosti, objem mívají od několika desítek mililitrů po desítky litrů, rozloha bývá v širokém rozmezí od metrů čtverečních do kilometrů čtverečních u těch největších. Nevýhodou těchto tůní je silný vliv prostředí, experiment se zde tedy nedá plně řídit. Mezi přírodní experimentální tůně patří různé močály (Wilbur 1997), mělké tůně v okolí řek, komerční experimentální tůně (Cremen et al. 2007), mrtvá ramena řek (Pithart et al. 2007) a průsakové tůně (Sand-Jensen & Staehr 2007).

Umělé experimentální tůně:

Stále více jsou dnes využívány umělé tůně pro různé typy experimentů (Jacobs et. al. 2008). Stejně jako přírodní nádrže mají mnohé výhody, ale i nevýhody. Mezi jejich výhody patří cenová dostupnost, experiment se tedy může odehrávat ve více nádržích i opakovaně, po dobu experimentu je přesně dána morfologie tůně, je možná izolace tůně, aby zde byly jen „žádoucí“ organismy. Tyto umělé nádrže celkem úspěšně napodobují přírodní nádrže. Velkou výhodou je, že můžeme pozorovat přírodní procesy jako je kolonizace a sukcese ve všech jejich stádiích. Na druhou stranu hlavní nevýhodou je, že většina nádrží postrádá litorální zónu a členitost dna. V přírodě působí v nádrži různé faktory současně, což je obtížné simulovat (Wilbur 1997). Mezi umělé experimentální tůně se řadí též tůně a vodní nádrže, které sice vytvořil člověk, morfologické parametry jsou známé, často mívají větší rozlohu

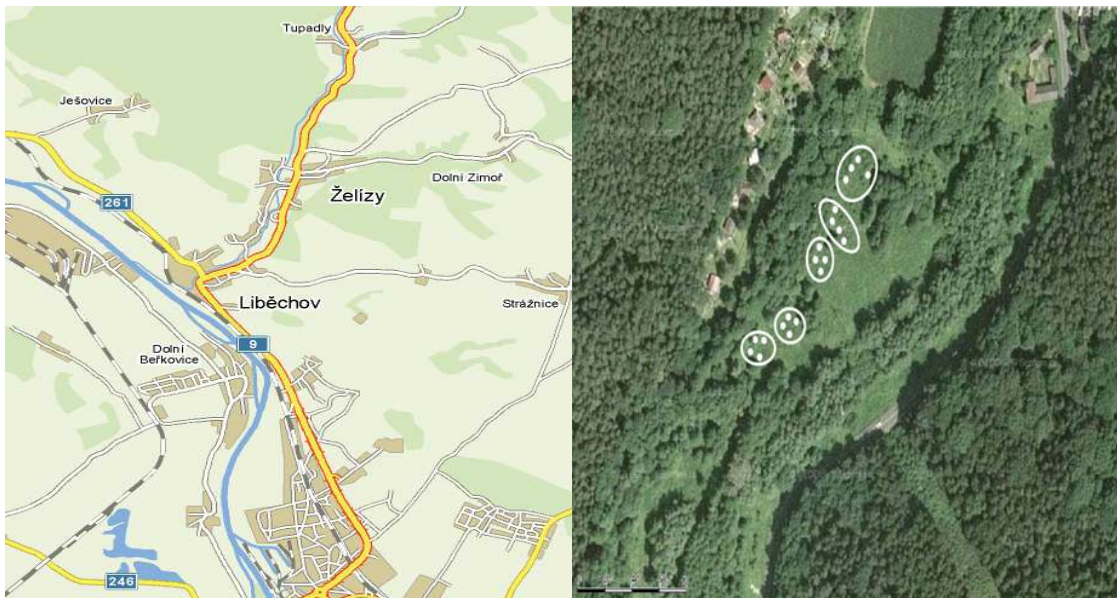
(desítky hektarů), ale do jisté míry je jejich hydrologický režim řízený přírodními procesy (Dejenie et al 2008).

Kolonizace neboli osidlování nového prostředí druhem či druhy, které se zde předtím nevyskytovaly je zkoumána převážně u zooplanktonu, na fytoplanktonu bylo zatím provedeno jen několik studií a informací o této problematice je zatím malé množství. Podobně je tomu s informacemi o fenoménu zvaném priority effect (Hoverman et al. 2008), kdy úspěšná kolonizace určitým druhem záleží na tom, jaký druh danou lokalitu obsadí jako první.

