

Hydrologie

Limnologická studie jezera v lomu Velká Amerika

The limnological study of the lake in Velká Amerika Quarry

Tomáš Hrdinka

0. Abstract

*The lake at the bottom of Velká Amerika limestone quarry represents perfect example of anthropogenic lakes that constitute one of the most significant genetic groups of lakes in the Czech Republic. The water quality of these lakes that are formed as a result of flooding of exploited pits can be influenced by number of factors such as physical and chemical properties of the exploited rock, characteristics of the mine surroundings, secondary anthropogenic interference and time distance since their flooding. The quality of water determines their potential utilization such as in water supply, agriculture, industry, recreation etc. On the basis of physical and chemical analysis (four times a year) of water quality in the whole water column, the lake in locality Velká Amerika is potentially suitable for utilization in local water supply. For a definitive assessment it would be necessary to conduct further analyses (microbiological activity, specific organic compounds and heavy metals). There is also considerable reason for nature conservation of the lake due to abundant habitat of endangered crayfish *Astacus astacus*.*

1. Úvod

Jezero na dně vápencového lomu Velká Amerika (viz foto na obálce) patří díky své výjimečné kráse a blízké poloze hlavního města k turisticky nejvyhledávanějším „přírodním“ zajímavostem České republiky. Současně je také typickým zástupcem tzv. antropogenních jezer, která tvoří vedle jezer fluvialních nejpčetnější genetickou skupinu jezer v České republice (Hrdinka in Janský a Šobr 2003). V nejširším slova smyslu lze jimi označit veškeré vodní plochy vzniklé v důsledku geomorfologické činnosti člověka, včetně rybníků a údolních přehradních nádrží. V 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 přídružených výsypkách, v poklesových kotlinách apod., neboť se na rozdíl od rybníků a údolních nádrží nedají běžnými prostředky vypustit ani regulovat (Hrdinka 2004). Cílem autora bylo podat detailní limnologickou studii jezera na dně lomu Velká Amerika se zaměřením na kvalitu vody, posoudit vliv těžby horniny a druhotné vnější zátěže (zemědělství, odpady, rekreace) na její fyzikální a chemické vlastnosti a na základě dosažených výsledků zhodnotit stav současného využití jezera s návrhem případného potenciálního využití v regionu místní krajiny (zemědělství, průmysl, pitná voda, rekreace, ochrana přírody).

2. Metodika měření a zpracování dat

Sběr dat probíhal jak přímým měřením v místě lokality, tak sběrem dat na úřadech, geologických ústavech a internetu. Základní informace o geografické poloze a přírodních poměrech byly získány z turistických map KČT 1:50 000, Geologických map ČR 1:50 000, leteckých snímků a terénních pochůzek. Data o historii těžby nerostných surovin a stáří jezer byla získána z Výroční zprávy těžební společnosti Lomy Mořina, Českého geologického ústavu

a ústních sdělení lidí žijících v okolí lokality. Přímo v terénu pak byla se souhlasem akciové společnosti Lomy Mořina provedena měření morfometrie jezerní pánve a fyzikálních vlastností jezerní vody, která byla následně zpracována do grafické podoby. Na místě byly rovněž odebrány vzorky vody pro chemický a biologický rozbor, které byly zpracovávány v laboratořích PřF UK na terénní stanici v Blatné ve spolupráci s oddělením hydrobiologie Biologického ústavu AV ČR v Českých Budějovicích.

Morfometrie jezerní pánve

Vyměření polygonu jezera bylo provedeno pomocí totální geodetické stanice Leica TCR 705 záměrami na odrazné hranoly rozestavované po břehové čáře v odstupu 1-3 m v závislosti na konkrétní morfologii břehové čáry jezera. Měření hloubek bylo prováděno 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 dále zpracována v programech MapInfo 7.0 a Surfer 8.0, čímž vznikla výsledná batymetrická mapa jezera. Pomocí jednoduchých softwarových nástrojů byly vypočteny základní morfometrické charakteristiky jezerní pánve.

