

# GEOGRAFIE

SBORNÍK  
ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI



2005/3  
ROČNÍK 109

**GEOGRAFIE**  
**SBORNÍK ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI**  
**GEOGRAPHY**  
**JOURNAL OF CZECH GEOGRAPHIC SOCIETY**

**Redakční rada – Editorial Board**

BOHUMÍR JANSKÝ (šéfredaktor – Editor-in-Chief),  
VÍT JANČÁK (výkonný redaktor – Executive Editor), JIRÍ BLAŽEK,  
RUDOLF BRÁZDIL, ALOIS HYNEK, VÁCLAV POŠTOLKA, DAVID UHLÍŘ,  
VÍT VOŽENÍLEK, ARNOŠT WAHLA

**OBSAH – CONTENTS**

**HLAVNÍ ČLÁNKY – ARTICLES**

**MONOTEMATICKÉ ČÍSLO – JEZERA ČR**

Janský Bohumír: Nové trendy geografického výzkumu jezer v Česku .....	129
New Trends of the Geographic Research into Lakes in Czechia	
Česák Julius, Šobr Miroslav: Metody batymetrického mapování českých jezer .....	141
Methods of bathymetric mapping of Czech lakes	
Kocum Jan, Janský Bohumír: Limnologická studie Čertova jezera .....	152
Limnological Study of the Čertovo Lake	
Janský Bohumír, Šobr Miroslav, Kocum Jan, Česák Julius: Nová batymetrická mapování glaciálních jezer na české straně Šumavy .....	176
New bathymetric mapping of the Bohemian Forest glacial lakes	
Pošta Petr: Rašeliništění jezera Česka .....	188
Bog Pools in Czechia	
Hrdinka Tomáš: Antropogenní jezera Česka .....	210
Anthropogenic Lakes in Czechia	
Chalupová Dagmar, Janský Bohumír: Fluviální jezera středního Polabí – porovnání kvality vody a obsahu těžkých kovů v sedimentech .....	229
The oxbow lakes the central part of the River Labe – comparative study of water quality and heavy metals concentrations in sediment	
Turek Martin: Libišská tůň v přírodní rezervaci Černínovsko: současný stav a antropogenní narušení ekosystému fluviálního jezera z komplexně limnologického pohledu .....	243
Lake Libišská tůň in nature reserve Černínovsko: Present state and anthropogenic disturbance of the oxbow lake's ecosystem – an integrated limnological approach	

BOHUMÍR JANSKÝ

## NOVÉ TRENDY GEOGRAFICKÉHO VÝZKUMU JEZER V ČESKU

B. Janský: *New Trends of the Geographic Research into Lakes in Czechia.* – Geografie–Sborník CGS, 110, 3, pp. 129–140 (2005). – Research into lakes both in Czechia and abroad was carried on by number of geographers in Prague. This tradition was established by the founder of the Geographic Institute of Charles University, Professor Václav Švambera. In the 1970's, the tradition was then taken over by the author of this article. A lot of his disciples have taken part in the research into lakes since. Thanks to the backing of the Grant Agency of Charles University, the project "Lakes in the Czech Republic" has been completed – its aim was to compile an extensive study on the Czech lakes including their genetic classification. The previous work has been followed by the latest extensive project backed by the Grant Agency of the Czech Republic "Atlas of Lakes in the Czech Republic".

KEY WORDS: traditional research – systematic mapping – genetic classification of lakes – lakes of natural and anthropogenic origin – limnology studies – bathymetric maps – hydrologic regime – water quality – quality of sediments – hydrobiology.

Článek, stejně jako celé monotematické číslo, vznikl za finanční podpory grantu GACR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264) a výzkumného záměru MŠM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

### 1. Úvod

Do výzkumu jezer na území našeho státu i mimo něj se od počátku 20. století postupně zapojila řada geografů, a to především z pražských univerzitních pracovišť. V první polovině století se jednalo především o mapování břehových linií jezer, měření hloubek a konstrukce batymetrických map. Tyto výzkumy byly zpravidla doplněny i měřením základních fyzikálních vlastností vod, především teploty, barvy a průhlednosti. Ne vždy to byly pouze samostatné studie jezer, ale často se jednalo o součást širšího fyzikogeografického výzkumu území. Pozornost geografů přitahovala především jezera glaciálního původu – na Šumavě, ve Vysokých a Západních Tatrách. Geomorfologická analýza zatopených karů či níže ležících pánev za hrazených morénami tvořila často základní badatelskou osu při úvahách o rekonstrukci pleistocénního zalednění našich horských oblastí. Druhými v pořadí byla jezera vzniklá jako důsledek katastrofických přírodních procesů, u nás především po sesuvech horských svahů. Pozornosti geomorfologů a geologů neunikla ani malá jezírka v krasových oblastech. Jiné genetické typy jezer, např. jezera organogenní, fluviální a antropogenní, zůstávaly dlouho mimo zájem geografů. Tuto mezeru však vyplnili v případě fluviálních jezer a zatopených pískoven hydrobiologové a u organogenních jezer především botanikové. Nejméně známou skupinou jezer, které se pří-

rodovědci věnovali jen výjimečně, zůstaly rozmanité zatopené lomy a důlní oblasti.

Od konce 70. let minulého století došlo mezi geografy k obnovení zájmu o výzkum jezer. Zprvu se jednalo o jednotlivé lokality zajímavé svou genezí nebo zvláštními vlastnostmi vody, poté započal nový systematický limnologický výzkum v tradičních horských oblastech. Teprve v 90. letech se však dostal výzkum jezer na novou kvalitativní úroveň, a to především z důvodů finanční podpory badatelského výzkumu v rámci několika projektů. Ta umožnila jak vybavení pražského pracoviště moderní technikou pro terénní průzkum, tak podstatné personální rozšíření výzkumného týmu. Do limnologického výzkumu se zapojili v rámci magisterských a doktorských prací mladí badatelé, kteří se metodicky a tematicky specializují v rámci fyzikální limnologie, geochemie akumulovaných vod a sedimentů jezerních pánví.

Tento široce pojatý výzkum jezer není dnes již možný bez trvalé spolupráce s dalšími specialisty v oboru limnologie, především hydrobiologie, geochemiky a botaniky. Tato spolupráce probíhá jak na úrovni Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze tak v rámci přírodovědných oborů dalších univerzit, zejména s Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích a Univerzitou Palackého v Olomouci.

## 2. Rozmanité přístupy k definování pojmu „jezero“

Významný německý limnolog počátku 20. století, F. A. Forel, formuloval definici jezera, která je dodnes citována v odborné geografické či limnologické literatuře (Forel 1901): „Jako jezero je označována stojatá stagnující vodní hmota, která se nachází v prohlubni zemského povrchu, na všech stranách uzavřené, nemající přímé spojení s mořem“. Tato Forelova definice je ovšem velmi obsažná. Zahrnuje současně jak morfologický tvar jezerní pánve tak vodu v ní obsaženou. Dá se tedy použít pro každé jezero. Velikost jezer přitom nehraje žádnou roli. Každá vodní louže či tůňka je jezerem v užším slova smyslu a jako taková je dějištěm limnologických procesů v menším rozsahu. Podle Forela je tedy jezerem každá stojatá vodní akumulace bez přímého spojení s mořem, a to bez ohledu na to, jak je velká. Znamená to, že mezi jezera by takto patřily nejen louže, ale i rybníky a močály. Proto Forel (1901) vyděluje „jezera v užším slova smyslu“, rybníky a močály.

*Jezera v úzkém slova smyslu* mají tak velkou hloubku, že povrchové vlnění neovlivňuje jejich dno a břehová vegetace díky jejich hloubce nedosahuje na dno (s výjimkou mělkovodních oblastí). Jedná se tedy o vodní akumulace s nezarostlou oblastí největších hloubek. Tato definice má v podmírkách České republiky uplatnění zejména u jezer organogenního typu.

V hlubších jezerech mírných šírek se v létě vyvíjí zřetelné vertikální teplotní zvrstvení. Pod svrchní prohřátou vrstvou vody (epilimnion) leží tzv. skočná vrstva, kde teplota v průběhu několika málo metrů skokem klesá. Pod ní leží vrstva chladnější vody (hypolimnion), blížící se u dostatečně hlubokých jezer 4 °C, při nichž má voda největší hustotu. Existence tohoto charakteristického termického režimu s obdobími letního přímého zvrstvení (letní stagnace), jarní a podzimní homotermie a obdobím zimního inverzního zvrstvení (zimní stagnace) může rovněž napomoci k vymezení kategorie jezer a jejich rozlišení od rybníků, tůní, louží, rašelinišť či slatin a dalších typů drobných vod.

Rybníky jsou velmi mělké a díky tomu u nich nedochází k žádné zřetelné vertikální teplotní diferenciaci v průběhu roku. Při silném vlnění je ovlivně-

ván celý vodní sloupec rybníka včetně jejich dna. Na rozdíl od jezer může vodní rostlinstvo břehové zóny porůstat celé rybniční dno. Kdybychom však tuto definici používali důsledně, mohlo by být rybníkem i velmi mělké avšak značné rozsáhlé Neziderské jezero (183 km<sup>2</sup>) na hranicích Rakouska a Maďarska (Marcinek, Rosenkranz 1996). Stejně jako přehradní nádrže i rybníky vytvořil člověk. Na rozdíl od jezer, ať už jsou přírodního nebo antropogenního původu (pískovny, různé zatopené lomy), se rybníky dají vypustit.

Rovněž *močály* (*bažiny, mokřady*) jsme zařadili k tzv. organogenním jezůrům. V našich podmínkách se ovšem nejedná o rozsáhlé močálovité plochy se znesnadněným odtokem vody a omezenou infiltrací, podmíněné plochým reliéfem, resp. existencí permafrostu, jako je tomu např. na území Ruska, Kanady či Finska. V této práci rozlišujeme kategorie horských rašelinišť (vrchovišť) a přechodových rašelinišť se zřetelně vymezenou volnou vodní hladinou. Klasické slatě řadíme pak spíše k jezůrům fluviálního typu. Organogenní jezera jsou však tak mělká, že mokřadní flóra často rozprostírá své výhony po celé vodní hladině.

S přihlédnutím k rozboru literárních poznatků a s ohledem na specifické podmínky Česka jsme formulovali vlastní definici jezera: „Jezero je deprese na zemském povrchu nebo pod ním, trvale nebo dočasně vyplněná vodou, nemající bezprostřední spojení s mořem. Oproti rybníkům a malým vodním nádržím se jezera nedají jednoduchým způsobem vypustit. Na rozdíl od mělkých stojatých vod, jako jsou drobné vody (louže, tůně), rybníky, jezera organogenní a fluviální, u hlubokých jezer neovlivňuje povrchové vlnění jejich dna a břehová vegetace díky jejich hloubce na dno nedosahuje. Oblast největších hrbů není tedy zarostlá vodní vegetací.“

Vedle jezer přírodního původu se v České republice vykytují rovněž četné stojaté vodní akumulace v prostorách po těžbě nerostných surovin. Vzhledem k malému počtu přírodních jezer mají pro naši zemi význam a je třeba jim věnovat pozornost v rámci badatelského výzkumu. Jeho poznatky mohou napomoci úvahám o jejich racionálním budoucím využití, ať už v rámci zámerů ochrany přírody a krajiny, k vodohospodářským účelům či rekreačnímu využití. Vodní akumulace vzniklé těžební činnosti člověka označujeme jako *jezera antropogenní*. Název „jezera“ přitom užíváme i přes to, že nevznikla přírodními procesy. Mnohá z nich však přírodní jezera vlastnostmi svých vod připomínají. Zvláště ta antropogenní jezera, která vznikla po dávné těžební činnosti, vytvářejí často cenné přírodní ekosystémy, jež je třeba zachovat pro budoucí generace.

Z výše uvedeného rozboru je patrné, že existují poměrně výrazné rozdíly mezi hlubšími a mělkými jezery. Projevují se především v rozdílném uplatnění vlivu atmosférických faktorů na jezerní ekosystém, což má přímou odezvu v odlišném teplotním režimu a v dalších fyzikálních vlastnostech vod. Zřetelné rozdíly jsou patrné i v zastoupení vodní vegetace na hladině jezera. Doporučujeme proto, aby byly do klasifikace jezer zavedeny dvě kategorie – *jezera mělká a jezera hluboká*. Jezera hluboká přitom odpovídají kategorii jezer v užším slova smyslu, jak je definoval Forel (1901) a později upřesnil např. F. Wilhelm (1976).

Poměrně problematické se jeví zohlednění velikosti či objemu stojatých akumulovaných vod a jejich využití pro definici jezera. S podobným přístupem se někdy setkáváme při klasifikaci jezer v zemích se značným množstvím jezer, mezi nimiž převládají přirozené rozsáhlé vodní akumulace glaciálního původu, např. v Kanadě, USA, Skandinávii nebo v Rusku. Každý takový přístup, tj. vymezení kategorie „jezera“ nad určitou plochu či objem zadržované

vody nepovažujeme za šťastný, a to především z genetického hlediska. I malé vodní plochy mohou být dostatečně hluboké, aby vyhovely definici „jezera v užším slova smyslu“ či typického „hlubokého jezera“. Příkladem mohou být malá karová jezera či jezera sopečného původu (kráterová, kalderová nebo tzv. maary).

J. Kalff (2002) rozlišuje celkem čtyři velikostní kategorie světových jezer: největší jezera s plochou nad 10 000 km<sup>2</sup>, velká jezera (100–10 000 km<sup>2</sup>), střední jezera (1–100 km<sup>2</sup>) a malá jezera (0,1–1 km<sup>2</sup>). Ve velikostní kategorii od 1 do 10 ha je uváděno označení „large ponds“ a pro vodní plochy pod 1 ha „other ponds“. Obě posledně jmenované kategorie jsou pak zařazeny do skupiny „small water bodies“, tzn. „drobné vody“. Pro naše poměry jsme však uvedenou terminologii poněkud upravili.

R. G. Wetzel (2001) ve své monografii „Limnology“ vyděluje uvnitř jezer přírodního původu dvě podskupiny. Do první zařazuje jezera formovaná katastrofickými událostmi a do druhé ostatní přírodní jezera formovaná postupným vývojem. Dále vyčleňuje nádrže, které postavil člověk a mají různou funkci. E. G. Hutchinson (1957) se ve svém klasickém dílu „A Treatise on Limnology“ definicí jezera z genetického hlediska vůbec nezabývá.

### 3. Klasifikace jezer jako východisko terénního průzkumu

Příprava koncepce limnologického výzkumu do značné míry závisí na typu vodní akumulace. Dominantně se přitom uplatňují morfometrické parametry jezerních pánví, především pak jejich hloubka. Ta podstatným způsobem podmiňuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti jejich vod. Je tedy důležité si uvědomit, že výzkum jezer v rozmanitých přírodních podmínkách – např. odlišné geologické stavby podloží, různé morfologie jezerních pánví, nadmořské výšky s odlišným klimatem, rozdílných ekosystémů – vyžaduje často specifické metody terénního výzkumu a rovněž obezřetnost při interpretaci naměřených dat. Z tohoto důvodu započal široce pojatý výzkum jezer na území České jejich pasportizací a přičleněním k určitému klasifikačnímu typu (Janský, Šobr a kol. 2003).

V Česku, v porovnání např. s územím Evropy, se nachází velmi málo jezer přírodního původu. Nemáme vysoké hory se sítí glaciálních jezer, ani rozsáhlé nížiny severského typu s jezerními plošinami. Nejsou zde žádné větší, plnohodnotně vyvinuté krasové oblasti, žádné aktivní vulkanické oblasti ani mořské pobřeží. V nivách řady říčních toků vznikla jezera fluválního původu, která jsou jedním z nejčetnějších typů jezer na našem území. V říčních nivách byly v minulosti hojně těženy štěrkopískové náplavy, což souvisí se vznikem jezer antropogenního původu. Ta jsou též velmi četná v oblastech těžby uhlí, zejména hnědého a dalších nerostných surovin. A konečně posledním početnějším typem jezer jsou vodní plochy v rašelinných a slatinových oblastech, které jsou roztroušeny téměř po celém horském hraničním pásmu Česka.

Naše jezera jsou vzhledem ke světovým jezerům daleko menších plošných a objemových dimenzí. Vyskytují se převážně v chráněných územích přírody – národních parcích, chráněných krajinných oblastech a přírodních rezervacích. Pozornost zasluhuje zejména s ohledem na zachování ekologické stability chráněného území, charakteristických biotopů a ekosystémů. Proto zpravidla představují mimořádně cenné a jedinečné přírodní útvary.

Ježera lze klasifikovat podle různých hledisek. Podle chemického složení se rozlišují jezera sladkovodní, s vodou brakickou (minerální) či slanou, z biologického hlediska rozlišujeme jezera oligotrofní, eutrofní a dystrofní, tj. podle

množství organických látek a koncentrace biomasy ve vodě. Z pohledu vertikální výměny vody v jezerní pánvi lze jezera členit na holomiktická (s výměnou vody v celém vodním sloupci) a meromiktická (s výměnou vody do určité hloubky). Podle teplotních poměrů vody se rozlišují jezera polární, jezera mírného pásu a jezera tropická. Genetická klasifikace vychází z třídění jezer podle způsobu vzniku jezerní pánve, přičemž převládá hledisko geomorfologické. Z genetického hlediska rozlišujeme na území Česka následující typy jezer: glaciální, fluviální, krasová, hrazená sesuvem, organogenní a antropogenní (podrobněji viz Janský, Šobr a kol. 2003; Janský, Šobr 2004).

#### 4. Uplatnění univerzitních geografů při výzkumu jezer

Výzkumem jezer se již v letech 1903–10 zabýval zakladatel Geografického ústavu Karlovy univerzity, profesor Václav Švambera. V pěti prázdninových obdobích provedl s pomocí 17 studentů systematické mapování a základní výzkum fyzikálních vlastností vody všech osmi šumavských jezer. Vedle monografie o Kongu, sepisované v letech 1903–12, se právě hydrografické výzkumy šumavských jezer staly jeho druhou nejvýznamnější prací. Za života autora byly však práce publikovány jen částečně a to ve Sborníku ČSZ (Švambera 1912 a 1939) a v Rozpravách České Akademie II. tř. (Švambera 1913–14). Zde vyšla monograficky zpracovaná 4 jezera – Malé Javorské, Velké Javorské, Prášilské a jezero Laka. Zbývající jezera zpracoval podle Švamberovy rukopisné pozůstalosti a dále doplnil jeho žák a tehdejší docent K. Kuchař. Certoře jezero bylo publikováno ve Sborníku ČSZ (Kuchař 1939), Černé a Roklan-ské v časopisu Kartografický přehled (Kuchař 1947). Stalo se tak po více než třiceti letech od prvních měření v terénu a přesto výsledky nepozbyly na cenu. K tomu je třeba dodat, že Švamberovy práce byly až do 90. let jediným pramenem při studiu morfometrie a hydrografie šumavských jezer.

Ve třetím desetiletí 20. století se do výzkumu jezer výrazně zapojili i geografové z německé Karlo-Ferdinandovy univerzity v Praze. První výzkumné cesty organizoval německý profesor Bernhard Brandt. Některé měly ráz vědeckých expedic. Při exkurzi Geografického institutu německé univerzity do Vysokých Tater v létě roku 1926 byl položen základní kámen k systematickému výzkumu tatranských jezer. Tehdy bylo nově zaměřeno i Štrbské pleso (Sedlmeyer 1928).

V červenci roku 1927 začal se systematickým hloubkovým měřením tatranských ples Josef Schaffer. Nejprve zpracoval Nové Štrbské pleso a Popradské pleso v Mengušovské dolině a poté Zelené pleso v dolině Bielovodské (Schaffer 1928). Později byl sestrojen speciální člun pro hydrografické práce a v létě 1928 se výzkum rozšířil na dalších 12 tatranských jezer (Sedlmeyer 1928). Už při měření Velkého Hincova plesa spolupracoval s J. Schafferem Franz Stummer, který se věnoval tvarům jezerních pánví tatranských ples. Výsledkem spolupráce obou byl Atlas jezer Vysokých Tater, který vyšel ve třech svazcích (Schaffer, Stummer 1929, 1930, 1932). Obsahuje bathymetrické plány 31 tatranských ples s řadou příčných i podélných profilů. Toto dílo nebylo svým rozsahem ani v pozdějších letech překonáno.

Na hloubková měření J. Schaffera navázal svými měřeními teploty a průhlednosti vody K. A. Sedlmeyer. V srpnu, říjnu a listopadu roku 1928 zpracoval plesa Kriváňské skupiny, Mengušovské, Batizovské a Velické doliny a dále skupinu Pěti spišských ples (Sedlmeyer 1928 a 1929). V dalším roce věnoval zvláštní pozornost třem plošně největším jezerům na slovenské straně Vysokých Tater, tzn. Štrbskému, V. Hincovu a Popradskému (Sedlmeyer 1930).

Na podnět svého učitele, profesora V. Švambery, začal v roce 1931 s výzkumem jezer v oblastech východního Slovenska a Podkarpatské Rusi Karel Kuchař. Během dvou následujících let sem podnikl celkem tři exkurze, při nichž se zabýval vznikem jezer, morfometrií jejich pánví, geologií, hydrografí, teplotním režimem a dalšími fyzikálními vlastnostmi vod. Prací Jezera východního Slovenska a Podkarpatské Rusi (Kuchař 1933 a 1937) se autor v roce 1935 habilitoval pro kartografii a fyzický zeměpis. Tato první Kuchařova limnologická práce byla také jeho nejvýznamnějším dílem, protože se v dalších letech více věnoval geografické kartografii (Janský 1996). Šedesátileté historie výzkumu tatranských jezer si všímá v kompilační práci Jezera Vysokých Tater (Kuchař 1936), kde v tabelárním přehledu uvádí soupis ples se základními hydrografickými charakteristikami. Publikoval rovněž články o jezerech Skadarském, Ochridském a jezerech Prespanských (Kuchař 1936 a 1937). Zde si všímá především rozlohy jezer, která byla různě udávána, a sám ji zjišťuje planimetrováním na tehdy nových mapách řeckých a jugoslávských. Dále se zabývá vzájemnými hydrografickými vztahy těchto jezer. Chronologicky následují již zmíněné Kuchařovy práce o šumavských jezerech, které vydal ze Švamberovy pozůstatosti a sám je dále doplnil (Kuchař 1939 a 1947). Kromě nejdůležitějších morfometrických charakteristik osmi jezer na české i bavorské straně Šumavy zde Kuchař otiskuje i barevné batymetrické mapy 1 : 2 000 a schematické mapky 1 : 5 000, které sám kreslil. Poslední limnologický výzkum provedl Kuchař na chomutovském Kamencovém jezernu. Zabývá se detailním rozborem starých zpráv a záznamů o jezernu a vysvětluje změny, které nastaly v jeho rozloze. Uvádí i výsledky vlastního měření hloubek a minerálního složení jezerní vody (Kuchař 1947).

Limnologické tematiky se v některých svých pracích dotkl též Josef Kunský. V článku věnovaném zalednění Šumavy a šumavským jezermům (Kunský 1933) kriticky hodnotí náhledy různých autorů na rozsah šumavského zalednění a uvádí výsledky nejnovějších měření hloubek a sedimentace v Černém jezernu. Dále tu najdeme přehled morfologických dat o šumavských karech. V práci o jezerech Slovenského krasu (Kunský 1939) jsou obsaženy základní údaje o jezerních pánvích krasového původu a jejich hydrografické komunikaci. Zmapováním Vrbického plesa a proměřením jeho hloubek při geomorfologické exkurzi do Nízkých Tater v létě 1950 přispěl k výzkumu jezer i Jaroslav Dosedla (1953).

Jezery v oblasti Západních Tater se zabýval Václav Král, a to jednak při exkurzi s posluchači v květnu 1952, jednak při několika samostatných cestách. Jeho práce obsahují přehled výsledků původního mapování a výčet ples se základními morfologickými údaji (Král 1953 a 1954).

Při terénní exkurzi s posluchači vyměřoval břehovou linii Mladotického jezera v červnu 1963 Ludvík Mucha. Nepublikovaný náčrt části jezera využil později ve své práci B. Janský (1975). Při obdobné exkurzi do Nízkých Tater na jaře roku 1965 znova zaměřil Vrbické pleso a vytvořil jeho batymetrický plán. Tyto práce byly potřebné vzhledem ke změně úrovně hladiny od posledních měření J. Dosedly v roce 1950 (Mucha 1966). V roce 1972 mapoval Mucha při cvičení s posluchači Velké a Malé Mechové jezírko u Rejvízu. Materiál však nebyl publikován.

Tradici geografického výzkumu jezer na Karlově univerzitě neporušila ani současná střední a nejmladší generace geografů. Na podnět prof. K. Kuchaře se jezery Západních Tater zabýval ve své rigorózní práci Eduard Kříž. Navázel na výsledky prací J. Młodziejowského a V. Krále a provedl půdorysná a hloubková měření dvanácti ples této oblasti. U většiny jezer se jednalo o první výzkum morfografických a hydrografických poměrů (Kříž 1969, 1970).

Rovněž autor této statě byl při volbě tématu své diplomové a rigorózní práce ovlivněn profesorem K. Kuchařem. V letech 1972–75 provedl podrobný geomorfologický výzkum sesuvních území, zmapování břehové linie, hloubkových poměrů a analýzu fyzikálních a chemických vlastností vody u Mladotického jezera (Janský 1975, 1976 a 1977). Zanášení jeho jezerní pánve studoval i v pozdějším období (Janský, Urbanová 1994; Janský 1999; Janský 2003; Schulte, Albrecht, Daut, Janský 2004). Problematika zanášení jezera byla zkoumána za podpory projektu Grantové agentury Univerzity Karlovy (GAUK) „Dynamika zanášení Mladotického jezera a intenzita erozních procesů v povodí“. Hydrologickou bilancí Bajkalského jezera na východní Sibiři se stejný autor zabýval při dlouhodobém výzkumném pobytu v roce 1981. Jeho výsledky jsou součástí monografie o tomto jezeru (Janský 1989).

Zmapováním půdorysu a měřením hloubek Zeleného Javorového plesa ve stejnojmenné dolině Vysokých Tater se zabýval Vladimír Vybíral (1975). Detailní mapování sesuvních území, vyměření půdorysu a hloubek provedl u Jezera Blatná ve Velké Fatře Viktor Badušek (1982). Studoval i fyzikální a chemické vlastnosti vod a vývoj zanášení jezerní pánve.

Mimopražští geografové se výzkumu jezer dosud detailněji nevěnovali. Snad jedinou výjimkou je profesor Vladislav Kříž z Ostravské univerzity, který se v 70. letech opakováně zabýval výzkumem Mechových jezírek na Rejvízu (Kříž 1971) a v 90. letech vytvořil vysokoškolský učební text o stojatých vodách (Kříž 1996).

Kromě geografů prováděli batymetrická měření fluviálních jezer, rybníků, lomů či pískoven a malých údolních nádrží rovněž hydrobiologové (např. Hrbáček 1966; Pšenáková, Stuchlík, Lellák 2001). Jednotlivá měření hloubek byla též doplněkem některých hydrobiologických a geochemických prací o šumavských jezerech (Vrba, Kopáček, Straškrabová, Hejzlar, Šimek 1996; Hejzlar, Kopáček, Vrba, Čížková, Komárková, Šimek 1998; Veselý 1994). Také botanické a hydrobiologické výzkumy některých rašeliníšť či opuštěných říčních meandrů byly někdy doprovázeny snahou o změření jejich maximální hloubky (např. Nevrly 1962; Váňa 1969; Žán 1981, 1983; Rašelinové jezírko v PR Jelení lázeň, hydrobiologie, 1994; Rašelinové jezírko v PP U Kunštátské kaple, hydrobiologie, 1994; Ondráček 1996; Melichar 1998).

## 5. Nová etapa geografického výzkumu jezer

Od posledních Švamberových výzkumů šumavských jezer uplynulo již více než 90 let. Vzhledem k tomu, že máme dnes k dispozici moderní přístroje a nové metody terénního průzkumu, rozhodli jsme se pro jejich opakování. První prací tohoto typu byl výzkum Prášilského jezera, který provedl Aleš Zbořil. V rámci diplomové práce uskutečnil detailní vyměření břehové linie, morfometrie jezerní pánve, zabýval se fyzikálními vlastnostmi vod i hydrologickým režimem jezera (Zbořil 1994; Janský, Zbořil 2002). Obdobným způsobem byla dosud zpracována ještě další dvě jezera na české straně Šumavy. V roce 1999 dokončili svoji magisterskou práci Miroslav Šobr, který se věnoval jezemu Laka (Šobr 1999; Janský, Šobr 2002), a Tomáš Vránek, který zpracoval jezero Plešné (Vránek 1999; Janský, Vránek 2002). Chybějící šumavské jezera, Černé a Čertovo, byla zpracována v rámci grantového projektu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (Kocum 2004; Kocum, Janský 2005). Kromě jezer glaciálního původu jsme se věnovali i šumavským jezerům ve slatích a horských vrchovištích (Pošta, Janský 2003; Pošta 2004).

V roce 1994 dokončila svou obsáhlou diplomovou práci Ivana Gabrielová, která velmi detailně zkoumala chomutovské Kamencové jezero. Zabývala se nejen vysvětlením řady sporných otázek týkajících původu jezerní pánve, ale i přičinami zvláštního chemizmu jeho vod, analýzou hydrologického režimu, teplotních poměrů a biologickým oživením akumulovaných vod (Gabrielová 1996).

V rámci grantové podpory GAUK byl zahájen projekt „Jezera České republiky“, který si klal za cíl vytvořit obsáhlou studii o našich jezerech včetně jejich genetické klasifikace. V letech 1999 až 2002 byla provedena kvantitativní analýza jezer přírodního původu včetně vodních akumulací vzniklých činností člověka na celém území Česka (Hrdinka, Janský, Šobr 2003). Do práce nebyly zahrnuty přehradní nádrže a rybníky. Inventarizace těchto jezer ukázala, že se jedná o téměř 700 vodních akumulací, mezi nimiž dominují jezera fluviaálního, organogenního a především antropogenního původu. V rámci této etapy výzkumu jsme se detailně věnovali především poříčním jezerům na středním toku českého Labe mezi Pardubicemi a Mělníkem, kde byla zpracována v podobě limnologických studií čtyři opuštěná labská ramena (Klouček, Chalupová, Šnajdr, Šobr, Janský 2002). Jezero u Obříství zkoumal v rámci magisterské práce Martin Snajdr (2002; Šnajdr, Janský 2003), Labiště pod Opočínkem analyzoval Ondřej Klouček (2002; Klouček, Janský 2003), lokality Doleháj u Nové Vsi se zabývala Dagmar Chalupová (2003; Chalupová, Janský 2003, 2004) a Libišskou tůní u Neratovic Martin Turek (2004). Všechny práce byly široce zaměřeny na analýzu hydrologického režimu, jakosti vod, sedimentů i biologického oživení vod. Vedle fluviaálních jezer jsme zahájili rovněž průzkum jezer organogenního původu. První prací je studie o Mechových jezírkách v Jeseníkách, kterou v rámci diplomové práce zpracoval Filip Oulehle (2002). Vedle širšího monografického pojetí se přitom zaměřil především na geochemický vývoj zdejších vrchovišť (Oulehle, Janský 2003).

Na předchozí práce navazuje nejnovější obsáhlý projekt podporovaný agenturou GAČR „Atlas jezer ČR“. Dosud byla provedena inventarizace jezer organogenního (v rámci magisterské práce zpracoval Petr Pošta, 2004) a antropogenního původu (v rámci magisterské práce zpracoval Tomáš Hrdinka, 2004). Do konce roku 2005 hodláme zpracovat ve formě limnologických studií všechny genetické typy jezer na území Česka, přičemž u nejpočetnějších organogenních a antropogenních akumulací volíme jejich typické zástupce v různých přírodních regionech, resp. v oblastech rozmanitého typu důlní těžby (u jezer antropogenních). Výsledkem by měl být Atlas jezer ČR, který hodláme připravit k vydání v roce 2006.

Vedle systematického výzkumu jezer na území Česka se akademickí pracovníci katedry fyzické geografie a geoekologie na Přírodovědecké fakultě UK v Praze zapojili od roku 2004 do řešení projektu zahraniční rozvojové pomoci v Kyrgyzstánu s názvem „Monitoring vysokohorských ledovcových jezer a ochrana obyvatelstva před katastrofálními následky povodní vzniklých průtržemi morénových hrází“. Projekt je velmi široce zaměřen na výzkum rizikových přírodních procesů podmíněných změnami klimatu, jejichž důsledkem je zrychlené tání ledovců a změny hydrologického režimu vodních toků. Cílem projektu je detailní limnologický výzkum přibližně dvaceti nejvíce ohrožených jezer, jejichž pánve jsou přeplňovány tavnými ledovcovými vodami a nezpevněné morénové hráze jsou ohroženy protržením.

Všichni autoři uvedení v této statí obohatili naši limnologii o mnoho cenných poznatků, které mohou být v budoucnu znova využity k dalším srovnávacím studiím. Věříme, že tradice, kterou založili velcí geografové na počá-

ku století a rozvinuli naši učitelé, bude pokračovat v současnosti i budoucnosti a výzkum jezer bude nadále důležitou součástí badatelských prací českých geografů.

Dominvám se, že výše uvedený přehled prací za více než stoleté období opravňuje hovořit o fyzické limnologii jako tradičním badatelském směru na geografických pracovištích Karlovy univerzity (Janský 1996).

### Literatura:

- BADUŠEK, V. (1982): Hradené jazero na Blatnej vo Veľkej Fatre. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra kartografie a fyzické geografie, Praha, 144 s.
- DOSEDLA, J. (1953): Mapování Vrbického plesa. Kartografický přehled, VII, Praha, s. 160.
- FOREL, F., A. (1901): Handbuch der Seenkunde. Allgemeine Limnologie. Stuttgart.
- GABRIELOVÁ, I. (1996): Chomutovské Kamencové jezero. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 230 s.
- HEJZLAR, J., KOPÁČEK, J., VRBA, J., ČÍŽKOVÁ, J., KOMÁRKOVÁ, J., ŠIMEK, K. (1998): Limnological Study of Plešné Lake in 1994–1995. Silva Gabreta, 2, Vimperk, s. 155-174.
- HRBÁČEK, J. (1966): A morphometrical study of some backwater in relation to the representative plankton samples. In.: Hrbáček, J. (ed.): Hydrobiological Studies 1. Academia, Praha, s. 221-297.
- HRDINKA, T. (2004): Antropogenní jezera České republiky. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 115 s.
- HRDINKA, T., JANSKÝ, B., ŠOBR, M. (2003): Genetická klasifikace jezer České republiky. In.: Janský, B., Sobr, M. a kol.: Jezera České republiky. Monografie. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF, Praha, s. 11-23.
- HUTCHINSON, E., G. (1957): A Treatise on Limnology I. Geography, physics and chemistry. John Wiley & Sons, inc., New York, 1015 s.
- CHALUPOVÁ, D. (2003): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů ve starém labském rameni Doleháj u Kolína. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, UŽP, Praha, 102 s.
- CHALUPOVÁ, D., JANSKÝ, B. (2003): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v mrtvém labském rameni Doleháj u Kolína. In.: Janský, B., Sobr, M. a kol.: Jezera České republiky. Monografie. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřFUK, Praha, s. 150-170.
- CHALUPOVÁ, D., JANSKÝ, B. (2004): Comparing study of heavy metal concentration in sediments and water quality in three oxbow lakes of the Labe River and the influence of floods in 2002 on distribution of some metals in sediment in the oxbow lake of Obříství near Mělník. In.: Geller, W. et al.(eds.): 11th Magdeburg Seminar on Waters in Central and Eastern Europe: Assessment, Protection, Management. Umweltforschungszentrum Leipzig – Halle (UFZ), Nr. 18/2004, s. 39-40.
- JANSKÝ, B. (1975): Mladotické hrazené jezero. Rigorózní práce. PřF UK, Praha, s. 96.
- JANSKÝ, B. (1976): Mladotické hrazené jezero – Geomorfologie sesuvných území. Acta Universitatis Carolinæ – Geographica, XI., č. 1, UK, Praha, s. 3-18.
- JANSKÝ, B. (1977): Mladotické hrazené jezero – Morfografické a hydrografické poměry. Acta Universitatis Carolinæ, Geographica, XII., č. 1, UK, Praha, s. 31-46.
- JANSKÝ, B. (1989): Bajkal – perla Sibiře. Monografie. Panorama, Praha, s. 183.
- JANSKÝ, B., URBANOVÁ, H. (1994): Mladotice lake (Czech Republic) – Siltation dynamics in the lake basin. Acta Universitatis Carolinæ – Geographica, XXIX., č. 2, UK, Praha, s. 95-109.
- JANSKÝ, B. (1996): Tradice geografických výzkumů jezer na Karlově univerzitě. Geografie – Sborník ČGS, 101, č. 1, ČGS, Praha, s. 59-63.
- JANSKÝ, B. (1996): Hydrographic and Limnological Work of Professor Karel Kuchař. Acta Universitatis Carolinæ – Geographica, XXXI, č. 1, UK, Praha, s. 77-81.
- JANSKÝ, B. (1999): Mladotické jezero – Limnologická studie. Monografie. Závěrečná zpráva projektu GAUK. UK Praha.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. (2002): The Laka Lake (Jezero Laka). Acta Universitatis Carolinæ – Geographica, XXXIV, č. 2, UK, Praha, s. 7-30.
- JANSKÝ, B., VRÁNEK, T. (2002): The Plešné Lake (Plešné jezero). Acta Universitatis Carolinae – Geographica, XXXIV, č. 2, Praha, s. 31-52.

- JANSKÝ, B., ZBOŘIL, A. (2002): The Prášilské Lake (Prášilské jezero). *Acta Universitatis Carolinae – Geographica*, XXXIV, č. 2, Praha, s. 53-68.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky. Monografie. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha, 216 s.
- JANSKÝ, B. (2003): Historie a současnost geografického výzkumu jezer. In.: Janský, B., Šobr, M. a kol.: Jezera České republiky. Monografie. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF, Praha, s. 8-11.
- JANSKÝ, B. (2003): Dynamika zanášení Mladotického jezera. In.: Janský, B., Šobr, M. a kol.: Jezera České republiky. Monografie. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF, Praha, s. 65-70.
- JANSKÝ, B. (2003): Mladotické jezero – vývoj jezerní pánve. Geomorfologický sborník 2, geomorfologická konference, Nečtiny 22.-23.4.2003, CAG, ZČU v Plzni.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. 2004): Genetic Classification of Lakes in the Czech Republic – Present Geographical Research. In.: Jankowski, A.T., Rzetala, M. (eds.): Lakes and artificial water reservoirs – functioning, revitalization and protection. University of Silesia, Polish Limnological Society, Polish Geographical Society – Branch Katowice, Sosnowiec, s. 117-123.
- KALFF, J. (2002): Limnology. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 592 s.
- KLOUČEK, O., CHALUPOVÁ, D., SNAJDR, M., ŠOBR, M., JANSKÝ, B. (2002): Limnologické poměry a kvalita vody a sedimentů ve vybraných labských tůních. In.: Labe – nové horizonty managementu povodí (10. Magdeburkský seminář o ochraně vod, Špindlerův Mlýn), VUV T.G.M. Praha, Povodí Labe Hradec Králové, s.p., s. 240.
- KLOUČEK, O. (2002): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v Labišti pod Opočínkem. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, UŽP, Praha, 135 s.
- KOCUM, J. (2004): Limnologická studie Čertova jezera a režim odtoků v českém povodí Řezné. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 210 s.
- KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2005): Limnologická studie Čertova jezera. Geografie–Sborník ČGS, 110, č. 3, Praha, s. 27-47.
- KRÁL, V. (1953): Výzkum jezer v Liptovských Tatrách. Kartografický přehled, VII, Praha, s. 87-89.
- KRÁL, V. (1954): Jezera na severním svahu Liptovských Tater. Kartografický přehled, VIII, Praha, s. 1-26.
- KRÍŽ, E. (1969): Jezera na jižním svahu Západních Tater. Zprávy GÚ ČSAV 6, č. 4, Brno, s. 24-30.
- KRÍŽ, E. (1970): Jezera Západních Tater. Rigorózní práce. PřF UK, Praha, 156 s.
- KRÍŽ, V. (1971): Limnologie Mechových jezírek u Revízu. Campanula, 2, s. 47-78.
- KRÍŽ, V. (1996): Vodní nádrže a jezera České republiky. Tematický sešit, zeměpis. Atelier Milata, Ostrava, 32 s.
- KUCHAŘ, K. (1933): Jezera východního Slovenska a Podkarpatské Rusi. Zeměpisné práce, sv. 5, Bratislava, s. 101.
- KUCHAŘ, K. (1936): Jezera Vysokých Tater. Příroda, XXIX, č. 2, Brno, s. 39-42.
- KUCHAŘ, K. (1937): Jezera východního Slovenska a Podkarpatské Rusi. Zeměpisné práce, sv. 12, Bratislava, s. 37.
- KUCHAŘ, K. (1937): Jezero Ochridské a jezera Prespanská. Příroda, XXX, č. 1, Brno, s. 1-7.
- KUCHAŘ, K. (1939): Příspěvky k výzkumu šumavských jezer. Sborník ČSZ, 45, ČSZ, Praha, s. 87-90.
- KUCHAŘ, K. (1947): Mapy šumavských jezer podle měření prof. V. Švambery. Kartografický přehled, II, č. 3-4, Praha, s. 41-42.
- KUCHAŘ, K. (1947): Chomutovské Kamencové jezero. Sborník Státního ústavu hydrologického T. G. Masaryka, Praha, s. 7.
- KUNSKÝ, J. (1933): Zalednění Šumavy a šumavská jezera. Sborník ČSZ, 39, č. 1, ČSZ, Praha, s. 1-6, 33-40.
- KUNSKÝ, J. (1939): Jezera Slovenského krasu. Rozpravy Čes. Akad. II. tř., 49, č. 25, Praha, s. 1-17.
- MARCINEK, J., ROSENKRANZ, E. (1996): Das Wasser der Erde. Justus Perthes Verlag, Gotha, 328 s.
- MELICHAR, V. (1998): Dynamika reliéfu a vegetace Rašeliniště Rolavy v Krušných horách. Magisterská práce, Přírodovědecká fakulta UK, katedra botaniky, Praha, 114 s.
- MUCHA, L. (1966): Nová měření Vrbického plesa. Sborník ČSZ, 71, Praha, s. 74-76.
- NEVRLÝ, M. (1962): Topografie živých rašelinišť Jizerských hor. Sborník Severočeského muzea – přírodní vědy, č. 2, Liberec, s. 33-84.

- ONDRAČEK, Č. (1996): Základní botanický výzkum NPR Novodomské rašeliniště. AOPK ČR, Ústí nad Labem, depon. Knihovna AOPK Praha, rezervační kniha NPR Novodomské rašeliniště.
- OULEHLE, F. (2002): Limnologie a hydrochemismus v NPR Rejvíz. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 62 s.
- OULEHLE, F., JANSKÝ, B. (2003): Limnologie a hydrochemismus v NPR Revíz. In.: Janský, B., Sobr, M. a kol.: Jezera České republiky. Monografie. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF, Praha, s. 93-108.
- POŠTA, P., JANSKÝ, B. (2003): Organogenní jezera v České republice. In.: Janský, B., Sobr, M. a kol.: Jezera České republiky. Monografie. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřFUK, Praha, s. 71-92.
- POŠTA, P. (2004): Organogenní jezera v České republice. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 116 s.
- PŠENÁKOVÁ, P., STUCHLÍK, E., LELLAK, J. (2001): Morfometrické parametry vodárenské nádrže Drásov u Přibrami a zatopených lomů Řečický u Blatné a Smaragdového jezírka v Brdech. Geografie–Sborník ČGS, 106, č. 2, ČGS, Praha, s. 110-121.
- Rašelinové jezírko v PR Jelení lázeň, hydrobiologie. SCHKO Orlické hory, Rychnov nad Kněžnou 1994, depon. SCHKO Orlické hory.
- Rašelinové jezírko v PP U Kunštátské kaple, hydrobiologie. SCHKO Orlické hory, Rychnov nad Kněžnou 1994, depon. SCHKO Orlické hory.
- SEDLMEYER, K. A. (1928): Die Seeforschung in der Hohen Tatra. 54. Jb. d. Karpathenvereins, Késmárk, s. 1-5.
- SEDLMEYER, K. A. (1929): Hydrographische Forschungen in den Seen der Hohen Tatra. Internat. Revue der Ges. Hydrobiologie u. Hydrographie, Bd.21, Heft 5/6, Praha, s. 421-435.
- SEDLMEYER, K. A. (1930): Die See des Mengsdorfer Tales uad der Tschirmersee in der Hohen Tatra. Arbeiten des Geogr. Inst. d. Deutsch. Univ. in Prag, Praha, s. 1-34.
- SCHAFFER, J. (1928); Seenforschung in der Hohen Tatra. Pet. Geogr. Mittl., Gotha, s. 289-290.
- SCHAFFER, J., STUMMER, F. (1929, 1930, 1932): Atlas der See der Hohen Tatra. Arbeiten des Geogr. Inst. d. Deutsch. Univ. in Prag, I, II, III, Praha.
- SCHULTE, A., ALBRECHT, M., DAUT, G., JANSKÝ, B. (2004): Sediment dynamics from the drainage area into Lake Mladotice in the western Czech Republic under influence of pre- to post-communist landscape changes. In: Geller, W. et al.(eds.): 11th Magdeburg Seminar on Waters in Central and Eastern Europe: Assessment, Protection, Management. Umweltforschungszentrum Leipzig – Halle (UFZ), č. 18/2004, s. 171-172.
- ŠOBR, M. (1999): Jezero Laka. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 89 s.
- ŠNAJDR, M. (2002): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v mrtvém labském rameni u Obřívství. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, ÚŽP, Praha, 86 s.
- ŠVAMBERA, V. (1912): Výzkum šumavských jezer. Sborník ČSZ 18 Praha, s. 250-257.
- ŠVAMBERA, V. (1913-14): Šumavská jezera (Malé Javorské, Velké Javorské, Prášilské, Laka). Rozpravy Čes. Akad. II, tř., Praha, s. 27-28.
- ŠVAMBERA, V. (1939): Jezera na české straně Šumavy. Sborník ČSZ, 45, Praha, s. 15-23.
- TUREK, M. (2004): Komplexní limnologická studie odstaveného labského ramene Libišská tůň v PR Černínovsko. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 105 s.
- VÁNA, J. (1969): Novodomské rašeliniště. Přírodou Chomutovska. Sborník prací severočeské pobočky ČSBS za rok 1968. Vlastivědné muzeum v Chomutově, s. 6-42.
- VESELÝ, J. (1994): Investigation of the nature of the Šumava lakes: a review. Časopis Národního muzea, řada přírodovědná, 163, Praha, s. 103-120.
- VRÁNEK, T. (1999): Plešné jezero. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 96 s.
- VYBÍRAL, V. (1975): Mapování Zeleného Javorového plesa a stejnojmenné dolinky. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra kartografie a fyzické geografie, Praha, 49 s.
- WETZEL, R., G. (2001): Limnology. Lake and River Ecosystems. Third Edition. Academic Press, San Diego, 1006 s.
- WILHELM, F. (1976): Hydrologie / Glaciologie. Westerman Verlag, Braunschweig, 201 s.
- ZBORIL, A. (1994): Prášilské jezero. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 94 s.

ŽÁN, M. (1981): Státní přírodní rezervace Velké Jeřábí jezero, inventarizační průzkum.  
KSSPOP Plzeň, depon. Knihovna AOPK Praha, rezervační kniha NPR Velké Jeřábí jezero.

ŽÁN, M. (1983): Státní přírodní rezervace Kladské rašeliny, inventarizační průzkum.  
KSSPOP Plzeň, depon. Knihovna AOPK Praha, rezervační kniha NPR Kladské rašeliny.

## S u m m a r y

### NEW TRENDS OF THE GEOGRAPHIC RESEARCH INTO LAKES IN CZECHIA

The tradition of geographical research into lakes was established by the founder of the Geographic Institute of Charles University, Professor Václav Švambera, who was doing systematic mapping of glacial lakes in Šumava Mountains on the Czech – German border in the years 1903 – 10. The unfinished work of Švambera was after his death completed and published by his disciple Karel Kuchař. Later Kuchař himself worked at mapping of lakes in east Slovakia and Carpathian Ruthenia and published a series of articles on lakes in our country as well as abroad.

In the 1930's, also the geographers of the German Charles-Ferdinand University in Prague got significantly involved in the research into lakes. First research expeditions were organised by the German professor Bernhard Brandt.

In the 1930's, the lakes in Sumava and karst areas in Slovakia were studied by Josef Kunský. In the post-war period, Václav Král, Eduard Kříž and other authors researched into lakes in the High Tatras.

In the 1970's, the tradition of geographic research was taken over by the author of this article. In the years 1972–75, he did the first geomorphologic and limnology research of Mladotické jezero Lake dammed-up by a landslide, later on he studied the hydrological balance of Lake Baikal and wrote a monograph. A lot of his disciples have taken part in the research into lakes since.

After ninety years that have passed since the last research into lakes in Šumava by Švambera, we have decided to resume them. Limnology studies of five glacial lakes (Prášilské, Plešné, Laka, Černé and Čertovo) were done with the help of modern equipment within the master's theses by A. Zboril (1996), T. Vránek (1999), M. Šobr (1999) and J. Kocum (2004).

Thanks to backing of the Grant Agency of Charles University, the project "Lakes in the Czech Republic" has been completed – it is an extensive study on our lakes including their genetic classification. In the years 1999 - 2002, we have elaborated the analysis of many of lakes of natural origin and also of water accumulations due to human activity in the whole Czech Republic. The work does not include dam reservoirs and ponds. According to that inventory of lakes, there are almost 700 water accumulations in the country, the majority of them of fluvial, organogenous and special origin.

One part of the research was dedicated to a detailed study of fluvial lakes on the middle course of Labe in the Czech territory between Pardubice and Mělník and three deserted Labe arms were subject of limnology studies. The lake near Obříství was dealt with by M. Šnajdr (2002) in his master's thesis, Labiště near Opočínek was analysed by O. Klouček (2002), the locality of Doleháj near Nová Ves by D. Chalupová (2003) and the locality Libiš near Neratovice by M. Turek (2004). All mentioned papers were focused on the analysis of hydrologic regime, water quality, sediments as well as on the biological revitalisation of water bodies. Apart from fluvial lakes, we studied also organogenous lakes. The first study in this field was dedicated to Mechová jezírka (Moos Lakes) in Jeseníky Mountains – master's thesis by F. Oulehle (2002).

The previous work has been followed by the latest extensive project backed by the Grant Agency of the Czech Republic "Atlas of the Lakes in the Czech Republic". Up to now, the inventory of the lakes of organogenous (master's thesis by P. Pošta 2004) and anthropogenic origin (master's thesis by T. Hrdinka 2004) has been compiled. In coming years, we intend to treat all genetic types of lakes in the Czech Republic in the form of limnology studies. The outcome should be the Atlas of Lakes in the Czech Republic that should be published in 2006.

(*Pracoviště autora: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK,  
Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: jansky@natur.cuni.cz.*)

*Do redakce došlo 29. 6. 2005*

JULIUS ČESÁK, MIROSLAV ŠOBR

## METODY BATYMETRICKÉHO MAPOVÁNÍ ČESKÝCH JEZER

J. Česák, M. Šobr: Methods of bathymetric mapping of Czech lakes. – Geografie – Sborník ČGS, 110, 3, pp. 141–151 (2005). – The article outlines the most frequent methods used for mapping of lakes of natural or anthropogenic origin. The methodology is based on outlooks used for more than one hundred years. Two ways of mapping of shorelines and subsequent bathymetric measurements are described. Processing of the obtained data and the final format and appurtenance of maps are described here as well.

**KEY WORDS:** Shoreline mapping – bathymetric mapping – MapInfo – Surfer – geodetic total station – volume of lake basins – interpolation – echo sounder.

Článek vznikl za finanční podpory grantu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264).

### 1. Úvod

Cílem článku je nastínit metody nejčastěji používané při mapování jezer přírodního nebo antropogenního původu. Metodika vychází z přístupů, které jsou používány více než sto let. Na dlouholetý výzkum jezer, který započal mapováním šumavských glaciálních jezer prof. Václav Švambera, navazovali postupně další vědci (Janský 1996). Metody jejich batymetrického mapování se výrazně nelišily. Základem je zmapování břehové linie, po kterém následuje měření hloubek podél vytyčeného profilu. Období dlouhých desetiletí, kdy se výzkumníci neobešli bez teodolitu pro měření úhlů, pásem pro měření délek a olovnice pro měření hloubek (Švambera 1912, Kuchař 1947), střídá éra měření pomocí moderních přístrojů – totální geodetické stanice a sonarů. Ruční vykreslování břehové linie a interpolaci naměřených hloubek nahrazuje počítačové zpracování naměřených hodnot pomocí několika typů software.

Jelikož nelze vždy použít totální geodetickou stanici pro vyměření půdorysu (břehové linie) jezera, je v samostatné kapitole nastíněn i postup měření pomocí ortogonální metody (Janský, Šobr a kol. 2003). Popsané metody mapování lze využít u většiny českých jezer přírodního či antropogenního původu. Pro mapování větších vodních ploch (přehrady, plošně velká jezera) je nutné metodiku upravit, přičemž základ zůstává stejný – získat místa na hladině jezera s přiřazenými souřadnicemi  $x$ ,  $y$ ,  $z$  pro vykreslení hloubnic. Nabízí se zde kombinace GPS a echolotu s možností ukládání dat ve zvoleném intervalu.

### 2. Metody mapování břehové linie

Ještě před započetím vlastního terénního mapování je důležité seznámit se s mapovanou vodní plochou. Je nutné předem jezero obejít, vybrat místa, kde

bude vhodné zřídit základní polygonové body (na kterých bude možné snadno postavit stativ s teodolitem nebo totální stanicí s odkrytým výhledem na ostatní body). Rovněž je potřeba znát alespoň přibližně hloubkové poměry jezera, abychom mohli správně rozmístit vrcholy příčných profilů pro měření hloubek (viz 2.2.).

Mapování břehové linie lze provádět dvěma základními způsoby. Tím méně moderním a více pracným způsobem je mapování pomocí ortogonální metody (viz 2.1.). Díky pokroku moderních technologií ve výrobě geodetických přístrojů a počítačových programů, můžeme v současné době provádět půdorysná a batymetrická mapování jezer mnohem rychleji a přesněji. Využíváme k tomu totální geodetickou stanici s vnitřní pamětí a počítačové programy MapInfo či ArcView a Surfer.

Pro obě dvě metody je důležité, vyznačit si vhodným způsobem (např. terčíky s čísly) body na břehové linii, které využijeme pro vytyčení profilů, na nichž budeme provádět hloubková měření. Každý takto vyznačený bod je nutné zaměřit a mít jej přesně zanesený v půdorysném plánu, protože z něho bude vycházet jeden či více hloubkových profilů, které je posléze potřeba přesně lokalizovat v mapě. Podél těchto linií jsou potom měřeny hloubky. Počet profilů a jejich rozmístění na břehové čáře pečlivě zkонтrolujeme (nejlépe pomocí jednoduchého náčrtku vodní plochy), aby hustota hloubkových měření byla dostatečná a rovnoměrná po celé ploše jezera.

### 2.1. Mapování ortogonální metodou

Mapování ortogonální metodou spočívá ve využití uzavřeného polygonového pořadu a pravoúhlých souřadnic. Polygonový pořad je prostorová lomená čára, která je určena vodorovně měřenými délками stran a vodorovnými úhly, které mezi sebou strany svírají. Jednu stranu polygonového pořadu je potřeba zorientovat k severu, pro naše účely postačuje pomocí kapesního kompasu nebo buzoly. Polygonové strany slouží jako základny, vůči nimž se určuje poloha zvolených bodů na břehové linii pomocí pravoúhlých souřadnic – kolmicemi a staničením. Kolmice udávají kolmou vzdálenost vybraného bodu břehové linie od polygonové strany. Staničení udává vzdálenost paty kolmice od začátku polygonové strany. Z důvodů přesnosti měření je nutné vést polygonové strany co nejbližše k břehové linii jezera, délka kolmice by neměla přesáhnout 2 m (Čapek 1992).

Měření horizontálních úhlů provádíme pomocí teodolitu (např. THEO 080 A), všechna délková měření pomocí pásem. Polygonové body je potřeba volit tak, aby bylo možno na ně postavit přístroj a aby z něho bylo dobré vidět na oba sousední body při měření horizontálního úhlu. Zároveň se snažíme vybrat co možná nejmenší počet polygonových bodů, protože s jejich narůstajícím počtem roste riziko chyby. Kontrolu správnosti měření vnitřních úhlů polygonu lze provést pomocí jednoduchého vzorce pro součet vnitřních úhlů v mnohoúhelníku (kde  $n$  je počet polygonových bodů):

$$\Sigma_{\alpha} = (n - 2) \times 200^{\circ}$$

Z naměřených hodnot potom buď ručně nebo pomocí geodetického programu (např. KOKES) vykreslíme půdorysný plán jezera. Ručně vykreslený plán je možné po digitalizaci napasovat jako rastrovou vrstvu na digitální model reliéfu a usadit vytvořený půdorysný plán jezera do globálního souřadného systému.

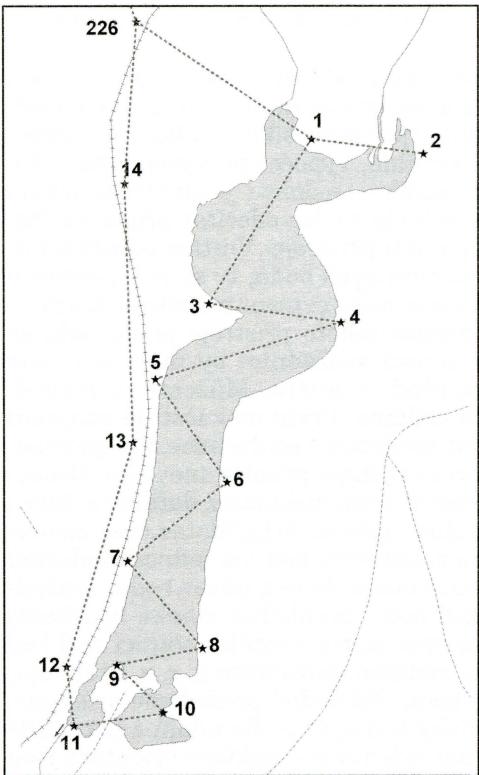
## 2.2. Mapování pomocí geodetické totální stanice

Geodetické totální stanice jsou přístroje, které slouží k měření a vytyčování vodorovných a svislých úhlů, délek a k registraci naměřených dat s možností matematických operací s těmito daty (přepočet šikmé délky na vodorovnou, převod polárních souřadnic na pravoúhlé, výpočet převýšení atd.). Totální stanice je souosé spojení elektronického teodolitu s elektrooptickým světelným dálkoměrem. Uhlové a délkové hodnoty lze odečítat přímo na displeji a zároveň je registrovat ve vnitřní paměti přístroje. Vnitřní paměť totální stanice má kapacitu až několik tisíc naměřených bodů, ty se pak přenesou do počítače buď pomocí propojovacího kabelu nebo externí paměťové karty.

Výsledkem měření půdorysu jezera pomocí tohoto přístroje je síť bodů se známými souřadnicemi  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , přičemž zetová souřadnice by měla mít vždy stejnou hodnotu rovnou absolutní výšce hladiny jezera. Můžeme se rozhodnout, jaké vstupní souřadnice do stanice zadáme. První možností je uchycení do souřadnicového systému JTSK – zadat geodetické souřadnice z trigonometrického nebo zhušťovacího bodu, na kterém zřídíme první stanovisko. Geodetické údaje trigonometrických a zhušťovacích bodů získáme z databáze, která je v současné době dostupná na internetové adrese <http://dataz.cuzk.cz/prehledky.php>. Každý trigonometrický nebo zhušťovací bod má jednostránkovou tabulku, kde jsou uvedeny všechny důležité údaje: číslo a název bodu, souřadnice, nadmořská výška, orientace na další body, přehledná mapa lokalizace bodu. Postupujeme tak, že nejprve postavíme stativ s totální stanicí nad bod a provedeme centraci a horizontaci. Dále zadáme souřadnice  $y$ ,  $x$ ,  $z$ , které opíšeme z listu geodetických údajů daného bodu. Následně provedeme orientaci, která spočívá v zaměření na jiný geodetický bod opět podle údajů z listu. Zde je potřeba upozornit na nejednost udávání orientace – některé orientace jsou udány v grádech, některé ve stupních. Do totální stanice je potřeba zadat úhel v grádech. Dále postupujeme tak, že vedeme volný polygonový pořad až k místu prvního stanoviště u mapované vodní plochy. Ve směru k zájmovému území (jezeru) postavíme stativ s odrazným hranolem a zaměříme tento bod. Poté přeneseme totální stanici na určený bod, zadáme jej jako stanovisko (souřadnice jsou již uloženy v paměti) a provedeme orientaci na předchozí (trigonometrický nebo zhušťovací) bod. Takto postupujeme, až dojdeme k mapovanému objektu. Každý zaměřený bod má své pořadové číslo, které je přiřazováno automaticky nebo si jej můžeme zvolit. Je dobré zvolit zcela odlišná čísla bodů polygonového pořadu od čísel, která budeme používat pro body měřené na břehové linii (obr. 1).

Pokud se nenachází v blízkosti zkoumané lokality žádný geodeticky zaměřený bod, lze použít k určení souřadnic přístroj GPS. GPS přístroje většinou udávají souřadnice v systému WGS 84 (zeměpisné souřadnice) a současně v systému S-42 (souřadnice  $x$ ,  $y$ ). Tyto souřadnice nelze však do totální stanice zadat. Je nutné provést jejich převod pomocí příslušného programu na souřadnice JTSK. Orientaci potom provedeme na jiný pomocí GPS přístroje změřený bod. Další možností je zorientování TS (totální stanice) podle kompasu k jihu a zadáme v tomto směru horizontální úhel  $H_z=0$ . Takto popsaná metoda v sobě ale zahrnuje značnou chybu, protože přístroj GPS udává polohu podle použitého přístroje s přesností 1–10 m, nadmořskou výšku obvykle s přesností 1–20 m (Steiner, Cerný 2003). Rovněž určení orientace podle kompasu není dostatečně přesné.

Třetí možností je založení tzv. místního souřadního systému, kdy zadáme jako výchozí souřadnice hodnoty  $x=0$ ,  $y=0$ . Hodnotu nadmořské výšky může-



Obr. 1 – Vyměření břehové linie Mladotického jezera z roku 2003 (Janský 2003). Uzavřený polygonový pořad z trigonometrického bodu 226 k mapované lokalitě. Čísla 1–11 udávají stanoviška, ze kterých byla pomocí totální stanice lokalita mapována.

vé linie – větší hustota měřených bodů), stejně jako u ortogonální metody. Na zvolených bodech potom figurant umísťuje odrazný hranol, na který se zaměřuje. Jednotlivé zaměřené body jsou automaticky číslovány (pozor na odlišení číslování od bodů hrubého polygonu). Přesnost měření břehové linie je po správném nastavení totální stanice závislá pouze na figurantovi s odrazným hranolem, který musí výtyčku s odrazným hranolem držet kolmo nad břehovou linií (obr. 2). Zde dochází k první generalizaci průběhu břehové linie. Pokud se vyskytne nepřístupný úsek na břehové linii (příkrá skála apod.), lze měřit pomocí viditelné laserové stopy bez nutnosti použít odrazného hranolu. Použití laserového paprsku je limitováno vzdáleností od překážky, ta závisí na typu přístroje (např. Leica TCR 705 může měřit až na vzdálenost 180 m).

me zadat rovněž nulovou nebo hodnotu zjištěnou z mapy nebo výškoměru. Orientaci provedeme rovněž zadáním  $H_z=0$ , a to do libovolného směru, k významnému bodu v okolí nebo k severu určenému pomocí kompasu.

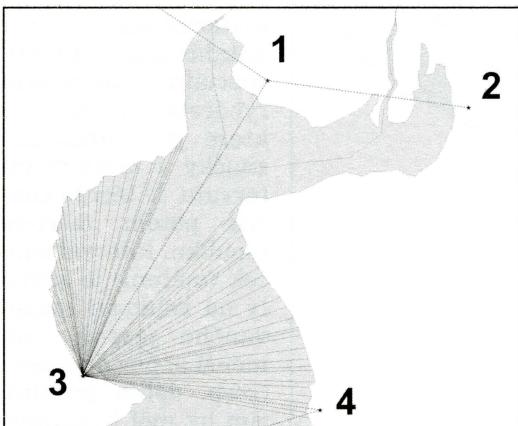
Poté co máme nastaveno stanovisko a orientaci, můžeme začít s podrobným měřením polohopisu, v našem případě břehové linie. Výhodou totální stanice je, že lze zmapovat celou vodní plochu z několika stanovišek (u menších a přehledných jezer i z jednoho). Proto je velmi důležité zvolit si stanoviška, ze kterých bude vidět pokud možno co největší část břehové linie. Jednotlivá stanoviška je nejlepší zaměřit na začátku měření a přidělit jim čísla, která budou výrazně vyšší než čísla bodů, změřených na břehové linii, aby nedošlo k záměně. Tato čísla bodů je důležité si zapsat, protože při přemístění přístroje (stativu) z jednoho bodu na druhý, bude opět nutné zadat stanovisko (postačuje zadat číslo příslušného bodu, souřadnice se doplní z paměti automaticky) a orientovat přístroj na jiný bod (obr. 1).