3. Materiál a metody

3.1. Popis lokality

Sledované experimentální tůně leží na Kokořínsku, tato oblast je od roku 1976 vyhlášena chráněnou krajinnou oblastí o celkové rozloze 272 km², krajina je pahorkatinného typu, podloží tvoří z velké části pískovce, které jsou často překryty nivními sedimenty, jako je tomu poblíž obce Tupadly (www.kokorinsko.ochranaprirody.cz), kde se nacházejí sledované tůně, jejich přesná poloha dle GPS je (N 50° 26' 14,5'', E 14° 28' 17,5''). Údolí potoka Liběchovky, kde leží Tupadly (Obr. 1), je typické vlhkými loukami, mokřadními společenstvy a vodními tůněmi. Tato oblast je typická poměrně nízkou migrační aktivitou ptáků, ale působí zde jiné faktory významné z hlediska šíření organismů (lesní zvěř, jarní zátopy).



Obr. 1. Mapa lokality.

Obr. 2. Umístění experimentálních tůní

Celkově se jedná o pět skupin po čtyřech nově vytvořených experimentálních tůních (označených A1–E4), poloha jednotlivých skupin je zřejmá z Obr. 2. Morfologie tůní je podobná, hloubka je cca 1,5 m (předpokládaná maximální hloubka vody je 1 m), plocha je 5 x 5 m a plocha dna je 2 x 2 m (Obr. 3). Předpokládalo se, že tůně budou mít periodický charakter a že budou zaplavované od zimy do léta. Tůně byly vytvořeny v roce 2006, ale po krátkých obdobích, kdy se opakovaně plnily vodou a opět vysychaly, bylo nutné přistoupit k jejich umělému napouštění. První napouštění těchto tůní proběhlo v květnu 2007 do výšky 70 cm filtrovanou vodou z potoka Liběchovky, po problémech s udržení vody v tůních byly v červnu 2007 na dno tůní umístěny folie. V červenci téhož roku proběhla inokulace tůní

druhem *Daphnia curvirostris*. V rámci jedné skupiny (= 4 tůň), se vždy inokulovalo tímto způsobem: 500 jedinců jednoho klonu, 500 jedinců deseti klonů (po 50 jedincích z jednoho klonu) a zbylé dvě tůň ve skupině zůstaly prázdné.



Obr. 3. Experimentální tůň (foto: Jiří Hotový)

3.2. Odběr a zpracování vzorků

První vzorky z tůň byly odebrány 29. listopadu 2006, poté se tůň střídavě plnily vodou a opět vysychaly, pravidelné odběry vzorků po třech týdnech byly tedy prováděny až od 31. července 2007. Vzorky byly fixovány Lugolovým roztokem a uchovány v plastových lahvích na chladném a temném místě až do doby zpracování. Během odběrů byla ve všech tůňích měřena teplota, konduktivita, koncentrace kyslíku a pH pomocí multisondy YSI a koncentrace chlorofylu *a* pomocí terénního fluorimetru Turner. Vzhledem k malé hloubce tůň byla průhlednost měřena pomocí Snellerovy trubice. Kvalitativně a semikvantitativně jsem zpracovala fytoplankton dvaceti vzorků z odběru 11. září. 2007. Používala jsem světelný mikroskop Nikon Eclipse a k určování jednotlivých druhů fytoplanktonu ve fixovaných vzorcích jsem použila příručky Hindák (1978), Popovský & Pfeister (1990), Starmach (1985), Kalina & Váňa (2005). Počet nalezených taxonů v jednotlivých tůňích jsem vyjádřila v relativních počtech na stupnici 0–3.

3.3. Analýza dat

Pro analýzu 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 a unimodální metody (DCA, CCA) pro analýzu druhových dat. Faktory prostředí byly testovány Monte-Carlo permutačními testy a postupným výběrem (forward selection) byly získány statisticky průkazné proměnné vysvětlující rozdíly v druhovém složení fytoplanktonu (na hladině významnosti $p=0,05$).

