

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze

Katedra ekologie

**Zooplankton horských jezer Šumavy: zotavování
z acidifikace**

Radka Křenová

Bakalářská práce

Praha, letní semestr 2006

Školitelka : RNDr. Veronika Sacherová, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ: Chtěla bych poděkovat své školitelce RNDr. Veronice Sacherové za pomoc při shánění informací, užitečné rady a průběžnou kontrolu při psaní bakalářské práce. Také bych chtěla poděkovat RNDr. Janu Fottovi, CSc za rady a poskytnutí fotodokumentace zooplanktonu šumavských jezer.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

OBSAH

1. ÚVOD	4
2. TYPY ACIDIFIKACÍ VODNÍCH NÁDRŽÍ	5
3. SPECIFIKA HORSKÝCH JEZER ŠUMAVY	6
4. CHEMISMUS HORSKÝCH JEZER ŠUMAVY	6
5. HISTORICKÉ ZÁZNAMY OŽIVENÍ JEZER ŠUMAVY OD POČÁTKU VÝZKUMU DO 60. LET 20. STOLETÍ	8
a) Černé jezero	9
b) Čertovo jezero	11
c) Plešné jezero	13
d) Prášílské jezero	14
e) jezero Laka	16
6. DOPAD ACIDIFIKACE V 80. LETECH 20. STOLETÍ	16
7. ZOTAVOVÁNÍ JEZER Z ACIDIFIKACE VE SVĚTĚ	19
a) Řešení produkce emisí na světové politické scéně	19
b) Zotavování vod z acidifikace	20
8. POPIS SOUČASNÉHO STAVU A OČEKÁVANÝ DALŠÍ VÝVOJ JEZER	21
a) Zooplankton	22
b) Repatriace druhů <i>Daphnia longispina</i> a <i>Cyclops abyssorum</i>	23
9. VÝHLED DO BUDOUCNA	24
10. ZÁVĚR	26
11. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	27
12. PŘÍLOHA	32

ÚVOD

Na jihozápadě Čech, při hranici s Německem a Rakouskem nalezneme pohoří zvané Šumava, které bylo ve čtvrtohorách, tj. před 10 tisíci lety, pokryté ledovci. Dokladem o jejich existenci jsou zdejší glaciální jezera. Do dnešní doby se jich dochovalo 8, z toho 5 na české straně (Černé, Čertovo, Laka, Plešné a Prášílské) a 3 na straně německé (Velké a Malé Javorské a Roklanské). Okolí těchto jezer tvoří druhotný smrkový les, který, jak se v minulosti ukázalo, je náchylnější k napadení škůdci a k větrným polomům. Jezera slouží jako významné a citlivé indikátory změn prostředí a jakékoli změny v jejich okolí se projevují ve složení jezerních vod. Ty nejvýznamnější byly sledovány v období posledních padesáti let a byly způsobeny především atmosférickým znečištěním. V první polovině 80. letech 20. století dosáhla produkce emisí v tzv. Černém trojúhelníku, jak bylo nazýváno území na hranicích České republiky s Polskem a Německem, maximálních hodnot. Ke zmírnění došlo až po roce 1989 v důsledku přechodu od centrálně plánované ekonomiky na tržní hospodářství s větším důrazem na ochranu životního prostředí.

S rostoucím atmosférickým znečištěním se zvyšovalo i okyselení vod a docházelo k ochuzování druhového společenstva. Prvním znakem acidifikace bylo vyhynutí ryb v jezerech. Postupné snižování produkce emisí pozvolna následovalo i ozdravování jezer, které se projevilo zejména ve zvýšení pH jezerní vody a s tím související i změny v druhovém složení. I přesto, že návrat jezer do stavu před acidifikací je velmi pomalý, byli někteří z nás svědky návratu některých druhů do jezer. Jedním z nich byl i návrat druhu *Ceriodaphnia quadrangula* do pelagiálu Černého a posléze i Prášílského jezera. Poslední významnou událostí byl pokus o repatriaci druhů *Daphnia longispina* a *Cyclops abyssorum* do Plešného jezera, kdy o rok později, tedy roku 2005, byl nalezen již druh *Cyclops abyssorum*.

Tato bakalářská práce je literární rešerší, na kterou bych ráda navázala diplomovou prací věnovanou především Plešnému jezeru a dalšímu vývoji do něj reintrodukovaných druhů *Daphnia longispina* a *Cyclops abyssorum*.

TYPY ACIDIFIKACÍ VODNÍCH NÁDRŽÍ

Acidifikací vodních nádrží rozumíme soubor všech příčin, procesů a jejich důsledků, které vedou ke snižování pH (Lellák 1992). V současné době rozlišujeme acidifikaci přirozenou, která je výsledkem přírodních procesů, a antropogenní, jež vzniká činností člověka. Je ovšem nutno mít na paměti, že v přírodě mohou působit obě dvě současně.

Antropogenní acidifikace je způsobená především padáním kyselého deště s obsahem kyseliny sírové a dusičné ze znečištěného ovzduší. Míra kyselosti, která se vyjadřuje pomocí hodnot pH, je dána koncentrací iontů H^+ . Vezmeme-li v úvahu, že dešťová voda v Evropě má bez jakéhokoli ovlivnění pH 5 – 6, což odpovídá koncentraci H^+ iontů 1 - 10 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (Hruška a Kopáček 2005), a dnes dosahuje její pH na většině území hodnot 4 – 4,5 neboli 30 - 300 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (Hruška a Kopáček 2005) H^+ iontů a na některých místech dosahuje dokonce hodnot pH 3, (Lellák 1992), je to dosti alarmující zjištění.

Kyselý dešť vznikají převážně v důsledku lidské činnosti. Tím chci naznačit, že nevznikají jen lidskou činností, ale např. SO_2 se do atmosféry dostává i sopečnou činností. Podobně je to i s NO_x , který vzniká např. při elektrických výbojích v atmosféře (Hruška a Kopáček 2005). Významným zdrojem oxidu siřičitého (SO_2) a oxidů dusíku (NO_x) však je právě spalování fosilních paliv. Tyto oxidy mohou v ovzduší setrvat několik dní a během této doby urazit několika set kilometrovou vzdálenost (Lellák 1992). To znamená, že emise, produkované do ovzduší na území silně industrializovaného státu s minimální ochranou přírody, mohou poškozovat chráněnou přírodu na jiné části zeměkoule (Hruška a Kopáček 2005). Do kontaktu se zemí se sloučeniny síry a dusíku dostávají kyselým deštěm jako tzv. mokřý spad nebo se usazují na vegetaci a nazýváme je suchým spadem (Lellák 1992). Podstatou suchého spadu je zachycení plynů a aerosolů na vegetaci, kde se přemění na kyseliny, které jsou poté spláchnuty deštěm do půdy (Hruška a Kopáček 2005).

Přirozená acidifikace vzniká v důsledku působení přírodních procesů a je spojena především s rozvojem rašeliníku. Jezera, u kterých byla pozorována přirozená acidifikace jsou většinou mělká a jejich pH se pohybuje okolo 3,5 – 4,5 (Ruth a kol. 1981). Na rozdíl od antropogenní acidifikace je její rozvoj pomalý a dává organismům šanci přizpůsobit se nízkému pH (Dangles 2004). Tyto přírodní nádrže obsahují díky jinému chemismu i více látek a živin, které slouží jako živiny pro organismy (Ford, 1990). To dokazuje i existence několika druhů řas, korýšů, vodního hmyzu (Ruth Patrick a kol. 1981). Zároveň uvádějí, že v okolí těchto jezer se v posledních 50 až 100 letech vyskytují i acidofilní stromy.

Proces acidifikace rozděluje Lellák (1992) ve své učebnici Hydrobiologie na 3 stupně:

- 1) v území s lehce zvětrávajícím podložím je voda neutralizována uhličitany. Toto území se vyznačuje vysokou pufrací kapacitou a nedochází tedy k trvalému poklesu pH. Postupem času se však zásoba hydrouhličitany snižuje.
- 2) pH začíná klesat. Za druhý stupeň acidifikace jsou považována ta jezera, u nichž se pH povrchové vrstvy určitou dobu v roce pohybuje okolo hodnoty $\text{pH} = 5$.
- 3) voda má $\text{pH} = 4,5$. Proti dalšímu poklesu pH působí huminové látky a ionty hliníku. Takovéto vodní prostředí je bohužel neslučitelné se životem ryb a je nebezpečné i pro člověka.

Zásadním rozdílem mezi oběma typy acidifikace je míra nepříznivého působení na biologická společenstva a procesy (Dangles 2004). Svou rychlostí i silou převládá acidifikace způsobená činností člověka. Kyselá začnou být především jezera, jejichž podloží má nedostatek elektrolytů, vápníku a hořčíku a tudíž mají i omezenou schopnost vázat volnou kyselinu sírovou (Sládečková a Sládeček 1995). Mezi první signály acidifikace patří hynutí ryb (Lellák 1992).

SPECIFIKA HORSKÝCH JEZER ŠUMAVY

Jak již bylo napsáno v úvodu, šumavská jezera jsou ledovcového původu. Největší a nejnižší položené z českých jezer je Černé jezero, jenž je zahloubené do svoru na severovýchodním svahu Jezerní hory. Na jihovýchodním svahu této hory se nalézá naše druhé největší šumavské jezero, Čertovo jezero. Plešné jezero, nazývané též Balvanité, leží na svahu hory Plechý a narozdíl od předchozích dvou jezer má žulové podloží. Dalším jezerem je Prášilské, které je situováno na severovýchodním svahu Poledníku. Podloží tohoto jezera je tvořeno rulami a žulou. Poslední a zároveň nejmenší z našich pěti jezer je Laka neboli Pleso, které má rulové podloží. Charakteristika jezer je uvedena v tab. č. 1.

