

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta



Bakalářská práce

**Vliv povodní a extrémních srážek na fytoplankton
přehradních nádrží**

Jitka Vítková

Vedoucí práce: RNDr. Petr Znachor Ph.D.

České Budějovice, duben 2010

Vítková J. (2010): Vliv povodní a extrémních srážek na fytoplankton přehradních nádrží

[Impact of floods and extreme precipitations on phytoplankton assemblage in freshwater reservoirs. Bachelor thesis] 29 pp., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic

Anotace:

Tato práce představuje návrh projektu zabývajícího se možnými dopady povodní a extrémních srážek na složení, strukturu a dynamiku společenstva fytoplanktonu přehradních nádrží a následný vliv na kvalitu vody.

Annotation:

The thesis in the form of a project proposal is focus mainly on assessment of extreme rainfall impacts on structure, composition and dynamics of the phytoplankton in freshwater reservoirs and consequent effects on water quality.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 30. dubna 2010

.....

Jitka Vítková

Abstrakt:

Bakalářská práce je zpracována formou projektu. Na základě literární rešerše a dostupných dat bude vyhodnocen vliv extrémních srážek, jejich načasování a intenzity na sezónní sukcesi, strukturu a složení fytoplanktonu přehradních nádrží. Na základě dat z minulých let a měření získaných v rámci navrhovaného projektu bude následně vytvořen matematický model umožňující tento vliv predikovat s důrazem na ovlivnění kvality vody v nádrži. Jako modelový příklad bude sloužit nádrž Římov, pro niž je k dispozici dostatečné množství informací. Studie umožní získat znalosti v řešení a předcházení problémů s extrémními srážkami a povodněmi obecně, protože bude možné předpovědět, v kterém období roku mají povodně největší negativní vliv na kvalitu vody v nádrži a které faktory tento negativní efekt ještě více umocní

Abstract:

The thesis in the form of a project proposal is focus mainly on assessment of extreme rainfalls impact on structure, composition and dynamics of the phytoplankton in freshwater reservoirs and consequent effects on water quality. Based on previously obtained data combined with measurement suggested in the project, a hydrochemical model emphasizing flood effects on water quality will be made. The Římov reservoir will be used for modeling since an extensive data set has been collected during last three decades. My study allows for accurate prediction of water quality development after entering the flood wave to the reservoir and mitigation of its negative effects.

Poděkování:

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce RNDr. Petru Znachorovi Ph.D. za odbornou pomoc, trpělivost a mimořádnou ochotu.

Obsah:

1	Stávající stav poznání v kontextu s plánovaným projektem.....	6
1.1	Úvod.....	6
1.2	Extrémní počasí jako projev globální změny klimatu.....	6
1.2.1	Srážkové extrémy na území Střední Evropy.....	7
1.2.2	Povodně v České republice.....	7
1.3	Ekologický význam extrémních srážek pro fytoplankton.....	9
1.4	Význam časového rozložení výskytu povodní během sezónního cyklu dimiktické nádrže.....	12
1.4.1	Sezónní cyklus dimiktické nádrže	12
1.4.2	Rozdělení povodní dle jejich výskytu během sezónního cyklu nádrže	13
1.5	Dopad povodňových událostí na fytoplankton nádrže Římov.....	15
1.5.1	Letní povodeň v roce 2002	15
1.5.2	Letní povodně v roce 2006	16
1.5.3	Letní povodeň v roce 2007	17
1.5.4	Povodně v roce 2009.....	17
1.6	Vliv povodně v roce 2009 na kvalitu vody nádrže Orlický.....	18
1.7	Závěry	19
2	Cíle a hypotézy předkládaného projektu.....	20
2.1	Cíle projektu.....	20
2.2	Hypotéza	20
3	Navrhovaná terénní měření	20
4	Měřené parametry	21
4.1	Způsob dosažení cílů.....	21

4.2	Použité metody	22
4.3	Časový harmonogram projektu	23
4.4	Finanční náročnost projektu	23
5	Rizika proveditelnosti projektu	25
6	Shrnutí	25
7	Citovaná literatura	26

NÁZEV PROJEKTU:

Vliv povodní a extrémních srážek na fytoplankton přehradních nádrží

1 STÁVAJÍCÍ STAV POZNÁNÍ V KONTEXTU S PLÁNOVANÝM PROJEKTEM**1.1 Úvod**

Jedním z projevů probíhající globální změny klimatu je jeho rostoucí variabilita, která se vyznačuje častějším výskytem extrémních jevů počasí, jako jsou např. letní vlny horka, dlouhotrvající období sucha nebo srážkové extrémy a s nimi související povodně (Jentsch et al. 2007). Současné globální cirkulační modely zabývající se chováním atmosféry naznačují, že rozložení srážek na Zemi bude v teplejším klimatu jiné než známe dnes (Kharin & Zwiers 2000). Modely se shodují na tom, že zejména letní srážky v mnoha subtropických oblastech budou významně redukovány, zatímco změny v celkových srážkových úhrnech v temperátních oblastech nebudou tak významné (Giorgi et al. 2001). Ve velké části Severní Ameriky, Evropy, Ruska, Asie a Austrálie roste intenzita a frekvence silných 24-hod srážek, ale existují také rozsáhlé oblasti (např. v Číně nebo Kanadě), kde tento trend pozorován nebyl nebo dokonce klesl (Kyselý 2009).

1.2 Extrémní počasí jako projev globální změny klimatu

Analýzy dlouhodobých srážkových řad na mnoha místech mírného pásu ukázaly, že dochází k významným změnám v hydrologickém cyklu (změny ve frekvenci, intenzitě a načasování srážek během roku), které však nejsou časově ani prostorově homogenní. Na základě výpočtů klimatických modelů celkové letní srážkové úhrny nad velkou částí Evropy pravděpodobně poklesnou, ale na mnoha místech se naopak zvýší četnost extrémních srážek (Booij 2002, Christensen & Christensen 2004). Jako extrémní srážky mohou být považovány ty, jejichž hodnota překročí 99 nebo i 95 % kvantil v ročním srážkovém cyklu (Christensen & Christensen 2004). Změny

v množství takto definovaných extrémních srážek jsou odlišné od změn průměrných hodnot (Jentsch et al. 2007). I když modely predikují celkové snížení srážkových úhrnů, množství extrémních srážek je ovlivněno mnohem méně a dokonce může i stoupnout (Christensen & Christensen 2004). Jinými slovy, změny v četnosti extrémních srážek jsou větší než u celkových srážek, tudíž nárůst srážkových extrémů nastává i v oblastech, kde celkové srážky zůstávají beze změny (Groisman et al. 1999).