Fyzikální vlastnosti jezerní vody

Pro měření základních fyzikálních vlastností vody bylo použito měřicích přístrojů firmy Gryf (teploměr, konduktometr a oxymetr), Secchiho desky a Forel-Uleovy barevné stupnice. Čidla pro stanovení teploty vody a vodivosti zavěšená na 40 m dlouhých kabelech umožnila získat kompletní profil vodním sloupcem nad nejhlubším místem jezera, a to v kroku 0,5 m. Ve stejném kroku bylo provedeno i měření rozpustěného kyslíku. Průhlednost vody se posuzovala proti Secchiho desce spuštěné ze zastíněného boku lodi na hranici viditelnosti, barva jezerní vody podle Forel-Uleovy stupnice proti Secchiho desce ponořené do poloviny hloubky průhlednosti. K výsledkům byly připojeny informace o čase měření a aktuálním stavu počasí.

Chemismus jezerní vody

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

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), následně byly již stabilizované vzorky převezeny k laboratornímu rozboru.

3. Geografická poloha, přírodní poměry a historie těžby

Jezero se nachází na dně bývalého, přibližně 70 m hlubokého jámového vápencového lomu přibližně 8,5 km v. od centra Berouna mezi obcemi Mořina a Kozolupy na zeměpisných souřadnicích 49° 57' 32" s. šířky a 14° 11' 44" v. délky. Bývalý vápencový lom, zvaný Velká Amerika, leží v s. části Hořovické pahorkatiny v nadmořské výšce 410 m.

Lom se nachází v mírně teplé klimatické oblasti s průměrnou dlouhodobou roční teplotou vzduchu 7 – 8 °C a průměrnými dlouhodobými ročními srážkami kolem 480 mm. Břehy jezera lemují sporadické náletové dřeviny s převahou břízy a různých druhů keřů, přičemž převážnou část břehů tvoří holá hornina bez vegetace. Ve v. části lomu se z náletů vytvořil řídký březový háj, který však na kvalitu vody v jezere nemá výraznější vliv. Samotné okraje jámového lomu lemují husté křovité porosty s hlohem, šípem, vtroušeným jeřábem, dubem, habrem a ptačí třešní, které jej oddělují od zemědělsky intenzivně využívaných ploch v bezprostředním okolí. Při z. okraji lomu jsou dobře patrné valy ze skryvkové zeminy. Vzhledem k povaze lomu a těženého kamene tvoří dno jezera pevná hornina krytá jen tenkou vrstvičkou mazlavého vápnitého sedimentu bez přítomnosti odumřelé organické hmoty.

Na lokalitě byly pro různorodé účely těženy devonské a částečně také silurské vápence koněpruského a sliveneckého souvrství. Těžba, zahájená kolem roku 1900, byla ukončena po zřícení části j. stěny v roce 1963. Vzhledem ke značným zásobám vápencové suroviny lze o lokalitě do budoucna hovořit jako o potenciálním ložisku (Chybík 1963; Krotl 2001).

4. Morfometrie jezerní pánve

Morfometrie jezera nepravidelného obdélníkového tvaru, s hlavní osou protaženou ve směru SV-JZ, je typickým příkladem povrchové lomové těžby pomocí odstřelů bloků horniny v jednotlivých etážích. V současnosti zatopená, jámovitě zahloubená dvojité etáž s plochým dnem a kolmými stěnami, se nachází na dně hlavní těžní jámy hluboké kolem 70 metrů. Charakteristická je poměrně velká průměrná hloubka blízká se svojí hodnotou maximální hloubce zjištěné v plošně méně rozsáhlé, severovýchodní části jezera. Tabulka 1 shrnuje základní morfometrické charakteristiky naměřené dne 24. 10. 2003.