CHEMISMUS HORSKÝCH JEZER ŠUMAVY

Chemismus ledovcových jezer na Šumavě ovlivňuje jejich geografická poloha, která souvisí s vývojem půd, vegetace, a geologické podloží. Vzhledem k tomu, že se jedná o horská jezera, mají zdejší půdy menší mocnost než půdy v údolích a tedy i nižší retenční schopnost. Podstatou retenční schopnosti půdy je neutralizování kyselin pomocí bazických iontů, mezi nejdůležitější řadíme vápník (Ca), hořčík (Mg), sodík (Na) a draslík (K) (Hruška

Tab 1. Hlavní charakteristika českých šumavských jezer podle Vrba a kol. (2003)

Název jezera	kód	lokalizace	nadmořská výška (m)	povrch (ha)	hloubka (m)	lesní porost	podloží
Černé jezero	CN	49° 11' z.š. 13° 11' z. d.	1008	18,4	40	Norský smrk	svor
Čertovo jezero	CT	49°10' z. š. 13° 12' z.d.	1028	10,3	36	Norský smrk	svor
Plešné jezero	PL	48°47' z. š. 13°52' z. d.	1090	7,5	18	Norský smrk	žula
Prášílské jezero	PR	49°05' z. š. 13°24' z. d.	1079	4,2	16	Norský smrk	svor a žula
Laka	LA	49°07' z. š. 13°20' z. d.	1096	2,8	3	Norský smrk	rula

a Kopáček 2005). S přibývajícím koncentrací sloučenin síry a dusíku dochází tedy k narušení retenční schopnosti půd a k nárůstu koncentrací těchto látek v povodích (Kopáček a kol. 2001). S okyselením však nesouvisí jen vymývání bazických iontů, ale i uvolňování toxického hliníku, který se do té doby vyskytoval v půdě a v horninách jako nerozpustný a tedy ve formě, kterou rostliny neumí přijmout (Hruška a Kopáček 2005). Přítomností hliníku v této podobě se voda stává závadnou a toxickou pro všechny žijící organismy včetně člověka. V kapitole o acidifikaci jsem se zmiňovala o tom, že prvním znakem okyselení jezera je úhyn ryb. Ten způsobuje právě rozpuštěný hliník, který se v těle ryby, konkrétně na žábrách, kde je vyšší pH, vysráží a ryba umírá na udušení (Hruška a Kopáček 2005).

U šumavských jezer došlo k největšímu narušení retenční schopnosti půd při vyvrcholení atmosférické depozice v Čechách v první polovině 80. let 20. století. Poté následovalo prudké snížení produkce emisí následované snižováním koncentrací síranů, dusičnanů a hliníku v jezerech. Podle J. Kopáčka (Kopáček a kol. 2001) byl odnos síranů v roce 2001 z povodí Plešného a Čertova jezera dvojnásobný oproti atmosférické depozici.

Dalším faktorem, který se podílí na ovlivnění okyselení jezera a jeho přítoků je vegetace. Okolí šumavských jezer je pokryto druhotným smrkovým porostem, ve kterém je v porovnání s listnatým porostem depozice až trojnásobně vyšší (Hruška a Kopáček 2005). Je to způsobeno tím, že jehličnany se vyznačují vyšším specifickým povrchem, na kterém se zachytává větší množství suchého spadu (Hruška a Kopáček 2005).

Nesmíme opominout ani horninové podloží, které také hraje v chemismu šumavských jezer významnou úlohu. Jeho odlišnost souvisí především s dostupností fosforu (P). Žuly, jež se nacházejí v Plešném jezeře, se vyznačují vyšším obsahem fosforu a tedy i jeho rychlejším vyluhováním než ruly a svory v severozápadní části Šumavy (Kopáček a kol. 1998 podle Kopáček a kol. 2001). Tento faktor je zřetelný i v primární produkci, která je limitována právě koncentrací fosforu. Ta se v přítocích Plešného jezera pohybuje mezi 4 – 30 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, zatímco v přítocích ostatních jezer většinou nepřesahuje 1 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (Kopáček a kol. 2001). Mezi další rozdíly ve složení jezerních vod způsobené geologickým podložím je i koncentrace prvků Mg, Fe, Ca a P. Žula v povodí Plešného jezera je bohatší na Ca a P než svory, u kterých je větší podíl Mg a Fe ve srovnání se žulou. Vyšší obsah železa ve svoru pravděpodobně ovlivňuje schopnost zadržovat sírany v půdě. Podstata tohoto procesu však ještě není zcela zřejmá (Kopáček a kol. 2001).

HISTORICKÉ ZÁZNAMY OŽIVENÍ JEZER ŠUMAVY OD POČÁTKU VÝZKUMU DO 60. LET 20. STOLETÍ

Historie jezer a jejich výzkumu zooplanktonu se započala 14. června roku 1871 výpravou prof. Friče a studenta medicíny Hellicha na Čertovo jezero a poté 18. června na Černé jezero. Svůj výlet na jezera podnikali tito pánové z myslivny, kam přenášeli svoje již zakonzervované úlovky a zkoumali je pod mikroskopem. Jako dopravní prostředek po jezeře používali „prám z několika klád, který byl vyroben pomocí keseru z hrubého plátna“. V těchto dnech bylo poprvé zjištěno živočišné složení vzhledem k poloze i hloubce. Skutečně intenzivní výzkum se započal až v roce 1892, kdy bylo povoleno postavit zoologickou stanici na břehu Černého jezera. Ještě téhož roku byla k Černému jezeru z Kačležského rybníka převezena tzv. „létací“ stanice (= mobilní) a byly provedeny i první pokusy s lovením planktonu (Frič a Vávra 1898).

Planktonem nazýváme mikroorganismy pasivně se vznášející nebo omezeně plovoucí ve vodním sloupci, které rozlišujeme na zooplankton (živočichy), fytoplankton (řasy a sinice) a bakterioplankton (bakterie). Mezi nejdůležitější zástupce zooplanktonu patří korýši, vířníci a prvoci. Korýše pak ještě dělíme na perloočky (Cladocera), které jsou herbivorní, a klanonožce (Copepoda) (vznášivky a buchanky), kde buchanky jsou převážně dravé. Nejdůležitější zástupci zooplanktonu šumavských jezer (vyhynulí i současní) jsou uvedeni v tabulce č. 2. Fotodokumentace viz příloha č.1.

Výpravou prof. Friče a Hellicha se sice započal výzkum šumavských jezer, bohužel se však nejednalo o systematický výzkum, ale pouze příležitostný. Proto pokud se ve vzorcích nevyskytuje nějaký druh, nelze z toho vyvozovat žádné závěry. Je totiž pravděpodobné, že se jen nezachytil v síti. Do výzkumu zasáhla druhá světová válka a i po roce 1948 byl přístup k jezerům omezen (Kohout 2001). Nejpodrobnější sbírku historických dat má Černé jezero (Vrba a kol. 2003).

Tab. č. 2.: Nejdůležitější zástupci zooplanktonu šumavských jezer (vyhynulí i současní)

Perloočky (Cladocera)	<i>Acroperus harpae</i> , <i>Alonopsis elongata</i> , <i>Bosmina longispina</i> , <i>Ceriodaphnia quadrangula</i> , <i>Daphnia longispina</i> , <i>Holopedium gibberum</i> , <i>Polyphemus pediculus</i>
Klanonožci (Copepoda)	buchanky: <i>Acanthocyclops vernalis</i> , <i>Cyclops abyssorum</i> , <i>Macrocyclus fuscus</i> vznášivky: <i>Acanthodiptomus denticornis</i> , <i>Heterocope saliens</i> ,
Vířníci (Rotatoria)	<i>Brachionus sericus</i> , <i>Collotheca pelagica</i> , <i>Keratella serrulata</i> , <i>K. testudo</i> , <i>K. ticinensis</i> , <i>K. valga</i> , <i>Microcodon clavus</i> , <i>Polyarthra major</i> , <i>P. remata</i> , <i>Synchaeta oblonga</i> , <i>S. pectinata</i>

V této kapitole se věnuji pouze českým jezerům a to i přesto, že zasažena byla i jezera na německé straně. Je to proto, že bych se do budoucna chtěla zaměřit na studium českých jezer, především na jezero Plešné.

Černé jezero

Prof. Frič zaznamenal 15. června 1871 ve své zprávě o výzkumu Černého jezera, že u břehu s rostlinným porostem se v síti zachytila perloočka *Polyphemus pediculus*, buchanky *Macrocyclus fuscus*, *Eucyclops serrulatus* a vznášivka *Acanthodiptomus denticornis*. V pelagiálu se u hladiny vyskytovaly druhy: *Acanthodiptomus denticornis*, *Cyclops abyssorum* a *Bosmina longispina*. Při zkoumání živočichů v hloubce asi 3 stop (cca 1 metr), objevili v síti velké množství rosolovité hmoty, která měla vzhled bezbarvých rybích jiker. Po bližším ohledání zjistili, že se jedná o tisíce jedinců hrbatky jezerní *Holopedium gibberum*. Podobný nález je čekal i po spuštění sítě do hloubky 5 m. V hloubce 18,5 m byla nalezena především *Daphnia longispina* (Frič a Vávra 1898).

V roce 1890 byly do jezera vysazeny ryby, konkrétně siven americký (*Salvelinus fontinalis*). Tento antropogenní zásah měl za následek narušení stability jezerního ekosystému. Došlo k redukci zooplanktonu, konkrétně vymírání druhů *Holopedium gibberum*, *Daphnia longispina*, *Bosmina longispina* a *Acanthodiptomus denticornis* (Vrba a kol. 2003).

Další antropogenní zásah do ekosystému jezera následoval o 2 roky později. Došlo tehdy ke snížení hladiny téměř o 3 metry kvůli opravě stavidla. Díky tomu zůstala na suchu velká část pobřeží. Od roku 1893, tedy následujícího roku po snížení hladiny, nebyla v jezeře pozorována perloočka *Daphnia longispina* a načas vymizela i perloočka *Polyphemus pediculus*. Frič a Vávra se domnívali, že na vymizení druhu *Daphnia longispina* má svůj podíl nejen rybí predace, ale i právě již zmiňované snížení hladiny, neboť místo, kde bylo obvykle deponováno nejvíce vajíček, zůstalo na suchu a mohlo tak dojít k jejich zničení (Frič a Vávra 1898). Domněnka o zničení vajíček se mi zdá málo pravděpodobná, neboť vajíčka slouží k přežití nepříznivých podmínek, tzn. i vyschnutí.