4. Výsledky

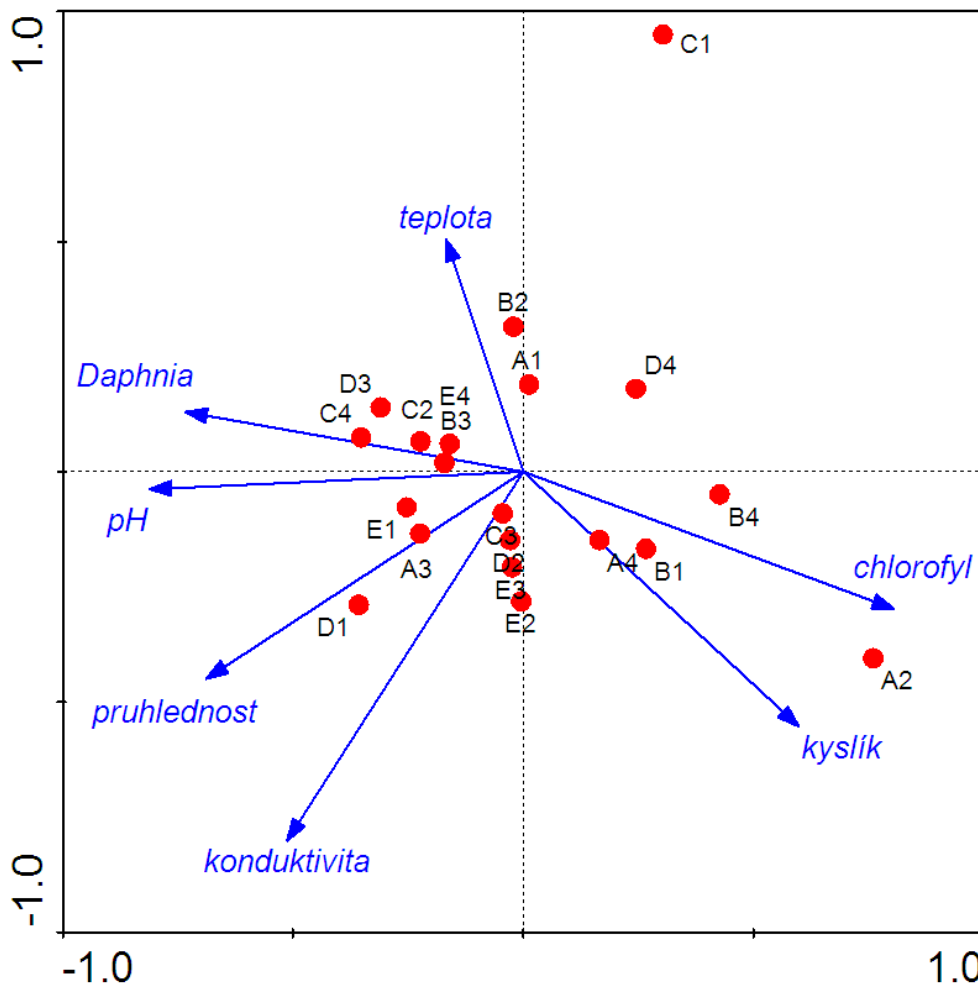
Dne 11. září 2007 byly odebrány vzorky ze všech dvaceti experimentálních tůní na Kokořínsku (A1–E4). Tůně byly tedy krátce po napuštění, které proběhlo v dubnu 2007.

Celkem bylo ve všech tůních změřeno šest faktorů prostředí (teplota, konduktivita, kyslík, pH, průhlednost a koncentrace chlorofylu *a*), jejichž hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1, kde je též znázorněno schéma inokulace druhem *Daphnia curvirostris*, které proběhlo červenci 2007.

Tab. 1. Abiotické faktory a koncentrace chlorofylu *a* v tůních (11. září 2007) + schéma inokulace tůní druhem *Daphnia curvirostris* v červenci 2007

TŮŇ	teplota [°C]	konduktivita [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	kyslík [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	pH	průhlednost [cm]	<i>Daphnia</i>	chlorofyl <i>a</i> [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]
A1	14.2	266	8.9	7.20	24	1	18.2
A2	13.0	275	13.6	6.91	19	0	110.1
A3	14.0	283	9.4	7.36	41	1	16.4
A4	13.8	262	12.2	7.30	30	0	22.7
B1	13.5	289	11.7	7.13	25	0	28.6
B2	13.1	222	5.8	7.48	20	1	26.6
B3	13.2	290	6.6	7.31	31	1	12.5
B4	13.9	254	12.5	7.05	21	0	43.3
C1	14.9	83	4.9	7.13	16	0	22.1
C2	14.4	317	7.4	7.65	28	0	27.4
C3	14.8	339	8.2	7.06	37	1	14.2
C4	15.0	323	8.2	7.76	32	1	12.7
D1	13.6	392	8.1	7.62	34	1	11.7
D2	13.7	343	8.0	7.31	30	0	15.4
D3	14.9	309	7.9	7.70	30	1	11.6
D4	14.6	245	10.2	7.31	21	0	33.9
E1	13.7	332	8.6	7.61	29	1	9.3
E2	12.8	355	7.4	7.62	26	0	39.6
E3	12.8	320	8.0	7.56	28	0	22.4
E4	12.8	296	5.5	7.41	26	1	16.3

Vzájemný vztah parametrů prostředí zjištěný nepřímou gradientovou analýzou (PCA) je zobrazen v Obr. 4. První čtyři osy vysvětlují 88,1 % celkové variability souboru. Zřejmá je pozitivní korelace mezi průhledností, pH a inokulací perloočkami, dále mezi koncentrací kyslíku a chlorofylu *a*. Silná negativní korelace je naopak patrná u vztahu koncentrace chlorofylu a inokulací perloočkami.