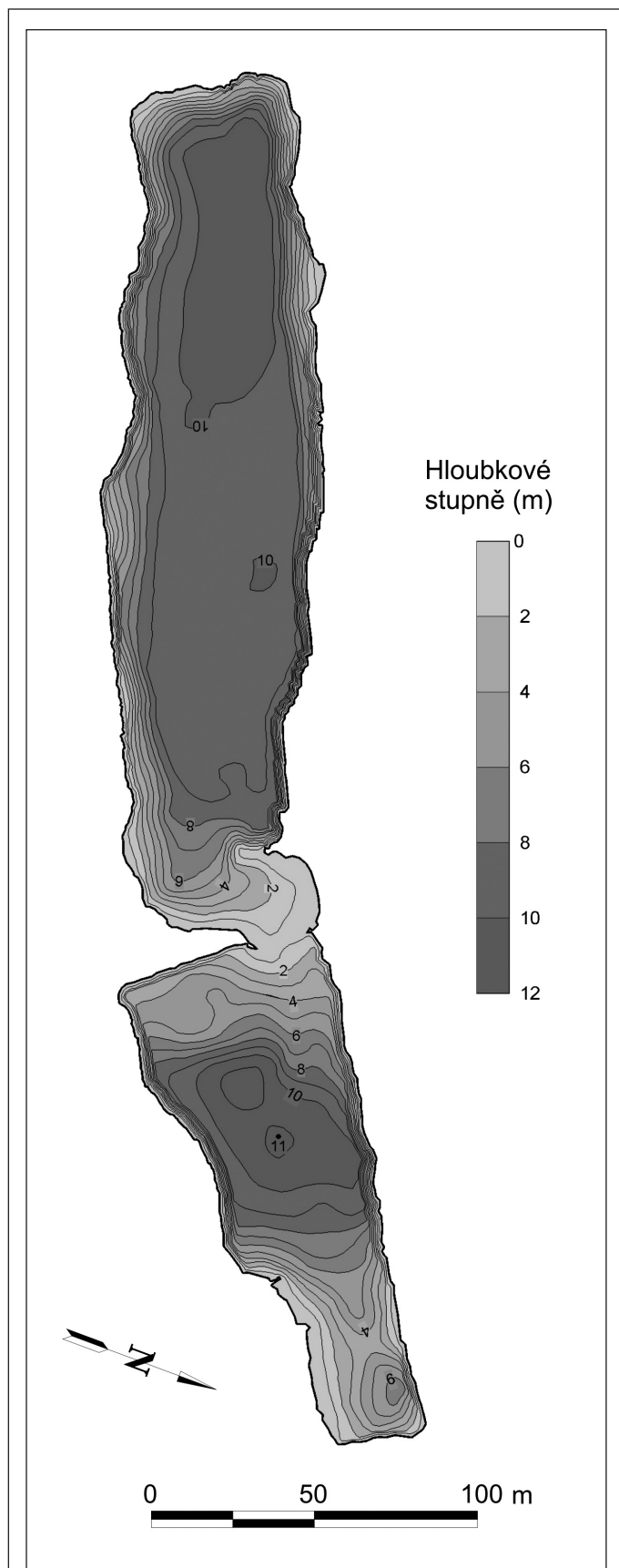
Velká Amerika (24.10. 2003)

• obvod	1 060 m
• plocha	20 860 m ²
• objem	151 500 m ³
• max. délka	413,8 m
• max. šířka	67,6 m
• max. hloubka	11,0 m
• střední volumetrická hloubka	7,3 m

Tab. 1. Základní morfometrické charakteristiky jezera.

Table 1 Principal morphometric characteristics of the lake.

Na vyhotovené batymetrické mapě (obr. 1) je zřetelně patrný práh, rozdělující jezerní pánev na dvě nestejně velké části s odlišnými morfometrickými poměry.



Obr. 1. Batymetrická mapa jezera ve vápencovém lomu Velká Amerika.

Fig. 1 Bathymetric map of the lake in Velká Amerika quarry.

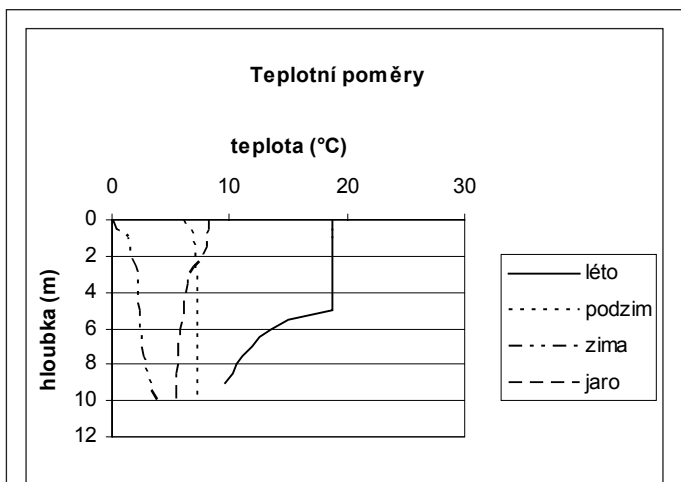
5. Fyzikální vlastnosti jezerní vody

Základní údaje o termínech měření a vnějších pozorovacích podmínkách shrnuje tabulka 2:

Jezero ve vápencovém lomu Velká Amerika						
měření	datum	čas	oblačnost	vítr	teplota (°C)	jiné
• léto	3.7. 2003	19:00	oblačno	čerstvý	18,0	
• podzim	24.10. 2003	12:30	zataženo	slabý	1,6	
• zima	13.1. 2004	10:30	zataženo	slabý	1,7	led 12 cm
• jaro	21.4. 2004	10:00	jasno	bezvětří	9,7	

Tab. 2. Termíny a podmínky měření na lokalitě Velká Amerika.
Table 2 The terms and conditions of measurements in Velká Amerika locality.

