Quaestiones rerum naturalium, Vol. 3. No. 1, Fakulta prírodných vied UMB v Banskej Bystrici, 2016, s. 24-41.

PALEOLIMNOLOGICKÝ VÝSKUM PRE ADAPTÍVNY MANAŽMENT V OCHRANE PRÍRODY: PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA POPRADSKÉHO PLESA (VYSOKÉ TATRY, SLOVENSKO)

PALEOLIMNOLOGICAL SURVEY FOR THE ADAPTIVE MANAGEMENT IN CONSERVATION BIOLOGY: A CASE STUDY OF POPRADSKÉ PLESO LAKE (HIGH TATRA MOUNTAINS, SLOVAKIA)

Daniela DOBRÍKOVÁ[1], Lucia SOCHULIAKOVÁ[1], Jaroslav STOKLASA[1], Ladislav HAMERLÍK[1,2] & Peter BITUŠÍK[1]

[1] Katedra biológie a ekológie Fakulty prírodných vied UMB, Tajovského 40, SK-974 01 Banská Bystrica, e-mail: daniela.dobrikova@umb.sk
[2] Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Twarda 51/55, 00-818 Warsaw, Poland

Abstract

Lake sediments are high-resolution archives of environmental changes. Using remains of aquatic organisms, such as chironomids, diatoms and cladocerans preserved in the lake sediment we can track back the history of lakes and their catchments and determine the milestones of their development. Mountain lakes are especially sensitive to both natural and anthropic disturbances. In the present study we analysed the sediments of Popradské pleso lake representing the last ca 200 years to show what happened with its ecosystem under a human pressure and to compare responses of different bioindicators used in paleolimnology. A total of 37 chironomid, 11 cladoceran and 124 diatom taxa were recorded in the 10 cm long sediment sequence. The most significant changes occurred in all three groups simultaneously when the lake became a subject to severe organic pollution, even though the response time differed for particular groups. Interestingly, the chironomid composition returned to the original stage after the source of pollution has been removed, while that of cladocerans and diatoms remained the same. Beside the common response, each group has its specific response on community level that was not accompanied by changes in the other two groups. These responses together with the ecological knowledge of the group could bring extra information on the character of the environmental change.

Key words: paleolimnology, Chironomidae, Cladocera, Bacillariophyceae, mountain lakes, cultural eutrophication, Tatra Mountains

Úvod

V roku 2000 prijala Európska únia rámcovú smernicu o vode – RSV (WFD 2000/60/EC), ktorou zaviedla nový legislatívny prístup k hospodáreniu s vodou a k jej ochrane. Smernica určuje pre členské štáty pravidlá na zastavenie zhoršovania stavu vodných útvarov EÚ a na dosiahnutie „dobrého stavu" európskych riek, jazier a podzemnej vody do roku 2015. Okrem ochrany, zníženia znečistenia a zaručenia udržateľnosti používania vôd to znamená aj obnovu predtým narušených vodných ekosystémov. Cieľom revitalizácie mokradí, tečúcich a stojatých vôd je ich navrátenie do stavu, ktorý sa zhoduje alebo je blízky pôvodným podmienkam. Problémom však je, že pôvodné, tzv. referenčné podmienky, od ktorých sa všetky opatrenia na obnovu vodných ekosystémov musia odvíjať, spravidla nie sú známe. To, ako ekosystém vyzeral pred vplyvom človeka, sa dá zistiť pomocou modelov, štúdiom podobných, nenarušených referenčných systémov alebo paleolimnologickými metódami. Veľkou výhodou paleolimnologického prístupu je, že pomocou neho môžeme zistiť referenčné podmienky pre konkrétny ekosystém, a to aj pri zohľadnený lokálnych špecifík, ktoré sa podieľali na jeho dotváraní. Paleoekologický prístup sa preto môže uplatniť najmä pri revitalizácii, ako aj manažmente stojatých vôd (SMOL 2002).

Odľahlé vysokohorské a arktické jazerá vďaka svojím špecifickým podmienkam reagujú na zmeny prostredia vrátane vplyvov človeka oveľa citlivejšie, ako jazerá v nížinách a nižších zemepisných šírkach (BENISTON 2003, THOMPSON et al. 2005). Ich sedimenty sú archívom, v ktorom sa ukladajú informácie o zmenách, ktoré ovplyvňovali jazero a jeho povodie v minulosti.