Ve stejném roce, kdy byla snížena hladina Černého jezera, byla na jeho břehu postavena létací stanice, jež zde setrvala až do roku 1896. Díky ní mohl prof. Frič tentokrát s Dr. Vávrou provádět podrobnější výzkum. Při porovnávání výsledků s údaji z roku 1871 byla například zjištěna absence perloočky *Daphnia longispina*, jež nebyla v jezeře pozorována od roku 1893. Podobně tomu bylo u druhu *Polyphemus pediculus*, který nebyl také od roku 1893 nalezen, ale o 3 roky později, kdy byla hladina opět zvýšena, se v jezeře opět objevil. Další významnou změnou bylo vymizení vznášivky *Acanthodiptomus denticornis* a pouze vzácný výskyt perloočky *Holopedium gibberum*, která se při první návštěvě jezera vyskytovala hojně. Toto vše bylo pravděpodobně způsobeno jak vysazením ryb do jezera, tak i snížením hladiny, která byla zvýšena na původní úroveň až po dvou letech. V pelagiálu se u povrchu objevovalo *Holopedium gibberum*, v hloubce 1 – 5 metrů se nalézala do října 1892 *Daphnia longispina*. V hojném počtu se v hloubce od 5 do 15m vyskytovala perloočka *Bosmina longispina* „*bohemica*“. Ve všech vrstvách žila pouze buchanka *Cyclops abyssorum* (tehdy považována za *Cyclops strenuus* – Kohout 2001). V litorálu se objevila perloočka *Ceriodaphnia quadrangula* a *Acroperus harpae* (původně popsány jako *Acroperus leucocephalus* – Kohout 2001) (Frič a Vávra 1898).

V roce 1936 sledoval na jezeře Šrámek - Hušek vertikální distribuci zooplanktonu. Výsledkem jeho práce bylo odhalení původně v litorálu se vyskytující perloočky *Ceriodaphnia quadrangula* v epilimniu a druhu *Cyclops abyssorum* v metalimniu (Šrámek - Hušek 1942 podle Veselý 1994). Zároveň tak upozornil na vymírání druhů *Holopedium gibberum*, *Daphnia longispina*, *Bosmina longispina* a *Acanthodiptomus denticornis* (Šrámek – Hušek 1942 podle Vrba a kol. 2000). Další výpravu na jezero podnikl v roce 1947 Weiser, který ve výsledcích svého bádání popsal společenstvo zooplanktonu jako druhově chudší s převažující perloočkou *Holopedium gibberum* (Weiser 1947 podle Veselý 1994). Z výsledků Hrbáčkovy expedice

v letech 1960 - 1 se dozvídáme o výskytu druhů: *Cyclops abyssorum*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Acroperus harpae* a *Alonopsis elongata* (Procházková a Blažka 1999). Historické záznamy výskytu jednotlivých druhů zooplanktonu v Černém jezeře jsou uvedeny v tab. 3.

A nyní ještě zabrousíme zpátky do historie. Prof. Frič se studentem Hellichem se nezajímali jen o složení zooplanktonu, ale i o přítomnost ryb. V tomto ohledu však byli neúspěšní a neobjevili žádnou rybu, a to i přesto, že použili dynamitových náloží (Frič 1872,1873 podle Veselý 1994). V roce 1890 bylo do jezera úspěšně vysazeno 1800 sivenů amerických (*Salvelinus fontinalis*). O dva roky později k nim přibylo ještě 8950 sivenů a roku 1893 bylo do jezera nasazeno 30 000 mladých sivenů a 5000 maren (poddruh síha severního – Kohout 2001) (*Coregonus lavaretus wartmanni*). V té době již chycení siveni dosahovali délky 32cm (Frič a Vávra 1898). Vysazení sivena do jezera mělo vliv na druhové složení zooplanktonu (Vrba a kol. 2003). Snížení hladiny o 3 m z důvodu opravy stavidla v roce 1892 (Frič a Vávra 1898) a predace ze strany ryb (Vrba a kol. 2003) měli pravděpodobně za následek úplné vymizení druhu *Daphnia longispina*, neboť poté již v jezeře nebyl pozorován.

Ve zkoumání výskytu ryb pokračoval od roku 1931 také Šámal, který zde chytil ryby 5 až 6 let staré, 22- 28 cm dlouhé (Šámal 1937 podle Veselý 1994). Na jaře roku 1985 byly pozorovány v jezeře některé mrtvé ryby, což bylo pravděpodobně způsobeno jarní epizodickou acidifikací (Borský 1966 podle Veselý 1994). Siveni přežili v Černém jezeře do roku 1975, kdy v důsledku acidifikace vymřeli (Veselý 1994).

Čertovo jezero

I přesto, že Čertovo jezero leží na opačné straně Jezerní hory a tedy relativně blízko jezera Černého, nebyla zde, pro jeho horší přístupnost, postavena létací stanice. Z tohoto důvodu se nemůže pochlubit ani tak rozsáhlou sbírkou historických dat jako jezero Černé. Historie výzkumu se datuje od roku 1871, kdy toto jezero navštívil prof. Frič. Ten při porovnání těchto dvou jezer uvádí, že Čertovo jezero je z hlediska počtu druhů korýšů shodné, jen *Holopedium gibberum* se vyskytovalo v menším množství (Frič a Vávra 1898). Pokus o lov ryb byl bohužel stejně tak neúspěšný jako na jezeře Černém (Frič 1872,1873 podle Veselý 1994). V letech 1894 – 1896 zaznamenali prof. Frič a Dr. Vávra (1898) absenci druhu *Holopedium gibberum* a výraznou převahu perloočky *Daphnia longispina* a buchanky *Cyclops abyssorum*. Druh *Holopedium gibberum* byl přitom nalézán v hojném množství ještě

Tab. č. 3: Zooplankton v Černém jezeře

druhy	1871	1890 1896	1935 1937	1947	1961	1972	1979	1997 2000
Perloočky (Cladocera)								
<i>Acroperus harpae</i>	+	+	+	+	+		+	+
<i>Alona affinis</i>		+	+					(+)
<i>Alona guttata</i>	+	+	+					+
<i>Alonella excisa</i>	+	+	+					+
<i>Alonella nana</i>		(+)	+					
<i>Alonopsis elongata</i>	++	++	++	+	+		+	+
<i>Bosmina longispina</i>	++	++				(+)		
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	(++)?	(+)?	++	+	+		+	++
<i>Daphnia longispina</i>	++	+	?					
<i>Eurycercus lamellatus</i>		+	+					
<i>Holopedium gibberum</i>	++	+		+				
<i>Chydorus sphaericus</i>		+						
<i>Illicryptus sordidus</i>		+						(+)
<i>Peracantha truncata</i>		+						
<i>Polyphemus pediculus</i>	+	(+)	+					
Klanonožci (Copepoda)								
<i>Acanthocyclops vernalis</i>							+	
<i>Cyclops abyssorum</i>	+	+	+	+	+			
<i>Diacyclops nanus</i>		+	+				+	+
<i>Eucyclops serrulatus</i>	+	+	+					+
<i>Macrocyclus fuscus</i>	+	+	+					+

++ hojný, + přítomen, (+) velmi vzácný, ? nejasné

(Frič 1872, Frič a Vávra 1898, Šrámek – Hušek 1942, Weiser 1947, Procházková – os. sdělení, Sládeček 1983, Fott a kol. 1980 a Růžička a kol. 1981 podle Veselý 1994; Vrba a kol. 2003)

v roce 1877 (Hellich 1884 podle Frič a Vávra 1898). Hellich zároveň uvádí i výskyt čočkovců *Acroperus leucocephalus* (syn. *A. harpae*), *Alonopsis elongata*, *Alonella excisa* a *Peracantha truncata* u břehu. Prof. Frič a Dr. Vávra (1898) v letech 1894 – 1896 objevili u břehu převažující *Polyphemus pediculus* a jen malý výskyt *Alonopsis elongata* a *Acroperus harpae*. U západního břehu se nalézala perloočka *Ceriodaphnia quadrangula* a *Eurycercus lamellatus*.

Druhové zastoupení planktonních korýšů od minulosti do současnosti je uvedeno v tabulce č. 4.

Tab. č. 4: Zooplankton v Čertově jezeře (Kohout 2001)

druhy	1871	1894 - 1896	1947	1969	1982- 1993	1983 - 1991	1997 - 2000
Perloočky (Cladocera)							
<i>Acantholeberis curvirostris</i>				+	+		+
<i>Acroperus harpae</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Alona affinis</i>					+		+
<i>Alona guttata</i>					+		
<i>Alona quadrangularis</i>				+	(+)		
<i>Alonella excisa</i>	+				+	+	+
<i>Alonopsis elongata</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Bosmina longispina</i>	+						
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>		+					
<i>Daphnia longispina</i>	+	+					
<i>Eurycercus lamellatus</i>		+					
<i>Holopedium gibberum</i>	+						
<i>Peracantha truncata</i>	+				+		
<i>Polyphemus pediculus</i>	+	+		+			
<i>Simocephalus exspinosus</i>				+			
<i>Strebloceros serricaudatus</i>				+			
Klanonožci (Copepoda)							
<i>Acanthocyclops vernalis</i>					+		+
<i>Acanthodiatomus denticornis</i>	+						
<i>Cyclops abyssorum</i>	+	+					
<i>Diacyclops nanus</i>			+		+		+
<i>Eucyclops serrulatus</i>	+						
<i>Macrocyclus fuscus</i>					+		+

+ druh je přítomen

Plešné jezero

Ani toto jezero nezůstalo opomenuto prof. Fričem a Dr. Vávrou (1898). Navštívili jej o rok později než ostatní šumavská jezera a to v roce 1872 (Frič 1873 podle Kohout 2001). Prof. Frič s Dr. Vávrou (1898) ve své práci uvádějí nález perloočky *Daphnia longispina*, vznášivky *Acanthodiatomus denticornis* a vznášivky *Heterocope saliens*. Tento výčet doplňuje L. Kohout (2001 podle Frič 1873) o litorální perloočku *Simocephalus exspinosus*, *Acroperus harpae* a *Peracantha truncata*. Jako nejdůležitější jsou vyzdvihovány *Daphnia longispina* a *Heterocope saliens* (Frič 1873 podle Veselý 1994). Na výzkum navázal A. Černý (1910 podle Kohout 2001), který zde v letech 1906 – 1910 našel druhy *Daphnia longispina*, *Acroperus harpae*, *Peracantha truncata*, *Alonella excisa*, *Alona affinis* a *Chydorus sphaericus*. Objevení některých nových druhů, při porovnání se seznamem prof. Friče, je pravděpodobně způsobeno intenzivnějším výzkumem. Z vířníků se v jezeře vyskytovaly druhy *Keratella testudo*, *K. quadrata*, *Lecane luna*, *Monostyla cornuta*, *Eothinia elongata*, *Euchlanis* sp., *Lepadella patella*. O padesát let později, v roce 1960,

kdy podnikla na jezero výpravu skupina doc. Hrbáčka, byla zde nalezena pouze buchanka *Cyclops abyssorum* (Procházková a Blažka 1999), vznášivka *Heterocope saliens* a perloočka *Acroperus harpae* (Hrbáček – nepublikováno podle Kohout 2001).