1.2.1 Srážkové extrémy na území Střední Evropy

Srážkové extrémy spojené s povodňovými událostmi mají významný dopad na lidskou společnost a mohou vést k enormním materiálním škodám i obětem na životech. Střední Evropa byla v nedávné minulosti zasažena extrémními srážkovými událostmi, které vyústily v obrovské letní povodně v červenci 1997 v povodí Odry a v srpnu 2003 v povodí Labe. Celkové srážkové úhrny překonaly dosavadní rekordy na mnoha místech Střední Evropy, např. v červenci 1997 spadlo v Beskydech během 3 dnů více než 500 mm srážek, v srpnu 2002 spadlo v Krušných horách za jeden den 300 mm srážek (Kyselý 2009). Analýza dlouhodobých srážkových trendů ve Střední Evropě ukazuje nárůst srážkových extrémů v zimním období, letní trendy jsou prostorově značně heterogenní a zpravidla nesignifikantní, i když nárůst převažuje (Moberg & Jones 2005, Kyselý 2009).

1.2.2 Povodně v České republice

Na území České republiky došlo během posledních let k několika povodním. Bylo to roku 1997, 1998, 2000, 2002 a 2006. Tyto povodně způsobily hmotné škody, které se vyšplhaly až na 150 miliard Kč. Bohužel tragičtější číslo, vzešlé z těchto extrémních výkyvů počasí, je ztráta 96 lidských životů (Punčochář, ústní sdělení). Jako nejextrémnější z těchto povodní jsou hodnoceny ty, které se odehrály roku 1997 a později roku 2002 v letním období následkem regionálních dešťů. Povodeň v červenci 1997 má na svědomí 52 obětí. Postihla zejména povodí Moravy, Odry a horního Labe. Maximální denní úhrn srážek dosahující 261 mm byl naměřen v Krkonoších na Studniční hoře. Na Moravě na Lysé hoře bylo naměřeno 234 mm. V nejhůře

postižených oblastech, jimiž byla SV Morava a Slezsko, se pohyboval maximální červencový úhrn srážek okolo 800 mm. Srpnová povodeň roku 2002 měla obětí 17 a postihla povodí Vltavy a tok Labe pod ústím Vltavy. Nejvyšší úhrny během trvání povodně přesáhly v jižních Čechách 400 mm, denní srážkové maximum bylo 312 mm v Krušných horách na Cínovci. V Praze-Chuchli Vltavu zasáhla 500-letá voda, kdy korytem protékalo $5160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při vodním stavu 762 cm. Obě dvě povodně se odehrály ve dvou vlnách, kdy rozhodujícím faktorem byla nasycenost povodí předchozími srážkami. Během obou povodní bylo na vodních tocích v mnoha profilech dosaženo největších průtoků, co byly kdy pozorovány, a to v červenci 1997 na řece Moravě např. v Raškově 800-letá, Olomouci 500-letá a Kroměříži 300-letá voda (Sklenář 2007).

K výše popsaným povodňovým událostem došlo v letním období, dlouhodobé změny se ale týkají i frekvence a četnosti povodní ve zbytku roku. Pro zimní povodně jsou charakteristické výrazné kladné odchylky od normálu příslušných kalendářních dnů těsně před kulminací, zatímco pro letní povodně jsou tyto odchylky výrazně záporné. Klesající trendy v silných srážkách jsou pozorovány na jaře, kdy jsou v souladu s poklesy v sezónním počtu srážek. Byl zaznamenán posun jarních povodní blíže k zimě. Trendy jsou prostorově značně heterogenní a zanedbatelné na podzim, a to navzdory zvýšení průměrných srážek (Kyselý 2009). Se snižováním srážek v letním období také souvisí snižování odtoků od jara do podzimu. Pokles průměrných průtoků se pohybuje okolo 15 – 40 % (Pretel 2007). Snižování celkového odtoku s sebou přináší i zvyšování koncentrací znečišťujících látek ve vodách (Kašpárek 2007), také dochází k celkovému zvýšení územního výparu (Pretel 2007). Pokud bude i nadále docházet ke zvyšování teploty vzduchu, stane se oteplování vody společně s poklesem průtoků jedním z nejzávažnějších problémů v letním období (Kašpárek 2007). Rozsáhlé změny v rozsahu a prostorovém a časovém rozložení srážek mohou mít nedozírné důsledky na mnoho oblastí lidské činnosti a v neposlední řadě mohou významně ovlivnit celou řadu vodních i terestrických ekosystémů. Přehradní nádrže zbudované na mnoha našich vodních tocích jsou nejdůležitějšími ekosystémy, které jsou významně ovlivněny zvýšenými průtoky a případnými povodněmi (Obr. 1).

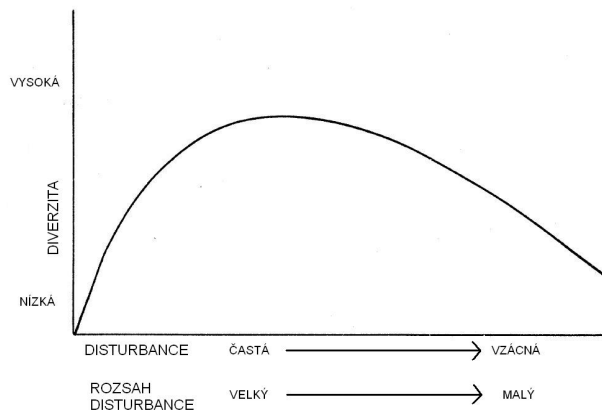


Obrázek 1: *Povodeň v červnu 2009 v přítokové části nádrže Římov. Na obrázku je jasně vidět množství materiálu přineseného do nádrže povodňovou vlnou.*

1.3 Ekologický význam extrémních srážek pro fytoplankton

Z ekologického hlediska patří extrémní srážky mezi klasické příklady disturbance, které vychylují systém z rovnováhy a nasměrují jeho vývoj jiným směrem (Jentsch et al. 2007). Disturbance jsou zpravidla náhlé změny vnějších faktorů (zejména fyzikálních), které mohou významně ovlivnit složení fytoplanktonu a jeho sezónní vývoj (Reynolds 2006). Z literatury jsou známy případy, kdy vývoj fytoplanktonu byl povodňovými událostmi uspíšen, pozdržen nebo dokonce navrácen do předchozího sukcesního stadia (Reynolds 1993). Dalším markantním dopadem povodňových událostí na fytoplankton jsou změny v jeho druhovém složení, mění se biodiverzita a narůstá podíl dříve nedetekovaných („vzácných“) druhů na celkové biomase (Barbiero et al. 1999).

Zkoumání vlivů disturbancí na strukturu, uspořádání a dynamiku rostlinných společenstev vedlo ke vzniku „*Intermediate Disturbance Hypothesis*“, formulované Connellem v roce 1978 (Connell 1978). Teorie byla později upravena pro fytoplankton (Reynolds 1993) a zdůrazňuje velký význam středně velkých disturbancí pro zachování vysoké druhové diverzity (Obr. 2). Silná intenzita disturbance vede k minimální druhové diverzně, protože vzniklým extrémním podmínkám se přizpůsobí jen několik druhů. Pokud však k disturbancím nedochází vůbec, utvoří se po čase ve společenstvu fytoplanktonu ustálený stav („*steady state*“) a dojde ke kompetičnímu vyloučení, které sníží diverzitu na nejnižší míru (Padisák et al. 1993).

