

SUBFOSÍLNE SPOLOČENSTVÁ ROZSIEVOK BANSKOŠTIAVNICKÝCH NÁDRŽÍ ODRÁŽAJÚ ZMENY VEGETÁCIE V POVODÍ

SUBFOSSIL DIATOM COMMUNITIES FROM BANSKÁ ŠTIAVNICA RESERVOIRS MIRROR VEGETATION CHANGES IN THE CATCHMENT

Lucia SOCHULIAKOVÁ¹, Katarína TRNKOVÁ²,
Ladislav HAMERLÍK^{1,3}, Peter BITUŠÍK¹

¹ Katedra biológie a ekológie Fakulty prírodných vied UMB, Tajovského 40, SK-974 01 Banská Bystrica,
e-mail:lucia.sochuliakova@umb.sk

² Katedra životného prostredia Fakulty prírodných vied UMB, Tajovského 55, SK-974 01 Banská Bystrica

³ Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Twarda 51/55, 00-818 Warsaw, Poland

Abstract

We present the results of the analysis of sediment cores from two man-made reservoirs, remains of a unique mining hydro-energetic system, located in a former mining region in the surroundings of Banská Štiavnica (Central Slovakia). The significance of the reservoirs as energy sources has changed during their existence and in the present they are used for recreation, angling and flood protection purposes (Veľká Richňava reservoir), or as a drinking water supply (Rozgrund reservoir). To understand the relationship between the catchment vegetation and lake biota, we analysed changes in diatom (aquatic) and pollen (terrestrial) remains preserved in the lake sediment. The top/ bottom paleolimnological approach was used to compare the bottom part of the sediment referring to the post-initial lake conditions (beginning of the 20th century) with the surface part representing current conditions (after 2000). We found a certain level of synchronicity between the responses of both proxies indicating that diatom communities could be influenced by land-use changes in the catchment. In Veľká Richňava, the period with the dominance of pollen assemblage indicating grazing co-occurred with diatom species tolerating high nutrient levels, such as that of the *Stephanodiscus* genus. In the recent samples, the catchment vegetation has changed from herb dominated flora to forest and simultaneously *Cyclotella* species became dominant referring to decreased nutrient concentrations in the reservoir. In Rozgrund the most dominant diatoms in the bottom sediments, *Fragilaria gracilis* and *Asterionella formosa* have also been replaced by *Cyclotella* taxa in the recent sediments indicating lower phosphorus concentrations. In both reservoirs, there was a similar trend of terrestrial vegetation from the dominance of herbs (i.e. meadows, pastures) towards increasing afforestation in the catchment. At the same time, diatoms indicate lower trophy in the present relative to past, most likely connected to decreasing nutrient concentrations as a result of the changes in terrestrial vegetation. Thus, we conclude that this phenomenon should be taken into consideration when future management actions are proposed, since restoration of pastures in the catchment will lead to higher trophy of reservoirs.

Key words: Bacillariohyceae, pollen, palaeolimnology, Veľká Richňava, Rozgrund, land-use, eutrophication, World Heritage site UNESCO, Banská Štiavnica, Central Europe

Úvod

Ťažba rúd patrí k aktivitám, ktoré výrazne ovplyvňujú prírodné prostredie v lokálnom i regionálnom meradle už od staroveku (SHEORAN et al. 2011). Množstvo odpadov produkovaných dolovaním a spracovaním rudy zapríčiňuje znečistenie vzduchu, pôdy, povrchových a podzemných vôd a tým aj ochudobňovanie biodiverzity (RYBICKA 1996; WONG 2003). Baníctvo mení reliéf krajiny a zanecháva po sebe dedičstvo v podobe zvyškov povrchových baní, prepادلísk, hald, odkalísk, odlesnených plôch a stopy po banskej činnosti sú identifikovateľné v krajine aj dlho po jej ukončení (e.g. BELL & DONNELLY 2006). Navyše, unikanie potenciálne toxických kovov z opustených banských oblastí je jedným z najvýznamnejších environmentálnych hazardov, ktoré postihujú mnohé krajiny s historickou banskou činnosťou (THORNTON 1996).

V posledných dvoch desaťročiach sa v Európe venuje čoraz viac pozornosti štúdiu historických vplyvov baníctva a metalurgie na prostredie s využitím paleolimnologického prístupu (napr. MIGHALL et al. 2002; MONNA et al. 2004a, b; JOUFFROY-BAPICOT et al., 2007; BREITENLECHNER et al. 2010; BINDLER et al. 2011; CURRAS et al. 2012; LOPEZ-MERINO et al. 2014). Pri nedostatku archeologických nálezov a písomných dokladov môže paleolimnológia ako multidisciplinárna veda, ktorá využíva fyzikálne, chemické a biologické informácie zachované v sedimentoch jazier, resp. vo vrstvách rašeliny významne prispieť k rekonštrukcii minulých podmienok (SMOL 2008).

V rokoch 2015 – 2016 sme použili paleolimnologický prístup na demonštrovanie historických zmien prostredia v banskoštiavnickej banskej oblasti, v ktorej sa ťažili a spracovávali drahokovové a polymetalické rudy viac ako tisícročie (LABUDA 2016). Výsledkom banskej činnosti je pozmenená krajina s množstvom antropogénnych foriem reliéfu ako aj zachovalých banských technických objektov, ktorá je v súčasnosti v celoeurópskom meradle tak osobitá, že bola v roku 1993 zapísaná do listiny svetového kultúrneho dedičstva UNESCO (LICHNER et al. 1999). Krajinárskym prvkom, ktorý znásobuje atraktivitu celého územia a zvyšuje jeho rekreačný potenciál sú vodné nádrže ako pozostatok dômyselného hydro-energetického systému zásobujúceho energetickou vodou banské a úpravárenské stroje a prevádzky (NOVÁK 1977). Vzhľadom k účelu, ktorému dnes slúžia (predovšetkým rekreácia a športový rybolov) je starostlivosť o ne zameraná na údržbu hrádzi a technických zariadení a na monitorovanie kvality vody z hľadiska jej vhodnosti na kúpanie.

Súčasný stav týchto ekosystémov je výsledkom vývoja trvajúceho od prvej polovice 18. storočia, kedy väčšina dodnes zachovaných nádrží vznikla (alebo bola do dnešnej podoby

zväčšená, či rekonštruovaná) a ktorý bol vždy v menšej alebo väčšej miere ovplyvňovaný človekom. Napriek detailným historickým údajom o výstavbe, finančných nákladoch a technických parametroch existuje len málo archívnych dát, ktoré by umožnili vytvoriť si predstavu o tom, ako tieto nádrže fungovali a aké hlavné faktory ovplyvňovali ich biocenózy. Poznanie vývojových trajektórií nie je len kľúčom k pochopeniu súčasného stavu, ale aj podkladom pre ich ďalší manažment.