Jak naznačují grafy teplotních poměrů (obr. 2) a vodivosti (obr. 3), jezero v lomu Velká Amerika je vysoce oligotrofním, holomikt-ním jezerem s velmi čistou vodou, která zejména v letních měsících umožňuje dokonalé prohřívání vody do značných hloubek, o čemž svědčí výrazně vyvinutý epilimnion s izotermií teploty do hloubky 5 metrů. Následně se v podzimním termínu podařilo zachytit téměř dokonalé promíchávání vody v celém vodním sloupci s amplitudou teploty do 1°C.

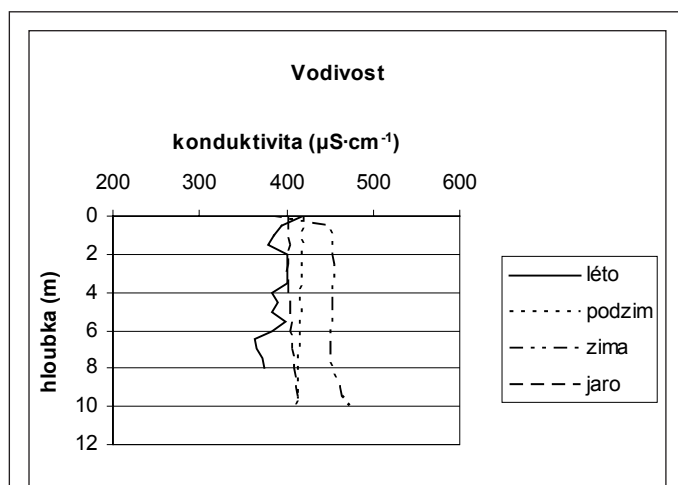


Obr. 2. Průběh teploty ve vodním sloupci na lokalitě Velká Amerika.
Fig. 2 The course of temperature in water column in Velká Amerika locality during the year.

Pro předpoklad výrazné cirkulace v podzimním a jarním období svědčí i velmi vyrovnané křivky vodivosti, která se v průměru pohybuje kolem 420 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

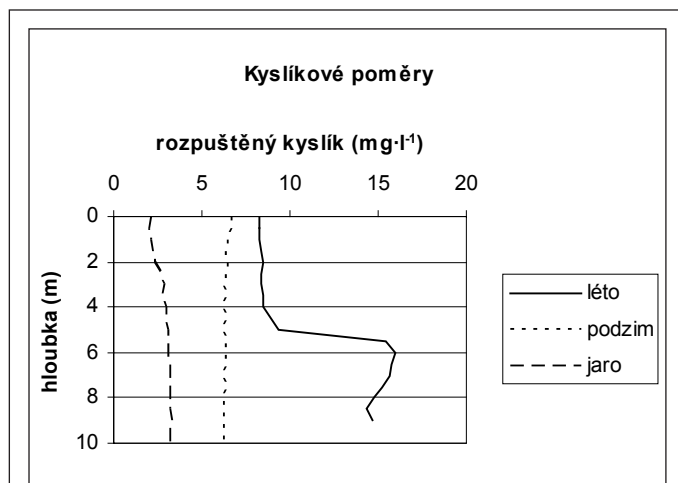
Z následujícího grafu kyslíkových poměrů je zřetelně patrný průběh izográdní křivky nasycení vody kyslíkem při letní stratifikaci, kdy s prudkou změnou teploty v metalimnionu dochází v oligotrofních jezerech k razantnímu zvýšení rozpuštěného kyslíku na relativní hodnoty kolem 100 % (Wetzel 2001). Zimní měření nebylo provedeno z důvodu momentální nefunkčnosti měřícího přístroje (obr. 4).