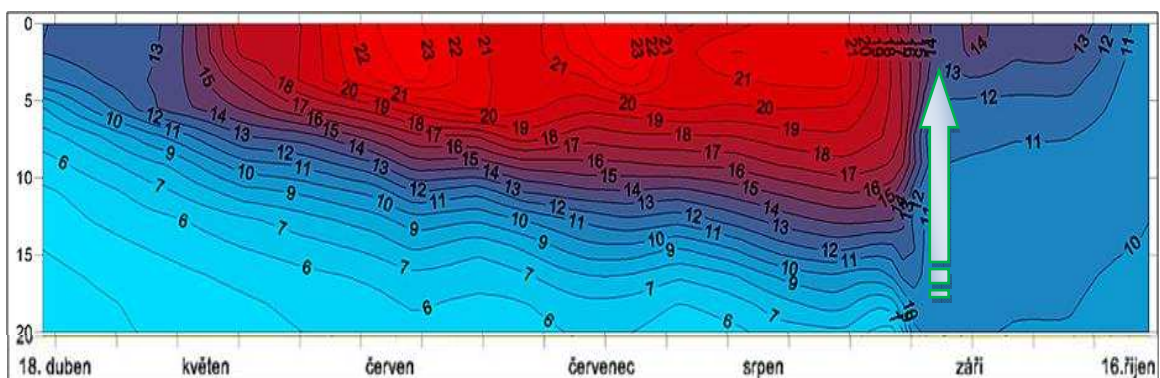


Obrázek 2: Závislost druhové diverzity na velikosti disturbance (upraveno podle Connell 1978)

Se vstupem povodňové vlny do nádrže jsou spojeny následující jevy:

- Hydraulické vymytí biomasy a narušení teplotní stratifikace

Nejčastějším dopadem vysokých průtoků je značné zkrácení doby zdržení vody v nádrži. Je-li množství přitékající vody vyšší než objem nádrže, může dojít během krátké doby k výměně celého objemu nádrže a k hydraulickému vymytí biomasy fytoplanktonu (Reynolds 2006). Pokud je v nádrži vytvořena stabilní teplotní stratifikace (typicky v létě), dochází k jejímu narušení a promíchání vodního sloupce (Obr. 3). Dle objemu povodňové vlny může dojít k promíchání pouze epilimnia nebo celého vodního sloupce v nádrži (Znachor et al. 2009)



Obrázek 3: Vliv povodně z roku 2007 na teplotní stratifikaci nádrže Římov (Znachor et al. nepubl.). Šipka znázorňuje období s intenzivními srážkami.

- Snížení dostupnosti světla

Snížení dostupnosti světla projevující se poklesem průhlednosti souvisí s vysokým zákalem, který přívalová vlna přináší (Barbiero et al. 1999). Zákal tvořený suspendovanými organickými a anorganickými partikulami zamezuje průniku světla a fytoplankton může být přechodně limitován jeho nedostatkem. Obsah suspendovaných částic je nejvyšší během kulminace průtoku a poté vlivem sedimentace klesá (Znachor et al. 2009).

- Přísun organické hmoty s následným nebezpečím vzniku kyslíkových deficitů

Voda přitékající do nádrže během povodně obsahuje kromě nerozpuštěných látek také velké množství organické hmoty, která je postupně odbourávána mikrobiálními procesy probíhajícími v nádrži. V hlubších partiích převládá respirace nad produkcí kyslíku, a proto může přechodně docházet k vyčerpání kyslíku v hypolimniu a výskytu anoxie, což bylo pozorováno v roce 2009 v nádrži Orlick (Liška a kol. 2009).

- Nebezpečí zvýšeného výskytu toxických látek a patogenních bakterií

Po velké povodni v roce 2002 bylo provedeno srovnání složení vzorků sedimentů na Labi a jeho přítocích před a po povodni, které prokázalo zvýšený výskyt organických kontaminantů (polybromované difenylethery, chloroalkylfosfáty, chlorované organické sloučeniny, polycyklické aromatické uhlovodíky a organické sloučeniny cínu) po povodni. Je velmi pravděpodobné, že příčinou výskytu těchto látek byly splachy z průmyslových závodů zasažených povodní (Stachel et al. 2005). Během povodně může také dojít k vypláchnutí odpadních jímek nebo čistíren odpadních vod, které představují možný zdroj patogenních a koliformních bakterií. Tyto bakterie se mohou vyskytovat v nádrži těsně po povodni, ale vzhledem k tomu, že v nádrži nemají příznivé podmínky pro svůj růst a jsou častým předmětem predace prvoků a nálevníků, ve volné přírodě déle nepřežijí (Šimek, ústní sdělení).

- Zvýšený přísun živin

Povodňové události jsou charakterizovány zvýšeným přísunem živin do nádrže (Reynolds 2006). Toto bylo opakovaně pozorováno během jarních i letních povodní, kdy v nádrži či jezeru došlo k podstatnému zvýšení koncentrací reaktivního rozpuštěného fosforu, který byl následně rychle vyčerpán fytoplanktonem (Barbiero et al. 1999, Paidere et al. 2007). Zvýšení množství živin je považováno za klíčový faktor ovlivňující fytoplankton a bude mu věnována pozornost v kapitole o povodňových událostech na nádrži Římov.

1.4 Význam časového rozložení výskytu povodní během sezónního cyklu dimiktické nádrže

1.4.1 Sezónní cyklus dimiktické nádrže

Ačkoli většina studií zařazuje extrémní srážky dle jejich výskytu do jednotlivých ročních období, pro účely zjištění jejich vlivu na fytoplankton je lepší zvolit jiný přístup zohledňující sezónní cyklus dimiktických nádrží, tak jak byl popsána v PEG modelu (Sommer et al. 1986).

V zimním období je vodní sloupec stratifikován tak, že voda u dna má 4 °C, zatímco voda u hladiny je chladnější, případně pokrytá ledem. Nízké teploty společně s nedostatkem světla limitují rozvoj fytoplanktonu, jehož biomasa dosahuje nízkých hodnot. S příchodem jara se zvyšuje množství světla a zároveň postupně dochází k ohřívání vody. V okamžiku vyrovnání teplot u hladiny a u dna nastává jarní míchání celého vodního sloupce a tím i přísun živin ze spodních vrstev nádrže. Zlepšující se podmínky pro růst fytoplanktonu umožňují jeho následný rozvoj vedoucí k vytvoření jarního maxima biomasy fytoplanktonu. Biomasu tvoří zpravidla malé, rychle rostoucí řasy jako jsou kryptomonády, chlamydomonády nebo drobné centrické rozsivky. Následně dochází k rozvoji herbivorního zooplanktonu, který vytváří silný predanční tlak na fytoplankton. Kombinací filtračního tlaku zooplanktonu společně s možnou limitací živinami, které mohou být v období růstu fytoplanktonu vyčerpány, dochází k rychlému poklesu biomasy řas, což se často projevuje zvýšením průhlednosti. Tato fáze sezónního

cyklu na přelomu jara a léta se nazývá období „*clear water*“ a dochází během ní k recyklaci živin a utváření teplotní stratifikace. Herbivorní zooplankton je během této fáze sezónního cyklu limitován nedostatkem potravy, a proto zpravidla následuje pokles jeho četnosti a biomasy.