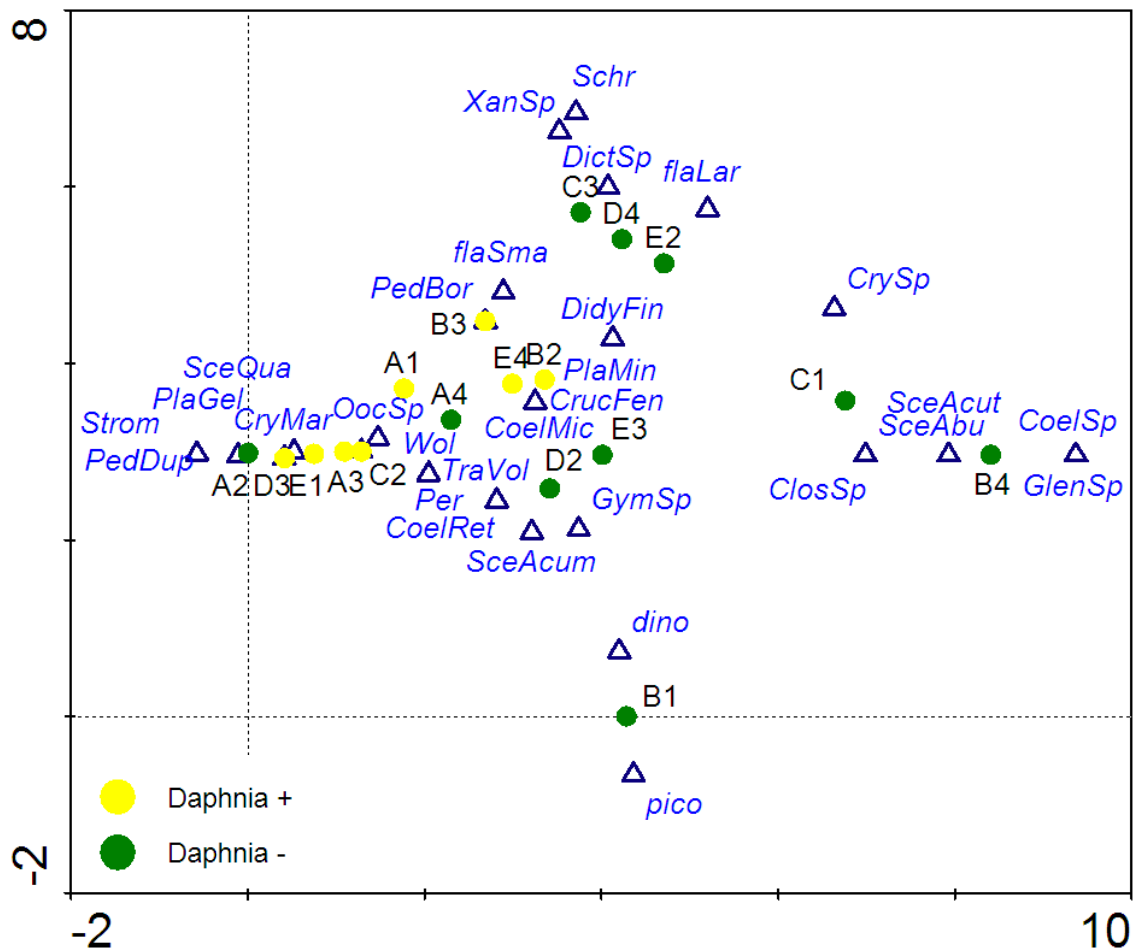
Obr. 4. Nepřímá gradientová analýza (PCA) proměnných prostředí s vyznačenými kódy tůní.

Ve 20 zpracovaných vzorcích bylo nalezeno celkem 26 taxonů, zaznamenávána byla i případná přítomnost nálevníků a neživých partikulí. Počet nalezených taxonů fytoplanktonu v jednotlivých tůních se pohyboval v rozmezí 0–6. Úplný seznam včetně jejich relativního zastoupení ve vzorcích je uveden v Tab. 2. Největší počet taxonů byl zaznamenán v tůních A1, A4, B2 a C1, nejmenší počet taxonů byl zaznamenán v tůních B1, C2, C4, D1 a D3. Nízké počty taxonů byly často doprovázeny výraznou dominancí některého z taxonů.

Kromě taxonů determinovaných na úroveň druhu či rodu, jsem ve většině tůní našla drobný plankton (podrobněji v Tab. 2). Jednalo se o ovály $1,5 \times 0,7 \mu\text{m}$, ve fázovém kontrastu byly tmavě modré, některé měly zřetelný bičík; bez tvaré buňky, Lugolem se nebarvily; drobné buňky, délka $4,4 \times 4,1 \mu\text{m}$, sytě hnědě zbarvené (obsahovaly škrob); HNF; oválné buňky plné škrobu, na nich byly přisedlé bakterie, řetízkovité tyčinky, i volně; hojný autotrofní pikoplankton - oválné buňky a dvojbuňky snad pikosinice). Skupinu „drobný plankton“ jsem si zvolila jako sběrnou skupinu pro blíže neurčený piko- a nanoplankton.