Na území Slovenska sú paleolimnologické štúdie sústredené takmer výlučne na tatranské jazerá (BUCZKÓ et al. 2009) a väčšina z nich vznikla začiatkom 21. storočia. Ich cieľom bolo získať predstavu o tom, ako vyzerali spoločenstvá v predindustriálnom období a identifikovať rozsah ich poškodenia acidifikáciou, ktorá v rôznom rozsahu postihla takmer všetky tatranské vody (STUCHLÍK et al. 1985, TOMAJKA 1996). Tieto informácie boli súčasne aj východiskom pre prognózovanie ich ďalšieho vývoja v budúcnosti.

Niektoré jazerá však viac než acidifikáciou trpeli a stále trpia zásahmi v ich povodiach (odstraňovanie kosodreviny a do polovice 50-tych rokov 20. storočia aj pastva hospodárskych zvierat), zámernou introdukciou rýb, ako aj turistickým ruchom a jeho dôsledkami. Jedným z takýchto jazier je Popradské pleso. Pleso a jeho okolie tvorilo križovatku mnohých turistických chodníkov, kde sa stretávali turisti z Uhorska a Poľska. Prvá útulňa na brehu

jazera bola vybudovaná v roku 1879 a od tej doby opakovane vznikali, zanikali a obnovovali sa rôzne iné chatové objekty (obr. 1 – 4). Skutočný zlom ale nastal vtedy, keď sa namiesto malých útulní a chát vybudovala koncom 50. rokov 20. storočia chata, ktorá od roku 1962 začala fungovať ako veľkokapacitný horský hotel. Históriu stavebnej činnosti uzatvorila výstavba repliky Majláthovej chaty, ktorá je v prevádzke od začiatku roku 2011 (obr. 5)

Komplexný limnologický výskum na začiatku 60-tych rokoch 20. storočia nadviazal na staršie práce (SEDLMAYER 1929, HRABĚ 1939) a poskytol údaje o fyzikálno-chemických parametroch vody (ERTL 1965), planktonických (JURIŠ 1964, ERTL & VRANOVSKÝ 1964) a bentických spoločenstvách (ERTLOVÁ 1964). Neskôr tento tím odborníkov upozornil na neprirodzene rýchlu eutrofizáciu plesa spôsobenú odpadovými vodami z turistickej chaty a horského hotela, ktoré boli vypúšťané priamo do jazera (JURIŠ et al. 1965, ERTL 1978). Aj napriek medializovaniu tejto situácie v súdobej tlači tento stav pretrval až do začiatku 90-tych rokov, keď sa vybudovala čistička a odpadové vody sa začali odvádzať potrubím po dne jazera k jeho odtoku.

Popradské pleso je ukážkovým príkladom jazerného ekosystému, o ktorom vieme, že bol v nedávnej minulosti ovplyvnený človekom, no nevieme, aký bol rozsah tohto vplyvu a ako sa systém zmenil v porovnaní s obdobím pred týmto zásahom a ako sa vyvíja ďalej. Skutočnosť, že všetky významné ľudské aktivity v okolí jazera sú dobre zdokumentované, bola motiváciou pre paleolimnologickú analýzu najmladších sedimentov jazera zachytávajúcich posledných cca 200 rokov. Tento časový úsek bol považovaný za dostatočný na to, aby bolo možné porovnať rozsah antropicky podmienených zmien s referenčnými podmienkami nielen pred začiatkom eutrofizácie, ale aj so začiatkom priemyselnej revolúcie (HAMERLÍK et al. 2016).

Cieľom príspevku je pomocou paleolimnologického prístupu s použitím niekoľkých druhov zástupných („proxy“) dát ukázať, ako ovplyvnila kultúrna eutrofizácia biotu oligotrofného subalpínskeho jazera. Výsledky tejto štúdie by mohli, resp. mali byť využiteľné ako podklad pre ochranu, manažment a posudzovanie všetkých aktivít, ktoré súvisia s plesom a jeho povodím.