Druhové zastoupení planktonních korýšů od minulosti do současnosti je uvedeno v tabulce č. 5.

Tab. č. 5: Zooplankton Plešného jezera (Kohout 2001)

druhy	1991	1872	1906 - 1910	1960 - 1961	1969	1986 - 1993	1991- 1993	1997 - 2000
Perloočky (Cladocera)								
<i>Acroperus harpae</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Alona affinis</i>	+		+			+	+	+
<i>Alona guttata</i>	+		+		+	+	+	+
<i>Alona quadrangularis</i>	+							
<i>Alona rectangula</i>					+			
<i>Alonella excisa</i>	+		+			+	+	+
<i>Alonella exigua</i>						+		
<i>Alonopsis elongata</i>					+			
<i>Daphnia longispina</i>	+	+	+					
<i>Chydorus sphaericus</i>			+					
<i>Peracantha truncata</i>	+	+	+					
<i>Simocephalus exspinosus</i>		+						
Klanonožci (Copepoda)								
<i>Acanthocyclops vernalis</i>						+		+
<i>Acanthodiptomus denticornis</i>		+	+					
<i>Cyclops abyssorum</i>		+	?	?	?			
<i>Diacyclops nanus</i>			+			+		+
<i>Eucyclops serrulatus</i>			+			+		+
<i>Heterocope saliens</i>		+	+	+	+	+		+
<i>Macrocyclus fuscus</i>			+					
<i>Paracyclops fimbrians</i>								(+)

+ druh je přítomen; (+) druh je vzácný

Prášilské jezero

Počátek zkoumání tohoto jezera se započal, stejně jako u ostatních šumavských jezer, výpravou prof. Friče v roce 1871 (Hellich 1884 podle Veselý 1994). Tato výprava s sebou přinesla zisk bohatého litorálního úlovku. Z nejčastějších jmenuje Kohout (Frič 1872 podle Kohout 2001) ve své diplomové práci perloočky *Acroperus harpae*, *Ceriodaphnia quadrangularis*, *Daphnia longispina*, buchanky *Cyclops abyssorum* a *Eucyclops serrulatus*. Od této doby se výzkum jezera na dlouhou dobu přerušil. Podle Kohouta (2001) se na jezero

vypravila až skupina doc. Hrbáčka v letech 1960 – 1 (Hrbáček a kol. – nepublikováno podle Kohout 2001). Ten zde našel jen druhy *Cyclops abyssorum* a *Daphnia longispina*.

Prof. Frič při své exkurzi neopomněl ani na ryby, které se mu bohužel nepodařilo objevit (Frič 1872,1873 podle Veselý 1994). Ani pokus o jejich vysazení v roce 1908 – 1909 nebyl příliš úspěšný. Veselý se domnívá, že to mohlo být způsobeno nedostatkem kyslíku u dna a přítomností toxického sirovodíku (Veselý 1988 podle Veselý 1994).

Druhové zastoupení planktonních korýšů od minulosti do současnosti je uvedeno v tabulce č. 6.

Tab. č. 6: Zooplankton Prášílského jezera (Kohout 2001)

druhy	1871	1960 - 1961	1986 - 1993	1991,199	1991	1997- 2000
Perloočky (Cladocera)						
<i>Acantholeberis curvirostris</i>						+
<i>Acroperus harpae</i>	+		+	+	+	+
<i>Alona affinis</i>	+		+	+	+	+
<i>Alona costata</i>					+	
<i>Alona guttata</i>			+	+	+	+
<i>Alona quadrangularis</i>					+	(+)
<i>Alonella excisa</i>	+		+	+	+	+
<i>Alonella exigua</i>	+		(+)		+	
<i>Alonella nana</i>	+		+		+	
<i>Alonopsis elongata</i>	+					+
<i>Bosmina longispina</i>					+	
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	+				+	
<i>Diaphanosoma sp.</i>					+	
<i>Daphnia longispina</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Eurycercus lamellatus</i>	+				+	
<i>Graptoleberis testudinaria</i>					+	
<i>Holopedium gibberum</i>						(+)
<i>Chydorus sphaericus</i>	+				+	
<i>Iliocryptus cf. sordidus</i>					+	
<i>Leydigia leydigii</i>		?				
<i>Peracantha truncata</i>	+				+	
<i>Polyphemus pediculus</i>	+		+	+	+	+
<i>Simocephalus exspinosus</i>	+					
Klanonožci (Copepoda)						
<i>Acanthodiantomus denticornis</i>	+					
<i>Cyclops abyssorum</i>	?	+	+			+
<i>Diacyclops nanus</i>			+			+
<i>Eucyclops serrulatus</i>	+					(+)
<i>Macrocyclus fuscus</i>	?		(+)			+

+ druh je přítomen; (+) druh je vzácný

Laka

Ani nejmenší a zároveň nejvýše položené šumavské jezero Laka neušlo pozornosti prof. Friče. Ten jej navštívil rovněž v roce 1871. Nenalezl zde však žádný pelagický druh (Hellich 1884 podle Veselý 1994). V litorálu nalezl 13 běžných perlooček, mezi nimi byl i druh *Alonopsis elongata* a *Polyphemus pediculus* (Hellich 1884 podle Kohout 2001).

Jezero bylo navštíveno Šámalem, Šrámkem-Huškem, Dr. Fottem a Jírovcem v letech 1935 – 6, ale údaje o zooplanktonu chybí (Šámal 1936 podle Kohout 2001).

Poté se však výzkum tohoto jezera na velký čas přerušil, neboť se toto jezero po 2. světové válce nacházelo v hraničním pásmu a bylo tedy obtížné se k němu dostat (Kohout 2001). Jako další navštívila jezero v letech 1960 – 1 skupina doc. Hrbáčka, která nalézala zooplanktonní organismy, kromě Černého a Plešného jezera, jen ojediněle (Procházková a Blažka 1999).

Toto jezero mělo v minulosti jednu velkou zajímavost. Vyskytovalo se v něm totiž velké množství pstruhů obecných (*Salmo trutta*). Toto množství bylo tak velké, že ani 300 – 400 pstruhů vylovených za rok populaci neohrozilo (Švambers 1914 podle Veselý 1994). Pstruzi byli poté do jezera úspěšně vysazeni v roce 1960 (Procházková – os. sdělení podle Veselý 1994). Dnes se však v jezeře pstruzi nevyskytují a přibližný rok jejich vyhynutí není znám. Na nepřítomnost ryb v jezeře ukazuje i hojný výskyt larvy *Chaoborus*, která je potravou ryb (Kohout 2001; Vrba a kol. 2000).

Druhové zastoupení planktonních korýšů od minulosti do současnosti je uvedeno v tabulce č. 6.

DOPAD ACIDIFIKACE V 80. LETECH 20. STOLETÍ

Jak již bylo napsáno, těžké atmosférické znečištění narůstalo na našem území spolu s rozvojem průmyslu během minulého století převážně od 2. světové války do 80. let 20. století a způsobilo značné změny v jezerních ekosystémech. Docházelo k postupnému zmenšování populace až úplnému vymizení některých druhů planktonních korýšů a také ryb.

Z hlediska okyselení jezer bylo nejlépe prozkoumáno Černé jezero (Vrba a kol. 2003), jehož nejpodrobnější sbírka historických dat nám umožňuje určit co možná nejpřesněji celý proces okyselení. Z dostupných chemických analýz z roku 1936 vyplývá, že v jezeře bylo pH

Tab. č. 7: Zooplankton jezera Laka (Kohout 2001)

druh	1871	1986-1993	1991	1997-1999
Perloočky (Cladocera)				
<i>Acantholeberis curvirostris</i>				+
<i>Acroperus harpae</i>	+	+		+
<i>Alona affinis</i>	+	+		+
<i>Alona guttata</i>				(+)
<i>Alona quadrangularis</i>				+
<i>Alonella excisa</i>	+	+		+
<i>Alonella exigua</i>			+	
<i>Alonella nana</i>		+		
<i>Alonopsis elongata</i>	+	+	+	+
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	+	+		+
<i>Daphnia longispina</i>	+	(+)		+
<i>Eurycercus lamellatus</i>	+	+	+	+
<i>Graptoleberis testudinaria</i>				(+)
<i>Chydorus sphaericus</i>	+			
<i>Macrothrix laticornis</i>	+			
<i>Peracantha truncata</i>	+	+	+	+
<i>Polyphemus pediculus</i>	+	+	+	+
<i>Simocephalus vetulus</i>	+	+	+	+
<i>Scapholeberis mucronata</i>	+			
<i>Strebloceros serricaudatus</i>	+			
Klanonožci (Copepoda)				
<i>Acanthocyclops vernalis</i>				+
<i>Diacyclops nanus</i>		(+)		
<i>Eucyclops serrulatus</i>		+		(+)
<i>Macrocyclus distinctus</i>		(+)		
<i>Macrocyclus fuscus</i>		+		+
<i>Paracyclops fimbrians</i>		+		