Pro srovnání je uveden obrázek 5 shrnující základní fyzikální charakteristiky naměřené dne 11. dubna 2005 novou, multiparametrickou sondou YSI 6920, která kromě informací o teplotě, konduktivitě, rozpuštěném kyslíku a pH poskytuje i údaje týkající se celkových rozpuštěných látek (TDS), salinity a oxidačně-redukčního potenciálu, jehož hodnota a znaménko koresponduje s kyslíkovými poměry v jezeře. Během jarní cirkulace došlo na lokalitě k nasycení celého profilu rozpuštěným kyslíkem na hodnotu 100%.



Obr. 3. Průběh vodivosti ve vodním sloupci na lokalitě Velká Amerika.

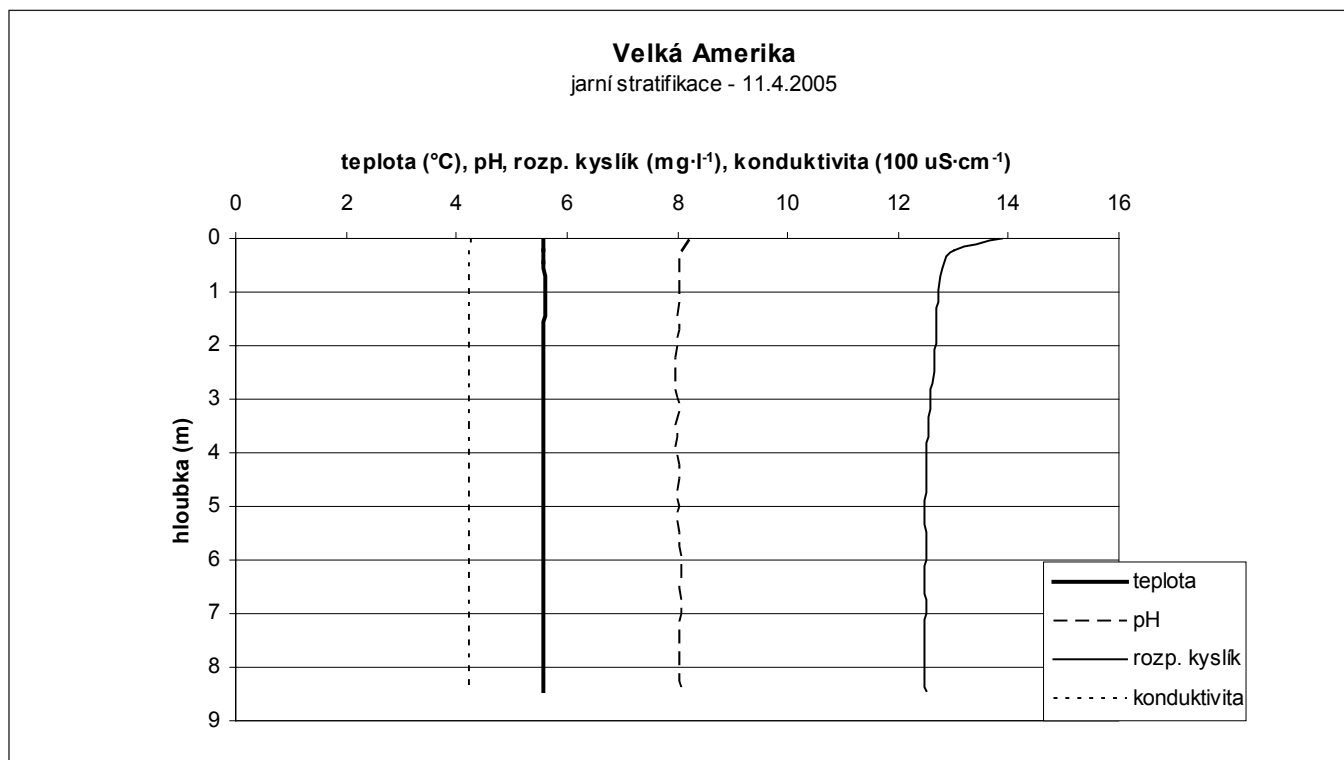
Fig. 3 The course of specific conductivity in water column in Velká Amerika locality during the year.



Obr. 4. Průběh kyslíku ve vodním sloupci na lokalitě Velká Amerika

Fig. 4 The course of dissolved oxygen in water column in Velká Amerika locality during the year.