V tomto príspevku podávame výsledky paleolimnologickej štúdie na demonštrovanie historických zmien prostredia dvoch nádrží, Veľkej Richňavy a Rozgrundu, ktoré patria k najväčším v celom vodohospodárskom systéme a sú navzájom porovnateľné svojim vekom a morfometrickými parametrami (LICHNER et al. 1999). Voda z oboch nádrží sa využívala na banské účely a po útlme baníctva začiatkom 20. storočia sa uplatňoval v nádržiach a ich povodiach odlišný manažment. Zatiaľ čo nádrž Rozgrund slúžila ako zdroj pitnej vody, s čím súvisel rad opatrení na ochranu jej povodia, Veľká Richňava sa stala centrom rekreácie a športového rybolovu s intenzívnou výstavbou v povodí.

Analýzu subfosílnych rozsievok (Bacillariophyceae) sme porovnali so stratigrafickým záznamom peľových zvyškov zo sedimentov, čo umožnilo komplexnejšie pochopenie súvislostí zmien prebiehajúcich vo vodných nádržiach a ich okolí. Zvolili sme metódu top/bottom, keď nie je interpretovaný celý stratigrafický záznam, ale porovnávajú sa recentné vrstvy s vybraným starším časovým horizontom. Výsledky by mohli, resp. mali byť využiteľné ako podklady pre ochranu a manažment aktivít, ktoré súvisia s vodnými nádržami a ich povodiami.

Materiál a metodika

Opis študovaných lokalít

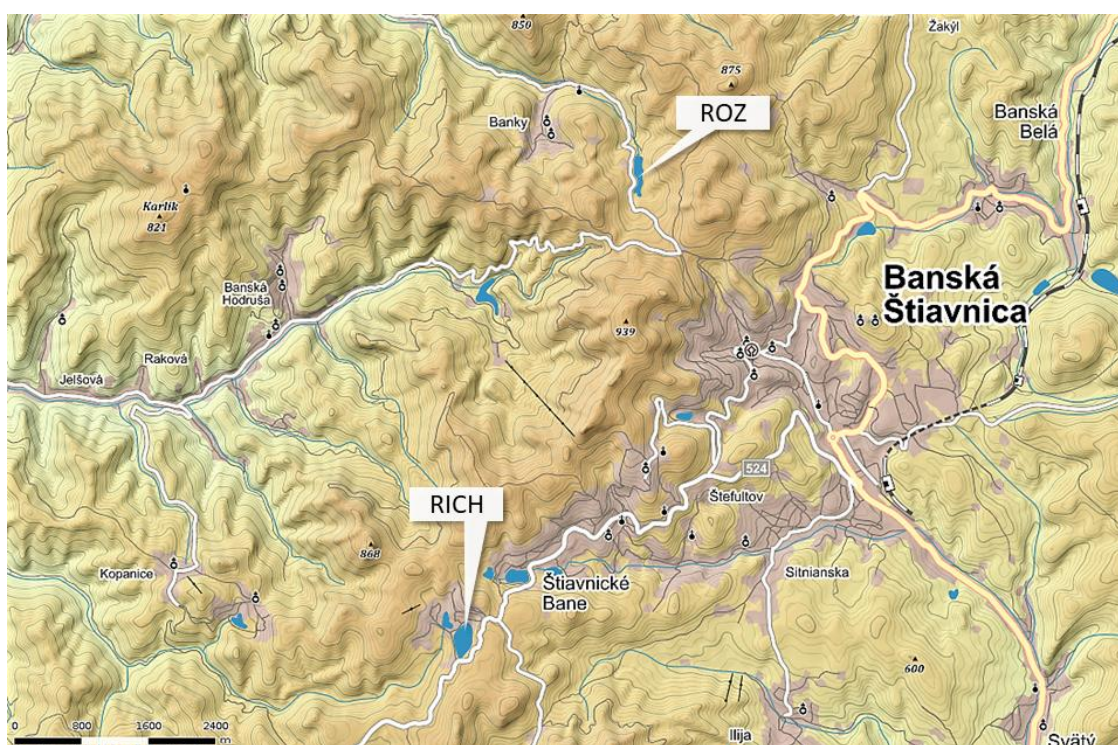
Veľká Richňava (RICH) a Rozgrund (ROZ) patria k 24 dodnes zachovaným nádržiam (LICHNER et al. 1999), ktoré sú zvyškom bývalého banského vodohospodárskeho systému. V období medzi 18. a 19. storočím pozostával tento systém z cca 60 nádrží a takmer celá vyspelá banská a úpravnícka technika závisela od energie vody, ktorú tento systém akumuloval (KRNO 2014). Obe nádrže, vzhľadom na ich vrcholovú polohu a objem zadrživanej vody, patrili k najdôležitejším vo svojich skupinách. RICH ako súčasť skupiny tzv. piargských vodných nádrží je situovaná v blízkosti obce Štiavnické Bane, ROZ sa nachádza v závere Vyhnianskej doliny. Vzdialenosť medzi nimi vzdušnou čiarou je cca 20 km (obr. 1).

Okolie nádrží tvorí dnes mozaika listnatých, resp. zmiešaných lesov, pasienkov a lúk, v prípade RICH aj ľudských sídel. Obe nádrže sú dimiktické s letnou a zimnou teplotnou stratifikáciou a zarybnené. Zatiaľ čo v RICH prevládajú kaprovité ryby, rybia osádka v ROZ je tvorená hlavne pstruhom (CHAMUTIOVÁ et al. submitted; ÚVZSR et al. 2013). Základné parametre nádrží sú zhrnuté v tab. 1 a ďalšie informácie sú v textoch k obr. 2 a 3.

Tab. 1: Vybrané základné parametre študovaných vodných nádrží v banskoštiavnickom rudnom revíri (LICHNER et al. 1999; KUBINSKÝ et al. 2013; FUSKA et al. 2015).

Tab. 1: Basic characteristics of the studied reservoirs in the Banska Stiavnica region (LICHNER et al. 1999; KUBINSKÝ et al. 2013; FUSKA et al. 2015).