Měřené body na břehové linii volíme víceméně rovnoměrným rozmístěním, které je ale podmíněno tvarem břehové linie (lineární průběh – méně bodů, nepravidelný průběh břeho-

### 3. Metody měření hloubek

#### 3.1. Použití echolotu

Dříve používané metody měření hloubek pomocí olovnice nebo závaží jsou poměrně přesné, zato však časově náročné. V současné době jsou běžně k do-



Obr. 2 – Ukázka podrobného mapování břehové linie ze stanoviska č. 3. Čáry vycházející z bodu 3 představují jednotlivé záměry z totální stanice na odrazný hranol.

staní echoloty, pomocí kterých můžeme určovat hloubku velmi pohodlně. Přesnost měření závisí na měřené hloubce. Čím je tato větší, tím klesá přesnost až na 0,3 m dle použitého typu přístroje. Ze získaných zkušeností v porovnávání měřených hodnot se závažím spouštěným na cejchované šňůre můžeme konstatovat, že u hloubek do 50 m je přesnost do 10 cm, což pro následnou interpolaci bohatě postačuje. Rozsah měřených hloubek echolotem se většinou pohybuje mezi 0,4–200 m. Existují echoloty s vnitřní pamětí, takže odpadá nepříjemné zapisování hodnot hloubek zvláště v deštivém počasí. Některé typy echolotů jsou dokonce vybaveny

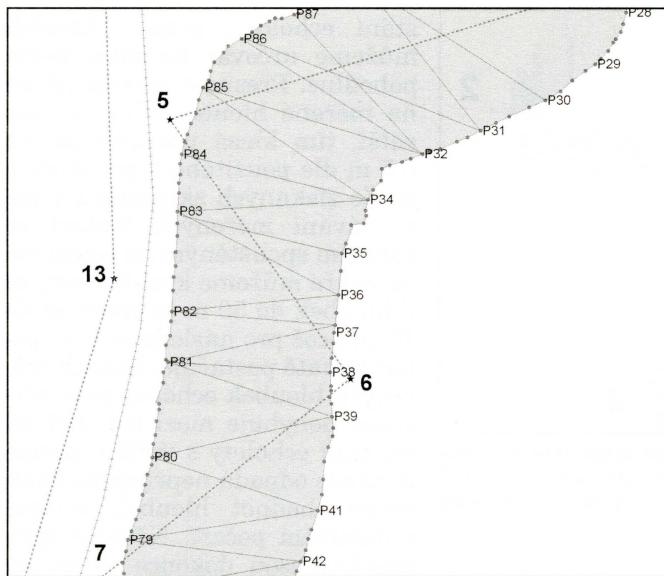
GPS přístrojem, takže ukládaný bod obsahuje souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Tento přístroj je vzhledem k přesnosti měření pozice využitelný pouze na plošně rozlehlych vodních plochách s dobrým příjemem družicového signálu, což u drtivé většiny přírodních i antropogenních jezer v Česku není možné využít.

Echolot je přístroj, který zobrazuje informace o prostředí pod vodní hladinou, které získává příjemem vysílaných vln. Skládá se ze sondy (transduceru) instalované pod vodní hladinou, která vysílá vysokofrekvenční emitované vlnění formou kónického kuželu (frekvence většinou 50–200 kHz). V okamžiku, kdy vyslaná vlna narazí na dno nebo se dostane do kontaktu s rybou či jiným objektem, odrazí se zpět a je sondou přijímána. Sonda přijímá vlny (tzv. echa) jako signály a posílá je do samotného přístroje, kde se zpracovávají a zobrazují na displeji.

Sonda echolotu musí být umístěna na nosníku tak, aby byla neustále ponorená pod vodou a její spodní plocha, ze které vychází vysokofrekvenční vlnění, musí být vodorovná s hladinou. Pokud nejsou tyto podmínky splněny, nebude přístroj měřit přesně. Většina moderních echolotů je dvoufrekvenčních. Při použití nižší frekvence (50 kHz) je větší velikost úhlu rozevření kuželu (asi 40°). Tímto způsobem můžeme pozorovat rozsáhlejší oblasti dna, ale s menší přesností měření hloubky. Největší přesnosti měření hloubky dosáhneme při větší frekvenci (200 kHz), kdy je úhel rozevření kuželu asi 10°. Pokud to přístroj umožňuje, zvolíme nastavení duální frekvence. Výsledná hodnota hloubky je pak vypočtena ze dvou měření a je mnohem přesnější. Moderní echoloty jsou schopné rozlišit měkký (např. bahnitý) nebo tvrdý (kamený) povrch dna. Typ dna je zobrazován na obrazovce barvou podloží (světlejší odstíny – měkký zvodený sediment, tmavší – tvrdý zpevněný povrch).

### 3.2. Měření hloubek v příčných profilech

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2, je potřeba mít před započetím batymetrického měření alespoň hrubou představu o rozložení hloubek. Z dříve určených a přesně zaměřených bodů břehové linie vytyčujeme napříč jezerem profile (obr. 3). Přes jezero se napne šňůra z vhodného materiálu (nutno použít



Obr. 3 – Rozmístění příčných profilů pro měření hloubek jezera.

interval 1 m.

Hloubky se měří ze člunu, který se pohybuje podél napnutého vlasce. Ve vyznačených bodech se na displeji echolotu odečítají hodnoty hloubek, které se ručně zapisují nebo se ukládají do vnitřní paměti echolotu. K vlastnímu měření je nutné použít stabilní člun, aby se minimalizovala možnost jeho převrhnutí. Dále je potřeba kontrolovat, aby rychlosť pohybu člunu byla úměrná rychlosti změn hloubky na displeji. Pokud se pohybujeme nad rovným dnem, můžeme se pohybovat rychleji než nad místy s větší členitostí nebo při dojízdění ke břehu. Echolot má vždy nepatrné zpoždění, které je dáno zpracováním signálů ze sondy a jejich zobrazením na displeji.

Vzhledem k rozsahu měření echolotu a výše uvedenému zpoždění je problematické vyměření hloubek mělčin. V místech, která jsou jednak zarostlá vodní vegetací nebo jsou mělčí než 0,4 m, echolot nepracuje správně resp. ukaže chybné hodnoty. Zde je potřeba použít ruční metodu měření hloubek. Lze doporučit cejchovanou latď délky cca 1 m, která je na konci opatřena patkou, která zabírá jejímu proniknutí např. do bahnitého dna a zkreslení měření. Stejně tak je nutné postupovat při měření organogenních jezer – rašeliníště a slatiníště. V těchto lokalitách rovněž echolot nepracuje správně, protože se signál odráží od vegetace ve vodním sloupci a je potřeba měřit hloubky mechanicky pomocí cejchované latě.

#### 4. Tvorba batymetrické mapy

##### 4.1. Zpracování půdorysných měření v programu MapInfo

Získané bodové pole z terénního měření je potřeba importovat do PC. Při počítačovém zpracování dat a následném modelování se používá kombinace několika software. V následujících odstavcích jsou stručně popsány postupy počítačového zpracování.

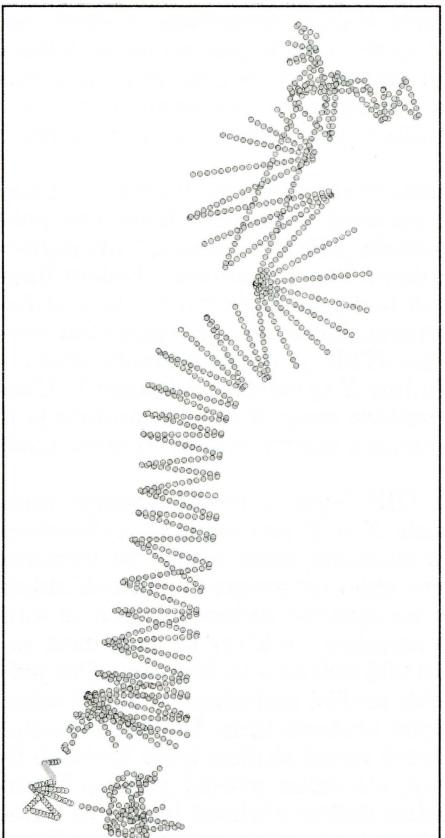
materiál odolný proti natahování – kevral, speciální pevnostní rybářské vlasce), na které jsou umístěny značky v určitém intervalu. U těchto značek potom měříme hloubku. Interval značek (měření) je závislý na velikosti mapovaného jezera (resp. délka profilu), tím by měl být interval měření menší. Standardně používáme vzdálenost značek v intervalu 5 m u větších jezer, u menších vodních ploch (např. rašelinná jezírka) interval 1 m.

1. Stahování dat z totální stanice. Totální stanice umožňuje ze všech registrovaných dat při stahování z paměťové karty načítat pomocí námi definovaného filtru pouze data a formát datového souboru, který potřebujeme k modelování jezerních pánví. Uložená data na paměťové kartě totální stanice exportujeme přes komunikační kabel ve formátu \*\*.txt (možno též využít formát \*\*.gsl).

2. Práce ze surovými daty. Data ve formátu \*\*.txt otevřeme v programu Excel. Tento mezikrok je velice důležitý pro správné vykreslení bodového pole v programech GIS. Jak bylo uvedeno v kapitole „Měření v terénu“ při registraci bodu na břehové linii označeného terčíkem, který je zároveň bodem linie hloubkových měření, se kód uloží nad řádek bodu, ke kterému byl kód přiřazen. Proto je nutno přesunout kódy v programu Excel do odpovídajícího řádku. Pokud měříme v souřadnicovém systému JTSK, je nutné hodnoty souřadnic  $X$  a  $Y$  násobit číslem  $-1$  a sloupec souřadnic  $X$  vyměnit za sloupec  $Y$ . Účelem této operace je správné zobrazení a orientace mapy k severu, protože je-li totální stanice v terénu správně zaregistrovaná a zorientovaná, směřuje horizontální úhel  $0$  grad k jihu.

3. Tvorba bodového pole v programech GIS. Výše uvedené postupy nám umožnili připravit si bodové pole souřadnic  $X$  a  $Y$  pro správné vykreslení v programu MapInfo. V tomto programu načteme data přímo ve formátu \*\*.xls a v záložce „Tabulka – vytvořit bodové objekty“ program vykreslí shluk bodů. Pro správné zobrazení je nutno dbát na správné zadání sloupců se souřadnicemi  $X$ ,  $Y$  a zvolení dostatečné meze projekce, ve které se mají data zobrazit (nezeměpisné metry – meze  $X$ ,  $Y$   $-10\ 000\ 000$  až  $+10\ 000\ 000$ ). Pro jednodušší orientaci si k bodům batymetrických profilů přiřadíme popis. Z takto vykresleného shluku bodů vytvoříme polygon břehové linie. Při malém datovém souboru můžeme v nově vytvořené vrstvě ručně oklikat body břehové linie a vytvořit polygon. Je to sice zdolouhavý, ale velice přesný postup. Tento postup je také potřeba použít v případě velmi složité břehové linie. Pro automatické vykreslení (spojení jednotlivých bodů) polygonu použijeme nástroj Connect Points. Tento nástroj není v základním vybavení programu MapInfo a je potřeba si jej, ostatně jako mnoha dalších užitečných doplňkových nástrojů k programu Map Info, stáhnout z internetu <http://www.directionsmag.com> (cesta: Recources – Tools&Data – Utilities, Extensions, Scripts – Connectthedots.zip). Při dalším zpracování je potřeba ještě nástroj DistanceMarker (stejný zdroj – Distmark.zip). Nástroj Connect Points spojí dle námi definovaných parametrů jednotlivé body do uzavřeného polygonu. Je však nutno počítat s tím, že některé velmi složité průběhy břehové linie bude potřeba ručně upravit. Vytvořená „kosmetická vrstva“ je prvním výsledkem morfometrických parametrů zkoumané jezerní pánve. Ihned zjistíme velikost vodní plochy a obvod břehové linie.

Dalším krokem je získávání souřadnic  $X$ ,  $Y$  bodů hloubkového měření. Stále v programu MapInfo v další nově vytvořené vrstvě spojíme hloubkové profily tak jak jsme podél napnutého vlákna jezdili na člunu. V tomto kroku též můžeme kontrolovat, zda-li jsme neudělali chybu při odečítání značek (resp. je-li vzdálenost mezi body přibližně stejná v počítacovém vykreslení a zápisu z terénu). Pro zjištění souřadnic  $X$ ,  $Y$  bodů hloubkových měření použijeme nástroj DistanceMarker. Pro správnou funkci tohoto nástroje musí být linie, na které budou automaticky umístěny body hloubkového měření, převedena na režim lomené čáry (polylines). Zvolíme interval odpovídající měření v terénu podél liní profilu a program vypočítá požadované souřadnice (obr. 4). Pro správnou interpolaci v programu Surfer zahustíme v terénu naměřené body břehové li-



Obr. 4: Síť bodů hloubkových měření podél vytýčených profilů. Známe jejich souřadnice  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , které použijeme pro tvorbu modelu jezerní pánve v programu Surfer.

Postup: Grid – Data –  $\text{**.xls}$  soubor, který budeme interpolovat. V nabízené tabulce nastavíme parametry interpolace. Důležité je správně zadat sloupce  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , dále metodu a rozestup (spacing). Cím menší rozestup, tím déle bude trvat výpočet, ale nezaručuje to lepší výsledek. Každá modelovaná lokalita si vyžaduje vlastní nastavení parametrů a neexistuje všeobecný návod, jaká čísla zadat do tabulky vstupních parametrů. Vypočtený soubor  $\text{**.grd}$  znázorníme přes postup: Map – Contour Map – New Contour Map. Jelikož se výsledek zobrazí ve škále monochromatické stupnice se všemi šumy, není na první pohled zřetelně vidět ani břehová linie ani hloubkové stupně. Úpravou nastavení zobrazení, použitím barevné stupnice, vyhlazením hloubnic a zvolením správného intervalu hloubkových stupňů, vhodným posunem a výběrem popisů izobat vytvoříme batymetrickou mapu. Rušivé šumy vymodelované mimo břehovou linii odstraníme oříznutím (Grid – Blank...). Nejdříve otevřeme čáru břehové linie jako (Grid – Base Map...), poté označíme oba objekty na mapě a nástrojem (Map – Overlay Maps...) překryjeme objekty přes sebe. Nástrojem (Map – Break Apart Overlay...) oddělíme opětovně vrstvy. Zviditelníme pouze vrstvu břehové linie, označíme všechny lišty a veškeré popisy tak, aby zůstala na mapě

nie vypočítanými body na linii břehovky pomocí stejného nástroje. Tento krok není nezbytně nutný, ale je vhodný pro stejnoměrné rozdělení bodů na břehové linii, kterým následně bude přidělena v  $Z$  souřadnici hodnota 0 a zvýšení váhy hranice břehové linie jako mezní prostor interpolace. Takto upravené bodové pole exportujeme ve formátu ASCII. V programu Excel k souřadnicím  $X$  a  $Y$  přiřadíme sloupec  $Z$ . Břehová linie bude mít  $Z=0$  a souřadnicím na jezere budou přiřazeny naměřené hodnoty z echolotu. Takto vytvořená databáze bodů je připravena k interpolaci v programu Surfer. Pro použití v Surferu vyexportujeme čáru břehové linie ve formátu  $\text{**.mif}$ . Tento soubor později použijeme pro oříznutí grafického znázornění modelované jezerní pánve.

#### 4.2. Modelování jezerní pánve v programu Surfer

Program Surfer (Terrain and Surface Modeling) umožňuje pomocí mnoha matematických metod vypočítat a následně graficky vyjádřit prostorový model jezerní pánve. Spektrum použití tohoto programu je velice široké, ale zde se zmíníme pouze o postupu, jakým způsobem vymodelovat zatopené jezerní pánve.

Připravená data pro interpolaci použijeme pro výpočet metodou Kriging. Po-

pouze čára břehové linie a následně exportujeme ve formátu \*\*.bln. Takto získaný soubor použijeme pro oříznutí nežádoucích šumů mimo břehovou linii (Grid – Blank). Postup: soubor \*\*.grd ořízneme souborem \*\*.bln a uložíme do nového souboru \*\*.grd.

Při nedostatečné velikosti bodového pole či chybě při přepisu hloubek z terénních poznámek do souboru \*\*.xls může výše uvedená metoda zapříčinit špatné znázornění modelu jezerní pánve. Další nevýhodou toho programu je, že velice špatně interpoluje v jednom směru výrazně protáhlá jezera (poříční, sesuvem hrazená údolní jezera, apod.). I když parametry nastavení interpolace nabízí mnoho možností (zdaleka ne všechny zde byly uvedeny), vždy při modelování úzkých dlouhých jezer dochází k problémům při vizualizaci, protože se na výsledné mapě zvýrazňují linie hloubkových profilů. Důležité je tedy mít dostatečné bodové pole pro interpolaci, zkонтrolovaná data (překlepy, křížení profilů, délky profilů, apod.) a dobrou představivost, odpovídá-li vypočtený model realitě. Pro zlepšení vizualizace je též možno použít některý ze široké nabídky předdefinovaných filtrů, či si vlastní filtr vyhlazení izobat vytvořit (Grid – Filter... - \*\*.grd).

Vypočtený soubor \*\*.grd můžeme též použít pro výpočet batymetrické křivky jezera. Pomocí nástroje Grid – Volume... postupně získáme údaje jednotlivých hloubkových stupňů. Postup je časově náročný, jelikož musíme pro každý hloubkový stupeň provést samostatný výpočet. Výsledná batymetrická křivka je však velice přesná a při použití stejných interpolačních metod v budoucnosti je dobrým základem pro získání informací dynamiky sedimentace jezerní pánve.

#### 4.3. Finální úprava a náležitosti mapy

Každá batymetrická mapa musí být kartograficky správná. Musí obsahovat měřítko (z důvodu zmenšování nejlépe grafické) a orientaci pomocí směrové růžice. Pro znázornění hloubkových poměrů jezerní pánve se používají hloubnice (izobaty) a barevná batimetrie. Hloubnice jsou čáry, které spojují body dna vodní plochy, které spolu těsně sousedí a mají stejnou zaokrouhlenou hodnotu vzhledem ke srovnávací ploše, v tomto případě k hladině vodní plochy. Barevná batimetrie spočívá v barevném nespojitém znázornění hloubek po jednotlivých hloubkových stupních. Hloubkovým stupněm se rozumí výškový rozdíl hloubnic, které jej ohraňují, plocha mezi těmito hloubnicemi se nazývá hloubková vrstva. Každá hloubková vrstva se vykryvá barvou, která odpovídá příslušnému hloubkovému stupni podle batymetrické stupnice barev. Většinou se používají obě metody současně.

Při použití barevné batimetrie se musíme zabývat dvěma otázkami: volbou hloubkových stupňů a batymetrické stupnice barev. Volba hloubkových stupňů vychází z hodnoty maximální hloubky. Podle Duba (1953) je vhodné stanovit intervaly hloubnic na 1/5 až 1/10 maximální hloubky. U mělkých jezer můžeme zvolit interval hloubkového stupně i po 0,2 m. Počet hloubkových stupňů by neměl překročit 10, při větším počtu roste nutnost použití více barevných odstínů, které jsou od sebe vizuálně téžko odlišitelné. Řídíme se zásadou, čím větší hloubka, tím temnější barva a čím větší hloubka, tím chladnější barva. V černobílé podobě má batymetrická stupnice barvy v odstínech šedé, v barevném provedení volíme buďto odstín modré nebo začínáme zelenomodrou barvou a přes odstín modré končíme tmavě modrou až modrofialovou barvou.

V každé jezerní pánvi uvádíme maximální hloubku. Většinou se popisuje bez jména, hodnota maximální hloubky (kóta) se situuje vždy vodorovně, nej-

lépe vpravo od značky bodu nebo symetricky nad ni. U pojmenovaných bodů se jméno umísťuje nad značku a kóta pod ni. Popis hloubnic (izobat) provádíme ve směru jejich průběhu tak, aby vršky čísel směřovaly k vyšší hodnotě nadmořské výšky, tzn. k břehové linii. Čára hloubnice se přeruší pokud možno v místě, kde má tato hladký průběh, číslo se umístí tak, aby jej hloubnice dělila na dvě poloviny. Čísla hloubnic by neměly vytvářet sloupce, ty působí neesteticky. Z hlediska hledání jednotlivých hloubek v mapě je lepší, aby byla čísla rozmístěna rovnoměrně po celé mapě (Čapek 1992).

## 5. Závěr

Metodika popsaná v tomto článku ukazuje, jakým způsobem je možné využít moderních přístrojů při terénním fyzickogeografickém výzkumu. Období měření olovnicí a ruční interpolace jezerních pánví tak definitivně střídá práce s přesnými elektrooptickými a sonarovými přístroji. Díky zavedení nových postupů a s použitím totální geodetické stanice a echolotu při terénním mapování dochází ke zkrácení a zjednodušení práce. Rovněž dosažené výsledky lze při dodržení všech základních geodetických pravidel a postupů považovat za přesnější. Největším přínosem pro zvýšení přesnosti měření je použití totální geodetické stanice pro vyměření břehové linie. Odpadá tak pracné měření pomocí uzavřeného polygonového pořadu. Následné počítačové zpracování naměřených dat také zvyšuje přesnost i grafickou kvalitu výstupů.

Na optimalizaci postupu prací a zpracování dat získaných při měření se podíleli i diplomanti, kteří svými přístupy pomáhali zlepšovat efektivitu a kvalitu výstupů. V neposlední řadě bychom chtěli poděkovat J. Langhamerovi za cenné rady, které nás vždy posunuly o krok dále při zpracování dat v počítačových programech MapInfo a Surfer.

## Literatura:

- ČAPEK, R. a kol. (1992): Geografická kartografie. SPN, Praha, 373 s.  
Databáze trigonometrických a zhušťovacích bodů. Zeměměřický úřad 2003, <http://dataz.cuzk.cz/prehledky.php>.  
Directions Magazíne. The Worldwide Source for Geospatial Technology. <http://www.directionsmag.com>  
DUB, O. (1953): Limnológia. Hydrológia jezer a barín. Vydavatelství SAV, Bratislava, 526 s.  
JANSKÝ, B. (1996): Tradice geografických výzkumů jezer na Karlově univerzitě. Geografie–Sborník ČGS, Praha, 101, č. 1, ČGS, s. 59-63.  
JANSKÝ, B. (2003): Dynamika zanášení Mladotického jezera. Sborník z Geomorfologické konference v Nečtinech. ZČU, Plzeň, s. XX-XX.  
JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky. Monografie. PřF UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 216 s.  
KUCHAŘ, K. (1947): Mapy šumavských jezer podle měření prof. V. Švambery. Kartografický přehled, II, č. 3-4, Praha, s. 41-42.  
MapInfo Professional: Uživatelská příručka. MapInfo Corporation, Troy, New York 1998–2004, 575 s.  
STEINER, I., ČERNÝ, J. (2003): GPS od A do Z. (2. rozšířené vydání), eNav, s.r.o., Praha, 178 s.  
Surfer: User's Guide. Golden Software, Inc., Colorado 1999–2003, 619 s.  
ŠVAMBERA, V. (1912): Výzkum šumavských jezer. Sborník ČSZ, 18, Praha, s. 250-257.

## METHODS OF BATHYMETRIC MAPPING OF CZECH LAKES

The methodology of bathymetric mapping of lakes stems from outlooks used for more than one hundred years. The period when the researchers did not get along without theodolite for measuring of angles, tapes for measuring of lengths and plumbs for depth measurements is now followed by an era of measuring by sophisticated instruments – total geodetic stations and sonars. The manually operated projection of shoreline and interpolation of measured depths is superseded by computer processing of measured values by some types of software.

Since the total geodetic station for ground plan survey (shoreline) of a lake cannot be always used, a separate chapter outlines the procedure of measurement by means of orthogonal method. The described mapping methods can be used for the majority of Czech lakes of natural or anthropogenic origin. For mapping of larger water bodies (dams, flat big lakes) an adaptation of methods is necessary, while the aims will be the same – to obtain points on water level with associated coordinates  $x, y, z$  for depth points delineation. The combination of GPS and echo sounder with the possibility of data storage in selected intervals is presented as well.

Shoreline mapping is the first step. We can make it by means of orthogonal method. Thanks to the progress in manufacturing of geodetic instruments and in computer programs we can now execute ground plan measurements with the help of total geodetic stations with internal memory and MapInfo or ArcView, and Surfer computer programs. Ground plan measurement by means of this instrument give a net of points with found coordinates  $x, y$  and  $z$ .

The previously used methods of depth measuring by means of plumb or weight are comparatively exact but time-consuming. At present, echolots are available for a comfortable determination of the depth. The measurement accuracy depends on the measured depth and oscillates between 0.1 and 0.3 m. We locate the profiles across the lake from the previously determined and exactly radiated points of the shoreline, then we determine the depth along them by an echolot.

Elaboration of a bathymetric map consists of several steps. Firstly, we download the data and edit them in Excel program. We consequently plot the point field of shoreline in MapInfo program and connect the points to obtain the shoreline, on which we can make the basic morphometric measurements. The survey of cross sections and elaboration of a dotted field of points, on which we made the depth measurements, is the next step. The measured depth is then assigned to those points. We will perform the interpolar calculation in Surfer program. The final map editing according to cartographic standards is the last step.

Fig.1 – Survey of the Mladotické jezero Lake shoreline from 2003. The close polygonal order from the triangulation point 226 to the mapped locality. Numbers 1 to 11 indicate positions, from which the locality was mapped with the help of a total station.

Fig. 2 – Demonstration of detailed shoreline mapping from position No. 3. The lines coming out from point 3 represent individual surveying from the total station to the reflection prism.

Fig. 3 – Distribution of cross profiles for measuring of the lake depths.

Fig. 4 – The net of points of depth measurements along the located profiles. We know their coordinates  $X, Y, Z$  and we will use them for elaboration of a model of the lake basin in Surfer program.

(Pracoviště autorů: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK,  
Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: julekc@natur.cuni.cz, sobr@natur.cuni.cz.)

*Do redakce došlo 29. 6. 2005*

JAN KOCUM, BOHUMÍR JANSKÝ

## LIMNOLOGICKÁ STUDIE ČERTOVA JEZERA

J. Kocum, B. Janský: *Limnological Study of the Čertovo Lake.* – Geografie–Sborník ČGS, 110, 3, pp. 152–175 (2005). – The main aim of the limnological research of the Čertovo Lake (Bohemian Forest, south-western Czechia) was to make its precise ground plan, to characterize the depth conditions of the lake basin and to determine the accurate altitude of the lake water level. One of the main outcomes of the study is the bathymetric map of this second largest glacial lake in Czechia. The description of morphometric characteristics of the lake catchment was also one part of the research. The analysis of the hydrological regime of the lake and of rainfall-outflow processes in its catchment has been carried out for the first time in the history of research activities in this locality. In order to elaborate a comprehensive geographical study of the lake, monitoring of the temperature conditions and ice phenomena of the accumulated water, of water transparency and colour and of its physical and chemical characteristics was also made.  
KEY WORDS: limnological research – Čertovo jezero Lake – Bohemian Forest – bathymetric map – glacial lake – hydrological regime.

Článek vznikl za finanční podpory grantu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264) a výzkumného záměru MŠM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

### 1. Úvod

Čertovu jezera se v minulosti věnovali badatelé rozličného zaměření – geografové, geologové, hydrobiologové, geochemici či botanici. Jedinými seriózními prameny při studiu morfometrie jezerní pánve a hydrografie povodí jezera byly však doposud práce Václava Švambery, který zde provedl zevrubný terénní průzkum již na počátku 20. století. V rámci něho uskutečnil dosud nejpresnější vyměření jezerní pánve. Své následovníky přitom nabádal k opakování batymetrických měření, aby mohl být sledován vývoj zanášení jezera.

V roce 2003 zpracoval kolektiv řešitelů grantového projektu GACR „Atlas jezer České republiky“ poslední podrobný limnologický výzkum tohoto jezera. Jeho cílem bylo především vypracování komplexní limnologické studie za použití soudobých metod terénního průzkumu i zpracování naměřených dat. Všechny získané poznatky mely být porovnány s více než 90 let starými daty V. Švambery a současně mely vytvořit určitý základ pro další srovnávací studie, týkající se posouzení dynamiky vývoje jezerního ekosystému. K dosažení této cílu bylo zapotřebí především detailně vyměřit půdorys jezera a hloubkové poměry jezerní pánve pomocí nejmodernějších dostupných přístrojů – laserové totální geodetické stanice a echolotu. Dalším krokem mělo být měření a vyhodnocení fyzikálně-chemických vlastností jezerní vody, a to jednak pomocí multiparametrické programovatelné sondy „in situ“, jednak pomocí laboratorních analytických metod. Neméně důležitým cílem výzkumu byla rov-

něž analýza hydrologického režimu jezera a srážkoodtokových procesů v jeho povodí. Ta byla provedena vůbec poprvé v historii výzkumných aktivit na této lokalitě.

Vzhledem k široce pojatému výzkumu jsme umístili metodologický aparát jednotlivých dílčích etap limnologické studie vždy v úvodu příslušných téma-tických celků.

## 2. Poloha a název jezera

Čertovo jezero ( $49^{\circ} 09' 57''$  s. š.,  $13^{\circ} 12' 07''$  v. d.; obr. 1) je jedním z pěti šumavských glaciálních jezer nacházejících se na území Česka. Jeho pánev byla částečně vyhloubena ledovcem (má pobobu typického karu) a částečně za-hrazena morénovým valom. Je pozůstatkem po ústupu svahového ledovce würmského stáří. Kar Čertova jezera je zahlouben ve svorovém jižovýchodním svahu Jezerní hory (1343,4 m n. m.). Podle Wagnera (1897) i Švambery (1939) leží v nadmořské výšce 1030 m. Jedná se o druhé největší šumavské jezero na české straně hranice. Švambera (1939) uvádí rozlohu 10,3318 ha. Voda z jezera odtéká Jezerním potokem do Rezné (něm. Regen) a dále do Dunaje a Černého moře. Od nedalekého Černého jezera je odděleno hřebenem, kudy prochází hlavní evropské rozvodí mezi Severním a Černým mořem. Zjištěné pozůstatky ledovce v lokalitě Čertova jezera lze zařadit pravděpo-dobně do würmského stáří s typickými třemi würmskými stadiály (Vitásek 1924). Německy se Čertovo jezero nazývá Teufelsee. V roce 1571 bylo na ba-vorské straně Šumavy nazýváno Krotensee, u nás pak později podle dvora Girglhofu v Železné Rudě vsi, k němuž částečně patřilo, jezerem Girklovým. V literatuře je někdy zmiňováno jako dvojče jezera Černého.

## 3. Historie výzkumu jezera

O Čertově jezeře se nejúplnější a nejpřesnější informace dozvíme z prací Wagnera (1897) a Švambery (1939). Údaje o něm se ale objevují i v dřívějších pracích. První přesnější data byla poskytnuta Sommerem (1841) a Krejčím (1857). Bayberger (1886) zde v roce 1884 provedl 30 měření hloubek ve dvou

na sebe kolmých profí-lech. Obrysy jezera na jím vyhotovené mapce jsou ale velmi zkreslené. Nej-větší hloubka při nízkém stavu vody (1–1,5 m pod vysokým stavem) měřila 33 m. Vávra (Frič a Vávra 1898) zde prováděl měře-ní v letech 1893–1895. Na loďce za klidného počasí provedl 61 měření hloubek a nalezl největší hloubku 35 m. Wagner (1897) měřil v 9 profilech 72 hloubek a udává nej-větší hloubku téměř uprostřed jezera, 33 m při níz-kém stavu asi 3 m pod



Obr. 1 – Čertovo jezero při pohledu od výtoku směrem k je-zerní stěně (foto J. Kocum)

stavem nejvyšším. Pokládá jezero za značně souměrné, čemuž by také odpovídaly izobaty jeho mapy. Wagner udává plochu jezera 9,7157 ha (katastr 10,0094 ha) a sběrnou oblast 105 ha. Objem vody podle něho činí 1 426 203 m<sup>3</sup>, střední hloubka 14,7 m. Délku jezera udává 432 m a šířku 260 m.

Václav Švambera zde pracoval ve dnech 3.–23.8. 1909. Měřeno tu bylo celkem 14 příčných i podélných profilů, úhrnem 880 hloubek. Dne 12.8. 1911 změřil v zadní části jezera ještě 51 hloubek v jednom profilu a počet naměřených hloubek tak vzrostl na 931. V roce 1911 byla hladina Čertova, stejně tak jako Černého jezera značně snížena, neboť (cit. Švambera 1912) „jezera musela poskytnout vodu k udržování závodů nalezájících se v kraji“. Švambera mohl tehdy pořídit řadu fotografií rozsáhlých částí obnaženého dna. Největší hloubka vody činila 36,75 m. Protože svá měření prováděl za téměř nejvyššího možného stavu, přijal hodnotu 37 m jako největší hloubku jezera. Největší hustoty měřených hloubek ze všech jeho prací na šumavských jezerech dosáhl právě na Čertově jezeře, kde připadalo jedno měření na 104 m<sup>2</sup> (Švambera 1912). Další Švamberovy údaje o Čertově jezeře jsou následující: plocha 10,3318 ha; střední hloubka 17,93 m; sběrná oblast 0,875 km<sup>2</sup>; objem vody 1 852 378 m<sup>3</sup>; nadmořská výška hladiny 1030 m; délka břehu 1363 m; střední sklon dna 17° 53' (Švambera 1939).

#### 4. Povodí jezera

##### 4.1. Geografická poloha a morfometrické charakteristiky povodí jezera

Čertovo jezero je odvodňováno Jezerním potokem, který je pravým přítokem Řezné patřící k úmoří Černého moře. Povodí jezera vějířovitě se rozkládající ve směru ZSZ–VJV náleží do geomorfologického okrsku Královský hvozd a svou pramenoucí oblastí zasahuje na jihovýchodní svah masivu Jezerní hory (1343,4 m n. m.). Severní část rozvodnice je současně hlavním evropským rozvodím mezi Černým (Čertovo jezero) a Severním mořem (Černé jezero), které je tvoreno hřbetem probíhajícím od Jezerní hory přes Rozvodí (1189,0 m n. m.) ke Spičáků (1201,7 m n. m.). Západní rozvodnice odděluje povodí jezera od povodí Svarožné.

Veškeré morfometrické charakteristiky povodí jezera byly zjištěny pomocí programu MapInfo. Jako podkladová mapa byla použita Základní mapa ČR 1 : 10 000. Ve stejném programu byla určena i plocha jezera na základě půdorysného měření pomocí totální geodetické stanice Leica TCR 705. Objem jezera byl stanoven v programu Surfer. Tvarové vlastnosti povodí Čertova jezera charakterizují údaje v tabulce 1.

K určení střední nadmořské výšky povodí Čertova jezera byly použity dvě metody. První z nich vychází z rozdělení povodí na vrstevnicové pásy po 25 metrech, druhá metoda počítá se všemi vrstevnicemi po 5 metrech. Jako nejnižše položené místo v povodí uvažujeme dno jezera (1027,2 – 35,4 = 991,8 m n. m.), nejvíše položeným bodem je vrchol Jezerní hory (1343,4 m n. m.). První metoda spočívá v použití vzorce  $v = \Sigma(v.p)/P$ , kde  $v$  je nadmořská výška středů vrstevnicových pásů,  $p$  je jejich plocha a  $P$  je plocha povodí jezera. Druhá metoda vychází z měření délek vrstevnic. Střední výška povodí se pak vypočte ze vzorce A. Steinera (1939):  $v = \Sigma(v.L)/\Sigma L$ , kde  $L$  je délka vrstevnice a  $v$  je její nadmořská výška. Plochy jednotlivých pásů o známé střední výšce a délky vrstevnic byly určeny v programu MapInfo. Výsledná střední nadmořská výška povodí Čertova jezera, která činí 1144,0 m, byla stanovena jako aritmetický průměr hodnot vypočtených

Tab. 1 – Základní morfometrické charakteristiky povodí Čertova jezera (měřeno v programu MapInfo s využitím podkladové Základní mapy ČR 1 : 10 000).

Charakteristika	Hodnota
Plocha povodí	$P=89,3834 \text{ ha}$
Celková délka rozvodnice	$r=3 \text{ 702,5 m}$
Koeficient vývoje rozvodnice	$k = 4,1423 \text{ km/km}^2$
Celková délka přítoků	$d=3 \text{ 319,4 m}$
Délka hlavní údolnice	$l=1 \text{ 013,7 m}$
Střední šířka povodí	$\check{s}=881,8 \text{ m}$
Koeficient protažení povodí	$k_p=0,870$
Charakteristika povodí	$\alpha=0,870$
Plocha jezera	$P_j=10,740943 \text{ ha}$
Podíl plochy jezera na ploše povodí	$P_j/P=0,1202$
Pomér objemu jezera k ploše povodí	$V/P=2,08 \text{ m}^3/\text{m}^2$

těmito dyéma metodami. Povodí Čertova jezera je ze všech pěti glaciálních jezer na české straně Šumavy nejníže položené. Podobnou hodnotu střední nadmořské výšky má povodí jezera Černého (1144,6 m n. m.). Porovnání morfometrických charakteristik povodí glaciálních jezer na české straně Šumavy podávají hodnoty v tabulce 2.

Střední sklon povodí

jezera byl stanoven podle vzorce Pencka:  $tg \beta = (V/P) \cdot [(O_1 + O_2)/2]$ , kde  $\beta$  je úhel středního sklonu,  $V$  je výškový rozdíl vrstevnic,  $P$  je plocha vrstevnicového pásu a  $O_1, O_2$  jsou délky vrstevnic. Plochy jednotlivých vrstevnicových pásů a délky vrstevnic byly určeny opět pomocí programu MapInfo. Tímto způsobem se vypočítá nejprve střední sklon jednotlivých vrstevnicových pásů, přičemž střední sklon povodí se pak určí jako aritmetický průměr hodnot sklonů všech pásů. Pomocí tohoto vzorce činí střední sklon povodí Čertova jezera  $21^{\circ}26'$ . Nejnižší hodnoty sklonu se nacházejí v nejvyšších a nejnižších partiích povodí. Největší sklon najdeme mezi vrstevnicemi 1150 a 1175 m n. m.

Tab. 2 – Porovnání morfometrických charakteristik povodí glaciálních jezer na české straně Šumavy

Jezero	Prášilské (Zbořil 1994)	Plešné (Vránek 1999)	Laka (Šobr 1999)	Černé (KFGG 2003)	Čertovo (Kocum 2004)
Plocha povodí (ha)	64,74	66,68	102,0025	124,06401	89,3834
Výška jezerní stěny (m)	236	290,8	251,1	335,9	316,21
Celková délka rozvodnice (m)	3 720	3 240	4 100	4 676,4	3 702,5
Koeficient vývoje rozvodnice	5,746	4,86	4,0195	3,7693	4,1423
Délka hlavní údolnice (m)	1 200*	730	650	1 229	1 013,7
Střední šířka povodí (m)	539	913,4	1 569	1 009,5	881,8
Koeficient protažení povodí	0,449	1,25	2,414	0,821	0,870
Podíl plochy jezera na ploše povodí	0,0649	0,1397	0,0265	0,1515	0,1202
Střední nadmořská výška povodí (m n. m.)	1 199,106	1 213,5	1 186,5	1 144,6	1 144,0
Střední sklon povodí	$17^{\circ}20'$	$27^{\circ}47'$	$12^{\circ}06'$	$25^{\circ}22'$	$21^{\circ}26'$

Pozn.: \* délka toku

Janský, Šobr, Kocum, Česák (2003)

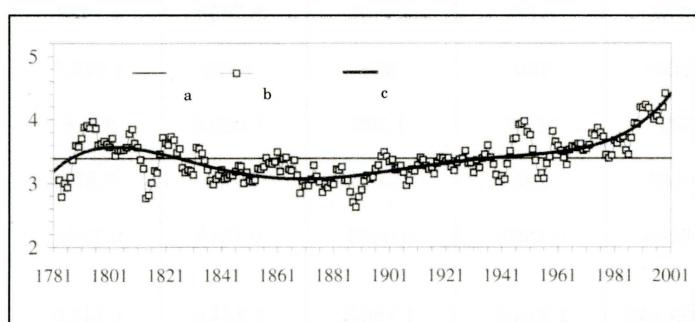
( $29^{\circ}33'$ ), přičemž maxima se vyskytují v jižní a střední části jezerní stěny (až cca  $40^{\circ}$ ).

#### 4.2. Geologická stavba a geomorfologické poměry povodí jezera

Oblastí Čertova jezera v širším pojetí se z hlediska geologického zabývali především Vejnar (1963) a Kodym ml. a kol. (1961b). Oba se shodují, že je povodí jezera budováno stříbrité šedým biotiticko-muskovitickým granátickým svorem s menšími vložkami kvarcitů. Z glaciálních a periglaciálních produktů je zcela specifickým útvarem jezerní sediment, mocný až 9 metrů (dříve uváděno až 15 metrů, Plán péče o NPR Černé a Čertovo jezero 1997). Ve vztahu k zalednění byla geologie karu Čertova jezera studována v minulosti již mnohokrát (Rathsburg 1928, 1930, 1931, Reissinger 1930, Priehäuser 1931). Zevrubně se tímto problémem zabýval rovněž Kunský (1933). Podrobný geomorfologický výzkum této oblasti byl proveden až v nedávné době a jeho výsledky byly zpracovány v rámci magisterské práce Mužíka (2003). Ta se zabývá geologickou a geomorfologickou analýzou jihovýchodní části Královského hvozdu.

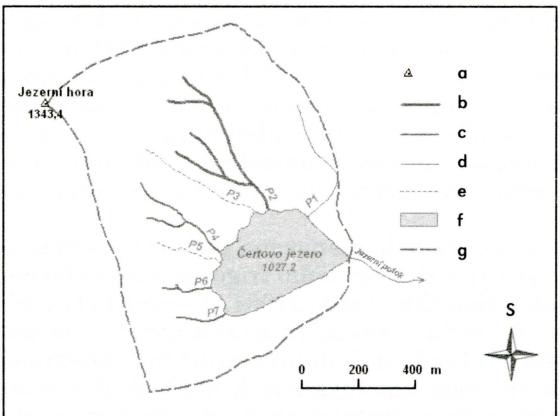
#### 4.3. Klimatické podmínky povodí jezera

Povodí Čertova jezera náleží do chladného horského okrsku (CH4) se silně se projevujícími oceánickými vlivy (Quitt 1971). Průměrná denní teplota vzduchu činila v období 1961–2001  $3,8^{\circ}\text{C}$  s kolísáním mezi  $-17,7^{\circ}\text{C}$  a  $23,2^{\circ}\text{C}$ . Průměrné měsíční teploty určené s průměrnou absolutní chybou  $0,5^{\circ}\text{C}$  se v období 1781–2001 pohybovaly mezi  $-12^{\circ}\text{C}$  a  $16,2^{\circ}\text{C}$ . Hodnoty dlouhodobých průměrů měsíčních teplot kolísaly mezi  $-5,3^{\circ}\text{C}$  v lednu a  $12,3^{\circ}\text{C}$  v červenci a srpnu. Průměrné roční teploty vzduchu ( $T_{\text{CT-a}}$ ) se pohybovaly mezi  $2,1^{\circ}\text{C}$  (1829) a  $5,1^{\circ}\text{C}$  (2000), přičemž průměr v letech 1781–2001 dosahoval hodnoty  $3,4^{\circ}\text{C}$ . Dlouhodobý trend průměrné roční teploty vzduchu vykazuje signifikantní kolísání se třemi zřetelnými periodami: (1) teplotní fluktuace kolem dlouhodobého průměru (1781–2001)  $3,4^{\circ}\text{C}$  v letech 1781–1830, (2) chladnější období v letech 1830–1940 a (3) zvyšující se teplota od 60. let 20. st. (obr. 2). V období 1980–2001 pak došlo k nejvýraznějšímu nárůstu průměrné roční teploty vzduchu (Kettle, Kopáček a Hejzlar 2003). Tvar karu Čertova jezera způsobuje nízkou hodnotu denního oslnění nad jižní částí jezera, kde se v důsledku toho vytváří chladnější klín (Plán péče o NPR Černé a Čertovo jezero 1997).



Obr. 2 – Rekonstruovaný trend průměrných ročních teplot vzduchu v oblasti Čertova jezera v období 1781–2001. Vysvětlivky: a – dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu (1781–2001); b – pětileté průměry  $T_{\text{CT-a}}$ ; c – polynomická čára trendu. Zdroj: Kettle, Kopáček, Hejzlar (2003).

Roční srážkové úhrny se v této oblasti pohybují v rozmezí 1 200–1 800 mm. Na základě hodnot vícedenních úhrnných srážek, které byly získány



Obr. 3 – Systém přítoků do Čertova jezera (významnost jednotlivých přítoků je znázorněna různou tloušťkou linií). Vysvětlivky: a – výškový bod; b – hlavní přítok; c – významné trvalé přítoky; d – ostatní trvalé přítoky, odtok; e – občasné přítoky; f – jezero; g – hranice povodí.

ní prostor anemo-orografického systému říčky. Turbulentní proudění se zde projevuje mimo jiné i na různé mocnosti sněhové pokrývky. Přímými měřeními bylo zjištěno, že v obvodu stěny, kde náhlý pokles rychlosti závětrného proudění způsobuje usazování sněhových částic, je výška sněhové pokrývky největší (Kocum 2004, s. 120-121). V současnosti jsou mikroklimatické podmínky závětrných poloh významnými faktory ovlivňujícími rozložení rostlinných společenstev.

#### 4.4. Hydrografie povodí jezera

Čertovo jezero je napájeno pěti stálými přítoky, které sbírají vodu z jihovýchodního svahu Jezerní hory (obr. 3). Na Základní mapě ČR 1 : 10 000 jsou vykresleny pouze dva trvalé přítoky jezera. Průběh všech přítoků, jejich délka a nadmořská výška jejich pramenů byla proto určena v rámci terénního průzkumu. Kromě přítoků celoročních se v období přibližně od dubna do první poloviny května, kdy v této oblasti dochází k intenzivnímu tání sněhové pokrývky, vytváří v povodí jezera větší množství zdrojnic. Průměrný podíl hlavního přítoku (P2) na celkovém povrchovém přítoku do jezera činí cca 60 %. Výtok z jezera je jediný, regulovaný betonovým dlážděním na koruně morény. Ta byla prý v minulosti asi o 3 m snížena (Vitásek 1924). V roce 1838 byla totiž v moréně jezera vybudována právě 3 m hluboká výpusť za účelem využití jezera jako retenční nádrže, jejíž voda měla sloužit jako energetický zdroj pro hamry v Železné Rudě. Odtok z jezera tvoří Jezerní potok, který ústí do Rezné, levostranného přítoku Dunaje.

#### 5. Morfografické poměry jezera

##### 5.1. Stanovení nadmořské výšky jezerní hladiny

Základní mapa ČR 1 : 10 000 nadmořskou výšku hladiny Čertova jezera přímo neudává, podle vrstevnic však lze usoudit, že leží mezi 1025

z databáze Hydrobiologického ústavu Akademie věd ČR (dále jen HBÚ AV ČR) v Českých Budějovicích, činí průměrný roční úhrn srážek za období 1998–2003 na experimentální volnou plochu (dále jen OA – „open area“) 1 430,6 mm. Ta se nachází se v bezprostřední blízkosti povodí a v nadmořské výšce odpovídající střední nadmořské výšce povodí. Převládajícími větry v této části Šumavy jsou na základě měření meteorologické stanice Pancíř (Nekovář 1959) a měření Správy NP a CHKO Šumava přímo v lokalitě Čertova jezera po celý rok větry západního směru. Kar jezera lze pokládat za typický závětrný turbulentní prostor anemo-orografického systému říčky Bile Rezne (Jeník 1959, 1961).

a 1027,5 m n. m. Podle Základní mapy ČR 1 : 50 000 i Základní vodohospodářské mapy 1 : 50 000 leží hladina jezera v nadmořské výšce 1031 m, podle 3. vydání podrobné turistické mapy Šumava – Železnorudsko z roku 2001 v měřítku 1 : 50 000 se nachází mezi vrstevnicemi o nadmořské výšce 1020 a 1030 m. Wagner (1897) i Švambera (1939) uvádějí hladinu jezera ve výšce 1030 m n. m. Vzhledem k uvedeným nesrovnalostem v údajích o nadmořské výšce hladiny Čertova jezera bylo proto jedním z cílů výzkumu i její určení.

Přesná nadmořská výška hladiny jezera byla stanovena pomocí totální geodetické stanice Leica TCR 705 s využitím zhušťovacího trigonometrického bodu nacházejícího se na vrcholu Špičáku ( $x=1131031,70$ ,  $y=844174,90$ ,  $Bpv(z)=1201,72$ ). Od tohoto pevného bodu o známých souřadnicích byla pomocí čtyř stanovisek zaměřena jezerní hladina. Totální stanicí bylo postupně zaměřeno na každý ze čtyř bodů ve sledu směřovaném k hladině. Její nadmořská výška byla při průměrném ročním vodním stavu 31 cm určena na 1027,206 m n. m. Z toho důvodu, že se v minulosti často manipulovalo s korunou morény, nelze bohužel údaj Wagnera (1897) a Švambery (1939) s touto hodnotou porovnávat.

## 5.2. Vyměření půdorysu jezera

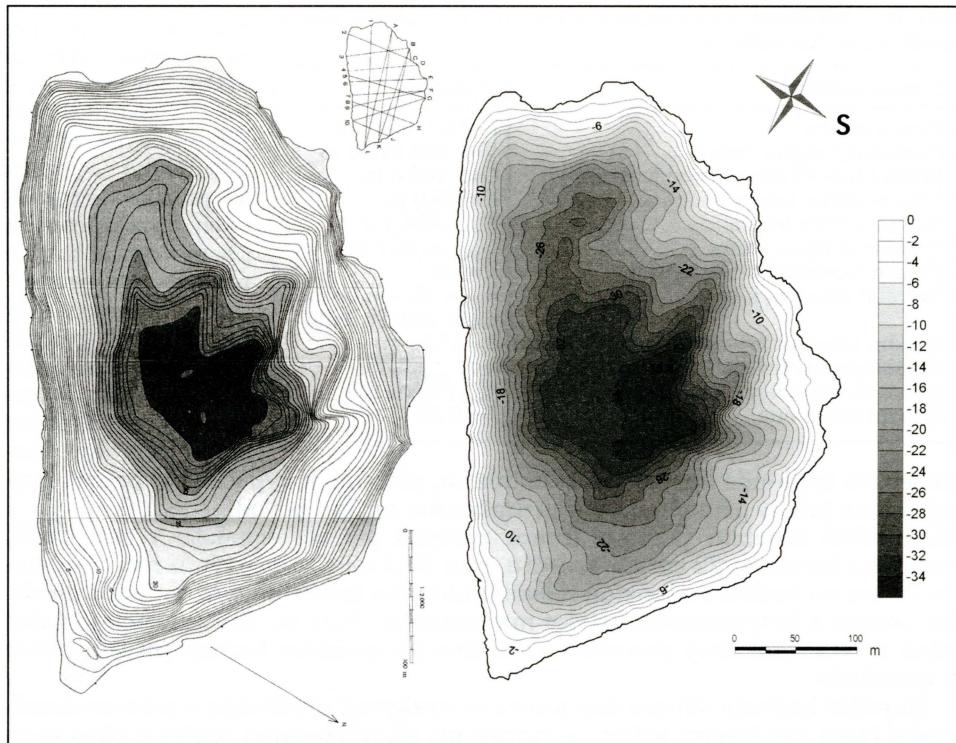
V literatuře se setkáme se dvěma hodnotami rozlohy Čertova jezera. Wagner (1897) uvádí ve svém díle hodnotu 9,7157 ha, v práci Švamberově z roku 1939 nalezneme hodnotu 10,3318 ha.

K vyměření půdorysu jezera bylo použito rovněž laserové totální geodetické stanice Leica TCR 705. Půdorysná měření byla uskutečněna společně s měřeními batymetrickými ve dnech 11.–12.9.2003 při stavu 22 cm na vodočtu. Protože byla měření prováděna po dlouhém relativně suchém období, patří tato hodnota výšky hladiny mezi vůbec nejnižší, jež se podařilo během pozorování jejího kolísání zachytit. Proto můžeme konstatovat, že hodnota plochy jezera při ročním průměrném stavu jezerní hladiny, který činí 31 cm, bude ještě o něco vyšší, než která je uváděna níže. Rozdíl bude ale minimální, protože větší část břehu spadá do jezera velice příkře a plocha jezera by se tudíž při kolísání výšky hladiny neměla výrazně měnit. Celkově bylo zaměřeno 546 bodů břehové linie, hustota měření tak dosáhla hodnoty jednoho zaměřeného bodu na cca 2,7 m délky břehové čáry. Z toho vyplývá, že Čertovo jezero je ze všech glaciálních jezer na české straně Šumavy v současnosti nejpřesněji vyměřené. Plocha jezera zjištěná v programu MapInfo činí při stavu 22 cm na vodočtu 10,740943 ha. Tento údaj je o 0,409143 ha větší než údaj, který uvádí Švambera (1939). Délka břehové linie činí 1466,3 m, což je o 103,3 m více než délka uvedená v práci Švambery (1939). Stejně tak jako v případě nadmořské výšky hladiny jezera nelze bohužel ani tyto údaje porovnávat s daty Wagnera (1897) či Švambery (1939) vzhledem k tomu, že se v minulosti s korunou morény často manipulovalo.

## 5.3. Batymetrická měření a morfometrické charakteristiky jezerní pánve

Kromě Wagnera (1897) a Švambery (1939) se batymetrií jezera ještě dříve zabývali Sommer (1841), Krejčí (1857), Bayberger (1886), Frič a Vávra (1898). Výsledky jejich prací byly uvedeny v předchozím textu (kap. 3).

Pro poslední batymetrický výzkum jsme použili echolot Fishfinder 240 měřící s přesností na 5 cm upevněný na stabilní platformě gumového člunu. Mě-



Obr. 4 – Kuchařova batymetrická mapa Čertova jezera 1 : 2 000 (Kuchař 1947) podle měření V. Švambery v srpnu roku 1909 (interval hloubnic 1 m; vlevo) a batymetrická mapa Čertova jezera podle měření v září 2003 (interval hloubnic 2 m; vpravo, Kocum 2004). Hloubkové stupně v metrech.

ření bylo provedeno klasickým způsobem za využití kevlarového vlákna s vyznačenými měrnými body po pěti metrech (blíže viz Česák, Šobr 2005). Celkem bylo na Čertově jezeře provedeno 2 746 bodových hloubkových měření v 69 profilech a souhrnné délce 13 257 m, které vedly mezi 80 body břehové linie. Jeden bod tedy reprezentuje plochu cca 39,1 m<sup>2</sup>, a proto lze toto měření hloubek považovat za zatím nejpodrobnější v dosavadní historii výzkumů Čertova jezera. Ke grafickému zpracování a tvorbě batymetrické mapy byly použity programy MapInfo a Surfer. Porovnáním batymetrické mapy vykreslené na základě měření V. Švambery s mapou vytvořenou podle našich měření (obr. 4) je nutné podotknout, že Švambera vytvořil již na počátku minulého století hloubkovou mapu velmi podrobnou a přesnou, která se od batymetrické mapy současné liší minimálně.

Z batymetrického plánu, batymetrické křivky (viz Janský, Šobr, Kocum, Česák 2005) a hodnoty hloubkového koeficientu (tab. 3) je patrná velmi výrazná souměrnost pánve Čertova jezera s výskytem maximálních hloubek v jeho středních partiích. Čtyři výrazná údolí zahľoubená ve dně jezera a směřující k jeho největším hloubkám od severního, severozápadního a západního břehu jsou velmi markantním geomorfologickým tvarem jezerního dna. Jejich průběh velmi těsně odpovídá reliéfu povrchu v okolí jezera. Jde tedy pravděpodobně o jednotlivá skalní žebra odolnějších partií svoru vytvořená erozní činností ledovce. Program Surfer je schopen kromě vykreslení

Tab. 3 – Morfometrické charakteristiky pánve Čertova jezera (podle vlastních měření)

Charakteristika	Hodnota
Plocha jezera	$P=10,740943 \text{ ha}$
Prostorový objem jezera	$V=1\ 859\ 018,6 \text{ m}^3$
Délka břehové čáry (obvod jezera)	$O=1\ 466,3 \text{ m}$
Vlastní délka jezera	$L=498,0 \text{ m}$
Největší šířka jezera	$B_{max}=306,4 \text{ m}$
Průměrná šířka jezera	$B_{prum}=215,7 \text{ m}$
Stupeň členitosti břehové čáry	$R=1,26$
Největší hloubka jezera	$h_{max}=35,4 \text{ m} (\text{prům. roční stav } 31 \text{ cm})$
Střední hloubka jezera (volumometrická)	$h_s=17,31 \text{ m}$
Hloubkový koeficient	$h_s/h_{max}=0,49$
Relativní hloubkový koeficient	$h_{max}/\sqrt{P}=0,108$
Střední sklon dna	$I=16^\circ 59'$

noven na podkladě batymetrického plánu, přičemž k výpočtu byl použit stejný vzorec jako v případě určení průměrného sklonu povodí jezera (kap. 4.1.). Maximální hloubka Čertova jezera zjištěná pomocí echolotu v září 2003, vztažená ke stavu 22 cm na vodočtu, činí 35,3 m. Průměrnému ročnímu stavu 31 cm na vodočtu odpovídá největší hloubka jezera 35,4 m. Střední hloubka určená z batymetrické křivky má hodnotu 17,31 m. Ani tyto údaje nelze však se staršími daty porovnat vzhledem ke změnám koruny jezerní hráze v minulosti.

Největší hodnoty sklonu dna jezera se vyskytují především v jeho severozápadní části pod jezerní stěnou a rovněž při jihozápadním břehu v pásu mezi 4 a 12 m hloubky (maximum v hloubnicovém pásu 6–8 m dosahuje hodnoty  $25^\circ 28'$ ). Nejnižší hodnoty sklonu se nacházejí v centrálních nejhlbších částech jezera především pod hloubnicí 32 m (minimum činí  $2^\circ 39'$  pod 34 m hloubky). Dno Čertova jezera dosahuje v porovnání s ostatními glaciálními jezery na české straně Šumavy nejvyšší hodnoty středního sklonu (tab. 4).

Tab. 4 – Porovnání morfometrických charakteristik pánví glaciálních jezer na české straně Šumavy

Jezero	Prášilské (Zboril 1994) <sup>1</sup>	Plešné (Vránek 1999) <sup>2</sup>	Laka (Šobr 1999) <sup>3</sup>	Černé (KFGG 2003) <sup>4</sup>	Čertovo (Kocum 2004) <sup>5</sup>
Nadmořská výška (m n. m.)	1079	1087,2	1084,8765	1007,513	1027,116
Plocha (ha)	4,204375	7,643	2,57705	18,792913	10,740943
Prostorový objem (m <sup>3</sup> )	349920	614320	48817,5	2924775,1	1859018,6
Délka břehové čáry (m)	819	1320	817,5	2110,70	1466,3
Vlastní délka (m)	306	514	345,4	693,07	498,0
Největší šířka (m)	204	183	95,2	459,03	306,4
Průměrná šířka (m)	137,4	148,7	74,61	271,15	215,7
Stupeň členitosti břehové čáry	1,13	1,35	1,44	1,37	1,26
Největší hloubka (m)	17,2	18,7	3,5	40,1	35,3
Střední hloubka (m)	8,32	8,04	1,89	15,57	17,31
Hloubkový koeficient	0,48	0,43	0,54	0,39	0,49
Relativní hloubkový koeficient	0,084	0,068	0,022	0,093	0,108
Střední sklon dna	$13^\circ 00'43''$	$14^\circ 23'$	$3^\circ 35'20''$	$14^\circ 20'$	$16^\circ 59'$

Pozn.: <sup>1</sup> 47 cm pod úrovní hráze, <sup>2</sup> stav na vodočtu 68 cm, <sup>3</sup> stav na vodočtu 99 cm, <sup>4</sup> stav na vodočtu 84 cm, <sup>5</sup> stav na vodočtu 22 cm

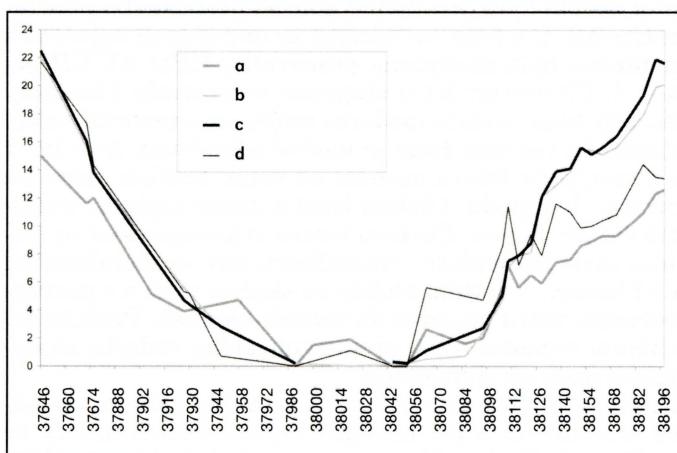
Pramen: Janský, Šobr, Kocum, Česák (2003)

hloubnic a vytvoření batymetrické mapy spočítat objemy jednotlivých hloubkových vrstev i celého jezera a plochy jednotlivých hloubnicových pásů. Pomocí tohoto programu a programu MapInfo byly vypočteny morfometrické charakteristiky jezerní pánve (tab. 3). Střední sklon dna byl sta-

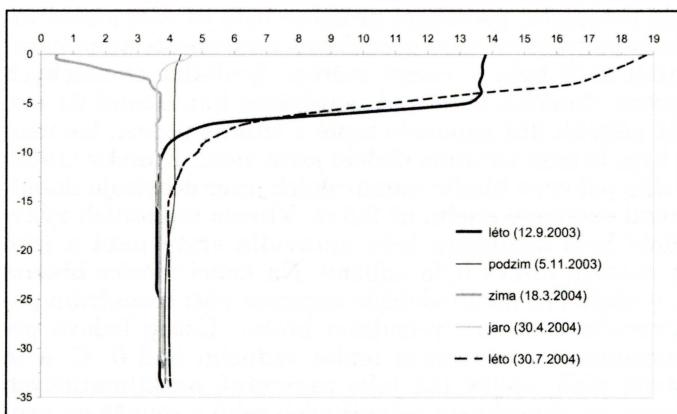
## 6. Fyzikální vlastnosti a chemismus akumulovaných vod

### 6.1. Teplotní režim akumulované vody a ledové jevy

V období 13.8.2003–30.7.2004 bylo prováděno měření teploty vody jednotlivých přítoků jezera, povrchové vrstvy jezerní vody (hloubka 0,2 m) na stálém místě u vodočetné latě, na odtoku z jezera a na dolním toku Jezerního potoka v profilu nad soutokem s Řeznou. Měření teploty povrchové vrstvy jezerní vody bylo prováděno u vodočetné latě z toho důvodu, že se v její blízkosti nenačází žádné ústí přítoku, které by teplotu jezerní vody nějak ovlivňovalo.



Obr. 5 – Vývoj teploty vody ( $^{\circ}\text{C}$ ) hlavního přítoku (P2), povrchové vrstvy jezerní vody u jihovýchodního břehu jezera, na výtoku z jezera a na dolním toku Jezerního potoka v období 13.8.2003–30.7.2004. Vysvětlivky: a – hlavní přítok (P2), b – JV břeh (vodočetná latě), c – odtok, d – dolní tok. Zdroj: vlastní měření.



Obr. 6 – Teplota vody Čertova jezera ve vertikálním profilu nad oblastí největších hloubek v jednotlivých ročních obdobích. Osa x – teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ), osa y – hloubka (m). Zdroj: vlastní měření a HBU AV ČR.

K určování teploty vody byl použit digitální teploměr s přesností měření na desetinu stupně Celsia. Vývoj teploty vody ve výše uvedených čtyřech měrných profilech je znázorněn v grafu na obrázku 5. Celoročně nejchladnějšími jsou občasné přítoky P3 (průměrná roční teplota  $4,9\ ^{\circ}\text{C}$ ) a P5 ( $5,4\ ^{\circ}\text{C}$ ), naopak nejteplejšími jsou přítoky ústící do jezera od severu – P1 ( $6,5\ ^{\circ}\text{C}$ ) a hlavní přítok P2 ( $6,4\ ^{\circ}\text{C}$ ). Jezerní voda na výtoku má téměř o  $1\ ^{\circ}\text{C}$  vyšší průměrnou roční teplotu než u vodočetné latě. To je způsobeno tím, že jižní partie jezera, kde se nachází vodočetná latě, se vyznačuje díky své expozici nižší hodnotou denního oslnění. Rozkolísanost v teplotě vody je z důvodu její retence v jezerní pánvi menší u vodočetné latě a na výtoku než v přítocích a dolním toku Jezerního potoka. V let-

ních měsících jsou teploty přítoků menší než teplota epilimnia jezera. V důsledku toho voda přiváděná do jezera přítoky se noří do větších hloubek. Co se týče rozložení teplot povrchové vrstvy jezerní vody během dne, pak nejchladnejší je voda při východu slunce, nejteplejší je kolem čtvrté hodiny odpolední. Denní tepelné změny jsou málokdy větší než 2 °C a dotýkají se jen zmiňované tenké povrchové vrstvy (Dub 1953).