Materiál a metodika

Opis lokality

Popradské pleso (S 49°09'2.82", V 20°04'47.48', obr. 5) leží v dolnej časti Zlomiskovej doliny v nadmorskej výške 1494 m na dolnej hranici subalpínskeho stupňa. Rozlohou patrí medzi stredne veľké plesá s plochou 6,87 ha, s objemom vody 504 380 m^3 a s maximálnou a priemernou hĺbkou 17,6 m a 7,34 m. Väčšinu jeho rozsiahleho povodia tvoria skaly (44 %), sutiny (24 %), zatiaľ čo alpínske lúky a porasty smreka (*Picea abies*) a kosodreviny (*Pinus mugo*) pokrývajú 18 %, resp. necelých 15 % povodia (HYNŠTOVÁ 2014). Popradské pleso je jediným tatranským jazerom s prirodzenou populáciou pstruha potočného (*Salmo trutta* L., 1758), a preto sa v minulosti niekedy označovalo aj ako Rybie pleso (DYK 1960).

Odber a laboratórne spracovanie vzoriek

Pomocou Kajakovho gravitačného odberového zariadenia sa 31. mája 2013 z profundálu Popradského plesa (cca 12 m) odobrali 2 krátke (34 a 36 cm) sedimentačné jadrá o priemere 6 cm. Jadrá sa na mieste narezali na 0,5 cm hrubé vrstvy, ktoré sa následne uložili do plastikových vrecúšok a uschovali v chladničke Katedry biológie a ekológie (FPV UMB) v Banskej Bystrici pri teplote približne 4 °C pre neskoršie analýzy.

Vzorky sedimentu boli datované pomocou izotopu ^{210}Pb a na potvrdenie správnosti bol použitý izotop ^{137}Cs. Na zostrojenie hĺbkovo-vekového modelu bol použitý postup podľa SZARLOWICZ et al. (2013).

Obsah organickej hmoty bol stanovený ako strata žíhaním podľa štandardnej metódy BENGTSSON & ENELL (1986), pri ktorej sa usušený sediment spaľuje v muflovej peci pri teplote 550 °C počas 2 hodín. Výsledky sú prezentované ako % organickej hmoty na celkovú hmotnosť suchej vzorky sedimentu. Podrobný opis metódy datovania a stanovenia obsahu organického uhlíka uvádzajú HAMERLÍK et al. (2016).

Analýza biologických indikátorov

Hlavové kapsuly pakomárov (Chironomidae) boli spracované štandardnými paleolimnologickými metódami (WALKER & PATERSON 1985), montované do mikroskopických preparátov (do Berleseho média) a determinované podľa WIEDERHOLM (1983), BROOKS et al. (2007) a BITUŠÍK & HAMERLÍK (2014).

Pre analýzu perloočiek (Cladocera) bol vysušený a zvážený sediment (3 g z každej vzorky) 20 minút varený v 10 % KOH a následne spracovaný štandardnými postupmi (pozri

FREY 1986, KORHOLA & RAUTIO 2001, SZEROCZYNSKA & SARMAJA-KORJONEN 2007). Počítané boli všetky zvyšky zo vzorky o veľkosti 1,5 ml. Pre štatistické analýzy bol následne vybraný pre každý druh len jeden reprezentatívny typ spomedzi zvyškov. Na determináciu boli použité determinačné kľúče SZEROCZYNSKA & SARMAJA-KORJONEN (2007) a HUDEC (2010).

Rozsievky (Bacillariophyceae) boli v laboratóriu montované do trvalých preparátov podľa štandardného metodického postupu (BATTARBEE 1986) s použitím oxidačného činidla 30% H_2O_2, HCl a destilovanej vody. Ako zalievacie syntetické médium bol použitý Naphrax. Minimálne množstvo počítaných válv vo vzorke na náhodne zvolenom transekte bolo 400. Determinácia rozsievok vychádzala hlavne z publikácií KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986, 1988, 1991a,b), LANGE-BERTALOT & KRAMMER (1989) a COSTE & ROSEBERY (2011).

Pre porovnanie pôvodného a súčasného stavu sme použili zvyšky z horných a spodných dvoch centimetrov 10 cm dlhého sedimentačného jadra, celkovo 8 vzoriek. Horná časť sedimentu reprezentuje súčasné podmienky (fáza 4) po odklonení vývodu odpadových vôd z hotela do odtoku. Spodná časť sedimentu pochádza spred roku 1850 a predstavuje pôvodný stav (fáza 1) pred začiatkom intenzívnej turistickej aktivity a pred začatím výstavby chát v blízkom okolí jazera.