V letním období je nádrž zpravidla již teplotně stratifikována a za těchto podmínek dochází k rozvoji letního fytoplanktonu, jehož růst je charakterizován střídáním nejrůznějších limitujících faktorů. Hlavním limitujícím faktorem bývá zpravidla množství dostupného rozpuštěného fosforu, ale uplatňují se i další, např. dostupnost Si, N, světla, predanční tlak zooplanktonu atd. PEG model předpokládá nejprve dominanci zelených řas a jejich postupné nahrazení velkými rozsivkami, které jsou kvůli úbytku křemíku nahrazeny dinoflageláty anebo sinicemi. Možný pokles koncentrace dusíku ve vodě může vést k rozvoji vláknitých sinic, schopných dusík fixovat. Tato modelová sekvence sukcesního vývoje složení fytoplanktonního společenstva může mít však v konkrétních případech značně odlišný průběh v závislosti na mnoha faktorech specifických pro danou lokalitu. S koncem léta dochází k postupnému ochlazování vody v epilimniu až do doby, kdy se teploty u hladiny a dna vyrovnají a nastane období podzimní cirkulace. Biomasa fytoplanktonu postupně klesá a mění se také jeho složení. Dominují druhy adaptované na míchání vodního sloupce, jako jsou např. rozsivky nebo kryptomonády. Se zkracujícím se dnem klesá množství světla, které limituje růst fytoplanktonu. Teplota u hladiny se snižuje a s příchodem zimy se celý cyklus uzavírá.

1.4.2 Rozdělení povodní dle jejich výskytu během sezónního cyklu nádrže

Zimní a jarní povodně jsou zpravidla zapříčiněny náhlým oteplením s následným rychlým táním sněhu, někdy mohou být současně doprovázeny srážkami. Povodně bývají nejsilnější, pokud leží sníh i v nížinách a podhůřích, protože ve vyšších polohách odtávají sněhové zásoby podstatně pomaleji. Důležitým faktorem pro vznik tohoto druhu povodně, je intenzita oteplení, mocnost sněhové pokrývky a vodní hodnota sněhu (1 cm čerstvého prachového sněhu odpovídá 1 mm vody, tj. 1 litr vody na m², 1 cm starého slehlého sněhu představuje 4 mm vody). Další vliv mají např. nadmořská výška

a míra, do jaké je půda zamrzlá; zmrzlá půda brání vsakování vody a tím zvyšuje rychlost odtoku. Výskyt není vázán pouze na jaro, ale i na typicky zimní měsíce od prosince až do února (Sklenář 2007). Tyto povodně zřejmě nemají významný vliv na sezónní vývoj fytoplanktonu, maximálně mohou společně se zlepšujícími se světelnými a živinovými podmínkami působit jako mírný stimulační faktor pro rozvoj fytoplanktonu (Mihaljevic et al 2009).

Jarní vrchol rozvoje fytoplanktonu zpravidla nastává v období počínající teplotní stratifikace (Komárková et al. 2003). Pokud dojde vlivem povodní k narušení stratifikace a přísunu živin do nádrže, vytvoří se příhodné podmínky pro druhy, které dominovaly v počátečním období rozvoje fytoplanktonu, např. zelení bičíkovci, kryptomonády nebo centrické rozsivky. Může nastat situace, že fytoplankton byl původně limitován živinami a v tomto případě povodeň způsobí pravděpodobně nárůst biomasy. Pokud je však limitován predačním tlakem zooplanktonu, přísun živin se na jeho růstu neprojeví, eventuálně dojde ke změně složení ve prospěch nežratelných druhů (Znachor, ústní sdělení).

Povodeň v období „*clear water*“ zřejmě může způsobit iniciaci letního rozvoje fytoplanktonu. Dojde k narušení stratifikace a zvýšený přísun živin odstartuje rozvoj fytoplanktonu. Teoreticky lze očekávat, že nejdříve budou dominovat rozsivky, které jsou schopny profitovat v turbulentních podmínkách. Pokud během růstu rozsivek dojde k vyčerpání zásoby rozpuštěného Si, rozsivky mohou být nahrazeny jinou skupinou fytoplanktonu, např. sinicemi (Znachor et al. 2008).

Letní typ povodní je zapříčiněn zpravidla přívalovými dešti (tzv. „*flash floods*“ neboli bleskové povodně). V extrémních případech je intenzita vyšší než 100 mm hod^{-1} (tj. 100 litrů na m^2). Tyto povodně mívají poměrně krátké trvání (v průměru 2-6 hodin) a postihují území menší rozlohy (většinou do desítek km^2). K výskytu povodní dochází kdekoliv v ČR, převážně na malých tocích. Nejčastější výskyt je pozorován od poloviny dubna do září. Odtoková odezva u bleskových povodní bývá pouhých několik desítek minut a jedná se proto o nejčastější typ povodňového ohrožení na našem území. Možnosti předpovědi přesnějšího místa výskytu bleskové povodně jsou poměrně

obtížné (Sklenář 2007). Vliv letních povodní zapříčiněných extrémními srážkovými událostmi byl několikrát zachycen na nádrži Římov a je popsán v další kapitole.

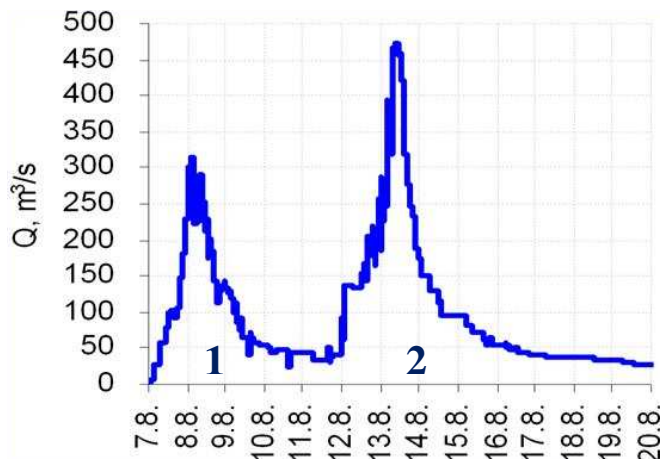
Lze předpokládat, že povodně odehrávající se během nebo po období podzimní cirkulace nebudou mít velký dopad na fytoplankton, protože jeho růst bývá limitován faktory, jako je např. limitace růstu světlem, které povodně nejsou schopné ovlivnit. Z uvedeného přehledu je patrné, že povodňové události mají v našich podmínkách velký význam pro rozvoj fytoplanktonu zejména během vegetační sezóny, která začíná přibližně v dubnu a přetrvává zhruba do září.