Čertovo jezero vykazuje *termický režim* typický pro jezera mírného klimatického pásma s obdobími letního přímého zvrstvení (letní stagnace), jarní a podzimní homotermie a obdobími zimního inverzního zvrstvení (zimní stagnace, viz obr. 6). K tomuto závěru jsme dospěli na základě měření teploty jezerní vody ve vertikálním profilu v jednotlivých ročních obdobích. Měření v letním, zimním a jarním období byla prováděna pomocí přenosného přístroje GRYF 310 A s přesností  $\pm 0,2$  °C u býce nacházející se nad oblastí největších hloubek, podzimní homotermie byla zachycena pracovníky HBÚ AV ČR pomocí přístroje DataSonde 4. Charakter letní stagnace vykazovaly i hodnoty naměřené dne 30.7.2004, kdy bylo použito moderní multiparametrické sondy YFI 6920. I přes nedostatečnou teplotní řadu je možné odhadovat, že k jarní resp. podzimní teplotní homogenitě jezera dochází na velmi krátkou dobu na konci dubna resp. na začátku listopadu. Období letní a zimní teplotní stratifikace je časově přibližně stejně dlouhé. Čertovo jezero vykazuje všechny parametry typické pro zimní inverzní teplotní stratifikaci, kdy se metalimnion nachází v relativně malé hloubce. V letním období se skočná vrstva s postupným prohříváním a působením větru posouvá do větších hloubek. Protože dochází během jarní a podzimní homotermie k promísení celého vodního sloupu, nazýváme Čertovo jezero jezerem dimiktním.

Na termický režim jezera mají vliv i *ledové jevy*. K prvnímu zámrzu dochází při inverzní termické stratifikaci a při klesající teplotě vzduchu, kdy se ochladí svrchní vrstva vody na 0 °C. Obvykle se pak vytvoří led nejprve u břehu a na mělčinách (kromě ústí přítoků a oblasti výtoku) a odtud se postupně rozšíří na celou hladinu. Hladina Čertova jezera zamrzá nejdříve v jeho severní části. Mandák (1981) uvádí, že proces zamrzání šumavských glaciálních jezer začíná zpravidla v polovině listopadu, led pak často roztaje až koncem dubna, někdy i o měsíc později. Na konci roku 2003 se první led objevil na hladině přibližně v polovině listopadu, počátkem prosince bylo již celé jezero zamrzlé. Růst mocnosti ledu pokračoval dále především v závislosti na poklesu teplot vzduchu. Dne 18.3.2004 byla v rámci měření fyzikálně-chemických vlastností jezera stanovena tloušťka ledu nad největšími hloubkami 61 cm. Vzhledem k tomu, že již několik dní panovalo teplé a slunné počasí, lze usuzovat, že mocnost ledu byla během zimního období ještě větší. Kunský (1968) uvádí, že mocnost ledového pokryvu hladin šumavských jezer dosahuje tloušťky 75 cm a s přeměněnými vrstvami sněhu až 2,5 m. Vlivem teplotních výkyvů během zimního období byla struktura ledu zpravidla vrstevnatá a jeho tloušťka v jednotlivých částech jezera byla odlišná. Na konci měsíce března začalo jezero rozmrzat, v důsledku dlouhodobější expozice vůči slunečním parskům nejprve při severním a severovýchodním břehu. Ústup ledové pokryvky lze obvykle zaznamenat s nástupem teplot vzduchu nad 0 °C, a to zpravidla od břehů. Závisí však, stejně tak jako zamrzání, na klimatických a topografických poměrech, na charakteru jednotlivých roků a rovněž na průběhu zimy. V průběhu dubna docházelo postupně k úbytku mocnosti ledové pokryvky, ve druhé polovině měsíce byla intenzita tání navíc umocněna dešťovými srázkami. Na konci dubna byla již jen 1/3 jezera při jihovýchodním břehu a v jihozápadním cípu jezera pokryta kašovitým ledem. Na začátku

května byla hladina jezera již bez ledu. Dlouhodobé zamrzání šumavských jezer ovlivňuje podle některých autorů i jejich relativní organickou chudobu (např. Kunský 1968).

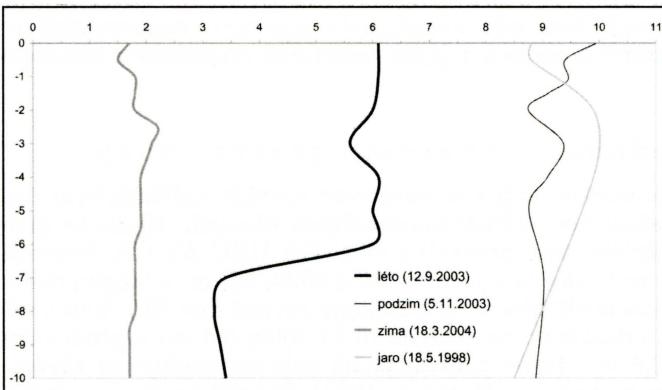
## 6.2. Průhlednost a zbarvení jezerní vody

*Průhlednost* a zbarvení jezerní vody v jednotlivých ročních obdobích bylo stanoveno bílou Seccihou deskou nad oblastí maximálních hloubek. Hodnotu průhlednosti v podzimním období jsme převzali z výsledků HBÚ AV ČR. Největší průhlednost jezerní vody se vyskytla v jarním (30.4.2004; 5,3 m) a letním období (12.9.2003; 5,1 m – stejná průhlednost byla zjištěna rovněž dne 30.7.2004), výrazně nižších hodnot bylo dosaženo na podzim (5.11.2003; 3,4 m) a především pak v zimě (18.3.2004; 2,8 m). Tento průběh příliš nekoresponduje se závěry, které uvádí Dub (1957) nebo Lellák a Kubíček (1991). Ti totiž tvrdí, že největší průhlednost stojatých vod by měla být zjištěna v zimě. Ledový pokryv chrání vodu před zakalením ode dna, které v jiných obdobích vyvolává vítr a vlnění při březích jezera. Na jaře, v době tání sněhu a zvýšené vodnosti, se většinou průhlednost vody zhorší. Zlepší se až s poklesem vodnosti, ale v té době (zpravidla na konci léta) většinou voda obsahuje větší množství organismů (Dub 1957). Průhlednost může proto sloužit jako první orientační informace o produkčním potenciálu a o množství fytoplanktonu v nádrži (Lellák a Kubíček 1991). Vývoj průhlednosti vody Čertova jezera ale vykazuje opačný průběh. To je pravděpodobně způsobeno jednak celoročně velmi nízkými hodnotami biomasy planktonu ve vodě, jednak zvýšeným rozkladem barevných látek rozpuštěných nebo rozptýlených ve vodě slunečními paprsky v jarním a letním období. Lean (1998) a Allard, Borén, Pettersson a Zhang (1994) uvádějí, že sluneční záření efektivně redukuje koncentrace rozpuštěných látek ve vodě, zmenšuje jejich průměrnou molekulární hmotnost a mění jejich optické vlastnosti. Čertovo jezero je relativně velké a hluboké, a proto je zakalení vody ode dna minimální. Během jarního procesu tání sněhové pokrývky pak dochází k výraznému snižování průhlednosti pouze v příbřežních oblastech. Protože bylo určování průhlednosti vody v zimním období prováděno na zamrzlému jezeru, je zjištěná nízká hodnota pravděpodobně zkreslena malou prostupností světla přes led a sněhovou pokryvku.

Seccihy deska se pro stanovení *zbarvení* jezerní vody ponoří do poloviční hloubky průhlednosti a barva vody se posuzuje podle toho, jak se jeví sloupec vody nad ní v porovnání s Ule-Forelovou stupnicí o 21 barevných odstínech od tónů tmavě modrých přes zelené, žluté až po temně hnědé. Vzhledem k možným odchylkám, které mohou vzniknout při subjektivním posuzování zbarvení vody, prováděli měření současně vždy nejméně dva pozorovatelé. Barva vody se v jednotlivých obdobích výrazně lišila. Barvám charakteristickým pro oligotrofní jezera se voda Čertova jezera nejvíce blížila v letním období (12.9.2003; č. 10), naopak na jaře (30.4.2004; č. 19) získalo jezero hnědý odstín typický pro rašelinistní jezera. V zimním období (18.3.2004) byla pod ledovým pokryvem jezera stanovena barva vody č. 15 Ule-Foreovy škály. Stejně jako u průhlednosti je však tento výsledek ovlivněn menším množstvím pronikajícího světla přes ledovou pokryvku.

## 6.3. Další fyzikálně-chemické charakteristiky jezerní vody

Studiem chemismu a oživení šumavských jezer se nesoustavně již více než 100 let zabývala celá řada autorů a později i vědeckých týmů. Výsledky těch-

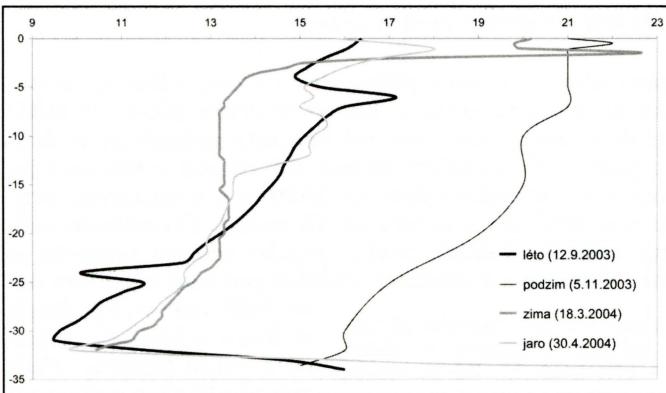


Obr. 7 – Obsah rozpuštěného kyslíku v jezerní vodě ve vertikálním profilu do hloubky 10 m v jednotlivých ročních obdobích. Osa x – obsah  $O_2$  (mg/l), osa y – hloubka (m). Zdroj: vlastní měření a HBÚ AV ČR.

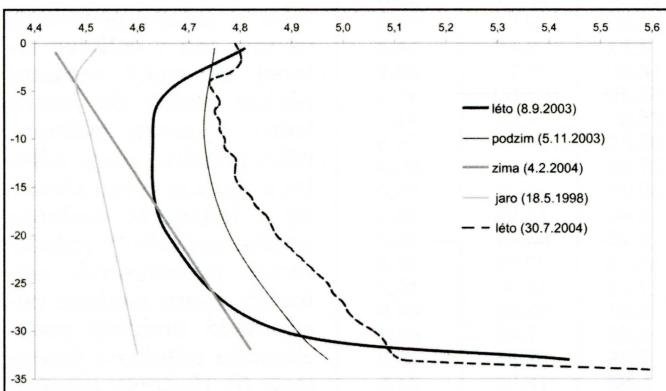
to výzkumů shrnují např. Veselý (1994) nebo Vrba a kol. (2001). Byly tak zachyceny významné změny ve složení planktonu, zejména úbytek zooplanktonu a vymizení ryb (přehled viz Veselý 1994, Vrba a kol. 2000a). Acidifikací jezer, jejími důsledky a rychlostí biologického zotavení jezer včetně reintrodukce původních druhů se v posledních letech zabývala katedra parazitologie a hydrobiologie PřF UK (např. Fott, Pražáková 1994, Fott, Kohout a Pražáková 2001). Osm šumavských ledovcových jezer představuje unikátní soubor jezerních ekosystémů, který zasluguje soustavnou pozornost badatelů i českých a bavorských orgánů ochrany přírody. Hlavním důvodem je kromě existence dlouhodobých dat a vysoké citlivosti jezer i jejich povodí na změny atmosférické depozice na Šumavě především unikátnost samotných jezerních ekosystémů, které se zde vyvinuly v důsledku acidifikace. Po extrému na počátku 80. let 20. století se koncentrace jednotlivých složek v jezerech vrátí postupně na předacidificační úroveň (Majer a kol. 2001). Rychlosť a rozsah těchto změn je unikátní v celosvětovém měřítku a Šumava se stala jedinečnou lokalitou umožňující studium dynamiky chemických a biologických procesů v těžce postižených oblastech (Kopáček a kol. 2001). Čertovo jezero ale řadí Vrba a kol. (2000b) spolu s jezery Černým, Plešným a Roklanským mezi jezera dosud silně acidifikovaná. Acidifikace a chemismus šumavských jezer je již dlouhodobě předmětem výzkumu HBÚ AV ČR v Českých Budějovicích.

V rámci měření fyzikálně-chemických vlastností jezerní vody v jednotlivých obdobích roku byl kromě teploty sledován ve vertikálním profilu nad oblastí maximálních hloubek i obsah rozpuštěného kyslíku, konduktivita a pH akumulované vody. Pro málo produktivní jezera, jako je jezero Čertovo, je obvyklá přibližně ortográdní distribuce *rozpuštěného kyslíku* s mírným poklesem ke dnu (Vrba a kol. 1996). Ke stanovování obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě v letním, zimním a jarním období byl používán oxymetr GRYF 463, přičemž k dispozici jsme měli kabel o délce jen 10 m. Z jednotlivých profilů vynesených v grafu na obrázku 7 lze vyčíst obecně vyšší obsah rozpuštěného kyslíku ve vertikálním profilu v jarním a podzimním období než v obdobích ostatních. Tento fakt a rovněž relativní vyrovnanost průběhu obou křivek je způsobena procesem promíchávání vody v celém jejím sloupci. Nejnižší hodnoty kyslíku vykazovalo zimní období, kdy je celá hladina jezera pokryta ledem a jezerní voda není tudíž umožněno absorbovat vzdušný kyslík. Z křivky pro léto roku 2004 je patrný rapidní pokles obsahu kyslíku v metalimniu mezi 6 a 7 m hloubky.

Vertikální profily *konduktivity*, k jejímuž měření byl ve všech obdobích kromě podzimního použit přístroj GRYF 156, jsou pro jednotlivá roční období vy-



Obr. 8 – Konduktivita jezerní vody ve vertikálním profilu nad oblastí největších hloubek v jednotlivých ročních obdobích. Osa x – vodivost ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Zdroj: vlastní měření a HBÚ AV ČR.



Obr. 9 – Hodnoty pH jezerní vody ve vertikálním profilu nad oblastí největších hloubek v jednotlivých ročních obdobích. Osa x – hodnota pH, osa y – hloubka (m). Zdroj: vlastní měření a HBÚ AV ČR.

v jeho přítocích. Vertikální profily pH jezerní vody pro jednotlivá roční období byly převzaty od HBÚ AV ČR. Ke grafu na obrázku 9 byl přidán profil pH ze dne 30.7. 2004, jehož hodnoty byly zaznamenány moderní multiparametrickou sondou YFI 6920. Ke grafu je nutné podotknout, že k sestrojení jarního pH profilu musely být použity hodnoty naměřené dne 18.5.1998, protože novější data reprezentující přibližně toto období nebylo možné získat. Z křivek pro jednotlivá období lze vyčíst větší či menší pokles pH do hloubky cca 5–10 m a následnou mírně vzestupnou tendenci až k jezernímu dnu, přičemž ve vrstvě vody bezprostředně u dna je vzestup pH rapidní. Tento průběh je typický pro acidifikovaná jezera (Vrba a kol. 2000b). Hodnoty pH povrchové vrstvy jezerní vody se ve sledovaném období pohybovaly mezi 4,4 a 4,8. Obecně lze říci, že na základě získaných dat se nižší hodnoty pH jezerní vody vyskytly v zimním a jarním či časně letním období, vyšší pak v období podzimním a letním.

kresleny v grafu na obrázku 8. Z něho je patrný především mírný pokles vodivosti směrem do hloubky během celého roku. Přibližně stejných hodnot jako na podzim dosahovala vodivost povrchové vrstvy jezerní vody (do hloubky cca 1,5 m) v zimním období. Od této hloubky ovšem vykazoval průběh křivky rychlý pokles a v hloubce 4 m již konduktivita představovala pouhých 60 % hodnoty při hladině. V nejhlubší vrstvě jezerní vody u dna vodivost zákonitě výrazně vzrůstá.

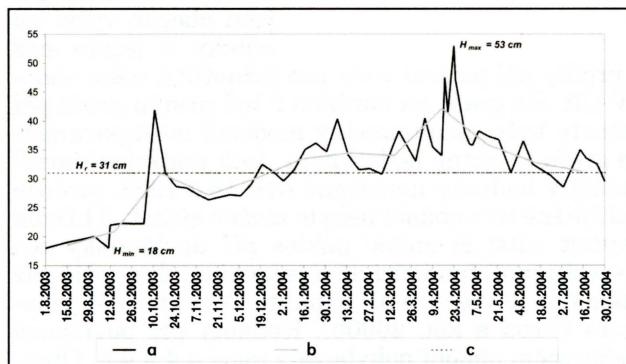
V Plánu péče o NPR Černé a Čertovo jezero (1997) se uvádí, že povrchové vody v povodí Čertova jezera vykazují pH 4,5–5,5, jihovýchodně od vrcholu Jezerní hory pak 5,5–6,5. Hodnoty pH jsou obecně vyšší na odtoku z jezera než

## 7. Hydrologický režim jezera

Měření průtoků bylo prováděno na všech přítocích a odtoku z jezera během období jednoho roku od začátku srpna 2003 do konce července 2004. Od HBÚ AV ČR byly pro stejné období poskytnuty rovněž hodnoty průměrných denních průtoků na odtoku z jezera. Ve vzdálenosti cca 150 m pod výtokem z jezera je na Jezerním potoce v nadmořské výšce asi 1020 m nainstalován průtokoměr, který měří okamžité průtoky v intervalu 15 minut. Do celkové vodní bilance jezera vstupuje několik dalších prvků, jejichž přesná hodnota je velmi obtížně stanovitelná. Význam kondenzace vodních par nad hladinou není jistě tak velký, jinak je tomu u hodnoty výparu z volné hladiny. Podzemní přítok a podzemní odtok z jezera jsou ale prvky, které mají výrazný vliv na vodní bilanci. Kromě přítoku, resp. odtoku z jezera podzemní cestou, má v celkové bilanci obrovský význam plošný přítok do jezera (ron). Význam podzemního přítoku, resp. odtoku a ronu je velmi zřetelný z faktu, že hodnota součtu průtoků v jednotlivých povrchových přítocích jezera zdaleka neodpovídá hodnotě povrchového odtoku z jezera (tab. 5). Hodnoty poměru jsou ovšem do určité míry rovněž ovlivněny tím, že jsou zde porovnávány okamžité průtoky na přítocích s průměrnými denními průtoky na odtoku.

Tab. 5 – Porovnání hodnot celkového povrchového přítoku do jezera a povrchového odtoku z jezera v období 15.10.2003–30.7.2004 (P/O – přítok/odtok). Zdroj: vlastní měření a HBÚ AV ČR.

Datum	Vodní stav (°C)	Přítok (l/s)	Odtok (l/s)	P/O (%)
15.10.2003	34	14,08	28,17	50,0
5.11.2003	28	5,99	9,38	63,8
3.12.2003	27,5	3,81	8,59	44,4
14.1.2004	39	16,90	76,27	22,2
4.2.2004	41	38,70	107,00	36,2
7.4.2004	38,5	29,40	70,64	41,6
19.4.2004	41,5	85,50	111,31	76,8
24.4.2004	47	137,60	270,34	50,9
3.5.2004	36	30,20	45,37	66,6
30.5.2004	31	6,40	13,28	48,2
7.6.2004	36,5	18,75	53,61	35,0
13.6.2004	32,5	10,32	20,95	49,3
19.6.2004	31,5	7,21	15,61	46,2
25.6.2004	30,5	4,21	12,38	34,0
3.7.2004	28,5	4,63	7,43	62,4
18.7.2004	33,5	7,29	27,85	26,2
25.7.2004	32,5	5,85	16,96	34,5
30.7.2004	29,5	2,75	8,99	30,6
Průměr	34,4	23,9	50,2	45,5



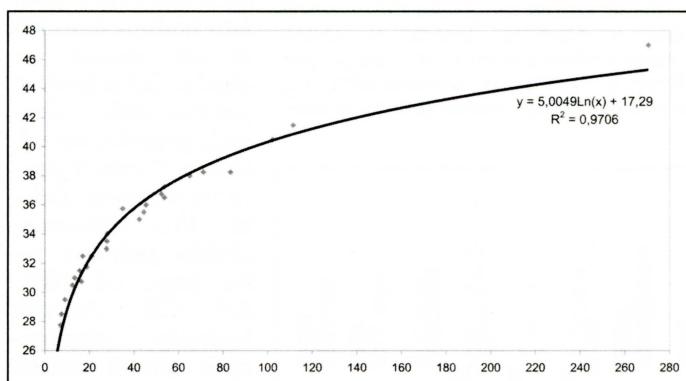
Obr. 10 – Kolísání výšky hladiny Čertova jezera během období 1.8. 2003 – 31.7. 2004. Osa y – vodní stav (cm). Vysvětly: a – okamžitý vodní stav, b – průměrný měsíční vodní stav, c – průměrný roční vodní stav. Zdroj: vlastní měření.

Průtoky vodotečí ústících do jezera dosahující relativně nižších hodnot byly měřeny tzv. přímou metodou pomocí kalibrované nádoby o objemu 12 litrů, zatímco u hlavního přítoku (P2) během jarního tání sněhové pokrývky byly zjištěny jednak plovákovou metodou a jednak hydrometrickou vrtulí. Současně byl v některých případech

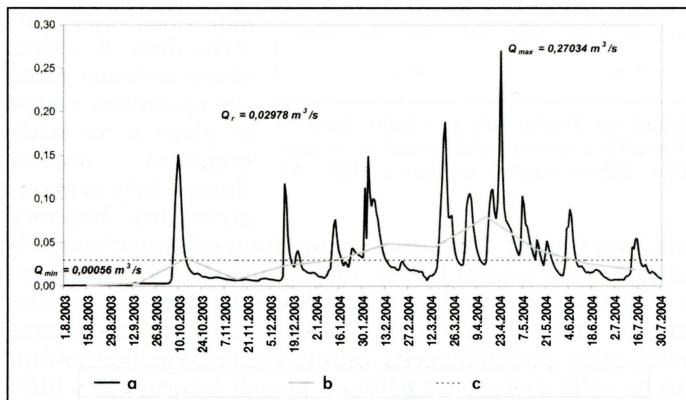
pomocí hydrometrické vrtule měřen i odpovídající průtok na odtoku z jezera v profilu bezprostředně pod výtokem, aby mohla být zjištěna hodnota porovnána s odpovídajícím průměrným denním průtokem získaným od HBÚ AV ČR.

Na jihovýchodním břehu jezera byla nainstalována vodočetná lať pro sledování kolísání hladiny jezera. K tomuto vodočtu byla vztažena i nadmořská výška jezerní hladiny. Při každém měření průtoku byl odečten i údaj o vodním stavu, aby mohl být zkonztruován graf závislosti průtokového množství vody na odtoku na stavu jezerního vodočtu (obr. 11). Kolísání výšky hladiny Čertova jezera v období 1.8.2003–31.7.2004 je znázorněno na obrázku 10, vývoj průměrných denních a měsíčních průtoků na odtoku z jezera pro stejné období na obrázku 12. Kopáček a kol. (2000b) uvádějí teoretickou dobu zdržení vody jezera v hydrologickém roce 1998, a to 567 dnů.

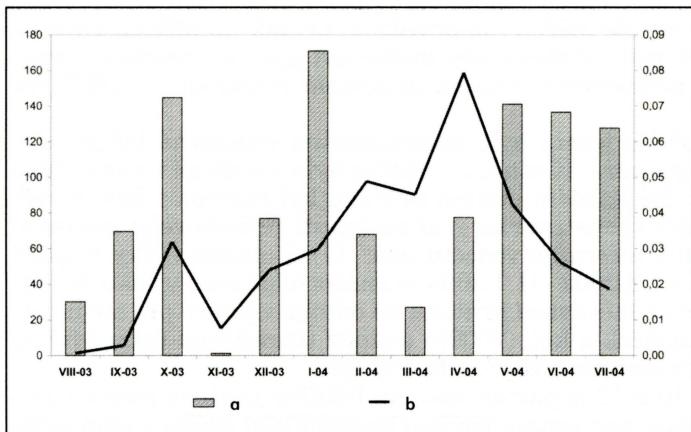
Z grafů na obrázku 10 a 12 je patrný vzestup hladiny Čertova jezera v jarním období, kdy dochází k nejvýznamnějšímu procesu tání sněhu v jeho povodí. Kromě teploty vzduchu ovlivňují tento proces především dešťové úhrny, vodní hodnota sněhové pokryvky, intenzita větru či expozice povodí. Kulminační průtok ( $Q_{\max} = 0,27034 \text{ m}^3/\text{s}$ ) se zde vyskytuje z důvodu delšího trvání sněhové pokryvky v této oblasti (závislost na nadmořské výšce) později než je tomu na dolním toku Jezerního potoka. K navýšení průtoků dochází rovněž v důsledku intenzivních srážkových úhrnnů během celého roku. Taková situace se vyskytla např. na začátku října 2003. Minimální průtok ze dne 11.9.2003 ( $Q_{\min} = 0,00056 \text{ m}^3/\text{s}$ ) svědčí o suchosti hydrologického roku 2003. Minimální průtoky během léta 2003 se vyskytly v důsledku absence významných srážek



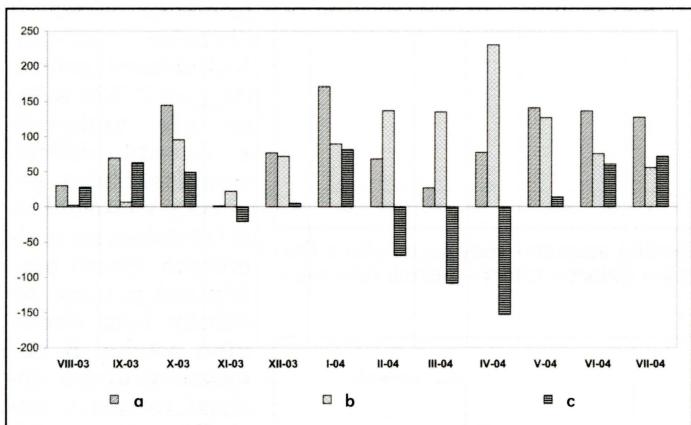
Obr. 11 – Závislost průtokového množství vody na odtoku z Čertova jezera na stavu jezerního vodočtu. Osa x – průtok (l/s), osa y – vodní stav (cm).



Obr. 12 – Vývoj průměrných denních a měsíčních průtoků v porovnání s průměrným ročním průtokem na odtoku z Čertova jezera v období 1.8.2003–31.7.2004. Osa y – průtok ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Vysvětlivky: a – průměrný denní průtok, b – průměrný měsíční průtok, c – průměrný roční průtok (VII/03–VII/04).



Obr. 13 – Vývoj měsíčních úhrnných srážek na plochu OA a měsíčních průtoků na odtoku z Čertova jezera v období 1.8.2003–31.7.2004. Osa y vlevo – úhrn srážek (mm), osa y vpravo – průtok ( $m^3/s$ ). Vysvětlivky: a – průměrný měsíční úhrn srážek, b – průměrný měsíční průtok. Zdroj: vlastní měření a HBÚ AV ČR.



Obr. 14 – Měsíční úhrny srážek na plochu OA (a; v mm), měsíční výšky odtoku (b; v mm) z Čertova jezera a jejich rozdíl (c; v mm) v období 1.8.2003–31.7. 2004. Zdroj: vlastní měření a HBÚ AV ČR.

denních úhrnných srážek na tuto plochu. Protože se zmíněná plocha nachází přibližně ve střední nadmořské výšce povodí jezera, byly tyto hodnoty zvoleny jako reprezentativní pro celé toto povodí. Vypočtené hodnoty denních, měsíčních a ročních úhrnných srážek mohou být v důsledku existence anemo-orografičního systému do určité míry podhodnoceny oproti skutečným hodnotám. Srážkoměrná plocha OA se totiž nenachází přímo v povodí jezera, ale v blízkosti rozvodí mezi úmořím Černého a Severního moře. Z grafu na obrázku 13 je patrné srovnání jednotlivých měsíčních úhrnných srážek s měsíčními průtoky na odtoku z jezera ve sledovaném období. Je z něj zřetelně vidět závislost odtoku z jezera na srážkových úhrnech, přičemž do této těsné korelace výrazně zasahuje proces tání sněhové pokrývky v jarních měsících, především v dub-

společně s vysokým stavem vyčerpání zásob podzemních vod v povodí v tomto období. Nejvodenějším měsícem ve sledovaném období byl duben 2004, nejméně vodný pak srpen 2003.

Pro zhodnocení srážkooodtokových vztahů v povodí Čertova jezera v období 1.8.2003 – 31.7.2004 bylo použito hodnot denních úhrnných srážek na plochu OA a hodnot průměrných denních průtoků na odtoku z Čertova jezera ve stejném období. Pro sledované období jednoho roku jsme od HBÚ AV ČR obdrželi hodnoty výcedených úhrnných srážek z experimentální volné plochy OA v blízkosti lokality Rozvodí v nadmořské výšce 1175 m. Vzhledem k velmi těsné korelacii mezi úhrny srážek na této ploše a na srážkoměrné stanici Špičák byly zrekonstruovány hodnoty

nu. Na intenzitu tohoto procesu má vliv kromě teploty vzduchu rovněž délka trvání a intenzita srážkových úhrnů, vítr a expozice reliéfu. Srážkoodtokové vztahy v povodí jezera ve sledovaném období demonstruje i graf na obrázku 14. Ten vyjadřuje závislost lépe porovnatelných veličin, měsíčních úhrnů srážek, jim odpovídajících měsíčních výšek odtoku a rovněž rozdíl obou těchto hodnot, které označuje Shaw (1994) ve své práci jako ztráty („loss“). Záporné hodnoty rozdílů mají v jednotlivých měsících ovšem různé vysvětlení. V případě listopadu šlo o vyčerpávání zásob podzemní vody z povodí jezera, jejíž množství se výrazně zvýšilo v důsledku významných srážkových úhrnů v říjnu. V případě měsíců února, března a dubna byla výrazná dominance odtoku oproti úhrnu srážek způsobena v důsledku procesu tání sněhové pokrývky v povodí. Nejvyšší intenzity dosahuje tento proces ve druhé polovině měsíce dubna. Kladné hodnoty rozdílů srážkových úhrnů a odtokových výšek charakteristické pro ostatní měsíce odpovídají součtu infiltrace a výparu. Nejvyšší kladné hodnoty tohoto rozdílu bylo dosaženo v lednu. Tento fakt zapříčinily intenzivní sněhové srážky a současně relativně slabý odtok z jezera. Z jeho povodí je i v delších téměř bezesrážkových obdobích (např. srpen a září roku 2003) uskutečňován minimální bazální odtok dosahující hodnoty cca 0,5 l/s. Podzemní vody v této oblasti mají tedy sezónní doplňování zásob. Tyto procesy souvisí s výškou hladiny podzemní vody v povodí. V Plánu péče o NPR Černá a Čertovo jezero (1997) jsou uvedeny závěry, které odpovídají i výše popsané analýze srážkoodtokových vztahů. Nejvyšší stavy hladiny podzemní vody bývají v květnu a červnu, nejnižší pak v prosinci až únoru. Průměrný specifický odtok podzemních vod z  $1 \text{ km}^2$  má hodnotu 5 a více litrů za sekundu. Porovnání hodnot průtoků na odtoku z jezera s odpovídajícími průtoky na dolním toku Jezerního potoka a na Řezné u státní hraniční dokládá výrazně nižší rozkolísanost odtoku z jezera než průtoků v níže položených profitech a tedy významnou akumulační a retenční schopnost jezerní pánve a povrchu celého povodí. Z tohoto důvodu dosahuje i kolísání hladiny jezera v rámci dne velmi nízkých hodnot. Vyrovnavací účinek jezerní pánve souvisí i s tím, že se významný úhrn srážek na odtoku z jezera projeví navýšením průtoků až po relativně delší době, během které dochází k postupnému nasycování jeho povodí. V oblasti kolem jezera se v tomto období zaplňují mnohé mělké deprese vodou.

## 7. Závěr

V posledních letech se lokalitou Čertova jezera zabývala řada projektů, ale chybělo nové detailní vyměření půdorysu jezera, zpracování hloubkových poměrů jezerní pánve a analýza hydrologické bilance jezera. Na informačních tabulích u všech šumavských jezer dodnes vidíme téměř sto let staré údaje, které jsou ve velké míře chyběné. Správa Národního parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava i autoři publikací vycházejí z údajů získaných na počátku 20. století, kdy zde prováděl výzkumné aktivity Václav Švambera. Šumavskými jezery ledovcového původu se ale v minulosti zabývali i mnozí další geografové. Novodobý komplexní geografický výzkum glaciálních jezer na české straně Šumavy započal kolektiv katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK v roce 1994. O deset let později vznikla limnologická studie Čertova jezera (Kocum 2004).

Kromě detailní morfometrie samotné jezerní pánve byly vypočteny morfometrické charakteristiky rovněž pro celé povodí jezera. Vzhledem k nesprávnému znázornění toků na veškerých podkladových mapách včetně Základní

mapy České republiky 1 : 10 000 bylo nutné určit průběh rozvodnice terénním průzkumem. Povodí Čertova jezera je ze všech pěti glaciálních jezer na české straně Šumavy nejníže položené (1144,0 m n. m.). V rámci terénního průzkumu bylo zmapováno celkem pět stálých přítoků jezera na rozdíl od situace na topografické mapě 1 : 10 000, kde jsou zakresleny pouze dva. Kromě přítoků celoročních se v jarním období, kdy v této oblasti dochází k intenzivnímu tání sněhové pokryvky, vytváří v povodí jezera větší množství zdrojnic. Hlavní přítok s cca 60% podílem na celkovém přítoku do jezera odvodňuje jihovýchodně exponovaný svah Jezerní hory.

Protože se na různých mapách můžeme setkat s odlišnými údaji o nadmořské výšce jezerní hladiny, bylo jedním z hlavních cílů výzkumných prací i její přesné zaměření. Její nadmořská výška byla při průměrném ročním vodním stavu 31 cm stanovena na 1027,206 m n. m.

Jedním z hlavních výstupů současného limnologického výzkumu Čertova jezera je jeho batymetrická mapa a batymetrická křivka. Porovnáním mapy vykreslené na základě našich měření v září 2003 s mapou Švamberovou je nutné uvést, že V. Švambera vytvořil již téměř před sto lety hloubkový plán velmi přesný, který se od batymetrické mapy současné liší jen v detailech. Preciznost a poctivost, s jakou byla provedena jeho hloubková měření, dokumentuje i porovnání obou batymetrických křivek. Z nich je patrná o 1,6 m menší hodnota maximální hloubky naměřené řešitelským kolektivem katedry v září 2003 (35,4 m), než je hodnota zjištěná Švamberou. Intenzitu zanášení jezera ovšem nelze z důvodu manipulace s korunou morény v minulosti nijak kvantifikovat. Tuto problematiku je možné řešit pouze budoucími opakoványmi měřeními hloubkových poměrů pánve. Plocha jezera činí při stavu 22 cm na vodočtu 10,740943 ha, což je hodnota o víc než 0,4 ha větší než ta, kterou uvádí Švambera (1939). Dno jezera pak dosahuje v porovnání s ostatními šumavskými glaciálními jezery na české straně hranice nejvyšší hodnoty středního sklonu ( $16^{\circ}59'$ ). Čertovo jezero je ze všech glaciálních jezer na české straně Šumavy jak z hlediska půdorysu, tak hloubkových poměrů, v současnosti nejpřesněji vyměřené.

Protože cílem naší práce byl komplexní limnologický výzkum jezera, providli jsme průběžný monitoring vybraných fyzikálně-chemických vlastností akumulované vody v jednotlivých ročních obdobích. Čertovo jezero vykazuje termický režim typický pro jezera mírného klimatického pásu s obdobími letního přímého zvrstvení (letní stagnace), jarní a podzimní homotermie a obdobím zimního inverzního zvrstvení (zimní stagnace), kdy se metalimnion nachází v relativně malé hloubce. Z hlediska průhlednosti a zbarvení jezerní vody dochází v rámci roku k výrazným změnám v závislosti na ročním období, přičemž největší průhledností bylo v rámci sledovaného období dosaženo na jaře a v létě. Tento fakt příliš nekoresponduje se závěry, které uvádí Dub (1957) nebo Lellák a Kubíček (1991). Naše závěry se naopak shodují s poznatky Leana (1998) a Allarda, Boréna, Petterssona a Zhanga (1994), kteří uvádějí, že sluneční záření efektivně redukuje koncentraci rozpuštěných látek ve vodě. Kromě teploty byl stanovován i obsah rozpuštěného kyslíku, konduktivity a pH vody ve vertikálním profilu vždy nad oblastí maximálních hloubek. Pro málo produktivní Čertovo jezero je charakteristická přibližně ortográdní distribuce rozpuštěného kyslíku s velice mírným poklesem směrem do hloubky. Obecně vyšší obsah rozpuštěného kyslíku se v celém vertikálním profilu vyskytuje v jarním a podzimním období v důsledku procesu promíchávání vody v celém jejím sloupci. Naopak v zimním období, kdy je celá hladina pokryta ledem a jezerní vodě tedy není umožněno absorbovat vzdušný kyslík,

dosahují koncentrace kyslíku výrazně nižších hodnot. Konduktivita vykazovala během celého sledovaného období jednoho roku směrem do hloubky mírně poklesovou tendenci, v nejhlubší vrstvě jezerní vody u dna vodivost zákonitě výrazně vzrůstala. Hodnoty pH jsou obecně vyšší na odtoku z jezera než v jeho přítocích. Průběh pH směrem do hloubky je typický pro acidifikovaná jezera. Charakterizuje ho určitý pokles pH do hloubky cca 5–10 m a následná mírně vzestupná tendence až k jezernímu dnu, přičemž ve vrstvě vody bezprostředně u dna je vzestup pH rapidní. Nižší hodnoty pH jezerní vody se v rámci sledovaného období vyskytly v zimním a jarním období (4,4–4,5), vyšší naopak v období podzimním a letním (cca 4,8). Acidifikace a chemismus jezerní vody je dlouhodobě předmětem výzkumu Hydrobiologického ústavu Akademie věd České republiky v Českých Budějovicích. Čertovo jezero zůstává z tohoto pohledu i přes rapidní pokles atmosférické depozice síry v posledních letech stále silně acidifikované. V důsledku toho došlo v minulosti k výraznému úbytku zooplanktonu a vymizení ryb (Fott, Kohout a Pražáková 2001).

Podstatnou součástí novodobého výzkumu Čertova jezera byla rovněž analýza jeho hydrologického režimu a srážkoodtokových vztahů v jeho povodí, která byla provedena vůbec poprvé v historii výzkumů v této lokalitě. Vzhledem k tomu, že se jedná o horské povodí, dochází v jarním období v důsledku tání sněhu v jeho povodí k výraznému vzestupu jezerní hladiny. Kulminační průtok nastává vzhledem k závislosti na nadmořské výšce a tedy delšímu trvání sněhové pokrývky v této oblasti později, než je tomu na dolním toku Jezerního potoka. Minimální průtoky se v rámci sledovaného období (1.8.2003–31.7.2004) vyskytly v důsledku absence významných srážek společně s vysokým stavem vyčerpání zásob podzemních vod v povodí v letním období roku 2003. Do těsné korelace závislosti odtoku z jezera na srážkových úhrnech výrazně zasahuje proces tání sněhové pokrývky v jarních měsících. Významný úhrn srážek se na odtoku z jezera projeví navýšením průtoků až po relativně dlouhé době, což souvisí s vysokou akumulační a retenční schopností jezerní pánve a celého povrchu povodí jezera. Kromě toho má na reakci odtoku na úhrn srážek velmi podstatný vliv míra předchozí nasycenosti povodí.

### Literatura:

- ALLARD, B., BORÉN, H., PETTERSSON, C. a ZHANG, G. (1994): Degradation of humic substances by UV irradiation. Environ. Int. 20, s. 97-101.
- BAYBERGER, F. (1886): Geographisch-geologische Studien aus dem Böhmerwalde. Erghft. No. 81 zu Petermanns Geogr. Mitt. Gotha 1886.
- ČESÁK, J., ŠOBR, M., (2005): Metody batymetrického mapování českých jezer. Geografie – Sborník ČGS, 110, č. 3, ČGS, Praha, s.141-151.
- DUB, O. (1953): Limnológia. Hydrológia jezer a barín. Vydavatelství SAV, Bratislava, 109 s.
- DUB, O. (1957): Hydrológia, hydrografia, hydrometria. SVTL, Bratislava, 526 s.
- FOTT, J., PRAŽÁKOVÁ, M., STUCHLÍK, E., STUCHLÍKOVÁ, Z. (1994): Acidification of lakes in Šumava (Bohemia) and in the High Tatra Mountains (Slovakia). Hydrobiologia, č. 274, Praha, s. 37-47.
- FOTT, J., KOHOUT, L. a PRAŽÁKOVÁ, M. (2001): Zooplankton šumavských jezer: 130 let změn a perspektivy dalšího vývoje. Aktuality šumavského výzkumu, Správa NP a CHKO Sumava, Vimperk, s. 58-59.
- FREJLACH, J. (1898): Bathymetrická mapa jezera Plöckensteinského. Věstník Československé akademie nauk, 7, č. 4, Praha, s. 267-270.
- FRIČ, VÁVRA (1898): Výzkumy zvřeny ve vodách českých. III. Výzkumy dvou jezer šumavských, Černého a Čertova jezera. Archiv pro přír. výzkum Čech, X, č. 3, Praha.
- JANSKY, B. (1996): Tradice geografických výzkumů jezer na Karlově univerzitě. Geografie-Sborník ČGS, 101, č. 1, ČGS, Praha, s. 59-63.

- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky. KFGG PřF UK, Praha, 216 s.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M., KOCUM, J., ČESÁK, J. (2003): Mapování Černého a Čertova jezera. Manuskript výsledků terénních měření. Katedra fyzické geografie a geologie, PřF UK, Praha.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M., KOCUM, J., ČESÁK, J. (2005): Nová batymetrická mapování glaciálních jezer na české straně Šumavy. Geografie–Sborník ČGS, 110, č. 3, ČGS, Praha, s. 176–187.
- JENÍK, J. (1959): Kurzgefasste Ubersicht der Theorie der anemo-orographischen Systeme. Preslia 31, s. 337-357.
- JENÍK, J. (1961): Alpinská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. Praha, 409 s.
- KETTLE, H., KOPÁČEK, J. a HEJZLAR, J. (2003): Modelling air temperature at Čertovo Lake back to 1781. Silva Gabreta, 9, s. 15-32.
- KOCUM, J. (2004): Limnologická studie Čertova jezera a režim odtoků v českém povodí Řezné. Diplomová práce, KFGG PřF UK, Praha, 210 s.
- KODYM, O. jun. (1961a): Geologická mapa ČSSR – Mapa předčtvrtohorních útvarů 1 : 200 000 M-33-XXVI Strakonice. Ústřední ústav geologický, Praha 1963.
- KODYM, O., ml. a kol. (1961b): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1 : 200 000 M-33-XXVI Strakonice. Ústřední ústav geologický, Praha, 149 s.
- Plán péče o NPR Černé a Čertovo jezero. Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, 1997.
- KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., PORCAL, P. (2000b): Mass balance of major ions in the Čertovo watershed-lake ecosystem the 1998 hydrological year. Silva Gabreta, 4, Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 117-133.
- KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., KAŇA, J., PORCAL, P. (2001): Faktory ovlivňující chemismus šumavských jezer. Aktuality šumavského výzkumu, Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 63-66.
- KREJČÍ, J. (1857): Zpráva o lesních cestách na Šumavě, vykonaných od údů musejního sboru přírodnického. Živa, 5, s. 277-281.
- KUCHAŘ, K. (1947): Mapy šumavských jezer podle měření prof. V. Švambery. Kartografický přehled, II, č. 3-4, Praha, s. 41-42.
- KUNSKÝ, J. (1933): Zalednění Šumavy a šumavská jezera. Sborník ČSZ, 39, č. 1, ČSZ, Praha, s. 1-6, 33-40.
- KUNSKÝ, J. (1968): Fyzický zeměpis Československa. SPN, Praha, 537 s.
- LEAN, D. (1998): Attenuation of solar radiation in humic waters. In: Aquatic humic substances, Hessen D.O. & Tranvik L.J. (eds.). Ecological Studies 133, Springer, Berlin, s. 109-124.
- LELLÁK, J., KUBÍČEK, F. (1991): Hydrobiologie. Karolinum, Praha, 260 s.
- MAJER, V., KOPÁČEK, J., VESELÝ, J. (2001): Modelování budoucího vývoje chemismu Plešného jezera. Aktuality šumavského výzkumu, Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 60-62.
- MANDÁK, F. (1981): Šumavská jezera. Šumava, č. 15, s. 5-8.
- MUŽÍK, F. (2003): Geomorfologická analýza jihovýchodní části geomorfologického okrsku Královský hvozd (se zvláštním zřetelem na kryogenní reliéf). Diplomová práce, KFGG PřF UK, Praha, 187 s.
- PRIEHÄUSSER, G. (1931): Neue Beiträge zur Vergletscherung des Böhmerwaldes während der Eiszeit. Firgenwald, Praha, č. 4, s. 37-40.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica 16, Academia, Brno, 73 s.
- RATHSBURG, A. (1928): Die Gletscher des Böhmerwaldes zur Eiszeit. Berichte naturwiss. Gesellschaft, Chemnitz, č. 22, s. 65-161.
- RATHSBURG, A. (1930): Neue Beiträge zur Vergletscherung des Böhmerwaldes während der Eiszeit. Mitteil. Ver. Erdkunde, Dresden, 106 s.
- RATHSBURG, A. (1931): Vergletscherung des Böhmerwaldes. Firgenwald, Praha, č. 4, s. 167-169.
- REISSINGER, A. (1930): Der Schwarzer See im Böhmerwald. Monatschrift Inst. Ostbayer. Heimatsforschung, Passau.
- REISSINGER, A. (1931): Schlammuntersuchungen am Schwarzen See im Böhmerwalde, Naturwiss. Gesellsch. Bayreuth, Bayreuth.
- SHAW, E. M. (1994): Hydrology in practice. Chapman & Hall, London, 569 s.
- SOMMER (1841): Das Königreich Böhmen. Budweiser Kreis, IX, Prag, s. XXX, 258.
- STRÁNIK, F. (2001): Geomorfologie oblasti Čertova jezera. Diplomová práce, katedra FGG PřF UK, Praha, 55 s.

- ŠOBR, M. (1999): Jezero Laka. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 89 s.
- SVAMBERA, V. (1912): Výzkum šumavských jezer. Sborník ČSZ, 18, Praha, s. 250-257.
- SVAMBERA, V. (1939): Jezera na české straně Šumavy. Sborník ČSZ, 45, Praha, s. 15-23.
- VEJNAR, Z. (1963): Svorová oblast série Královského hvozdu na Šumavě. Sborník ÚUG, 28, Praha, s. 107-142.
- VESELÝ, J. (1994): Investigation of the nature of the Šumava lakes: a review. Časopis Národního muzea, řada přírodovědná, 163, Praha, s. 103-120.
- VITASEK, F. (1924): Naše hory ve věku ledovém. Sborník ČSZ, 30, ČSZ, Praha, s. 86-89.
- VRÁNEK, T. (1999): Plešné jezero. Diplomová práce, PřF UK, Praha.
- VRBA, J., BITTL, T., NEDOMA, J., KOPÁČEK, J., NEDBALOVÁ, L., FOTT, J. (2000a): Jedenáctý plankton acidifikovaných šumavských jezer jako důsledek působení hliníku a litmitace fosforem. In: XII. limnologická konference, Sborník referátů, Česká limnol. společ., Slov. limnol. spoloč., Kouty nad Desnou, s. 47-51.
- VRBA, J., FOTT, J., KOPÁČEK, J., NEDBALOVÁ, L., NEDOMA, J. (2001): Dlouhodobý limnologický výzkum šumavských jezer a jejich současný stav. Aktuality šumavského výzkumu, Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 56-57.
- VRBA, J., KOPÁČEK, J., FOTT, J. (2000b): Long-term limnological research of the Bohemian Forest lakes and their recent status. Silva Gabreta, 4, Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 7-27.
- VRBA, J., KOPÁČEK, J., STRAŠKRABOVÁ, V., HEJZLAR, J., ŠIMEK, K. (1996): Limnological research of acidified lakes in Czech part of the Šumava mountains: trophic status and dominance of microbial food webs. Silva Gabreta, 1, Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 151-164.
- WAGNER, P. (1897): Die Seen des Böhmerwaldes. Leipzig, s. 52-55.
- Základní mapa ČR 1 : 10 000. List 21-44-03, 21-44-04, 21-44-05, 21-44-09, 21-44-10, 21-44-14. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha 1996.
- Základní mapa ČR 1 : 50 000. List 21-44 Železná Ruda. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha 1995.
- Základní vodohospodářská mapa ČSR 1 : 50 000. List 21-44 Železná Ruda. Český úřad geodetický a kartografický, Praha 1989.
- ZBORIL, A. (1994): Prášilské jezero. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 90 s.

## S u m m a r y

### LIMNOLOGICAL STUDY OF THE ČERTOVO LAKE

The Čertovo Lake ( $49^{\circ} 09' 57''$ ;  $13^{\circ} 12' 07''$ ; fig. 1), the second largest glacial lake in Czechia, is situated in the northwestern part of the Bohemian Forest. Its basin was partly hollowed by glacier (cirque lake) and partly dammed-up by the dumped moraine. This lake is the vestige of regress of Würm aged glacier. The water from the Čertovo Lake runs out by Jezerní Brook to the Řezná River and further to the Danube and the Black Sea.

Various research activities have been consecutively concentrated on this locality. The only serious sources for the study of morphometry and hydrography of the lake have been so far publications by Švambera who was pursuing his research activities here already at the beginning of the 20<sup>th</sup> century. Within his research, he has made the so far most precise survey of the lake basin, and he was inciting his followers to reiterate the bathymetric measurements in order to determine the intensity of sedimentation. In 2003, the team of the GAČR grant project "Atlas of Lakes in Czechia" made the so far last detailed limnological research of the lake using modern equipment – laser total station, echounder and modern multiparametric probe (Kocum 2004).

As on various maps we can find different data about the altitude of the lake water level, its accurate determination was one of the main aims of our research. The altitude of the Čertovo Lake water level (mean annual water level 31 cm) was determined as 1027.206 m a.s.l. One of the main outcomes of this limnological study is the bathymetric map made by means of MapInfo and Surfer software, and the bathymetric curve. When comparing the bathymetric map based on our measurements in September 2003 with the map made by Švambera, it is necessary to note that almost one hundred years ago, Švambera made a very precise and detailed depth plan that differs from the present map only minimally (Fig. 4). His preciseness can be also demonstrated by comparison of both bathymetric curves (see Janský, Šobr, Kocum, Česák in this issue). It clearly shows by

a 1.6 m lower value of the maximum depth measured in September 2003 (35.4 m) than the depth established by Švambera. However, the intensity of sedimentation cannot be quantified because of manipulations with the dam in the past. This problem can be solved just by future repetition of precise and exact mapping of the basin's depth conditions. The lake area is 10.740943 ha (water level 22 cm). The value stated by Švambera (1939) is of more than 0.4 ha lower. The slope of bottom reaches the highest value in comparison with other Bohemian Forest glacial lakes ( $16^{\circ} 59'$ ). At present, the Čertovo Lake is, from the point of ground plan and depth conditions, the best measured lake of all. Besides the description of morphometry of the lake basin (Tab. 3), the morphometric characteristics for whole lake catchment were calculated (Tab. 1). Because of an incorrect presentation of tributaries on all source maps including the General Map of Czechia 1 : 10 000, it was necessary to determine the catchment boundary within the field survey (see Fig. 3). We had to take into account that only two of five permanent tributaries are represented on the source map and that their courses are moreover mismapped. In the spring period, much more springs are formed due to the process of snow melting. The main tributary (P2) brings about 60 % of the total inflow into the lake. The catchment of the Čertovo Lake has the lowest mean altitude from all five glacial lakes of the Bohemian Forest (1 144.0 m a.s.l.).

In order to do the comprehensive geographical research of the lake, the ever first systematic observations of temperature conditions and ice phenomena of the accumulated water, of water transparency and colour and of its physical and chemical characteristics have been made. The Čertovo Lake is a dimictic lake with the temperature regime typical for the lakes of the mild climatic zone with periods of summer direct stratification (summer stagnation), spring and autumn temperature homogeneity and winter inverse stratification (winter stagnation), when the metalimnion is found in a relatively small depth (Fig. 6). In terms of water transparency and colour, strong changes occur within the year according to seasons, while the highest transparency was reached in spring and summer. This corresponds with conclusions by Lean (1998) and Allard, Borén, Pettersson and Zhang (1994), who state that the solar radiation effectively reduces concentrations of dissolved aquatic humic matter in water. Together with temperature, the amount of dissolved oxygen, conductivity and pH value were determined in the vertical profile always above the area of maximum depth. For the low productive Čertovo Lake, an approximately orthograde distribution of dissolved oxygen with a very slow decrease to depth is characteristic. During the spring and autumn temperature homogeneity, generally a higher amount of dissolved oxygen occurs in the whole vertical profile in consequence of the mixing up process (Fig. 7). More notably lower amounts of dissolved oxygen are measured during the winter period (ice cover existence). Conductivity showed a slightly decreasing tendency towards depth during the whole monitored period of one year. It significantly increases in the deepest layer of water near the lake bed (Fig. 8). The pH values are generally higher in the outlet than in tributaries. The course of pH values to the depth is typical for acidified lakes, characterized by its certain decrease to 5–10 m depth and a slightly increasing tendency towards the bottom where the increase is very rapid (Fig. 9). Lower pH values of the lake water within the monitored period occurred in winter and spring months (4.4–4.5), higher ones respectively in the autumn and summer period (about 4.8). Acidification and chemism of the lake water is a long-term subject of research of the Hydrobiological Institute of the Czech Academy of Science. From this point of view, the Čertovo Lake still remains highly acidified even despite of the rapid decrease of sulphur atmospheric deposition in recent years.

Another important part of our research, i.e. the analysis of hydrological regime of the lake and rainfall-outflow processes in its catchment, has been carried out for the first time in the history of research activities in this locality. The mean annual amount of precipitation in 1998–2003 counted on basis of values measured on an experimental open area situated approximately in the mean altitude of the catchment reached 1430.6 mm. Because of the mountain character of the lake's catchment, a strong increase of lake water level occurs during the spring period due to intensive snow melting (Figs 10 and 12). With the relation to altitude, the culminating discharge occurs here later than on the lower reach of the Jezerní Brook. During the monitored period (August 1, 2003–July 31, 2004), the minimum discharges were detected in consequence of absence of significant rainfall and of a high degree of depletion of ground water reserves in the catchment during summer period 2003. The process of snow melting in spring months significantly interferes with the close correlation between precipitation and outflow (Figs 13 and 14). Intensive rainfall influences the outflow by increasing discharge after a relatively long time, which is in correlation with

a high accumulating and retention capacity of the lake basin and catchment. Besides these factors, the degree of previous saturation of the catchment essentially affects the outflow reaction to precipitation.

- Fig. 1 – View of the Čertovo Lake from the outlet to the lake wall (Photo J. Kocum).
- Fig. 2 – The reconstructed trend in mean annual air temperature at Čertovo Lake in the 1781–2001 period. Key: a – long-term mean annual air temperature (1781–2001); b – five-year running average of  $T_{CT-a}$ ; c – polynomical trend line . After: Kettle, Kopáček, Hejzlar (2003).
- Fig. 3 – System of tributaries to the Čertovo Lake (significance of each tributary is represented by different thickness of lines). Key: a – altitude point; b – main tributary; c – significant permanent tributaries, d – outflow; e – occasional tributaries; f – lake; g – limits of the catchment area.
- Fig. 4 – Bathymetric map of the Čertovo Lake 1 : 2 000 by Kuchař (Kuchař 1947) according to the measurements by V. Švambera in August 1909 (interval of isobaths 1 m; left) and bathymetric map of the Čertovo jezero Lake according to the measurements in September 2003 (interval of isobaths 2 m; right, Kocum 2004). Depth degrees in metres.
- Fig. 5 – Development of water temperature of the main tributary (P2), surface layers of the lake water at the southeast bank of the lake , at the outflow from the lake and at the lower course of the Jezerní Brook between August 13, 2003 and July 30, 2004. Key: a – main tributary (P2), b – southeast bank, c – outflow, d – lower course. After own measurements.
- Fig. 6 – Water temperature of the Čertovo Lake in the vertical profile above the maximum depth in each season. Axis x – temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), axis y – depth (m). After own measurements and HBÚ AV ČR.
- Fig. 7 – Amount of dissolved oxygen in the lake water in the vertical profile into the 10 m depth in each season. Axis x – content  $\text{O}_2$  (mg/l). After own measurements and HBÚ AV ČR.
- Fig. 8 – Conductivity of the lake water in the vertical profile above the maximum depth in each season. Axis x – conductivity ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), axis y – depth (m). After own measurements and HBÚ AV ČR.
- Fig. 9 – pH values of the lake water in the vertical profile above the maximum depth in each season. Axis x – pH values, axis y – depth (m). After own measurements and HBÚ AV ČR.
- Fig. 10 – Fluctuation of the Čertovo Lake water level between August 1, 2003 and July 31, 2004. Axis y – water level (cm). Key: a – immediate water level, b – monthly water level, c – annual water level. After own measurements.
- Fig. 11 – Relationship between the outflow from the Čertovo Lake and its water level. Axis x – outflow (l/s), water level (cm).
- Fig. 12 – Mean daily and monthly discharges in comparison to the mean annual discharge from the Čertovo Lake between August 1, 2003 and July 31, 2004. Axis y – discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Key: a – mean daily discharge, b – monthly discharge, c – annual discharge (July 2003 – July 2004).
- Fig. 13 – Monthly precipitation amount on an open area (OA) and monthly discharges from the Čertovo Lake between August 1, 2003 and July 31, 2004. Axis y left – total precipitation (mm), axis y right – discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Key: a – total monthly precipitation, b – monthly discharge. After own measurements and HBÚ AV ČR.
- Fig. 14 – Monthly precipitation amount on an open area (OA) (a; in mm), monthly height of discharge (b; in mm) from the Certovo Lake and their difference (c; in mm) between August 1, 2003 and July 31, 2004. After own measurements.

(Pracoviště autorů: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: kocum1@natur.cuni.cz, jansky@natur.cuni.cz.)

Do redakce došlo 29. 6. 2005

**BOHUMÍR JANSKÝ, MIROSLAV ŠOBR,  
JAN KOCUM, JULIUS ČESÁK**

## **NOVÁ BATYMETRICKÁ MAPOVÁNÍ GLACIÁLNÍCH JEZER NA ČESKÉ STRANĚ ŠUMAVY**

B. Janský, M. Šobr, J. Kocum, J. Česák: *New bathymetric mapping of the Bohemian Forest glacial lakes.* – Geografie–Sborník ČGS, 110, 3, pp. 176–187 (2005). – The article gives a historical overview of bathymetric measurements of glacial lakes in the Bohemian Forest in the course of the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries. A special attention is paid to Václav Švambera's works from the beginning of the 20<sup>th</sup> century. These works are confronted with results of the latest measurements made by workers of the Department of Physical Geography and Geoecology of the Faculty of Science, Charles University, with the help of advanced equipments.

**KEY WORDS:** glacial lakes – history of morphometric measurements – bathymetric maps – bathymetric curves – morphometry of lake basins.

Článek vznikl za finanční podpory grantu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264) a výzkumného záměru MŠM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

### **1. Úvod**

Výzkum jezer na území bývalého Československa má dlouhou tradici. Postupně se jím zabývala celá řada geografií i dalších přírodnovědců. Zvláště mezi geografy, ať byli národnosti české či německé, byl tento badatelský směr velmi oblíben. Zatímco se geografové z německé části pražské univerzity věnovali spíše jezerům ve Vysokých Tatrách – např. J. Schaffer, F. Stummer nebo K. A. Sedlmeyer, čeští geografové se především zasloužili o výzkum jezer na české i německé straně Šumavy. Zakladatelem systematického geografického výzkumu šumavských glaciálních jezer byl profesor Václav Švambera, který provedl jejich komplexní sledování již na počátku 20. století. V jeho šlepéjích kráčeli poté mnozí další badatelé – A. Reissinger, K. Kuchař, J. Kunský a jiní (Janský 1996).

Při novém batymetrickém mapování jezer na české straně Šumavy jsme se pokusili na tuto tradici navázat a porovnat tehdejší mapy a další podklady s nejnovějšími výsledky, dosaženými pomocí nejmodernějších přístrojů při terénním mapování (viz kapitola 2). Nejpřesnější vyměření jezerních pánví uskutečnil na počátku 20. století Švambera. Jeho výsledky byly v minulosti hojně přejímány a poměrně často citovány. Sám Švambera své následovníky nabádal k opakování batymetrických měření šumavských jezer z důvodu sledování jejich zanášení (Kuchař 1947). Jeho přání plníme po více než sto letech, která uplynula od jeho prvních výzkumů.

## 2. Historie batymetrických měření šumavských jezer

První ojedinělá měření hloubek šumavských jezer započala již ve druhé polovině 19. století. Systematickým měřením šumavských jezer se postupně zabývali Bayberger (1886), Wagner (1897), Černé a Čertovo jezero zkoumal Frič a Vávra (1898), Plešné potom Frejlach (1898). Měření Švambery (1912, 1913, 1914a-c) v letech 1903 a 1906–11 byla doplněna a zpřesněna při dalších exkurzích v letech 1919, 1921, 1922, 1928 a 1938 (Švambera 1939, Kuchař 1947). Na Černém jezeře prováděl hloubková měření z ledu v prosinci 1926 a lednu 1927 Reissinger. Historie batymetrických měření je shrnuta v tabulce 1.

### 2.1. Přehled měření do počátku 20. století

První batymetrickou mapu Černého jezera nakreslil Bayberger v měřítku 1 : 6 000. Ten provedl v roce 1884 na Černém jezeře 25 hloubkových měření na jednom podélném a jednom příčném profilu. Daleko kvalitnější a správně lokalizovaná hloubková měření provedl v letech 1893–95 Vávra. Jako vůbec první badatel rozpoznal nápadný rozdíl reliéfu dna v přední a zadní části jezera. V roce 1896 prováděl hloubková měření Wagner, který sestavil mapu v měřítku 1 : 5 000.

První přesnější data o Čertově jezeře poskytli Sommer (1841) a Krejčí (1857). V Rívnáčově průvodci nalezneme údaj o maximální hloubce 35 m (Anonymous 1882). Bayberger (1886) zde v roce 1884 provedl 30 měření hloubek ve dvou na sebe kolmých profilech. Obrys jeho mapy jezera jsou ale značně zkreslené. Naměřil největší hloubku 33 m při stavu vody 1–1,5 m pod maximální úrovni jezera. Vávra zde v letech 1893–1895 provedl na několika profilech celkem 61 hloubkových měření a nalezl největší hloubku 35 m. Wagner uskutečnil v 9 profilech 72 hloubkových měření a udává největší hloubku uprostřed jezera 36 m.

První pokusy o změření Plešného jezera proběhly již v 16. století na panství Rožmberků a k jejich opakování došlo v 18. století na panství Schwarzenberků. Poté následovala měření Friče a Baybergera. První relativně přesné měření hloubek učinil v srpnu 1894 Frejlach. Svá měření zanesl do katastrální mapy, která ale nebyla dostatečně přesná. O dva roky později prováděl svá měření Wagner. Jako podklad použil lesní mapu v měřítku 1 : 5 760.