Všetky bioindikátory boli analyzované pomocou PCA (analýza hlavných komponentov) v programe Canoco for Windows verzia 5.01 (TER BRAAK & SMILAUER 2012). V každom prípade sa používala netransformovaná relatívna abundancia. Pre vizualizáciu zmien relatívnej abundancie dominantných taxónov v spodnej (pôvodnej, antropicky neovplyvnenej) a vrchnej (recentnej, po zásahu človeka) časti sedimentačného jadra, ako aj celkovej odozvy spoločenstiev (uvádzané ako skóre na prvej osi – PCA 1st axis score) pozdĺž sedimentačného stĺpca bol použitý program C2, verzia 1.7.6.

Výsledky a diskusia

Výsledky datovania ukázali, že 8 cm hrubý sediment sa akumuloval zhruba za posledných 200 rokov priemernou rýchlosťou 0,06 cm za rok. Určenie veku jednotlivých vrstiev sedimentu umožnili rozdeliť študované obdobie do 4 fáz: 1. fáza pred obdobím budovania objektov, nízka turistická aktivita (~ 1811 – 1898), 2. fáza zvýšenej turistickej aktivity a výstavba chatových objektov okolo jazera (1898 – 1962), 3. fáza priameho

znečisťovania jazera odpadovými vodami z horského hotela (1962 – 1994) a 4. fáza po odvedení odpadových vôd k odtoku jazera (1994 – 2013).

Množstvo organickej hmoty v sedimente vyjadrené ako straty žíhaním (% LOI) bolo celkovo vysoké vo všetkých vrstvách (v priemere 25,9 %). Od vrstvy 10,0 po vrstvu 3,5 cm (~ rok 1970) bol obsah organickej hmoty nižší a pomerne stabilný (priemer 23,9 %) s výnimkou vrstvy 5,5 – 6 cm, kde bol zaznamenaný mierny nárast (25,6 %). Od vrstvy 3 – 3,5 (~ 1979) však obsah organickej hmoty v sedimentoch postupne narastá a dosahuje až 33 % v najmladších vrstvách (HAMERLÍK et al. 2016).

Pakomáre (Chironomidae)

Pakomáre boli v celom sedimentačnom jadre zastúpené 45 taxónmi; v spodnej vrstve bolo nájdených 26 taxónov, v hornej 33. Dominantné taxóny spodnej a vrchnej časti jadra sa zhodujú, rozdiely sú však v ich relatívnej početnosti (obr. 6). Kým *Tanytarsus lugens*-typ v spodnej časti predstavoval cca 65 % početnosti pakomárov, vo vrchnej vrstve jeho podiel poklesol na menej ako 40 %. Naopak, podiel *Heterotrissocladius marcidus* vo vrchnej vrstve vzrástol na dvojnásobok oproti spodnej časti sedimentu z cca 8 % na takmer 20 %. Okrem týchto relatívnych zmien nedošlo k dramatickým zmenám v štruktúre spoločenstiev pakomárov: druhy, resp. taxóny, ktoré dominovali v spodnej časti sedimentu, predstavovali dôležitú súčasť aj recentného spoločenstva (viac detailov uvádzajú HAMERLÍK et al. 2016).

Perloočky (Cladocera)

Z celkového počtu 11 taxónov, v spodnej a vrchnej vrstve sedimentu bolo zachytených po 6 taxónov. Aj keď počet taxónov to neodzrkadľuje, spoločenstvo perloočiek sa významne zmenilo: zo šiestich taxónov nájdených v spodnej vrstve, sa štyri nevyskytujú v recentných vrstvách (*Chydorus sphaericus*, *Alonopsis elongata, Ceriodaphnia* spp. a *Alonella excisa*) (obr. 6), pričom prvé dva druhy vymizli náhle v 60-tych rokoch. Dva dominantné pôvodné druhy, *Acroperus harpae* a *Alona affinis,* sa zachovali v jazere po celý čas a ich spoločný podiel v recentných vrstvách narástol z 56 % v spodnej na 86 %. Zároveň v spoločenstve perloočiek sa objavili štyri nové druhy, z ktorých len *Alona quadrangularis* predstavuje početnejšiu časť spoločenstva (>10 %).