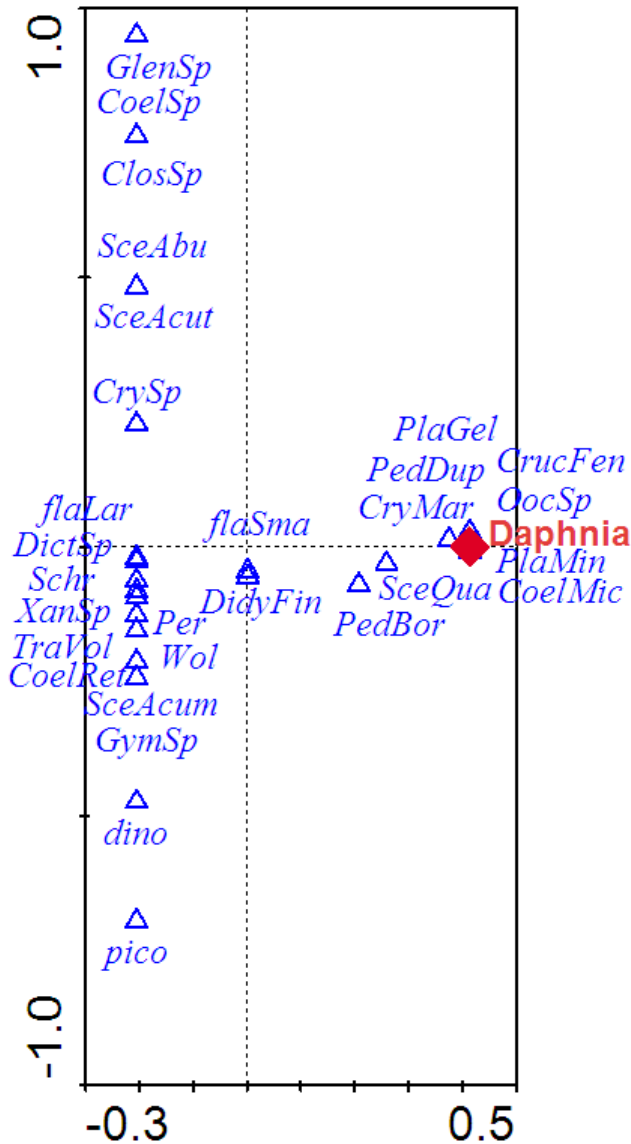
Tab.2. Seznam taxonů nalezených v jednotlivých tůních a jejich relativní početnosti. (0-nevyskytuje se; 1-ojediněle; 2-hojně; 3-převažuje).

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4
DINOPHYTA																				
<i>Peridinium</i> sp. (PerSp)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Glenodinium</i> sp. (GlenSp)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnodinium</i> sp. (GymSp)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0
<i>Woloszynskia</i> sp.(WolSp)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dinophyceae g. sp.(dino)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
CRYPTOPHYTA																				
<i>Cryptomonas marsonii</i> (CryMar)	3	1	3	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2
<i>Cryptomonas</i> sp. (CrySp)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Plagioselmis minuta</i> (Pla min)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHLOROPHYTA																				
cf. <i>Closteriopsis</i> sp. (ClosSp)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coelastrum</i> sp. (CoelSp)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coelastrum microporum</i> (CoelMic)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coelastrum reticulatum</i> (CoelRet)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Crucigenia fenestrata</i> (CrucFen)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dictyosphaerium</i> sp. (DictSp)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	2	1	0
<i>Didymocystis fina</i> (DidyFin)	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	1	0	0	1	0	3	0	3	3	3
<i>Oocystis</i> sp. (OocSp)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pediastrum boryanum</i> (PedBor)	1	0	0	1	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pediastrum duplex</i> (PedDup)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i> (PlaGel)	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scenedesmus acutus</i> (SceAcut)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (SceAcum)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
<i>Scenedesmus abundans</i> (Sce Abu)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Sce Qua)	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Schroederia</i> sp. (Schr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
EUGLENOPHYTA																				
<i>Trachelomonas volvocina</i> (TraVol)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Strombidium</i> sp.+Ciliata (Strom)	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	3	0
drobný plankton (pico)	3	3	0	3	3	0	1	3	3	0	1	0	0	0	3	3	0	3	2	0



Obr. 5. Nepřímá gradientová analýza (DCA) proměnných taxonů fytoplanktonu s vyznačením kódů tůní.

Vzájemný vztah výskytu jednotlivých taxonů v tůních zjištěný nepřímou gradientovou analýzou (DCA) je zobrazen v Obr. 5. První dvě osy vysvětlují 22,2 % celkové variability souboru, první čtyři osy vysvětlují 28,8 %. Silná korelace je pozorovatelná u druhů *Coelastrum reticulatum*, *Trachelomonas volvocina* a rodu *Perdinium*, dále u nálevníků a *Didymocystis fina* či *Oocystis* a *Pediastrum duplex*. Naopak málokdy se společně vyskytují z běžných taxonů například *Scenedesmus abundans* a *Cryptomonas marsonii*; *Scenedesmus quadricauda* a rody *Gymnodinium* či *Schröderia* a *Oocystis*. Již z této analýzy jsou patrné rozdíly ve složení fytoplanktonu v tůních, které byly a které nebyly inokulovány druhem *Daphnia curvirostris*.