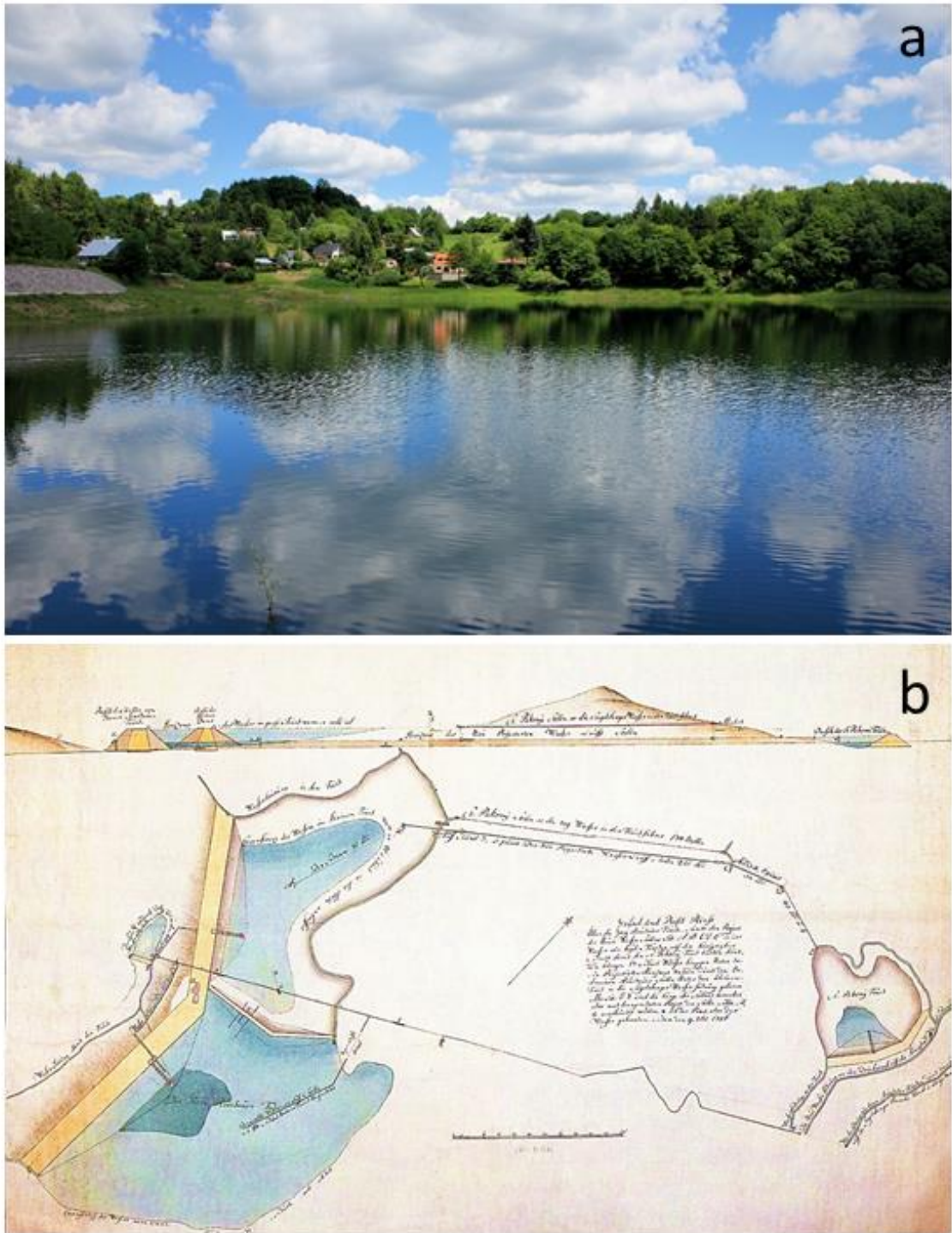
Nádrž	Veľká Richňava	Rozgrund
GPS súradnice	S 48°25'37" V 18°50'46"	S 48°28'39" V 18°52'32"
Nadmorská výška [m n. m.]	725	703
Dĺžka hrádze [m]	320	125
Max. hĺbka [m]	19,5	20,9
Objem [m ³]	666 000	575 000
Vodná plocha [m ²]	82 830	54 350
Skupina nádrží	piargska	vyhnianska
Rok vzniku	1 740	1 744



Obr 1: Vzájomná poloha študovaných vodných nádrží.

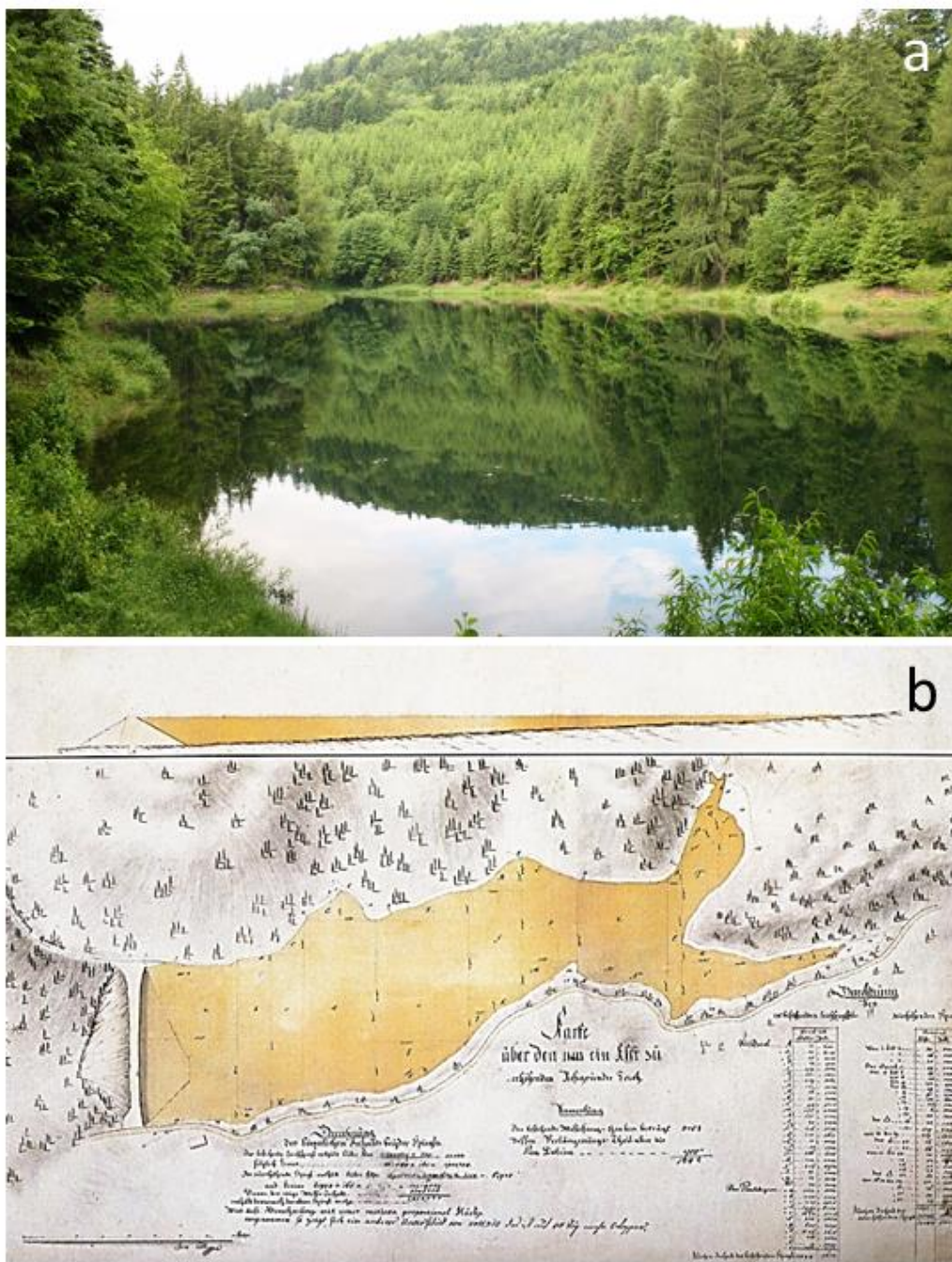
RICH – Veľká Richňava, ROZ – Rozgrund (<https://en.mapy.cz>).