Rozsievky (Bacillariophyceae)

V celom jadre bolo zaznamenaných 124 taxónov rozsievok, z toho v spodnej vrstve 79, v hornej časti sedimentu len 62. V spodnej vrstve sedimentu dominovali druhy *Aulacoseira lirata* (10 % relatívnej abundancie v spodných vrstvách) a *Aulacoseira alpigena*

(11 %) ktoré vo vrchnej vrstve sedimentu chýbajú (obr. 6). Vo fáze 4 dominujú *Psammothidium subatomoides* (12 %) a *Pseudostaurosira brevistriata* (9 %), ktoré patrili medzi dominantné aj v spodnej vrstve sedimentu, avšak predstavovali menší podiel spoločenstva (oba po 7 %). To znamená, že z pôvodných dominantných taxónov úplne vymizli dva druhy, zároveň však do recentného spoločenstva nepribudol nový druh, ktorý by dokázal udržať kvantitatívne významnú populáciu.

Porovnanie odozvy paleospoločenstiev

Z porovnania priebehu zmien spoločenstiev pakomárov, rozsievok a perloočiek je evidentné, že všetky tri skupiny reagovali na začiatok masívneho organického znečisťovania plesa po uvedení horského hotela do prevádzky začiatkom 60-tych rokov (Fáza 3, obr. 7). Až táto fáza sa môže považovať za najdramatickejšie obdobie recentnej histórie plesa, hoci existujú doklady o tom, že splašky odtekali do jazera aj zo 4. Majláthovej chaty (od roku 1951 niesla meno Chata kpt. Štefana Morávku) a na tento stav sa upozorňovalo už v rokoch 1928 – 1929 (BALON 1964). Fungovanie horského hotela lákalo k plesu čoraz viac návštevníkov a len za prvé 4 roky jeho prevádzky sa ich počet niekoľkonásobne zvýšil, ako sa dá usúdiť z porovnania údajov o počte vydaných hlavných jedál v roku 1958 (≈ 31 000) a v roku 1962 (≈ 113 800, JURIŠ et al. 1965). Odpadové vody z kuchynskej prevádzky a hygienických zariadení oboch turistických objektov, ako aj práčovne hotela ústili po nedostatočnej úprave cez sedimentačné nádrže priamo do jazera. Analýzy chemizmu vody v rokoch 1961 a 1962 neukázali ešte výrazné zvýšenie hodnôt dusíka a fosforu, ale zníženie priehľadnosti spôsobené rozvojom fytoplanktónu v porovnaní s údajmi z 20-tych rokov signalizovalo zvýšenie trofie plesa (JURIŠ et al. 1965). ERTL (1978) konštatoval, že v priebehu posledných 15 rokov došlo k zreteľnému zhoršeniu kvality vody. Ako príklad uvádza zvýšenie koncentrácie amoniakálneho dusíka z 0,1 mg. l^{-1} v roku 1962 na 2,7 mg. l^{-1} v roku 1976. Postup eutrofizácie plesa signalizovala aj zvýšená abundancia niektorých druhov fytoplanktónu, ale aj bentickej fauny, najmä máloštetinavcov ako indikátorov vysokého obsahu organických látok v sedimentoch. VRANOVSKÝ (1990) opäť s časovým odstupom na základe publikovaných a nepublikovaných údajov zdôraznil, že v porovnaní so 60-tymi rokmi sa v 80-tych rokoch obsah dusitanov a dusičnanov v Popradskom plese zvýšil zhruba šesťnásobne. Z uvedeného vyplýva, že znečisťovanie Popradského plesa bol dlhodobý proces.

Reakcia jednotlivých biologických paleoindikátorov na začiatok znečisťovania bola však rozdielna (obr. 7). Kým planktonické perloočky reagovali skokovo, náhlym vymiznutím

taxónov a ich nahradením inými taxónmi, reakcia rozsievok bola postupná a priebeh zmeny dobre koreluje s množstvom organickej hmoty v sedimente. Spoločenstvá pakomárov reagovali na zmenu oneskorene, čo je pravdepodobne zapríčinené tým, že nereagovali priamo na znečistenie (teda zvýšený obsah organických látok), ale skôr na postupné zmeny kyslíkového režimu pri dne. Už začiatkom 60-tych rokov dochádzalo počas zimnej stagnácie k výrazným kyslíkovým deficitom v najhlbších častiach jazera (JURIŠ et al. 1965) a dá sa predpokladať, že s narastajúcim prísunom organickej hmoty do sedimentov sa v nasledujúcich rokoch tento stav ešte ďalej zhoršoval.