První zmínka o Prášilském jezera se nachází v Josefinském katastru. Jezero na Prášilském panství geometricky změřil 16. srpna 1785 nadporučík Pemler. Uvedená plocha jezera 5 526 1/2 čtverečních sáhů (cca 1,987 ha) je však příliš malá, než aby se dalo toto měření pokládat za správné. Je možné, že hladina jezera byla před umělou úpravou odtoku v 19. století nižší než dnes, ale plocha nemohla klesnout na polovinu dnešní (Švambera 1914). Schematicky a bez jména je jezero zakresleno pod nejmenovanou horou na mapě Kreybichově (1831). V určitých obrysech se Prášilské jezero objevuje na katastrální mapě vyhotovené geometrem Karlem Struskou roku 1837 (Stabilní katastr 1837). Na známé mapě Müllerově z počátku 18. století po něm ještě není stopy (Švambera 1914b). Určitou zprávu o jezeře přináší Sommer (1841), který piše, že se jezero nachází ve skalní kotlině, má plochu 7 jiter a hloubku 9 sáhů (4,02 ha, 17 m hloubky). Autentické zprávy z vlastní návštěvy přináší Hochstetter (1855). Právě na tomto jezera konstatoval důležitou hranici mezi žulou a rulou. Sdělil také první měření nadmořské výšky jezera a sice 3 352 stop (1 062 m n. m.) jako průměr ze dvou barometrických pozorování. V červnu roku 1871 navštívil jezero Frič (1871), který odhadoval hloubku jezera na

Tab. 1 – Historie batymetrických měření šumavských jezer (upraveno podle Veselý 1994)

Jezero	Rok	Maxim. hloubka (m)	Počet hloubkových měření	Plocha jezera (ha)	Plocha povodí (km <sup>2</sup> )	Objem vody (tis. m <sup>3</sup> )	Zdroj
Černé	1857	14,5		18,16			Krejčí (1857)
	1871	37,9	120				Frič (1872)
	1878	45					Hellich (1884)
	1882	43					Komárek (1882)
	1884	38	25				Bayberger (1886)
	1893-95	40	117	18,46			Frič, Vávra (1898)
	1896	40	103	18,41	1,25	3 240	Wagner (1897)
	1909	39,8	1 473	18,43	1,29	2 878	Švambera (1939)
	1926-27	40,2	618	18,1		2 979	Reissinger (1930)
	1981	39		17,00		2 100	Vodohospodářská mapa 1 : 50 000
	1985	39,5	20				Veselý (1987)
	2003	40,1	4 815	18,79	1,24	2 924,8	Janský, Šobr, Kocum, Česák (2003)
Čertovo	1841			11,35			Sommer (1841)
	1857			11,35			Krejčí (1857)
	1882	35					Anonymous (1882)
	1884	34,5	30				Bayberger (1886)
	1893-95	35	61				Frič, Vávra (1898)
	1896	36	72	10,01	1,05	1 426	Wagner (1897)
	1909	36,5	931	10,33	0,875	1 852	Švambera (1912, 1939)
	1986	36	10				Veselý (1987)
	2003	35,3	2 746	10,74	0,894	1 859	Janský, Šobr, Kocum, Česák (2003)
Plešné	1872	16,9					Frič (1873)
	1894	18,5	150	10,00			Frejzlach (1898)
	1896	18,5	54	6,06	0,64	420	Wagner (1897)
	1903	18,3	555	7,48	0,67	617	Švambera (1939)
	1985	17 ?	15				Veselý (1987)
	1999	18,7		7,643	0,6668	614	Vránek (1999)
Prášilské	1785			1,99			Josefinský katastr (1786)
	1837			3,86			Katastrální mapa (1837)
	1841	16,5		1,99			Sommer (1841)
	1896	15	28	3,58	0,5	217	Wagner (1897)
	1906	15,9	258	3,72-2,9	0,524	270-310	Švambera (1914b, 1939)
	1981	15,4		4,20		300	Vodohospodářská mapa 1 : 50 000
	1985	15	12				Veselý (1987)
	1994	17,2	1 095	4,2044	0,6474	350	Zboril (1994)
Laka	1837			2,83			Katastrální mapa (1837)
	1871	2,5-3,2					Frič (1872)
	1896	3,8-4,3		2,53			Wagner (1897)
	1907	3,9		2,78	1,3	51	Švambera (1914c, 1939)
	1981	5 ?		3,60	1,35	40	Vodohospodářská mapa 1 : 50 000
	1985	3,5					Veselý (1987)
	1999	3,5	563	2,577	1,02	49	Šobr (1999)

15 stop (4,75 m). Následuje nové mapování Vojenského geografického ústavu ve Vídni roku 1878. Na starší speciální mapě v měřítku 1 : 144 000 bylo ještě jezero naznačeno schematicky, nyní už správně a s udáním nadmořské výšky 1 079 m (Švambera 1914b). V srpnu 1896 měřil na Prášilském jezeře Wagner

Tab. 2 – Výsledky měření Wagnera (Wagner 1897)

Jezero	Černé	Čertovo	Plešné	Prášilské	Laka	Velké Javorské	Malé Javorské	Roklanské
Plocha (ha)	18,414	9,7157	6,055	3,5757	2,532	4,325	2,4525	3,7485
Maximální hloubka (m)	40	36	18,5	15,6	4	15	6?	13,5
Střední hloubka (m)	17	14,7	6,9	6	2	6,1	3	4,4
Objem (km <sup>3</sup> )	3,24	1,43	0,42	0,22	0,05	0,27	0,06	0,16
Nadmořská výška hladiny (m n. m.)	1 008	1 030	1 090	1 079	1 096	934	925	1 050
Vrchol jezerní stěny (m)	1 343	1 343	1 378	1 314	1 346	1 345	1 391	1 300
Výška jezerní stěny (m)	335	313	288	235	250	411	456	396
Délka (m)	662	432	435	290	374	441	165	285
Šířka (m)	465	260	176	175	86	144	135	195
Orientace	V	V	SV	V	SV	V	S	JV

(1897), který upozornil na depresi „Alte Schwelle“ (Stará jímka) a soudil, že zde bývalo jezero související s Prášilským. Výsledky jeho výzkumů jsou seřazeny v tabulce 2.

Plochu jezera Laka poprvé udává Stabilní katastr (2,8294 ha). Různí autoři pak prezentují různé, někdy značně nadšazené hodnoty plochy a hloubky jezera: Willkom (1878) 4 ha, Möchel (1878) 12 ha, hloubku 20 m, Rivnáčův průvodce po království Českém (1882) 3,5 ha, Detterův průvodce (1906) 3 ha, hloubku 16 m. Frič odhadnul největší hloubku v roce 1871 na 8–10 stop (2,4–3 m). Jezero Laka bylo asi nejvíce využíváno pro potřeby místních obyvatel. Jeho hráz byla uměle zvýšena poprvé kolem roku 1730, později byla znova upravena v roce 1888 (Švambera 1914c). Jezero bylo upraveno na rybník za účelem chovu pstruhů, pomocí stavidla jej bylo možné zcela vypustit. Jezero bylo občas zbavováno sedimentů z důvodu zvýšení objemu zadržované vody. Wagner (1897) prováděl svá měření právě v době, kdy bylo jezero zcela vypuštěno za účelem výlovu pstruhů (14.8.1896).

## 2.2. Mapování Václava Švambery

Švamberův výzkum šumavských glaciálních jezer (viz tabulka 3) započal v září a říjnu 1903 na Plešném jezeře. Hloubková a půdorysná měření byla prováděna v rámci univerzitního geografického semináře. Velké rozdíly v naměřených hodnotách hloubek oproti předchozím pracím vedly Švamberu k po-kračování na ostatních šumavských jezerech (Švambera 1939). Další mapování provedl Švambera koncem srpna a v první polovině září roku 1906 na Prášilském jezeře. Uskutečnil celkem 258 hloubkových měření v deseti profilech. Na základě vlastního měření vytvořil plán jezera v měřítku 1 : 1 000, jež odpovídá tehdejšímu stavu vody 1,5 m pod úrovní hráze (Švambera 1914b).

Na jezere Laka prováděl morfometrická měření od 25.7. do 27.7.1907, tedy rok po tom, co bylo jezero zbaveno nánosů sedimentů. Vzhledem k spíše parkovému charakteru jezera Švambera neprováděl batymetrická měření pomocí hloubkových profilů jako na ostatních jezerech, ale změřil hloubky pouze na několika místech. Maximální hloubku 3,9 m nalezl poblíže výtoku (Švambera

Tab 3 – Výsledky měření Švambery (Švambera 1939)

Jezero	Černé	Čertovo	Plešné	Prášilské	Laka	Velké Javorské	Malé Javorské	Roklan-ské
Plocha (ha)	18,47	10,33	3,72	7,48	2,78	7,02	2,73	3,41
Maximální hloubka (m)	39,8	36,5	14,9	18,3	3,9	16	7,3	13,5
Střední hloubka (m)	15,6	17,9	7,3	8,2	1,4	5,9	4,7	3,9
Objem (tis. m <sup>3</sup> )	2 878	1 852	274	617	40	415,9	127,9	131,7
Obvod břehové linie (m)	1 809	1 363	730	1 242	870	1 622	880	880
Střední sklon dna	13°10'	17°53'	11°28'	11°45'	–	11°21'	6°58'	8°17'
Nadmořská výška hladiny (m n. m.)	1 008	1 030	1 079	1 090	1 096	934	925	1 050

1914c). V jeho mapě nejsou tedy zakresleny žádné hloubnice, pouze místo maximální hloubky. Hodnotu objemu vody v jezeře pouze odhadl.

Měření Čertova jezera prováděl Švambera ve dnech 3. až 23. srpna 1909 na 14 příčných a podélných profilech. Celkem zde bodově změřil 880 hloubek. V zadní části jezera pak dodatečně v jednom profilu ještě 51 hloubek, přičemž počet stanovených hodnot tak vzrostl na 931. Na Čertově jezeře dosáhl přitom Švambera nejvyšší hustoty měřených hloubek ze všech jeho měření na šumavských jezerech (Jedno hloubkové měření připadlo na 104 m<sup>2</sup>).

Hlavní hloubková měření na Černém jezeře prováděl Švambera v období od 27. srpna do 12. září 1909 a svá měření doplnil ještě v letech 1922 a 1928. Jisté pochybnosti v měření odstranil ještě Kuchař opakováním měření v roce 1938. Na přelomu let 1926–27 prováděl měření ze zamrzlé hladiny Reissinger. Výsledkem jeho práce byla mapa v měřítku 1 : 4 325, která se až na malé detaily shoduje se Švamberovou (Švambera 1939). Kunský (1933) přitom považuje Reissingerovu mapu vzhledem k použité metodice za přesnější.

### 2.3. Nejnovější batymetrická mapování

Švamberova měření byla v meziválečném období následována mapováním Černého jezera (Reissinger 1930, 1931). Poté nebyl batymetrický výzkum šumavských jezer po několik desítek let prováděn. Hlavním důvodem byla zřejmě nepřístupnost jezer, která se nacházela v hraničním pásmu s tehdejší Německou spolkovou republikou poblíže linie tak zvané železné opony, na hranici mezi dvěma odlišnými politickými systémy. Až v osmdesátých letech začíná výzkum acifikace jezerních ekosystémů, v jehož rámci provedl hloubková měření Veselý (1987). Jak je patné z tabulky 1, jednalo se pouze o několik bodových měření.

Nejnovější etapu systematického výzkumu šumavských glaciálních jezer inicioval a dále organizoval Bohumír Janský, přednášející hydrologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Jednotlivá jezera byla postupně zpracována jeho diplomanty. Podrobná měření půdorysu a morfometrických poměrů jezerních pánví započal v roce 1994 Zbořil, který zmapoval Prášilské jezero. Při porovnání nejnovějších a Švamberových výsledků, nalezneme největší rozdíly právě na Prášilském jezeře, kde například rozdíl v maximální změřené hloubce činí 2 m. Je to zřejmě důsledek toho, že Švambera měřil za nižšího stavu vody (Švambera 1939). V roce 1999 byly dokončeny práce na Plešném jezeře (Vránek 1999) a na jezeře Laka (Šobr 1999). Šobr byl

vůbec první, kdo provedl podrobné vyměření jezera Laka a vytvořil jeho batymetrickou mapu s vykreslenými hloubnicemi (viz výše). V září roku 2003 byla kolektivem pražských fyzických geografů dokončena poslední batymetrická měření šumavských jezer na Černém a Čertově jezeře (Janský, Šobr, Kocum, Česák 2003 a Kocum 2004). V rámci batymetrických mapování bylo s výjimkou Prášilského jezera provedeno přesné zaměření nadmořské výšky hladin pomocí nivelačních pořadů (viz tab. 4). Údaj o nadmořské výšce hladiny Černého jezera byl odečten při okamžitém stavu 84 cm na vodočtu, hodnota u Prášilského jezera byla určena ze Základní mapy 1 : 10 000 (Zbořil 1994). Nadmořské výšky hladin Čertova jezera, Plešného jezera a jezera Laka jsou vztaženy k průměrným ročním vodním stavům (tab. 4). Vodní stavy byly kontinuálně odečítány v době sledování jezer v rámci diplomových prací (Vránek 1999, Šobr 1999, Kocum 2004).

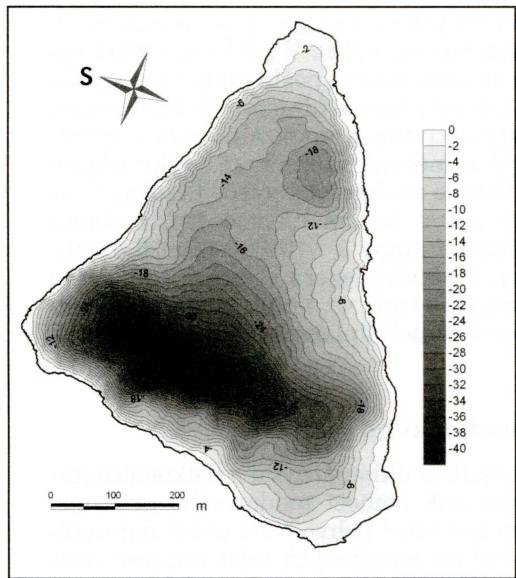
### 3. Použité metody batymetrického mapování

Přesná Švamberova mapování byla prováděna úhloměrnými a délkoměrnými přístroji (břehové linie), hloubková měření pak pomocí sondovacího přístroje, který byl umístěn na plavidlo. Plavidlo se bez vesel pohybovalo podél napnutého konopného provazu, souběžně s ním byl ze zaměřených míst natažen drát s dřevěnými značkami v intervalu 10 m. Závaží bylo spouštěno vždy v místě značky, kde byla odečtena hloubka. Tato metoda se jeví Švamberovi nejvíce vhodná, dokonce méně pracná než pozdější Reissingerovo sondování ze zamrzlé hladiny Černého jezera (Švambera 1939). Vysokou přesnost jeho měření dokládají nejnovější měření provedená v posledních 10 letech pomocí nejmodernějších přístrojů. Tato přesnost měření byla motivována doporučením Wagnera, že opakováním měření hloubek jezer v intervalu 10 let by bylo možné zjistit, jak rychle dochází k zanášení jezerních pánví. Vzhledem k menší přesnosti Wagnerových měření Švambera konstatoval, že tak malá doba mezi měřeními nemůže sloužit jako bezpečný podklad pro určení rychlosti zanášení (Švambera 1912). Proto nabádal své následovníky k pokračování přesných měření hloubek jednotlivých jezer, aby bylo možné rychlosť sedimentace stanovit (Kuchař 1947).

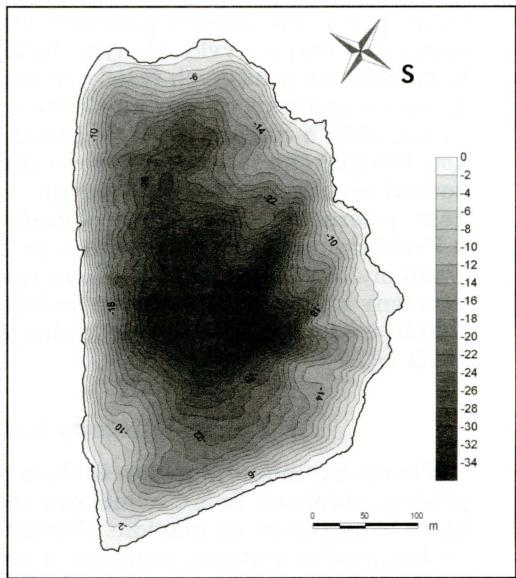
Mapování půdorysů Prášilského jezera, Plešného jezera a jezera Laka byla prováděna ortogonální metodou pomocí uzavřeného polygonového pořadu. Vodovorné úhly byly měřeny teodolitem, všechny vzdálenosti pomocí pásm. Půdorys Černého a Čertova jezera byl již vyměřen pomocí totální geodetické stanice firmy Leica TCR 705. Hloubky na všech jezerech byly měřeny stejnou metodou pomocí echolotu Garmin Fishfinder 240 rovněž s využitím napnuté kevlarové šňůry. Jedinou výjimkou bylo mělké jezero Laka, kde z důvodu výskytu vodního rostlinstva musela být použita cejchovaná lat. Vzdálenosti mezi měřenými hloubkami byly zmenšeny na 5 m, čímž se zvýšila celková přesnost měření. Blíže o metodice batymetrického mapování jezer viz Česák a Šobr v tomto čísle Geografie.

### 4. Morfometrické charakteristiky šumavských jezer

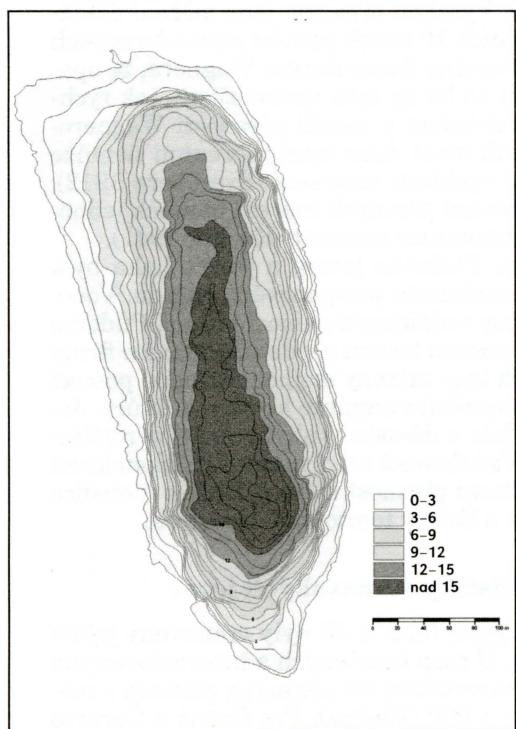
Z vyhotovených batymetrických map jezer (obr. 1–5) byly stanoveny jejich základní morfometrické charakteristiky. U map kreslených a interpolovaných ručně byly všechny hodnoty měřeny kartometricky na přesných plánech v měřítku 1 : 500 (Prášilské a Laka) resp. 1 : 1 000 (Plešné). Pro Černé a Čertovo jezero byly všechny morfometrické charakteristiky určeny přímo v programech MapInfo a Surfer. U všech jezer byly zjištěny plochy a objemy jednotlivých hloubkových stupňů, na jejichž základě byly vytvořeny batymetrické



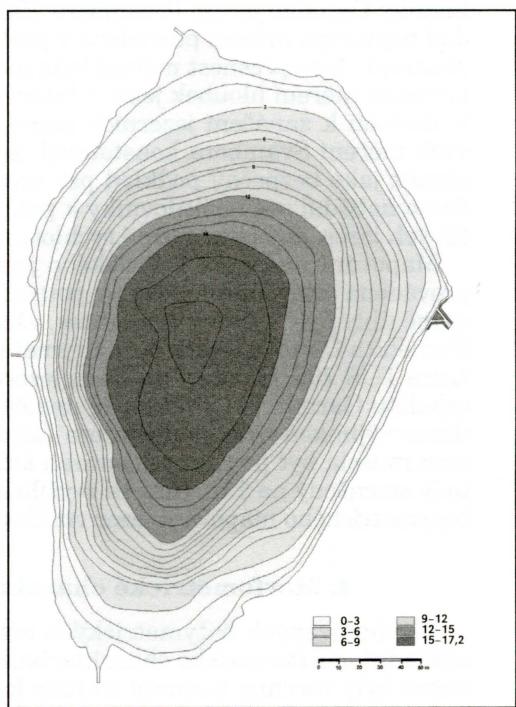
Obr. 1 – Batymetrická mapa Černého jezera (hloubka v metrech). Zdroj: Janský, Šobr, Kocum Česák (2003).



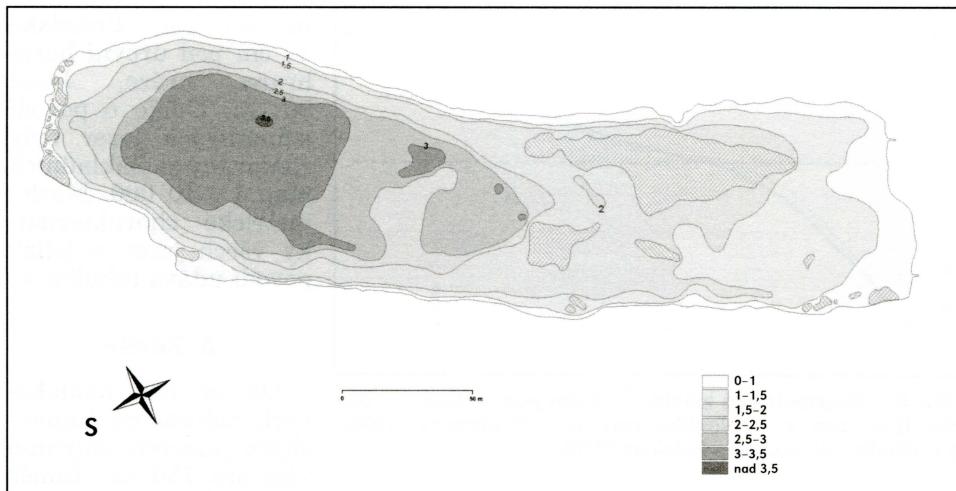
Obr. 2 – Batymetrická mapa Čertova jezera (hloubka v metrech). Zdroj: Kocum (2004).



Obr. 3 – Batymetrická mapa Plešného jezera (hloubka v metrech). Podle měření T. Vránka se sestavil M. Šobr (2003).



Obr. 4 – Batymetrická mapa Prášilského jezera. Hloubka v metrech, vpravo betonové stavidlo. Podle měření A. Zbořila sestavil M. Šobr (2003).



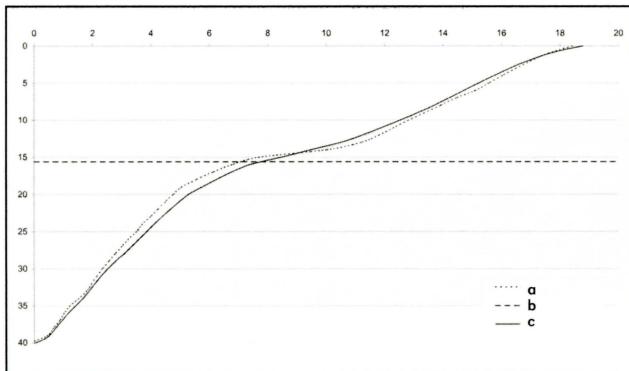
Obr. 5 – Batymetrická mapa jezera Laka. Hloubkové stupně v metrech, světle jsou vyznačeny plovoucí ostůvky. Podle měření v červnu 1999 sestavil M. Šobr (2003).

Tab. 4 – Morfometrické charakteristiky pávní šumavských jezer a jejich povodí (podle Zbořil 1994, Šobr 1999, Vránek 1999, Janský, Šobr, Kocum, Česák 2003, Kocum 2004)

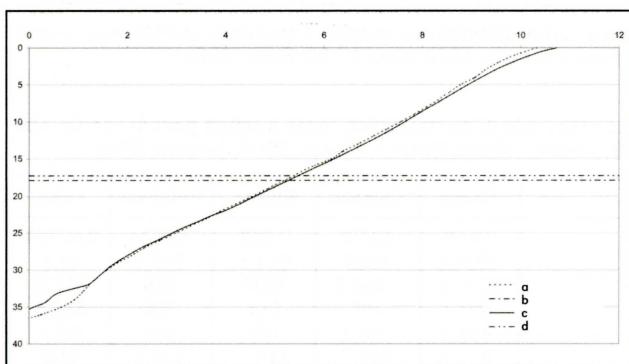
Charakteristika a jednotka	Černé	Čertovo	Plešné	Prášilské	Laka
Plocha jezera ( $P_j$ , ha)	18,79	10,74	7,643	4,2044	2,57705
Objem jezera (V, tis. m <sup>3</sup> )	2924,8	1859	614,3	349,9	48,8
Obvod břehové linie jezera (O, m)	2110,7	1466,3	1320	819	817,5
Délka jezera (L, m)	693,1	498	514	306	345,4
Největší šířka jezera ( $B_{max}$ , m)	459,3	306,4	183	204	95,2
Průměrná šířka jezera ( $B_{prům}$ , m) <sup>1</sup>	271,2	215,7	148,7	137,4	74,6
Stupeň členitosti břehové čáry <sup>2</sup>	1,37	1,26	1,35	1,1267	1,4366
Maximální hloubka jezera ( $h_{max}$ , m)	40,1	35,4	18,7	17,2	3,5
Střední volumetrická hloubka jezera ( $h_s$ , m) <sup>3</sup>	15,57	17,31	8,04	8,32	1,89
Hloubkový koeficient <sup>4</sup>	0,39	0,49	0,43	0,48	0,54
Relativní hloubkový koeficient <sup>5</sup>	0,093	0,108	0,068	0,084	0,022
Střední sklon dna (I, stupně)	14°20'	16°59'	14°23'	13°00'43"	3°35'20"
Nadmořská výška hladiny jezera (m n. m.)	1007,513	1027,206	1087,164	1079	1084,547
Plocha povodí jezera (P, km <sup>2</sup> )	1,241	0,894	0,6668	0,6474	1,020025
Výška jezerní stěny (h, m)	335,9	316,2	290,8	236	251,1
Délka rozvodnice (L <sub>r</sub> , km)	4,68	3,7	3,24	3,72	4,1
Koeficient vývoje rozvodnice <sup>6</sup>	3,77	4,14	4,86	5,75	4,02
Graveliův koeficient <sup>7</sup>	1,185	1,104	1,119	1,304	1,145
Délka hlavní údolnice (l, m)	1229	1013,7	730	1200	650
Střední šířka povodí (š, m) <sup>8</sup>	1009,5	881,8	913,4	539	1569
Koeficient protažení povodí <sup>9</sup>	0,821	0,870	1,25	0,449	2,414
Podíl plochy jezera na ploše povodí (%) <sup>10</sup>	15,15	12,02	13,97	6,49	2,65
Střední nadmořská výška povodí (m n. m.)	1144,6	1144,0	1213,5	1199,1	1186,5
Střední sklon povodí (I, stupně)	25°22'	21°26'	27°47'	17°20'	12°06'
Povodí	Úhlava	Regen	Vltava	Otava	Otava

Vysvětlivky: <sup>1</sup>  $B_{prům} = P_j / L$ ; <sup>2</sup>  $R = O / 2\sqrt{P_j \pi}$ ; <sup>3</sup>  $h_s = V / P_j$ ; <sup>4</sup>  $h_s / h_{max}$ ; <sup>5</sup>  $h_{max} / \sqrt{P_j}$ ; <sup>6</sup>  $k_v = L_r / P$ ; <sup>7</sup>  $K_G = L_r / 2\sqrt{P \pi}$ ; <sup>8</sup>  $\check{s} = P / l$ ; <sup>9</sup>  $k_p = \check{s} / l^{10} P_j / P \cdot 100$

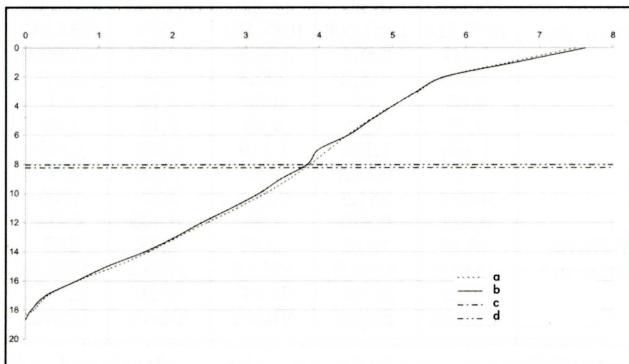
křivky, viz obr. 6–11. Veškeré zjištěné hodnoty se vztahují k následujícím okamžitým vodním stavům v době měření: Černé 84 cm, Čertovo 22 cm, Pleš-



Obr. 6 – Batymetrické křivky Černého jezera. Osa x – plocha (ha), osa y – hloubka (m). a – Švambera (1909), b – střední hloubka Švambera (1909), c – kolektiv 2003.



Obr. 7 – Batymetrické křivky Čertova jezera. Osa x – plocha (ha), osa y – hloubka (m). a – Švambera (1909), b – střední hloubka Švambera (1909), c – Kocum (2004), d – střední hloubka Kocum (2004).

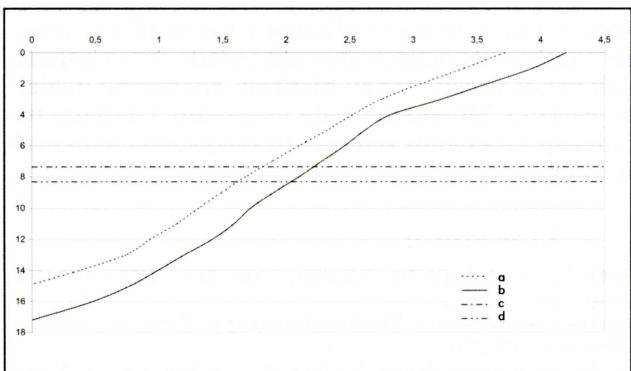


Obr. 8 – Batymetrické křivky Plešného jezera. Osa x – plocha (ha), osa y – hloubka (m). a – Švambera (1909), b – Vránek (1999), c – střední hloubka Švambera (1909), d – střední hloubka Vránek (1999).

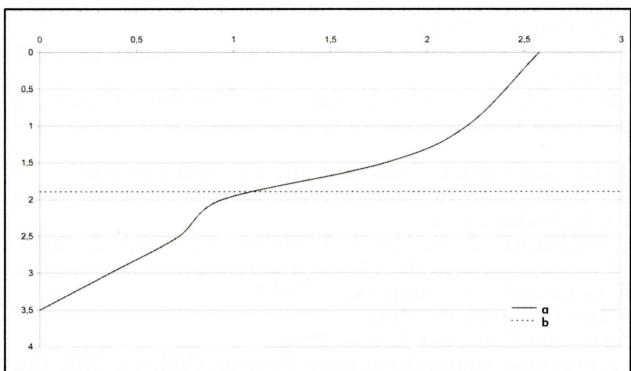
né 68 cm, Prášilské 47 cm pod úrovní horní hrany hráze, Laka 99 cm. Údaje o povodí jednotlivých jezer byly zjištovány ze Základních map 1 : 10 000. Morfometrické charakteristiky všech jezer a jejich povodí udává tabulka 4.

## 5. Závěr

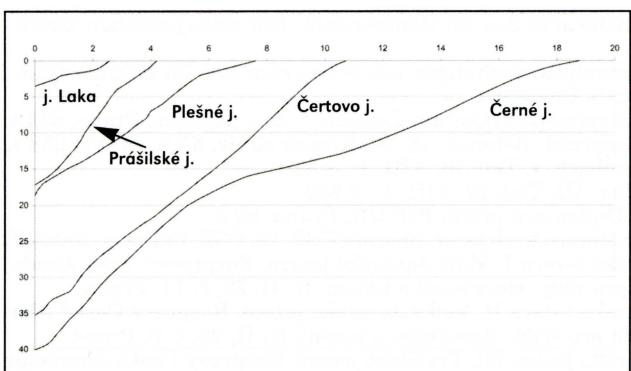
Od prvních hloubkových měření na šumavských jezerech uplynulo více než 150 let. Téměř sto let byly citovány předeším práce Václava Švambera. Jeho měření, byť byla prováděna na počátku 20. století, se ukázala jako velmi přesná. Bohužel od doby Švamberových měření byly hráze některých jezer opětovně upravovány, tudíž došlo ke změně střední výšky jejich hladiny. Navíc na jezerech nebyly instalovány přesně výškově zaměřené vodočty, jako tomu bylo při našich posledních výzkumech. Geodeticky přesně určenou nadmořskou výšku hladiny nemá dosud stanovenu pouze Prášilské jezero. Na základě porovnání hloubkových poměrů nelze tedy vyhodnotit dynamiku zanášení šumavských jezer. Nově vytvořené mapy však umožňují detailní analýzu morfologie dna jezerních pánev. Porovnat lze i batymetrické křivky, které dovolují zhodnocení vývoje objemu vody v pánevích jednotlivých jezer.



Obr. 9 – Batymetrické křivky Prášilského jezera. Osa x – plocha (ha), osa y – hloubka (m). a – Švambera (1906), b – Zbořil (1999), c – střední hloubka Švambera (1906), d – střední hloubka Zbořil (1999).



Obr. 10 – Batymetrická křivka jezera Laka. Osa x – plocha (ha), osa y – hloubka (m). a – Šobr (1999), b – střední hloubka.



Obr. 11 – Batymetrické křivky šumavských glaciálních jezer. Osa x – plocha (ha), osa y – hloubka (m).

Jezero Laka bylo změreno vůbec poprvé a lze konstatovat, že maximální hloubka se zmenšila z 3,9 m na 3,5 m. Batymetrické křivky Prášilského jezera mají stejný průběh, jsou pouze odlišné v zobrazených hodnotách, což je dáno rozdíly v hladinách jezer v době měření (2 m). V podstatě shodné objemové charakteristiky najdeme u Plešného jezera, batymetrické křivky si v podstatě odpovídají, mapa podle měření Vránska však zobrazuje mnohem členitější dno. To je dáno menší hustotou Švamberových hloubkových měření. Bohužel až po Vránkových měřeních proběhla konečná úprava odtoku z Plešného jezera, takže údaj o nadmořské výšce jezera vztažený ke střednímu vodnímu stavu za 1,5 roku pozorování nevystihuje úplně přesně současný stav. Rovněž vzhledem k výše zmíněnému problému s různou výškou hladin v době měření, nelze prokázat rychlosť zanášení Plešného jezera, která je podle práce Kopáček, Brzáková, Hejzlar, Kaňa, Porcal, Vrba (2003) nejvyšší ze všech šumavských jezer. Úpravy hráze Čertova jezera ve 30. letech 20. století mají za následek menší naměřenou maximální hloubku. Mapy i batymetrické křivky Černého jezera si téměř odpovídají, naprosto shodná je střední volumetrická hloubka.

Nová měření tedy potvrdila velmi pomalou sedimentaci a zanášení jezer. Došlo ke zpřesnění a doplnění morfometrických charakteristik. Naše nejznámější přírodní jezera mají tak velice přesné mapy hloubek, zhotovené moderními metodami a kvalitními přístroji. Mohou být tedy využívány i dalšími badateli, kteří se například zabývají geochemií sedimentů či vývojem ekosystémů šumavských glaciálních jezer.

### Literatura:

- BAYBERGER, F. (1886): Geographisch-geologische Studien aus dem Böhmerwalde. Erghft., č. 81, Petermanns Geogr. Mitt., Gotha.
- FREJLACH, J. (1898): Bathymetrická mapa jezera Plöckensteinského. Věstník Československé akademie nauk 4, 7, Praha s. 267-270.
- FRIČ, A. (1871): Über die Fauna der Böhmerwaldseen. Sitzber. d. k. böhm. Ges. d. Wiss., II., Praha, s. 6, 9, 10.
- FRIČ, A., VAVRA, K. (1898): Výzkumy zvířeny ve vodách Českých. III. Výzkumy dvou jezer šumavských, Černého a Čertova jezera. Archiv pro přírodní výzkum Čech, X, č. 3, Praha.
- HOCHSTETTER, F. (1855): Aus dem Böhmerwald. Beilage zu Nr. 220 der Allg. Zeitung, 8. August 1855, s. 3515.
- JANSKÝ, B. (1996): Tradice geografických výzkumů jezer na Karlově univerzitě. Geografie-Sborník ČGS, 101, č. 1, ČGS, Praha, s. 59-63.
- JANSKÝ, B., SOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 216 s.
- JANSKÝ, B., SOBR, M., KOCUM, J., ČESÁK, J. (2003): Mapování Černého a Čertova jezera. Manuskript výsledků terénních měření. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha.
- Josefinský katastr (1786). Dominium Stubenbach. Položka č. 162 a zvláštní protokol.
- KOCUM, J. (2004): Limnologická studie Čertova jezera a režim odtoků v českém povodí Řezné. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 210 s.
- KOPÁČEK, J., BRZÁKOVÁ, M., HEJZLAR, J., KAŇA, J., PORCAL, P., VRBA, J. (2003): Maas balance of nutrients and major solutes in the Plešné watershed-lake ecosystem in the 2001 hydrological year. Silva Gabreta, 9., Vimperk, s. 33-52.
- KREJCÍ, J., WENZIG, J. (1860): Der Böhmerwald. Prag.
- KREYBICH, F. J. H. (1831): Charta vom Prachiner Kreise, Prag.
- KUCHAŘ, K. (1939): Prispěvky k výzkumu šumavských jezer. Sborník ČSZ, 45, ČSZ, Praha, s. 87-90.
- KUCHAŘ, K. (1947): Mapy šumavských jezer podle měření prof. V. Švambery. Kartografický přehled, II, č. 3-4, Praha s. 41-42.
- KUNSKÝ, J. (1933): Zalednění Šumavy a šumavská jezera. Sborník ČSZ, 39, ČSZ, Praha, s. 1-6, 33-40.
- REISSINGER, A. (1930): Der Schwarze See im Böhmerwald. Die ostbayerischen Grenzmarken, Passau.
- REISSINGER, A. (1931): Schlammuntersuchungen am Schwarzen See im Böhmerwalde, Naturwiss. Gesellsch. Bayreuth, Bayreuth.
- RIVNÁČ, F. (1882): Rívnáčův průvodce po království Českém. 1. část popisná., Praha, 619 s.
- SOMMER, J. G. (1841): Das Königreich Böhmen. IX. Budweiser Kreis, XXX, Praha, 258 s.
- Stabilní katastr, (1837) a. Stubenbach. I. Teil. Bl. VIII., 1 : 2 880.
- Stabilní katastr, (1837) B. Stadler. III. Teil. Bl. VIII., 1 : 2 880.
- SOBR, M. (1999): Jezero Laka. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 89 s.
- ŠVAMBERA, V. (1912): Výzkum šumavských jezer. Sborník ČSZ, 18, ČSZ, Praha, s. 250-257.
- ŠVAMBERA, V. (1913): Šumavská jezera I. Malé Javorské jezero. Rozpravy České Akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, tř. II, 22, č. 11, Praha.
- ŠVAMBERA, V. (1914a): Šumavská jezera II. Velké Javorské jezero. Rozpravy České Akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, tř. II, 23, č. 9, Praha.
- ŠVAMBERA, V. (1914b): Šumavská jezera III. Prášilské jezero. Rozpravy České Akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, tř. II, 23, č. 16, Praha.
- ŠVAMBERA, V. (1914c): Šumavská jezera IV. Laka. Rozpravy České Akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, tř. II, 23, č. 20, Praha.
- ŠVAMBERA, V. (1939): Jezera na české straně Šumavy. Sborník ČSZ, 45, č. 1, ČSZ, Praha, s. 15-23.

- VESELÝ, J. (1987): Development of acidification of the lakes in Bohemia. In: Moldan, B., Pačes, T. (eds.): Proc. Geomon. Geologická služba, Praha, s. 80-82.
- VESELÝ, J. (1994): Investigation of the nature of the Šumava Lakes: a review. Časopis Národního muzea, řada přírodovědná, 163, č. 1-4, Praha, s. 103-120.
- VRÁNEK, T. (1999): Plešné jezero. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 96 s.
- WAGNER, P. (1897): Die Seen des Böhmerwaldes. Leipzig, s. 54.
- Základní vodohospodářská mapa 1 : 50 000. Český úřad geodetický a kartografický, Praha 1989.
- ZBOŘIL, A. (1994): Prášilské jezero. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 94 s.

## S u m m a r y

### NEW BATHYMETRIC MAPPING OF THE BOHEMIAN FORESTS GLACIAL LAKES

Many geographers and other natural scientists have already been concerned in research of lakes on the territory of the former Czechoslovakia. Professor Václav Švambera was the founder of a systematic geographical research of the Bohemian Forest glacial lakes. He made their complex monitoring already at the beginning of the 20<sup>th</sup> century. During the new bathymetric mapping of lakes in the Bohemian Forest, the team of authors of this article linked up to this tradition and compared previous Švambera's maps and other basic documents with the latest results reached by means of state-of-the-art technology by landscape mapping. The admeasurement of ground plans of Prášilské, Plešné and Laka Lakes was made by the orthogenic method through close polygonal traverse. The total geodetic station Leica TCR 705 was used for Černé and Čertovo Lakes. The depths of all lakes were measured by the same method using Garmin Fishfinder 240 echo-sounder. Besides this method, we present a complete overview of the history of bathymetric measurements of glacial lakes in the Bohemian Forest.

For the first time, we bring the complete overview of all morphometric characteristics of basins and catchments of the Bohemian Forest glacial lakes (Tab. 4), which could be used by other researchers from the field of natural sciences.

- Fig. 1 – Bathymetric map of the Černé Lake (depth in metres). After: Janský, Šobr, Kocum, Česák (2003).
- Fig. 2 – Bathymetric map of the Čertovo Lake (depth in metres). After: Kocum (2004).
- Fig. 3 – Bathymetric map of the Plešné Lake (depth in metres). According to measurements by T. Vránek compiled by M. Šobr (2003).
- Fig. 4 – Bathymetric map of the Prášilské Lake. Depth in metres, a concrete floodgate on the right. According to measurements by A. Zbořil compiled by M. Šobr (2003).
- Fig. 5 – Bathymetric map of the Laka Lake. Depth in metres, floating islands are light-coloured. According to measurements done in June 1999 compiled by M Šobr (2003).
- Fig. 6 – Bathymetric curves of the Černé Lake. Axis x – surface (ha), axis y – depth (m). a – Švambera (1909), b – mean depth, c – team 2003.
- Fig. 7 – Bathymetric curves of the Čertovo Lake. Axis x – surface (ha), axis y – depth (m). a – Švambera (1909), b – mean depth Švambera (1909), c – Kocum (2004), d – mean depth Kocum (2004).
- Fig. 8 – Bathymetric curves of the Plešné Lake. Axis x – surface (ha), axis y – depth (m). a – Švambera (1909), b – Vránek (1999), c – mean depth Švambera (1909), d – mean depth Vránek (1999).
- Fig. 9 – Bathymetric curves of the Prášilské Lake. Axis x – surface (ha), axis y – depth (m). a – Švambera (1906), b – Zbořil (1999), c – mean depth Švambera (1906), d – mean depth Zbořil (1999).
- Fig. 10 – Bathymetric curve of the Laka Lake. Axis x – surface (ha), axis y – depth (m). a – Šobr (1999), b – mean depth.
- Fig. 11 – Bathymetric curves of the Bohemian Forest glacial lakes. Axis x – surface (ha), axis y – depth (m).

(Pracoviště autorů: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: [jansky@natur.cuni.cz](mailto:jansky@natur.cuni.cz), [sobr@natur.cuni.cz](mailto:sobr@natur.cuni.cz), [kocum1@natur.cuni.cz](mailto:kocum1@natur.cuni.cz), [julek@cuni.cz](mailto:julek@cuni.cz).)

*Do redakce došlo 29. 6. 2005*

PETR POŠTA

## RAŠELINIŠTNÍ JEZERA ČESKA

P. Pošta: *Bog Pools in Czechia*. – Geografie–Sborník ČGS, 110, x, pp. 188–209 (2005).  
– Research into bog pools is carried out within grant projects implemented by the Department of the Physical Geography and Geoecology of the Charles University, Prague. Raised bogs are scarce but important features of the Czech landscape. The importance of peat bogs may be assessed either from a purely materialistic perspective (balneology, substrate in gardening and agriculture, formerly energy), or from the perspective of their landscape-formation properties (hydrological function, refugium of glacial relicts). Nowadays, the peatlands are important in science and education – they can help us to understand the evolution of our landscape in the Holocene. The above mentioned grant projects' goal was to compare a larger number of bog pools under different conditions of Czechia. The lakes were chosen on the basis of a field survey conducted in 2002–2003. In 2003–2004, these lakes were visited several times with the aim of creating a bathymetrical plan and taking a sample of water for assessment of its physical and chemical parameters.  
**KEY WORDS:** organogenic lakes – bog pools – peat – raised bogs – ombrotrophic peat bogs – water quality

Článek vznikl za finanční podpory grantu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264).

### 1. Úvod

Studium rašeliništních jezer v Česku bylo prováděno v rámci grantových projektů GA UK „Jezera České republiky“ a GA ČR „Atlas jezer České republiky“, zpracovávaných na katedře fyzické geografie a geoekologie PřF UK (hlavní řešitel B. Janský).

Rašeliniště jsou významným prvkem české krajiny, jejichž význam může me posuzovat buď z čistě ekonomického hlediska (využití v balneologii, jako substrát pro zahradnictví a zemědělství či dříve v energetice) nebo z pohledu jejich krajinotvorné funkce (hydrologická funkce, refugium glaciálních reliktů aj.). V neposlední řadě slouží rašeliniště jako nenahraditelný zdroj informací o vývoji krajiny v holocénu (palynologické analýzy). Základní rašelinářská bibliografie, jejímž leitmotivem je zejména ekonomická využitelnost rašelinišť, vznikala již od poloviny 19. století (autoři Sitenský, Spirhanzl, Schreiber, Klečka, Válek aj.). Samotná rašeliništní jezera však po dlouhou dobu zůstávala mimo střed zájmu vědecké činnosti. Podrobný výzkum byl v nedávné době proveden pouze na dvou lokalitách, rašeliništích Rolavy (Melichar 1998) a Velkém a Malém Mechovém jezírku (Kříž 1971, Oulehle 2002). Historické studie byly zaměřeny vesměs na popis jediné lokality. Cílem zmiňovaných grantových projektů a tohoto článku je porovnat morfometrické a fyzikálně-chemické parametry většího množství rašelinných jezer v různých přírodních podmínkách Česka (nadmořská výška, geologické podloží, vegetace, stáří

apod.). Důraz je kladen na zmapování půdorysu a celkového tvaru jezerních pánví.

Ježera popisovaná v následujícím textu byla vybrána na základě terénního průzkumu z let 2002–2003. Výchozími zdroji informací byly následující publikace: Dohnal a kol. (1965), Józa, Vonička a kol. (2004), Mrázková a Skuhrový (1999), Nevrly (1962), Pošta (2003, 2004). Databáze rašeliníšť (2004) a rezervační knihy AOPK ČR. V úvahu byla brána následující kritéria: přítomnost otevřené vodní hladiny, plocha jezera, dopravní dostupnost a reprezentativnost lokality. Terénní měření proběhla na lokalitách v okrajových pohořích české části Českého masivu. Výsledky terénních měření na jediném významnějším rašelinistním jezeru na Moravě, Velkém Mechovém jezírku, jsou uvedeny v publikaci „Ježera České republiky – současný stav geografického výzkumu“ (Janský, Šobr a kol. 2003). Zde jsou také popsány ostatní, zde neuvedené lokality s výskytem rašelinistních jezer.

## 2. Organogenní jezera a chemismus rašelinných vod

Ježero je podle Janského, Šobra a kol. (2003) přírodní deprese na zemském povrchu nebo pod ním, trvale nebo dočasně vyplňená vodou, nemající bezprostřední spojení s mořem. Jako organogenní jezera označujeme jezera vzniklá 1. paludifikací na svazích s vystupujícími prameny, 2. terestrializací vodních ploch v depresních polohách (podoba body řadíme vrchoviště a slatinná jezera), nebo 3. v místech, kde dochází k nadřízení vody v důsledku přehrazení biogenně vysráženým uhličitanem vápenatým (travertinová jezírka). V mnoha případech jsou organogenní jezera antropogenního původu (tj. vzniklá zapolením plochy vzniklé při těžbě rašeliny). Vzhledem k tomu, že se tento článek zabývá jezery vrchovištními, fyzikálně-chemické parametry vody budou popsány již pouze u tohoto typu organogenních jezer.

Vrchoviště jezera se vyskytují nejčastěji v horských sedlech a na náhorních plošinách, méně pak v údolích a na svazích. Jsou sycena zejména vodou atmosférického původu. Výchozí rostlinný materiál je tvořen především rašeliniskem. Jedná se buď o vodou vyplňené šlenky, resp. flarky (prohlubně, resp. pruh prohlubní), kolky (větší a hlubší flarky) nebo blánky (kruhová rašelinná jezera na temeni vrchoviště).<sup>1</sup>

Fyzikální a chemické vlastnosti vrchovištních jezer jsou ovlivněny vlastnostmi rašelinného substrátu. Rašelina obsahuje velké množství organických látek převážně rostlinného původu. Tyto sloučeniny jsou díky rozkladním a syntetickým pochodům, souhrnně označovaným jako humifikace, postupně převáděny na huminové látky (huminové, fulvinové a hymatomelanové kyseliny), pouze část organické hmoty je mineralizována. Huminové látky, vysokomolekulární sloučeniny s velkým množstvím postranních řetězců, se v přírodních vodách chovají jako záporně nabité koloidy. Vyluhováním rašeliny se huminové látky dostávají do vody a zabarvují ji do žlutohněda až hněda. Časťecný rozklad postranních řetězců huminových kyselin je příčinou zvýšených koncentrací amoniakového dusíku ve vodách. Vzhledem k častému výskytu anoxických podmínek amonné ionty téměř nepodléhají nitrifikaci a oxidaci. Z tohoto důvodu rašelinné vody obecně obsahují zvýšené koncentrace  $\text{NH}_4^+$  a vesměs relativně nízké koncentrace  $\text{NO}_3^-$ . Díky komplexotvorným vlastnos-

<sup>1</sup> Specifické názvosloví používané k popisu struktury rašeliníšť pochází zejména ze švédštiny (blank, flark aj.) a němčiny (např. kolk). V anglické literatuře se pro vrchovištní jezírka často používá termín „bog pool“.

Tab. 1 – Charakteristiky sledovaných vrchovišť. Zdroj dat: klimatická regionalizace (Quitt 1971), charakteristiky ložisek rašelin – archiv rašeliništěho fondu ČR (VÚMOP). Poznámky: \*) včetně slatě Gayerrück, údaj o celkovém obejmu je pouze orientační.

Název slatě	Pohoří	Nadmořská výška (m n. m.)	Klimatický region	Rozloha (ha)	Mocnost (m)		Objem (tis. m <sup>3</sup> )
					prům.	max.	
Roklanské slatě*)	Šumava	1080–1135	CH4	75,5	1,9	6,0	1 435
Gayerrück	Šumava	1135	CH4	–	–	–	–
Blatenská slatě	Šumava	1245	CH4	71,0	1,0	4,1	710
Rokytecké slatě	Šumava	1085–1110	CH4	142,0	2,1	7,0	2 982
Mlynářská slatě	Šumava	1000–1090	CH4	134,0	2,1	6,5	2 814
Chalupská slatě	Sumava	900–930	CH6	136,9	1,9	7,0	2 343
Úpské rašeliniště	Krkonoše	1410–1460	CH4	10,0	0,5	1,2	50
Na Čihadle	Jizerské hory	970–980	CH6	4,4	2,3	3,5	80
Jeřábí slatina	Krušné hory	950–970	CH6	36,0	1,7	5,0	600

tem huminových kyselin bývá v rašelinných vodách zvýšený obsah kovů (Fe, Mn aj.; Pitter 1990). Významnou složkou rašelin a jezer v nich vytvořených jsou též další organické látky jako celulóza, lignin, vosky a klovatiny. Koloидní podíl rašelinné hmoty se uplatňuje při adsorpci plynů rašelinou. Na povrchu částic rašeliny tak dochází k hromadění celé řady plynů, mj. metanu, sirovodíku a zejména již zmínovaného amoniaku. Rašeliny, potažmo rašeliništění vody jsou tak charakteristické svým specifickým zápachem (Spirhanzl 1951). Voda v rašelinných jezerech je velmi měkká. Disociované záporné částice huminových látek tak nemohou být v dostatečné míře neutralizovány bázickými kationty, což se ve výsledku odráží ve velmi nízkém pH těchto vod. Kyselost vody a zhoršené kyslíkové poměry jsou příčinou malé biodiverzity a celkově nízké mikrobiální aktivity rašelinných vod.

### 3. Metodika výzkumu rašeliništních jezer

V rámci řešení grantových projektů, zabývajících se jezery České republiky, byla sledována jezera na Šumavě (Blatenská slatě, Roklanské slatě, Gayerrück, Rokytecké slatě, Přední Mlynářská slatě a Chalupská slatě), v Krkonoších (Úpské rašeliniště), Jizerských horách (rašeliniště Na Čihadle) a Krušných horách (Velké Jeřábí jezero). Základní charakteristiky zkoumaných jezer jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2. Metodika měření rašeliništních jezer je shodná s postupy použitými při zkoumání jiných genetických typů jezer. Na vybraných lokalitách provedl kolektiv řešitelů projektu "Atlas jezer České republiky" půdorysná a batymetrická měření. Půdorysy jezer byly sestaveny na základě měření totální geodetické stanice Leica TCR 705 ve spolupráci s J. Česákem a M. Sobrem z KFGG PřF UK, hloubky jsme měřili pomocí kalibrované latě spouštěné z gumového člunu, který se pohyboval podél nataženého lanka. Hodnoty jsme zaznamenávali s horizontálním krokem 2–5 m (při březích byla síť hloubkoměrných bodů zpravidla zhušťena). Data se zpracovávala pomocí programů MapInfo a Surfer. Od léta 2003 do jara 2004 provedl řešitelský tým na každé lokalitě několik fyzikálních, hydrochemických a hydrobiologických měření. Snahou bylo učinit v každém ročním období jeden odber, ale v důsledku drsných klimatických podmínek v zimním období jsou data většinou nekompletní. Fyzikální parametry (teplotní zvrstvení, konduktivitu, rozpuštěný kyslík, průhlednost a barvu) jsme určovali přímo v terénu pomocí přístrojů GRYF, hydrochemické parametry stanovovala Hydrobiolo-

Tab. 2 – Geografická poloha a morfometrie rašeliništních jezer sledovaných v rámci řešení grantových projektů.

Poznámky: \*) bez rašelinných ostrůvků, s ostrovy 12 600 m<sup>2</sup>

Název jezera	Zeměpisné souřadnice		Počet		Plocha (m <sup>2</sup> )	Objem (m <sup>3</sup> )	Hloubka (m)		Max. délka (m)	Délka břehové čáry (m)	
	s. š.	v. d.	profilů	hloub- kových měření			prům.	max.			
Roklanská slat – východ	49°00'18"	13°26'28"	13	139	2060	1955	0,95	1,70	65,7	190	
Roklanská slat – střed	49°00'24"	13°26'07"	10	89	890	893	1,00	1,40	41,0	120	
Gayerrück – malé	49°00'09"	13°25'17"	7	48	240	165	0,68	0,80	28,3	80	
Gayerrück – velké				11	83	615	437	0,71	0,90	40,1	102
Blatenská slat – velké	48°58'22"	13°27'18"	16	173	1730	1008	0,58	1,05	76,5	221	
Blatenská slat – malé				12	127	1525	716	0,47	0,90	53,8	151
Rokytecká slat	49°00'59"	13°24'49"	13	131	2160	1738	0,80	1,15	78,7	224	
Mlynářská slat – jih	49°01'23"	13°27'31"	8	77	440	514	1,17	1,50	37,3	107	
Mlynářská slat – sever	49°01'29"	13°27'16"	13	94	745	647	0,87	1,00	42,5	127	
Úpské rašeliniště	50°44'05"	15°42'27"	10	185	1245	792	0,64	1,05	57,7	163	
Na Čihadle – horní	50°49'58"	15°13'53"	8	77	370	405	1,10	1,70	26,8	84	
Na Čihadle – spodní				6	55	215	127	0,59	0,95	25,2	72
Velké Jeřábí jez.	50°24'24"	12°35'23"	–	–	335	–	–	(1,00)	24,2	69	
Chalupská slat	48°59'55"	13°39'32"	58	299	9320*)	10500	1,12	2,00	146,7	441	

gická stanice PřF UK u Velkého Pálence pod vedením E. Stuchlíka. Při analýzách vzorků byly určovány koncentrace sloučenin dusíku ( $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ ), síry ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), halogenů ( $\text{F}^-$  a  $\text{Cl}^-$ ), alkalických kovů a kovů alkalických zemin ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) a pH. Do analýz zpracovávaných u všech geneticky typů jezer jednotně nebyly zahrnuty organické ionty (mj. disociované formy karboxylových skupin, typických pro strukturu molekul huminových látek), které hrají v rašelinných vodách významnou roli.

Fyzikálně-chemické parametry vod jednotlivých jezer budou v tomto článku vzhledem k velkému množství dat a relativně velké podobnosti všech sledovaných lokalit prezentovány pouze u vybraných jezer.

## 4. Výsledky měření

### 4.1 Vrchoviště jezera na Šumavě

Šumava je jednou z nejvýznamnějších oblastí výskytu rašelinišť v Česku. Z tohoto důvodu je zdejším rašeliništěm jezerům věnován největší prostor. Polohu analyzovaných jezer zobrazuje obrázek 1. Z prostorových důvodů jsou v tomto článku některá zkoumaná rašeliniště záměrně vynechána (např. rašeliniště Gayerrück).

#### 4.1.1 Roklanské slatě

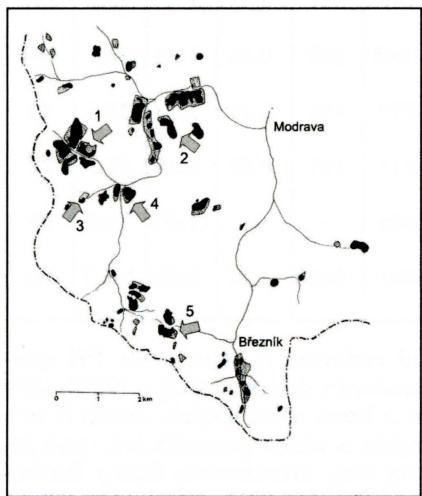
Roklanské slatě představují komplex několika vrchovišť, uspořádaných v Z-V směru. Slatě se nacházejí jihovýchodně od vrchu Medvěd ve výšce 1 080–1 120 m n. m. Na slatích pramení několik zdrojnic a přítoků Rokytky a zároveň tudy protéká Roklanský potok. Z celku Roklanských slatí byla zkoumána dvě jezera: jezero asi 0,5 km jihozápadně od soutoku Roklanského a Novohuťského potoka („Roklanská slatě – východ“) a větší ze dvou jezer na rašelinisti, sevřeném Rokytkou a Roklanským potokem („Roklanská slatě – střed“).

Měření morfometrických parametrů jezera „Roklanská slatě – východ“ bylo provedeno kolektivem katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK dne 12.8.2003. Z batymetrické mapy jezera (obr. 6) je patrné, že jezerní pánev je ukloněna k západu a že velká část dna se nachází v hlubkovém stupni 1,0 až 1,2 m. Jezero vyniká mezi sledovanými vodními plochami (mimo Chalupskou slatě) svou maximální hloubkou 1,7 m a objemem 1 950 m<sup>3</sup>. Další charakteristiky obou jezera jsou uvedeny v tabulce 2.

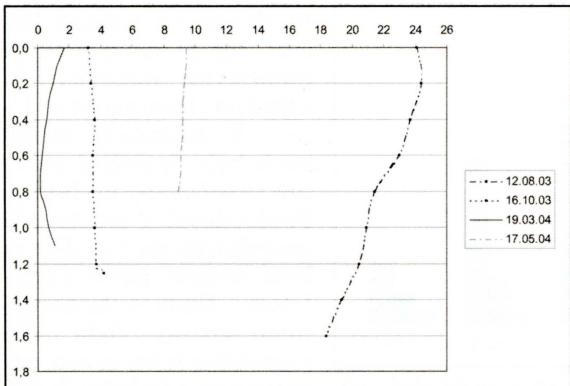
Základní fyzikální parametry vody jezera „Roklanská slatě – východ“ jsou znázorněny na obrázcích 2–4. Ačkoliv byly fyzikálně-chemické odběry vody

prováděny z obou sledovaných vodních ploch na Roklanských slatích, v tomto článku se omezíme pouze na jezero „Roklanská slatě – východ“. Fyzikální parametry vody byly sledovány ve čtyřech termínech: 12. 8. 2003, 16. 10. 2003, 19. 3. 2004 a 17. 5. 2004.

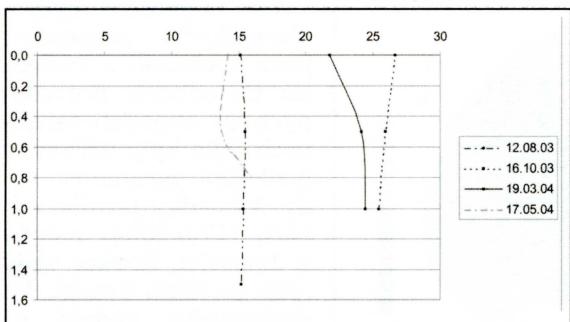
Teplota jezera „Roklanská slatě – východ“ (obr. 2) vykazovala silnou závislost na okamžité povětrnostní situaci. Při letním měření s radiačním typem počasí (teplota vzduchu 27,9 °C), byla povrchová vrstva silně prohrátá (24,1 °C), zatímco u dna byla teplota téměř o 6 °C nižší. Během podzimního měření byla hladina ze 20 % pokryta 5 cm mocnou vrstvou ledu. Teplota ve vodním sloupci se pohybovala kolem 4 °C. Typicky zimní situace (nízké teploty vzduchu a maximální výška sněhové pokrývky) nebyla zachycena, jelikož odběr proběhl až na konci zimy při nezvykle teplém počasí (teplota vzduchu v lednu 11,4 °C). Jezero přesto bylo zamrzlé (80 cm mocná vrstva rozbředlého ledu). Během jarního měření byla teplota v ce-



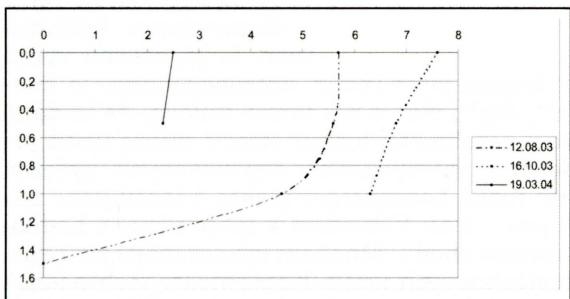
Obr. 1 – Poloha sledovaných jezer v komplexu Modravských slatí na Šumavě. 1 – Rokytecké slatě, 2 – Přední Mlynářská slatě, 3 – slatě Gayerrück, 4 – Roklanské slatě, 5 – Blatenská slatě. Podkladová mapa: Mrázková, Skuhravý (1999).



Obr. 2 – Teplotní profil jezerem „Roklanská slat-východ“ (změny teploty s hloubkou). Osa x – teplota ( $^{\circ}$ C), osa y – hloubka (m).



Obr. 3 – Konduktivita vody v jezeře „Roklanská slat-východ“. Osa x – konduktivita ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m).



Obr. 4 – Kyslíkové poměry v jezeře „Roklanská slat-východ“. Osa x – koncentrace rozpuštěného kyslíku (mg.l<sup>-1</sup>), osa y – hloubka (m).

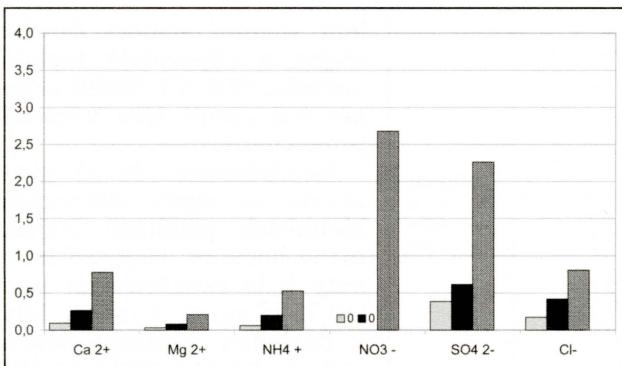
měla voda v téměř celém vertikálním profilu konzistenci rozbředlého ledu, byly kyslíkové poměry v jezeře velmi nepříznivé ( $2,5 \text{ mg.l}^{-1}$  a 18 % nasycení). Během jarního měření jsme kyslíkový režim nesledovali z důvodu závady oxymetru.

Při letním a podzimním měření jsme fyzikální parametry vody určovali nad místem maximální hloubky (z člunu). Průhlednost vody byla relativně malá (v lé-

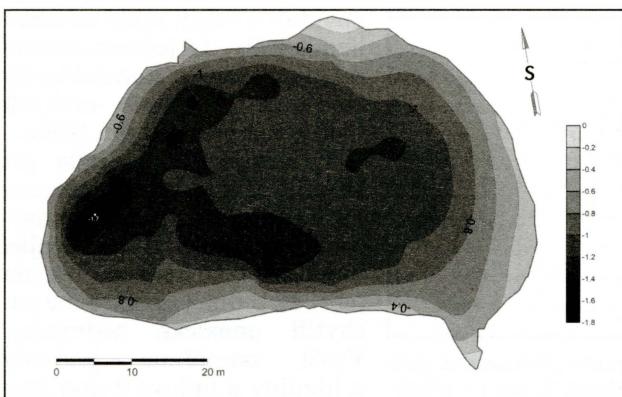
lém vodním sloupci zhruba stejná a odpovídala teplotě vzduchu ( $9,6 ^{\circ}\text{C}$ ). Vodní sloupec byl oproti létu výrazně promícháný.