Fig. 1: Location of the studied reservoirs. RICH – Veľká Richňava, ROZ – Rozgrund (<https://en.mapy.cz>).



Obr. 2: Veľká Richňava. Nádrž bola vybudovaná v rokoch 1738 – 1740 podľa projektu Samuela Mikovíniho pôvodne ako jedna nádrž, ktorú však v roku 1746 rozdelili priečnou hrádzou na dve časti (Veľkú a Malú Richňavu), aby sa zabránilo presakovania vody cez hlavnú hrádzu. a – Súčasný pohľad na nádrž s výstavbou rekreačných chát v severnej časti povodia (foto P. Bitušík); b – Pôdorys a profil richňavských nádrží od Jána T. Brinna z roku 1736 (LICHNER et al. 2005). V súčasnosti slúži nádrž na rekreačné účely – kúpanie, člnkovanie a športový rybolov.

Fig. 2: Veľká Richňava. The reservoir was built in 1738 – 1740 based on the planes of Samuel Mikovini, originally as a single reservoir, however, in 1746 it was split using a transverse dam (Veľká and Malá Richňava), to prevent leaking through the main dam. a – Present view of the reservoir with huts in the northern part of the catchment (photo P. Bitušík); b – Ground-plan and vertical profile of the reservoir from Jan. T. Brinn from 1736 (LICHNER et al. 2005). Currently, the reservoir is used for recreational purposes, such as swimming, boating and angling.



Obr. 3: Rozgrund. Projekt nádrže vypracoval Samuel Mikovíni v roku 1741 a v rokoch 1743 – 1744 sa stavba pod jeho vedením zrealizovala. Hrádza nádrže bola až do polovice 19. storočia považovaná za najodvážnejšiu stavbu svojho druhu na svete. a – Súčasný pohľad na nádrž (foto P. Bitušík); b – Plán nádrže s výpočtom zvýšenia hrádze a zväčšenia objemu akumulovanej vody, ktorý vypracoval Jozef Lill v 2. polovici 18. storočia (LICHNER et al. 2005). V prvej polovici 20. storočia sa nádrž začala využívať ako zdroj pitnej vody pre Banskú Štiavnicu (AMBROŠ et al. 2014) a od roku 1983 tu platia špecifické podmienky na ochranu bezprostredného okolia nádrže a celého povodia.

Fig. 3: Rozgrund. The reservoir was designed by Samuel Mikovini in 1741 and constructed in 1743–1744 under his supervision. Until the mid-19th century, the main dam, due to its unique technical parameters, was considered the most innovative construction of its kind in the world. **a** – Present view of the reservoir (photo P. Bitušík); **b** – Plan of the reservoir from the second half of the 18th century, with calculations of the increase of the heights of the main dam and the expected expansion of the accumulated volume of water, made by Jozef Lill (LICHNER et al. 2005). Since the first half of the 20th century, the reservoir has been used as a drinking water source for Banská Štiavnica (AMBROŠ et al. 2014), and due to the protection of the water source, specific conditions apply in its catchment.

Odber sedimentačných jadier

Sedimenty boli odobrané z najhlbších častí dna pomocou oceľového jadrovača UWITEC Niederreiter 60 (priemer 6,0 cm), pracujúcom na hydraulickom princípe. Pretože v septembri 2015 bola RICH po rekonštrukcii hrádze ešte vypustená, sedimenty boli odobrané zo suchého dna. V prípade ROZ sa odber uskutočnil v máji 2016 z plávajúcej plošiny, pričom odberu predchádzal prieskum sonarom, ktorý poskytol akustický obraz výplne nádrže a umožnil výber vhodného odberového miesta. Vrtné jadrá boli transportované na Ústav vied o Zemi SAV v Banskej Bystrici, kde boli v priebehu niekoľkých dní narezané na 1 cm hrubé vrstvy, vložené do plastických vrecúšok a uskladnené pri teplote 4° C na neskoršie laboratórne analýzy biologických proxy dát (pakomáre, perloočky, rozsievky, peľové zrná).

Vzorky boli datované pomocou izotopu ^{210}Pb . Na potvrdenie správnosti datovania bol použitý izotop ^{137}Cs . Na vytvorenie hĺbkovo-vekového modelu bol použitý metodický postup podľa SZARLOWICZ et al. (2013). Podrobnosti sú uvedené v BITUŠÍK et al. (2018).

Analýza rozsievok

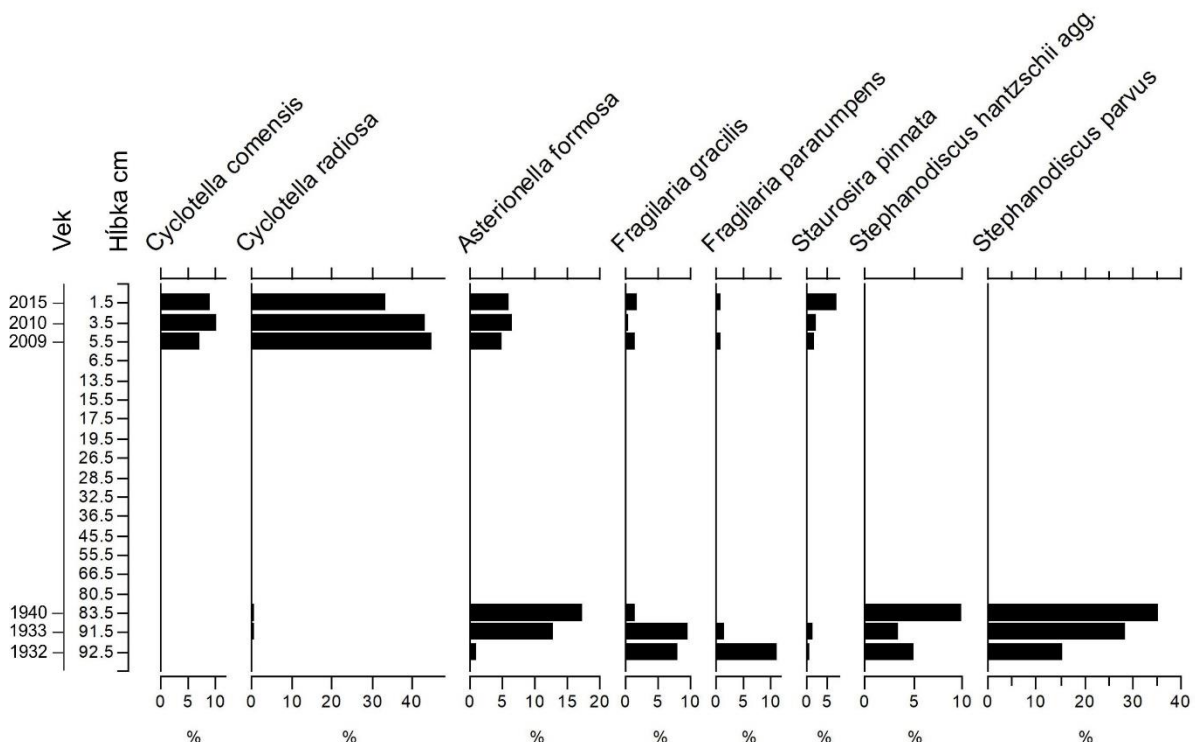
Výber vrstiev sedimentu na analýzu rozsievok korešpondoval s vrstvami použitými na analýzy vodných biologických proxy (BITUŠÍK et al. 2018; CHAMUTIOVÁ et al. submitted). V prípade RICH to boli vzorky 92,5 cm; 91,5 cm a 83 cm datované do obdobia začiatku 30-tych až 40-tych rokov, v prípade ROZ tri vzorky 255,5 cm; 237,5 cm a 229,5 cm, ktoré sa ukladali medzi začiatkom 20-tych až 40-tych rokov. Súčasný stav reprezentovali vzorky z obdobia ~ 2009 – 2015 (RICH), resp. ~ 2005 – 2013 (ROZ).