V roku 1995 bola uvedená do prevádzky čistička odpadových vôd a odtekajúca voda bola zvedená do plastového potrubia položeného na dne plesa, ktoré vyúsťuje asi 10 m do jazera pred odtokom v hĺbke 1,5 m. Na toto nápravné opatrenie reagovalo len subfosílne spoločenstvo pakomárov, ktoré smeruje k pôvodnému stavu, zatiaľ čo spoločenstvá rozsievok a perloočiek zostali prakticky bez zmeny (obr. 7).

Výsledky analýz teda ukazujú, že dlhodobé znečisťovanie Popradského plesa organickými látkami viedlo k výrazným kvalitatívnym a kvantitatívnym zmenám pôvodných spoločenstiev. Jediné, doteraz realizované, technické opatrenie nie je dostačujúce na to, aby sa dosiahla taká úroveň trofie, ktorá by podporovala pôvodné spoločenstvá. Bez analýz chemizmu vody môžeme zatiaľ len diskutovať o tom, či obmedzenie vonkajšieho prísunu odpadových vôd a tým aj prísunu živín (najmä fosforu) nebolo dostatočné alebo či sa uplatňuje uvoľňovanie fosforu zo sedimentov v anoxických podmienkach počas letnej a zimnej stagnácie (pozri napr. SONDERGAARD et al. 2003 a odkazy v tejto publikácii).

Treba však povedať, že všetky tri paleospoločenstvá s rôznou intenzitou indikujú zmenu spojenú s miernym nárastom organickej hmoty v sedimente (pozri HAMERLÍK et al. 2016), ktorá sa odohrala vo fáze 1 okolo roku 1850 (obr. 7). Táto oscilácia by mohla naznačovať oteplenie, kratšie trvanie ľadovej pokrývky a dlhšie vegetačné obdobie.

Iba spoločenstvo rozsievok reagovalo na zmeny prostredia v 2. fáze (cca v 40-tych rokoch 20. storočia), teda ešte pred priamym znečisťovaním jazera. Táto oscilácia dobre koreluje s nárastom koncentrácie organickej hmoty v sedimente, ide teda pravdepodobne o mierne zmeny trofie jazera. Vysoké zastúpenie rozsievky *Fragilaria nanana* v tomto období môže indikovať vyššiu populačnú hustotu pstruha v jazere, ako na to poukázali SIENKIEWICZ & GĄSIOROWSKI (2016) v jazerách Przedni Staw Polski a Morskie Oko. O zmenách populačnej hustoty pstruha potočného v Popradskom plese nie sú k dispozícii žiadne

presnejšie údaje. Isté však je, že okrem prirodzenej oscilácie početnosti tu zohrávalo v minulosti úlohu aj zámerné vysádzanie „na osvieženie krvi“. DYK (1960), na základe ústnej informácie chatára, uvádza, že v roku 1934 bolo vypustených do plesa 5 000 ročných pstruhov potočných a 1 000 jedincov pstruha dúhového (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)). Subfosílne rozsievky by takto mohli indikovať nielen zmeny veľkosti rybej populácie, ale snáď aj pomôcť spresniť obdobie, počas ktorého pstruh potočný do plesa prenikol prirodzenou cestou a ktorý BALON (1964) odhadol na 3 000 rokov BC.

To, že odozva jednotlivých skupín paleoindikátorov na zmeny prostredia Popradského plesa nebola vo všetkých prípadoch zhodná, nie je prekvapujúce. HEEGAARD et al. (2006) poukázali na to, že rôzne skupiny vodných organizmov (rozsievky, perloočky, pakomáre) vykazujú rozdielnu rýchlosť zmien v štruktúre ich zoskupení ako reakciu na ten istý environmentálny gradient. Rozdielna reakcia súvisí s ich rozdielnym postavením v trofickej štruktúre systému a odlišnými nárokmi na podmienky prostredia (napr. LAROCQUE & BIGLER 2004). Napr. zatiaľ čo larvy pakomárov, žijúce na dne jazera budú reflektovať kyslíkové pomery pri dne, rozsievky môžu reagovať na svetelné pomery alebo obsah kremíka. Pri štúdiu 500 – 1000 ročnej histórie troch tatranských plies sa zistilo, že zatiaľ čo v dvoch neacidifikovaných plesách bola odpoveď subfosílnych rozsievok a pakomárov na hlavné environmentálne zmeny (Malá doba ľadová, znečistenie ovzdušia a acidifikácia prostredia) zhodná, v acidifikovanom Vyšnom Wahlenbergovom plese sa reakcie oboch skupín značne líšili pravdepodobne ako dôsledok rozdielnej reakcie na zníženie pH a zmeny v chemizme vody (BITUŠÍK et al. 2009). Interpretácia takýchto asynchrónnych odpovedí jednotlivých bioindikátorov môže byť dosť zložitá, napriek tomu však multi-proxy štúdie majú oveľa väčší potenciál na spoľahlivejšiu rekonštrukciu prírodných podmienok v minulosti v porovnaní so štúdiami, ktoré pracujú len s jedným paleoindikátorom (BIRKS & BIRKS 2006).