Konduktivita (obr. 3) vykazovala ve všech změřených hloubkách přibližně stejné, nízké hodnoty. Nejnižší hodnoty bylo dosaženo na jaře ( $13,7 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), v době, kdy v důsledku vysokého stavu vody dochází ke zředění iontů obsažených ve vodě, nejvyšší pak na podzim při nízkém vodním stavu ( $26,6 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). Nízké naměřené hodnoty povídají o velmi malé mineralizaci vody. O jednoznačném ročním chodu konduktivity lze však při takto nízkých hodnotách hovořit jen těžko.

V letním období byla při hladině změřena koncentrace kyslíku  $5,7 \text{ mg.l}^{-1}$  (72 % nasycení kyslíkem). S přibývající hloubkou tato hodnota klesala (obr. 4), u dna (1,5 m) jsme zachytili anoxicické podmínky. Vyšší naměřené hodnoty u hladiny a nulové u dna jsou patrně zapříčiněny rozložením biologických pochodů ve vodním sloupci – při hladině převládaly fotosyntetické pochody (produkce kyslíku), u dna pak procesy respirační a rozkladné (spotřebovávání kyslíku). Na podzim jsme sice naměřili vyšší koncentrace (ve vodním sloupci mezi  $6,5$ – $7,5 \text{ mg.l}^{-1}$ ), ovšem při nižších teplotách s vyššími rovnovážnými koncentracemi kyslíku. Nasycení tak ve skutečnosti bylo při hladině nižší (kolem 45–55 %) než v létě. Při zimním měření, kdy



Obr. 5 – Iontové složení vody v jezeře „Roklanská slat-východ“. Osa x – iontové složení vody, osa y – koncentrace (mg/l). Sloupce zleva: léto, podzim, zima. Jarní hodnoty nebyly k dispozici.



Obr. 6 – Batymetrická mapa jezera „Roklanská slat-východ“. Hloubkové stupně v metrech.

nízká. Oproti jiným genetickým typům jezer (např. antropogenním) je koncentrace bazických kationtů ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$ ) téměř nulová. Je to dáno jednak celkovou dystrofií prostředí rašeliniště, jednak účastí těchto iontů při neutralizaci přirozeně vznikajících i antropogenně deponovaných kyselin. Nejvyšší, ale přesto celkově velmi nízké koncentrace těchto 4 iontů jsme naměřili v zimním období, nejnižší pak v létě. Vzhledem k takto nízkým hodnotám však lze jen těžko hovořit o ročním chodu. Mnohem významnější jsou zjištěné koncentrace amonných a dusičnanových iontů. Koncentrace těchto iontů jsou totiž ve srovnání s jinými genetickými typy jezer srovnatelné nebo výrazně vyšší. Nejnižší hodnoty jsme u  $\text{NH}_4^+$  zjistili v letním období ( $0,06 \text{ mg.l}^{-1}$ ), nejvyšší pak v zimě ( $0,53 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Koncentrace dusičnanových aniontů byly v létě a na podzim nulové, v zimním období však výrazně vzrostly (na  $2,26 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Také u koncentrací síranů jsme zaznamenali nejnižší hodnoty v létě ( $0,39 \text{ mg.l}^{-1}$ ) a nejvyšší v zimě ( $2,26 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Tyto hodnoty jsou však v porovnání s jinými typy jezer již poměrně malé. Koncentrace chloridů jsou zanedbatelné, fluoridy nebyly ve vodě zjištěny vůbec.

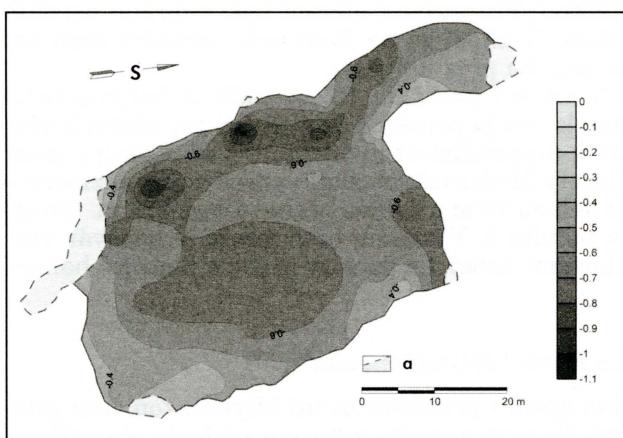
tě 90 cm, na podzim 105 cm), což je dáno velkým množstvím rozptýlených, zejména huminových látek. V ostatních termínech byly fyzikální parametry určovány při břehu. Průhlednost v těchto případech byla do dna. Barva byla určena podle Forel-Uleovy škály s 22 barevnými odstíny. Voda měla v průběhu roku barvu, odpovídající odstínům č. 20-21-20-22 (léto-podzim-zima-jaro), tedy hnědou až tmavě hnědou.

Při hodnocení hydrochemických parametrů jsme vycházeli z výsledků tří odběrů, provedených ve stejných termínech jako byly určovány fyzikální parametry vody. Výsledky jarního období (17.5.2004) nebyly k dispozici. Reakce vody (pH) je velmi kyselá. Ve sledovaném období se hodnoty pohybovaly mezi 4,11 a 4,33. Nejnižší hodnota byla zjištěna na podzim, nejvyšší na jaře.

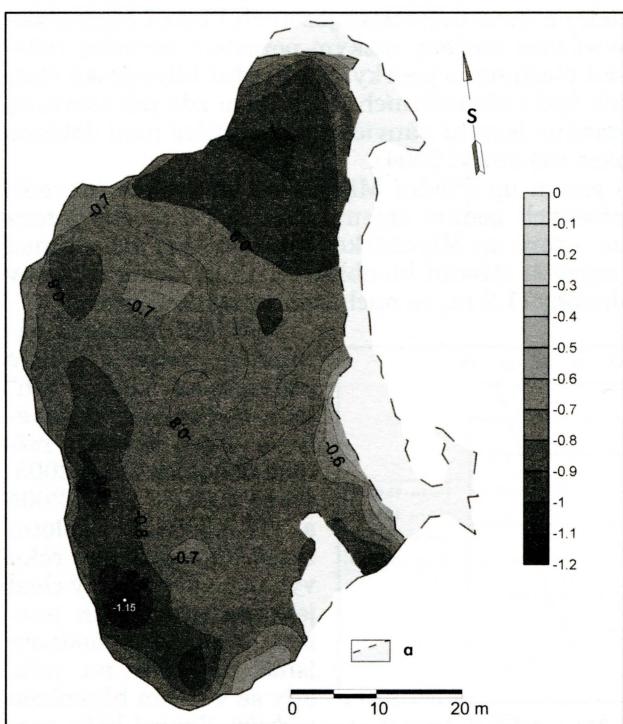
Koncentrace kationtů (obr. 5) je obecně velmi

#### 4.1.2 Blatenská slatě

Blatenská slatě se nachází ve výšce asi 1 245 m n. m. mezi Blatným vrchem a Studenou horou v příhraniční části Modravských slatí. Pramení zde Březnický potok, jedna ze zdrojnic Modravského potoka. Centrální část rašeliniště je tvořena hustým porostem borovice rašelinné (*Pinus × pseudopumilio*), okrajové části pak poškozenými porosty smrků, zpravidla podmáčenými. Ložisko je tvořeno suchopýro-rašeliníkovým druhem rašeliny. Rašeliniště není dotčeno průmyslovou těžbou. Půdorysná měření byla provedena pouze na jižní části Blatenské slatě. Podrobná batymetrická měření a hydrochemické analýzy jsme uskutečnili u dvou největších jezer (výsledky jsou vzhledem k podobnosti s jinými slatemi zmiňovány pouze v závěrečném srovnání).



Obr. 7 – Batymetrická mapa největšího jezera na Blatenské slati. Hloubkové stupně v metrech; a – holé rašelinné plochy nebo zarůstající části jezera.



Obr. 8 – Batymetrická mapa největšího jezera Rokyteckých slatí. Hloubkové stupně v metrech; a – holé rašelinné plochy nebo zarůstající části jezera.

Detailní půdorysná a batymetrická měření jsme provedli v letním období (14.8.2003) na dvou největších jezerech Blatenské slatě. V tomto článku z prostorových důvodů uvádíme pouze mapu největšího z jezer (obr. 7). Jezera jsou poměrně rozlehlá (až 0,17 ha), avšak díky malé střední hloubce (asi 0,5 m) nepříliš objemná (1 000 m<sup>3</sup>). Největší hloubky (cca 1 m) se u obou jezer nacházejí při jejich západních břežích. Mělké oblasti v centrální části jezer jsou tvorený mocnějšími vrstvami nahromaděné rašeliny.

#### 4.1.3 Rokytecké slatě

Rokytecké slatě (zvané též Weitfällerské,

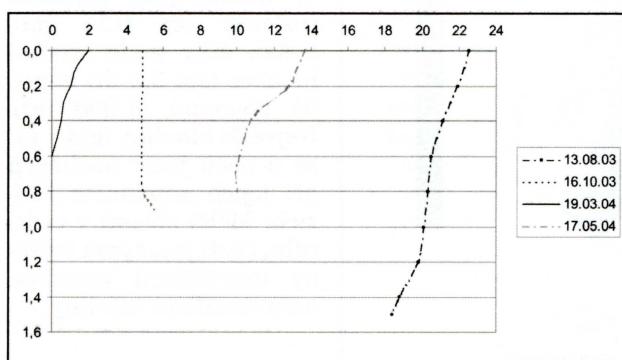
1085–1110 m n. m.) se nacházejí severně od vrchu Medvěd, asi 3 km jihozápadně od bývalé Javoří Pily. Slatě zahrnují několik dílčích rašelinných ložisek, jež jsou oddělena jednotlivými zdrojnicemi Rokytky. Vnitřní části vrchovišť jsou tvořeny porostem borovice rašelinné a bezlesými rašelinnými plochami, okrajové části pak smrčinami a přechodovými rašeliníšti. Rašeliniště není dotčeno průmyslovou těžbou. Pro terénní měření bylo vybráno největší jezero celych Rokyteckých slatí. Nachází se na Rokytecké západní slati asi 250 m západně od silničního mostku přes Rokytku.

Půdorysná a batymetrická měření proběhla 13. 8. 2003. Z batymetrické mapy (obr. 8) je patrné, že dno jezera je poměrně členité. Při západním břehu se nachází několik prohlubní s maximálními hloubkami. Vodní plocha mezi sledovanými rašeliníštními jezery Modravských slatí vyniká svými rozdíly – plochou 2 160 m<sup>2</sup>, maximální délkou 79 m a délkou břehové čáry 224 m. Ostatní parametry jsou shrnuty v tabulce 2. Východní břeh jezera je lemován rozsáhlými plovoucími rašeliníkovými koberci s porosty ostřic a blatnice bahenní.

#### 4.1.5 Přední Mlynářská slatě

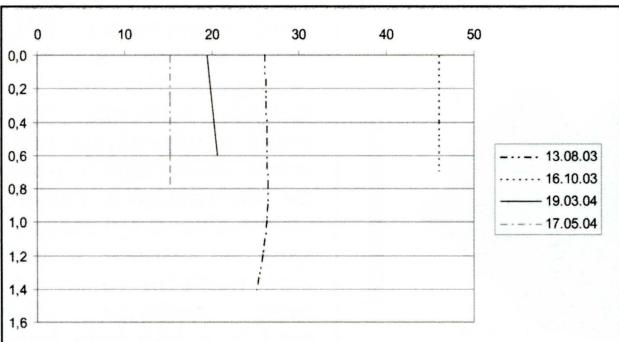
Přední Mlynářská slatě bývá spolu s přilehlou Zadní Mlynářskou slati přičlenována ke slati Rybárenské. Ta je ze západu, severu a východu ohraničena obloukem Roklanského potoka, z jihu pak jeho přítokem, Slatinným potokem. Slatě se nachází jižně od spojnice Rybárna – Javoří Pila v nadmořské výšce 1000–1090 m (část Přední Mlynářská slatě pak ve výšce 1030–1055 m n. m.). Terénní měření jsme prováděli na dvou největších jezerech Přední Mlynářské slatě. Centrální části vrchovišť jsou tvořeny nízkým porostem borovice rašelinné a bezlesými rašelinnými plochami s jezírkami. Na Přední Mlynářské slati lze spatřit několik vývojových fází rašeliníštních jezer. Jsou zde jak otevřené vodní plochy, tak silně zazemněné jezerní páničky. Rašeliniště není dotčeno průmyslovou těžbou (Databáze rašeliníšt 2004).

Morfometrické mapování jezera na Přední Mlynářské slati jsme provedli 13.8.2003. Na základě vypočtených hodnot objemu (515 m<sup>3</sup>) a plochy jezera (440 m<sup>2</sup>) jsme zjistili, že jižní jezero na Mlynářské slati (obr. 13) má v rámci sledovaných vodních ploch největší střední hloubku – 1,17 m. Jezerní pánev je symetrická, maximální hloubky (1,5 m) se nacházejí uprostřed jezera.

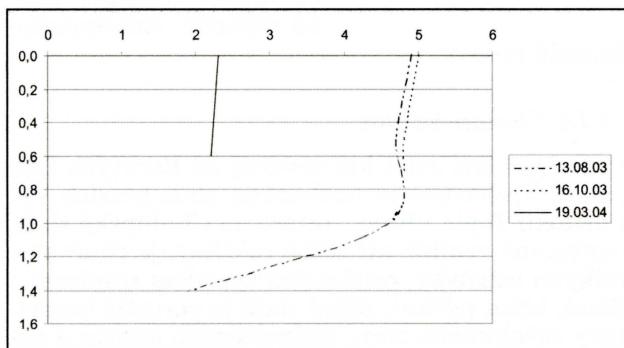


Obr. 9 – Teplotní profil jezerem „Mlynářská slatě-jih“ (změny teploty s hloubkou). Osa x – teplota (°C), osa y – hloubka (m).

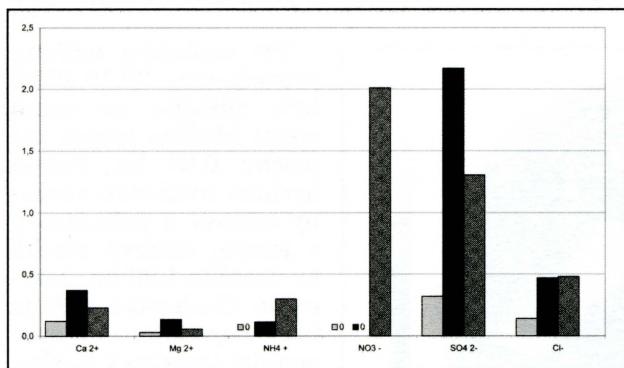
Základní fyzikální parametry vody v jezeře „Mlynářská slatě – jih“ (obr. 9–12) jsme sledovali ve všech čtyřech ročních obdobích (13.8.2003, 16.10.2003, 19.3.2004 a 17.5.2004). Teplotní zvrstvení v průběhu roku vykazovalo podobný chod jako na předešlých jezerech. Odchylné hodnoty jsme naměřili na jaře, kdy se v 0,8 m hlubokém vodním sloupci lišila teplota na hladině a u dna téměř o 4 °C. Za zmínku



Obr. 10 – Konduktivita vody v jezeře „Mlynářská sláť-jih“. Osa x – konduktivita ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m).



Obr. 11 – Kyslíkové poměry v jezeře „Mlynářská sláť-jih“. Osa x – koncentrace rozpuštěného kyslíku ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m).



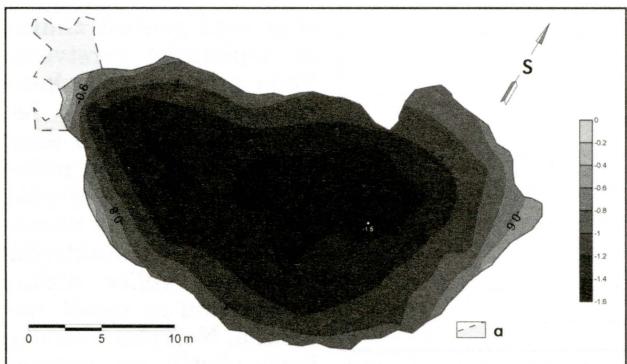
Obr. 12 – Iontové složení vody v jezeře „Mlynářská sláť-jih“. Osa x – iontové složení vody, osa y – koncentrace ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Sloupce zleva: 13.8.2004, 16.10.2004, 19.3.2004. Jarní hodnoty nebyly k dispozici.

nízká, v podzimním období jsme naměřili vůbec nejnižší hodnotu v rámci všech sledovaných jezer – 3,82. Koncentrace ammoniových a dusičnanových iontů byla v době letního odběru nulová. V zimním období jsme zaznamenali zvý-

stojí také průběh zimního teplotního zvrstvení. Voda v jezeře měla konzistenci rozbředlého ledu. U hladiny byla díky neobvykle teplému počasí teplota vody nejvyšší ( $2^\circ\text{C}$ ), u dna jsme naměřili  $0^\circ\text{C}$ . Konduktivita byla opět velice nízká, s hloubkou se téměř neměnila. Nejvyšší hodnoty jsme zjistili na podzim při nejnižším vodním stavu ( $46 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  v celém vodním sloupci), nejnižší na jaře ( $15,1 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). Z grafů lze vyčíst, že v letním období byl kyslík ve vertikálním profilu rozložen velmi nerovnoměrně. Nejvíce jej díky difuze z atmosféry a fotosyntéze bylo u hladiny ( $4,9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  při 57% nasycení), nejméně u dna, kde probíhaly rozkladné procesy ( $1,9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , 17% nasycení). Nejnepříznivější kyslíkové poměry ( $2,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , 14 % rovnovážné koncentrace) jsme zaznamenali v zimě, kdy bylo jezero z velké části zamrzlé (koncentraci kyslíku jsme měřili v roztáté vrstvě ledu). Průhlednost jsme v letním období určili na 1 m, v ostatních případech byla do dna. Barva kolísala mezi odstíny č. 21-22-20-21.

Vzorky vody pro hydrochemický rozbor vody v jezeře „Mlynářská sláť-jih“ byly odebrány ve všech ročních obdobích. Reakce vody byla velmi

Reakce vody byla velmi



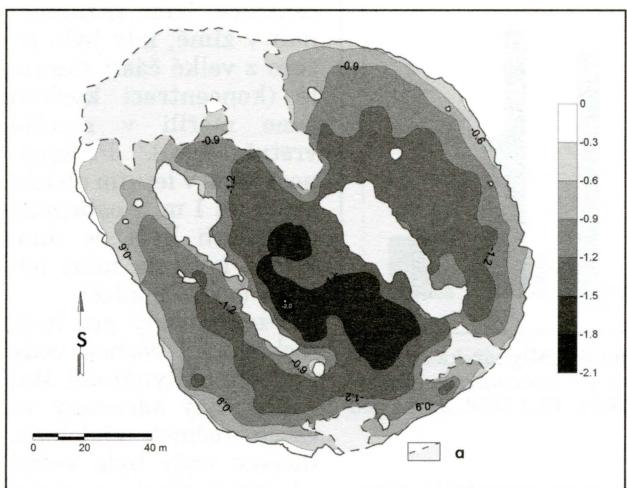
Obr. 13 – Batymetrická mapa jezera „Mlynářská slat-jih“. Hloubkové stupně v metrech; a – holé rašelinné plochy.

chloridů byla velmi nízká, fluoridů nulová.

šené koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ( $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ ) a  $\text{NO}_3^-$  ( $2 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Množství bázických kationtů bylo nízké a odpovídalo průměru sledovaných jezer na Modravských slatích. Obsah síranů byl rozkolísaný – zatímco v létě jsme naměřili vůbec nejnižší hodnotu ( $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ ), v létě byla koncentrace ve srovnání s ostatními sledovanými šumavskými jezery mírně zvýšená. Koncentrace

#### 4.1.6 Chalupská slat'

Chalupská slat' (900–930 m n. m.) leží asi 1 km severně od Borových Lad mimo prostor Modravských slatí. Vrchoviště se nachází na obou březích Vydrího potoka, levostranného přítoku Teplé Vltavy. Jezero na Chalupské slati, vzniklé nadřzením vody ve snížení vzniklé při těžbě rašeliny, je charakteristické několika poměrně velkými ostrůvky, osídlenými typickou rašelinnou vegetací (rosnatka okrouhlolistá, bříza pýřitá). Střed slatě je porostlý borovičí rašelinnou, okraje fragmenty rašelinného boru, podmáčených smrčin a rašelinnými březinami. Vrchoviště bylo v 19. století těženo, pozůstatkem jsou deprese poblíž povalového chodníku. Maximální hloubka rašeliny je 7 m. V době psaní tohoto článku byly k dispozici pouze výstupy z půdorysných a hloubkových měření, měření fyzikálně-chemických parametrů nebyla toho času dokončena.



Obr. 14 – Batymetrická mapa jezera na Chalupské slati. Hloubkové stupně v metrech; a – poloostrovy a ostrov.

Při terénním měření, provedeném 29.10.2004, bylo zjištěno, že volná vodní hladina jezera má plochu 0,93 ha. Pokud bychom uvažovali všechny ostrovy a poloostrovy v jezere, celková plocha by dosáhla 1,26 ha. Jezero na Chalupské slati je tak největším organogenním jezerem v Česku. Objem vodní plochy byl na základě terénního měření odhadnut na  $10\ 500 \text{ m}^3$ . Střední volumometrická hloubka jezera tak činí 1,12 m. Ve střední části jezera (mezi pruhy ostrovů) byla na-

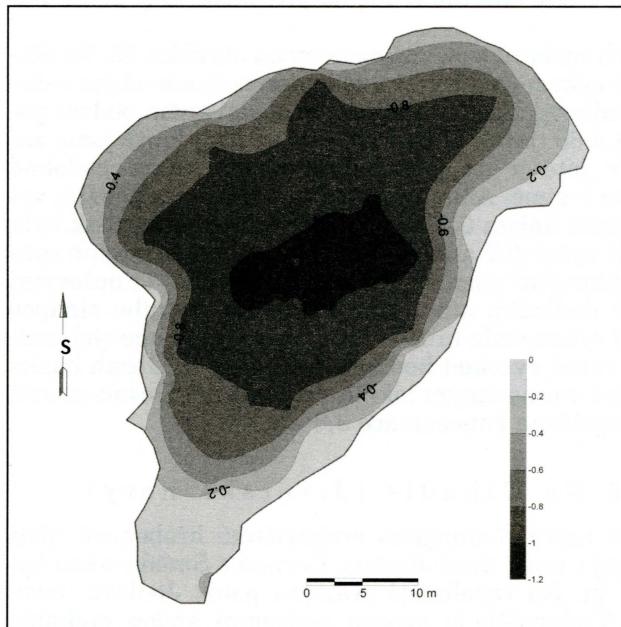
měřena vůbec největší hloubka v rámci všech sledovaných rašeliništních jezer – 2,0 m. Mapa jezera je zachycena na obr. 14.

#### 4.2 Úpské rašeliniště (Krkonoše)

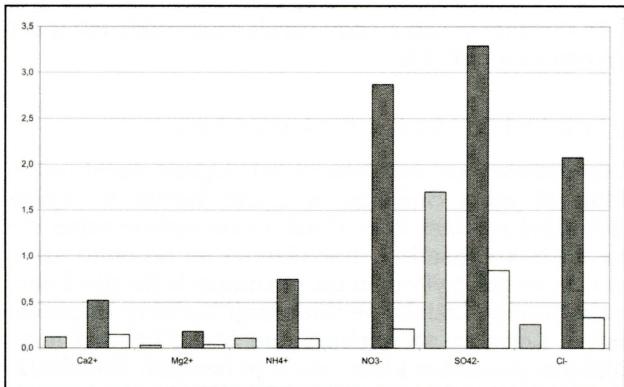
V Krkonoších jsme jako reprezentativní lokalitu zvolili Úpské rašeliniště. Najdeme jej na náhorní planině mezi Sněžkou a Luční horou ve výšce 1410–1460 m n. m. Toto rašeliniště je klasickou ukázkou rozvodnicového vrchoviště subalpinského typu. Ložisko rašeliny, nacházející se po obou stranách česko-polské státní hranice, se zde vytvořilo na pramenech Bílého Labe, Úpy a Lomničky. V podloží rašelinného ložiska se nacházejí horniny krkonošsko-jizerského žulového masivu. Lokalita se nachází nad horní hranicí lesa. Část vrchoviště je pokryta nízkým porostem kleče, okolí je bezlesé. Rašeliniště nebylo postiženo průmyslovou těžbou. Pro terénní měření bylo vybráno největší jezero české části rašeliniště, tj. druhé největší jezero na vrchovišti ( $50^{\circ} 44' 05''$  s. š.,  $15^{\circ} 42' 27''$  v. d.).

Morfometrie jezera na Úpském rašeliništi je znázorněna na obrázku 15. Půdorysná a batymetrická měření jezera jsme uskutečnili 7.6. 2004. Plocha jezera činí  $1\ 245\ m^2$ , objem jsme odhadli na  $790\ m^3$  (v době měření byl ve skutečnosti ještě menší, neboť do výpočtu byly zahrnuty i příbřežní zazemněné části jezera). Jezero má ve srovnání s jinými sledovanými vodními plochami relativně pevné rašelinné dno. Jeho maximální hloubka (1,05 m) se nachází ve středu jezera. Střední hloubka jezera činí asi 0,65 m.

Fyzikální a chemická měření jsme na Úpském rašeliništi provedli ve třech ročních obdobích (9.7.2003, 19.2.2004 a 7.6.2004). U žádného ze sledovaných parametrů se nepotvrdila závislost na hloubce měření (tj. ve všech místech vodního sloupce jsme zjistili zhruba stejné hodnoty). Možnou příčinou je lokalizace jezera na náhorní plošině Krkonoš, kde po celý rok převládá větrné počasí, umožňující celoroční promíchávání vodního sloupce. Teplota jezera je velmi významně ovlivňována povětrnostními podmínkami. V létě (teplota vzduchu jen  $12,2^{\circ}\text{C}$ , zataženo) jsme zjistili velmi nízkou teplotu vody – v celém profilu kolem  $10^{\circ}\text{C}$ . Zimní měření proběhlo při extrémních povětrnostních podmínkách (teplota vzduchu  $-6^{\circ}\text{C}$ , mlha, nárazový vítr). Jezero bylo kryto asi 1,3 m mocnou sněhovou pokrývkou a téměř do dna bylo zamrzlé. Teplo vody v celém vodním sloupci (výkopu) činila  $-0,9^{\circ}\text{C}$  (jelikož hodnotu



Obr. 15 – Batymetrická mapa největšího jezera české části Úpského rašeliniště. Hloubkové stupně v metrech.



Obr. 16 – Iontové složení vody v největším jezeře české části Úpského rašeliniště. Osa x – iontové složení vody, osa y – koncentrace (mg/l). Sloupce zleva: 9.7.2003, podzim, 19.2.2003, 7.6.2004. Podzimní hodnoty nebyly k dispozici.

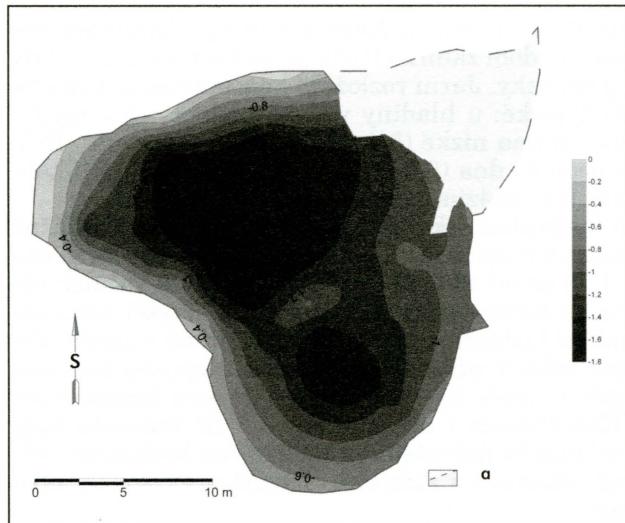
ovlivňovala přítomnost mocné vrstvy ledu, je třeba ji brát spíše jako orientační). Nejvyšší hodnoty jsme naměřili na jaře (jasno, teplota vzduchu 15,8 °C, měřeno v podvečer) – v celém vodním sloupci 12,8 °C. Konduktivita jezera je extrémně nízká. V létě jsme u hladiny zjistili hodnotu 11,9  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , na jaře dokonce pouze 7,6  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Podzimní hodnota byla zjištěna pouze v laboratorních podmínkách (55,4  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) a s ostatními je nesouměřitelná.

Množství rozpuštěného kyslíku jsme sledovali pouze v létě a na jaře. Při obou měřeních byly v celém vertikálním profilu relativně dobré kyslíkové poměry. Na jaře jsme zjistili koncentraci  $9,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (90 % rovnovážné koncentrace při příslušné teplotě a tlaku), v létě pak  $6,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (60 % rovnovážné koncentrace). Kyslíkové poměry v zimním období, jež by nepochybňně byly významně ovlivněny zámrzem vodní hladiny, nebyly z důvodu omezených provozních podmínek měřicího přístroje sledovány. Průhlednost jsme zjišťovali pouze v létě a na jaře. V obou případech byla rovna maximální hloubce v místě měření (1 m). Barva odpovídala v létě odstínu č. 21, na jaře odstínu č. 20 na Förel-Uleové stupnici.

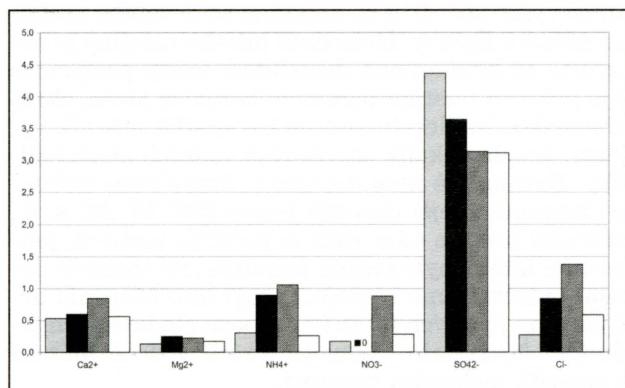
Výsledky hydrochemických rozborů jsou znázorněny na obrázku 16. Ve většině sledovaných parametrů vykazovala jezerní voda oproti šumavským rašeliništním jezerům odlišné hodnoty. Reakce vody se ve sledovaném období pohybovala mezi 4,07 (zima) a 4,69 (jaro). U koncentrací většiny iontů jsme zaznamenali shodný trend: v létě a na jaře byly hodnoty velmi podobné a několikanásobně menší než v zimě. Amonné ionty se v létě a na podzim vyskytovaly ve vodě v koncentraci kolem  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , v zimním období však byla naměřena hodnota sedmkrát vyšší ( $0,7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Tato skutečnost je patrně způsobena celkově horšími kyslíkovými poměry v jezeře (sníženými či nulovými koncentracemi kyslíku) a v důsledku stabilního zvrstvení vodního sloupce (homotermie). Podobný chod vykazovala také koncentrace dusičnanových aniontů (v zimě jsme naměřili velmi vysokou hodnotu  $2,87 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Obsah bazických kationtů byl oproti dříve zmínovaným lokalitám zvýšený. Obsah síranů byl nadprůměrný (v zimě naměřena koncentrace  $3,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ).

#### 4.3 Rašeliniště Na Čihadle (Jizerské hory)

Rašeliniště Na Čihadle je nejvýznamnějším vrchovištěm hřebenové části Jizerských hor. Nalezneme jej v sedle mezi Jizerou, Černou a Smědavskou horou ve výšce 970-980 m n. m. Na rašeliništi pramení potok Jedlová, levostanný přítok Kamenice. Vrchoviště je syceno podzemní vodou stékající z úbočí Sněžných věžiček. Podkladem holocenního ložiska rašeliny je těleso krkonošsko-jizerského žulového masivu. Rašelinná louka je ukloněna k seve-



Obr. 17 – Batymetrická mapa největšího jezera na rašeliňišti Na Čihadle (poblíž vyhlídkové věže). Hloubkové stupně v metrech; a – holé rašelinné plochy.



Obr. 18 – Iontové složení vody v jezeře poblíž vyhlídkové věže na rašeliňišti Na Čihadle. Osa x – iontové složení vody, osa y – koncentrace (mg/l). Sloupce zleva: 9.7.2003, 30.10.2003, 18.2.2004, 7.6.2004.

větší počet menších tůní.

Základní fyzikální parametry vody v jezeře poblíž vyhlídkové věže jsou znázorněny na obrázku 18. Jezero poblíž vyhlídkové věže jsme zkoumali ve třech ročních obdobích: 9.7.2003, 30.10.2003, 18.2.2004 a 7.6.2004. Teplota v celém vodním sloupci byla podobně jako u ostatních rašelinistických jezer výrazně závislá na okamžité povětrnostní situaci. Za zmínu stojí zimní měření, při němž bylo jezero kryto 45 cm mocnou sněhovou pokrývkou a téměř v celém vertikálním profilu bylo zamrzlé. Teplota vodního sloupce (ve výkopu) se pohybovala kolem  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Tato hodnota je však zkreslena přítomností ledu.

Konduktivita jezera byla ve sledovaném období extrémně nízká, kolísala mezi  $9,2 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (léto) a  $26,8 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  (zima). Koncentrace kyslíku byla vý-

ru (nejsevernější jezero se nachází řádově o několik metrů níže než jezera ve střední části ložiska) a je oplocena. Rašelinště je bezlesé, původní smrčiny byly v 70.–80. letech 20. století poškozeny imisesemi škodlivých plynů z tepelných elektráren v Žitavské pánvi a následně byly vykáceny. Detailní batymetrická měření a odběry jsme uskutečnili u dvou největších jezer: z jezera u vyhlídkové věže a jezera na severním okraji louky. U ostatních jezer byla změřena maximální a střední hloubka.

Podrobná půdorysná a batymetrická měření jsme uskutečnili dne 7.6.2004. Jezera jsou relativně malá, ale hluboká (největší jezero 400 m<sup>2</sup> a 1,7 m). U severního jezera (obr. 17) je patrné zazemňování a zarůstání břehů vodní vegetací. Ostatní vodní plochy (flarky) jsou vesměs protáhlé ve směru JZ-SV (ve směru vrstevnic). Jejich maximální hloubka se pohybuje od 50 cm do 115 cm. Střední části flarků jsou v mnoha případech mělké, takže se pomalu rozpadají na

znamně ovlivněna aktuálním stavem počasí. Nejnepříznivější kyslíkové poměry v jezeře jsme vysledovali v období zámrzu (tedy na podzim a v zimě), kdy jsme zaznamenali anoxicické podmínky. Jarní rozložení koncentrací kyslíku ve vodním sloupci již bylo zcela typické: u hladiny vysoké hodnoty ( $8,4 \text{ mg.l}^{-1}$ , 81 % rovnovážné koncentrace), u dna nízké ( $5,1 \text{ mg.l}^{-1}$ , 48 % nasycení). Průhlednost byla ve všech termínech do dna (0,8 m), barva v průběhu roku kolísala mezi odstíny 20-19-19-19 (léto-podzim-zima-jaro).

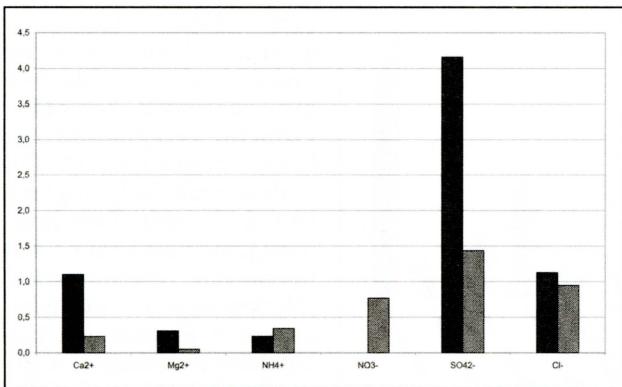
Téměř všechny sledované hydrochemické parametry byly výrazně odlišné od hodnot naměřených na ostatních lokalitách. Na lokalitě jsme naměřili celkově nejvyšší hodnoty pH – 4,73 (jaro) až 5,43 (podzim). Ve všech ročních obdobích kromě jara jsme navíc na tomto jezeře zjistili vůbec nejvyšší koncentrace amonných iontů (maximální hodnota  $1,06 \text{ mg/l}$  byla zjištěna v zimě). Vysoké koncentrace jsme zjistili také v případě dusičnanů. Nejvyšší hodnotu ( $0,88 \text{ mg/l}$ ) jsme naměřili opět v zimě. Za zmínu stojí nulová koncentrace  $\text{NO}_3^-$  v podzimním období. Koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$  kationtů byly v tomto jezeře v některých termínech nejvyššími naměřenými hodnotami vůbec. Také koncentrace síranů, chloridů a fluoridů výrazně převyšovaly hodnoty zjištěné u ostatních jezer.

#### 4.4 Velké Jeřábí jezero (Krušné hory)

Lokalita Velké Jeřábí jezero (též Jeřábí slatina) se nachází asi 5 km severozápadně od Přebuzi v nadmořské výšce 950–970 m, západně od Jeřábího vrchu. Na rašelinisti pramení jeden z přítoků Rolavy. Holocenní ložisko rašeliny je obklopeno tělesem ze středně zrnité až hrubozrnné dvojslídne, místy porfyrické žuly. Vnitřní část rašelinisti je pokryta hustým porostem borovice kleče, okrajové části pak smrčinami a vřesovišti. Na Jeřábí slatině lze spatřit několik vývojových fází rašelinistních jezer. Je zde několik otevřených vodních ploch i silně zazemněné jezerní pánvičky. Rašelinisti není dotčeno průmyslovou těžbou. Při terénních měřeních jsme zkoumali zdejší největší jezero ( $50^{\circ} 24' 24''$  s. š.,  $12^{\circ} 35' 23''$  v. d.). Jeho batymetrický plán se nám však nepodařilo sestavit, jelikož při měření pomocí kalibrované latě nebylo možné jednoznačně stanovit polohu dna. Vodní plocha je malá – plochu jsme s pomocí programu MapInfo určili na  $340 \text{ m}^2$ , délku břehové čáry na pouhých 69 m (v souboru sledovaných jezer nejmenší naměřená hodnota). Maximální hloubka jezera v době měření činila 0,9 m. Jezero pozvolna zarůstá mokřadní vegetací.

Fyzikální parametry jezerní vody jsme sledovali 20.10.2003, 22.3.2004 a 24.5.2004 (letní měření nebylo provedeno). Ve vodním sloupci jsme ve všech hloubkách naměřili přibližně stejné hodnoty sledovaných parametrů. Teplota vody odpovídala okamžitému stavu počasí. Nezvykle nízké teploty vody (kolem  $6,3^{\circ}\text{C}$ ) jsme změřili na jaře (oblačné počasí, teplota vzduchu  $6,4^{\circ}\text{C}$ ), v zimě byla hodnota ovlivněna existencí rozbredlé, 10 cm mocné vrstvy ledu (teplota byla záporná:  $-0,1^{\circ}\text{C}$ ). Spolehlivá měření konduktivity byla provedena jen v zimě a na jaře. V zimě jsme zjistili konduktivitu kolem  $20 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ , na jaře pak  $38 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ . Podzimní hodnota ( $65 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) byla určena pouze v laboratoři. Koncentraci kyslíku jsme určili pouze na podzim, v ostatních případech nefungovalo měřici čidlo. Při hladině se tehdy vyskytoval kyslík v koncentraci  $6,8 \text{ mg.l}^{-1}$  (53 % rovnovážné koncentrace). Průhlednost byla ve všech případech do dna a barva byla hnědá až tmavě hnědá – odstíny č. 21-21-22 (podzim-zima-jaro).

Při hodnocení hydrochemických parametrů (obr. 19) jsme měli k dispozici výsledky ze dvou odběrových termínů – podzimního a zimního. Z výsledků je



Obr. 19 – Iontové složení vody v největším jezeře NPR Velké Jeřábí jezero. Osa x – iontové složení vody, osa y – koncentrace (mg/l). Sloupce zleva: 20.10.2003, 22.3.2004. Letní a jarní hodnoty nebyly k dispozici.

noty  $0,8 \text{ mg.l}^{-1}$ . Zastoupení bazických kationtů bylo vyšší než činil průměr všech jezer (u hořčíku jsme naměřili vůbec nejvyšší koncentraci –  $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Podzimní koncentrace síranů dosahovala hodnot naměřených v Jizerských horách a Krkonoších, zimní však byla nižší. Obsah chloridů a fluoridů byl nadprůměrný.

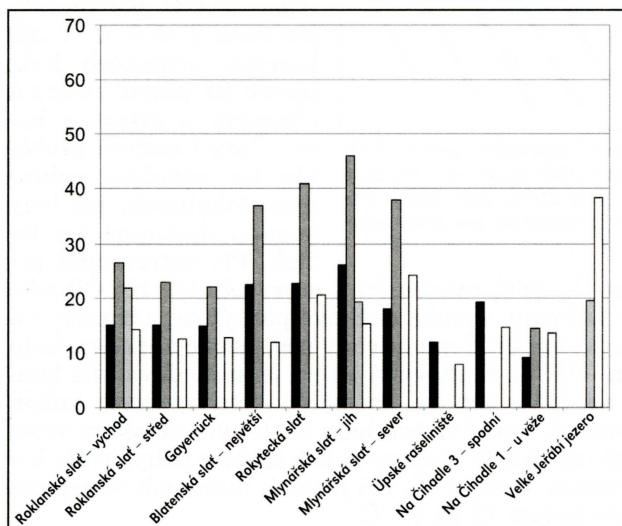
## 5. Shrnutí fyzikálně-chemických parametrů vrchovištních jezer

### 5.1 Fyzikální parametry vod rašeliništních jezer

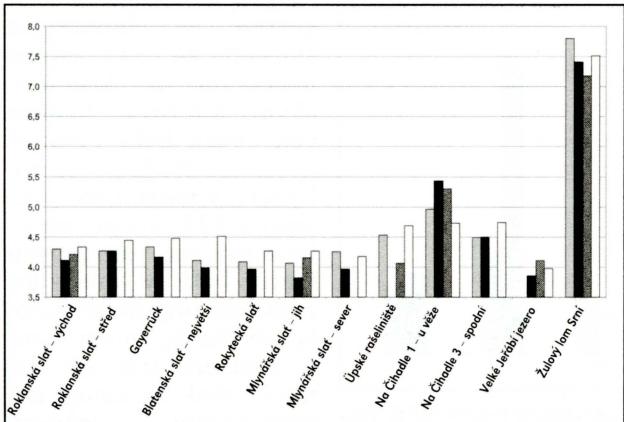
Vzhledem k absenci podobně zaměřených limnologických studií rašeliništních jezer nebylo dopředu možné odhadnout parametry jezerních pánví.

Během terénních měření bylo zjištěno, že všechna sledovaná jezera jsou velmi mělká, což má v kombinaci s podobnou genezí jezer za následek velmi podobné fyzikální vlastnosti. Díky malé hloubce se ve vodním sloupci rašeliništních jezer nevytvářejí typické vrstvy metalimnion ani hypolimnion.

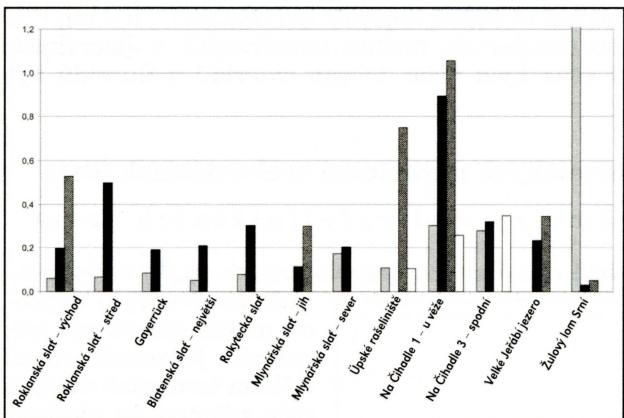
Teplota úzce koresponduje s okamžitými povětrnostními podmínkami v době měření. Největší rozdíly teplot ve vodním sloupci jsme všeměsaznamenali v let-



Obr. 20 – Roční chod konduktivity vody v rašeliništních jezerech. Hodnoty byly určeny konduktometrem přímo v terénu. Osa x – jezera, osa y – konduktivita ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ). Sloupce zleva: léto 2003, podzim 2003, zima 2004, jaro 2004.



Obr. 21 – Roční chod pH ve vodách sledovaných rašeliništích jezer. Sloupce zleva: léto 2003, podzim 2003, zima 2004, jaro 2004. Poslední lokalita (žulový lom Srní) je uváděna jen jako srovnávací.



Obr. 22 – Roční chod koncentrace amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$  v  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) ve sledovaných rašeliništích jezerech. Sloupce zleva: léto 2003, podzim 2003, zima 2004, jaro 2004. Poslední lokalita (žulový lom Srní) je uváděna jen jako srovnávací.

větrnostních podmínkách na Úpském rašeliništi a na rašeliništi Na Čihadle v únoru 2004 (nízké teploty vzduchu, vysoká sněhová pokrývka, nárazový vítr) byla jezera téměř do dna promrzlá. Teplota vody pod mocnou vrstvou ledu a sněhu byla záporná, kolem  $-0,9^\circ\text{C}$ . Šumavská jezera jsme sledovali na konci zimy (březen 2004) při nezvykle teplém počasí (teplota vzduchu kolem  $11^\circ\text{C}$ ). Jezera byla ještě zamrzlá, horní vrstva ledu však byla účinkem vysokých teplot vzduchu částečně roztátá. U hladiny se tak teplota pohybovala kolem  $2^\circ\text{C}$ , směrem ke dnu klesala až na  $0^\circ\text{C}$ . Při jarních měření se teplota v jezerech pohybovala vesměs kolem  $12$  až  $15^\circ\text{C}$ .

Konduktivita všech sledovaných rašeliništěných jezer je obecně velmi nízká. Jelikož jsou jezera velmi mělká, ve vertikálním profilu k významným změnám jejich hodnot, jak tomu bývá u hlubokých jezer, nedochází. V ročním chodu jsme zaznamenali nejnižší hodnoty vesměs na jaře (těsně po roztátí sněhu),

ním období (červenec a srpen 2003), kdy se vrstvy vody při hladině díky vysokým teplotám vzduchu výrazně ohřívaly (mnogdy až na  $25^\circ\text{C}$ ), u dna však byly teploty až o  $6^\circ\text{C}$  nižší. Tyto hodnoty jsme naměřili na šumavských vrchovištích (Modravských slatích). Jezera v Krkonoších (na Úpském rašeliništi) a Jizerských horách (Na Čihadle) byla v době letního odběru vzhledem k nižším teplotám vzduchu celkově chladnější. Teplota v celém vodním sloupci byla přibližně stejná. Možnou příčinou je větrnější a celkově drsnější klima obou lokalit, jež mají za následek výraznější promíchávání vrstev vody. Vzhledem k poloze jezer v nejvyšších částech našich hor se podzimní teploty vody (říjen 2003) pohybovaly jen mezi  $3$  až  $6^\circ\text{C}$ . V některých případech byla jezera již zčásti zamrzlá (Sumava a Jizerské hory). Zimní měření proběhla na několika vybraných lokalitách, jež byly snadno dostupné na lyžích. Při extrémních po-

nejvyšší pak nejčastěji na podzim při nízkých vodních stavech. Nejnižší hodnota vůbec byla zjištěna v jarním období na Úpském rašeliništi ( $7,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , stanoveno v terénu), nejvyšší pak na Velkém Jeřábím jezeře během podzimního odběru ( $65,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , stanoveno v laboratoři). Hodnoty naměřené v terénu byly v průměru o třetinu nižší. Variabilita hodnot v průběhu roku je ve srovnání s konduktivitou jiných genetických typů jezer jen velmi malá. Např. v relativně čistém antropogenním vápencovém jezeře Velká Amerika v Českém krasu se konduktivita ve stejném období pohybovala mezi 370 a  $470 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Roční průběh konduktivity zjištované v laboratoři je uveden v souhrnném obrázku 20.

Kyslíkové poměry do velké míry závisejí na atmosférických podmínkách a s nimi související intenzitě biologických procesů. Koncentrace rozpuštěného kyslíku byla u většiny jezer v teplém období roku závislá na hloubce měření. Zatímco u hladiny převládaly dobré kyslíkové poměry, u dna jsme zjistili buď velmi nízké koncentrace či zcela anoxicke podmínky. Tento stav je patrně podmíněn rozložením převládajících procesů ve vodním sloupci: u hladiny převládá fotosyntéza (kyslík je do vody uvolňován), při dně je kyslík naopak spotřebováván (jednak na rozklad organické hmoty a jednak při dýchání vodních organismů). Na podzim a v zimě, kdy byla jezera z části nebo zcela zamrzlá, jsme zaznamenali velmi nízké koncentrace kyslíku (případně zcela anoxicke podmínky).

Průhlednost rašelinných jezer je ve většině případů shodná s maximální hloubkou v měřeném bodě. „Skutečnou“ průhlednost se nám podařilo určit jen u několika jezer, zejména v letním období. Hodnoty se pohybovaly kolem 90–100 cm (změřeno na Roklanských slatích na Šumavě). Tato relativně nízká hodnota je způsobena velkým množstvím nerozpustěných, zejména organických látek a hnědou barvou.

Barva vody byla žlutohnědá (odstín č. 19 ve Forel-Uleově škalce) až tmavě hnědá (č. 22). Celkově nejtemnější barvu mělo severní jezero na Mlynářské slati (odstín č. 21–22), nejsvětlejší odstín pak jezero Gayerrück (odstín 19–20). Je však třeba si uvědomit, že určení barvy pomocí barevné stupnice je velmi subjektivní záležitost, která závisí na pozorovacích schopnostech limnologa.

## 5.2 Hydrochemické parametry

Vzhledem k podobné genezi byly hydrochemické parametry sledovaných jezer velmi podobné. Přesto lze soubor sledovaných vodních ploch rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří šumavská rašelinná jezera v komplexu Modravských slatí. Tato jezera se vyznačují relativně nízkým pH. Hodnoty se pohybují mezi 3,82 (jezero „Mlynářská slať – jih“) a 4,51 (Blatenská slať). Druhým typickým rysem jsou nízké koncentrace všech základních iontů ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  a  $\text{F}^-$ ). Druhá skupina jezer je charakteristická menší kyselostí (pH v rozmezí 4,07 a 5,43) a zároveň vyššími koncentracemi zmiňovaných iontů. Do této skupiny patří krkonošská a jizerská rašelištní jezera. Jediný zástupce krušnohorských rašelinišť (Velké Jeřábí jezero) stojí na pomezí obou skupin: hodnoty pH byly relativně nízké (3,85 až 4,11), mineralizace byla však naopak zvýšená. Důležitým parametrem pro takovouto klasifikaci rašelinných jezer by nepochybně byly též koncentrace organických iontů (koloidních huminových látek apod.). Obsah těchto látek však vzhledem k velkému množství odebraných vzorků nebyl zjištován.

Při celkovém hodnocení jsme měli kompletní výsledky vesměs ze 2 odběrů – letního a podzimního. Výsledky zimních odběrů jsme měli k dispozici ales-

poň u jednoho jezera z každého pohoří. Výsledky jarních měření byly v době psaní článku k dispozici pouze na několika lokalitách. Data ze všech ročních období jsme měli pouze v případě jezera „Na Čihadle – u věže“.

Jak již bylo uvedeno, pH vod bylo velmi nízké. Důvodem je jednak velké množství komplexních koloidních sloučenin (kyselých huminových látek) a zároveň nízká koncentrace kationtů, jež by tyto kyselé látky neutralizovaly. Celkově nejnižší hodnoty vykazovala jezera v NPR Velké Jeřábí jezero a Mlynářská slať – jih, nejvyšší pak jednoznačně jezero „u věže“ na rašelinisti Na Čihadle. Tyto výsledky potvrzuji i sumy bazických kationtů, jejichž maximální a minimální hodnoty byly zjištěny ve stejných vodních plochách. Roční chod pH je zachycen na obrázku 21.

Koncentrace amonných iontů vykazovala u všech jezer výrazný roční chod. Z obrázku 22 je zřejmé, že nejvyšší hodnoty  $\text{NH}_4^+$  byly zjištěny v zimním období. Letní koncentrace byly oproti očekávání relativně nízké. Dusičnanové ionty, jež se ve vodě vyskytují zejména v důsledku nitrifikace a oxidace amonných kationtů, vykazovaly obdobný trend: nízké (resp. nulové) hodnoty v létě a naopak vysoké hodnoty na podzim a v zimě (kolem 1–2,5 mg.l<sup>-1</sup>). Vzhledem k tomu, že v chladném období roku byla jezera téměř celá zamrzlá (nedocházelo k promíchávání vodního sloupce) a vlády zde anoxicke podmínky, oxidace amonných iontů mohla probíhat jen v omezené míře. Dusičnanové ionty tedy zřejmě nejsou produktem nitrifikace a oxidace amonných iontů, ale jsou jiného původu. Vyšší koncentrace amonných iontů byly zřejmě způsobeny rozkladem usazeného fytoplanktonu a v důsledku zimní stagnace. Koncentrace  $\text{NH}_4^+$  jsou vůči ostatním typům jezer relativně vysoké (zvláště v zimě).

Koncentrace bazických kationtů ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$ ) na rašelinisti jezerech byly extrémně nízké. Zatímco se hodnoty u jiných genetických typů jezer pohybovaly v řádu desítek mg.l<sup>-1</sup>, u rašelinnych vod to bylo v řádu desetin či setin mg.l<sup>-1</sup>. Vliv nízkých koncentrací na pH byl již zmíněn.

Koncentrace síranových aniontů vykazovaly regionální rozdíly. Zatímco v jezerech na Modravských slatích byly zjištěny relativně nízké hodnoty, u rašelinnych jezer v Krkonoších, Jizerských a Krušných horách byly ve sledovaných termínech hodnoty vyšší. Tyto vyšší koncentrace jsou zřejmě způsobeny většími vstupy  $\text{SO}_4^{2-}$  z atmosféry do vody. Nižší koncentrace síranů na Šumavě vysvětluje Hruška (1999) vysokou schopností zdejších půd poutat sírany na jílovitých částicích, nikoliv nižšími imisemi síranů. Povrchové vody v oblasti Modravských slatí jsou tak díky půdám chráněny před vstupem síranů. Vzhledem k vyšším koncentracím  $\text{SO}_4^{2-}$  (a zároveň  $\text{NO}_3^-$ ) v rašelinnych jezerech Jizerských hor (jezero „Na Čihadle – u věže“) by se dalo předpokládat velmi nízké pH (nižší než na Šumavě). Jelikož jsou však ve vodě zároveň větší koncentrace bazických kationtů, zvýšená kyselost vody zde nebyla zaznamenána. Celkově jsou koncentrace  $\text{SO}_4^{2-}$  ve srovnání s hodnotami naměřenými na jiných typech jezer opět výrazně nízké. Např. v zatopeném žulovém lomu Srní u Hlinska jsme ve stejném období naměřili hodnoty kolem 20 mg.l<sup>-1</sup> (při hladině).

Chloridy a zejména fluoridy byly ve vodách rašelinisti jezer zastoupeny jen ve velmi malém množství. Koncentrace chloridů se pohybovala v rozmezí 0,1 mg.l<sup>-1</sup> (Mlynářská slať – jih) až 2,0 mg.l<sup>-1</sup> (Úpské rašelinisti), což byly zhruba šedesátinásobně nižší hodnoty proti běžným jezerům nerašelinné povahy. Obsah fluoridů v jezerech byl buď velmi zanedbatelný, či nulový.

## 6. Závěr

Rašeliniště jezera jsou velmi svérázným genetickým typem jezer. Obecně platí, že organogenní jezera jsou velmi malá (řádově stovky m<sup>2</sup> až 1 ha) a mělká (max. 2 m). Ze shromážděných dat o vlastnostech rašelinných ložisek navíc vyplývá, že větší hloubka mnohých jezer je vzhledem k malé mocnosti rašeliny nemyslitelná. Tyto skutečnosti v kombinaci s podobnou genezí jezer mají za následek velmi podobné fyzikální a chemické vlastnosti vody. Je zřejmé, že takovéto malé vodní plochy jsou do velké míry ovlivňovány okolními atmosférickými podmínkami. Tuto skutečnost potvrzuji i výsledky fyzikálních a chemických měření: Zatímco v teplém období roku se vodní sloupec jezer výrazně prohříval, v chladném období byl v řadě případů až do dna zamrzlý. Tyto stavby se pak odražely zejména v kyslíkových poměrech a chemickém složení vody. Díky malé hloubce se ve vodním sloupci rašeliništěných jezer nevytvářejí typické vrstvy metalimnion ani hypolimnion.

Vzhledem k časové náročnosti práce byla data v rámci jednoho ročního období získána mnohdy až s měsíčním zpožděním. V horských podmínkách tak byla data za zimní období naměřena mnohdy až na konci března. Je třeba poznámenat, že i když množství odebraných vzorků vody nebylo malé, pro pochopení „života“ těchto dynamických ekosystémů je potřeba dlouhodobějších a hlavně kontinuálnějších měření (kompletnost časové řady ovlivňovala nedostupnost lokalit v zimním období a časté poruchy měřicích terénních i laboratorních přístrojů).

### Literatura:

- Databáze rašelinišť ČR – výběr. CD-ROM. Data z archivu rašeliništěnho fondu ČR. VÚMOP, Praha 2004.
- DOHNAL, Z., KUNST, M., MEJSTŘÍK, V., RAUČINA, Š., VYDRA, V. (1965): Československá rašeliniště a slatinistič. Nakl. ČSAV, Praha, 336 s.
- HRUŠKA, J. (1999): Kyselé deště a horská rašeliniště. Vesmír, 78, č. 8, Praha, s. 438-444.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky – současný stav geografického výzkumu. PřF UK, Praha, 216 s.
- KŘÍŽ, V. (1971): Limnologie Mechových jezírek u Rejvízu. Campanula, č. 2, Ostrava, s. 47-78.
- MELICHAR, V. (1998): Dynamika reliéfu a vegetace Rašeliniště Rolavy v Krušných horách. Diplomová práce, PřF UK Praha, katedra botaniky, 114 s.
- MRÁZKOVÁ, I., SKUHRAVÝ, V. (1999): Borovice kleč (*Pinus mugo*) na rašeliništích Moravských slatí na Šumavě. Ochrana přírody, 54, č. 10, s. 298-299.
- NEVRYL, M. (1962): Topografie živých rašelinišť Jizerských hor. Sborník Severočeského muzea – přírodní vědy, Liberec, č. 2, s. 33-84.
- OULEHLE, F. (2002): Limnologie a hydrochemismus v NPR Rejvíz. Diplomová práce, PřF UK Praha, Ústav pro životní prostředí, 84 s.
- PITTER, P. (1990): Hydrochemie. SNTL, Praha, 568 s.
- POŠTA, P. (2004): Organogenní jezera v České republice. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 120 s.
- POŠTA, P. (2003): Organogenní jezera v ČR. In Janský, B., Šobr, M. (eds.): Jezera České republiky – současný stav geografického výzkumu. PřF UK, katedra fyz. geogr. a geoekologie, Praha, s. 71-92.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Studia geographica, 16, Geografický ústav ČSAV, Brno, 82 s.
- SPIRHANZL, J. (1951): Rašelina, její vznik, těžba a využití. Přírodověd. nakladatelství, Praha, 356 s.

## BOG POOLS IN CZECHIA

As a part of research into lakes in Czechia, this paper presents the results of chemical analyses and morphometric as well as physical measurement of water in raised-bog lakes. Research was conducted on a representative sample of locations with bog pools, selected on the basis of previous field investigations. The sample included several lakes in the Bohemian Forest (Šumava), Giant Mountains (Krkonoše), Jizerské Mountains, and Krušné Mountains.

Field investigations revealed that raised-bog lakes tend to be small. While their typical area was under 1 000 sq m, the values, obtained from the Surfer software, ranged from 340 sq m (Velké Jeřábí Lake in the Krušné Mountains) to 2 200 sq m (Rokytecká slatě Lake); an exceptional value was measured for the lake on Chalupská slatě (9 300 sq m). Given the low mean volumetric depth (between 0.5 and 1.2 m), the volume of the surveyed lakes is not very large. The volumes are in the order of hundreds of cubic metres, while only in a few of them exceeded 1 500 cu m (the largest volume is that of the lake on Chalupská slatě – approx. 10 500 cu m).

As the lakes are very similar in terms of morphometry and genetics, the properties established were also very similar. The entire water column is well mixed by wind. Therefore, the physical and chemical parameters of water are significantly dependent on weather conditions and hydrological regime (in particular temperature and conductivity). Water temperature turned out to be the most dependent, as it mimicked air temperature. Thus, in winter, some of the lakes were frozen nearly to the bottom. The conductivity of the lakes was extremely low, ranging between  $7.6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  and  $65.2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Oxygen concentrations largely depend on atmospheric conditions and the related intensity of biological processes. Thus, in the warm period of the year, good oxygen conditions prevailed near the water surface, while the water was nearly anoxic at the bottom. In winter, the lakes were largely frozen and covered with a layer of snow, which resulted in low or zero oxygen concentrations.

In terms of chemistry, the lakes may be divided into two groups, using particularly water acidity. One includes the Bohemian Forest bog pools in the area of Modravské slatě and the Velké Jeřábí Lake in the Krušné Mountains, which have low pH values (from 3.82 to 4.51). The other group is characterized by slightly higher pH values (from 4.07 to 5.43). This group includes bog pools in the Giant and Jizerské Mountains.

It was found that  $\text{NH}_4^+$  concentrations are relatively high when compared with other types of lakes (approx.  $1\text{--}2.5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ), particularly so in winter. Concentrations of basic cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , and  $\text{K}^+$ ) in bog pools were extremely low (only hundredths to tenths of  $\text{mg/l}$ ), which is related to the low pH. Concentrations of sulphate anions varied regionally. While comparatively low values were established in the Modravské slatě Lakes, the values for the lakes in the Giant, Jizerské and Krušné Mountains were higher. Higher concentrations in North-eastern Bohemia are probably a result of higher  $\text{SO}_4^{2-}$  inputs from the atmosphere into water. Generally, however, the  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations, when compared with measurements in other lake types, are very low. For chlorides and especially fluorides, only trace quantities were recorded in the bog pools.

Initially in the research we assumed that the bog pools have variable physical and chemical properties, given their diverse physical-geographical conditions. It turned out, however, that the variability is minimal. The reason behind it is the similar genesis and morphology in the different lake basins.

Measurements for each season of the year from the surveyed locations were repeatedly carried out in time spans of up to one month. In future, it would therefore be useful to have a more homogeneous and continuous data series to facilitate a better understanding of how this unique and vulnerable environment develops.

Fig. 1 – Location of monitored lakes in the Modravské slatě area in the Šumava Mountains (Bohemian Forest). 1 – Rokytecké slatě, 2 – Přední Mlynářská slatě, 3 – slatě Gayerrück, 4 – Roklanské slatě, 5 – Blateneská slatě. Map after: Mrázková, Skuhrová (1999).

Fig. 2 – Temperature profile in the "Roklanská slatě-east" lake (changes of temperature in dependence on the depth). Axis x: temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), axis y: depth (m).

Fig. 3 – Water conductivity in the "Roklanská slatě-east" Lake. Axis x: conductivity ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), axis y: depth (m).

- Fig. 4 – Oxygen conditions in the "Roklanská slat-east" Lake. Axis x: concentration of dissolved oxygen ( $\text{mg.l}^{-1}$ ), axis y: depth (m).
- Fig. 5 – Ionic composition of water in the "Roklanská slat-east" Lake. Axis x: type of ion in water, axis y: concentration ( $\text{mg.l}^{-1}$ ), columns from the left: summer, autumn, winter, spring.
- Fig. 6 – Bathymetric map of the "Roklanská slat-east" Lake. Depth degrees in metres.
- Fig. 7 – Bathymetric map of the largest lake on the Blatenská slat Peatland. Depth degrees in metres; a – bare peatland areas or overgrowing parts of the lake.
- Fig. 8 – Bathymetric map of the largest lake on the Rokytecké slaté Peatlands. Depth degrees in metres; a – bare peatland areas or overgrowing parts of the lake.
- Fig. 9 – Temperature profile in the "Mlynářská slat-south" Lake (changes of temperature in dependence on the depth). Axis x: temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), axis y: depth (m).
- Fig. 10 – Water conductivity in the "Mlynářská slat-south" Lake. Axis x: conductivity ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ), axis y: depth (m).
- Fig. 11 – Oxygen conditions in the "Mlynářská slat-south" Lake. Axis x: concentration of dissolved oxygen ( $\text{mg.l}^{-1}$ ), axis y: depth (m).
- Fig. 12 – Ionic composition of water in the "Mlynářská slat-south" Lake. Axis x: type of ion in water, axis y: concentration ( $\text{mg.l}^{-1}$ ).
- Fig. 13 – Bathymetric map of the "Mlynářská slat-jih" Lake. Depth degrees in metres; a – bare peatland areas.
- Fig. 14 – Bathymetric map of the lake in the Chalupská slat Peatland. Depth degrees in metres; a – peninsulas and islands.
- Fig. 15 – Bathymetric map of the largest lake in the Czech part of the Úpské rašeliniště Peatland. Depth degrees in metres.
- Fig. 16 – Ionic composition of water in the largest lake in the Czech part of the Úpské rašeliniště Peatland. Axis x: type of ion in water, axis y: concentration ( $\text{mg.l}^{-1}$ ).
- Fig. 17 – Bathymetric map of water in the largest lake in the Czech part of the Peatland Na Čihadle (near the observation tower). Depth degrees in metres; a – bare peatland areas.
- Fig. 18 – Ionic composition of water in the lake near the observation tower on the "Na Čihadle" Peatland (Jizerské Mountains). Axis x: type of ion, axis y: concentration ( $\text{mg.l}^{-1}$ ).
- Fig. 19 – Ionic composition of water in the largest lake in the National Nature Reserve Velké Jeřábí Lake in the Krušné Mountains. Axis x: type of ion in water, axis y: concentration ( $\text{mg.l}^{-1}$ ).
- Fig. 20 – Water conductivity in the bog pools throughout the year. The values were measured by terrain equipment on the localities. Axis x: localities, axis y: conductivity ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ). Columns from the left: summer 2003, autumn 2003, winter 2004, spring 2004.
- Fig. 21 – Value of pH in waters of the monitored peatbog lakes throughout the year. Columns from the left: summer 2003, autumn 2003, winter 2004, spring 2004.
- Fig. 22 – Ammonium concentrations ( $\text{NH}_4^+$  v  $\text{mg.l}^{-1}$ ) in the monitored peatbog lakes throughout the year. Columns from the left: summer 2003, autumn 2003, winter 2004, spring 2004.