Obr. 6. Přímá gradientová analýza (CCA). Znázorněn je pouze vliv inokulace druhem *Daphnia curvirostris* (jediná proměnná se statisticky průkazným vlivem na druhová data na hladině $p=0,05$).

Přímou gradientovou analýzou (CCA) jsem dále zjišťovala, jak je variabilita druhových dat ovlivněna sledovanými faktory prostředí (Obr. 6.). Statistická průkaznost jednotlivých proměnných byla testována na hladině významnosti $p=0,05$. Postupným výběrem (forward selection) byla ze všech měřených abiotických i biotických parametrů prostředí vybrána pouze inokulace druhem *Daphnia curvirostris* jako proměnná se signifikantním vlivem na druhové složení fytoplanktonu tůní. Zadáním tohoto parametru do analýzy jsem vysvětlila 8,8 % variability druhových dat.

5. Diskuse

Experimentální tůně se využívají ke výzkumu ekologie společenstev přibližně od 80. let minulého století, a to převážně ke studiu zooplanktonu, vodních makrofyt, vodních živočichů či ke studiu potravních sítí (Wilbur 1997). Společenstva fytoplanktonu byla dosud zkoumána jen okrajově a není pro ně tedy z podmínek experimentálních tůní dostatečné množství dat, proto je velmi obtížné porovnat výsledky analýz z odběru ze září 2007 z tůní na Kokořínsku s jinými studii. Další překážkou pro srovnávání je i délka doby, po kterou jsou tůně napuštěné. Tůně, které jsou napuštěné alespoň rok, jsou v o mnoho pokročilejším stadiu sukcese než ty, které jsou napuštěny pouze krátkou dobu. Nejbliže mnou řešené problematice je studie zabývající se kolonizací a sezónní sukcesí fytoplanktonu v nových experimentálních tůních (Rosenzweig & Buikema 1994).

Zaznamenala jsem 26 taxonů fytoplanktonu, tůně C4 a D1 se jeví jako zcela bez fytoplanktonu (Tab. 2), což je v souladu s naměřenými parametry prostředí (Tab. 1) - koncentrace chlorofylu *a* jsou v těchto tůních velmi nízké, průhlednost vody měřená Snellerovou trubicí je poměrně vysoká a obě tůně byly též inokulovány perloočkami. Téměř bez fytoplanktonu jsou též tůně D3 a E1, ve které byla naměřena vůbec nejnižší hodnota koncentrace chlorofylu *a*.

Velký podíl neživých partikulí si vysvětluji tím, že tůně byly napuštěny velmi krátce a sukcese zde byla ještě ve velmi raných stádiích. Jako nejběžnější taxony vyskytující se ve větší míře v mnou zpracovávaných vzorcích jsem určila: *Cryptomonas marsonii*, *Didymocystis fina*, *Dictyosphaerium* sp., *Pediastrum boryanum* a *Scenedesmus quadricauda*, tedy většinou běžné druhy fytoplanktonu vyskytující se v různých typech prostředí. Dominantními taxonomickými skupinami v tůních byly: Cryptophyta a Chlorophyta, což souhlasí s výsledky studie (Rosenzweig & Buikema 1994) jen částečně, v této studii dominovaly: sinice, Chlorophyta (hlavně krásivky), Chrysophyceae (rod *Dinobryon*), Dinophyta a Bacillariophyta. Větší taxonomická bohatost je způsobena tím, že tůně byly analyzovány až rok po naplnění, neuplatňuje se v nich tolik vliv náhodných jevů, jako v tůních na Kokořínsku, kdy byla společenstva fytoplanktonu v jednotlivých tůních často velmi odlišná.

Statisticky průkazný je vliv filtrátorů z rodu *Daphnia* (Obr. 6), v inokulovaných tůních byla naměřena větší průhlednost vody a vyšší hodnoty pH než v tůních, které inokulované nebyly. Jako horní hranice velikosti částic, které je filtrující zooplankton schopen zpracovat, je dána hodnota kolem 40 μm (Reynolds 1984, Watson et. McCauley 1988). Přítomnost

herbivorního zooplanktonu je považována za hlavní faktor, který určuje relativní zastoupení nanoplanktonu a síťového planktonu (Watson et McCauley 1988). Z nepřímé gradientové analýzy (DCA) na Obr. 5 je patrné, že v inokulovaných tůních se vyskytovaly převážně velké druhy fytoplanktonu. Populace druhu, který jsou považován za preferenční zdroj potravy herbivorního zooplanktonu (např. *Cryptomonas* spp.) nebyly inokulací druhu *Daphnia curvirostris* ovlivněny. Tyto druhy jsou však charakteristické vysokými růstovými rychlostmi a mohou tedy ztráty vzniklé predčním tlakem do určité míry kompenzovat (Reynolds 1984).