1.5 Dopad povodňových událostí na fytoplankton nádrže Římov

V posledních letech je vliv povodní a přívalových dešťů na sezónní vývoj společenstva fytoplanktonu monitorován na nádrži Římov ležící na řece Malší cca. 20 km jižně od Českých Budějovic. Nádrž má objem 34 milionů m³ a plocha činí 2,1 km² s maximální hloubkou 43 m. Doba zdržení odpovídá v průměru 98 dnům při průměrném průtoku 4,1 m³s⁻¹. Jedná se o vodárenskou nádrž, která zásobuje pitnou vodou region Jižních Čech (Hejzlar et al. 2004).

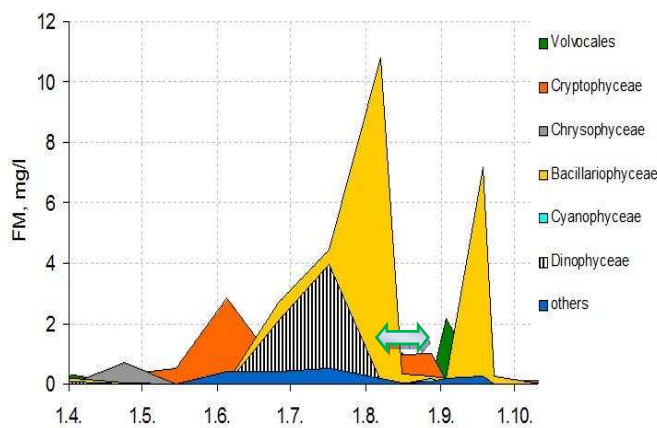
1.5.1 Letní povodeň v roce 2002

V období od 7. do 19. srpna proběhla velmi silná povodeň, která se odehrála ve dvou kulminačních vlnách (Obr. 4). Objem povodňové vody byl 110 milionů m³ a z hlediska kulminace byla zhodnocena jako tisíciletá povodeň, z hlediska objemu jako dvojnásobek stoleté vody. Povodeň promíchala celou nádrž a významně nádrž obohatila živinami. Došlo k významné změně ve složení společenstva fytoplanktonu. Před povodní u hráze dominovaly rozsivky (*Fragilaria crotonensis*), které byly z nádrže vyplaveny a jejich místo zaujaly rychle rostoucí druhy řas, jako jsou kryptomonády a chlamydomonády (Obr. 5, Hejzlar et al. 2004, Znachor et al. 2009). Tyto skupiny jsou typické pro jarní fytoplankton nádrže Římov (Komárková et al. 2003). Již za necelý měsíc po povodni byly však opět nahrazeny rozsivkami, zřejmě jako důsledek predačního tlaku zooplanktonu, jehož populace se po povodni rychle zotavily (Hejzlar et al. 2004, Znachor et al. 2009).



Obrázek 4: Denní průtoky při povodni na nádrži Římov z roku 2002 (Hejzlar et al. 2004.)

1 – první kulminace; 2 – druhá kulminace



Obrázek 5: Sezónní vývoj složení fytoplanktonu ovlivněný povodní v roce 2002 na nádrži Římov (Hejzlar et al. 2004)

Šipka označuje povodňové události.

1.5.2 Letní povodně v roce 2006

V létě 2006 byly na nádrži Římov zaznamenány dvě povodňové události, které v obou případech narušily teplotní stratifikaci u hráze a vedly k zamíchání a ochlazení epilimnia. První povodeň následovala po intenzivních přívalových deštích (74 mm na m^2 za 24 hodin) koncem června a prakticky ukončila období „clear water“ a odstartovala letní rozvoj fytoplanktonu, který tvořily především rozsivky (*Fragilaria crotonensis*). Po obnovení teplotní stratifikace byla zaznamenána významná sedimentace rozsivek a pokles koncentrací rozpuštěného křemíku ve vodě. Vzniklé podmínky vedly k dominanci pikoplanktonních sinic v epilimniu, které vyčerpaly rozpuštěný reaktivní fosfor ve vodě. Zároveň se obnovila i zásoba rozpuštěného křemíku v epilimniu, který ale nemohl být zužitkován rozsivkami, protože ty se

nalézaly v metalimniu, kde byl jejich růst limitován světlem. K druhému srážkovému přívalu došlo začátkem srpna, kdy 7. a 8. srpna spadlo 60 mm srážek na m² během 24 hodin. Srážkový příval opět promíchal a ochladil epilimnion a populace pikoplanktonních sinic byla nahrazena rozsivkami (Znachor et al. 2008). Dominance rozsivek jako následek vysokých průtoků byla v letním období zaznamenána i na jiných přehradách (Godlewska et al. 2003, Leitão et al. 2003, Anneville et al. 2004). Letní povodně však mohou posunovat složení fytoplanktonu také k dočasné dominanci skrytěnek (Elber & Schanz, 1990; Jacobsen & Simonsen, 1993), ale rozsivky dominující ve fytoplanktonu jsou zaznamenávány častěji.

1.5.3 Letní povodeň v roce 2007

Začátkem září 2007 byla nádrž Římov opět zasažena přívalovým deštěm, kdy ze 6. na 7. září spadlo v povodí nádrže 80 mm srážek na m². Po předchozím suchém období stoupla hladina v nádrži o téměř 3 metry. Také v tomto případě došlo k významnému narušení sezónního vývoje fytoplanktonu a to v celém podélném profilu nádrže. Před touto událostí byl v přítokové zóně silný vodní květ sinice *Aphanizomenon flos-aquae*, zatímco u hráze se udržovala poměrně nízká biomasa tvořena desmidiemi (*Cosmarium* sp.) a sinicí *Woronichinia naegeliana*. Vlivem přívalové vlny došlo za deset dní k výměně vody v epilimniu a k přesunu biomasy sinic (*A. flos-aquae*) z přítokové zóny až ke hrázi, kde setrvaly až do konce září (Znachor et al. 2009).