Trvalé mikroskopické preparáty rozsievok boli pripravené podľa štandardného metodického postupu (BATTARBEE 1986). Ako zalievacie médium bol použitý Naphrax s refrakčným indexom 1.71. V každom preparáte bolo determinovaných pri 1000-násobnom zväčšení približne 400 válv na najnižšiu možnú taxonomickú úroveň. Determinácia vychádzala z publikácií HOFMANN (2013), COSTE & ROSEBERY (2011), HOUK et al. (2010), KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986, 1988, 1991a,b). Na vizualizáciu zmien relatívnej abundancie dominantných taxónov (zastúpenie viac ako 5% najmenej v jednej vzorke) bol použitý program C2, verzia 1.7.7 (JUGGINS 2007). Zaznamenané zmeny druhového zloženia rozsievok boli porovnávané v s už publikovaným palynologickým záznamom z RICH (BITUŠÍK et al. 2018) a s nepublikovanými údajmi z ROZ.

Výsledky a diskusia

Stratigrafia rozsievok

V analyzovaných vrstvách sedimentu z Veľkej Richňavy boli rozsievky zastúpené 107 taxónmi. V spodných vrstvách bolo zaznamenaných 81 taxónov, v horných 72. Zaznamenali sme osem druhov v relatívnej abundancii viac ako 5 % (obr. 4). Dominantné taxóny v starších a mladších vzorkách sa zásadne odlišovali. Zo siedmich taxónov nájdených v spodných vrstvách, dva dominantné cyklické druhy *Stephanodiscus parvus* (od ~ 15 do ~ 35 %) a *S. hantzschii* (od ~ 3,5 do 10 %) sa nevyskytovali v recentných vrstvách. V recentnom spoločenstve boli vystriedané cyklickou *Cyclotella comensis* (max. ~ 10,5 %), ktorá spolu s druhom *C. radiosa* (fluktuácie v rozmedzí ~ 33,5 % až ~ 45 %) dosiahli vysokú abundanciu ako dominantné druhy rodu *Stephanodiscus* v spodných vrstvách. Výraznou mierou sa na početnosti podieľal planktonický druh *Asterionella formosa*.

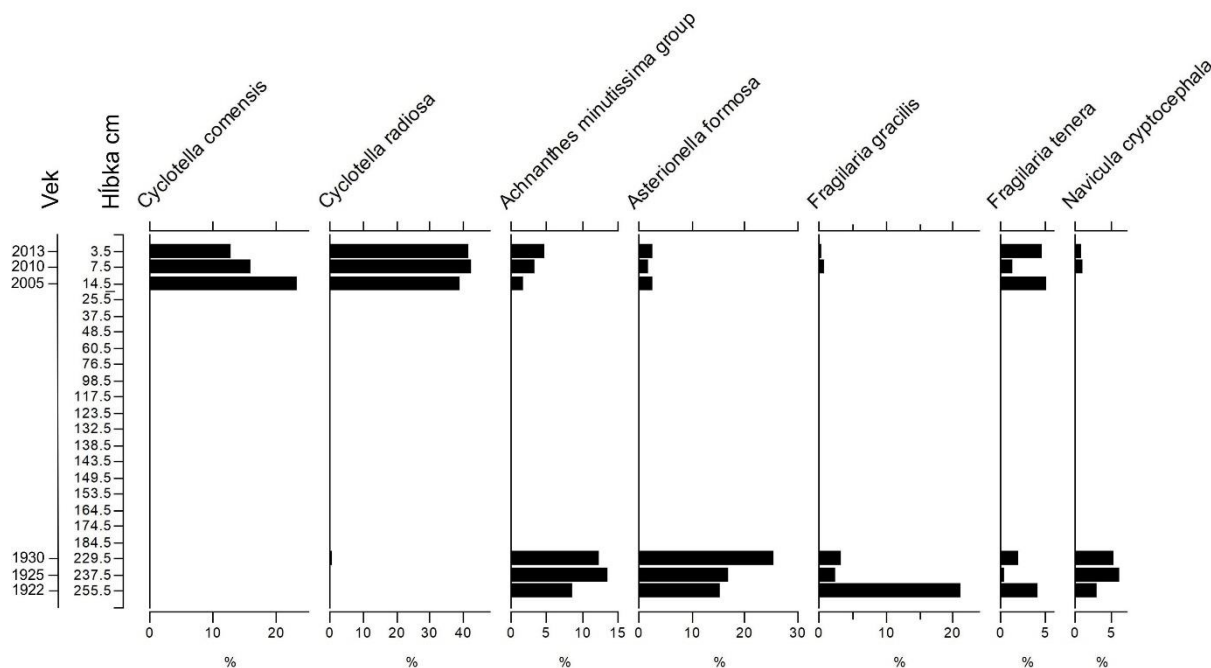


Obr. 4: Stratigrafický diagram z nádrže Veľká Richňava zobrazujúci rozsievky s relatívnou početnosťou viac ako 5 % v analyzovaných vrchných a spodných vrstvách.

Fig. 4: Diatom stratigraphy in Veľká Richňava reservoir showing dominant diatom taxa (> 5 % relative abundance) in the bottom and the surface sediments.