Jezero se vyznačuje vodou o mimořádné průhlednosti v průběhu celého roku, která byla přechodně snížena silným promícháváním vody v podzimním a zvláště jarním termínu. Velmi malá úživnost kombinovaná s vysokým obsahem rozpuštěných HCO_3^- iontů způsobuje modrozelené až zelené zabarvení vody s odstíny z první poloviny Forel-Uleovy stupnice (tab. 3).



Obr. 5. Základní fyzikální charakteristiky jezerní vody během jarní cirkulace na lokalitě Velká Amerika naměřené multiparametrickou sondou YSI 6920. Množství celkově rozpuštěných látek (TDS) činilo 275 mg·l⁻¹, oxidačně-redukční potenciál dosáhl hodnot 98 (dno) až 117 (hladina) mV. Průhlednost vody činila 9 m (do dna), barva vody č. 5 podle Forel-Uleovy stupnice.

Fig. 5 Principal physical characteristics of lake water during the spring circulation in Velká Amerika locality measured with new multiparametric sonde YSI 6920. Amount of total dissolved particles was 275 mg·l⁻¹, the redox potential between 98 (bottom) and 117 (water surface) mV. The clarity of water was 9 metres (to the bottom) and water colour Nr. 5 according to the Forel-Ule colour scale.

	léto	podzim	zima	jaro
• průhlednost (m)	7,2	6,7	8,1	5,2
• barva FU	6	6	6	8

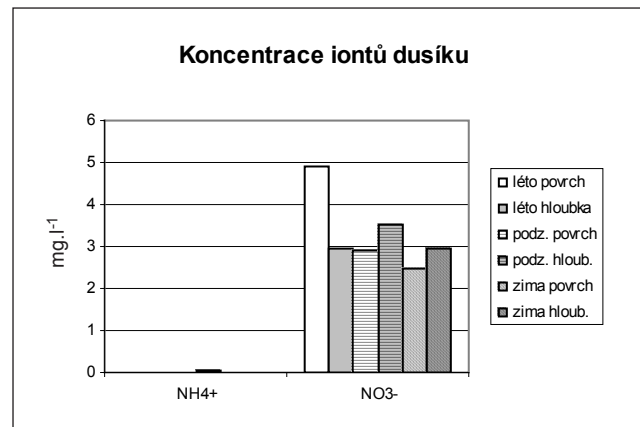
Tab. 3. Průhlednost a zabarvení vody na lokalitě Velká Amerika.

Table 3 The clarity and water colour in Velká Amerika locality during the year.

6. Chemismus jezerní vody

V následujících grafech jsou shrnuty výsledky základní chemické analýzy vzorků vody odebraných na lokalitě během čtyř ročních období, přičemž poslední, jarní analýza nebyla až na měření pH z důvodu dlouhodobé nefunkčnosti měřicího přístroje v laboratoři v Blatné vůbec provedena.

Celoročně nízký či nulový obsah amonných iontů (obr. 6) naznačuje, že se jedná o vysoce oligotrofní, holomiktní jezero nijak nenarušené občasnou rekreací. Na dalších grafech (obr. 7 a 8) vidíme zvýšený obsah iontů vápníku a hořčíku daný chemickou povahou těžené horniny a naopak nízké množství zástupných iontů sodíku a draslíku. Překvapivé je, že obsah vápenatých iontů ve vodě není nijak extrémní, jak by se u bývalé těžby vápence dalo očekávat a je kupříkladu nižší, než je tomu na lokalitě Čankov u Karlových Varů, kde se těžil kaolín. Větší transparentnost by do měření vnesla jistě analýza hydrogenuhličitanových iontů, která by v tomto případě byla jistě reprezentativnější. 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.