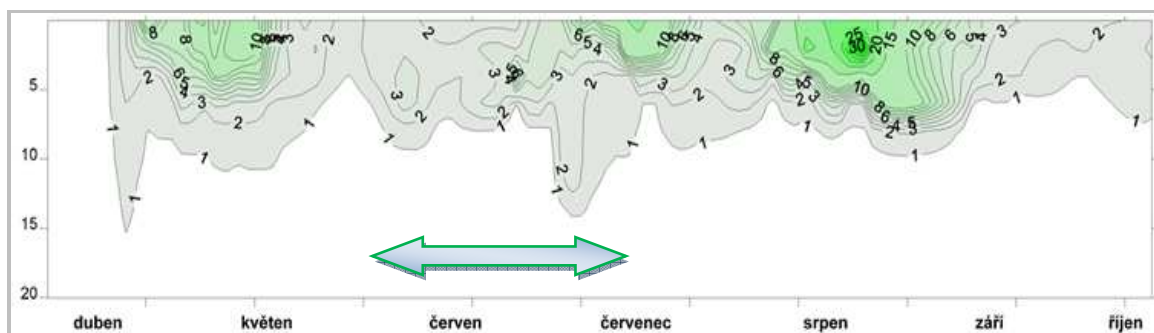
1.5.4 Povodně v roce 2009

Rok 2009 přinesl významné srážky s následnou povodní, která se projevila na přítoku do nádrže sedmi kulminačními vlnami v období od 23. června do 18. července. K jednotlivým kulminacím došlo během krátké doby a postupně jejich intenzita slábla (Tab. 1, Znachor et al. 2009). Vlivem opakovaných srážkových přívalů byl vývoj fytoplanktonu v nádrži neustále narušován, a proto v nádrži nedošlo k vytvoření ustáleného společenstva („*steady state assemblage*“), tak jak jsou definovány ve studii Naseli-Flores et al. (2003). Na Obrázku 6 jsou zobrazeny sezónní změny ve vertikálním profilu chlorofylu *a* u hráze, ze kterého je patrné, že po období „*clear water*“ (konec května a červen) nedošlo během povodňových událostí k výraznému rozvoji biomasy

fytoplanktonu. Intenzivní disturbance zřejmě působily jako rozhodující faktor zabraňující vytvoření rovnovážného stavu a výraznějšímu rozvoji fytoplanktonu. Teprve po jejich odeznění došlo k vytvoření letního maxima biomasy tvořené rozsivkou *Fragilaria crotonensis* (Znachor, ústní sdělení).

Kulminace	Průtok ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
23. červen	100
25. červen	60
28. červen	50
2. červenec	40
8. červenec	30
16. a 18. červenec	16

Tabulka 1: Maximální průtoky v řece Malši těsně před vtokem do nádrže Římov (stanice Pořešín) při jednotlivých kulminacích v létě 2009 (Znachor et al. 2009)



Obrázek 6: Sezónní změny ve vertikálním profilu chlorofylu a (0-20 m) u hráze nádrže Římov z roku 2009 (Znachor et al. nepubl.). Šipka znázorňuje období s intenzivními srážkami.

1.6 Vliv povodně v roce 2009 na kvalitu vody nádrže Orlík

Povodeň z počátku léta roku 2009 postihla také vodní nádrž Orlík, která se nachází přibližně 22 km severně od Písku a je součástí Vltavské kaskády. Během července byl na přítoku do nádrže zaznamenán přibližně desetinásobný nadnormální průtok po dobu jednoho týdne. Povodeň měla za následek narušení teplotního rozvrstvení a většina vody v nádrži byla nahrazena vodou povodňovou. Významně

pozměněny byly kyslíkové poměry v nádrži. Na organické látky bohatá povodňová vlna vytlačila z nádrže původní hypolimnetickou anoxickou vodu do níže položené nádrže Slapy. Během rozkladu povodní přinesených organických látek došlo k postupnému vyčerpání kyslíku také v nádrži Orlík (Liška et al. 2009).

Povodeň také znamenala výrazné zatížení nádrže živinami, zejména fosforem, jehož přísun zapříčinil rozvoj biomasy sinic. Došlo k posunu již rozvinutých vodních květů sinic z přítokových ramen do spodní části nádrže (Žďákovský most - hráz) a kvalita vody tak byla znehodnocena v právě probíhajícím období koupání (Liška et al. 2009).

1.7 Závěry

Z výše popsaných konkrétních případů jasně vyplývá, že dopad povodňových událostí, respektive zvýšených průtoků, významně ovlivňuje fytoplankton a kvalitu vody v našich nádržích. Konkrétní dopad se liší případ od případu, nicméně je jasné, že velkou roli zde hraje frekvence a intenzita povodňových událostí společně s jejich načasováním během sezónního cyklu. V létě, které je z hlediska kvality vody nejrizikovějším obdobím celého roku, má zvýšený přísun živin za následek rozvoj fytoplanktonu. Fytoplankton je v počátku tvořen zpravidla rozsivkami, které mohou být později vystřídány sinicemi. Povodňové události mohou také přesouvat biomasu sinic vytvořenou v přítokové zóně do hrázové části nádrže, odkud je brána voda pro vodárenské účely a zvýšený výskyt sinic je zde nežádoucí.

2 CÍLE A HYPOTÉZY PŘEDKLÁDANÉHO PROJEKTU

2.1 Cíle projektu

- (I) Na základě *in situ* měření fyzikálních a chemických parametrů v podélném profilu nádrže Římov zjistit
- a) Vliv povodní na složení, strukturu, dynamiku a sezónní cyklus fytoplanktonu s možnými důsledky pro kvalitu vody v nádrži.
 - b) Na základě získaných dat vypracovat matematický model umožňující predikci vlivu povodňové vlny na fytoplankton a kvalitu vody v nádrži.

2.2 Hypotéza

Vliv povodní na fytoplankton nádrže se mění v závislosti na jejich frekvenci, načasování a intenzitě. Tento vliv může být na základě vybraných měřených parametrů predikován pomocí matematického modelu, jehož vytvoření umožní včasné varování před možným rizikem zhoršení kvality vody v nádrži.

3 NAVRHOVANÁ TERÉNNÍ MĚŘENÍ

V současné vědecké literatuře existuje jen velmi málo studií, které se zabývají problematikou vlivu povodní a extrémních srážek na fytoplankton přehradních nádrží. Proto navrhuji uskutečnění projektu, který se vyznačuje intenzivním a flexibilním vzorkovacím programem zahrnujícím měření hlavních fyzikálně chemických parametrů a fytoplanktonu v závislosti na aktuální meteorologické předpovědi. Navrhovaná doba trvání projektu je 5 let. Z literární rešerše jednoznačně vyplývá, že největší riziko představují letní povodně po přívalových deštích. Pro úspěšné zachycení a vyhodnocení vlivu povodňové vlny na nádrž je potřeba získat údaje o situaci před povodní, během povodně a po povodni. Navrhuji základní vzorkování během vegetačním sezóny (duben – říjen) v desetidenních intervalech. V období předpovídaných srážkových extrémů bude základní monitoring zintenzivněn a vzorky budou odebírány v cca. denních

intervalech. Doplňkově budou využita i pozad'ová data pocházející z pravidelného monitorovacího programu Hydrobiologického ústavu.

4 MĚŘENÉ PARAMETRY

4.1 Způsob dosažení cílů

Na základě doposud zjištěných informací je jasné, že pro úspěšné splnění cílů projektu je nutné měřit podél celého profilu nádrže, nikoli pouze v odběrovém místě u hráze. Vzorky budou odebírány na devíti odběrových místech (Obr. 7)



Obrázek 7: *Letecká fotografie nádrže Římov s vyznačenými odběrovými místy*

Na jednotlivých místech budou měřeny vertikální profily teploty, zákalu a chlorofylu pomocí ponorné fluorescenční sondy FluoroProbe (Moldaence). Pro určení hloubky eufotické vrstvy bude měřen vertikální profil světla (Licor). Pomocí multiparametrické ponorné sondy budou měřeny vertikální profily pH, kyslíku a vodivosti (GRYF s.r.o.).