V analyzovaných vrstvách sedimentu nádrže Rozgrund sme zaznamenali celkovo 111 taxónov rozsievok, 75 v spodných vrstvách a 73 v horných vrstvách. V relatívnej abundancii vyššej ako 5% sa vyskytovalo sedem druhov (obr. 5). Dominantné taxóny v spodnej a vrchnej

časti sedimentačného jadra sa opäť líšili. V spodných vrstvách patrili medzi prevládajúce druhy *Asterionella formosa* (max. ~ 25 %), *Fragilaria gracilis* (max. 21 %), *Achnanthes minutissima* group (max. ~ 13 %), kým v horných vrstvách sa ich percentuálna početnosť znížila (fluktuácie v rozsahu 0,5 – 4 %). V recentnom spoločenstve dosiahli významné zastúpenie druhy *Cyclotella radiosa* (v spodných vrstvách zastúpená len nízkymi počtami, <1 %) a *C. comensis*, ktorý sa v spodných vrstvách nevyskytoval. Ich spoločný percentuálny podiel dosiahol ~ 60 %.



Obr. 5: Stratigrafický diagram rozsievok z nádrže Rozgrund, zobrazujúci taxóny s relatívnou početnosťou viac ako 5% v jednotlivých spodných a horných vrstvách analyzovaného sedimentu.

Fig. 5: Diatom stratigraphy in Rozgrund reservoir showing dominant taxa (> 5 % relative abundance) in the bottom and the surface sediments.

Rozsievky versus palynologický záznam: paleoekologická interpretácia

Veľká Richňava

Asterionella formosa, *Stephanodiscus parvus* a *S. hantzschii* zachytené v starších vrstvách sedimentov RICH indikujú všeobecne vyšší obsah živín v nádrži. Zvýšenie podielu *A. formosa* sa dáva do súvislosti s počiatkovou fázou eutrofizácie jazier (WILLEN 1991) a indikuje aj určitý stupeň antropického vplyvu a využívanie krajiny v povodí (HÜBENER et al. 2002). Druhy rodu *Stephanodiscus* sú bežné vo vodách s vysokým obsahom nutričov, najmä fosforu (BRADBURY & DIETERICH-RURUP 1993). Vysoký podiel *S. parvus* býva spájaný s nárastom podielu bylinnej vegetácie v okolí a jej zvýšeným spásaním (HAUSMANN et al.

2002). Takáto interpretácia trofického statusu nádrže dobre koreluje s rekonštruovanými vegetačnými pomermi v jej okolí. V tomto období signalizujú peľové analýzy vyšší podiel bylín, teda rozširovanie trávnych porastov a vysoké zastúpenie pŕhľavy (*Urtica dioica*) v týchto vrstvách indikuje pasenie a košarovanie oviec alebo dobytky (BITUŠÍK et al. 2018).

Dominancia druhu *Cyclotella radiosa* v recentných vrstvách naznačuje zníženie prísunu živín (BENNION et al. 2015), zároveň však vypovedá aj o zmenách vegetácie v povodí. HICKMAN & REASONER (1998) zistili, že druh *C. radiosa* indikuje prechod od riedkej bylinno-kríkovej vegetácie k stromovej. Palynologická analýza ukázala zvýšenie podielu drevinovej vegetácie na úkor pastevných indikátorov, čo bolo interpretované jednak ako dôsledok prebiehajúceho procesu spontánnej sekundárnej sukcesie na opustených lúkach a pasienkoch, jednak ako výsledok zámernej výsadby drevín, najmä ihličnanov. Súčasne došlo k rozvoju porastov brehovej vegetácie tvorenej najmä jelšou (*Alnus*) a vŕbami (*Salix*) (BITUŠÍK et al. 2018).

Zaznamenaná zmena v spoločenstvách rozsievok, poukazuje na to, že využívanie trávnych porastov na pastvu malo vplyv na zvyšovanie živín v pôde a ich následné vyplavovanie do nádrže.

V mnohých európskych jazerách sú zaznamenané posuny druhového zloženia rozsievok s opačným trendom, teda od dominancie *Cyclotella radiosa* k dominancii *Stephanodiscus hantzschii* a *S. parvus*, čo je užitočným indikátorom ekologických zmien spojených s eutrofizáciou (BENNION et al. 2015).

V súčasnosti je kvalita vody nádrže je monitorovaná a podľa STN EN ISO 5667-1 patrí RICH do prvej triedy kvality vody a v každoročnom zozname vôd určených na kúpanie je jej kvalita hodnotená ako „výborná“ (KUBINSKÝ et. al. 2013), a to aj napriek zintenzívneniu turistického ruchu a výstavby v okolí.

Rozgrund

Záznam spodných vrstiev sedimentu ROZ ukazuje dominanciu *Asterionella formosa* a podmienky bohaté na živiny indikuje aj vysoké zastúpenie *Fragilaria gracilis*. Tento druh patrí medzi reofily (SOININEN 2004) a jeho výskyt v najstaršej analyzovanej vrstve (255,5 cm, ~ 1922) je synchronizovaný s výskytom reofilných a semiterestrických taxónov pakomárov. Prítomnosť reofilov v stratigrafickom zázname indikuje obdobie nízkeho stavu vody, kedy voda z nádrže bola ešte využívaná na pohon stúp vo Vyhnianskej doline a prítoky tečúce po odkrytom dne podporovali formovanie reofilných spoločenstiev (CHAMUTIOVÁ et al.

submitted). Po naplnení nádrže (od ~ 1930) podiel *F. gracilis* v spoločenstve rozsievok výrazne klesá, ako ukazuje analýza mladších vrstiev.

Palynologická analýza vrstiev z tohto obdobia odhalila vyššie zastúpenie bylinnej zložky, najmä tráv (Graminaeae, *Hordeum*-type) a astrovitých (Cichorioideae, *Aster*-type), čo indikuje vyššie zastúpenie pasienkov, ktoré boli spásané a zošľapávané (prítomnosť *Plantago*, BEHRE 1981), resp. kosných lúk v okolí nádrže (prítomnosť okolíkatých – Umbelliferae, YIIN et al. 2008). V porovnaní s RICH však prekvapuje nízke zastúpenie *Urtica dioica*, čo snáď súvisí s absenciou košarovania v blízkom okolí nádrže (TRNKOVÁ, nepublikované údaje).

Z analýzy rozsievok v recentných vrstvách môžeme usudzovať na zmenu trofických pomerov. Dominancia druhov *Cyclotella radiosa* a *C. comensis* zvyčajne indikuje oligo-mezotrofné podmienky (SORVARI & KORHOLA 1998). V paleolimnologickej štúdií z jazier Francúzskeho stredohoria (RIOUAL et al. 2007) bola *C. radiosa* spájaná s vyšším výskytom liesky (*Corylus*), resp. borovice (*Pinus*) v povodí.

Podobne, ako v prípade RICH, palynologická analýza recentných vrstiev potvrdila nárast drevinovej zložky vegetácie, či už vplyvom spontánnej sukcesie alebo zámerným zalesňovaním väčšinou ihličnanmi (*Picea*, *Pinus*). Oproti minulosti sa zväčšila tiež plocha pobrežných porastov jelše a vrb (TRNKOVÁ, nepublikované údaje), ktoré zohrávajú významnú úlohu ako laterálny filter brániaci vstupu živín do recipientu (LOWRANCE et al. 1984; SABATER et al. 2000).