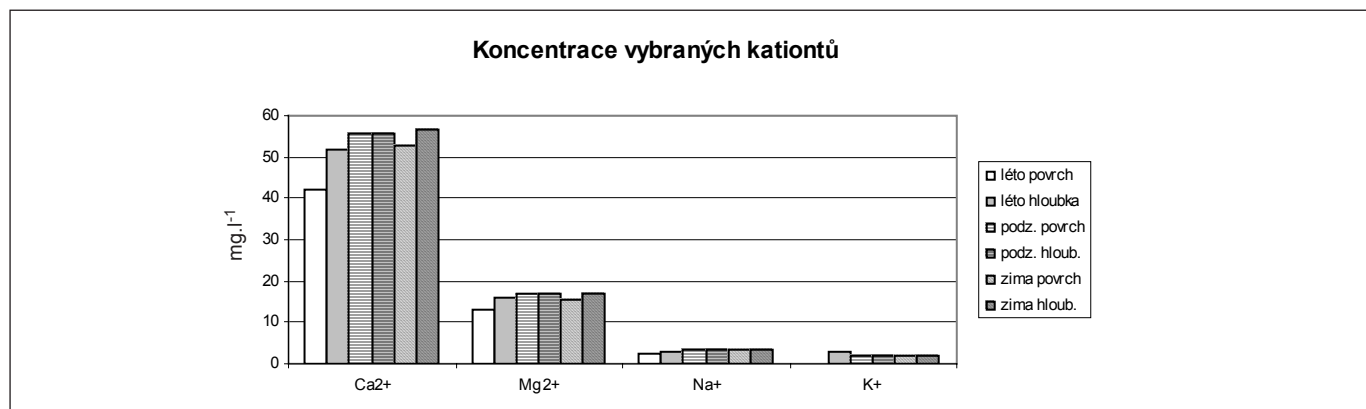
Obr. 6. Koncentrace rozpuštěných iontů dusíku na lokalitě Velká Amerika.

Fig. 6 The concentration of dissolved nitrogen ions in Velká Amerika locality during the year.

Se zanedbatelným obsahem amonných iontů kontrastuje zvýšený obsah dusičnanů v hlubinných vzorcích v průběhu celého sledovaného období, který spíše než jako finální produkt metabolických procesů uvnitř jezera pochází ze zdrojů podzemní vody, které jezero dotují (Wetzel 2001) a jen dokresluje příznivé kyslíkové poměry v celém vertikálním profilu.

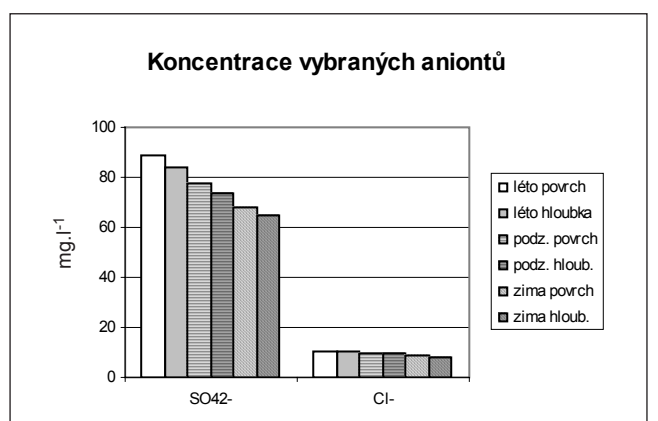
7. Potenciální využití jezera

Vzhledem ke své poloze na dně hlubokého vápencového lomu, poměrně malému stáří a pomalé sukcesi břehových porostů je voda



Obr. 7. Koncentrace rozpuštěných kationtů na lokalitě Velká Amerika.

Fig. 7 The concentration of dissolved cations in Velká Amerika locality during the year.



Obr. 8. Koncentrace rozpuštěných aniontů na lokalitě Velká Amerika.

Fig. 8 The concentration of dissolved anions in Velká Amerika locality during the year.

tohoto jezera jednou z nejoligotrofnějších v České republice a také jednou z vizuálně nejčistších. Vstup do lomu není dovolen, nepovolené rekreační aktivity vedly zejména v 2. polovině 90. let ke snížení kvality vody, rozvoji řas a ke znečištění bezprostředního okolí jezera odpady. V současnosti se stav vody v jezeře také dílem důmyslného uzavření lomu opět zlepšil.

Z komplexního průzkumu jezera vyplývá, že z čistě chemického hlediska a fyzikálních vlastností vody se jedná o jezero s kvalitní pitnou vodou, která by mohla v budoucnu sloužit jako důležitý náhradní zásobovací zdroj pro malé obce v okolí (tab. 4).

Podobné využití mají podzemní vody jímáné v sousedním lomu zvaném Mexiko, které slouží jako zdroj vody pro místní podnik Lomy Mořina, a.s. a jako náhradní zdroj zásobování pro obec Mořina. Menším problémem by mohla být pouze zvýšená tvrdost vody a poměrně vysoká hodnota pH, což jsou však ukazatele, které se dají snadno upravit. K definitivnímu posouzení by bylo zapotřebí ještě několika dalších rozborů, především rozboru vody na obsah těžkých kovů, specifické organické látky a mikrobiologickou aktivitu.