+ druh je přítomen; (+) druh je vzácný

epilimnia neutrální a koncentrace sloučenin síry a dusíku byly nízké (Jírovec a Jírovcová 1937 podle Vrba 2003). Z toho se dá usuzovat, že jezero nebylo dosud ovlivněno atmosférickou depozicí a ukládání dusíku bylo limitováno lesním porostem (Vrba a kol. 2003). Dusíku je totiž v půdě málo a je proto limitujícím faktorem pro růst vegetace (Hruška a Kopáček 2005). Barva jezera byla tehdy označena jako tmavozelená (Jírovec a Jírovcová 1937 podle Vrba a kol. 2000). S rostoucí depozicí celkového anorganického dusíku ($TIN = NO_3 + NH_4$) se zvyšovala i koncentrace dusíku v půdě, až došlo k nasycení půdního podloží (Vrba a kol. 2003). První signál okyselení jezer zachytila Procházková a Blažka v roce 1960 (Procházková a Blažka 1999). Ti naměřili v srpnu roku 1960 v Černém jezeře pH 6, v Čertově jezeře bylo

pH 5, v Laka 5,8, v Prášílském jezeře 5,3 a v Plešném jezeře 5,0. Ze zooplanktonu byly v Černém jezeře zjištěny druhy *Ceriodaphnia quadrangula*, *Cyclops sp.*, *Acroperus harpae* a *Alonopsis elongata* (syn. *Acroperus elongatus*) a v Plešném jezeře *Cyclops sp.* Ani v jednom z těchto dvou jezer tedy nebyl zachycen druh *Daphnia longispina*. V průběhu 60. a 70. let 20. století začala v jezeře v důsledku nasycení půdního podloží vzrůstat současně koncentrace NO_3 a SO_4 a byl zaznamenán pokles pH a to o celé 2 jednotky (viz graf č.1) (Vrba a kol. 2003). Takto vzrůstající acidifikace byla limitující pro pstruha obecného (*Salmo trutta*), který byl naposledy pozorován v jezeře v roce 1962 (Vrba a kol. 2003). O něco odolnější se ukázal být siven americký (*Salvelinus fontinalis*), jenž zde přežil až do roku 1975 (Veselý 1994; Vrba a kol. 2003). Vyvrcholení acidifikace v první polovině 80. let 20. století se projevilo vysokou koncentrací hliníku, která v Černém jezeře dosahovala přibližně $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Veselý a kol. 1998 podle Vrba a kol. 2003). Pokles hliníku můžeme sledovat po vyvrcholení acidifikace a je znázorněn v grafu č. 1.

Graf č. 1: Dlouhodobý vývoj Černého jezera v období acidifikace (Vrba a kol. 2003)

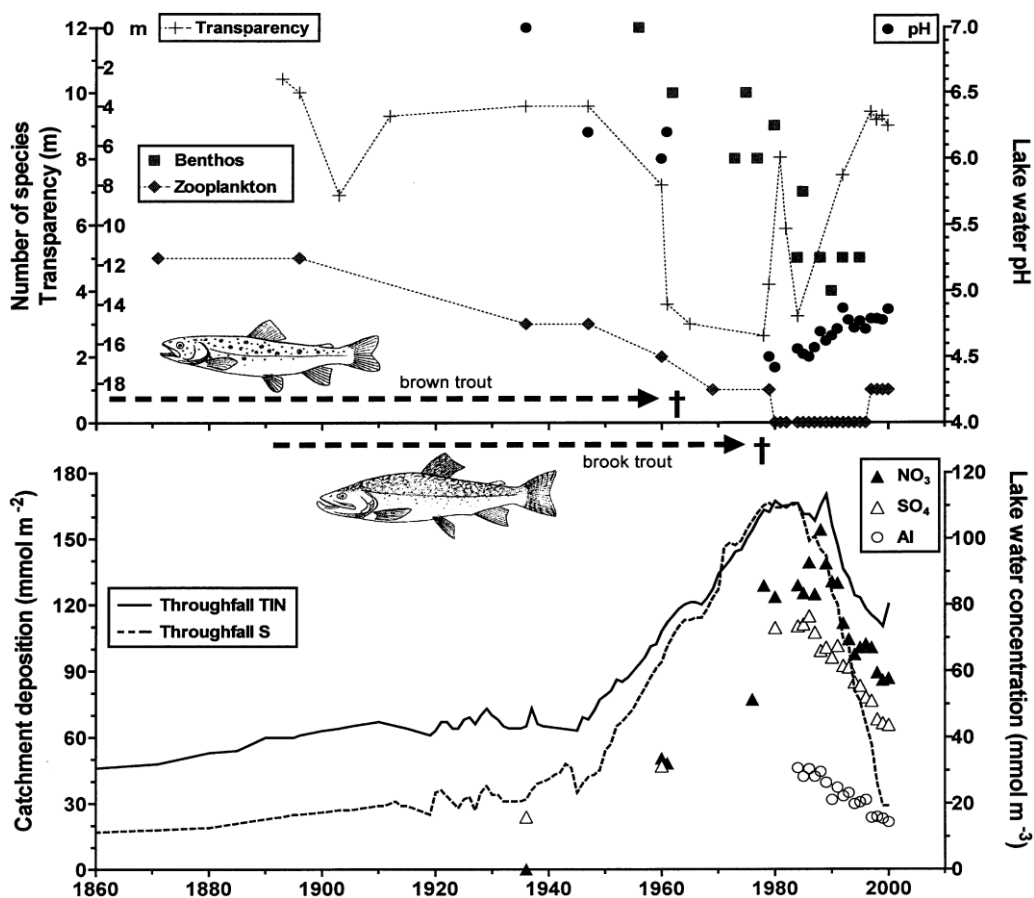


Fig. 1. Long-term limnological data on Černe Lake, 1871–2000 (from different sources): number of conspicuous zooplankton (Crustacea caught by plankton nets in the pelagial) and benthos (Ephemeroptera and Plecoptera) species (top left axis, left scale); lake water transparency as Secchi depths (top left axis, right scale), pH (top right axis), and concentrations of sulphate (SO_4), nitrate (NO_3), and aluminium (Al) (bottom right axis); estimated atmospheric deposition trends for sulfur (S) and total inorganic nitrogen (TIN) on the catchment (bottom left axis).

Bylo pozorováno též vymírání zooplanktonních korýšů a pobřežního makrozoobentosu. Výsledkem již tak velké acidifikace Černého jezera bylo přežití perloočky *Ceriodaphnia quadrangula* a vířníků *Microcodon clavus* a *Polyarthra remata*. V 80. letech 20.století vyvrcholil proces acidifikace jezera. Nepříznivé období přežila perloočka *Ceriodaphnia quadrangula* pravděpodobně v litorálu a její návrat do pelagiálu byl pozorován až v roce 1997 (Vrba a kol. 2003). V pelagiálu nebyla nalezena od roku 1979 a v litorálu od roku 1981 (Kořínek – nepublikované protokoly podle Kohout 2001). To, že nebyla nalezena od roku 1981 v litorálu samozřejmě neznamená, že se v jezeře nevyskytovala. Mohla zde přežívat ve velmi malých počtech. Podobně jako v Černém jezeře, probíhala acidifikace i v dalších šumavských jezerech, kde se projevila změnou ve složení vody a redukcí biodiverzity (Vrba a kol. 2003).

Jediné jezero, jenž bylo okyselené jen dočasně, je Laka. Bylo to pravděpodobně způsobeno tím, že je z acidifikovaných jezer nejmělkčí a má tedy největší plochu podloží. Okyselení v Javorských jezerech na německé straně způsobilo vyhynutí ryb již na přelomu 50. a 60. let (Arzet a kol. 1986 podle Vrba a kol. 2003).

ZOTAVOVÁNÍ JEZER Z ACIDIFIKACE VE SVĚTĚ

Vysoká produkce emisí sloučenin síry a dusíku způsobila acidifikaci povrchových vod nejen v České republice, ale i v celé Evropě a v Severní Americe. V Kanadě v okolí města Sudbury, kde se nachází tavírna, došlo nejen k okyselení jezer, ale i k jejich znečištění kovy (Pollard a kol. 2003). Zde je nutné si uvědomit, že emise produkované na nějakém území mohou ovlivnit životní prostředí na území vzdáleném stovky kilometrů od místa vzniku. Proto bylo a je nutné řešit tento problém na mezinárodní ne-li na celosvětové úrovni. Produkce emisí způsobila nejen změny v chemismu jezer, ale i ve složení jejich společenstva.

Řešení produkce emisí na světové politické scéně

Z rozsáhlého výzkumu evropských jezer a toků vyplynulo, že ve 25% těchto vod byla alkalita (ANC, rozdíl bazických iontů a kyselých iontů) pod $0 \mu\text{eq} \cdot \text{l}^{-1}$ a docházelo v nich k vymírání ryb. Toto zjištění vedlo v roce 1979 (Jenkins a kol. 2003) Evropskou komisi (United Nations Economic Commission for Europe (UN-ECE)) (Evans a kol. 2001) k založení evropské konvence o dálkovém přenosu škodlivin (Convention on Long – range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)), která přijala čtyři protokoly. První protokol z roku

1985 byl dohodou o omezení emisí sloučenin síry o 30% do roku 1993 ve srovnání s rokem 1980 (Jenkins a kol. 2003). Druhá dohoda z roku 1988 se týkala sloučenin dusíku a další redukce emisí síry (Evans a kol. 2001). Další dohoda, v pořadí již třetí, z roku 1994 má za cíl celkovou redukci emisí o 80% do roku 2010 a při porovnání se stavem v roce 1980. A zatím poslední protokol, Multi-Pollutant, Multi-Effect (Gothenburg) Protocol, byl podepsán roku 1999 a klade si za cíl snížení acidifikace, eutrofizace a přízemního ozonu stanovením horní hranice produkce S, N a nestabilních organických sloučenin (Jenkins a kol., 2003). Evans (Evans a kol. 2001) uvádějí redukci emisí o 80% do roku 2010 až jako součást dohody Multi – Pollutant, Multi – Effect (Gothenburg) Protocol.

Analýzou změn v ekosystémech ovlivněných acidifikací se zabývá Water Framework Directive Evropské Unie. Všechna data z Evropy a Severní Ameriky jsou shromažďována v International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes (ICP – Waters) (Evans a kol. 2001). Nemohu opomenout ani projekty RECOVER:2010 a EMERGE, jenž se zabývají okyselenými jezery a potoky v Evropě (Jenkins a kol. 2003). Projekt Euro-limpacs se věnuje modelování budoucího vývoje sladkovodních ekosystémů.

Zotavování vod z acidifikace

Při studiu zotavování z acidifikace v Evropě byla sledována jezera a toky v Itálii, na Slovensku, v České republice, Německu, Finsku, Švédsku, Norsku a ve Velké Británii. Většina z těchto míst se nachází na podloží citlivém na acidifikaci (žula, rula), v nejrůznějších nadmořských výškách a s odlišnou vegetací pokrývající povrch povodí. Hlavním měřítkem pro okyselení byla kapacita neutralizující kyseliny (ANC), která se počítá jako rozdíl basických kationtů (Ca, Mg, Na, K) a kyselých aniontů (Cl, SO₄, NO₃), pH, sírany, vápník, dusičnany a rozpustný hliník (Evans a kol. 2001).