Záver

Popradské pleso bolo vďaka svojej polohe významnou križovatkou turistických trás a obľúbenou destináciou turistov a výletníkov už od konca 19. storočia, čo v konečnom dôsledku viedlo k výstavbe objektov, ktoré poskytovali návštevníkom stravu a nocľah. Tlak turistickej verejnosti na rozširovanie existujúcich a výstavbu nových zariadení postupne narastal a svoj vrchol zrejme dosiahol začiatkom 60-tych rokov 20. storočia. V tom čase

prebiehal na Popradskom plese intenzívny limnologický výskum, ktorý poukázal aj na znečisťovanie odpadovými vodami odvádzanými priamo do jazera.

Výsledky našich paleolimnologických analýz sedimentov, ktoré sa ukladali za posledných 200 rokov, ukázali, že dlhodobé, asi 30 rokov trvajúce, znečisťovanie plesa bolo najvýznamnejším antropogénnym stresorom v recentnej histórii jazera a výrazne zmenilo kvalitatívnu a kvantitatívnu štruktúru troch skupín paleoindikátorov: rozsievok, perloočiek a pakomárov. Efekt nápravných opatrení zo začiatku 90-tych rokov, ktoré mali zmierniť priamy vplyv odpadových vôd, sa na spoločenstvách rozsievok a perloočiek neprejavil.

Práca poukazuje na význam paleoekologických štúdií pre rekonštrukciu historických antropických vplyvov a ich využitie pre ďalší manažment plesa, vrátane prijatia vhodnejších nápravných opatrení a posudzovania možných vplyvov iných ľudských aktivít v budúcnosti.

Poďakovanie

Ďakujeme Paľovi Kráľovi zo ŠL TANAP za poskytnutie cenných údajov súvisiacich s históriou stavebných aktivít na brehu Popradského plesa. Paleolimnologický výskum Popradského plesa bol financovaný z projektu VEGA 1/0180/12 a tiež s využitím prístrojového vybavenia získaného v rámci projektu OP Výskum a vývoj – ITMS 26210120024 „Obnova a budovanie infraštruktúry pre ekologický a environmentálny výskum na UMB“.

Literatúra

BALON E. K. 1964: Príspevok k poznaniu ichtyofauny pramennej oblasti rieky Poprad. – Zborník prác o Tatranskom národnom parku 7: 140-164.

BATTARBEE R. W. 1986: Diatom analysis. Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology. John Wiley & Sons, Chichester, p. 527-570.

BENGTSSON L. & ENELL M. 1986. Chemical Analysis. In: Berglund, B.E. (Ed.), Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. John Wiley & Sons Ldt., Chichester, p. 423-451.

BENISTON M. 2003: Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. – Climate variability and change in high elevation regions: Past, present & future. Springer Netherlands 15: 5-31.

BIRKS H. H. & BIRKS H. J. B. 2006: Multi-proxy studies in palaeolimnology. Vegetation History and Archaeobotany 15: 235-251.

BITUŠÍK P. & HAMERLÍK L. 2014: Príručka na určovanie lariev pakomárov (Diptera: Chironomidae) Slovenska Časť 2. Tanypodinae. Vydavateľstvo Univerzity Matej Bela v Banskej Bystrici – Belianum, Fakulta prírodných vied, 96 pp.

BITUŠÍK P., KUBOVČÍK V., ŠTEFKOVÁ E., APPLEBY P. G. & SVITOK M. 2009: Subfossil diatoms and chironomids along an altitudinal gradient in the High Tatra Mountain lakes: a multi-proxy record of past environmental trends. Hydrobiologia 631: 65-85.

BROOKS S. J., LANGDON P. G. & HEIRI O. 2007: The Identification and Use of Palaearctic Chironomidae Larvae in Palaeoecology. – QRA Technical Guide No. 10. London, 276 pp.