Je však velmi pravděpodobné, že vzhledem k izolovanosti jezera a velmi nízké úživnosti by jen potvrdily výše zmíněnou tezi. Případné rekreační využití není možné z důvodu nestability lomové stěny, důvodem k potenciální ochraně by měl být četný výskyt kriticky ohroženého raka říčního (*Astacus astacus*), jehož stavy zde v 90. letech vlivem rekreace značně poklesly.

ukazatel	Velká Amerika	pitná voda (limit)	jednotky
• vodivost (25°C)	430	2500	μS·cm ⁻¹
• pH	8,26	6,5-9,5	-
• NH ₄ ⁺	0,02	0,5	mg·l ⁻¹
• Ca ²⁺	55,48	30 (min.)	mg·l ⁻¹
• Mg ²⁺	16,88	10 (min.)	mg·l ⁻¹
• Na ⁺	3,2	200	mg·l ⁻¹
• SO ₄ ²⁻	88,45	250	mg·l ⁻¹
• NO ₃ ⁻	4,91	50	mg·l ⁻¹
• Cl ⁻	10,59	100	mg·l ⁻¹

Tab. 4. Porovnání nejvíce nepříznivých ukazatelů chemismu povrchové vody naměřených na lokalitě Velká Amerika s normou na pitnou vodu.

Table 4 Comparison of the most unfavourable indicators of surface water chemism measured in Velká Amerika locality with drinking water standard.

8. Závěr

Jezero v lomu Velká Amerika je reprezentativním příkladem možností využití jezer vzniklých v souvislosti s těžbou nerostných surovin s nezanedbatelným bioekologickým, vodohospodářským a estetickým významem v kontextu místní i regionální krajiny. V neposlední řadě plní i významnou roli retence vody v krajině, která je zvláště důležitá v relativně suchých oblastech, kterou území Českého krasu bezesporu je. Vezmeme-li v úvahu, že se na území České republiky nachází několik set více či méně podobných jezer, nejedná se tady již jen o pouhé přírodní zajímavosti, ale o nedílnou součást naší krajiny, kterou antropogenní jezera rozhodně jsou.

Literatura:

- Hrdinka T., Janský B., Šobr M. (2003): Genetická klasifikace jezer České republiky. – In: Janský B., Šobr M. a kol.: *Jezera České republiky*: 12-23. PŘF UK, katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha.
- Hrdinka T. (2004): *Antropogenní jezera České republiky*. – MS, Dipl. práce, PŘF UK: 1-115. Praha.
- Chybík J., Novák V., Novotná M., Zahrádková A., Železný M. (1963): *Zpráva k výpočtu zásob silničních a stavebních vápenců lokality Mořina*. – MS, Arch. Železnorudné doly a hrudkovny, Nučice.
- Krotíl K. a kol. (2001): *Lomy Mořina 1891–2001*. – Lomy Mořina: 1-60. Mořina.

- Květoň V. (2001): *Normály teplot vzduchu na území ČR v období 1961–1990*. – Národní klimatický program ČR: 1-197. Praha.
- Štýs S. a kol. (1981): *Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin*. – SNTL: 1-680. Praha.
- Wetzel R. G. (2001): *Limnology*. – Academic Press: 1-1006. San Diego.
- Letecké snímky 1993–2002. VGHÚř Dobruška.
- Rámcová směrnice Evropského společenství o vodní politice 2000/60/ES ze dne 23. 10. 2000.
- Soubor geologických map 1 : 50 000. Český geologický ústav, Praha, 1986–1999.
- Soubor turistických map 1 : 50 000. Edice Klubu českých turistů, Vojenský kartografický ústav, Harmanec, 1995–2001.
- www.ecmost.cz/ver_cz/voda/pitna_voda/vyhlaska.htm (vyhláška MZ č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly)
- www.monet.cz/zp/rocnk98/kap_021.htm (hodnocení jakosti vody podle ČSN 75 7221 Klasifikace jakosti povrchových vod)
- www.stranypotapeckse.cz (potápěčské stránky s odkazy na zatopené lomy v ČR)