6. Závěr

V experimentálních tůních na Kokořínsku jsem semikvantitativně zpracovala celkem 20 vzorků fytoplanktonu z 11. září 2007. Data o druhovém složení jsem porovnávala s naměřenými parametry prostředí. Výsledky přímé gradientové analýzy (CCA) prokázaly statisticky významný vliv inokulace druhem *Daphnia curvirostris*, která proběhla v polovině tůní v červenci 2007. Z výsledků dále vyplývá, že druhové složení společenstev fytoplanktonu ve sledovaných experimentálních tůních bylo zřejmě ovlivněno především krátkou dobou napuštění, působením náhodných či lokálních faktorů. Tyto závěry jsem učinila z malého datového souboru z jednoho z odběrů, proto je považuji za spíše orientační a předběžné, detailnějšímu studiu a zpracování většího množství vzorků z těchto tůní bych se chtěla věnovat v magisterském studiu. Moje bakalářská práce je tedy stručným shrnutím dosavadních poznatků o říčních a experimentálních tůních a poslouží jako podkladový materiál a metodická příprava pro budoucí magisterskou práci.

7. Přehled literatury

- ALLAN, J.D. (1995): Stream ecology. Structure and function of running waters. Chapman & Hall, London, UK, 400 p.
- 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(10): 893–901.
- 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(2): 401–410.
- BRETT, T.M. & GOLDMAN, R.C. (1996): A meta-analysis of the freshwater trophic cascade. *Ecology*, 93: 7723–7726.
- BOVO-SCOMPARIN, V., M. & TRAIN, T. (2008): Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplain lake of the Ivinhema River State Park, Brazil. *Hydrobiologia*, 610: 331–344.
- 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.
- COOPS, H., KERKUM, F.C.M., VAN DEN BERG, M.S. & van SPLUNDER, I. (2007): Submerged macrophyte vegetation and the European Water Framework Directive: assessment of status and trends in shallow, alkaline lakes in the Netherlands. *Hydrobiologia*, 584: 395–402.
- CREMEN, M.C.M., MARTINEZ-GOSS, M.R., CORRE V.L. & AZANZA, R.V. (2007): Phytoplankton bloom in commercial shrimp ponds using green-water technology. *Journal of Applied Phycology* 19(6): 615–624.
- DEJENIE, T., ASMELASH, T., DE MEESTER, L., MULUGETA, A., GEBREKIDAN, A., RISCH, S., PALS, A., VAN DEN GUCHT, K., VYVERMAN, W., NYSSSEN, J., DECKERS, J. & DECLERCK, S. (2008): Limnological and ecological characteristic of tropical highland reservoirs in Tigray, Northern Ethiopia. *Hydrobiologia*, 610: 193–209.
- HIGGINS, T., KENNY, T. & COLLERAN, E. (2007): Plankton communities of artificial lakes created on Irish cutaway peatlands. *Biology and Environment*, 107(2): 77–85.
- HINDÁK, F. (ed.) (1978): Sladkovodné riasy. SPN, Bratislava, 270 s.
- HOVERMAN, J.T. & RELYEA, R.A. (2008): Temporal environmental variation and phenotypic plasticity: a mechanism underlying priority effects. *Oikos*, 117(1): 23–32.
- IZAGUIRRE, I., O'FARRELL, I., UNREIN, F., SINISTRO, R., AFONSO, M.D. & TELL, G. (2004): Algal assemblages across a wetland, from a shallow lake to relictual oxbow lakes (Lower Paraná River, South America). *Hydrobiologia*, 511: 25–36.

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

JENSEN, S.K. & STAEHR, A.P. (2007): Scaling of Pelagic Metabolism to Size, Trophic and Forest Cover in Small Danish Lakes. *Ecosystems*, 10: 127–141.

JONIAK, T., KIPPEN, K.N. & NAGENGAST, B. (2007): The role of aquatic macrophytes in microhabitat transformation of physical-chemical features of small water bodies. *Hydrobiologia*, 584: 101–109.

KAGALOU, I., TSIMARAKIS, G. & PASCHOS, I. (2001): Water chemistry and biology in a shallow lake (lake Pamvotis - Greece). Present state and perspectives. *Global Nest*, 3(2): 85–94.

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

KASAI, F. & HANAYATO, T. (1995): Genetic changes in phytoplankton communities exposed to the herbicide simetryn in outdoor experimental ponds. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 28(2): 154–160.

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(5): 313–324.

LYNCH, M. & SHAPIRO, J. (1981): Predation, enrichment and phytoplankton community structure. *Limnology and Oceanography* 26(1): 86–102.