Pomocí Friedingerova odběrače budou z hloubek 0,5 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m a 40 m odebírány vzorky pro stanovení základních chemických parametrů:

celkový fosfor, rozpuštěný reaktivní fosfor, dusičnany, organický a anorganický uhlík, partikulovaný uhlík, rozpuštěný křemík a ztráta žíháním. Vzorokly z hloubek 0,5 m, 5 m, a 10 m budou fixovány Lugolovým roztokem a bude v nich stanovena biomasa a složení fytoplanktonu pomocí počítání buněk v sedimentačních komůrkách (Lund 1958).

4.2 Použité metody

K měření vertikální profilů množství fytoplanktonu budu používat ponornou fluorescenční sondu FluoroProbe (Moldaence, Obr. 8), která umožňuje zároveň i měření teploty a zákalu. Sonda pracuje na základě měření fluorescenční odezvy specifické pro pigmenty charakterizující některé základní skupiny fytoplanktonu (sinice, chromofyta, kryptomonády a zelené řasy). Fluorescenční metoda umožňuje rychlou kvantifikaci a charakterizaci společenstva fytoplanktonu v nádrži (Beutler et al. 2002). Základní fyzikální a chemické parametry budou stanoveny zavedenými metodami rutinně používanými v chemické laboratoři Hydrobiologického ústavu BC AV ČR.



Obrázek 8: *Ponorná fluorescenční sonda FluoroProbe (Moldaence)*

K matematickému modelování vlivu povodní na kvalitu vody a vývoj společenstva fytoplanktonu na nádrži Římov bude použit dvojrozměrný numerický model CE – QUAL – W2. V minulosti byl již úspěšně použit například Hejzlarem et al.

(2004) při zkoumání vlivu povodně z roku 2004 na vodní ekosystém a kvalitu vody nádrže Římov.

4.3 Časový harmonogram projektu

Vzhledem k nepravidelnosti a obtížné predikovatelnosti srážkových extrémů je navrhovaná doba trvání projektu 5 let.

Úloha a načasování	2011	2012	2013	2014	2015
Odběr a zpracování vzorků					
Vyhodnocování dat a tvorba podélných profilů					
Příprava dat pro statistické analýzy					
Matematické modelování					
Příprava manuskriptu					
Prezentace výsledků					
Vysvětlivky	Silná aktivita		Střední aktivita	Nízká aktivita	

4.4 Finanční náročnost projektu

Náklady (tis. Kč)	2011	2012	2013	2014	2015
Věcné náklady	200	200	200	175	150
Investiční náklady	80	-	-	-	-
Služby	60	30	30	30	30
Cestovní náklady	40	40	60	70	90
Mzdové náklady	120	120	120	120	120
Ostatní osobní náklady	30	30	30	30	20
Celkem (tis. Kč)	530	420	440	425	410
	2 225				

Předpokládaná finanční náročnost celého projektu je určena na 2 225 000 Kč.

Podrobný rozpis nákladů na období prvního roku plánovaného projektu:

Věcné náklady:

Náklady na chemické analýzy vzorků.....	100 tisíc Kč
Notebook.....	25 tisíc Kč
Statistický program Statistika.....	35 tisíc Kč
Zálohování dat.....	10 tisíc Kč
Kancelářské potřeby.....	20 tisíc Kč
Terénní vybavení.....	10 tisíc Kč

Investiční náklady:

Multiparametrická ponorná sonda na měření pH, kyslíku, teploty a vodivosti od firmy GRYP s.r.o.	80 tisíc Kč
---	-------------

Zdůvodnění investičního požadavku: Pořízení multiparametrické ponorné sondy je nezbytné pro naměření vertikálních profilů pH, kyslíku, teploty a vodivosti, které představují základní parametry silně ovlivněné povodňovými událostmi. Toto zařízení doposud není k dispozici na pracovišti navrhovatele.

Služby:

Náklady na statistické vyhodnocení a konzultace	60 tisíc Kč
---	-------------

Cestovní náklady:

Cestovní náklady představují prostředky spojené s terénním měřením, dále cestovné na konference a konzultace.....	40 tisíc Kč
--	-------------

Mzdové náklady:

2 zaměstnanci s 25% úvazkem.....	120 tisíc Kč
----------------------------------	--------------

Ostatní osobní náklady:

Hrazení některých analýz prováděných technickými pracovníky.....	30 tisíc Kč
--	-------------

5 RIZIKA PROVEDITELNOSTI PROJEKTU

Možná rizika předkládaného projektu vyplývají z obtížné predikce povodňových událostí a jejich nepravidelného výskytu v dlouhodobém časovém horizontu. Odběrové schéma je navrhováno tak, aby byla minimalizována rizika související s nedostatečnou mírou spolehlivosti střednědobé předpovědi počasí. Scénáře četnosti výskytu srážkových extrémů v naší oblasti předpokládají nárůst těchto událostí, nicméně existuje nebezpečí, že k extrémním srážkám po dobu trvání projektu nedojde. V tomto případě budou zpracována a vyhodnocena data z minulých let a ta budou použita k vytvoření matematického modelu. Tato možnost je však krajně nepravděpodobná.

6 SHRNUÍ

Dosavadní studie jasně ukazují, že globální změna klimatu s sebou nese rostoucí variabilitu počasí, která se projevuje dlouhodobými suchy anebo naopak zvýšenými výskytu extrémních srážek a následnými povodněmi. Jak tyto výkyvy počasí ovlivní vývoj fytoplanktonu nádrže, záleží na intenzitě, frekvenci i načasování probíhající disturbance v lokalitě. Může dojít k uspíšení vývoje fytoplanktonu, k jeho pozdržení, či navrácení do předchozího sukcesního stádia. Z rešerše jasně vyplývá, že nejrizikovější z hlediska zhoršení kvality vody v nádrži jsou letní povodně vznikající následkem přívalových dešťů. Vlivem zvýšeného přísunu živin dochází k rozvoji biomasy fytoplanktonu a také k přesunům fytoplanktonu, často tvořeným sinicemi, z přítokové zóny směrem k hrázi.

Navrhovaný projekt se zabývá změnami ve složení, struktuře a dynamice společenstev fytoplanktonu jako následek povodní a extrémních srážek, které ovlivňují chemické a fyzikální parametry nádrže. Na základě vlastního detailního měření a také dat z předchozích let bude vyhotoven matematický model, který umožní predikci vlivu povodňové vlny na složení a biomasu fytoplanktonu a kvalitu vody v nádrži a výrazně napomůže předcházení a řešení problémů se zhoršováním kvality vody v nádržích, ke kterému dochází po období zvýšených průtoků.