Súčasnú zníženie trofie nádrže môžu, samozrejme, súvisieť aj so zákazom niektorých aktivít v okolí nádrže a v jej povodí v dôsledku vyhláseného ochranného pásma pre povrchový zdroj pitnej vody pre Banskú Štiavnicu od roku 1983 (ESPRIT 2011).

Pre obidve nádrže boli v nedávnej minulosti (AGS ATELIÉR 2006; ESPRIT 2011) navrhnuté manažmentové opatrenia, ktoré, okrem iného, obsahujú aj zámery obnovenia obhospodarovania pasienkov a lúk v okolí Veľkej Richňavy, resp. udržiavanie trvalých trávnych porastov najmä v členitom, svahovitom území s množstvom háld a násypov ako pôdo-ochranný, ekostabilizačný a produkčný prvok v okolí Rozgrundu.

Výsledky našej štúdie však naznačujú, že odlesnenie a návrat k bývalým trávnyim porastom a ich poľnohospodárske využívanie môže viesť opätovne k zvýšenému prísunu živín a nežiaducej eutrofizácii oboch nádrží.

PodĎakovanie

PodĎakovanie patrí predovšetkým Radovi Pipíkovi a ďalším pracovníkom Ústavu vied o Zemi SAV, ktorí sa podieľali na odberoch sedimentačných jadier, ako aj Katarzyne Szarlowicz (AGH University of Science and

Technology, Krakow), ktorá vykonala datovanie sedimentov. Ďakujeme tiež dvom oponentom za cenné doplnky a pripomienky k rukopisu. Paleolimnologický výskum štiavnických nádrží bol financovaný z projektu VEGA 1/0664/15. Prístrojové vybavenie na Katedre biológie a ekológie FPV bolo získané v rámci projektu OP Výskum a vývoj – ITMS 26210120024 „Obnova a budovanie infraštruktúry pre ekologický a environmentálny výskum na UMB“.

Literatúra

AGS ATELIÉR 2006: Územný plán Mesta Banská Štiavnica. Prievidza, 118 pp.

AMBROŠ P., HERČKO I., HVIŽDÁK L. & MOLOKÁČ M. 2014: Využitie banskoštiavniického svetového kultúrneho a prírodného dedičstva v geoturizme a montánnom turizme. – *Quaestiones rerum naturalium* 1(1): 7-87.

ANDERSON N. J., RENBERG I. & SEGERSTROM U. 1995: Diatom Production Responses to the Development of Early Agriculture in a Boreal Forest Lake-Catchment (Kassjon, Northern Sweden). – *Journal of Ecology* 83(5): 809-822.

BATTARBEE R. W. 1986: Diatom analysis. *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, John Wiley & Sons, Chichester, 527-570 pp.

BEHRE K. E. 1981: The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagram. *Pollen et Spores* 23: 225-245.

BELL F. G. & DONNELLY L. J. 2006: *Mining and its Impact on the Environment*. CRC Press, 536 pp.

BENNION H., SIMPSON G. L. & GOLDSMITH B. J. 2015: Assessing degradation and recovery pathways in lakes impacted by eutrophication using sediment record. – *Frontiers in Ecology and Evolution* 11: <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00094>

BINDLER R., SEGERSTRÖM U., PETTERSSON-JENSEN I. M., BERG A., HANSSON S., HOLMSTRÖM H., OLSSON K. & RENBERG I. 2011: Early medieval origins of iron mining and settlement in central Sweden: multiproxy analysis of sediment and peat records from the Norberg mining district. – *Journal of Archaeological Science* 38: 291-300.

BITUŠÍK P., TRNKOVÁ K., CHAMUTIOVÁ T., SOCHULIAKOVÁ L., STOKLASA J., PIPÍK R., SZARLOWICZ K., SZACIŁOWSKI G., THOMKOVÁ K., ŠPORKA F., STAREK D., ŠURKA J., MILOVSKÝ R. & HAMERLÍK L. 2018: Tracking human impact in a mining landscape using lake sediments: a multi-proxy study. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 504: 23-33.

BORMANN F. H., LIKENS G. E., SICCAMO T. G., PIERCE R. S. & EATON J. S. 1974: The export of nutrients and recovery of stable conditions following deforestation at Hubbard Brook. – *Ecological Monographs* 44: 255-277.

BRADBURY J. P. & DIETERICH-RURUP K. V. 1993: Holocene diatom Paleolimnology of Elk lake, Minnesota. – Pp 215-238. In: BRADBURY J.P. & DEAN W.E. (eds.): Elk lake, Minnesota: Evidence for rapid climatic change in the North-central United States, Boulder, Colorado.

BREITENLECHNER E., HILBER M., LUTZ J., KATHREIN Y., UNTERKIRCHER A. & OEGGL K. 2010: The impact of mining activities on the environment reflected by pollen, charcoal and geochemical analyses. – *Journal of Archaeological Science* 37(7): 1458-1467.

COSTE M. & ROSEBERY J. 2010: Guide iconographique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomée 2007. Cestas Gazinet, Cemagref groupement de Bordeaux, 236 pp.

CURRAS A., ZAMORA L., REED J. M., GARCÍA-SOTO E., FERRERO S., ARMENGOL X., MEZQUITA- JOANES F., MARQUES M. A., RIERA S. & JULIA R. 2012: Climate change and human impact in central Spain during Roman times: high-resolution multi-proxy analysis of a tufa lake record (Somolinos, 1280 m asl). – *Catena* 89: 31-53.

ESPRIT S.R.O. 2011: Podpora ochrany lokalít NATURA 2000 začlenením do celopriestorového systému ekologickej stability. Regionálny územný systém ekologickej stability okresu Banská Štiavnica. Banská Štiavnica, 154 pp.

FUSKA J., KUBINSKÝ D., LACKÓOVÁ L. & WEIS K. 2015: Vindšachta Water Reservoir – Using GIS Tools for a Comparison of Storage Capacity in 1887 and 2014. – *Kartografija i geoinformacije* 14(24):42-57.

CHAMUTIOVÁ T., HAMERLÍK L., SZARLOWICZ K., PÍPÍK R., STAREK D., ŠPORKA F., PŘIDALOVÁ M., SOCHULIAKOVÁ L. & BITUŠÍK P. 2018: Historical development of three man-made reservoirs in a mining region: a story told by subfossil chironomids. – *Journal of Limnology*, doi: 10.4081/jlimnol.2018.1798.

HAUSMANN S, LOTTER A. F., VAN LEEUWEN J. F. N., OHLENDORF C., LEMCKE G., GRÖNLUND E. & STURM M. 2002: Interactions of climate and land use documented in the varved sediments of Seeburgsee in the Swiss Alps. – *The Holocene* 12(3):279-289.

HICKMAN M. & REASONER M. A. 1998: Late Quaternary diatom response to vegetation and climate change in a subalpine lake in Banff National Park, Alberta. – *Journal of Paleolimnology* 20(3): 253-265.