Z výzkumu vyplynulo, že ve všech zemích došlo po snížení produkce emisí sloučenin S i k redukci síranů ve vodách. Ačkoliv nebyla tato redukce tak výrazná jako tomu bylo u emisí, výsledkem bylo pomalé zlepšování ANC a zvyšování pH. Kromě snižování produkce sloučenin síry byl sledován i pokles obsahu dusičnanů. Největší úbytek dusičnanů byl zaznamenán v České republice, na Slovensku a v Německu. V Itálii a Německu bylo sledováno zvýšení množství dusičnanů (Evans a kol. 2001).

Celkové zotavování bioty z acidifikace se projevuje postupným zvyšováním abundance druhů citlivých k okyselení na úkor abundance acidotolerantních druhů.

Jako dobré indikátory acidifikace uvádí Walseng (Walseng a kol. 2003) 2 typy druhů: 1) acidotolerantní druhy, jenž se vzácně vyskytují v neacidifikovaných jezerech a 2) citlivé druhy, které se nachází výhradně v neacidifikovaných jezerech. Z konkrétních druhů patřících do první kategorie vyjmenovává acidofilní perloočky *Alona rustica* a *Acantholeberis curvirostris* (Potts a kol. 1979 podle Walseng 2003) a z druhé kategorie uvádí buchanku *Diacyclops nanus* převažujícího v litorálu po acidifikaci (Walseng a Karlsen 2001, Walseng a kol. 2001 podle Walseng 2003). Jediný druh, jenž je tolerantní k okyselení i znečištění kovy, je buchanka *Acanthocyclops vernalis* (Yan a kol. 1980 podle Walseng a kol. 2003).

Dalším znakem zotavování je návrat původních druhů z trvalých vajíček. V šumavských jezerech se tak stalo u perloočky *Ceriodaphnia quadrangula*, jež se v Černém jezeře v době vyvrcholení acidifikace vyskytovala jen ve velmi malém množství a v Prášílském jezeře byla naposledy pozorována v roce 1871, se již vyskytuje v pelagiálu obou jezer. V norských jezerech se po vápnění jezera objevila perloočka *Daphnia longispina* a *Ceriodaphnia quadrangula* (Halvorsen, 2005)

POPIS SOUČASNÉHO STAVU A OČEKÁVANÝ DALŠÍ VÝVOJ JEZER

Jak již bylo naznačeno v předchozí kapitole, došlo v České republice po roce 1989 v důsledku politických změn k výraznému zmenšení produkce emisí do atmosféry. Jen v roce 2000 bylo ve srovnání s polovinou 80. let 20. století produkováno o 87 % méně SO₂, o 51% méně NO_x a o 44% méně NH₃ (Veselý a kol. 2004). Na tyto změny zareagovaly jezerní ekosystémy, kde byl ze začátku sledován strmý pokles koncentrací síranů, dusičnanů a hliníku (Vrba a kol. 2001) V souvislosti s tím došlo ke zvyšování pH, poklesu koncentrací iontového hliníku (Veselý a kol. 2004) a následovaly i další změny. Obsah síranů v Černém, Čertově a Plešném jezeře poklesl v letech 1984 – 1995 o 26 – 30% a v Prášílském jezeře o 38%. Byl tedy nižší než pokles koncentrace oxidu siřičitého v ovzduší, který se snížil o 70% (Veselý 1996). Došlo též k poklesu dusičnanů. Obsah anorganického dusíku v jezerech však není ovlivněn pouze atmosférickou depozicí, ale i biospotřebou fytoplanktonem, vyššími rostlinami a mikrobiologickými procesy (Veselý 1996). Relativně největší byl pokles dusičnanů v Plešném a Čertově jezeře, kde byl zaznamenán po roce 1990 také největší nárůst řas. (Veselý 1996)

Podle chemického rozboru přítoků a jezerní hladiny v září 1999 a 2003 (Vrba a kol. 2003), rozdělil Vrba jezera na:

silně acidifikované: Rachelsee, Plešné, Černé, Čertovo

mírně acidifikované: Prášilské, Kleiner Abersee

zásadité: Grosser Abersee, Laka

Zooplankton

V průběhu acidifikace jezer došlo k vymizení nebo zmenšení počtu planktonních druhů v jezerech. Proto byl a je sledován jejich výskyt, zvyšování jejich početnosti a jejich chování v jezerech. Za první významný krok v procesu ozdravování jezer je považován návrat perloočky *Ceriodaphnia quadrangula* do pelagiálu Černého jezera, kde je pozorována od roku 1997 (Vrba a kol. 2000). Od roku 2002 se *Ceriodaphnia quadrangula* vyskytuje sice vzácně, ale přece, také v pelagiálu Prášilského jezera (Vrba a kol. 2004). Tato perloočka nebyla v pelagiálu nalezena od roku 1979 a v litorálu od roku 1981 (Kořínek – nepublikované protokoly podle Kohout 2001). Dalším ukazatelem návratu do původního stavu je i zvýšení počtu planktonních vířníků v Plešném jezeře a nález vířníků *Keratella testudo* v jezeře Laka a Grosser Abersee a *Keratella valga* v Kleine Abersee (Vrba a kol. 2004). Srovnání některých významných druhů před a po acidifikaci ukazuje tab. č. 8.

Tab. č. 8: Srovnání některých významných druhů planktonních korýšů před a po acidifikaci (Vrba a kol. 2003)

Druhy	Černé	Čertovo	Plešné	Prášilské	Laka	Malé Javorské	Velké Javorské	Roklanské
Cladocera								
<i>Bosmina longispina</i>	V	V	-	V	-	-	V	-
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	P	V	V	P	P	P	P	-
<i>Daphnia longispina</i>	V	V	V	P	P		V	V
<i>Holopedium gibberum</i>	V	V	-	-	-	V	P	-
Copepoda								
<i>Acanthodiantomus denticornis</i>	V	V	V	V	-	V	V	V
<i>Cyclops abyssorum</i>	V	V	V	P	-	-	P	V
<i>Heterocope saliens</i>	-	-	P	-	-	-	-	-

- druh se zjevně v jezeře nikdy nevyskytoval, **V** druh byl přítomen a vyhynul, **P** druh žijící v jezeře dodnes

Změny v zotavování jezer jsou velmi zřetelné při porovnávání dat za delší časový úsek a právě porovnávání vývoje složení a abundance zooplanktonu v jezerech po ústupu

acidifikace se věnoval Kohout (2001). V jeho diplomové práci se můžeme dočíst, že v Černém jezeře, kde z vířníků na přelomu 80. a 90. let převládal druh *Microcodon clavus*, již v letech 1997 – 1999 dominoval druh *Polyarthra remata*. Rovněž zde bylo sledováno v jarním období v letech 1997 – 1999 zvýšení abundance druhu *Synchaeta oblonga*. V Čertově jezeře nebyly podle Kohouta (2001) zaznamenány žádné významné změny. Nacházejí se zde vířníci *Polyarthra remata*, *Microcodon clavus* a buchanka *Acanthocyclops vernalis*. Pokles abundance vířníka *Polyarthra remata* byl sledován v Prášílském jezeře, kde v letech 1997 - 1999 převažoval druh *Daphnia longispina* nebo *Cyclops abyssorum*. Další významné změny byly zaznamenány v Plešném jezeře, kde se zvýšila abundance vířníků *Keratella serrulata*, *Collotheca pelagica*, *Brachionus sericus* a *Microcodon clavus*. Vrba a kol. (2004) tento jev přisuzují dostupnější potravní nabídce fytoplanktonu, která je ovlivňována přísunem fosforu a hliníku. Fosfor se uvolňuje ze žuly, která tvoří podloží Plešného jezera. Převažující planktonní korýši a vířníci a jejich abundance jsou uvedeny v tab. č. 9.

Tab. č. 9: Porovnání jezer podle průměrné biomasy planktonních korýšů a vířníků z let 1997 – 2000 (Kohout 2001)

Název jezera	Průměr biomasy plankton. korýšů ($\mu\text{g C.l}^{-1}$)	Převažující druhy plankton. korýšů	Průměr biomasy plankton. vířníků ($\mu\text{g C.l}^{-1}$)	Převažující druhy plankton. vířníků
Černé jezero	0,68	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	1,58	<i>Polyarthra remata</i>
Čertovo jezero	0,28	<i>Acanthocyclops vernalis</i>	0,74	<i>Polyarthra remata</i> , <i>Microcodon clavus</i>
Plešné jezero	2,83	<i>Heterocope saliens</i> , <i>Acanthocyclops vernalis</i>	0,47	<i>Synchaeta oblonga</i>
Prášílské jezero	46,46	<i>Daphnia longispina</i> , <i>Cyclops abyssorum</i>	2,69	<i>Polyarthra remata</i>
Laka	0,99		12,61	<i>Polyarthra remata</i>

Repatriace druhů *Daphnia longispina* a *Cyclops abyssorum*

S pomalým, ale soustavným zlepšováním chemismu jezer se naskytla otázka, zda by současný stav chemismu jezer umožnil přežití druhů zooplanktonu, které se v jezerech vyskytovaly v minulosti. Jednou z možností návratu vymizelých druhů je propojení jezer vodními toky. To bohužel u šumavských jezer chybí. Druhou možností je přenos potřebného množství jedinců větrem či vodními ptáky. Toto řešení je méně pravděpodobné vzhledem k množství jedinců, které by muselo být přeneseno. Další možností přirozeného návratu je vylíhnutí z trvalých vajíček perlooček v sedimentu (Kohout a Fott, 2006 – nepublikovaný

rukopis). Tato zásoba vajíček je nazývána „egg bank“ (Petrušek a kol. 2003). Cladocera na podzim vytvářejí tzv. ehipia, která obsahují vajíčka, jenž jsou v této podobě schopné přežít nepříznivé podmínky (Fryer 1996 podle Petrušek a kol. 2003) a zároveň se rozšiřovat za pomoci různých predátorů (Proctor 1964, Mellors 1975, Charalambidou & Santamaria 2002 podle Petrušek 2003). Vajíčka mohou přežít na dně v klidu velmi dlouhé období – desítky, stovky, dokonce i tisíce let. Zachovají-li si životaschopnost, mohou sloužit k znovuoobnovení populace v jezeře (Petrušek a kol. 2003). Výzkumu těchto vajíček v sedimentu jezer se věnovala Faustová (2002).