7 CITOVANÁ LITERATURA

Anneville O., Souissi S., Gammeter S., Straile D., (2004): Seasonal and inter – annual scales of variability in phytoplankton assemblages: comparison of phytoplankton dynamics in three per – alpine lakes over a period of 28 years. *Freshwater Biology* 49: 98 – 115

Barbiero R. P., James W. F., Barko J. W., (1999): The effects of disturbance events on phytoplankton community structure in a small temperate reservoir. *Freshwater Biology* 42: 503 – 512

Beutler M., Wiltshire K.H., Meyer B., Moldaenke C., Lüring C., Meyerhöfer M., Hansen U. P., Dau H., (2002): A fluorometric method for the differentiation of algal populations in vivo and in situ. *Photosynthesis Research* 72: 39 – 53

Booij M. J., (2002): Extreme daily precipitation in Western Europe with climate change at appropriate spatial. *International Journal of Climatology* 22: 69 – 85

Connell J. H., (1978): Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302 – 1310

Elber F., Schanz F., (1990): The influence of a flood event on phytoplankton succession. *Aquatic Sciences* 52: 330 – 344

Giorgi F., Whetton P. H., Jones R. G., Christensen J. H., Mearns L. O., Hewitson B., vonStorch H., Francisco R., Jack Ch., (2001): Emerging patterns of simulated regional climatic changes for the 21st century due to anthropogenic forcings. *Geophysical Research Letters* 28: 3317 – 3320

Godlewska M., Mazurkiewicz-Boroń G., Pocięcha A., Wilk–Woźniak E., Jelonek M., (2003): Effects of flood on the functioning of the Dobczyce reservoir ecosystem. *Hydrobiologia* 504: 305 – 313

Groisman P. Y., Karl T. R., Easterling D. R., Knight R. W., Jamason P. F., Hennessy K. J., Suppiah R., Page Ch. M., Wibig J., Fortuniak K., Razuvaev V. N., Douglas A., FØrland E., Zhai P-M., (1999): Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. *Climatic Change* 42: 243 – 283

Hejzlar J., Kaštovská K., Sed'a J., Znachor P., Jarošík J., Haider Z., (2004): Obnova vodního ekosystému a kvality vody ve vodárenské nádrži Římov po povodni v roce 2002. *Sborník konference Vodárenská biologie 2004, Praha*: 62 – 66.

Christensen O.B., Christensen J.H., (2004): Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global and Planetary Change* 44: 107 – 117

Jacobsen B. A., Simonsen P., (1993): Disturbance events affecting phytoplankton biomass, composition and species diversity in a shallow, eutrophic, temperate lake. *Hydrobiologia* 249: 9 – 14

Jentsch A., Kreyling J., Beierkuhnlein C., (2007): A new generation of climate change experiments: events, not trends. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 315 – 324

Kašpárek L., (2007): Modelování vlivu klimatických změn na hydrologický režim v ČR. *Seminář "Změna klimatu a její dopady na toky a nádrže v ČR, HBÚ BC AVČR, České Budějovice, 12. 4. 2007*

Kharin V. V., Zwiers F. W., (2000): Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-Ocean GCM. *Journal of Climate* 13: 3760 – 3788

Komárková, J., Komárek, O., Hejzlar, J. (2003) Evaluation of the long term monitoring of phytoplankton assemblages in a canyon-shape reservoir using multivariate statistical methods. *Hydrobiologia* 504: 143 – 157.

Kyselý J., (2009): Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961 – 2005. *International Journal of Climatology* 29: 1745 – 1758

- Leitão M., Morata S. M., Rodriguez S, Vergon J. P.,** (2003): The effect of perturbations on phytoplankton assemblages in a deep reservoir (Vouglans, France). *Hydrobiologia* 502: 73 – 83
- Liška M., Duras J., Potužák J.,** (2009): Vývoj kvality vody nádrže Orlík – Revitalizace Orlické nádrže. *Sborník příspěvků odborného semináře, VŠTE, České Budějovice*: 23 – 30
- Lund J. W. G., Kipling C., Le Cren E. D.,** (1958): The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimation by counting. *Hydrobiologia* 11: 14 – 70
- Mihaljević M., Stević F., Horvatić J.,** (2009): Dual impact of the flood pulses on the phytoplankton assemblages in a Dunabian floodplain lake (Kopački Rit Nature Park, Croatia). *Hydrobiologia* 618: 77 – 88
- Moberg A., Jones P. D.,** (2005): Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe, 1901-99. *International Journal of Climatology* 25: 1149 – 1171
- Naselli-Flores L., Padisák J., Dokulil M. T., Chorus I.,** (2003): Equilibrium/steady-state concept in phytoplankton ecology. *Hydrobiologia* 502: 395 – 403
- Padisák J., Reynolds C. S., Sommer U., Juhász – Nagy P.,** (1993): Hutchinson's heritage: the diversity – disturbance relationship in phytoplankton. *Hydrobiologia* 249: 1 – 7
- Paidere J., Gruberts D., Škute A.,** (2007): Impact of two different flood pulses on planktonic communities of the largest floodplain lakes of the Daugava River (Latvia). *Hydrobiologia* 592: 303 – 314
- Pretel J.,** (2007): Příčiny a projekce vývoje změny klimatu. *Seminář "Změna klimatu a její dopady na toky a nádrže v ČR, HBÚ BC AVČR, České Budějovice, 12. 4. 2007*

- Reynolds C. S.**, (1993): Scales of disturbance and their role in plankton ecology. *Hydrobiologia* 249: 157 – 171
- Reynolds C. S.**, (2006): Ecology of phytoplankton. *Cambridge University Press, Cambridge*: 535 pp.
- Sklenář J.**, (2007): Povodně v ČR a povodňová měření. *Země a cesty, č. 107, příloha Spisy Zeměpisného sdružení* 6: 4 pp.
- Sommer, U., Gliwicz Z. M., Lampert W., Duncan A.**, (1986): PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archives für Hydrobiologie* 106: 433 – 471.
- Stachel B., Jantzen E., Knoth W., Krüger F., Lepom P., Oetken M., Reincke H., Sawal G., Schwartz R., Uhlig S.**, (2005): The Elbe flood in August 2002 – organic contaminants in sediment samples taken after the flood event. *Journal of Environmental Science and Health* 40: 265 – 287
- Znachor P., Hejzlar J., Nedoma J, Rychtecký P.**, (2009): Vliv povodní a přívalových dešťů na sezónní vývoj fytoplanktonu nádrže Římov. *Sborník příspěvků, Česká limnologická společnost, Třeboň*: 295 – 298
- Znachor P., Zapomělová E., Řeháková K., Nedoma J, Šimek K.**, (2008): The effect of extreme rainfall on summer succession and vertical distribution of phytoplankton in a lacustrine part of a eutrophic reservoir. *Aquatic Sciences* 70: 77 – 86