HOFMANN G., LANGE-BERTALOT H. & WERUM M. 2013: Diatomeen im Süßwasser – Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsflora Kieselalgen für die ökologische Praxis. Über 700 der häufigsten Arten und ihre Ökologie. Koeltz Scientific Books, Königstein, 908 pp.

HOUK V., KLEE R. & TANAKA H. 2010: Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions. Part III. Stephanodiscaceae A: Cyclotella, Tertiarthus, Discostella.Fottea. (Suppl. 10): 1-498.

HÜBENER T., ADLER S., WERNER P., SCHULT M., ERLLENKEUSER H., MEYER H. & BAHNWARD M. 2009: A multi-proxy paleolimnological reconstruction of trophic state reference conditions for stratified carbonate-rich lakes in northern Germany. – *Hydrobiologia* 631: 303-327.

JOUFFROY-BAPICOT I., PULIDO M., BARON S., GALOP D., MONNA F., LAVOIE M., PLOQUIN A., PETIT C., DE BEAULIEU J. L. & RICHARD H. 2007: Environmental impact of early palaeometallurgy: pollen and geochemical analysis. – *Vegetation History and Archaeobotany* 16: 251-258.

JUGGINS S. 2007: C2: Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualisation (User Guide Version 1.7.7). Newcastle upon Tyne: Newcastle University, 77pp.

KUBINSKÝ D., FUSKA J., WEIS K., LEHOTSKÝ M. & POKRÝVKOVÁ J. 2013: Zmeny reliéfu dna a akumuláčného objemu umelej vodnej nádrže a intenzita jej zanášania za ostatných 125 rokov - príklad Veľkej Richňavskej. – *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* 2: 31-40.

KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H. 1986-1991: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae. 1. – 4. Teil. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.

KRNO Ľ. 2014: Štiavnické tajchy ako svetové dedičstvo predstavila výstava na Ministerstve životného prostredia. – *Vodohospodársky spravodajca* 57(1-2): 8-9.

LABUDA J. 2016: Glanzengerg in Banská Štiavnica. Archeological survey of an abandoned town. Slovenské banské múzeum, 127 pp.

LICHNER M., KUŠNIEROVÁ E., LICHNER M., NOVÁK J. & PODKONICKÝ L. 1999: Banskoštiavnické tajchy (Banská Štiavnica's Water Reservoirs). Studio Harmony, Banská Bystrica, 126 pp. (In Slovak and English).

LICHNER M., KAŠIAROVÁ E., NOVÁK J., NOVOTNÝ J., PODKONICKÝ L., SKAVINIAK M., BREZNOŠČÁK M. 2005: Banskoštiavnické tajchy, Harmony, Slovenský vodohospodársky podnik, Banská Bystrica, 128 pp. (In Slovak and English).

LÓPEZ-MERINO L., CORTIZAS A. M., REHER G. S., LÓPEZ-SÁEZ J. A., MIGHALL T. M. & BINDLER R. 2014: Reconstructing the impact of human activities in a NW Iberian Roman mining landscape for the last 2500 years. – *Journal of Archaeological Science* 50: 208-218.

LOWRANCE R., TODD R., FAIL J. R. J., HENDRICKSON J. R. O., LEONARD R., & ASMUSSEN L. 1984: Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds. – *BioScience*, 34(6): 374-377.

MIGHALL T. M., TIMBERLAKE S., CLARK S. H. E. & CASELDINE A. E. 2002: A palaeoenvironmental investigation of sediments from the prehistoric mine of Copa Hill, Cwmystwyth, mid-Wales. – *Journal of Archaeological Science* 29(10): 1161-1188.

MONNA F., GALOP D., CAROZZA L., TUAL M., BEYRIE A., MAREMBERT F., CHATEAU C., DOMINIK J. & GROUSSET F. 2004a: Environmental impact of early Basque mining and

smelting recorded in a high ash minerogenic peat deposit. – *Science of the Total Environment* 327: 197-214.

MONNA, F., PETIT C., GUILLAUMET J. P., JOUFFROY-BAPICOT I., BLANCHOT C., DOMINIK J., LOSNO R., RICHARD H., LÉVÊQUE J. & CHATEAU C. 2004b: History and environmental impact of mining activity in Celtic Aeduan territory recorded in a peat-bog (Morvan-France). – *Environmental Science & Technology* 38: 665-673.

NOVÁK J. 1977: The water management system in Banská Štiavnica Ore District and its function in the past. *Proceedings of Slovak Mining Museum in Banská Štiavnica* 8: 109-141. (In Slovak with English summary).

RIOUAL P., ANDRIEU-PONEL V., BEAULIEN J. L., REILLE M., SVOBODOVA H. & BATTARBEE R. W. 2007: Diatom responses to limnological and climatic changes at Ribains Maar (French Massif Central) during the Eemian and Early Würm. *Quaternary Science Reviews* 26(11-12): 1557-1609.

RYBICKA E. H. 1996: Impact of mining and metallurgical industries on the environment in Poland. *Applied Geochemistry* 11: 3-9.

SABATER F., BUTTURINI A., MARTÍ E., MUÑOZ I., ROMANÍ A., WRAY J. & SABATER S. 2000: Effects of riparian vegetation removal on nutrient retention in a Mediterranean stream. – *Journal of the North American Benthological Society*, 19(4): 609-620.

SHEORAN V., POONIA P. & TRIVEDI S. K. 2011: Metal pollution in soil and plants near copper mining site. – *International Journal of Geology, Earth and Environmental Science* 1(1): 27-34.

SMOL J. P. 2008: *Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective*. John Wiley & Sons, 383 pp.

SOININEN J. 2004: Assessing the current related heterogeneity and diversity patterns of benthic diatom communities in a turbid and a clear water river. – *Aquatic Ecology* 38: 495-501.

SORVARI S. & KORHOLA A. 1998: Recent diatom assemblage changes in subarctic Lake Saanajärvi, NW Finnish Lapland, and their paleoenvironmental implications. – *Journal of Paleolimnology* 20: 205-215.

SZARLOWICZ K., RECYNSKI, W., MISIAK, R. & KUBICA, B. 2013: Radionuclides and heavy metal concentrations as complementary tools for studying the impact of industrialization on the environment. – *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 298(2): 1323-1333.

THORNTON I. 1996: Impacts of mining on the environment: some local, regional and global issues. – *Applied Geochemistry* 11: 355-361.

ÚVZSR, VÚVH, SAŽP & SHMÚ. 2013: Veľké Richnavské jazero. Internetový profil vody určenej na kúpanie. 17 pp.

WILLEN E. 1991: Planktonic diatoms - an ecological review. – *Algological Studies* 62: 69-106.

WONG M. H. 2003: Ecological restoration of mine degraded soil, with emphasis on metal contaminated soil. – *Chemosphere* 50: 775-780.

YIYIN L., LIPING Z. & HAITING C. 2008: Pollen indicators of human activity. – *Chinese Science Bulletin* 53(9): 1281-1294.