(Autor je postgraduálním studentem na katedře fyzické geografie a geoekologie PřF UK,  
Albertov 6, 128 43 Praha 2, e-mail: petrposta@centrum.cz.)

*Do redakce došlo 29. 6. 2005*

TOMÁŠ HRDINKA

## ANTROPOGENNÍ JEZERA ČESKA

T. Hrdinka: *Anthropogenic Lakes in Czechia.* – Geografie–Sborník ČGS, 110, 3, pp. 210–228 (2005). – Anthropogenic lakes constitute one of the most significant genetic groups of lakes in Czechia. The water quality of these lakes formed through flooding of mined-out pits can be influenced by a number of factors such as physical and chemical properties of exploited rock, characteristics of the mine surroundings, secondary anthropogenic interference and time elapsed since their flooding. The quality of water determines their potential utilization, such as in water supply, agriculture, industry, recreation, nature preservation, etc. This article compares five anthropogenic lakes in mining pits after exploitation of different kind of rocks and on the basis of lake basin characteristics and physical and chemical analysis of water formulates the possibilities of their potential utilization in the context of the local landscape.

KEY WORDS: lake classification – water quality – mining areas – anthropogenic processes

Článek vznikl za finanční podpory grantu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264).

### 1. Úvod

Antropogenní jezera tvoří vedle fluviálních jezer nejpočetnější genetickou skupinu jezer v Česku. V nejširším slova smyslu lze jimi označit veškeré vodní plochy vzniklé v důsledku geomorfologické činnosti člověka, včetně rybníků a údolních přehradních nádrží. Užším pojetí lze jako antropogenní označit pouze ta jezera, která vznikla v souvislosti s těžbou nerostných surovin, jako např. jezera v opuštěných dolech a lomech, vodní plochy na přidružených výsypkách, v poklesových kotlinách apod. Oproti uměle hrazeným nádržím se totiž tato jezera nedají běžnými prostředky ani vypustit, ani nijak regulovat (Janský, Šobr 2003; Hrdinka 2004).

Na morfometrii jezerní pánve a kvalitu vody má zásadní vliv druh těžené horniny. Samotné fyzikálně-chemické vlastnosti vody jsou pak dále ovlivněny řadou dalších faktorů, z nichž nejdůležitější jsou rozloha a hloubka jezera, charakter bezprostředního okolí, druhotné antropogenní ovlivnění a stáří jezera. Z hlediska druhu těžené horniny leze antropogenní jezera rozdělit na jezera vzniklá po těžbě: 1. písku a štěrkopísku, 2. kaolinu, 3. hnědého a černého uhlí, 4. vápence, břidlice a droby, 5. žuly, dioritu a čediče, 6. cihlářské hlíny a jílu a 7. jiných nerostných surovin.

Cílem autora bylo porovnat pět vybraných antropogenních jezer vzniklých po těžbě různých nerostných surovin, a to z hlediska kvality jezerní vody a posoudit vliv těžené horniny a druhotné vnější zátěže (zemědělství, odpady, rekreace) na její fyzikální a chemické vlastnosti. Na základě dosažených výsledků pak následně zhodnotit stav jejich současného využití a navrhnut případné potenciální využití v regionu místní krajiny (zemědělství, průmysl, pitná voda, rekreace, ochrana přírody).

Studium antropogenních jezer bylo prováděno v rámci řešení grantových projektů GAUK „Jezeera České republiky“ a GAČR „Atlas jezer České republiky“ (Janský, Šobr a kol. 2003), jejichž hlavním řešitelem byl B. Janský.

## 2. Výběr jezerních lokalit

Antropogenní jezera se obvykle vyznačují vysokou mírou variability, v níž hraje roli řada faktorů. Chceme-li provést objektivní srovnání kvality vody v několika náhodně vybraných jezerech vzniklých v souvislosti s těžbou nerostných surovin, je třeba při jejich výběru zajistit, aby si druhotné faktory byly co nejvíce podobné. Pro účely této práce se hlavními kritérii výběru staly různý druh těžené horniny, podobná rozloha jezera, podobné stáří jezera (tj. doba od zatopení vytěžené prostory) a podobný druh současného využití. Na základě klasifikace antropogenních jezer bylo stanoveno pět druhů hornin, na jejichž tradiční oblasti těžby pak byla soustředěna pozornost. Z mapových podkladů KČT 1 : 50 000 pak bylo z jednotlivých oblastí vtipováno několik potenciálních jezer, které se svou velikostí řádově shodovaly. Terénním průzkumem na místě pak došlo k ověření skutečné velikosti a zjištění současného stavu využití jezer. Na místě bylo rovněž posouzeno stáří jezer, a to podle fyziognomie jezerní vody (míra eutrofizace), charakteru okolí jezera (velikost a množství porostů) a ústních sdělení lidí žijících v okolí. Posouzením všech kritérií bylo následně vybráno pět reprezentativních jezer, která byla podrobena dalšímu výzkumu.

## 3. Metodika měření a zpracování dat

### 3.1. Morfometrie jezerní pánve

Vyměření polygonu jezera bylo provedeno pomocí totální geodetické stanice Leica TCR 705 zámkeryami na odrazné hranoly rozestavované po břehové čáře v odstupech 1–5 m v závislosti na konkrétní velikosti, tvaru a charakteru břehové čáry jezera. Měření hloubek bylo prováděno na základě metodiky užívané kolektivem řešitelů "Atlas jezer České republiky" (Janský, Šobr a kol. 2003). Hloubka byla stanovena každých 5 m pomocí echolotu Garmin 240 připevněného na gumovém člunu, který se pohyboval podél ocejchovaného lanka spojujícího dva profilové body na břehové čáře. Naměřená data byla podle metodiky vypracované na katedře fyzické geografie a geoekologie PřF UK ve spolupráci s J. Česákem dále zpracována v programech MapInfo 7.0 a Surfer 8.0, čímž vznikly výsledné batymetrické mapy jezer. Pomocí jednoduchých softwarových nástrojů byly vypočteny základní morfometrické charakteristiky jezerní pánve.

### 3.2. Fyzikální vlastnosti jezerní vody

Pro měření základních fyzikálních vlastností vody bylo použito měřicích přístrojů firmy Gryf (teploměr, konduktometr a oxymetr), Secciego desky a Forel-Uleovy barevné stupnice. Čidla pro stanovení teploty vody a vodivosti zavěšená na 40 m dlouhých kabelech umožnila získat kompletní profil vodního sloupce nad nejhlubším místem jezera, a to většinou v kroku 0,5 m. Měření kyslíku bylo provedeno ve stejném kroku do hloubky max. 10 m. Průhlednost vody se posuzovala proti Secciego desce spuštěné ze zastíněného boku lodi na hranici viditelnosti, barva jezerní vody podle Forel-Uleovy

stupnice proti Secciiho desce ponořené do poloviny hloubky průhlednosti. K výsledkům byly připojeny informace o čase měření a aktuálním stavu počasí.

### 3.3. Chemismus jezerní vody

Vzorky pro chemický rozbor byly odebrány nad nejhlubším místem jezera vždy z hloubek 0,3 m pod hladinou (povrch) a přibližně 1–2 m nad dnem (hloubka). Hlubinný odběr byl proveden pomocí Van Dornova odběrného válce zavřeném na ocejchovaném lanku. Vzorky vody byly přes jemné síto přelity do plastových nádob vymytých deionizovanou vodou a zakonzervo-vány.

Měření fyzikálních vlastností jezerní vody se stejně jako odběr vzorků pro chemický rozbor uskutečnilo čtyřikrát v průběhu 12 měsíců tak, aby reprezentovalo vlastnosti vody měnící se v průběhu čtyř ročních období. Odběry byly prováděny přibližně s měsíčním zpožděním za slunovraty a rovnodennostmi (polovina července, října, ledna a dubna), a to vždy ve dvou až třech po sobě následujících dnech. Posléze byly stabilizované vzorky převezeny k laboratornímu rozboru.

## 4. Výsledky výzkumu vybraných jezer

Na základě výše uvedených kritérií byly vybrány a výzkumu podrobeny následující lokality: jezero v hnědouhelném dole na lokalitě Lom u Litvínova, jezero v kaolinovém dole na lokalitě Čankov u Karlových Varů, jezero v pískovém dole na lokalitě Březhrad u Hradce Králové, jezero ve vápencovém lomu na lokalitě Amerika u Berouna a jezero v žulovém lomu na lokalitě Srní u Hlinska.

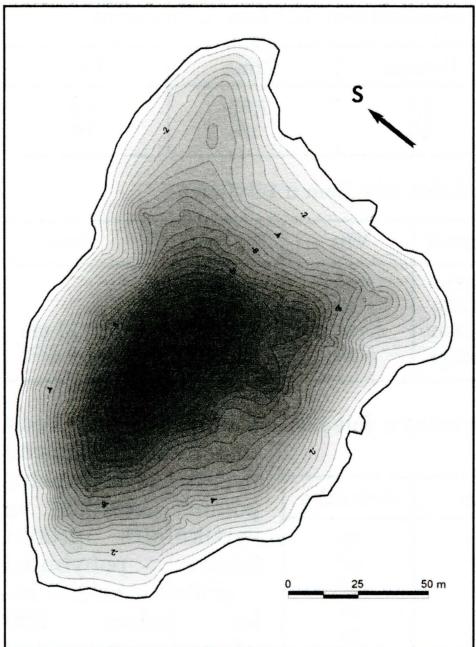
### 4.1. Jezero v hnědouhelném dole u Litvínova

#### 4.1.1. Geografická poloha, přírodní poměry, historie těžby a morfometrie jezerní pánve

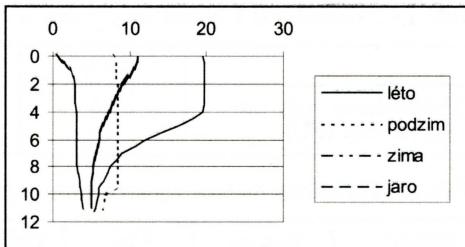
Jezero se nachází v bývalém povrchovém hnědouhelném dole Clement I. 2,5 km SV od Litvínova na zem. souřadnicích  $50^{\circ} 36' 32''$  severní šířky a  $13^{\circ} 38' 36''$  východní délky. Těžní jáma leží při severním okraji Mostecké pánve na úpatí Krušných hor ve výšce 360 m n. m. Okraje těžní jámy lemují širší pás odrostlých bříz, pokrývající i bývalé výsypky (J a V část). Okolí dolu je tvořeno pozemky zemědělské půdy (J), rekreačního areálu (SZ) a rekreačně-obytné zástavby (V). Zdejší povrchová těžba navázala na hlubinnou těžbu hnědého miocenního uhlí v nedalekém dole Vilém, téženém v letech 1896–1926. Dnes zapomenutý důl Clement I. je výsledkem povrchové těžby na výchozech hnědouhelné sloje mocné 10–20 m. Těžba byla ukončena patrně koncem 60. let 20. století (Martinovská 1995). Jezero nepravidelného tvaru, protažené v delší ose ve směru Z–V, vyplňuje jezerní pánev vyhloubenou v měkkých štěrkopískových souvrstvích protknutých uhelnou slojí. Jedná se o pánev s pozvolna se svažujícím dnem bez etážových stupňů s největší hloubkou při severním okraji jezera.

#### 4.1.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti jezerní vody

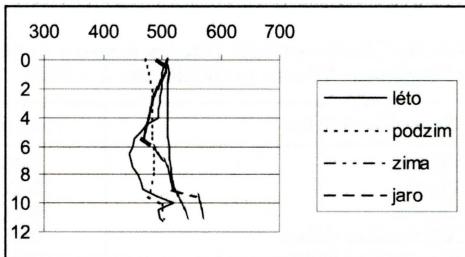
Z obrázků 1–6 a tabulek 1–3 je patrné, že se jedná o středně hluboké, oligotrofní, holomiktní jezero s výměnou vody v celém vodním sloupci. Výraznému



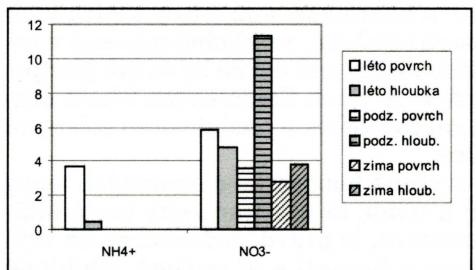
Obr. 1 – Batymetrická mapa jezera v hnědouhelném dole Lom u Litvínova



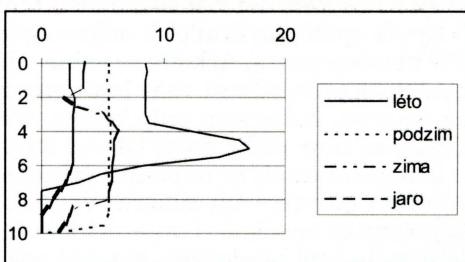
Obr. 2 – Teplotní poměry jezera v hnědouhelném dole Lom u Litvínova. Osa x – teplota ( $^{\circ}$ C), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



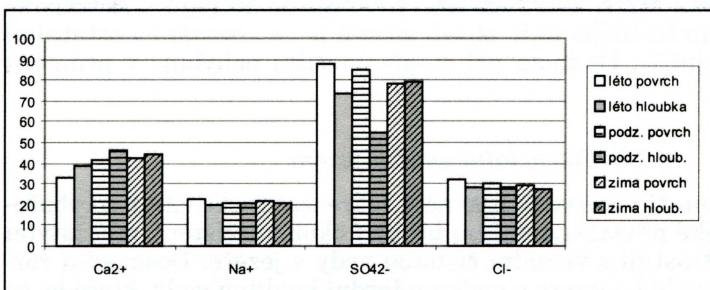
Obr. 3 – Vodivost v jezeře v hnědouhelném dole Lom u Litvínova. Osa x – konduktivita ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 5 – Koncentrace iontů dusíku v hnědouhelném dole Lom u Litvínova. Osa y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.



Obr. 4 – Kyslíkové poměry jezera v hnědouhelném dole Lom u Litvínova. Osa x – koncentrace rozpuštěného kyslíku ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 6 – Koncentrace dalších vybraných iontů v hnědouhelném dole Lom u Litvínova. Osa y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.

Tab. 1 – Průhlednost a barva vody v jezeře v hnědouhelném dole Lom u Litvínova

	Léto	Podzim	Zima	Jaro
Průhlednost vody (m)	4,0	2,7	7,85	5,4
Barva vody (FU)	15	10	15	10

Tab. 2 – Podmínky měření v jezeře v hnědouhelném dole Lom u Litvínova

Měření	Datum	Čas	Oblačnost	Vítr	Teplota (°C)	Jiné
Léto	4.7.03	7:30	polojasno	slabý	16,5	
Podzim	20.10.03	9:00	zataženo	slabý	3,7	
Zima	12.1.04	9:30	skoro jasno	čerstvý	2,8	
Jaro	19.4.04	9:30	zataženo	slabý	10,1	led 15 cm slabý déšť

Tab. 3 – Morfometrické poměry jezera v hnědouhelném dole Lom u Litvínova. Měření proběhlo dne 4.7.2003.

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Obvod	543	m
Plocha	16 200	$m^2$
Objem	76 500	$m^3$
Maximální délka	194,1	m
Maximální šířka	124,8	m
Maximální hloubka	11,9	m
Střední volumometrická hloubka	4,7	m

v průběhu celého roku dobře prokysličeno téměř v celém vertikálním profilu, výkyvy v nasycení souvisí se změnou teploty a nahromaděním fotosyntetizujících či kyslík spotřebovávajících mikroorganismů (dýchání, rozkladné procesy) v určité hloubce jezera. Ačkoliv se jedná o hnědouhelný lom a dalo by se tak předpokládat, že průhlednost vody bude omezená, je ze všech zkoumaných lokalit druhá nejvyšší. Zabarvení vody během roku značně kolísá a osculuje mezi zelenými a žlutými tóny podle Forel-Uleovy stupnice.

Z iontové analýzy nápadně vybočuje zvýšená koncentrace amonných iontů v letním povrchovém odběru. Vzhledem k tomu, že ammonné ionty často indikují čerstvé znečištění organického charakteru, je pravděpodobné, že na zvýšení měla vliv především masová rekreace a činnosti s ní spojené. Hlubinné vzorky pak vykazují zvýšený obsah dusičnanů při současném malém množství amonných iontů. To je typický obraz pro holomiktní jezera, kdy s promicháváním vody dochází za spoluúčasti nitrifikačních bakterií k oxidaci amonných iontů vznikajících při rozkladu odumřelé organické hmoty. Zajímavé je, že koncentrace dusičnanů při povrchu nepřevyšují  $6 \text{ mg.l}^{-1}$ , přičemž norma na pitnou vodu (Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb.) povoluje až  $50 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ačkoliv se jedná o bývalou těžbu hnědého uhlí, obsah síranů je ve srovnání s ostatními lokalitami druhý nejnižší. Hodnota pH se při povrchu pohybuje v průměru okolo 7,8.

#### 4.1.3. Potenciální využití jezera

Jezero je v současnosti využíváno hlavně k rekreačním aktivitám a rybaření. Vzhledem k vysoké návštěvnosti jsou břehy i okolí znečištěny množstvím odpadků, které kontrastují s vizuální čistotou vody v jezeře. Dosavadní rozbory potvrdily, že se jedná o jezero s nadstandardní kvalitou vody, které by se

po zavedení určitých opatření mohlo zjevně vodohospodářsky využívat k místnímu zásobování pitnou, popř. velmi kvalitní užitkovou vodou. Důležitým limitujícím faktorem by se případně mohly stát dodatečné rozbory zaměřené na specifické organické sloučeniny, obsah těžkých kovů či mikrobiologické znečištění. Z dosavadních výsledků se tak určitým problémem jeví pouze přechodné nadlimitní zvýšení obsahu amonných iontů, které by se dalo řešit např. omezením rekrece. Vzhledem k nízkému obsahu nerozpuštěných látek by se voda z jezera dala dobře využít i k místním závlahám v zemědělství či sadařství, popřípadě i v menší průmyslové výrobě.

## 4.2. Jezero v kaolinovém dole u Karlových Varů

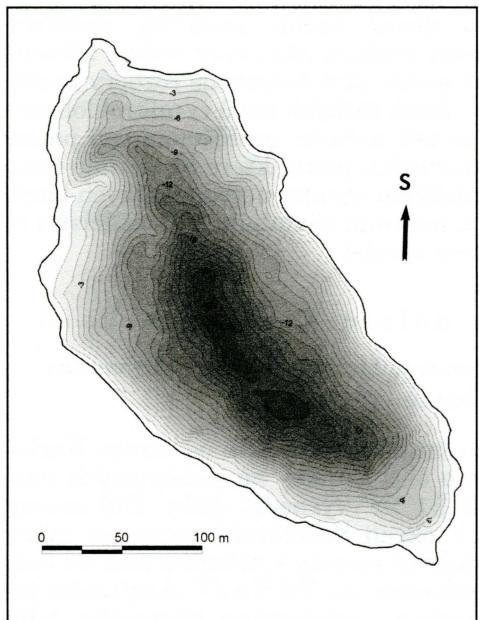
### 4.2.1. Geografická poloha, přírodní poměry, historie těžby a morfometrie jezerní pánve

Jezero se nachází v bývalém kaolinovém dole 4 km SSZ od centra Karlových Varů mezi městskou částí Otovice a obcí Čankov na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ} 15' 19''$  severní šířky a  $12^{\circ} 51' 28''$  východní délky. Důl známý pod názvem Jáma či Sachta leží na JV okraji Sokolovské pánve ve výšce 405 m n. m. Okraje těžní jámy lemují břehové porosty s několika řadami listnatých stromů, v mělké části přistupují rákosiny (S). Při S a JV okraji těžní jámy se na rozsáhlých výsypkách vytvořilo společenstvo březového háje s hustým keřovým podrostem (ostružník). Nejbližší okolí jezera je intenzivně zemědělsky obhospodařováno. Na několika místech je patrné sesouvání nezpevněných břehových partií. Již v roce 1844 zde byla započata těžba hnědouhelné sloje Antonín. V podloží hnědouhelné formace se až do ukončení těžby v roce 1949 těžil kaolin vzniklý tropickým zvětráním žulového podloží ( Macháček 1965). Jezero oválného tvaru, protažené ve směru SZ–JV, plně odpovídá způsobu těžby měkkého kaolinu, kdy dno ve všech směrech plynule poklesává až k samotnému středu těžní jámy, kde nalezneme největší hloubky.

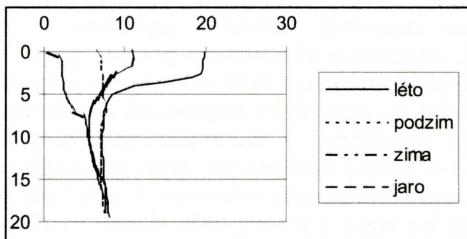
### 4.2.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti jezerní vody

Z obrázků 7–12 a tabulek 4–6 je patrné, že se jedná o poměrně hluboké, meromiktní jezero s výměnou vody pouze do určité hloubky, kde změny v průběhu teplot během roku úzce souvisí s naměřenou vodivostí. Pro toto jezero se jako zlomové jeví hloubky 7 a 14 m, kde se náhle zvyšuje konduktivita, čímž je omezen až znemožněn proces vertikální výměny vody během roku. Od téhoto hloubek se stírají rozdíly u jednotlivých teplotních profilů a rovněž zde dochází k pozvolnému nárůstu teploty. Tento jev souvisí podle Wetzela (2001) s poklesáváním teplejší, avšak minerálně nasycenější přibřežní vody ke dnu jezera, kde se vytváří tzv. monimolimnion (stabilní vrstva se zvýšenou salinitou) s hodnotami vodivosti až  $1800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (tj. vůbec nejvyšší zaznamenaná). Na zvyšování teploty směrem ke dnu jezera se spolupodílí i činnost mikroorganismů. Letní křivka grafu kyslíkových poměrů opět ukazuje na přechodné zvýšení nasycení vody kyslíkem na hranici metalimnionu, celkově jsou však kyslíkové poměry poměrně nepříznivé. Průhlednost vody je vzhledem k povaze kaolinu (nezpevněná hornina) celoročně omezená, zabarvení vody se pohybuje v žlutých až hnědožlutých tónech podle Forel-Uleovy stupnice.

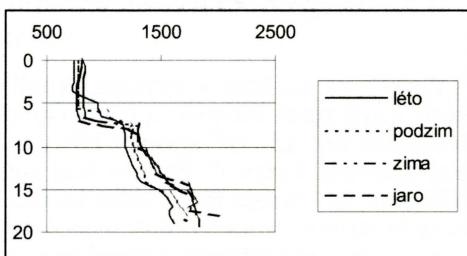
S anoxickým prostředím u dna souvisí nadměrné koncentrace amonných iontů, které téměř padesátinásobně převyšují normu na pitnou vodu (Vyhláš-



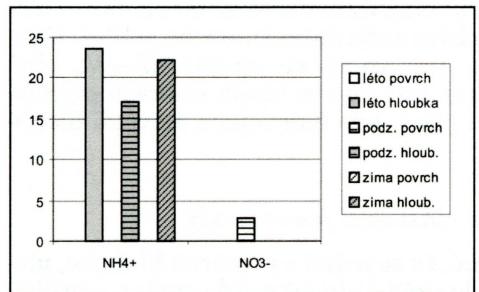
Obr. 7 – Batymetrická mapa jezera v kaolínovém dole Čankov u Karlových Varů



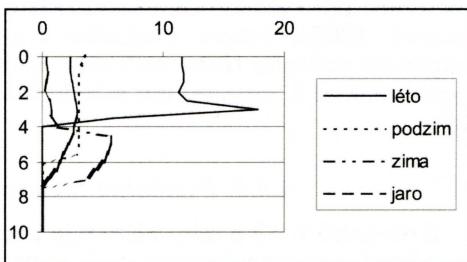
Obr. 8 – Teplotní poměry jezera v kaolínovém dole Čankov u Karlových Varů. Osa x – teplota (°C), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



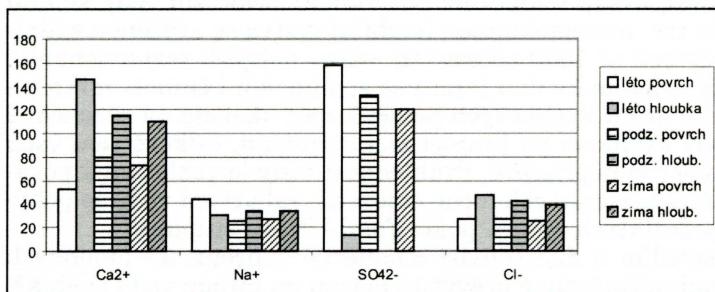
Obr. 9 – Vodivost v jezeře v kaolínovém dole Čankov u Karlových Varů. Osa x – konduktivita ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 11 – Koncentrace iontů dusíku v kaolínovém dole Čankov u Karlových Varů. Osa y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.



Obr. 10 – Kyslíkové poměry jezera v kaolínovém dole Čankov u Karlových Varů. Osa x – koncentrace rozpustěného kyslíku ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 12 – Koncentrace dalších vybraných iontů v kaolínovém dole Čankov u Karlových Varů. Osa y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.

Tab. 4 – Průhlednost a barva vody v kaolínovém dole Čankov u Karlových Varů

	Léto	Podzim	Zima	Jaro
Průhlednost vody (m)	2,3	0,35	1,85	1,5
Barva vody (FU)	18	18	15	17

Tab. 5 – Podmínky měření v jezeře v kaolínovém dole u Karlových Varů

Měření	Datum	Čas	Oblačnost	Vítr	Teplota (°C)	Jiné
Léto	4.7.03	14:00	oblačno	slabý	19,5	po dešti
Podzim	20.10.03	13:00	zataženo	slabý	3,5	po dešti
Zima	12.1.04	12:30	oblačno	slabý	4,0	
Jaro	19.4.04	13:30	zataženo	slabý	7,9	led 13 cm

Tab. 6 – Morfometrické poměry jezera v kaolínovém dole u Karlových Varů. Měření proběhlo dne 23.6.2003.

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Obvod	950	m
Plocha	44 780	m <sup>2</sup>
Objem	361 500	m <sup>3</sup>
Maximální délka	385,9	m
Maximální šířka	167,7	m
Maximální hloubka	19,2	m
Střední volumometrická hloubka	8,1	m

nimolimnionu prezentují prakticky nulové koncentrace síranových a dusičnanových iontů v hlubinných vzorcích. Obecně lze zhodnotit toto jezero jako nejvíce mineralizované ze všech zkoumaných lokalit. Hodnota pH se při povrchu pohybuje v průměru okolo 7,5.

#### 4.2.3. Potenciální využití jezera

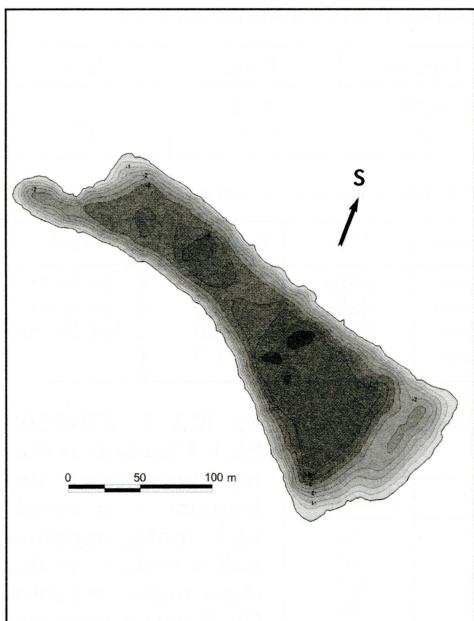
Jezero je v současnosti využíváno převážně k rekreačně-sportovním aktivitám (triatlon) a vzhledem k vyšší eutrofizaci vody (poloha uprostřed polí, hustá doprovodná vegetace) též k poměrně intenzivnímu rybaření. V kontrastu s předešlým jezerem však není voda z tohoto jezera vhodná k žádným jiným účelům (kvalita vody se ve vertikálním směru vlivem permanentní anoxie značně zhoršuje) a jako efektivní se jeví pouze pokračování ve využití stávajícím.

### 4.3. Jezero v pískovém dole u Hradce Králové

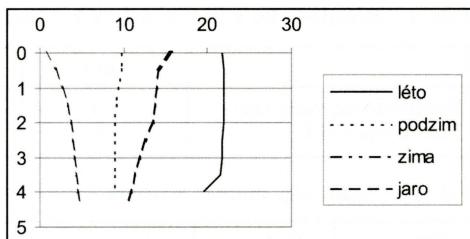
#### 4.3.1. Geografická poloha, přírodní poměry, historie těžby a morfometrie jezerní pánve

Jezero se nachází v bývalém pískovém dole 3 km JV od centra Hradce Králové mezi městskou částí Pražské předměstí a obcí Březhrad na zeměpisných souřadnicích 50° 11' 26" severní šířky a 15° 47' 48" východní délky. Důl leží ve východní části Východolabské tabule na labské terase ve výšce 230 m n. m. Okraje těžní jámy lemují břehové porosty s olšemi, břízami a rozsáhlými porosty rákosin. Jižní okolí jezera pokrývá dubohabrový les s příměsí břízy, východní přístupová část je tvořena listnatým hájem na hrubém písčitém podkladu. Nejbližší okolí severní části jezera je intenzivně zemědělsky využívá-

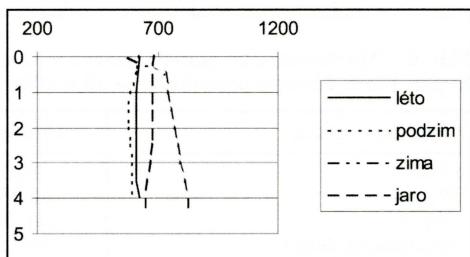
ka MZ č. 376/2000 Sb.). Podobně zvýšené koncentrace nalezneme i u ostatních iontů, zejména pak u iontů vápníku (kaolinické zvětrání Ca-zivců) a síry (méně kvalitní hnědouhelné nadloží). Anoxicke prostředí v mo-



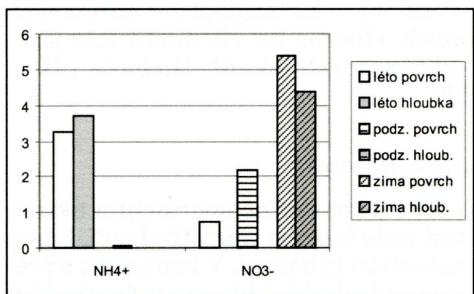
Obr. 13 – Batymetrická mapa jezera v pískovém dole Březhrad u Hradce Králové



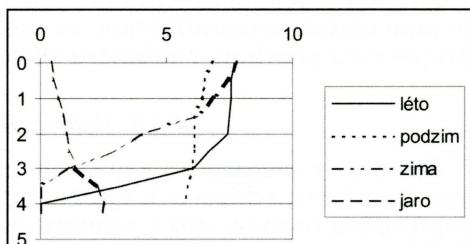
Obr. 14 – Teplotní poměry jezera v pískovém dole Březhrad u Hradce Králové. Osa x – teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



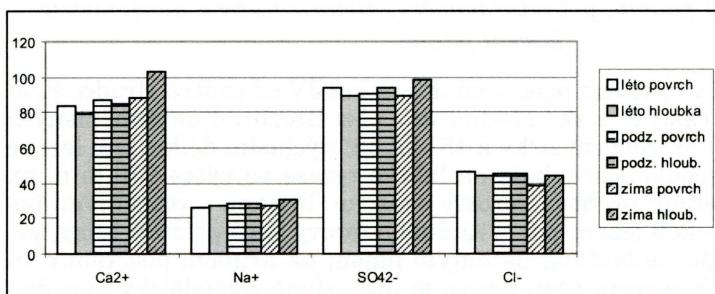
Obr. 15 – Vodivost v jezeře v pískovém dole Březhrad u Hradce Králové. Osa x – konduktivita ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 17 – Koncentrace iontů dusíku v pískovém dole Březhrad u Hradce Králové. Osa y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.



Obr. 16 – Kyslíkové poměry jezera v pískovém dole Březhrad u Hradce Králové. Osa x – koncentrace rozpuštěného kyslíku ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 18 – Koncentrace dalších vybraných iontů v pískovém dole Březhrad u Hradce Králové. Osa y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.

Tab. 7 – Průhlednost a barva vody v pískovém dole Březhrad u Hradce Králové

	Léto	Podzim	Zima	Jaro
Průhlednost vody (m)	1,8	1,5	3,25	2,6
Barva vody (FU)	15	18	15	11

Tab. 8 – Podmínky měření v jezeře v pískovém dole u Hradce Králové

Měření	Datum	Čas	Oblačnost	Vítr	Teplota (°C)	Jiné
Léto	3.7.03	14:00	zataženo	čerstvý	16,0	déšť
Podzim	17.10.03	17:00	jasno	slabý	10,5	
Zima	14.1.04	13:30	polojasno	čerstvý	3,1	
Jaro	22.4.04	12:00	jasno	bevětří	18,8	led 13 cm

Tab. 9 – Morfometrické poměry jezera v pískovém dole u Hradce Králové. Měření proběhlo dne 4.4.2004.

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Obvod	899	m
Plocha	24 510	$m^2$
Objem	66 000	$m^3$
Maximální délka	344,3	m
Maximální šířka	127,2	m
Maximální hloubka	4,7	m
Střední volumometrická hloubka	2,7	m

ventarizace ložisek stavebních nerostných surovin 1968). Jezero obdélníkového tvaru, protažené ve směru SZ–JV, vyplňuje morfometricky jednoduchou pánev s téměř plochým dnem lemovaným poměrně příkrými svahy.

#### 4.3.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti jezerní vody

Z obrázků 13–18 a tabulek 7–9 je patrné, že se jedná o mělké, holomiktní jezero bez vyvinuté teplotní stratifikace. S vyrovnanými teplotními poměry a cirkulací vody v celém profilu jezera souvisí i vyrovnaná vodivost, která se pohybuje kolem  $750 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Vzhledem k malé průměrné hloubce a vyšší povrchové teplotě vykazuje toto jezero pokročilý stupeň eutrofizace, který je ve svých důsledcích patrný z grafu kyslíkových poměrů (obr. 16). Až na podzimní a jarní vyrovnanou bilanci zde dochází k výraznému poklesu rozpuštěného kyslíku směrem ke dnu jezera s počátkem anoxie již 1 m nade dnem, kde je kyslík spotřebováván k rozkladu odumřelého organického materiálu. Vyšší nasycení vody kyslíkem v zimní sezóně bylo způsobeno prosekáváním otvorů do ledu místními rybáři kvůli chovu ryb. Průhlednost je vlivem vyšší eutrofizace mírně omezena, zabarvení vody se v průběhu roku značně měnilo od žluté až po žlutohnědou.

Z hlediska chemismu stojí za povšimnutí překročení limitní hodnoty ( $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) v případě ammoniových iontů z letního odběru, které souvisí se zvýšeným metabolismem vodní bioty v jezeře a jeho značným zatížením rekreační činností. Vysoký obsah vápenatých iontů by pak vzhledem ke geografické poloze jezera mohl pocházet z přimíšené sprašové frakce. Zvýšené množství dusičnanů u zimního odběru je patrně důsledkem nahromadění dusíku z podzimních smyvů z okolní zemědělské půdy v kombinaci s přechodně příznivými kyslíkovými podmínkami v jezeře. Na této lokalitě byl rovněž zaznamenán nejvyš-

no. Těžený materiál tvořily kvartérní fluviální štěrkopísky kryté asi metrovou vrstvou vátých písků. Intenzivní těžba byla pravděpodobně ukončena v 50. letech 20. století, kdy bylo dosaženo hladiny spodní vody (In-

ší obsah chloridových aniontů, který však nepřevyšuje stanovenou normu pro pitnou vodu, která činí  $100 \text{ mg.l}^{-1}$ . Poměrně vysoká hodnota pH se u hladiny pohybuje v průměru okolo 7,9.

#### 4.3.3. Potenciální využití jezera

Jezero u Březhradu je vzhledem ke své poloze v bezprostřední blízkosti velkoměsta patrně rekreačně nejvíce vytíženým jezerem ze všech popisovaných lokalit. Vzhledem k bezprostřednímu okolí jezera (orná půda, rákosiny), malé nadmořské výšce, malé průměrné hloubce a masovému rekreačnímu využívání je rovněž nejvíce eutrofizované a také nejvíce zarybněné. Řízené využití jezera k chovu ryb potvrzuje prosekování otvorů do ledu v zimních měsících. Výše uvedené charakteristiky neumožňují u tohoto jezera jiné potenciální využití, než je stávající. Jistou alternativou by mohla být ochrana pozvolna zařustajícího písničku jako refugia ptačí fauny a obojživelníků, což by se však neslučovalo s masovým rekreačním využitím.

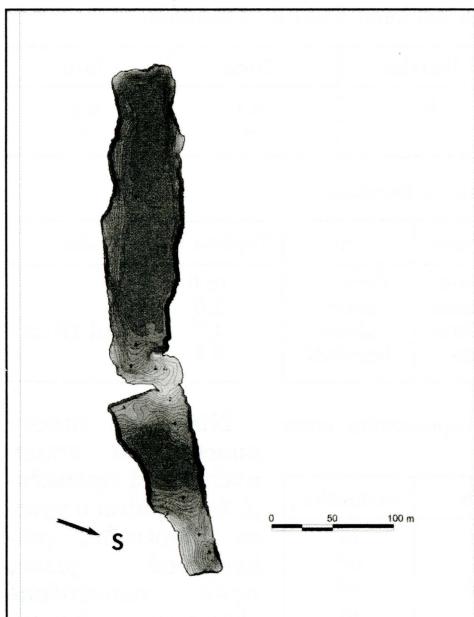
### 4.4. Jezero ve vápencovém lomu u Berouna

#### 4.4.1. Geografická poloha, přírodní poměry, historie těžby a morfometrie jezerní pánve

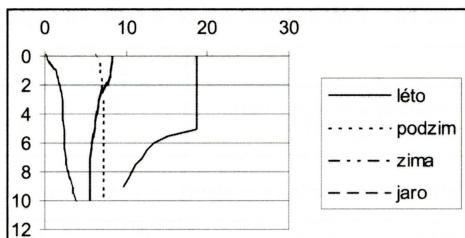
Jezero se nachází v bývalém jámovém vápencovém lomu 8,5 km V od centra Berouna mezi obcemi Mořina a Kozolupy na zeměpisných souřadnicích  $49^{\circ} 57' 32''$  severní šířky a  $14^{\circ} 11' 44''$  východní délky. Lom, zvaný Velká Amerika, leží v severní části Hořovické pahorkatiny ve výšce 410 m n. m. Břehy jezera lemují náletové dřeviny s převahou břízy, přičemž převážnou část břehů tvoří holá hornina bez vegetace. Okraje lomu lemují husté keřovité porosty, které jej oddělují od zemědělsky intenzivně využívaných ploch v bezprostředním okolí. Na lokalitě byly těženy devonské a silurské vápence koněpruského a slivenckého souvrství. Těžba, započatá kolem roku 1900, byla ukončena po zřícení části jižní stěny v roce 1963 (Krotil 2001). Morfometrie jezera značně protaženého ve směru SV–JZ, je typickým příkladem povrchové těžby pomocí odstrelů bloků horniny v jednotlivých etážích. V současnosti zatopená, jámovitě zahloubená dvojetáž s plochým dnem a kolmými stěnami, se nachází na dně hlavní těžní jámy hluboké kolem 70 metrů.

#### 4.4.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti jezerní vody

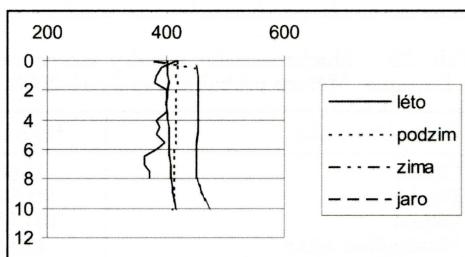
Z obrázků 19–24 a tabulek 10–12 je zřejmé, že se jedná o vysoko oligotrofní, holomiktní jezero s velmi čistou vodou s výrazným teplotním režimem (letní epilimnion s izotermií teploty do hloubky 5 m, podzimní homoternie s amplitudou teploty do  $1^{\circ}\text{C}$ ). Předpokladem výrazné cirkulace vody jsou vyrovnané křivky vodivosti, které se v průměru pohybují kolem  $420 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ . Z grafu kyslíkových poměrů (obr. 22) je zřetelně patrný průběh izográdní křivky nasycení vody kyslíkem při letní stratifikaci, kdy s prudkým poklesem teploty v metalimnion dochází v oligotrofních jezerech k razantnímu zvýšení rozpuštěného kyslíku na relativní hodnoty kolem 100 %. Jezero se v průběhu celého roku vyznačuje mimořádnou průhledností, zabarvení vody se vlivem rozpuštěných  $\text{HCO}_3^-$  iontů pohybuje v modrozelených až zelených odstínech podle Forel-Uleovy stupnice.



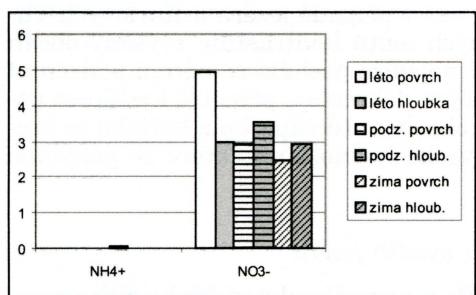
Obr. 19 – Batymetrická mapa jezera ve vápencovém lomu Amerika u Berouna



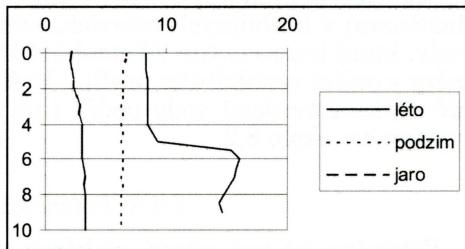
Obr. 20 – Teplotní poměry jezera ve vápencovém lomu Amerika u Berouna. Osa x – teplota ( $^{\circ}$ C), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



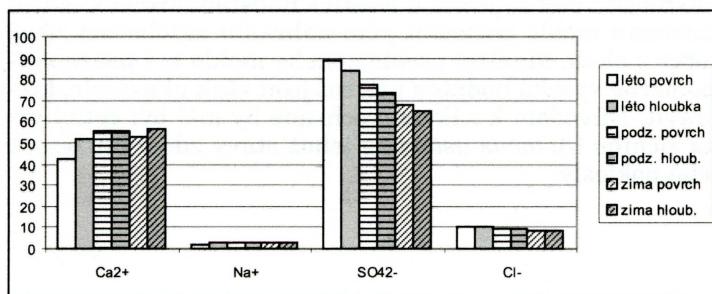
Obr. 21 – Vodivost v jezeře ve vápencovém lomu Amerika u Berouna. Osa x – konduktivita ( $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 23 – Koncentrace iontů dusíku ve vápencovém lomu Amerika u Berouna. Osa y –  $\text{mg}.\text{l}^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.



Obr. 22 – Kyslíkové poměry jezera ve vápencovém lomu Amerika u Berouna. Osa x – koncentrace rozpuštěného kyslíku ( $\text{mg}.\text{l}^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 24 – Koncentrace dalších vybraných iontů ve vápencovém lomu Amerika u Berouna. Osa y –  $\text{mg}.\text{l}^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.

Tab. 10 – Průhlednost a barva vody ve vápencovém lomu Amerika u Berouna

	Léto	Podzim	Zima	Jaro
Průhlednost vody (m)	7,2	6,7	8,1	5,2
Barva vody (FU)	6	6	6	8

Tab. 11 – Podmínky měření ve vápencovém lomu u Berouna

Měření	Datum	Čas	Oblačnost	Vítr	Teplota (°C)	Jiné
Léto	3.7.03	19:00	oblačno	čerstvý	18,0	
Podzim	24.10.03	12:30	zataženo	slabý	1,6	
Zima	13.1.04	10:30	zataženo	slabý	1,7	
Jaro	21.4.04	10:00	jasno	bezwětrí	9,7	led 12 cm

Tab. 12 – Morfometrické poměry jezera ve vápencovém lomu u Berouna. Měření proběhlo dne 24.10.2003.

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Obvod	1060	m
Plocha	20 860	$m^2$
Objem	151 500	$m^3$
Maximální délka	413,8	m
Maximální šířka	67,6	m
Maximální hloubka	11,0	m
Střední volumometrická hloubka	7,3	m

ké povahy těžené horniny je však nižší, než v případě jezera u Karlových Varů. Se zanedbatelným obsahem amonných iontů kontrastuje zvýšený obsah dusičnanů v hlubinných vzorcích, který nejspíše pochází ze zdrojů podzemní vody, které jezero dotují (Wetzel 2001) a jen dokresluje příznivé kyslíkové poměry v celém vertikálním profilu. Vyšší obsah iontů vápníku a hořčíku se kromě zvýšené tvrdosti vody podílí i na vysoké hodnotě pH, které se pohybuje v průměru okolo 8,2.

#### 4.4.3. Potenciální využití jezera

Vzhledem ke své poloze, nízkému stáří a pomalé sukcesi břehových porostů je voda tohoto jezera jednou z nejoligotrofnějších a nejčistších v České republice. Vstup do lomu není dovolen, nepovolené rekreační aktivity vedly zejména ve 2. polovině 90. let ke snížení kvality vody, rozvoji řas a ke znečištění bezprostředního okolí jezera odpadky. V současnosti se stav jezera také dílem důmyslného uzavření lomu opět zlepšil. Z hlediska základních chemických a fyzikálních vlastností vody se jedná o jezero s nadstandardně kvalitní vodou, které by v budoucnu mohlo posloužit jako náhradní zásobovací zdroj pitné vody pro malé obce v okolí. Menším problémem by mohla být pouze zvýšená tvrdost vody a poměrně vysoká hodnota pH, což jsou však ukazatele, které se dají snadno upravit. Důvodem k zákonné ochraně by měl být četný výskyt ohroženého raka říčního (*Astacus astacus*), jehož stavy zde v 90. letech vlivem rekrece značně poklesly.

Nízké až nulové koncentrace amonných iontů naznačují, že se jedná o vysoko oligotrofní, prokysličené jezero nijak nenarušené občasné rekreací. Poměrně vysoký obsah iontů vápníku vyplývající z chemické povahy těžené horniny je však nižší, než v případě jezera u Karlových Varů. Se zanedbatelným obsahem amonných iontů kontrastuje zvýšený obsah dusičnanů v hlubinných vzorcích, který nejspíše pochází ze zdrojů podzemní vody, které jezero dotují (Wetzel 2001) a jen dokresluje příznivé kyslíkové poměry v celém vertikálním profilu. Vyšší obsah iontů vápníku a hořčíku se kromě zvýšené tvrdosti vody podílí i na vysoké hodnotě pH, které se pohybuje v průměru okolo 8,2.

## 4.5. Jezero v žulovém lomu u Hlinska

### 4.5.1. Geografická poloha, přírodní poměry, historie těžby a morfometrie jezerní pánve

Jezero se nachází v bývalém, pův. asi 50 m hlubokém jámovém žulovém lomu 2 km SZ od centra Hlinska na katastru obce Srní na zem. souřadnicích  $49^{\circ} 46' 38''$  severní šířky a  $15^{\circ} 52' 54''$  východní délky. Bývalý lom leží v jižní části Sečské vrchoviny ve výšce 630 m n. m. Skalnaté břehy jezera lemují při Z okraji husté náletové porosty s dominantním smrkem a vtroušenou borovicí, severní a východní část na rozsáhlých skrývkách uzavírá březový háj. Vzdálenější okolí jezera je tvořeno zemědělskou půdou, vybíhající k okrajům lomu zvláště v jižní, přístupové části. Těžil se zde jemnozrnný, světle šedý biotitický granodiorit (tzv. hlinecká žula) pro výrobu dlažebních kostek a obrubníků. Těžba, započatá koncem 19. stol. ve dvou jámových lomech, které se postupně spojily v jeden, byla ukončena v roce 1968. V roce 1969 byl lom částečně zaplaven a okolní areál posléze využíván Sběrnými surovinami (Průzkum ložiska granodioritu 1961; Šrainer, Sládek 2005). Dno jezera nepravidelného oválného tvaru, s hlavní osou protaženou ve směru Z-V, je dalším příkladem etážové těžby sestávající z několika kolmých stupňů oddělených jednotlivými terasami.

### 4.5.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti jezerní vody

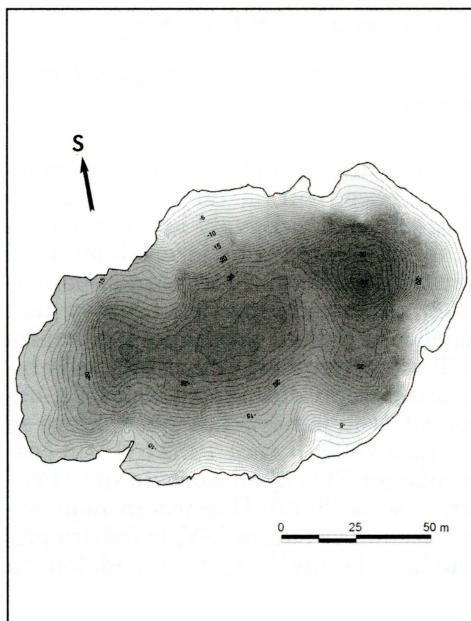
Z obrázků 25–30 a tabulek 13–15 zjistíme, že se jedná o velice hluboké, striktně meromiktní jezero s výměnou vody pouze do poloviční hloubky jezera, kde je spodní a stabilní monimolimnion ohrazen nápadným vzestupem konduktivity v hloubkách 18–21 metrů. Podobně jako tomu bylo v případě jezera u Karlových Varů, je i zde od této hloubky zaznamenán pozvolný nárůst teploty s hloubkou až ke dnu jezera bez výraznějších rozdílů v rámci jednotlivých ročních období. Ve svrchní, promíchávané vrstvě (tzv. mixolimnion) byly zjištěny vyrovnané vodivostní poměry s hodnotami jen  $170 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , což je nejméně ze všech srovnávaných lokalit. U kyslíkových poměrů je zajímavý náhlý pokles rozpuštěného kyslíku u podzemního profilu v hloubce 9 m v kontrastu s poklesem teploty ve stejně hloubce. Na obsah rozpuštěného kyslíku zde tedy měla patrně zásadní vliv spotřeba kyslíku nahromaděnými mikroorganismy. V průběhu roku byla na lokalitě naměřena proměnlivá průhlednost vody s proměnlivým zabarvením s odstíny od modrozelené po žlutou podle Förel-Uleovy stupnice.

Anoxické prostředí při dně jezera potvrzuje vysoké koncentrace amonných iontů, které dvacetinásobně převyšují normu na pitnou vodu. Mírně nadlimítní byla i koncentrace v připovrchové vrstvě z letního odběru, způsobená patrně opět zvýšenou rekreační zátěží.

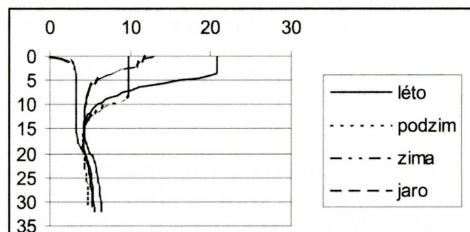
Nejjednodušší zjištěním je fakt, že koncentrace ostatních iontů jsou absolutně nejnižší ze všech sledovaných lokalit, což je dáno zejména malou rozpustností samotné horniny, poměrně velkým objemem a prozatím malou vnější zátěží. Hodnota pH se u hladiny pohybuje v průměru okolo 7,9.

### 4.5.3. Potenciální využití jezera

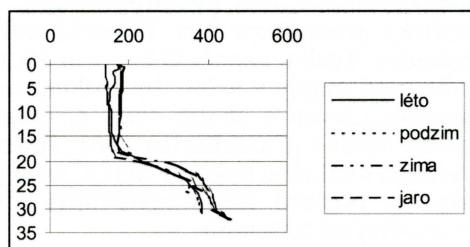
Jezero je vzhledem k nadprůměrné kvalitě vody, zajímavé historii, hloubce a výhodné poloze v zázemí města vyhledávanou rekreační a potápěčskou lo-



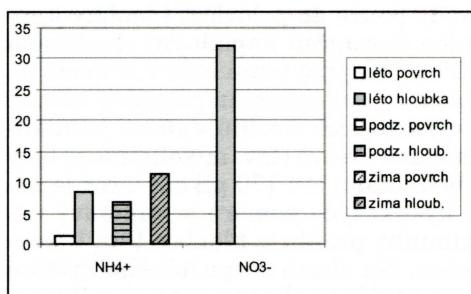
Obr. 25 – Batymetrická mapa jezera v žulovém lomu Srní u Hlinska



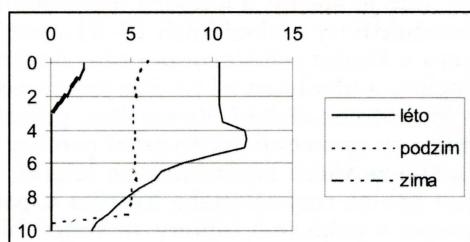
Obr. 26 – Teplotní poměry jezera v žulovém lomu Srní u Hlinska. Osa x – teplota ( $^{\circ}$ C), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



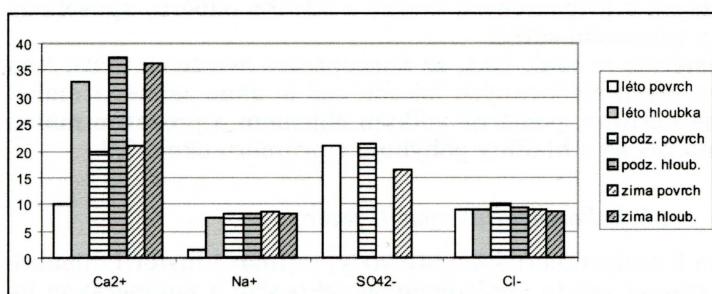
Obr. 27 – Vodivost v jezeře v žulovém lomu Srní u Hlinska. Osa x – konduktivita ( $\mu$ S.cm $^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 29 – Koncentrace iontů dusíku v žulovém lomu Srní u Hlinska. Osa y – mg.l $^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.



Obr. 28 – Kyslíkové poměry jezera v žulovém lomu Srní u Hlinska. Osa x – koncentrace rozpuštěného kyslíku (mg.l $^{-1}$ ), osa y – hloubka (m). Vysvětlivky: a – léto, b – podzim, c – zima, d – jaro.



Obr. 30 – Koncentrace dalších vybraných iontů v žulovém lomu u Srní Hlinska. Osa y – mg.l $^{-1}$ . Vysvětlivky: a – léto povrch, b – léto hloubka, c – podzim povrch, d – podzim hloubka, e – zima povrch, f – zima hloubka.

Tab. 13 – Průhlednost a barva vody v žulovém lomu Srní u Hlinska

	Léto	Podzim	Zima	Jaro
Průhlednost vody (m)	2,9	5,5	4,0	3,5
Barva vody (FU)	8	13	10	14

Tab. 14 – Podmínky měření v žulovém lomu Srní u Hlinska

Měření	Datum	Čas	Oblačnost	Vítr	Teplota (°C)	Jiné
Léto	3.7.03	10:00	polojasno	slabý	21,2	
Podzim	17.10.03	10:30	jasno	bezwětrí	8,6	
Zima	14.1.04	11:00	oblačno	čerstvý	0,4	
Jaro	22.4.04	15:30	jasno	bezwětrí	23,0	led 12 cm

Tab. 15 – Morfometrické poměry jezera v žulovém lomu Srní u Hlinska. Měření proběhlo dne 17.10.2003.

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Obvod	485	m
Plocha	11 510	m <sup>2</sup>
Objem	189 500	m <sup>3</sup>
Maximální délka	162,5	m
Maximální šířka	98,6	m
Maximální hloubka	33,0	m
Střední volumometrická hloubka	16,5	m

slabá mineralizace mixolimnionu, nízký obsah nerozpustěných látek a dosta-tečná rozloha umožňují potenciální využití povrchové vody pro různorodé účely, jako je tomu v případě dolu u Litvínova (například budoucí lokální průmysl na pozemku bývalých Sbérnych surovin). Další rozvoj rekreace by měl patrně negativní vliv na výskyt zajímavé a v Česku poměrně vzácné medúzy sladkovodní (*Craspedacusta sowerbyi*), jejíž přítomnost by mohla být důvodem k zákonné ochraně.

## 5. Závěr

Dosavadní výsledky výzkumu provedeného na výše zmíněných lokalitách vzniklých v souvislosti s těžbou nerostných surovin potvrzují, že nejdůležitějšími faktory ovlivňující kvalitu jezerní vody jsou vedle chemické a fyzikální pova-hy těžené suroviny zejména druhotné antropogenní ovlivnění rekreační činnos-tí a specifické rozměry jezerní pánve (zejména značná hloubka jezera), které v případě lokalit Čankov u Karlových Varů a Srní u Hlinska brání lepší cirku-laci a oxysličení jezerní vody. Tento jev je navíc umocněn faktrem, že u hlubších jezer dochází s rostoucí hloubkou ke zvyšování obsahu rozpuštěných minerál-ních látek a tím ke zvyšování hustoty vody nad úroveň hustoty čisté vody při 4 °C. V takovémto prostředí pak dochází k anaerobnímu rozkladu organických zbytků za vzniku nepříznivých chemických látek (metan, sulfan, amonné ionty).

Jako nevyhovující se z hlediska kvality vody ukázaly pouze nadlimitní hod-noty u amonných iontů (Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb.), které byly naměřeny na třech lokalitách v letním povrchovém odběru a jsou patrně následkem pře-chodně zvýšeného rekreačního zájmu. Měla-li by se však posuzovat kvalita vo-dy v celém vodním sloupci, a to jak z hlediska chemických, tak i fyzikálních charakteristik, byly by pro potenciální vodárenské využití vhodné pouze lo-

kalitou. Vzhledem k anoxickému pro-středí a vysokému obsahu amonných iontů v monimolim-nionu (voda z hlub-ších vrstev značně zapáchá) není možné využít jezero k vodá-renským úcelům. Na druhou stranu velice

kality Amerika u Berouna a Lom u Litvínova, přičemž na lokalitě u Litvínova by muselo dojít k zabezpečení jezera před nežádoucím vlivem rekreační. V případě definitivního posouzení by byly nutné další rozbory (mikrobiologická aktivita, specifické organické látky, těžké kovy). Voda z lokality Litvinov by mohla být navíc využita k lokálním závlahám v místní zahrádkářské kolonii. Minerálně nejvíce chudá voda na lokalitě Srní u Hlinska pak předurčuje potenciální využití připovrchových vrstev jezera k průmyslovým účelům v případě obnovení hospodářské činnosti v areálu zaniklých Sběrných surovin. Jezero na lokalitě Březhrad u Hradce Králové nemá vzhledem k vyšší eutrofizaci a malému objemu potenciál k jinému využití než je stávající rekreační s doprovodným chovem ryb. Podobně je na tom objemem sice největší, ale nejvíce mineralizované jezero na lokalitě Čankov u Karlovy Vary, kde k ne-příznivým fyzikálně-chemickým poměrům vody ve vertikálním profilu přistupuje i největší koncentrace nerozpuštěných látek daná charakterem těžené horniny. Z hlediska potenciální ochrany přírody se vymykají pouze lokality Amerika u Berouna (naleziště raka říčního) a Srní u Hlinska (naleziště medůzky sladkovodní).

### Literatura:

- HRDINKA, T., JANSKÝ, B., ŠOBR, M. (2003): Genetická klasifikace jezer České republiky. In: Janský, B., Šobr, M. a kol.: Jezera České republiky. PřF UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, s. 12-23.
- HRDINKA, T. (2004): Antropogenní jezera České republiky. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 115 s.
- CHYBÍK, J., NOVÁK, V., NOVOTNÁ, M., ZAHRÁDKOVÁ, A., ŽELEZNÝ, M. (1963): Zpráva k výpočtu zásob silničních a stavebních vápenců lokality Mořina. Železnorudné doly a hrudkovny, Nučice.
- Inventarizace ložisek stavebních nerostných surovin na listu mapy M-33-68B. Geofond, Praha 1968.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky. Monografie. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha, 216 s.
- Klasifikace jakosti povrchových vod. Hodnocení jakosti vody podle ČSN 75 7221, [www.monet.cz/zp/rocenk98/kap\\_021.htm](http://www.monet.cz/zp/rocenk98/kap_021.htm).
- KROTIL, K. a kol. (2001): Lomy Mořina 1891-2001. Lomy Mořina, Mořina, 60 s.
- LELLÁK, J., KUBÍČEK, F. (1992): Hydrobiologie. Karolinum, Praha, 260 s.
- MACHÁČEK, V., OPAVSKÁ, I. (1965): Výpočet prognózních zásob kaolinu u Otovic. Ústřední ústav geologický, Praha.
- MARTINOVSKÁ, I., ŽELENKA, O. (1995): Dílčí zpráva ke 2. etapě prací na úkolu Klasifikace a kategorizace ploch severočeské hnědouhelné pánve postižených poklesy terénu po hlubinné těžbě uhlí. Geologické služby s. r. o., Chomutov.
- Průzkum ložiska granodioritu – 1960 Srní. Geologický průzkum, Brno 1961.
- ŠRAINER, Z., SLADEK, T. (2005): Strany potápěcké. [www.stranypotapecke.cz](http://www.stranypotapecke.cz).
- ŠTÝS, S. a kol. (1981): Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 680 s.
- Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly), [www.ecmost.cz/ver\\_cz/voda/pitna\\_voda/vyhlaska.htm](http://www.ecmost.cz/ver_cz/voda/pitna_voda/vyhlaska.htm).
- WETZEL, R. G. (2001): Limnology. Academic Press, San Diego, 1006 s.

S u m m a r y

### ANTHROPOGENIC LAKES IN CZECHIA

This article compares water quality and possible utilization of lakes in mining pits in the following localities: Lom near Litvínov (brown coal), Čankov near Karlovy Vary (kaolin), Březhrad near Hradec Králové (gravel sand), Amerika near Beroun (limestone) and Srní near Hlinsko (granodiorite). These anthropogenic lakes seem to be quite heterogeneous.

The most important factors affecting the quality of lake water are physical and chemical properties of the exploited rock, secondary anthropogenic interference mainly through recreation and specific proportions of lake basins (considerable maximum depth). The great depth of these lakes alone prevents in some cases (e.g. Čankov near Karlovy Vary and Srní near Hlinsko) a better circulation and oxygenation of the entire water column. In the lower strata of these lakes there are usually concentrated dissolved mineral substances that increase the water density up to the density of clear water at 4 °C. It forms a stable layer (monimolimnion) with no circulation of water over the year. In this layer, there are concentrated unfavourable chemical compounds generated by anaerobic decomposition of dead organic materials such as methane, sulphane, ions of ammonia, etc.

Due to their water quality in the whole water column, the lakes in localities Amerika near Beroun and Lom near Litvínov are potentially suitable for local water supply. Some small problems with over limit concentration of ammonia ions (from fresh organic pollution) in Litvínov locality could be solved by restriction of recreation activities. For a definitive assessment, it would be necessary to conduct further analyses (microbiological activity, specific organic compounds and heavy metals). The water from the locality Litvínov could also be used for irrigation of gardens in the adjacent recreation area, in contrast to the locality Amerika with quite hard mineral water. Water poor in minerals from the upper strata in the locality Srní near Hlinsko could be potentially used in future local industry in the territory of the mining area. On the other hand, the water from the locality Březhrad near Hradec Králové has no other potential utilization given its higher eutrophication and small volume of the basin. What appears as best is the current utilization for mass recreation (location near a large town) combined with an intensive fish breeding. It is similar to the lake in the locality Čankov near Karlovy Vary, the water of which has the highest concentration of dissolved and suspended minerals (because of the kaolin characteristics) with anoxic conditions in the bottom strata (deep water stinks). As to nature preservation there are two especial localities: Amerika near Beroun (crayfish *Austacus austacus* habitat) and Srní near Hlinsko (jellyfish *Craspedacusta sowerbyi* habitat).