V letech 2002 – 2003 byla zkoumána Mgr. Kohoutem a Dr. Fottem možnost přežití některých druhů planktonních korýšů ve vodě z acidifikovaných jezer. (Kohout a Fott 2004). Z druhů *Ceriodaphnia quadrangula* z Černého jezera, *Holopedium gibberum* ze Žďárského jezírka a *Daphnia longispina* z Prášílského jezera se jako nejvhodnější pro repatriaci ukázala být *Daphnia longispina*, které se v laboratorním experimentu nejlépe dařilo ve vodě z Plešného jezera (Kohout a Fott 2004). Na základě výsledků bylo rozhodnuto, že v září a říjnu 2004 bude proveden odlov perloočky *Daphnia longispina* a buchanky *Cyclops abyssorum* z Prášílského jezera, které budou posléze vysazeny do Plešného jezera, kde se vyskytovaly i před acidifikací. (Kohout a Fott 2003, 2004). V roce 2005 byl v Plešném jezeře zaznamenán výskyt druhu *Cyclops abyssorum*. Vzhledem k tomu, že byl odlov a následné vysazení do Plešného jezera proveden na podzim, kdy tvoří perloočky ehipia, je pravděpodobné, že se letos na jezeře objeví i *Daphnia longispina* (Fott – osobní sdělení). Tento způsob repatriace planktonních živočichů do horských jezer nebyl ojedinělý. Byl prováděn již v Kanadě, kde byla do horského jezera úspěšně vysazena vznášivka *Hesperodiaptomus arcticus*, u které byl poté sledován její vliv na formování planktonního společenstva (Schindler & Parker, 2002).

VÝHLED DO BUDOUCNA

Budoucnost jezer a jejich výzkumu? Ve své diplomové práci bych se chtěla věnovat sledování vývoje populace druhu *Cyclops abyssorum*, která byla úspěšně reintrodukována do Plešného jezera v roce 2004. Pokud se v letošním roce objeví ve vzorcích z jezer i druh *Daphnia longispina*, který byl do jezera navrácen spolu s druhem *Cyclops abyssorum*, zaměřím svoji pozornost i na ni. Předpokládá se, že populace reintrodukovaných druhů bude zpočátku exponenciálně narůstat a po čase se ustálí. Podobný průběh uvádí ve svém článku Schindler a Parker (2002). Exponenciální nárůst populace bude umožněn velkým rozvojem

fytoplanktonu a zvýšením abundance vířníků, které je v Plešném jezeře pozorováno (Kohout, 2004). Chybí zde však vyšší trofická úroveň (Vrba J. a kol. 2003). S vývojem populace druhu *Cyclops abyssorum* souvisí i otázka koexistence tohoto druhu s druhem *Heterocope saliens*, který v současné době v jezeře převládá. Bylo zjištěno, že tento druh se v Plešném jezeře vyskytuje převážně v epilimniu, zatímco *Cyclops abyssorum* v Prášilském jezeře spíše u dna. Součástí dalšího výzkumu by tedy mělo být zkoumání koexistence druhů *Cyclops abyssorum* a *Heterocope saliens* i to, zda se *Cyclops abyssorum* vyskytuje u dna Plešného jezera stejně jako v Prášilském jezeře nebo ne.

Součástí navazujícího výzkumu by mělo být i potvrzení morfologickými a molekulárně biologickými metodami, zda reintrodukované druhy opravdu pocházejí z Prášilského jezera. Tyto druhy se v Plešném jezeře vyskytovaly již před acidifikací a v jezerních sedimentech jsou uložena jejich trvalá vajíčka, ze kterých by mohla být populace znovu založena. To však považuji za nepravděpodobné, neboť při zkoumání trvalých vajíček ze sedimentů Černého, Čertova a Plešného jezera bylo zjištěno, že jich převážná většina není životaschopná (Faustová 2004).

ZÁVĚR

1) **Zotavování jezer z acidifikace**

Návrat jezer do původní stavu, ve kterém se nacházely před acidifikací, je mnohem méně výrazný než snížení produkce emisí, které následoval. V současné době a do budoucna však nelze očekávat další výrazné změny ani v produkci emisí a tedy ani v zotavování jezer. Spíše lze očekávat nárůst sloučenin dusíku v ovzduší a to z neustále se zvyšující automobilové dopravy. O pomalém zotavování svědčí i fakt, že ze šumavských jezer na české straně jsou stále silně acidifikovaná jezera Černé, Čertovo a Plešné. Významným krokem v zotavování jezer byl návrat perloočky *Ceriodaphnia quadrangula* do pelagiálu Černého a Prášílského jezera. Bylo sledováno i zvýšení počtu vířníků v Plešném jezeře, kde to je pravděpodobně způsobeno dostupnější potravní nabídkou fytoplanktonu.

2) **Repatriace druhů *Daphnia longispina* a *Cyclops abyssorum***

Jako důkaz zlepšení životních podmínek v jezerech může sloužit i repatriace druhů *Daphnia longispina* a *Cyclops abyssorum* z Prášílského jezera do Plešného, která se uskutečnila na podzim roku 2004. V roce 2005 byl zaznamenán již výskyt druhu *Cyclops abyssorum* a očekává se i objevení perloočky *Daphnia longispina*. Jejich repatriace je významná z více důvodů. Na Plešném jezeře chybí planktonní perloočky, které by redukovaly rozvoj fytoplanktonu a výskyt druhu *Cyclops abyssorum* je vázán na ledovcová jezera. Do budoucna bude zajímavé sledovat jejich další vývoj v jezeře. Další výzkum se bude zabývat především o vztahy mezi nově introdukovaným druhem *Cyclops abyssorum* a vznášivkou *Heterocope saliens*, která v jezeře přečkala acidifikaci.

Přehled použité literatury:

- Arzet K., Krause – Dellin D. a Steinberg C., 1986:** Acidification of four lakes in the Federal Republic of Germany as reflected by diatom assemblages, cladoceran remains and sediment chemistry. Smol JP, Battarbee RW, Davis RB, Merilainen J., editors. Diatoms and lake acidity. Dordrecht, The Netherlands: Dr. W. Junk, 1986: 227 – 250, převzato
- Borský V., 1966:** Zpověď Jezerní stěny [A confession of the Lake headwall]. Potápěč, Praha: 10 – 11 (in Czech), převzato
- Černý A., 1910:** Beiträge zur Biologie des Plöckensteinsees im Böhmerwalde. Fünfter Jahresbericht der k. k. realschule im XVI. Bezirke in Wien, Verlag der k. k. Staatrealschule im XVI. Bezirke in Wien: 5 – 22, převzato
- Dangles O., Malmqvist B. a Laudon H., 2004:** Naturally acid fresh ecosystems are diverse and functional: evidence from boreal streams. *Oikos* 104: 149 – 155
- Evans C. D., Cullen J. M., Alewell C., Kopáček J., Marchetto A., Moldan F., Prechtel A., Rogora M., Veselý J. a Wright R., 2001:** Recovery from acidification in European surface waters. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5 (3): 283 – 297
- Faustová M., 2002:** Ekologické a genetické charakteristiky trvalých vajíček zástupců rodu *Daphnia* šumavských jezer. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze
- Faustová M., Petrusek A. a Černý M., 2004:** Status of *Daphnia* resting egg banks in Bohemian Forest lakes affected by acidification. *Hydrobiologia* 526: 23 – 31
- Ford Mary S., 1990:** A 10 000 – yr history of natural ecosystem acidification. *Ecological Monographs*, 60(1): 57 - 99
- Fott J., Havel L., Pechar L., Růžička L., Stuchlík E. a Vrba J., 1980:** Zpráva o současném stavu acidifikace Černého jezera [A report on recent status of acidification of Černé Lake]. Ms., Katedra parazitologie a hydrobiologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Praha: 1 – 25, převzato
- Fott J., Pražáková M., Stuchlík E. a Stuchlíková Z., 1994:** Acidification of lakes in Šumava (Bohemia) and in the High Tatra Mountains (Slovakia). *Hydrobiologia* 274: 34 - 47
- Frič A., 1872:** Ueber die Fauna der Böhmerwaldseen. Sitzungsbericht der Königlichenböhmisches Gesellschaft der Wischenschaften, Prag, 1: 3 – 12, převzato

- Frič A., 1873:** Über weitere Untersuchungen der Böhmerwaldseen. Sitzungsbericht der Königlich-böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, Prag, 3: 103 – 109, převzato
- Frič A. a Vávra V., 1898:** Výzkum dvou jezer šumavských, Černého a Čertova. [Research of two Bohemian Forest lakes, Černé a Čertovo]. Archív pro přírodovědný výzkum Čech, 10: 1 – 66
- Fryer G., 1996:** Diapause, a potent force in the evolution of freshwater crustaceans. Hydrobiologia, 320: 1 – 14, převzato
- Halvorsen G., 2005:** Easy come – easy gone. Recovery of *Daphnia longispina* after liming. Acid rain 2005. Conference abstracts. Session 11: 42 str.
- Hellich B., 1884:** Perloočky země České [Cladocera of Bohemia]. Archív pro přírodovědný výzkum Čech, Praha, 3: 130 str., převzato
- Hruška J. a Kopáček J., 2005:** Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. Planeta 2005, ročník XII, číslo 5/2005
- Charalambidou I. a Santamaria L., 2002:** Waterbirds as endozoochorous dispersers of aquatic organism: a review of experimental evidence. Acta Oecologia, 23: 165 – 176, převzato
- Jírovec O. a Jírovcová M., 1937:** Le chemisme des lacs de la Šumava (Forêt Bohême). Věstník královské české společnosti. Praha, třída II 1937; 13: 1 – 21, převzato
- Jenkins A., Camarero L., Cosby B. J., Ferrier R. C., Forsius M., Helliwell R. C., Kopáček J., Majer V., Moldan F., Posch M., Rogora M., Schöpp a Wright R. F., 2003:** A modelling assessment of acidification and recovery of European surface water. Hydrology and Earth System Sciences, 7 (4): 447 - 455
- Kohout L., 2001:** Zooplankton šumavských jezer. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, 156 str.
- Kohout L. a Fott J., 2003:** Zotavování zooplanktonu šumavských jezer z acidity v období reverze chemismu a možnosti klíčových druhů. In: Proceedings of the 13th conference of Slovak limnological society, **Bitušík P. a Novikmec M (eds)** *Acta facultatis ecologiae*, 10, Suppl. 1.: 119 - 122
- Kohout L. a Fott J., 2004:** Obnova zooplanktonu Plešného jezera pomocí repatriace dvou klíčových druhů. Aktuality šumavského výzkumu II. Srní 4. – 7. října 2004, str. 172 - 175