MILLER, M.C., ALEXANDER, V. & BARSDATE, R.J. (1978): The effects of oil spills on phytoplankton in arctic lake and ponds. *Arctic*, 31(3): 192–218.

MOSS, B. (2007): Shallow lakes, the water framework directive and life. What should it all be about? *Hydrobiologia*, 584: 381–394.

PAIDERE, J., GRUBERTS, D., ŠKUTE, A. & DRUVIETIS, I. (2007): Impact of two different flood pulses on planktonic communities of the largest floodplain lakes of the Daugava River (Latvia). *Hydrobiologia*, 592: 303–314.

PARK, R.A., CLOUGH, J.S. & WELLMAN, M.C. (2008): Aquatox: Modeling environmental fate and ecological effects in aquatic ecosystems. *Ecological modelling*, 213(1): 1–15.

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. (1984): The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge university Press, 300 p.
- REYNOLDS, C.S. (1996): Algae. In: Petts, G. & Calow, P. (eds.) River biota. Blackwell Sci., Oxford, 250 p.
- ROOZEN, F.C.J.M., PEETERS, E.T.H.M., ROIJACKERS, R., WYNGAERT, I.V.D., WOLTERS, H., DE CONINCK, H., IBELINGS, B., W, BUIJSE, A.D. & SCHEFFER, M. (2008): Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplainlake of the Ivinhema River State Park, Brazil. *Hydrobiologia*, 610: 331–344.
- ROSENZWEIG, M.S. & BUIKEMA, A.L. (1994): Phytoplankton colonization and seasonal succession in new experimental ponds. *Environmental Toxicology and Chemistry* 13(4): 599–605.
- SCHEFFER, M., HOSPER, S.H., MEIJER, M.L., MOSS, B. & JEPPESEN, E. (1993): Alternative equilibria in shallow lakes. *Tree* 8(8): 275–279.
- 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(1): 227–231.
- SCHEFFER, M. & VAN NES, H.E. (2007): Shallow lakes theory revised: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*, 584: 455–466.
- SOMMER, U., GLIWICZ, Z.M., LAMPERT, W. & DUNCAN, A. (1986): The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie* 106(4): 433–471.
- STARMACH, K. (1985): Chrysophyceae und Haptophyceae. *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (Band 1), Gustav Fischer Verlag, Jena, 500 p.
- 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(4): 1182–1190.
- ŠEJNOHOVÁ, L., ŠKALOUD, P., NEUSTUPA, J., NOVÁKOVÁ, S., ŘEZÁČOVÁ, M. & OŠLEJŠKOVÁ, L. (2003): Algae and cyanoprokariotic species from peat bogs, streams, ponds and aerial biotopes in the region of south Šumava Mts.. *Czech Phycology*, 3: 41–52.
- 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.

THOMAZ, M.S., BINI, M.L. & BOZELLI, L.R. (2007): Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia*, 579: 1–13.

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.

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. *Environ Monit Assess*, 133: 243–253.

WARD, D. & BLAUSTEIN, L. (1994): The overriding influence of flash floods on species-area curver in ephemeral Negev desert pools: A consideration of the value of island biogeography theory. *Journal of Biography*, 21(6): 595–603.

WEBER, C.F., BARON, S., MARINO, R., HOWARTH, R.W., TOMASKZ, G. & DAVIDSON, E.A. (2002): Nutrient limitation of phytoplankton growth in Vineyard sound And Oyster pond Falmouth, Massachusetts. *Biol. Bull.* 203: 261–263.

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.

WEN, Z. & SHUANG-LIN, D. (2003): The contribution of size-fractioned plankton to biomass and primary production of phytoplankton in saline-alkaline ponds: PartI: Sediment-water interaction, PartII: Salt Ecosystems Section. *Hydrobiologia*, 492(1-3): 181–190.

WETZEL, R.G. (2001): *Limnology, Lake and River Ecosystems*, third edition, Academic press, 290 s.

WILLBUR, H.M. & ALFORD, R.A. (1985): Priority effects in experimental pond communities: responses of *Hyla* to *Bufo* and *Rana*. *Ecology*, 66(4): 1106–1114.

WILBUR, M.H. (1997): Experimental ecology of food webs: complex systems in temporary ponds. *Ecology*, 78(8): 2279–2302.

www.kokorinsko.ochranaprirody.cz, Internetové stránky CHKO Kokořínsko, vyhledáno 4.8.2008.

ZANDER, A., BISHOP, G.A., PRENZLER, D.P. & RYDER S.D. (2007): Allochthonous DOC in floodplain rivers: identifying sources using solid phase microextraction with gas chromatography. *Aquat. Sci.* 69: 472–483.

ZENDLER, P.H. (2003): Vernal pools and the concept of 'isolated wetlands'. *Wetlands*, 23(3): 597–607.