- Fig. 1 – Bathymetric map of the lake in the brown-coal mine in Lom near Litvínov.
- Fig. 2 – Temperature conditions of the lake in the brown coal mine in Lom near Litvínov. Axis x – temperature (°C), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 3 – Conductivity in the lake in the brown coal mine in Lom near Litvínov. Axis x – conductivity ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 4 – Oxygen conditions of the lake in the brown coal mine in Lom near Litvínov. Axis x – concentration of dissolved oxygen ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 5 – Concentration of nitrogen ions in the brown coal mine in Lom near Litvínov. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.
- Fig. 6 – Concentration of other selected ions in the brown coal mine in Lom near Litvínov. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.
- Fig. 7 – Bathymetric map of the lake in the kaolin mine in Čankov near Karlovy Vary.
- Fig. 8 – Temperature conditions of the lake in the kaolin mine in Čankov near Karlovy Vary. Axis x – temperature (°C), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 9 – Conductivity in the lake in the kaolin mine in Čankov near Karlovy Vary. Axis x – conductivity ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 10 – Oxygen conditions of the lake in the kaolin mine in Čankov near Karlovy Vary. Axis x – concentration of dissolved oxygen ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 11 – Concentration of nitrogen ions in the kaolin mine in Čankov near Karlovy Vary. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.
- Fig. 12 – Concentration of other selected ions in the kaolin mine in Čankov near Karlovy Vary. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.

- Fig. 13 – Bathymetric map of the lake in the gravel sand mine in Březhrad near Hradec Králové.
- Fig. 14 – Temperature conditions of the lake in the gravel sand mine in Březhrad near Hradec Králové. Axis x – temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 15 – Conductivity in the lake in the gravel sand mine in Březhrad near Hradec Králové. Axis x – conductivity ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 16 – Oxygen conditions of the lake in the gravel sand mine in Březhrad near Hradec Králové. Axis x – concentration of dissolved oxygen ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 17 – Concentration of nitrogen ions in the gravel sand mine in Březhrad near Hradec Králové. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.
- Fig. 18 – Concentration of other selected ions in the gravel sand mine in Březhrad near Hradec Králové. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.
- Fig. 19 – Bathymetric map of the lake in the limestone quarry Amerika near Beroun.
- Fig. 20 – Temperature conditions of the lake in the limestone quarry Amerika near Beroun. Axis x – temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 21 – Conductivity in the lake in the limestone quarry Amerika near Beroun. Axis x – conductivity ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 22 – Oxygen conditions of the lake in the limestone quarry Amerika near Beroun. Axis x – concentration of dissolved oxygen ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 23 – Concentration of nitrogen ions in the limestone quarry Amerika near Beroun. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.
- Fig. 24 – Concentration of other selected ions in the limestone quarry Amerika near Beroun. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.
- Fig. 25 – Bathymetric map of the lake in the granodiorite quarry in Srní near Hlinsko.
- Fig. 26 – Temperature conditions of the lake in the granodiorite quarry in Srní near Hlinsko. Axis x – temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 27 – Conductivity in the lake in the granodiorite quarry in Srní near Hlinsko. Axis x – conductivity ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 28 – Oxygen conditions of the lake in the granodiorite quarry in Srní near Hlinsko. Axis x – concentration of dissolved oxygen ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), axis y – depth (m). Key: a – summer, b – autumn, c – winter, d – spring.
- Fig. 29 – Concentration of nitrogen ions in the granodiorite quarry in Srní near Hlinsko. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.
- Fig. 30 – Concentration of other selected ions in the granodiorite quarry in Srní near Hlinsko. Axis y –  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Key: a – summer surface, b – summer depth, c – autumn surface, d – autumn depth, e – winter surface, f – winter depth.

(Pracoviště autora: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: tomashrdinka@centrum.cz)

DAGMAR CHALUPOVÁ, BOHUMÍR JANSKÝ

## FLUVIÁLNÍ JEZERA STŘEDNÍHO POLABÍ – POROVNÁNÍ KVALITY VODY A OBSAHU TĚŽKÝCH KOVŮ V SEDIMENTECH

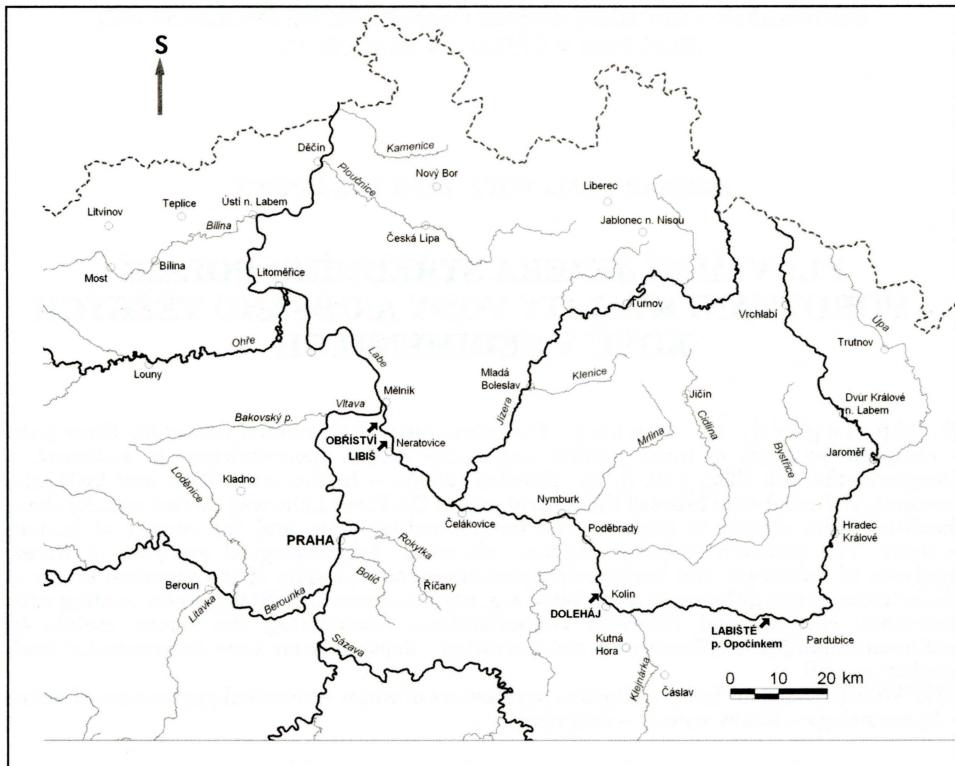
D. Chalupová, B. Janský: *The oxbow lakes of the central part of the River Labe – comparative study of water quality and heavy metals concentrations in sediment.* – Geografie–Sborník ČGS, 110, 3, pp. 229–242 (2005). – In the years 2000 and 2002, the research of three fluvial lakes of the central part of the River Labe was carried out. All three localities were chosen to evaluate the environmental state and the impact of human activity. The research included physical, chemical, hydrobiological analyses of water, analyses of sediments and bathymetric measurements. In spite of the identical origin of these lakes, major differences were found e.g. oxygen saturation,  $BOD_5$ , water loading with nutrients, calcium and chlorides concentrations. Considering the heavy metals in sediments significant differences in concentration – depth relation were determined at each locality as well.

KEY WORDS – oxbow lakes – physical parameters of water – chemical parameters of water – hydrobiology – heavy metals – sediment.

Článek vznikl za finanční podpory grantu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264) a výzkumnému zaměru MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

### 1. Úvod

Výzkum jezer patří již po dobu téměř sta let k jednomu ze základních buditelských směrů na geografických pracovištích Univerzity Karlovy (Janský, Šobr a kol. 2003). Po podrobných pracích prováděných na šumavských jezerech, tatranských plesech aj., se na počátku 60. let pozornost zaměřila též na stará labská ramena. První studie zkoumající tyto doposud málo probádané složky přírody byly hydrobiologického zaměření (Hrbáček, Novotná 1965). Komplexním výzkumem starých labských meandrů, který zahrnoval kromě zjištění morfometrických charakteristik jezer, sledování hydrologických režimů, posouzení kvality vody, jak z hlediska fyzikálního, chemického, ale i hydrobiologického, tak i odběr a podrobné studium sedimentů, se ve svých pracích zabývali Klouček (2002), Snajdr (2002), Chalupová (2003) a Turek (2004). Jednotlivé lokality byly vybírány v úsecích středního Labe na místech, kde byla očekávána značná zátěž životního prostředí vlivem antropogenní činnosti tj. pod významnými průmyslovými uzly (hradecko-pardubická aglomerace, Kolín, Mělník, Neratovice) a v intenzivně využívané zemědělské krajině (viz obr. 1). Na tento výzkum, který byl zahájen v roce 2000, autoři navázali a pokusili se zde shrnout a zhodnotit získaná data zejména z hlediska fyzikálních, chemických, hydrobiologických parametrů vody a zatištění sedimentů těžkými kovy. Vzhledem k použití stejné metodiky, časově shodnému odebírání a ana-



Obr. 1 – Lokalizace zkoumaných fluviálních jezer ve středním Polabí

lýzám vzorků bylo možné získané výsledky porovnat a posoudit míru antropogenního ovlivnění jednotlivých lokalit.

## 2. Výběr lokalit a jejich genese

První ze studovaných fluviálních jezer – Labiště pod Opočínkem (Klouček 2002) – se nachází zhruba 11 kilometrů západně od Pardubic. Stejně jako v obou dalších případech vzniklo při regulaci řeky a leží jí nejblíže. Oddělení je datováno do roku 1913 (Parcelní protokol obcí Opočínek a Živanice). V současné době jezero komunikuje s tokem jen za vyšších vodních stavů propustkem. V roce 1982 byla lokalita zařazena mezi maloplošná zvláště chráněná území, rameno je využíváno ke sportovnímu rybolovu pod správou MO ČRS Přelouč. Původ znečištění lokality je možno hledat v intenzivní zemědělské činnosti v bezprostřední blízkosti jezera (Agri Lánsko, dříve JZD Svítkov) a zejména v průmyslových podnicích hradecko-pardubické aglomerace (Synthesia Semtíň, Foma Hradec Králové, odkaliště Opatovické elektrárny, Paramo; Klouček 2002).

Slepé rameno Doleháj leží na levém břehu Labe přibližně 3 km severozápadně od Kolína (Chalupová 2003). K napřímení toku řeky zde došlo již v letech 1854–1855. Jezero leží dnes již ve značné vzdálenosti od současného koryta řeky, povrchová komunikace je uskutečňována pouze několik set metrů dlouhým přívodním kanálem o velmi nízké vydatnosti. Slepé rameno je stejně jako výše uvedené Labiště pod Opočínkem využíváno k sportovním rybář-

ským účelům (Rybářský svaz Nová Ves). Kvalita vody a sedimentů v jezeře je jistě ovlivněna splachy z blízkých polí (Salima Velim, dříve JZD Velim) a též průmyslovými podniky Kolínska (Lučební závody Kolín, Koramo, Draslovka; Kronus 1998).

Posledním ze srovnávaných starých labských ramen je jezero Obříství (Šnajdr 2002) ležící asi 5 km jižně od Mělníka, 6–7 km nad soutokem s Vltavou. Vzniklo stejně jako Labiště pod Opočínkem při regulačních pracích v roce 1913. V současné době je poměrně aktivně spojeno s Labem, kdy je oddělení jeho spodní části tvořeno pouze betonovou propustí, odkud za běžných vodních stavů vytéká voda zpět do Labe. Stejně jako v předešlých případech je rybářsky využívanou vodní nádrží. Do jezera ústí potok Černavka, v jehož povodí se nachází cukrovar. Další kontaminace může pocházet z Kaučuku Kralupy nad Vltavou, mělnické tepelné elektrárny a zejména ze Spolany Neratovice. Vliv mají jistě i jako v předešlých dvou případech intenzivně využívané zemědělské plochy nedaleko jezera.

### 3. Metodika

#### 3.1. Fyzikální parametry vody

Zjišťování teploty bylo prováděno rtuťovým teploměrem s desetinným tříděním, tento parametr byl sledován jak v povrchové vrstvě vody tak i v celém vodním sloupci v místě maximální hloubky jezera s odečítáním po 0,5 m hloubky. Pro měření konduktivity a pH bylo použito digitálních přístrojů s nastavitelnou teplotou. Průhlednost vody byla zjišťována, stejně jako barva vody, pomocí Secchiho desky při zastíněné hladině. V případě určení barvy vody byla deska spuštěna do poloviční hloubky hranice průhlednosti, kdy byl odstín vodního sloupce nad deskou porovnán s Ule-Forelovou stupnicí.

#### 3.2. Chemické parametry vody

Vzorky vody byly odebrány v maximální vzdálenosti od břehu do PET lahví, v případě stanovení rozpuštěného kyslíku a BSK<sub>5</sub> do speciálních kyslíkových skleněných lahví se zábrusem, do kterých byly ještě na místě přidány srážecí roztoky. Pro stanovení základních chemických složek byly použity titrační a kolorimetrické metody (viz Hofmann a kol. 1965, Horáková a kol. 1986). Chemické analýzy byly prováděny v laboratoři na Ústavu životního prostředí Přírodovědecké fakulty UK v Praze.

#### 3.3. Hydrobiologická analýza vody

Vzorky byly získány pomocí planktonní sítě s velikostí ok 100 µm, dále se postupovalo podle metodiky Hrbáčka a kol. (1985). Celkový fosfor byl zjištěn podle ČSN EN 1189. Fosfor byl stanoven spektrofotometricky molybdenanem amonným. Pro chlorofyl *a* byla rovněž použita spektrofotometrická metodika podle normy ČSN ISO 10260. Hodnocena byla i velikostní struktura zooplanktonu. Vzorky zvířat byly snímkovány při 15násobném zvětšení tak, aby každá fotografie obsahovala více jak 40 jedinců. Za shodných podmínek bylo vyfotografováno i okulárové měřítko. Snímky byly pak černobíle vytisknuty a následně okulárovým měřítkem změřena velikost studovaných organismů (McCauley 1984 in Aigle 1996). Analýzy byly provedeny v laboratoři katedry parazitologie a hydrobiologie na Přírodovědecké fakultě UK v Praze.

### 3.4. Rozbory sedimentů

Na získání vzorku byla použita novodurová trubice o průměru přibližně 5 cm, sloupec materiálu byl dále podle mocnosti rozdelen na dvě až tři části, které byly pro zjištění závislosti koncentrace těžkého kovu na hloubce (stáří sedimentu) analyzovány zvlášť. Zrnitostní rozbory byly provedeny metodou kombinace hustoměrné (aerometrické) zkoušky a sítového rozboru (Zavoral a kol. 1987) v Laboratořích geologických ústavů na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. Na stanovení obsahu těžkých kovů byla použita zrnitostní frakce 20 µm. Koncentrace stříbra, kadmia, mědi, chromu, železa, mangany, niklu, olova a zinku v nesilikátové frakci byly provedeny metodou FAAS z výluky směsi kyseliny dusičné a chlorovodíkové (Weiss a kol. 1983 in Hlásenský 1994). Loužení bylo za účelem stanovení těžkých kovů v lehce eluovatelné frakci provedeno kyselinou octovou, pro extrakci kovů vázaných na oxidu železa a mangany hydrazinchloridem. Zjištěné hodnoty těchto dvou typů analýz byly velmi nízké, často až na hranici detekce, proto je zde neuváděme. Koncentrace rtuti byly stanoveny přímo z pevných vzorků příslušné zrnitostní frakce na přístroji AMA-254. Chemické analýzy sedimentů byly provedeny v laboratořích podniku Povodí Labe, s. p. v Hradci Králové a ve stopové laboratoři G. B. Marshalla v Ústavu životního prostředí PřF UK v Praze.

#### 4. Výsledky analytických prací

##### 4.1. Fyzikální parametry vody

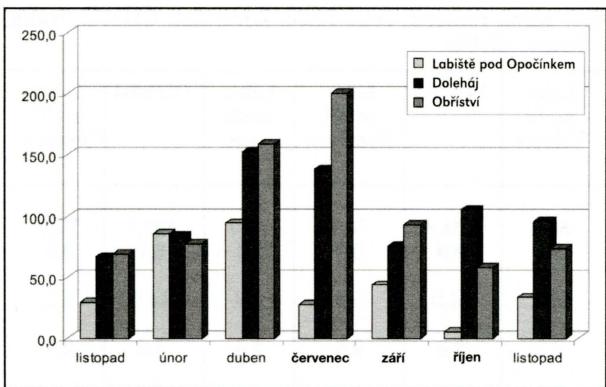
Na všech lokalitách byla během čtyřech ročních období (jaro, léto, podzim, zima) hydrologického roku 2000/2001 provedena měření fyzikálních parametrů vody. Teplota, konduktivita a pH byly zjištěvány i při odběrech vody pro chemickou analýzu. Získaná data byla též porovnána s údaji z nejbližších labiských profilů nad a pod zkoumaným slepým ramenem.

Při měření teploty byl potvrzen předpoklad značné rozkolísnosti hodnot z důvodu velmi malé hloubky jezer. Během sledovaného období nebyla ze stejných příčin v žádném slepém rameni zaznamenána teplotní stratifikace.

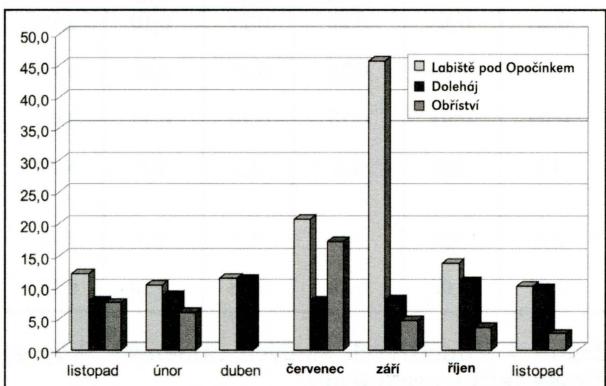
Jak je patrno z tabulky 1, průměrná konduktivita v jezeře Obříství (Šnajdr 2002) dosahovala téměř dvojnásobných hodnot, než tomu bylo na lokalitách Labiště pod Opočínkem a Doleháj. Příčinou této situace může být výše zmíněný přítok Černavka, v jehož povodí v minulosti fungoval cukrovar. V porovnání s údaji z profilů na Labi je patrné, že zatížení anorganickými i organickými

Tab. 1 – Fyzikální parametry vody – slepá ramena, řeka Labe. Zdroj dat: ČHMÚ Praha, Chalupová (2003), Klouček (2002), Šnajdr (2002)

Parametr	Labe: profil Valy	Labiště pod Opočín- kem	Labe: profil Velešov	Doleháj	Labe: profil Nymburk	Labe: profil Jiřice	Obříství	Labe: profil Obříství
Teplota (°C)	11,3	8,8	12,0	10,7	11,7		9,0	
Konduktivita (µS/cm)	491	395	473	494	525	501	854	523
Průhlednost (cm)		62	37	63				
Barva		žlutohnědá		hnědožlutá				
pH	7,61	8,36	7,75	8,95	7,77	7,6	žlutohnědá 8,47	7,8



Obr. 2 – Nasycení kyslíkem (v %). Osa x – hydrologický rok 2000/2001.



Obr. 3 – BSK<sub>5</sub> (v mg/l). Osa x – hydrologický rok 2000/2001.

ionizovatelnými látkami rostlo se vzdáleností od pramene, a to v důsledku přirozeného i antropogenního obohacení vody.

Na všech lokalitách byly zjištěny nízké hodnoty průhlednosti vody odpovídající mezotrofnímu až eutrofnímu charakteru jezer (Lellák, Kubíček 1992). Pokles během vegetačního období souvisel s rozvojem oživení v jezerech, tento fakt byl potvrzen i hodnotami chlorofylu *a*.

Podle Ule-Forelovy stupnice byla stanovena barva vody, která odpovídala typu zkoumaných jezer. Jedním ze základních parametrů vody je též pH. Mírně alkalickými hodnotami se zkoumané lokality nelišily od většiny stojatých povrchových vod (Horne, Goldmann 1994). V porovnání s řekou bylo ve všech případech zaznamenáno vyšší pH, což jistě souvisí s vyšším oživením tůní a intenzivnějšími biologickými pochody (Lellák, Kubíček 1992).

#### 4.2. Chemicke parametry vody

Tabulka 2 shrnuje kvalitu vody v jednotlivých slepých ramenech a na nejbližších labských profilech. V hydrologickém roce 2000/2001 byly odběry vody provedeny celkem sedmkrát.

Jisté rozdíly jsme zaznamenali v chodu jednotlivých parametrů během celého sledovaného období. Rostoucí nasycení vody kyslíkem v lokalitách Obříství a Doleháj během vegetačního období bylo pravděpodobně způsobeno zvýšenou aktivitou fotosyntetizujících řas a sinic (Horne, Goldmann 1994). Na podzim se kyslík naopak spotřeboval při rozkladních procesech. Poněkud odlišná situace nastala v slepém rameni Labiště pod Opočinkem, kde vysoký obsah biologicky rozložitelných organických látek mohl způsobit nízké nasycení vody tímto plynem i během letního období (Horne, Goldmann 1994; obr. 2). U všech jezer bylo zaznamenáno značné znečištění organickými látkami (obr. 3). Vyšších hodnot BSK<sub>5</sub> a CHSK<sub>Mn</sub> bylo často dosaženo v dubnu, kdy dochází k prvnímu odumírání velkého množství fytoplanktonu po jarním maximu nebo na podzim, kdy se tato situace opakuje po vegetačním období. Rozdíly v časovém vývoji těchto ukazatelů by bylo možné vysvětlit odlišným

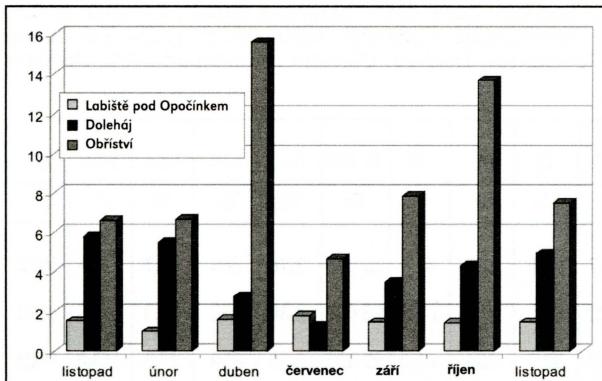
Tab. 2 – Chemické parametry vody – slepá ramena, řeka Labe. Zdroj dat: ČHMÚ Praha, Chalupová (2003), Klouček (2002), Snajdr (2002)

Parametr	Labe: profil Valy	Labiště pod Opočín- kem	Labe: profil Velešov	Doleháj	Labe: profil Nymburk	Labe: profil Jiřice	Obříství	Labe: profil Obříství
Nasycení kyslíkem (%)	76,4	45,5	80,2	104,3	74,7	76,0	105,4	77,7
BSK <sub>5</sub> (mg/l)	3,1	17,7	3,1	9,9	3,5	2,4	6,7	3,0
CHSK <sub>Mn</sub> (mg/l)	5,4	20,1	4,9	24,9	5,3	6,8	14,0	5,1
KNK <sub>4,5</sub> (mmol/l)	2,1	4,1	2,2	2,0	2,5	2,4	4,2	2,3
Tvrďost vody (mmol/l)	2,1	2,3	2,3	2,4	2,6		5,3	
Vápník (mg/l)	71	78	79	62	88	74	150	79
Chloridy (mg/l)	29	17	29	36	32	28	73	30
Železo (mg/l)	0,45	0,09	0,42	0,05	0,33	0,38	0,04	0,38
Mangan (mg/l)	0,06	0,23	0,28	0,16	0,22	0,17	0,10	0,16
Amoniakální dusík (mg/l)	0,61	0,59	0,46	1,20	0,51	0,37	0,51	0,48
Dusitanový dusík (mg/l)	0,09	0,01	0,09	0,01	0,10	0,10	0,11	0,09
Dusičnanový dusík (mg/l)	4,8	0,9	4,9	2,6	4,6	4,3	8,5	4,7
Rozpuštěný anorganický dusík (mg/l)	5,5	1,5	5,4	3,9	5,2	4,7	9,1	5,3
Fosforečnanový fosfor (mg/l)	0,16	0,41	0,20	0,02	0,18	0,18	0,13	0,16

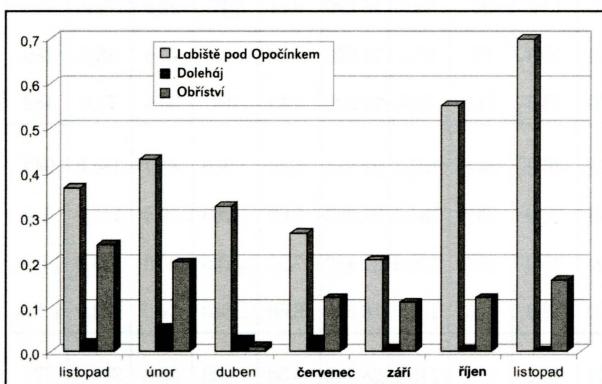
zastoupením planktonních druhů v jednotlivých slepých ramenech, kdy se uplatňují různé ekologické nároky těchto organismů.

Jednotlivé lokality se lišily také z hlediska zatížení slepých ramen nutrienty. Výrazně vyšší koncentrace dusičnanového dusíku byly naměřeny v Obříství (Snajdr 2002). Naproti tomu nejvyšší průměrná hodnota amoniakální formy tohoto prvku byla zaznamenána v jezeře Doleháj (tab. 2). Opuštěný měandr Labiště pod Opočínkem se naopak vyznačoval mnohonásobně vyššími obsahy fosforečnanového fosforu (Klouček 2002). Tyto výsledky jsou pravděpodobně důsledkem rozdílné antropogenní kontaminace vody na jednotlivých lokalitách (charakter použitého hnojiva na blízkých polích, možnost znečištění splaškovou vodou apod.).

Pro slepá ramena Doleháj a Obříství byl charakteristický pokles koncentrace rozpuštěného anorganického dusíku a fosforečnanového fosforu (v Doleháji až na hranici měřitelnosti, která se již do konce sledovaného období nezvýšila!) během vegetačního období, kdy jsou tyto živiny využity biomou. Zajímavá situace nastala v jezeře Labiště pod Opočínkem, kde se obsah anorganického dusíku pohyboval po celé sledované období na téměř stejně úrovni (obr. 4). Fosforečnanový fosfor zde dosahoval maximálních hodnot na podzim, kdy jsou pravděpodobně zdrojem, kromě odumřelé organické hmoty, i sedimenty, ze kterých se může tento prvek za redukčních podmínek uvolnit (obr. 5). Z hlediska zastoupení jednotlivých forem dusíku bylo na všech lokalitách pozorováno zvýšení podílu amoniakální formy v létě. Důvodem je pravděpodobně nedostatečně rychlá oxidace na dusičnanový dusík, který biomasa v příjmu preferuje, a intenzivní metabolické rozkladné pro-



Obr. 4 – Rozpuštěný anorganický dusík (v mg/l). Osa x – hydrologický rok 2000/2001.



Obr. 5 – Fosforečnanový fosfor (v mg/l). Osa x – hydrologický rok 2000/2001.

půda), ale mnohé alifatické a aromatické uhlvodíky mohou vznikat v eutrofizovaných vodách biologickými pochody v planktonních a benthických společenstvech, často jsou též produkovaný metabolickými pochody bakterií, plísni i rostlin (Pitter 1999). U nutrietů pak byly zaznamenány značné rozdíly. Nižší koncentrace dusičnanů vykazovala voda v tůni Doleháj a Labiště pod Opočínkem, naopak vyšší hodnoty než v řece bylo dosaženo v rameni Obříství. Zde byly však naměřeny mnohonásobně vyšší koncentrace fosforečnanového fosforu, který ve zbyvajících jezerech nedosahoval hodnot řeky. Tyto rozdílné výsledky souvisejí jistě s odlišným charakterem řeky a stojaté vody, ale jsou způsobeny i rozdílnými antropogenními aktivitami v zájmovém území (např. typ použitého hnojiva, průmysl, staré záteže).

#### 4.3. Hydrobiologická analýza

Z hydrobiologických rozborů provedených třikrát za vegetační období 2001 vyplynula jistá odlišnost v druhovém i početním složení fytoplanktonu a zooplanktonu. Ve slepém rameni Labiště pod Opočínkem dominovala v letních měsících třída *Chlorophyceae*, v meandru Doleháj byla v tuto dobu nejvíce za-

cesy probíhající po vegetačním období.

Při porovnání doplňkových ukazatelů vody byl zjištěn výrazně vyšší obsah vápníku a tím i tvrdost vody v jezeře Obříství (tab. 2). Zdrojem je pravděpodobně potok Černavka, neboť v jeho povodí fungoval cukrovar. Podobně byly zjištěny nápadně vyšší koncentrace chloridů v Doleháji, které je možné vzhledem ke zvýšeným koncentracím amoniakální formy dusíku přisoudit fekálnímu znečištění.

Kvalitu vody ve studovaných opuštěných meandrech jsme též porovnali s daty z ČHMÚ z nejbližších labských profilů. Na všech sledovaných lokalitách bylo zjištěno mnohonásobně vyšší zatížení organickými látkami. Zdroje tohoto znečištění jsou pravděpodobně spojeny s činností člověka (lokality jsou rybářsky využívány, v blízkosti leží zemědělsky využívaná

Tab. 3 – Těžké kovy v sedimentech (mg/kg). Zdroj dat: Chalupová (2003), Klouček (2002), Šnajdr (2002). Fonové (přirozené) koncentrace v jílových sedimentech podle Turekiana a Wedepohla (1961). Labiště pod Opočínkem, Doleháj, Obříství I – listopad 2001; Obříství II – září 2002.

	Fonové koncentrace	0,07	0,3	19	90	45	47 200	0,40	850	68,0	20,0	95	
	Těžký kov	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	
Labiště pod Opočínkem	Průměrná hodnota Horní vrstva	15,6	3,97	20,5	255	87,0	25 520	1,78	569	44,7	114,3	1022	
	Střední vrstva	28,4	5,00	20,5	316	117,0	25 020	2,30	485	45,0	110,0	1483	
	Spodní vrstva	14,3	4,20	22,7	252	85,0	27 353	2,39	679	47,0	115,0	1049	
		4,0	2,70	18,2	198	59,0	24 187	0,64	543	42,0	118,0	533	
Doleháj	Průměrná hodnota Horní vrstva	13,0	2,25	17,5	94	34,0	16 200	0,41	247	32,5	71,8	168	
	Spodní vrstva	13,5	3,50	16,5	75	27,5	13 200	0,39	310	30,5	66,5	156	
		12,5	1,00	18,5	114	40,5	19 200	0,43	184	34,5	77,0	180	
Obříství I	Průměrná hodnota Horní vrstva		4,33	19,3	241	132,7	22 833	5,80	1 950	44,7	184,0	943	
	Střední vrstva		4,70	22,0	231	134,0	27 200	3,60	1 250	50,0	145,0	650	
	Spodní vrstva		4,00	19,0	266	125,0	22 400	7,20	1 720	50,0	173,0	1 030	
			4,30	17,0	225	139,0	18 900	6,60	2 880	34,0	234,0	1 150	
Obříství II	Průměrná hodnota Horní vrstva		8,4	6,44	15,2	210	115,1	28 742	3,58	1 030	35,5	375,8	777
	Střední vrstva		13,3	7,50	13,0	300	144,4	30 075	4,53	1 128	42,3	314,1	965
	Spodní vrstva		6,6	7,50	16,8	205	120,7	29 858	5,17	1 080	34,0	492,5	958
			5,3	4,33	15,9	125	80,3	26 292	1,05	884	30,1	320,8	409

stoupena třída *Cyanophyceae*, v Obříství největší počet jedinců náležel třídě *Bacillariophyceae*. Druhové složení fytoplanktonu tedy jasně odpovídalo eutrofnímu až hypertrofnímu charakteru jezera, který byl potvrzen i hodnotami celkového fosforu a chlorofylu a. Výskyt maximálního počtu jedinců odpovídal minimální průhlednosti vody. Z hlediska zooplanktonu byly nejpočetnějšími skupinami ve všech slepých ramenech *Rotatoria* a *Copepoda*. Na všech lokalitách byla provedena též velikostní analýza zooplanktonu. Zaznamenaná absence velkých jedinců odpovídala vysokému predacnímu tlaku planktonožravých ryb (Lellák, Kubíček 1992).

#### 4.4. Těžké kovy v sedimentech

V povodí Labe se nachází celá řada zdrojů produkujících tyto polutanty. Ve vodním prostředí nejsou eliminovány, vážou se na jemně suspendované částice ve vodě, které v místech s nižší rychlosťí proudění sedimentují. Za určitých fyzikálně-chemických podmínek může dojít k opětovné mobilizaci kovů zpět

do vody. Tím se tedy říční sedimenty stávají nejen zásobárnou těchto polutantů, ale mohou být též zdrojem další kontaminace prostředí.

Odběr vzorků sedimentu byl na všech lokalitách proveden současně v listopadu 2001. Vzhledem k povodním v srpnu roku 2002, kdy došlo v oblasti Obříství k vybřezení Labe, byl zde odebrán sediment ještě v září téhož roku. Vzorky byly nejprve podrobeny hustoměrné zkoušce a sítovému rozboru. Nej-jemnější zrnitost měly sedimenty odebrané v jezeře Labiště pod Opočínkem, kde velikostní frakce <63 m tvořila přibližně 50 %, naopak převahu hrubozrnné frakce měly vzorky z Doleháje. Na všech lokalitách bylo více jemných částic zjištěno v hlubších vrstvách.

Jak naznačuje tabulka 3, nejnižší koncentrace všech stanovených těžkých kovů vykazovaly vzorky odebrané ve slepém rameni Doleháj. Tato situace mohla být následkem brzkého oddělení meandru od Labe (o 50 let dříve než slepá ramena Labiště pod Opočínkem a Obříství) a jeho poměrně velké vzdálenosti od koryta řeky, kdy jemné částice vázající těžké kovy sedimentovaly dříve, než voda do jezera přívodním kanálem přitekla. V úvahu je také třeba brát fakt, že kolínský průmyslový uzel nedosahuje takové významnosti, jako je tomu v obou zbyvajících případech.

Nejvyšší koncentrace Ag, Co, Cr, Fe a Zn byly naměřeny v slepém rameni Labiště pod Opočínkem. Zdrojem těchto vyšších obsahů těžkých kovů mohou být průmyslové podniky hradecko-pardubické aglomerace např. Synthesia Semtíň, Foma Hradec Králové, popř. odpadní vody z odkaliště Opatovické elektrárny. V případě kadmia, mědi, rtuti, mangantu a olova byly zaznamenány nejvyšší koncentrace v slepém rameni Obříství. Zde je pravděpodobně původem této kontaminace podnik Spolana Neratovice, dále Kaučuk Kralupy nad Vltavou, vliv mohla mít i mělnická tepelná elektrárna.

Závislost koncentrace těžkých kovů na hloubce je na jednotlivých lokalitách značně variabilní (viz tabulka 3). Stejný průběh byl zaznamenán jen u Cd a Pb. Svrchní část sedimentu ve slepém rameni Doleháj byla obohacena jen stříbrem a manganem, ostatní kovy vykazovaly vyšší koncentrace v hlubším, tedy starším horizontu. V Labišti pod Opočínkem byl naopak prokázán v horních vrstvách vyšší obsah většiny těžkých kovů (stříbra, kobaltu, chromu, mědi, železa, rtuti, niklu a zinku). Podobně tomu bylo i ve vzorcích, které byly odebrány ve slepém rameni Obříství. Svrchní vrstva zde byla obohacena především kobalem, chromem, železem a niklem.

Budeme-li předpokládat, že s rostoucí hloubkou roste i stáří sedimentu, můžeme konstatovat, že ke kontaminaci jednotlivých lokalit došlo tedy pravděpodobně v jinou dobu. Tento fakt by bylo možné vysvětlit odlišným rozvojem průmyslových podniků způsobujících tuto zátěž. Bohužel však nebyla provedena podrobná datace, která by napomohla k identifikaci zdrojů tohoto znečištění.

Jak je uvedeno výše, byly v září roku 2002 odebrány vzorky sedimentu opět v lokalitě Obříství. Důvodem bylo zhodnocení vlivu povodně z tohoto měsíce, kdy hladina dosahovala o několik metrů vyšší úrovňě jak v řece, tak i ve slepém rameni. Tehdy došlo k napojení starého meandru a úplného přelití betonové propustě při ústí do Labe. Získané vzorky obsahovaly v porovnání s výše uvedenými vyšší koncentrace kadmia, železa a olova. Naopak analýzy prokázaly nižší obsah kobaltu, chromu, mědi, rtuti, mangantu, niklu a zinku (tab. 3).

Při posuzování vztahu koncentrace a hloubky jsme u všech měřených kovů s jedinou výjimkou, kterou byl kobalt, zjistili vyšší obsah ve svrchních vrstvách sedimentu. Možným vysvětlením by mohla být pomalá sedimentace velmi jemné frakce, na kterou se studované elementy ochotně vážou.

Tab. 4 – Hodnocení znečištění sedimentů

Hodnota $I_{geo}$	Třída $I_{geo}$	Znečištění sedimentu
<0	0	nekontaminovaný
0–1	1	nekontaminovaný až středně kontaminovaný
1–2	2	středně kontaminovaný
2–3	3	středně kontaminovaný až silně kontaminovaný
3–4	4	silně kontaminovaný
4–5	5	silně kontaminovaný až velmi silně kontaminovaný
>5	6	velmi silně kontaminovaný

Tab. 5 – Geoakumulační indexy

Hodnoty $I_{geo}$	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Labiště pod Opočínkem											
2001	7,21	3,14	-0,48	0,92	0,87	-1,47	1,57	-1,16	-1,19	1,93	2,84
Doleháj 2001	6,95	2,32	-0,70	-0,52	-0,99	-2,13	-0,55	-2,37	-1,65	1,26	0,24
Obříství 2001		3,27	-0,56	0,83	0,97	-1,63	3,27	0,61	-1,19	2,62	2,73
Obříství 2002	6,32	3,84	-0,90	0,64	0,77	-1,30	2,58	-0,31	-1,52	3,65	2,45

Tab. 6 – Třídy znečištění sedimentů

Třídy $I_{geo}$	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Labiště pod Opočínkem											
2001	6	4	0	1	1	0	2	0	0	2	3
Doleháj 2001	6	3	0	0	0	0	0	0	0	2	1
Obříství 2001		4	0	1	1	0	4	1	0	3	3
Obříství 2002	6	4	0	1	1	0	3	0	0	4	3

Pro posouzení zatížení sedimentů těžkými kovy bylo použito geoakumulačního indexu  $I_{geo}$  (Müller 1979), který vychází z průměrných koncentrací prvků v přirozeném geologickém prostředí. Pro tento případ bylo vhodné použít obsahy těžkých kovů uváděné Turekianem a Wedepohlem (1961) pro průměrné jílové sedimenty (tab. 3). Hodnota  $I_{geo}$  se počítá podle vztahu:

$$I_{geo} = \log_2 (Cn / (1,5 \times Bn)),$$

kde  $Cn$  je změřená koncentrace studovaného kovu,  $Bn$  je jeho pozadová (fotonová) koncentrace v průměrném jílovém sedimentu a koeficient 1,5 zahrnuje přirozenou variabilitu prostředí. Podle vypočítaných hodnot  $I_{geo}$  je pak určen stupeň kontaminace (tab. 4).

Jak je patrné z tabulky 5 a 6, vykazovaly sedimenty ve slepých ramenech Doleháj a Labiště pod Opočínkem velmi silnou kontaminaci stříbrem. Silná kontaminace kadmiem byla prokázána opět v případě Labiště a též Obříství, kde bylo zjištěno i silné znečištění v případě rtuti. Situace po povodni se v lokalitě Obříství zhorsila pouze v případě olova, naopak zatížení sedimentů rtutí zde pokleslo. Tyto výsledky poukazují na fakt, že pokud nedošlo k přepracování či vyluhování sedimentu, povodně na řece Labi pravděpodobně neznamenaly významnější zatížení prostředí těžkými kovy.

## 5. Závěr

Stará poříční ramena jsou velmi významnými ekologickými prvky krajiny. Patří k nesporným důkazům původního průběhu toku řeky, často si ponechala svůj přirozený ráz, a proto jsou útočištěm mnoha chráněných druhů. Ačkoliv mají stejnou genezi, ukázalo podrobné studium jisté odlišnosti v základních fyzikálních, chemických i biologických parametrech vody i v obsahu těžkých kovů v sedimentech. Rozdíly jsou spjaty s antropogenními aktivitami v blízkosti těchto přírodních objektů (pěstování zemědělských plodin a s tím spojeným hnojením, chovem dobytka, místním průmyslem, přítomností čistíren odpadních vod). Kvalitu životního prostředí však častěji ovlivňují regionální producenti znečištění (významný průmysl, chemické závody, aj.), kteří mají vliv na celé povodí řeky.

Slepým meandrům by do budoucna měla být věnována větší pozornost, neboť představují jakési přírodní archivy, odkud můžeme získat cenné poznatky o starých říčních korytech, ale i mnohé další o vývoji kvality vody v ekosystému, informace o možných zdrojích znečištění a též výši rizik, které představují staré, často kontaminované sedimenty. Nabízí se též možné využití těchto fluviálních jezer v protipovodňové ochraně, například jako řízených poldrů.

### Literatura:

- AIGLE, M. (1996): Size distribution in zooplankton by means of an image analysis system. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 147 s.
- HLÁSENSKÝ, I. (1994): Těžké kovy v recentních sedimentech povrchových toků okresu Kladno. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 104 s.
- HRBÁČEK, J. a kol. (1985): Limnologické metody. SPN, Praha, 208 s.
- HRBÁČEK, J., NOVOTNÁ, M. (1965): Plankton of four backwaters related to their size and fishstock. Rozpravy ČSAV, 73, č. 13, ČSAV, Praha, s. 1-65.
- HOFMANN, P. a kol. (1965): Jednotné metody chemického rozboru vod. SNTL, Praha, 449 s.
- HORAKOVÁ, M. a kol. (1986): Chemické a fyzikální metody analýzy vod. SNTL, Praha, 475 s.
- HORNE, A. J., GOLDMANN, CH. R. (1994): Limnology. International editions, Mc. Graw Hill, Inc., 576 s.
- CHALUPOVÁ, D. (2003): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů ve starém labském rameni Doleháj u Kolína. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 102 s.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky – současný stav geografického výzkumu. Monografie. PřF UK, Praha, 216 s.
- KLOUCEK, O. (2002): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v Labišti pod Opočínkem. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 86 s.
- KRONUS, J. (1998) 150 let rozvoje kolínského průmyslu. Městský úřad v Kolíně, Kolín, 164 s.
- LELLÁK, J., KUBÍČEK, F. (1992): Hydrobiologie. Karolinum, Praha, 257 s.
- MC CAULEY, E. (1984): The Estimation of the Abundance and Biomass of Zooplankton in Samples. In: Manual for the Assesment of Secondary Productivity in Fresh Water. IBP Hand Book, Chapt. 7, s. 228-265.
- MÜLLER, G. (1979): Schwermetalle in den sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971. Umschau 24, s. 778-783.
- Parcelní protokol obce Opočínek (rkp.). Katastrální úřad v Pardubicích, 47 s.
- Parcelní protokol obce Živanice (rkp.). Katastrální úřad v Pardubicích, 53 s.
- PITTER, P. (1999): Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 568 s.
- ŠNAJDR, M. (2002): Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v mrtvém labském rameni u Obříství. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 86 s.
- TUREK, M. (2004): Komplexní limnologická studie odstaveného labského ramene Libišská tůň v PR Čemínovsko. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 105 s.
- TUREKIAN, K. K., WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Bull. Geol. Soc. Am. 72, s. 175-192.

- WEISS, D. a kol. (1983): Metody chemické analýzy nerostných surovin. Svazek 1, Ústř. úst. geol., Praha.
- ZAVORAL, J. a kol. (1987): Metodiky laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin. Svazek 1, Ústř. úst. geol., Praha, 186 s.

## S u m m a r y

### THE OXBOW LAKES OF THE CENTRAL PART OF THE RIVER LABE – COMPARATIVE STUDY OF WATER QUALITY AND HEAVY METALS CONCENTRATIONS IN SEDIMENT

This article deals with the results of an investigation of three oxbow lakes of the central part of the Labe River. The survey was carried out during the years 2000 and 2002 and it was focused on water quality (physical, chemical and hydrobiological analyses), quality of lake sediments (grain texture, content and distribution of heavy metals) as well as bathymetric measurements and hydrological conditions too. All selected oxbow lakes are situated in the vicinity of large towns with well-developed chemical industry and the lowlands along the Labe River are one of the most intensively farmed areas of the Czech Republic. These three localities were chosen to evaluate the state of the environment and the impact of human activity on it.

The first lake Labiště pod Opočínkem is situated a few kilometres to the west of Pardubice. Its separation from the river dates from before 1913. At present the lake communicates with the water stream at high river stages by means of a culvert.

The second lake Doleháj is located near the town of Kolín, it is the oldest one and the stream of the Labe River had already been rectified during the years 1854 to 1855. At present, its communication is rather limited (very long inlet channel with low yield).

The last selected lake, called Obříství, is located near the town of Mělník, 6 or 7 kilometres before the junction with the River Vltava. It came into existence in the second decade of the 20<sup>th</sup> Century, as did Labiště. It has one tributary – Černavka stream – and it is connected with the river through a concrete penstock from which at normal water stages water flows out of the lake into the River Labe.

Owing to small depth of the lakes, the temperature fluctuated during the year quite a lot and there was not found any thermic stratification. The transparency of water correlated with the development of planktonous organisms as well as with the increase of concentrations of chlorophyll *a*. The mean conductivity in Obříství reached practically double values (854 µS/cm). This situation may have been caused by the above-mentioned Černavka tributary, in the basin of which a sugar mill had recently been operating.

Another parameter monitored was pH. Slightly alkaline water was registered in all the localities, which is in accordance with the character of the lakes.

The saturation of water with oxygen correlated with higher photosynthetic activity during the vegetation period (more than 100 %) and biomass decomposition in autumn in Doleháj and Obříství. Rather different situation occurred in Labiště pod Opočínkem, where the high content of biologically degradable substances (mean  $BOD_5 = 17,73 \text{ mg/l}$ ; mean  $COD_{Mn} = 20,12 \text{ mg/l}$ ) may have caused the low saturation of water with this gas even during the summer season. However, higher amount of organic pollution was determined in Doleháj too. Higher values of  $BOD_5$  and  $COD_{Mn}$  were achieved in April, when the first mortification of large amounts of phytoplankton occurs after the maximum effect in the spring or in autumn, when this situation is repeated after vegetation periods.

From the point of view of the loading of the oxbow lakes with nutrients, certain differences were registered between the localities. Significantly higher concentrations of nitrate nitrogen were detected in Obříství (mean value = 8,5 mg/l). On the other hand, the highest mean value of the ammoniacal form of this element was registered in Doleháj (mean value = 1,20 mg/l). The deserted oxbow Labiště pod Opočínkem was, in contrast, characterized by a content of phosphatic phosphorus that was several times higher (mean value = 0,41 mg/l). These results were probably caused by different types of water contamination resulting from human activity in the different localities (the character of fertilizers used in fields nearby, pollution with sewage, etc.). The oxbow lakes Doleháj and Obříství were characterized by a drop in dissolved inorganic nitrogen and phosphatic phosphorus concentrations during the vegetation season, when these nutrients are exploited by biomass. An interesting situation occurred in Labiště pod Opočínkem, where

the inorganic nitrogen content remained practically on a constant level during the entire monitoring period. Phosphatic phosphorus achieved its peak values in autumn, when the sources are probably, excepting dead organic substances, also sediments from which this element can be released under reduction conditions.

Comparing complementary water indices, we detected a significantly higher calcium content (mean value = 150 mg/l) and, consequently, water hardness, in Obříství. The source can probably be found in the Černavka stream, as in its water basin a sugar mill was being run. Likewise, markedly higher chloride concentrations were detected in Doleháj, which can be attributed, considering the increased concentrations of ammonia forms of nitrogen, to faecal pollution.

Water quality in the surveyed lakes was also compared with data provided by ČHMÚ from the nearest profiles of the River Labe. Diversified results definitely relate to the different character of the river and dead water, but are also caused by various human activities in the catchment area (e.g. the sort of fertiliser used, industry, former stress).

Considering hydrobiological analyses, there were found certain differences among the lakes. In Labiště pod Opočínkem the class *Chlorophyceae* dominated in the summer months, in Doleháj the class *Cyanophyceae* was the main presence, and in Obříství the majority of individuals belonged to the class *Bacillariophyceae*. As for the species of phytoplankton, the composition clearly corresponded with the eutrophic or hypertrophic character of the lakes. Considering zooplankton, the most numerous groups in all the dead channels were *Rotatoria* and *Copepoda*. At all localities an analysis of zooplankton sizing was also performed. The registered absence of large specimens corresponded with the high predation stress of planktonophagous fish.

The grain texture and the content of Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn were determined in samples of sediment taken in November 2001 from each lake. The lowest concentrations of all measured elements were determined in Doleháj. This situation may have resulted from its early separation from the main stream of the River Labe (50 years earlier than the oxbow lakes Labiště pod Opočínkem and Obříství) and its relatively long distance from the river stream. The fact that industry in the Kolin industrial area is not as important as in the two remaining zones should be taken into consideration too. The highest concentrations of Ag, Co, Cr, Fe and Zn were measured in Labiště pod Opočínkem. The source of these high contents of heavy metals may be industrial plants in the Hradec – Pardubice agglomeration, e.g. Synthesis Semtíň, Foma Hradec Králové, or waste water from the Opatovice Power Plant sludge lagoon. Concerning cadmium, copper, mercury, manganese, and lead, the highest concentrations were registered in Obříství. The probable source of this high concentration is the Spolana Neratovice plant, and furthermore Kaučuk Kralupy nad Vltavou; some impact could also come from the Mělník Power Plant.

Considering the dependence of the concentration of heavy metals on depth, we detected that the conditions in the individual localities differ from place to place. The same dependence was detected only for Cd and Pb. The upper layer of the sediment in Doleháj was rich only in silver and manganese; in Labiště pod Opočínkem a high content of most heavy metals was, on the other hand, found in the upper layers: silver, cobalt, chromium, copper, iron, mercury, nickel, and zinc. It was similar in samples taken in Obříství. Here the upper layer was first of all rich in cobalt, chromium, iron, and nickel. Assuming that sediment age increases together with increasing depth, we can surmise that the localities were probably contaminated at different times. This fact could be explained by the diversified development of the industrial plants causing this load. Unfortunately, no detailed dating was done that could contribute to identification of the sources of this pollution.

In September 2002 sediment samples were taken again in the Obříství locality. The reason was to assess the influence of the flooding in August, when the water level reached a level several metres higher, both in the river and in the oxbow lake, when it was connected with the river again. The samples obtained contained, compared with the above-mentioned ones, higher concentrations of cadmium, iron, and lead. On the contrary, the analyses proved lower contents of cobalt, chromium, copper, mercury, manganese, nickel, and zinc.

Considering the concentration – depth relation for all metals measured, excepting only cobalt, higher contents were detected in upper sediment layers.

For the assessment of loading sediments with heavy metals the geo-accumulative index Igeo was applied. The sediments in Doleháj and Labiště pod Opočínkem displayed very high contamination with silver; high contamination with cadmium was also proven in the case of Labiště, as well as Obříství. Here high pollution with mercury was detected as well. The

situation after the flood in the Obříství locality worsened only concerning lead, but the loading of sediments with mercury dropped.

In spite of the identical principle of occurrence and existence of these fluvial lakes, detailed research demonstrated certain differences in water quality and pollution of sediments, this fact will result in future utilization of these lakes.

Fig. 1 – Localization of the selected fluvial lakes in the central part of the River Labe.

Fig. 2 – Oxygen saturation (in %). Vertical axis – hydrological year 2000/2001.

Fig. 3 – COD<sub>5</sub> (mg/l). Vertical axis – hydrological year 2000/2001.

Fig. 4 – Dissolved inorganic nitrogen (mg/l). Vertical axis – hydrological year 2000/2001.

Fig. 5 – Phosphate phosphorus (mg/l). Vertical axis – hydrological year 2000/2001.

(Pracoviště autorů: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK,  
Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: dada.chalupova@volny.cz, jansky@natur.cuni.cz.)

MARTIN TUREK

## LIBIŠSKÁ TŮŇ V PŘÍRODNÍ REZERVACI ČERNÍNOVSKO: SOUČASNÝ STAV A ANTROPOGENNÍ NARUŠENÍ EKOSYSTÉMU FLUVIÁLNÍHO JEZERA Z KOMPLEXNĚ LIMNOLOGICKÉHO POHLEDU

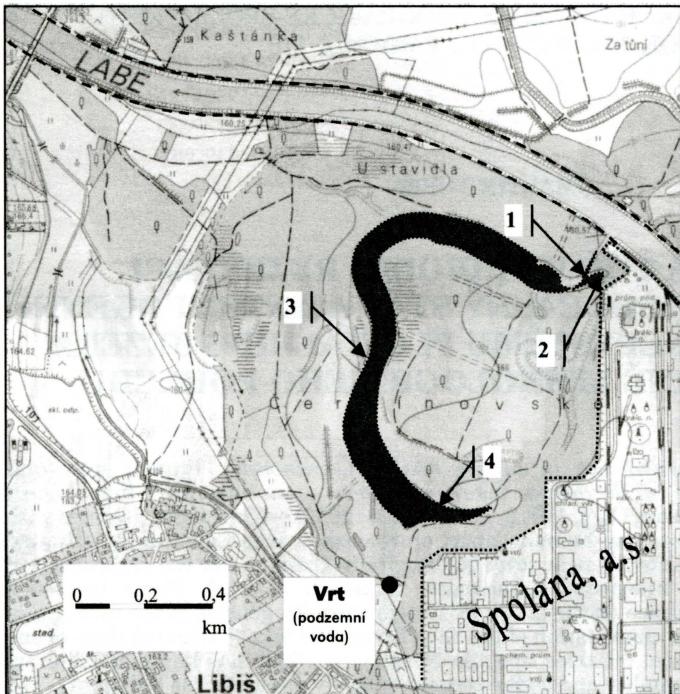
M. Turek: *Lake Libišská tůň in nature reserve Černínovsko: Present state and anthropogenic disturbance of the oxbow lake's ecosystem – an integrated limnological approach.* – Geografie–Sborník ČGS, 110, 3, pp. 243–254 (2005). – This paper dealings with the history, the present state and human impact on the oxbow lake Libišská tůň situated in the nature reserve Černínovsko near town Neratovice in Czechia. For the assessment of the lake's ecosystem an integrated limnological approach is used. There has been a considerable human influence on the lake's ecosystem since it's genesis in the first half of the 19th century during the canalization of the Elbe River. The lake is situated close to one of the biggest Czech chemical factories Spolana Neratovice, which has had a detrimental impact on the lake's water quality and on the content of heavy metals in the sediments. The fish stock there has a significant impact on the species composition of plankton. A morphometric survey was carried out on the lake and the annual hydrological regime of the lake in view of the river and groundwater has been evaluated.

**KEY WORDS:** oxbow lake – Libišská tůň – Černínovsko – limnological study – heavy metals – Spolana Neratovice – Elbe River canalization.

Článek vznikl za finanční podpory grantu GACR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264) a výzkumného záměru MŠM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“

### Úvod a cíle

Antropogenním zásahem do původně meandrujícího koryta Labe vzniklo v první polovině 19. století fluviální jezero Libišská tůň. Jeho výzkum se stal součástí projektu GA ČR „Atlas jezer České republiky“, kde tematicky zapadá do strategie výzkumu fluviálních jezer v Česku (Janský 2005). Libišská tůň se stala čtvrtou studovanou lokalitou (Turek 2004) v oblasti středního Polabí a navázala na práce Šnajdra (2002), Kloučka (2002) a Chalupové (2003). Jezero Libišská tůň se nachází na levém břehu řeky Labe (10 km nad soutokem s Vltavou), 2 km severně od Neratovic, mezi obcí Libiš a korytem Labe. Jezero má typický půdorys ve tvaru podkovy o ploše 9,9 ha. Severní část odstaveného meandru je od současného koryta Labe vzdálena asi 150 m, jižní část asi 800 m. Do Libišské tůně neústí žádný povrchový tok a povrchová komunikace s Labem je vzhledem k značně zazemněnému přívodnímu kanálu a betonové hrázi s dnes již nepohyblivým stavidlem u Labe omezena jen na vysoké vodní stavby v řece. Celý meandr je součástí přírodní rezervace Černínovsko, tvořené na většině jejího území zachovalým refugiem lužního lesa.



Obr. 1 – Poloha jezera Libišská tůň, vrtu (hladina a jakost podzemní vody) a odběrových míst pro rozboru sedimentu (1–4). Podkladová mapa ZMČR (1996).

ské tůně se jeví právě geografický integrující pohled na jezero jako velmi potřebný a vhodný. Lze totiž předpokládat, že vlivem člověka byly podstatně zasaženy všechny hlavní složky jezerního ekosystému.

Hodnocení současného stavu jezera a jeho antropogenní ovlivnění je v článku rozděleno do několika tematických oblastí – hlavních limnologických přístupů.

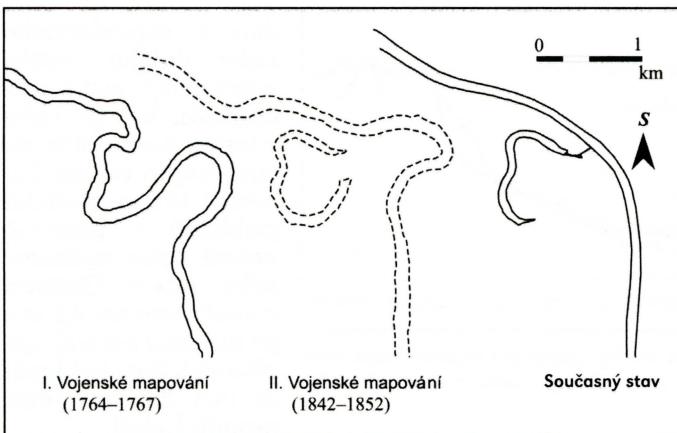
### Vznik jezera a morfologický vývoj

Koryta středních a dolních částí toků bývají zpravidla tvořena zákruty, meandry a vedlejšími rameny. Ty pak ve vývoji fluviálního systému dávají vzniknout poříčním jezerům. Tento vývoj nastává přirozeně procesy fluviální eroze a akumulace. Libišská tůň je však příkladem odstaveného meandru (dále jen „meandr“) – tedy původně aktivní části říčního toku, která byla během umělého napřimování koryta Labe oddělena antropogenním zásahem. V odstaveném meandru tak byly vlivem člověka pozastaveny veškeré procesy vázané na hydrologickou dynamiku toku.

K odstavení meandru došlo během první etapy regulace Labe na Mělnicku, probíhající od počátku 19. stol. až do období okolo roku 1830. Na mapě Stabilního katastru z r. 1842 má Libišská tůň (‘Alte Elbe’) tvar téměř uzavřeného „C“ (vzdálenost mezi oběma konci byla pouhých 80 m) a jezero dosahovalo délky okolo 2 850 m (dnes 1 440 m). Na mapě pocházející z období II. Vojenského mapování (1842–1852; obr. 2) je jižní konec jezera již zkrácen (asi o 300 m) a do počátku 20. století pak ještě opakovaně došlo k zasypání jižní

Příbřežní zónu Libišské tůně lemují množství padlých kmenů. Oba konce jezera se nacházejí v bezprostřední blízkosti areálu Spolany Neratovice a. s. (obr. 1). Lokalita byla sledována jeden rok, od května 2003 do dubna 2004.

Cílem článku je popsat a zhodnotit současný stav jezera a jeho antropogenní ovlivnění. Plné integrace chemického, fyzikálního, geologického a biologického přístupu v limnologii je možno dosáhnout až na úrovní ekosystému (Lewis a kol. 1995). Vzhledem k zajímavé a exponované poloze ekosystému Libiš-



Obr. 2 – Vznik a vývoj Libišské tůně

vem zazemňování severní části ramena došlo ke vzniku menší “oddělené tůně“, jež je od Libišské tůně po většinu roku oddělena (obr. 4).

Batymetrická mapa (obr. 6) byla sestrojena na základě půdorysných měření totální geodetickou stanicí a batymetrických měření echolotem (podle Janšký, Šobr a kol. 2003). I přes starý jezera je z ní dobré patrný průběh proudnice v době, kdy byla Libišská tůně meandrem hlavního koryta Labe. Příčný profil jezerem je na většině míst meandru zřetelně asymetrický. Nejhlubší místa jezera se tak nacházejí u bývalých výsepních břehů, zejména u středního (maximální hloubka 2,6 m) a severního zákrutu. Naopak místa nejmělké jsou lokalizována u břehů původně jesepních a na obou koncích jezera, zvláště v oblasti severního konce. Tam dochází k intenzivnějšímu zazemňování vlivem přítomnosti rozsáhlejších porostů makrofyt a menší vzdálenosti od Labe, způsobující ukládání sedimentů během povodňových stavů. Odlišná morfologie dna obou konců jezera souvisí s jeho vývojem, kdy jižní konec byl několikrát zavážen, zatímco severní konec byl od vzniku jezera geomorfologicky utvářen pouze přírodními vlivy.

Libišskou tůně lze rozlohou 9,87 ha řadit mezi relativně velká jezera fluviálního původu v rámci Česka. Svou rozlohou leží na dolní hranici ( $0,1 \text{ km}^2$ ) stanovené pro zařazení do Svetové databáze jezer (Lehner, Doll 2004). Malá průměrná hloubka je pro tento genetický typ jezer charakteristická. V tomto případě činí pouze 1,0 m, s čímž souvisí i relativně malý objem jezera  $100\,854 \text{ m}^3$ . 44 % celkového objemu se nachází ve vrstvě vody mezi hladinou a hloubkou 0,5 m. 75 % objemu jezera leží nad hloubnicí 1,0 m. Největší plochu (32 % rozlohy jezera) zabírá hloubkový stupeň 1,0–1,5 m. Původ jezera je zjevný i z výrazné protáhlého tvaru – délka odstaveného meandru (1 440 m) je patnáctinásobkem jeho maximální šířky (94 m), přičemž průměrná šířka dosahuje pouze 68 m.

### Hydrologický režim jezera

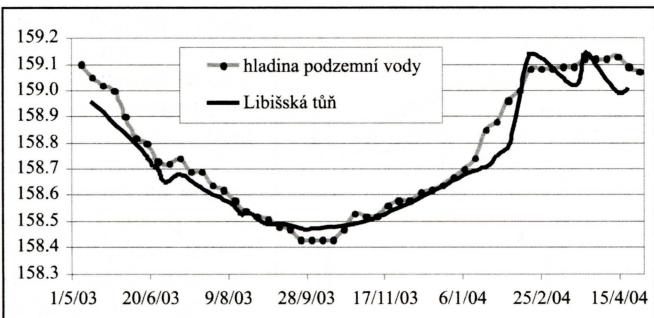
Libišská tůně je již více než 160 let oddělena od toku Labe, kterého bývala součástí. Stala se tak autonomním prvkem, jehož hydrologický režim však nadále zůstává výrazně závislý na dynamice řeky. Před výstavbou jezů Lobkovice a Obříství bývaly odstavený meandr a přilehlý lužní les zaplavovány vo-

části meandru (asi 700 m, dnes tam z části zasahuje areál neratovické Spolany, a.s.)

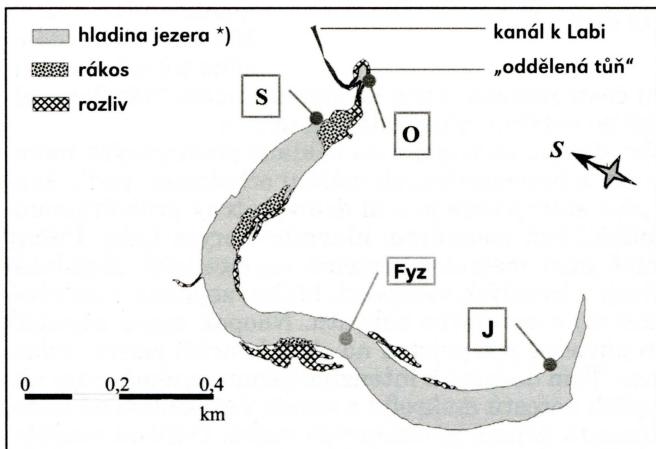
V průběhu vývoje jezera až do současnosti došlo k výraznému zazemnění severního konce meandru. A to zejména v důsledku rozsáhlého porostu rákosin, olší a vrb a také vlivem kumulace sedimentů při rozluvu 100 až 150 m vzdáleného toku Labe. Vlivem zazemňování severní části ramena došlo ke vzniku menší “oddělené tůně“, jež je od Libišské tůně po většinu roku oddělena (obr. 4).