- Kopáček J., Veselý J. a Hejzlar J., 1998:** Bedrock and soil composition: Crucial factors governing phosphorus input and trophic status of forest lakes in Bohemian Forest. Acta Universitatis Carolinae – Geologica. 42: 55 - 59
- Kopáček J., Hejzlar J., Káňa J. a Porcal P., 2001:** Faktory ovlivňující chemismus šumavských jezer. Aktuality šumavského výzkumu. Srní 2. – 4. dubna 2001, str. 63 – 66
- Lellák J. a Kubíček F., 1992:** Hydrobiologie. Karolinum, Praha
- Mellors W. K., 1975:** Selective predation of ephipial *Daphnia* and the resistance of ephipial eggs to digestion. Ecology, 56: 974 – 980, převzato
- Ošmera S., 1971:** K poznání zooplanktonu šumavských jezer. Ochranařský průzkum 2: 5 - 8
- Petrusek A., Faustová M. a Černý M., 2003:** *Daphnia* resting eggs in the sediment of Bohemian Forest lakes: an evidence for sediment disturbance. Silva Gabreta 9: 71-80
- Pollard H. G., Colbourne J. K. a Keller W. B.: 2003:** Reconstruction of centuries – old *Daphnia* Communities in a Lake Recovering from Acidification and Metal Contamination. Ambio. Svazek 32, č. 3
- Potts, W. T. W. a Fryer G., 1979:** The effects of pH and salt content on sodium balance in *Daphnia magna* and *Acantholeberis curvirostris* (Crustacea: Cladocera). J. Comp. Physiol. 129, 289 – 294, převzato
- Procházková L. a Blažka P., 1999:** Chemismus a oživení šumavských jezer na počátku 60-tých let. [Chemistry and biology of the Bohemian Forest lakes in the early 1960s]. Silva Gabreta 3: 65 – 72
- Proctor V. W., 1964:** Viability of crustacean eggs recovered from ducks. Ecology, 45: 656 – 658, převzato
- Ruth P., Binetti V. P. a Halterman S. G., 1981:** Acid lakes from natural and anthropogenic causes. Science. Vol. 211, 30. January 1981
- Růžička L., Stuchlík E., a Vrba J., 1981:** Limnologický výzkum Černého jezera na Šumavě [Limnological research of Černé Lake in the Bohemian Forest]. Ms., Katedra parazitologie a hydrobiologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze: 44 str., převzato
- Schindler, D.W. a Parker, B.R., 2002:** Biological Pollutants: Alien Fishes in Mountain Lakes. Water, Air, and Soil Pollut.: Focus 2: 379 – 397

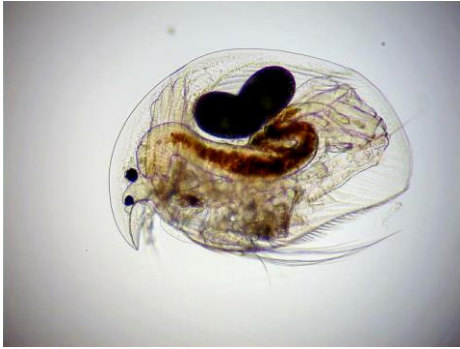
- Sládeček V., 1983:** Acidifikace Černého jezera [Acidification of Černé Lake]. Vodní hospodářství, B 33(10): 260, převzato
- Sládečková A. a Sládeček V., 1995:** Hydrobiologie. ČVUT, Praha 6
- Šámal J., (1936):** Hydrobiologický výzkum šumavských jezer. Věda přírodní 17 (4): 104 – 105, převzato
- Šámal J., 1937:** Z hydrobiologické stanice na Černém jezeře [From the hydrobiological station at Černé Lake]. Věda přírodní, Praha, 18: 283 – 284 (in Czech), převzato
- Šrámek – Hušek R., 1942:** Revize perlooček a buchanek Černého jezera na Šumavě [A revision of Cladocera and copepods of Černé Lake in the Bohemian Forest after 66 years]. Věstník královské české společnosti nauk, tř. II (IV), Praha: 1 – 22 (in Czech), převzato
- Švampera V., 1914:** Šumavská jezera IV. Laka. [The Bohemian Forest lakes IV. Laka lake]. Rozpravy české Akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, Praha, 23: 1 – 8
- Veselý J., 1988:** Acidifikace šumavských jezer. Zpráva Ústředního ústavu geologického, Praha, 36 str., převzato
- Veselý, J., 1994:** Investigation of the nature of the Šumava lakes: A review. Časopis Národního muzea, Řada přírodovědná. 163: 103 – 120
- Veselý J., 1996:** Změny složení vod šumavských jezer v letech 1984 až 1995. Silva Gabreta, 1: 129 – 141
- Veselý J., Hruška J., Norton SA a Johnson CE, 1998:** Trends in water chemistry of acidified Bohemian lakes from 1984 to 1995: I. Major solutes. Water Air Soil Pollut 1998: 108: 107 – 127
- Veselý J., Majer V. a Kopáček J., 2004:** Vliv oteplování na chemismus vod šumavských jezer. Aktuality šumavského výzkumu II. Srní 4. – 7. října 2004, str. 95 – 96
- Vrba J., Kopáček J. a Fott J., 2000:** Long-term limnological research of the Bohemian Forest lakes and their recent status. Silva Gabreta, 4: 7 – 28
- Vrba J., Bittl T., Nedoma J., Kopáček J., Nedbalová L. a Fott J., 2000:** Jedinečný plankton acidifikovaných šumavských jezer jako důsledek působení hliníku a limitace fosforem (Unique plankton of acidified Bohemian Forest lakes as consequence of aluminium effect and phosphorus limitation). In: *Rulík, M. (ed.), XII. Limnologická konference Limnologie na přelomu tisíciletí*, Kouty nad Desnou, September 18-22, 2000, Univerzita Palackého Olomouc, 47-51.

- Vrba J., Fott J., Kopáček J., Nedbalová L. a Nedoma J., 2001:** Dlouhodobý limnologický výzkum šumavských jezer a jejich současný stav. Aktuality šumavského výzkumu. Srní 2. – 4. dubna 2001. str. 56 - 57
- Vrba J., Kopáček J., Fott J., Kohout L., Nedbalová L., Pražáková M., Soldán T. a Schaumburg J., 2003:** Long-term studies (1871 – 2000) on acidification and recovery of lakes in the Bohemian Forest (central Europe). Science of the total environment, 310 (1 – 3): 73 – 85
- Vrba J., Fott J., Kohout L. a Kopáček J., 2004:** Současné zotavování acidifikovaných jezer na Šumavě. Aktuality šumavského výzkumu II. Srní 4. – 7. října 2004. str. 99 – 103
- Walseng B., Halvorsen G. a Storeid S. E., 2001:** Littoral microcrustaceans (Cladocera and Copepoda) as indices of recovery of a limed water system. Hydrobiologia 432: 159 – 172, převzato
- Walseng B. a Karlsten L. F., 2001:** Planktonic and littoral microcrustaceans as indices of recovery in limed lakes in S. E. Norway. Water Air Soil Pollut. 130: 1313 – 1318, převzato
- Walseng B., Yan N. D. a Schartau A. K., 2003:** Littoral Microcrustacean (Cladocera and Copepoda) Indicators of Acidification in Canadian Shield Lakes. Ambio, svazek 32, číslo 3
- Weiser J., 1947:** K limnologickým výzkumům na Černém jezeře [On limnological research of Černé Lake]. Příroda, Praha, 40: 30 – 31 (in Czech) převzato
- Yan N. a Strus R., 1980:** Crustacean zooplankton communities of acidic, metal - contaminated lakes near Sudbury, Ontario. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 2282 – 2293, převzato

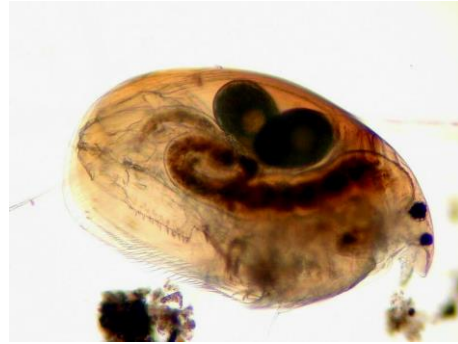
PŘÍLOHA Č. 1

FOTODOKUMENTACE ZOOPLANKTONU ŠUMAVSKÝCH JEZER (autor: RNDr. Fott, CSc.)

PERLOOČKY



Acroperus harpae



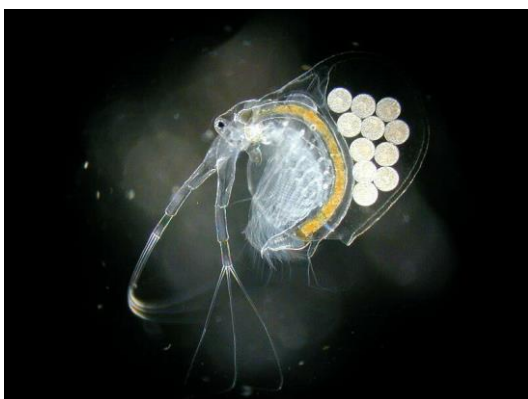
Alonopsis elongata



Ceriodaphnia quadrangula



Daphnia longispina



Holopedium gibberum



Polyphemus pediculus

KLANOŽCI



Acanthocyclops vernalis



Cyclops abyssorum



Macrocyclus fuscus



Heterocope saliens

VÍRNÍCI



Brachionus sericus



Collotheca pelagica



Keratella serrulata