Batymetrická mapa (obr. 6) byla sestrojena na základě půdorysných měření totální geodetickou stanicí a batymetrických měření echolotem (podle Janšký, Šobr a kol. 2003). I přes starý jezera je z ní dobré patrný průběh proudnice v době, kdy byla Libišská tůně meandrem hlavního koryta Labe. Příčný profil jezerem je na většině míst meandru zřetelně asymetrický. Nejhlubší místa jezera se tak nacházejí u bývalých výsepních břehů, zejména u středního (maximální hloubka 2,6 m) a severního zákrutu. Naopak místa nejmělké jsou lokalizována u břehů původně jesepních a na obou koncích jezera, zvláště v oblasti severního konce. Tam dochází k intenzivnějšímu zazemňování vlivem přítomnosti rozsáhlejších porostů makrofyt a menší vzdálenosti od Labe, způsobující ukládání sedimentů během povodňových stavů. Odlišná morfologie dna obou konců jezera souvisí s jeho vývojem, kdy jižní konec byl několikrát zavážen, zatímco severní konec byl od vzniku jezera geomorfologicky utvářen pouze přírodními vlivy.

Libišskou tůně lze rozlohou 9,87 ha řadit mezi relativně velká jezera fluviálního původu v rámci Česka. Svou rozlohou leží na dolní hranici ( $0,1 \text{ km}^2$ ) stanovené pro zařazení do Svetové databáze jezer (Lehner, Doll 2004). Malá průměrná hloubka je pro tento genetický typ jezer charakteristická. V tomto případě činí pouze 1,0 m, s čímž souvisí i relativně malý objem jezera  $100\,854 \text{ m}^3$ . 44 % celkového objemu se nachází ve vrstvě vody mezi hladinou a hloubkou 0,5 m. 75 % objemu jezera leží nad hloubnicí 1,0 m. Největší plochu (32 % rozlohy jezera) zabírá hloubkový stupeň 1,0–1,5 m. Původ jezera je zjevný i z výrazné protáhlého tvaru – délka odstaveného meandru (1 440 m) je patnáctinásobkem jeho maximální šířky (94 m), přičemž průměrná šířka dosahuje pouze 68 m.



Obr. 3 – Vývoj nadmořské výšky hladiny Libišské tůně (osa x v metrech) a podzemní vody. Zdroj stavů podzemní vody: ČHMÚ.



Obr. 4 – Libišská tůň za nejvyššího pozorovaného vodního stavu 159,14 m n. m. \*) při výšce hladiny 158,75 m n. m. Odběrová místa pro chemickou analýzu vody a hydrobiologické rozboru (S, J, O), místo fyzikálních měření (Fyz).

hladiny Libišské tůně a podzemní vody ukazuje obrázek 3. Stavy hladiny podzemní vody, poskytnuté ČHMÚ v Praze, byly sledovány ve vrtu nacházejícím se asi 200 m jižně od jezera, při hranici lužního lesa (viz obr. 1). Hladina jezera byla v průběhu sledovaného období výše oproti hladině podzemní vody pouze za extrémních vodních stavů v jezeře (nejnižším i nejvyšším). Přičemž vyšší nadmořská výška hladiny oproti podzemní vodě za nejnižších vodních stavů v roce, je způsobena zřejmě výrazně kratší vzdáleností jezera od Labe (oproti vrtu). Téměř shodný průběh obou křivek dokumentuje zjevnou závislost vodního stavu v Libišské tůni na hladině podzemní vody po většinu roku. Zřetelná oscilace vodního stavu Libišské tůně na konci sledovaného období, vzhledem k setrválému stavu hladiny podzemní vody, poukazuje na převládající přímý (povrchový) vliv řeky na výšku hladiny v jezeře za vysokých vodních stavů v Labi.

Za nejvyšší pozorované výšky hladiny Libišské tůně (159,14 m n.m.) bylo zaznamenáno rozlití jezera do přilehajících túní a ramen nižších rádů (obr. 4).

„Oddělená tůň“, spojující jezero a kanál (dnes již výrazně zazemněný) k Labi (viz obr. 4), je s meandrem propojena souvislou hladinou pouze při vodním

dou z rozvodněného Labe daleko častěji a výrazněji, než v současnosti, kdy je Labe v tomto úseku plně regulovaným tokem. Libišská tůň se nachází přibližně v polovině vzdutí Labe, způsobeného jezem Obříství (vzdáleným asi 2,5 km po proudu) a dosahujícího až k jezu Lobkovic (asi 3,5 km proti proudu Labe).

Maximální amplituda vodního stavu v jezere během sledovaného období činila 66 cm. Vzhledem k tomu, že do jezera neústí žádný vodní tok, je jeho vodní stav ovlivněn pouze výškou hladiny podzemní vody a řekou Labe – její povrchovou komunikací s jezerem, ale zejména však významnou determinací hladiny podzemní vody v labské říční nivě. Povrchový srážkový ron má vzhledem k morfologii příbřežní zóny zanedbatelný vliv. Srovnání vývoje

stavu vyšším než 159,02 m n. m. Toto propojení bylo ve sledovaném období zaznamenáno od 17. února do 31. března. Obě nádrže tak byly propojeny pouze v jednom souvislém období v roce.

### Chemické a fyzikální vlastnosti vody v jezeře

Teplota vody v jezeře, vzhledem k jeho velké ploše a malé průměrné hloubce, se relativně rychle během roku mění v závislosti na okolní teplotě vzduchu a intenzitě slunečního záření. Rozdíly mezi teplotou vody při hladině a u dna, naměřené během roku, byly minimální (0 až 0,9 °C). Vlivem driftového proudu je promícháván celý objem mělkého jezera a nedochází proto k sezónní teplotní stratifikaci, ve smyslu vytvoření epi-, meta- a hypolimnion, běžné u hlubších jezer.

Průhlednost vody dosahovala během roku od 70 do 95 cm, což jsou hodnoty pro mezotrofní a hypertrofní nádrže tohoto typu obvyklé. Významnější vegetační zákal, jenž by výrazněji snížil průhlednost vody, nebyl na lokalitě ve sledovaném období pozorován. Největší průhlednost, 95 cm, vykazovala Libišská tůň překvapivě v červnu, kdy byl ve vodě zjištěn relativně nízký obsah chlorofylu a, poukazující na nižší výskyt fytoplanktonu, než je typické pro toto roční období. Nejnižší průhlednost byla naměřena v listopadu, a to zejména kvůli zvýšenému obsahu zvířeného detritu (pozorovaného ve vzorcích při hydrobiologické analýze). Ve všech měřených během roku měla voda v jezeře stejné, dle Forel-Uleovy stupnice hnědožluté, zbarvení. To bylo způsobeno kromě rozpuštěných látek i barvou suspendovaného detritu a zbarvením planktonu.

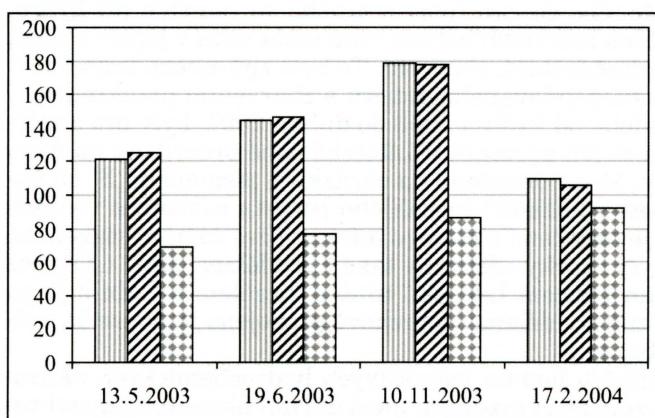
Během sledovaného období, od května 2003 do dubna 2004, byly pro analýzu základních hydrochemických parametrů Libišské tůně provedeny na dvou místech čtyři odběry vody. Místo označené na obrázku 4 písmenem „S“ se nachází v severní části jezera v blízkosti rozsáhlého porostu rákosin a vodních makrofyt. Písmenem „J“ je označeno odběrové místo v jižní části odstaveného meandru. Pro srovnání byly vzorky odebrány také z „oddělené tůně“ („O“), jež leží mezi severovýchodním koncem Libišské tůně a kanálem k Labi a je po většinu roku od Libišské tůně oddělena (povrchově propojena je pouze za výšších vodních stavů, viz obr. 4).

Jak je patrné z průměrných hodnot jednotlivých hydrochemických ukazatelů (tab. 1), lze hovořit o značných rozdílech mezi dílčími ukazateli jakosti vody. Zatímco naměřené hodnoty obsahu rozpuštěného kyslíku, amoniakálního a dusičnanového dusíku, vápníku či železa odpovídají charakteristickým hodnotám (velmi) čistých vod,  $\text{BSK}_5$ , konduktivita a zejména hodnota  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  i koncentrace mangani nabývají hodnot typických pro vody silně až velmi silně znečištěné.

Hodnoty elektrolytické konduktivity v Libišské tůni (obr. 5), z hlediska přirodních vod vysoké (průměrně  $139 \text{ mS.m}^{-1}$ ), svědčí o zvýšeném obsahu iontově rozpuštěných látek (elektrolytů). Z analyzovaných ukazatelů (uvedených v tab. 1) se jedná zejména o zvýšený obsah chloridových aniontů a vápenatých kationtů. Konduktivita je v Libišské tůni ve významné negativní korelací s vodním stavem v jezeře. Nejvyšších hodnot tak elektrolytická konduktivita nabývala v polovině listopadu, v období nejnižších vodních stavů. Tehdy byla na severním odběrovém místě naměřena maximální hodnota  $179 \text{ mS.m}^{-1}$ . V naměřených vertikálních profilech byl zřejmý plynulý nárůst hodnot konduktivity od hladiny směrem ke dnu jezera, odpovídající vertikálnímu gradientu vodivosti v mělkých jezerech a túních, kde je v důsledku relativně velké plochy dna a malého objemu nádrže celý vodní sloupec výrazně ovlivněn procesy v sedimentech (Pithart a kol. 2000).

Tab. 1 – Chemismus vody v Libišské tůni – průměrné hodnoty (odběrová místa „S, J“)

Parametr	Aritmetický průměr	Směrodatná odch.	MAX	MIN
pH	7,83	0,61	8,63	6,75
Konduktivita ( $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ )	138,95	26,66	179,00	105,70
Rozpuštěný kyslík ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	8,18	3,67	16,38	4,75
Nasycení kyslíkem (%)	71,42	18,16	112,98	55,90
$\text{BSK}_5$ ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	9,38	3,94	16,79	5,14
$\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	18,52	7,41	31,36	12,00
$\text{KNK}_{4,5}$ ( $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ )	5,93	1,11	7,40	4,40
Tvrďost vody ( $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ )	3,76	0,59	4,75	3,00
Vápník ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	123,75	20,55	160,32	100,20
Chloridy ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	260,06	45,36	336,92	214,78
Železo ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	0,06	0,04	0,10	0,00
Mangan ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	1,19	0,90	2,58	0,17
Hliník ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	0,02	0,02	0,04	0,00
Amoniakální dusík ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	0,24	0,12	0,50	0,12
Dusitanový dusík ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	0,05	0,03	0,11	0,02
Dusičnanový dusík ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	1,21	0,86	2,67	0,34
Rozpuštěný anorg.dusík ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	1,50	0,93	3,07	0,68
Fosforečnanový fosfor ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	0,11	0,06	0,20	0,03



Obr. 5 – Vývoj konduktivity v Libešské tůni (odběrová místa S – první sloupec, J – druhý sloupec) a její oddělené části, která s jezerem periodicky komunikuje (O – třetí sloupec)

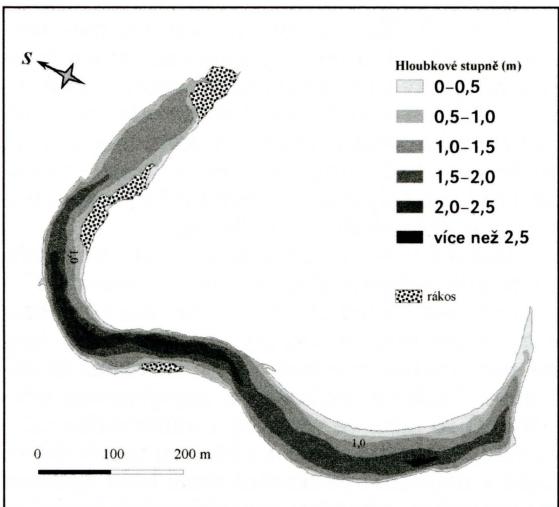
lku pohybovala okolo  $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a nasycenost vody tak byla pouze 5%.

Ukazatele obsahu organických látek ( $\text{BSK}_5$  a  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ ) vykazují během roku shodný průběh, přičemž nejvyšších hodnot dosahují v létě, kdy v jezeře dochází k obměnám ve společenstvu planktonních organismů, a především na podzim. Vysoký obsah biologicky rozložitelných organických látek, způsobený listovým opadem z břehových porostů, zvýšeným úhyphem planktonních organismů, rákosin či submerzních makrofyt (hlavně v případě oddělené tůně) vedl v listopadových měřeních ke zvýšeným hodnotám  $\text{BSK}_5$ , v meandru přes  $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , v oddělené tůni přes  $25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ .  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  tu dosahovala hodnot přes  $35 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a v meandru, kde byla koncentrace chemicky rozložitelných organických látek nižší, přes  $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ .

Roční vývoj koncentrace chloridů v Libešské tůni je, stejně jako elektrolytická konduktivita, v negativní korelací s vodním stavem v odstaveném me-

V „oddělené tůni“ je průměrná roční hodnota konduktivity oproti meandru téměř poloviční.

Nasycenosť vody kyslíkem se v Libešské tůni během roku pohybovala okolo 60 až 80 %. Vyšší saturaci rozpuštěným kyslíkem limitoval hlavně zvýšený obsah organických látek ve vodě (viz dále). V oddělené tůni (odběrové místo O) se při červnových a listopadových odběrech koncentrace kys-



Obr. 6 – Batymetrická mapa jezera Libišská tůň

V roce 1994 (Holub 2000) však byla koncentrace chloridů v podzemní vodě až desetinásobná oproti současnemu stavu.

Hodnoty obsahu anorganického dusíku, jako významného ukazatele obsahu živin ve vodě, jsou v obou odběrových místech Libišské tůně (S a J) velmi podobné. Zcela zjevný byl rozdíl mezi meandrem a oddelenou tůní, kde byl obsah anorganicky vázaného dusíku až šestkrát vyšší (červnový odběr  $6,9 \text{ mg.l}^{-1}$ ). V jezeře se hodnoty anorganického dusíku pohybovaly okolo  $1 \text{ mg.l}^{-1}$ . Vyšší hodnoty v únoru byly způsobeny absencí rostlinné biomasy, vážící anorganický dusík. Celoročně výrazně dominoval dusík ve formě dusičnanů, jejichž koncentrace v jezeře byla oproti Labi (dle hodnot ČHMÚ) průměrně třetinová. Nestabilní dusitanы se podílely maximálně 5 %.

Fosforečnanového fosforu se po celé sledované období nacházelo v oddelené tůni zřetelně více než v meandru samotném. Tomu odpovídají i výsledky chemické analýzy sedimentu, kde byly výrazně nejvyšší koncentrace fosforu naměřeny právě v oddelené tůni. V přírodě jsou rezervoárem tohoto prvku právě dnové sedimenty obsahující jak organicky, tak anorganicky vázaný fosfor (Pitter 1981). V redukčních podmínkách anaerobního prostředí při dně oddelené tůně docházelo pravděpodobně k desorbaci fosforečnanů ze dna.

Celkový obsah nutrientů v Libišské tůni je celoročně relativně nízký, přestože v mělkých jezerech dochází vlivem interakce vody a sedimentů k dlouhodobému udržování vyšší koncentrace živin ve vodě (Kagalou a kol. 2001).

### Hydrobiologické poměry

Během sledovaného období byl na lokalitě proveden i hydrobiologický průzkum. Odebrané vzorky (8x za rok, z odběrových míst vyznačených na obrázku 4) byly podrobny základnímu rozboru fyto- a zooplanktonu. Ve vzorcích zooplanktonu byla také sledována jeho velikostní struktura během roku, zejména ve vztahu k predačnímu tlaku planktonožravých ryb, vysazovaných do jezera.

Kvalitativní i kvantitativní zastoupení jednotlivých taxonů fytoplanktonu bylo v rámci odběrových míst meandru (S, J na obrázku 4) podobné, význam-

andru. Maximální obsahy chloridů tak byly v jezeře naměřeny v listopadu (okolo  $330 \text{ mg.l}^{-1}$ ), což je desetinásobek průměrné koncentrace v Labi), v oddelené tůni v únoru – vlivem dočasného propojení „oddelené tůně“ s meandrem. V „oddelené tůni“ byl ve zbytku roku naměřen obsah chloridů dvakrát až třikrát vyšší než v „oddelené tůni“).

Zvýšené koncentrace chloridů i jiných anorganických iontů v jezeře mají zřejmě původ v nedaleké Spolaně a. s., kde sloučeniny chlóru, sírany apod. představují hlavní produkční komodity nebo se ve výrobním procesu používají.

ně se však odlišovalo od „oddělené tůně“ (O). Ta, i v době dočasného dvouměsíčního propojení s meandrem, vykazovala zcela odlišný sukcesní vývoj fytoplanktonu během roku. Zejména na jaře, kdy tu významně převládali zástupci skupiny Cryptophyceae, zatímco meandru zřetelně dominovala skupina Chlorophyceae. Pouze v září se ve fytoplanktonu jezera vyskytovaly sinice, slabě zastoupené jediným druhem *Anabaena flos-aquae*. Koncentrace chlorofylu a ve vodě odstaveného meandru byla po celý rok, ve srovnání s jezery stejného genetického typu, až na výjimky nízká (okolo 20 až 30 µg·l<sup>-1</sup>).

Výsledky rozboru zooplanktonu Libišské tůně ukázaly velmi zřetelné rozdíly v sezonním sukcesním vývoji a v podílu jednotlivých skupin (Cladocera, Copepoda a Rotatoria), resp. druhů, a to nejen z hlediska časového, ale i z pohledu odběrových míst. Pro hodnocení velikostní struktury zooplanktonu byly všichni pozorovaní jedinci digitálně nasnímáni, změřeni a poté zařazeni do velikostních tříd (intervalů po 0,15 mm). Celkově nejčastěji a nejvýrazněji převládala nejmenší velikostní třída (0 až 0,15 mm) ve vzorcích z odběrového místa J. Tam dosahoval podíl zmíněné třídy v červnu, únoru a březnu téměř 80 %. Absolutní převaha (93 %) organizmů v nejmenší velikostní třídě byla zjištěna v zářijovém vzorku ze severní části meandru, kde třídě vévodil rod *Polyarthra* převážně díky absenci přirozených predátorů ze skupiny Copepoda.

Zatímco u vzorků z odběrového místa S a J přesahoval počet jedinců v třídě „0 až 0,15 mm“ hranici 50 % u pěti, resp. čtyř odběrů z celkových osmi během roku, ve vzorcích z oddělené tůně (odběrové místo O) dosáhla zmíněná velikostní třída více než 50% podílu pouze v jednom odběru ze sedmi (pouze v březnovém vzorku, kde při velmi nízké druhové diverzitě dominoval druh *Keratella cochlearis*). Narozdíl od meandru tu po většinu roku tvořili významný podíl relativně velcí filtrátoři ze skupiny Cladocera.

Výsledky hodnocení velikostní struktury poukazují na zvýšený predáční tlak rybí obsádky na zooplankton (Brooks, Dodson 1965) v Libišské tůni. Přestože je v oddělené tůni četnost větších (delších) jedinců zooplanktonu zjevně vyšší než v odstaveném meandru, je predáční tlak na větší druhy zooplanktonu zřetelný i zde. V „oddělené tůni“ zřejmě rybí cenóza chybí (vzhledem k výrazné anoxii v létě a na podzim), v některých vzorcích však byly pozorovány např. larvy rodu *Chaoborus*, lovící některé větší druhy zooplanktonu.

## Rozbor sedimentů Libišské tůně

Cílem rozboru sedimentů bylo především zjištění obsahu těžkých kovů a některých dalších prvků. Těžké kovy patří mezi prioritní sledované polutanty ve všech složkách životního prostředí – tedy i v říční krajině a vodních ekosystémech. Jejich podstatnou vlastností je jejich vysoká schopnost adsorbace na plavěniny unášené tokem. Relativně nedaleko od zdroje, zejména v místech zpomalení rychlosti proudění (např. vlivem jezů na Labi) či při poklesu vodních stavů, dochází k ukládání těžkých kovů do sedimentů toku, resp. jezer v jeho inundační zóně (Libišská tůň). V sedimentech se tak těžké kovy dlouhodobě kumulují, zejména v jejich jemnozrnějších frakcích. Při změně externích podmínek, kdy dochází buď mechanickými vlivy k resuspendaci sedimentu nebo chemickými procesy k uvolňování těžkých kovů ze sedimentu (zejména při změně oxidačně redukčních podmínek na rozhranní sediment – voda a při poklesu pH), stávají se sedimenty případným zdrojem kontaminace vody.

Na studované lokalitě byly ve spolupráci s Povodím Labe, s. p. odebrány vzorky sedimentu pro zrnitostní analýzu a určení obsahu těžkých kovů. Sedi-

Tab. 2 – Geoakumulační indexy vybraných prvků obsažených v sedimentu Libišské tůně

Vzorek	Ag	As	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
1 spodní	*)	1,1	-1,7		-1,2	-0,4	-0,5	-1,3	1,6	-1,3	-1,4	1,7	2,3
1 vrchní	*)	1,1	-1,5		-1,0	0,0	1,0	-1,1	2,1	-0,6	-1,1	2,0	2,3
2 spodní	*)	-0,1	-1,6	0,8	-1,2	-1,1	-2,2	-1,5	-2,6	-1,8	-1,6	0,0	-0,1
2 vrchní	*)	0,1	-1,4	0,8	-1,1	-0,8	-1,6	-1,6	-0,6	-1,8	-1,4	0,6	0,5
3 spodní	*)	0,2	-0,9	1,2	-0,9	-0,6	-1,4	-1,1	-2,6	-1,9	-1,0	0,6	0,4
3 vrchní	*)	-0,2	-1,5	-0,2	-1,4	-1,0	-2,0	-1,5	-2,6	-1,9	-1,6	0,5	0,0
4 spodní	*)	1,4	-1,1		-0,5	-0,8	-1,8	-1,0	-0,3	-1,8	-1,1	0,7	0,6
4 vrchní	*)	0,2	-1,4	1,2	-1,4	-1,1	-1,8	-1,9	-1,6	-2,4	-1,5	0,6	0,1

Vysvětlivky: \*) – koncentrace stříbra v sedimentu se nachází pod hranicí stanovitelnosti, přičemž hodnota  $I_{geo}$  vypočítaná z hodnoty hranice stanovitelnosti ( $1,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) se řadí do 3. třídy  $I_{geo}$ . Proto není u stříbra hodnota  $I_{geo}$  uváděna.

Třída  $I_{geo}$     0    1    2   

ment byl odebrán ze čtyř míst, jež jsou vyznačena v mapě (obr. 1). Místa 1 a 2 se nacházejí v „oddelené tůni“, která je s meandrem během roku dočasně propojena, a přes kterou přitéká za vysokých vodních stavů voda z Labe do Libišské tůně. Místa 1 a 2 jsou nejblíže korytu Labe a areálu Spolany a. s. Místo 3 leží v prostřední části odstaveného meandru při jeho západním břehu. Místo 4 se nachází na jižním konci jezera, v největší vzdálenosti od koryta Labe.

Mocnost odebraného sedimentu činila na všech čtyřech odběrových místech 55 až 65 cm. Sloupec sedimentu byl rozdělen na třetiny, přičemž k následným analýzám byly z každého odběru použity pouze třetiny vrchní a spodní (dále jen označení např. 1 vrchní a 1 spodní). Koncentrace těžkých kovů (a některých dalších prvků) byly stanoveny ve velikostních frakcích vzorků pod 0,02 mm.

K hodnocení relativního zatížení sedimentů těžkými kovy bylo použito geoakumulačního indexu  $I_{geo}$  podle Müllera (1979). Ten vychází z koncentrací prvků v přirozeném geogenním pozadí a počítá se podle vztahu:

$$I_{geo} = \log_2 [B_n(1,5C_n)^{-1}]$$

kde  $C_n$  je změřená koncentrace příslušného prvku v sedimentu,  $B_n$  je jeho koncentrace v přirozeném pozadí v jílovitých sedimentech, koeficient 1,5 zahrnuje přirozené variace prostředí. Podle geoakumulačního indexu se pak klasifikuje zatížení sedmi třídami  $I_{geo}$ , od sedimentu nekontaminovaného po sediment velmi silně kontaminovaný. Jako koncentrace vybraných prvků v přirozeném pozadí jílovitého sedimentu jsou použity hodnoty definované Turekianem a Wedepohlem (1961).

Ze dvacáti hodnocených těžkých kovů (jejich obsahů v sedimentu) jich na všech čtyřech odběrových místech podle hodnocení geoakumulačního indexu ( $I_{geo}$ ) šest patřilo do třídy 0 (nekontaminovaný sediment). Největší znečištění sedimentu způsobuje kadmium. A to jak z hlediska prostorového – přítomnost na všech odběrových místech, tak i z pohledu koncentrace kovu v sedimentu. Vrchní vrstva z místa 1 dosahuje 4. třídy  $I_{geo}$ , jedná se tedy o silnou kontaminaci. Také spodní vrstvy z odběrových míst 1 a 4 jsou kontaminovány středně až silně – 3. třída  $I_{geo}$  (tab. 2).

Středně kontaminovaný arzenem byl sediment v celém vertikálním profilu odběrového místa 1 a ve spodním horizontu místa 4. Kontaminace sedimentu rtutí byla prokázána pouze v místě 1, zejm. ve vrchní vrstvě (střední až silná). Koncentrace kadmia a rtuti ve vrchní vrstvě odběrového místa 1 dosáhla devítinásobku limitu stanoveného MŽP (MP MŽP č. 8/1996). Výraznější zatížení olovem a hlavně zinkem vykazuje opět celý hloubkový profil sedimentu v místě 1 (3. třída  $I_{geo}$  střední až silná kontaminace). Mírné zatížení mědí bylo prokázáno pouze ve vrchní vrstvě z odběrového místa 1.

Nejzatíženějším odběrovým místem je tak evidentně místo 1 při oddělené tůni, a to jak počtem obsažených těžkých kovů tak i jejich koncentrací. S výjimkou zinku je tu více kontaminována vrchní vrstva. Naopak v dělených vzorcích sedimentu z meandru (místo 3 a 4) a z odběrového místa č. 2 u oddělené tůni byly prokázány vyšší (popř. stejné) hodnoty  $I_{geo}$  ve spodní vrstvě u všech hodnocených těžkých kovů. Vzhledem k tomu, že se odběrové místo 1 nachází v ústí propojovacího kanálu od Labe do oddělené tůni, kde je vrstva sedimentu relativně mocná, lze předpokládat, že znečištění horní vrstvy je relativně čerstvé a pochází z Labe či z areálu Spolany a. s., kolem něhož kanál v bezprostřední blízkosti protéká.

## Závěr

Současný stav fluviálního jezera Libišská tůň byl hodnocen z pohledu hlavních tematických přístupů limnologie, jež se vzájemně prolínají a ovlivňují. Významně se projevují externí disturbance na jezerní ekosystém Libišské tůni, jenž by měl být přirozeně ovlivňován především interními vlivy (Dent a kol 2002). Silný antropogenní vliv lze pozorovat zejména u chemického znečištění vody a sedimentů jezera, způsobeného polohou jezera v blízkosti chemičky. Také vysazování ryb do Libišské tůni má zásadní dopad na druhovou skladbu společenstva planktonu.

## Literatura:

- BROOKS, J. L., DODSON, S. J. (1965): Predation, body size and composition of plankton. *Science*, 150, s. 28-35.
- DENT, C. L. a kol (2002): Multiple states in rivers and lakes. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 357, s. 635-645
- HOLUB, V. (2000): Přírodní rezervace Černínovsko a její ohrožení. *Ochrana přírody*, 55, č. 10, AOPK, Praha, s. 306-308.
- CHALUPOVÁ, D. (2003) Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů ve starém labiském rameni u Doleháj u Kolína. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 102 s.
- JANSKÝ, B. (2005) Nové trendy geografického výzkumu jezer v Česku. *Geografie–Sborník ČGS*, 110, č. 3, ČGS, Praha, s. 129-140.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. et al. (2003): Jezera České republiky – současný stav geografického výzkumu. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK. 199 s.
- KAGALOU a kol. (2001): Water chemistry and biology in a shallow lake. Lake Pamvotis – Greece. Present state and perspectives. *Global Nest: the Int. J.*, 3, č. 2, s. 85-94
- KLOUČEK, O. (2002) Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v Labišti pod Opočínkem. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 93 s.
- LEHNER, B., DOLL, P. (2004): Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296, s. 1-22.
- LEWIS, M. W. a kol. (1995): Challenges for Limnology in the United States and Canada: An Assessment of the Discipline in the 1990's American Society of Limnology and Oceanography Bulletin, 4, č. 2, s. 1-28.
- MÜLLER, G. (1979): Schwermetalle in den sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971. *Umschau* 24, s. 778-783.

- PITHART, D., PECHAR, L., HRBÁČEK, J. (2000): Fenomén tůně, úvod do morfologie, hydrologie a limnologie. In: Pithart, D. (ed.): Ekologie aluviaálních túní a říčních ramen. Botanický ústav AVČR, Praha, s. 9-12.
- PITTER, P. (1981): Hydrochemie. VSTL, Praha. 568 s.
- ŠNAJDR, M. (2002) Limnologické poměry, kvalita vody a sedimentů v mrtvém labském rameni u Obříství. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 86 s.
- TUREK, M. (2004): Komplexní limnologická studie odstaveného labského ramene Libišská tůň v PR Černinovsko. Magisterská práce. Přírodovědecká fakulta UK, katedra fyzická geografie a geoekologie, Praha, 105 s.
- TUREKIAN, K. K., WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Bull. Geol. Soc. Am., 72. s. 175-192.
- Základní mapa ČR 1 : 10 000. Mapový list 12-22-13(18). Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha 1996.

### S u m m a r y

#### LAKE LIBIŠSKÁ TŮŇ IN NATURE RESERVE ČERNÍNOVSKO: PRESENT STATE AND ANTHROPOGENIC DISTURBANCE OF THE OXBOW LAKE'S ECOSYSTEM – AN INTEGRATED LIMNOLOGICAL APPROACH

The fluvial lake Libiška tun situated in the nature reserve Cerninovsko sets an example of geomorphological conservation of the former Elbe River meander's part and surrounding refugium of floodplain forest.

Since the lake's genesis (during the Elbe River canalization) in the first half of the 19th century the length of the lake has been significantly shortened many times. The northern part of the lake is heavily silted and this process is still carrying on. This is largely due to the expanse of reeds, which continues to spread. Due to siltation the small pool was divided from the northern part of the lake and is only connected during the high water stages (esp. in the spring). For most of the year however, the pool is divided from the lake and often shows very different values of water quality parameters; heavy metal contamination of sediments and species composition of plankton compared to the lake.

Among the external influences on the lake's ecosystem the anthropogenic impact is very significant. Foremost the chemical production which has taken place during the past 100 years in the Spolana Neratovice factory (situated close to lake Libiška tun) has disrupted the natural state of the lake.

It is highly probable that the higher concentrations of chlorides and other inorganic ions in the lake's water (high values of electrolytic conductivity) originated in the chemical factory Spolana, where the chlorine and sulphur compounds have constituted main production commodities and have been used in production processes. In 1994 (Holub 2000) however, the concentration of chlorides in the groundwater was ten times higher than nowadays. The values of the lake's water quality parameters are very similar to ground water but in comparison with the Elbe River's water the values of some parameters very different. This is one of the reasons, why the lake Libiška tun in particular is not suitable for partial or full reconnection to the Elbe River by reason of revitalisation of silted lake. E. g. higher concentrations of nutrients in rivers water could cause an increase of phytoplankton organisms.

The natural phytoplankton coenoses in the lake Libiška tun is disturbed significantly by the fish stock, which is year-round stocked all. Strong predatory pressure of the planktivorous fishes has eliminated bigger species (particularly taxon Cladocera) from the zooplankton coenosis. Most of the zooplankton organisms are under 0.15 mm in length all year. In the divided pool (as discussed earlier) the size structure of the zooplankton has been significantly more balanced. Excessive usage of the lake shore by anglers has had the negative impact on the lake's shore structure, which has been threaded down and the terrain around the shore has been altered.

The heavy metal contamination of the sediments of Libiška tun has been evaluated by index of geoaccumulation –  $I_{\text{geo}}$  (Müller, 1979). Cadmium showed the highest values of  $I_{\text{geo}}$  and its contamination was presented at all (4) sampling sites. Generally, the area close to the divided pool, canal to the Elbe River and the chemical factory Spolana was the most highly polluted by heavy metals (highest concentration and amount of varying metals). The concentration of cadmium and mercury were found to exceed the limit assigned by the Ministry of Environment of the Czech Republic nine times. Further, this area was also

significantly contaminated by lead and zinc. It is highly probable that the source of the sediment contamination by mercury has been amalgam electrolysis in the Spolana Neratovice and zinc contamination has resulted from the staple rayon production in the Spolana Neratovice.

- Fig. 1 – Location of the fluvial lake Libišská tun, Elbe River, hydrologic borehole "Vrt" (groundwater level and quality) and sampling sites for sediment analyse (1–4).
- Fig. 2 – Genesis and development of the lake Libišská tun. I. Military mapping (1764–1767), II. Military mapping (1842–1852), recent state
- Fig. 3 – Development of the lake water level (dark line) and groundwater level (light line) altitude. Source of groundwater stages: Czech Hydrometeorological Institute.
- Fig. 4 – Debouchment of the lake Libišská tun (hatching raster) during the highest lake's water stage in the year (159,14 m above sea level). \*) lake's area (158,75 m above sea level). "S, J, O" – sampling sites for hydrobiology and water quality analyses. "Fyz" – point of physical measurements of the lake water. (dot raster – reed).
- Fig. 5 – El. conductivity development of lake's water (sampling sites "S, J") and divided pool (sampling site "O")
- Fug. 6 – Bathymetric map of the lake Libišská tůň

(Pracoviště autora: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK,  
Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: m.turek@email.cz.)

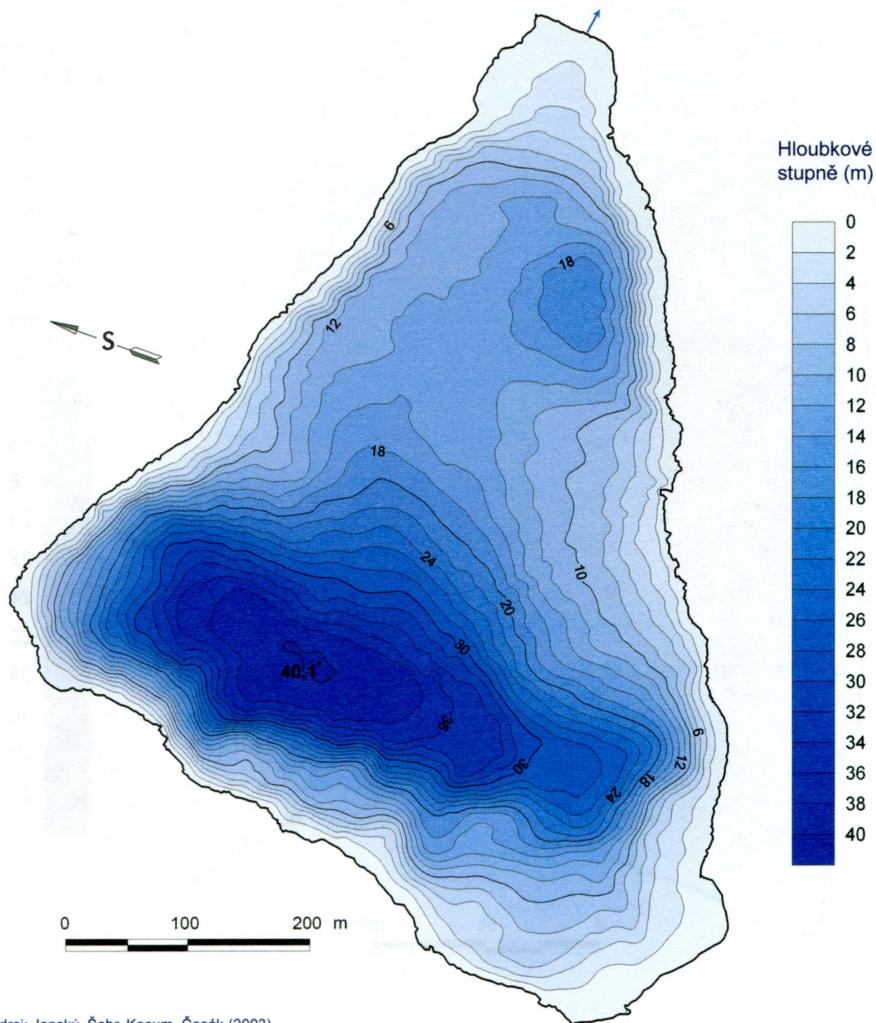
Do redakce došlo 8. 9. 2005

# PŘÍLOHA



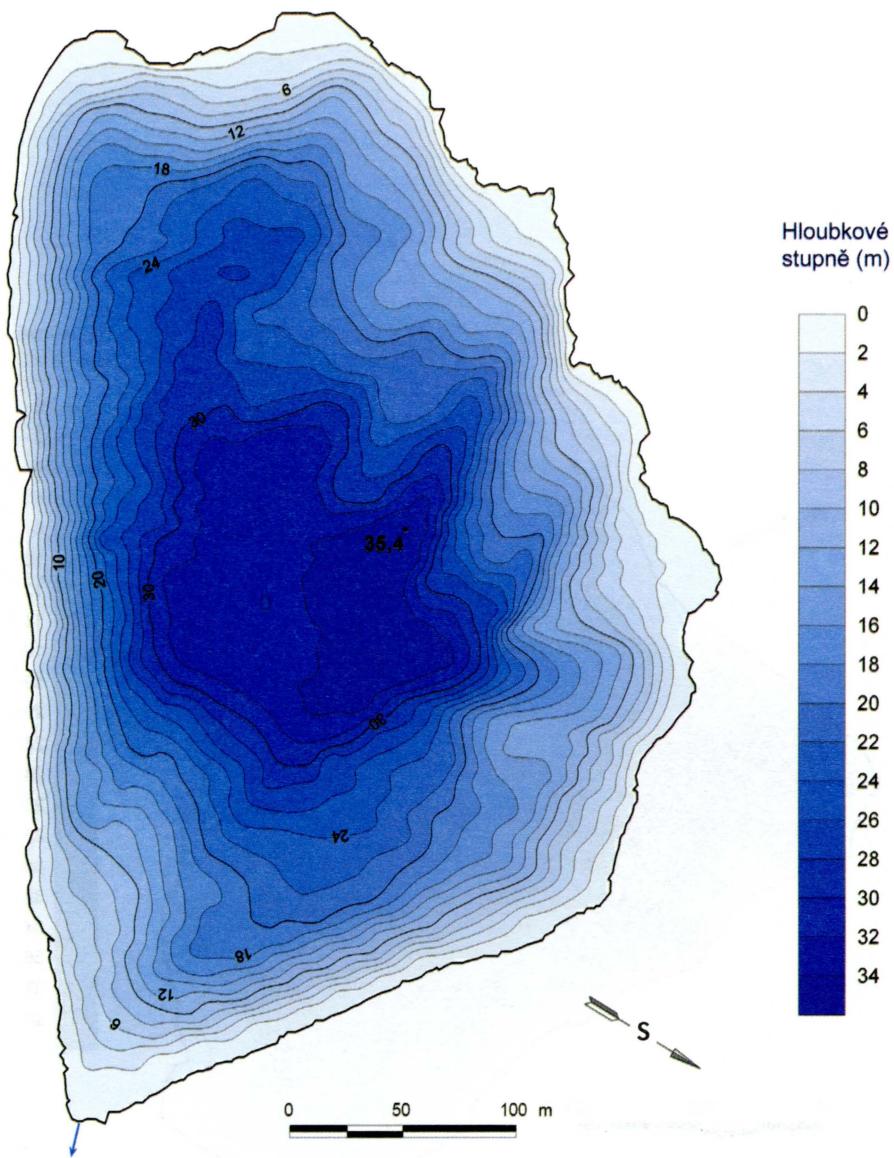
- 1 – Černé jezero
- 2 – Čertovo jezero
- 3 – Plešné jezero
- 4 – Prášilské jezero
- 5 – Jezero Laka
- 6 – Rašelinistní jezero na Chalupské slati
- 7 – Libišská tůň
- 8 – Velká Amerika

# Černé jezero



Zdroj: Janský, Šobr, Kocum, Česák (2003)  
Terénní měření: Česák, Janský, Kocum, Šobr, Balcar, Vybiral (září 2003)

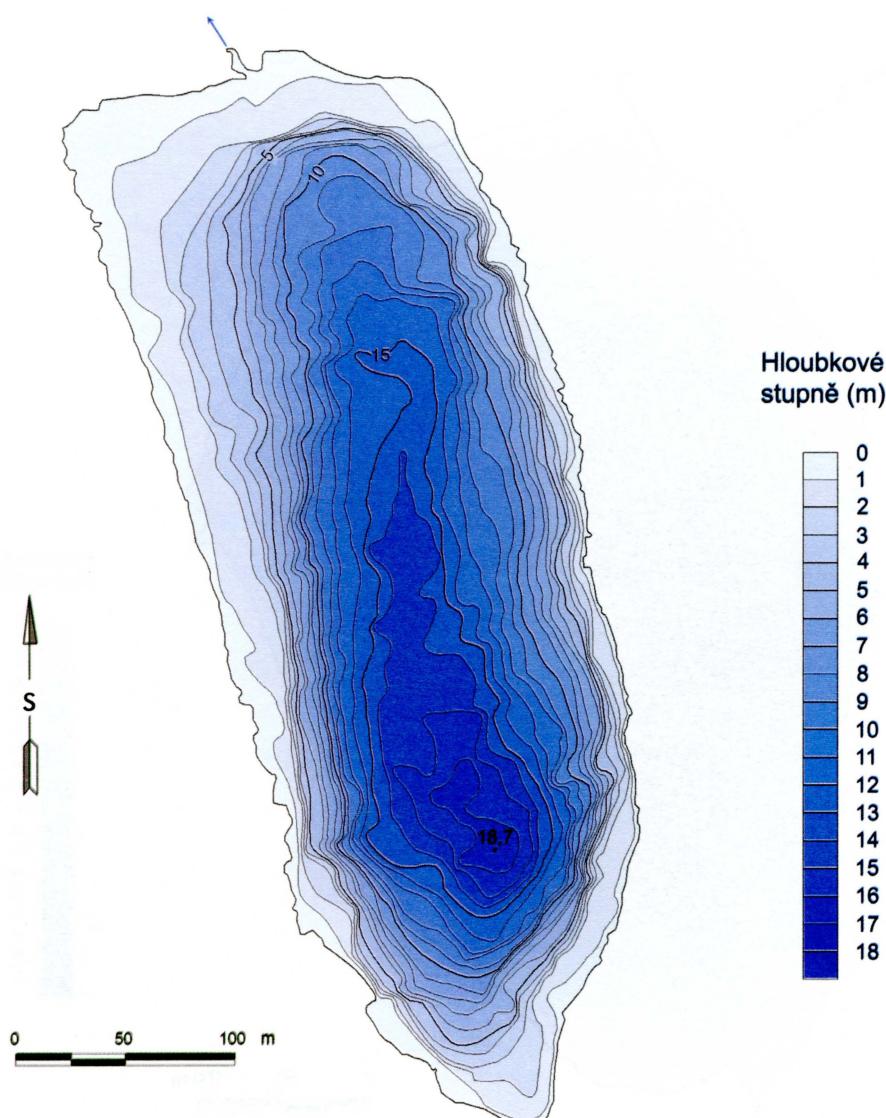
# Čertovo jezero



Zdroj: Kocum (2004)

Terénní měření: Kocum, Česák, Janský, Šobr, Balcar, Vybiral (září 2003)

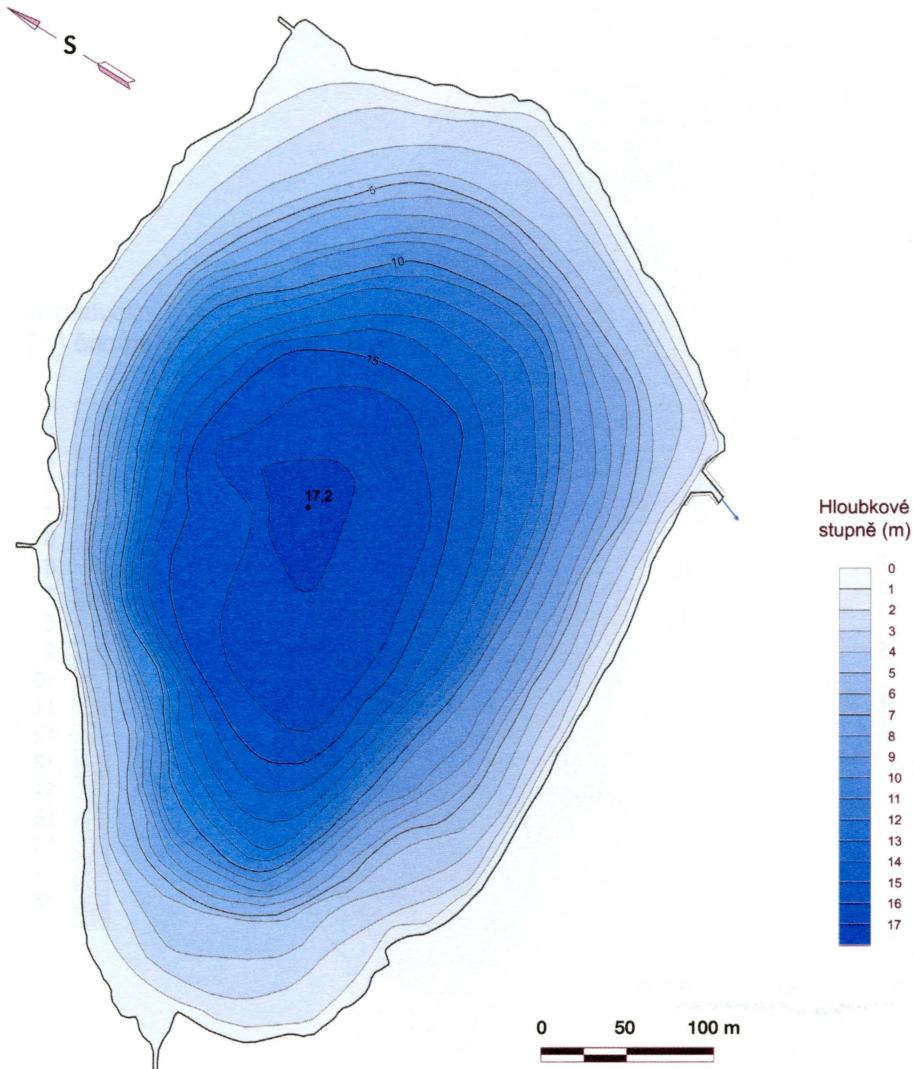
# Plešné jezero



Zdroj: Vránek (1999)

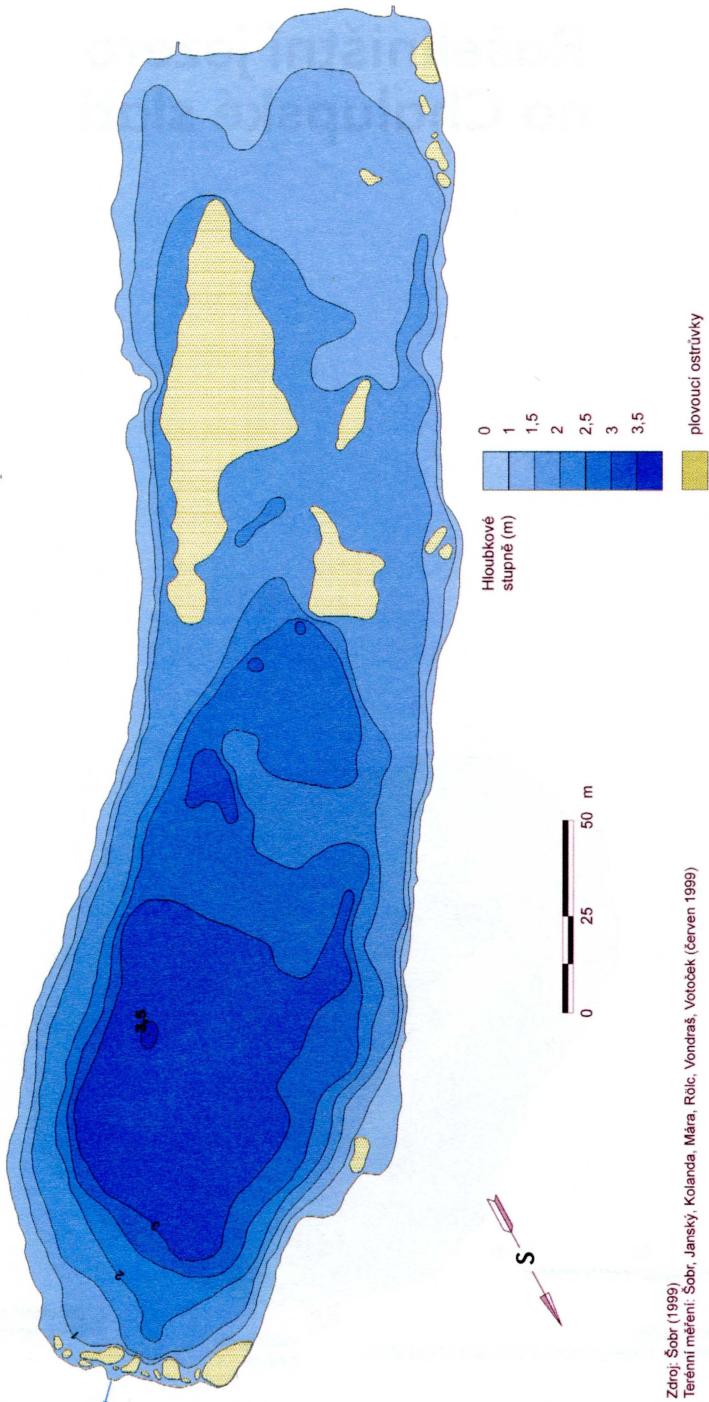
Terénní měření: Vránek, Čermák, Vašáková

# Prášilské jezero



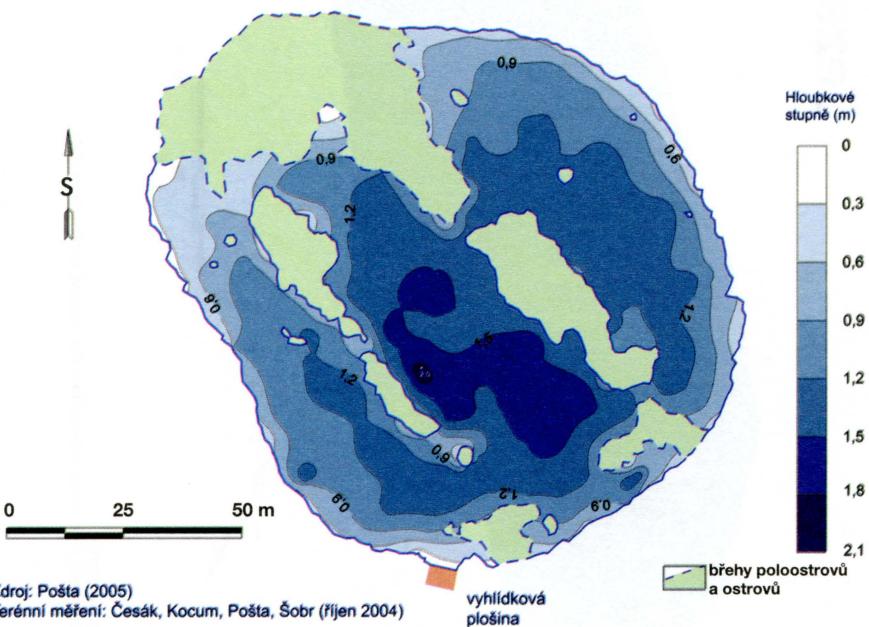
Zdroj: Zbořil (1994)  
Terénní měření: Zbořil, Janský, Gabrielová, Kvasnicová, Svátek

# Jezero Laka

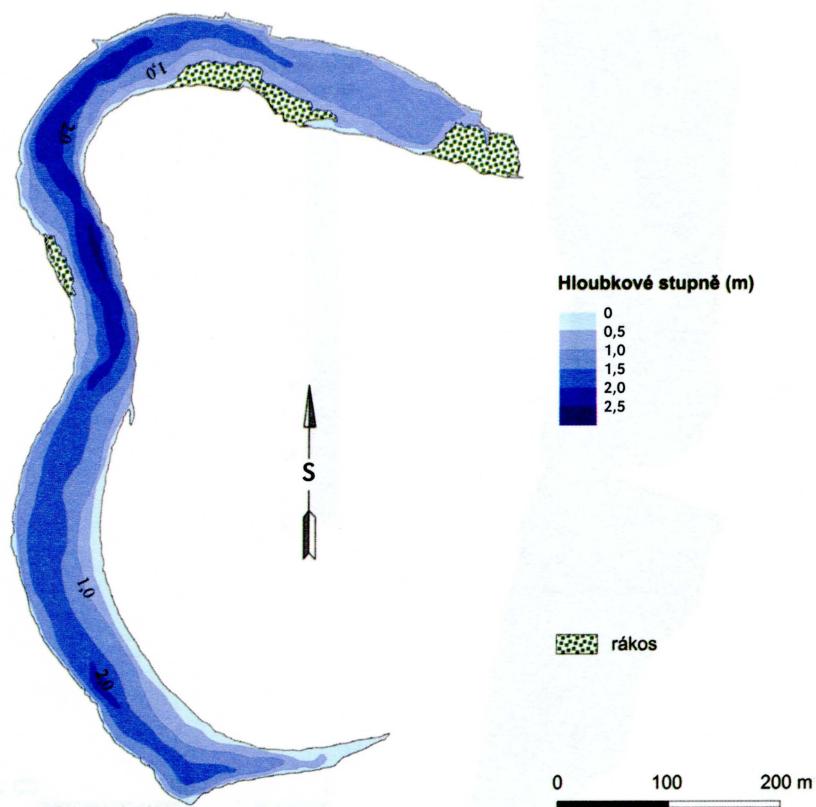


Zdroj: Šobr (1999)  
Terénní měření: Šobr, Janský, Kolanda, Mára, Rölic, Vondráš, Votoček (červen 1999)

# Rašeliniště jezero na Chalupské slati

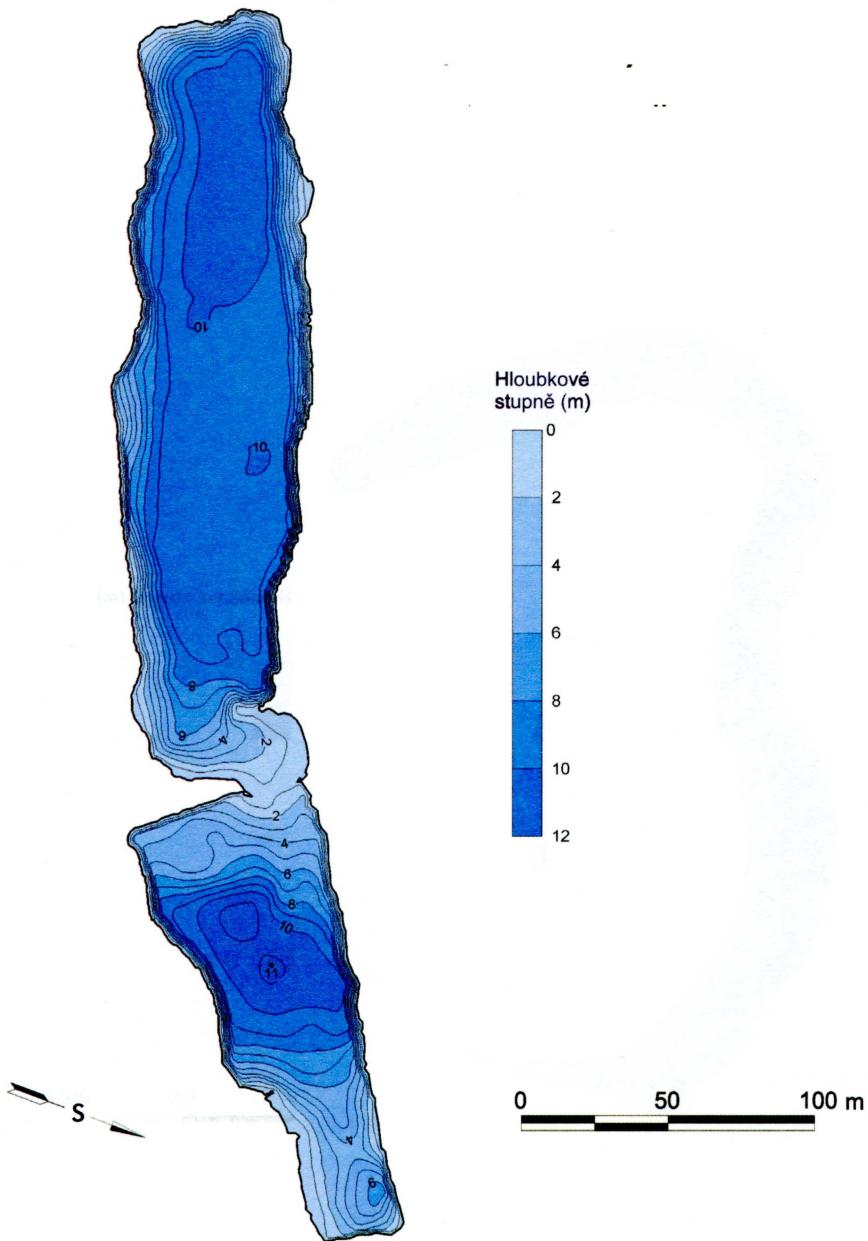


# Libišská tůň



Zdroj: Turek (2004)  
Terénní měření: Česák, Chalupová, Judová, Šobr, Turek

# Velká Amerika



Zdroj: Hrdinka (2004)  
Terénní měření: Česák, Hrdinka, Janský, Pošta, Šobr (2003)

**GEOGRAFIE**  
**SBORNÍK ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI**

Ročník 110, číslo 3, vyšlo v prosinci 2005

---

Vydává Česká geografická společnost. Redakce: Albertov 6, 128 43 Praha 2, tel. 221995511, e-mail: jancak@natur.cuni.cz. Rozšířuje, informace podává, jednotlivá čísla prodává a objednávky vyřizuje RNDr. Dana Fialová, Ph.D., katedra sociální geografie a regionálního rozvoje Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2, tel. 221951397, fax: 224919778, e-mail: danafi@natur.cuni.cz. – Tisk: tiskárna Sprint, Pšenčíkova 675, Praha 4. Sazba: PE-SET-PA, Fišerova 3325, Praha 4. – Vychází 4krát ročně. Cena jednotlivého je sešitu 150 Kč, celoroční předplatné pro rok 2005 je součástí členského příspěvku ČGS, a to v minimální výši pro rádné členy ČGS 500 Kč, pro členy společnosti důchodce a studenty 300 Kč a pro kolektivní členy 2 000 Kč. – Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. 1149/92-NP ze dne 8. 10. 1992. – Zahraniční předplatné vyřizují: agentura KUBON-SAGNER, Buch export – import GmbH, D-80328 München, Deutschland, fax: +(089)54218-218, e-mail: postmaster@kubon-sagner.de a agentura MYRIS TRADE LTD., P.O. box 2, 142 01 Praha, Česko, tel: ++4202/4752774, fax: ++4202/496595, e-mail: myris@login.cz. Objednávky vyřizované jinými agenturami nejsou v souladu se smluvními vztahy vydavatele a jsou šířeny nelegálně. – Rukopis tohoto čísla byl odevzdán k sazbě dne 12. 10. 2005.

---

Cena 150,- Kč

## POKYNY PRO AUTORY

**Rukopis** příspěvků předkládá autor v originále (u hlavních článků a rozhledů s 1 kopii) a v elektronické podobě (Word), věcně a jazykově správný. Rukopis musí být úplný, tj. se seznamem literatury (viz níže), obrázky, texty pod obrázky, u hlavních článků a rozhledů s anglickým abstraktem a shrnutím. Zveřejnění v jiném jazyce než českém podléhá schválení redakční rady.

**Rozsah** kompletního rukopisu je u hlavních článků a rozhledů maximálně 10–15 normostran (1 normostrana = 1800 znaků), jen výjimečně může být se souhlasem redakční rady větší. Pro ostatní rubriky se přijímají příspěvky v rozsahu do 3 stran, výjimečně ve zdvojnásobných případech do 5 stran rukopisu.

**Shrnutí a abstrakt** (včetně klíčových slov) v anglickém připojí autor k příspěvkům pro rubriku Hlavní články a Rozhledy. Abstrakt má celkový rozsah max. 10 řádek (cca 600 znaků), shrnutí minimálně 1,5 strany, maximálně 3 strany včetně překladu textů pod obrázky. Text abstraktu a shrnutí dodá autor současně s rukopisem, a to v anglickém i českém znění. Redakce si vyhrazuje právo podrobit anglické texty jazykové revizi.

**Seznam literatury** musí být připojen k původním i referativním příspěvkům. Použité prameny seřazené abecedně podle příjmení autorů musí být úplné a přesné. Bibliografické citace musí odpovidat následujícím vzorům:

Citace z časopisu:

HÄUFLER, V. (1985): K socioekonomicke typologii zemí a geografické regionalizaci Země. Sborník ČSGS, 90, č. 3, Academia, Praha, s. 135–143.

Citace knihy:

VITASEK, F. (1958): Fysický zeměpis, II. díl, Nakl. ČSAV, Praha, 603 s.

Citace z editovaného sborníku:

KORČÁK, J. (1985): Geografické aspekty ekologických problémů. In: Vystoupil, J. (ed.): Sborník prací k 90. narozeninám prof. Korčáka, GGU ČSAV, Brno, s. 29–46.

Odkaz v textu najinou práci se provede uvedením autora a v závorce roku, kdy byla publikována. Např.: Vymezováním migračních regionů se zabýval Korčák (1961), později na něho navázali jiní (Hampík a kol. 1978).

**Obrázky** zpracované v digitální podobě je nutné dodat (souběžně s vytiskným originálem) i v elektronické podobě (formát .tif, .wmf, .eps, .ai, .cdr, .jpg). Perokresby musí být kresleny černou tuší na pauzovacím papíru na formátu nepresahujícím výsledný formát po reprodukci o více než o třetinu. Předlohy větších formátů než A4 redakce nepřijímá. Xeroxové kopie lze použít jen při zachování zcela ostré černé kresby.

**Fotografie** zpracované v digitální podobě musí mít dostatečné rozlišení (300 dpi). Fotografie odevzdávané v analogové podobě formátu min. 13x18 cm a max. 18x24 cm musí být technicky dokonalé a reprodukovatelné v černobílém provedení.

**Texty pod obrázky** musí obsahovat jejich původ (jméno autora, pramen, příp. odkud byly převzaty apod.).

**Údaje o autorovi** (event. spoluautorech), které autor připojí k rukopisu: adresa pracoviště, včetně PSČ, e-mailová adresa.

**Všechny příspěvky procházejí recenzním řízením.** Recenzenti jsou anonymní, redakce jejich posudky autorům neposkytuje. Autor obdrží výsledek recenzního řízení, kde je uvedeno, zda byl článek přijat bez úprav, odmítnut nebo jaké jsou k němu připomínky (v takovém případě jsou připojeny požadavky na konkrétní úpravy).

**Honoráře** autorské ani recenzní nejsou vypláceny.

**Poděkování** autora článku za finanční podporu grantové agentuře bude zveřejněno jen po zaslání finančního příspěvku ve výši minimálně 5000,- Kč na konto vydavatele.

**Autorský výtisk** se posílá autorům hlavních článků a rozhledů po vyjítí příslušného čísla.

**Separátory** se zhotovují jen z hlavních článků a rozhledů pouze v elektronické podobě (soubor .pdf). Redakční rada si vyhrazuje právo na vyžádání poskytnout publikovaný příspěvek v elektronické podobě (soubor .pdf), a to členům ČGS pro studijní účely.

**Příspěvky** se zasílají na adresu: Redakce Geografie – Sborník ČGS, Albertov 6, 128 43 Praha 2, e-mail: jancak@natur.cuni.cz.

**Příspěvky**, které neodpovídají uvedeným pokynům, redakce nepřijímá.