BUCZKÓ K., MAGYARI E. K., BITUŠÍK P. & WACNIK A. 2009: Review of dated Late Quaternary palaeolimnological records in the Carpathian Region, east-central Europe. Hydrobiologia 631: 3-28.

COSTE M. & ROSEBERY J. 2011: Guide iconographique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomée, 2007. Cemagref groupement de Bordeaux, 236 pp.

DYK V. 1960: Pstruhy Popradského plesa. – Zborník prác o Tatranskom národnom parku 4: 219-246.

ERTL M. 1965: Chemizmus Popradského plesa. – Zborník prác o Tatranskom národnom parku 8: 45-55.

ERTL M. 1978: Zmeny kvality vody Popradského plesa za posledných pätnásť rokov. – Zborník prác o Tatranskom národnom parku 20: 219-222.

ERTL M. & VRANOVSKÝ M. 1964: Zooplanktón Popradského plesa. Biológia 19: 675-689.

ERTLOVÁ E. 1964: Príspevok k poznaniu zoobentosu Popradského plesa. Biológia 19: 666-674.

FREY D. G. 1986: Cladocera analysis. – Berglund, B. E. (ed.) Handbook of palaeoecology and palaeohydrology, John Wilwey & Sons Ltd. Chichester, p. 667-692.

GREGOR V. & PACL J. 2005: Hydrológia tatranských jazier. Acta Hydrologica Slovaca 6(1): 161-187.

HAMERLÍK L., DOBRÍKOVÁ D., SZARLOWICZ K., RECZYNSKI W., KUBICA B., ŠPORKA F. & BITUŠÍK P. 2016: Lake biota response to human impact and local climate during the last 200 years: A multi-proxy study of a subalpine lake (Tatra Mountains, W Carpathians). – Science of the Total Environment 545-546: 320-328.

HEEGAARD E., LOTTER A. F. & BIRKS H. J. B. 2006: Aquatic biota and the detection of climate change: are there consistent aquatic ecotones? – Journal of Paleolimnology 35: 507-518.

HRABĚ S. 1939: Bentická zvířena tatranských jezer. – Sborník Klubu Přírodověd. v Brně, 22: 1-13.

HUDEC I. 2010: Fauna Slovenska III. – Anomopoda, Ctenopoda, Haplopoda, Onychopoda (Crustacea: Branchiopoda). VEDA, Vydavateľstvo SAV, Bratislava, 496 pp.

HYNŠTOVÁ M. 2014.: Vliv vlastností povodí vysokohorských jezer v Tatrách na chemizmus vody. – Diplomová práca. Karlova univerzita v Prahe, 63 pp.

JURIŠ Š. 1964: Fytoplanktón Popradského plesa. – Biológia (Bratislava) 19: 690-704.

JURIŠ Š., ERTL M., ERTLOVÁ E. & VRANOVSKÝ M. 1965: Niektoré poznatky z hydrobiologického výskumu Popradského plesa. – Zborník prác o Tatranskom národnom parku 8: 33-44.

KORHOLA A. & RAUTIO M. 2001: Cladocera and other branchiopod crustaceans. – Smol J. P., Birks H. J. B. & Last W. M. (eds.): Tracking Environmental Change Using Lake

Sediments. Volume 4. Zoological Indicators. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, p. 5-41.

KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H. 1986: Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. Süsswasserflora von Mitteleuropa. 2/1, Gustav Fisher Verlang, Jena, 876 pp.

KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H. 1988: Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süsswasserflora von Mitteleuropa. 2/, Gustav Fisher Verlang, Jena, 610 pp.

KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H. 1991a: Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süsswasserflora von Mitteleuropa. 2/3, Gustav Fisher Verlang, Stttutgard & Jena, 598 pp.

KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H. 1991b: Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae. Kritische Erganzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Süsswasserflora von Mitteleuropa. 2/4, Gustav Fisher Verlang, Stttutgard & Jena, 467 pp.

LANGE-BERTALOT H. & KRAMMER K. 1989: Achnanthes eine Monographie der Gattung. J. Cramer, Berlin & Stuttgard, 393 pp.

LAROCQUE I. & BIGLER C. 2004: Similarities and discrepancies between chironomid- and diatom-inferred temperature reconstructions through the Holocene at Lake 850, northern Sweden. Quaternary International 122: 109-121.

SEDLMAYER A. 1929: Hydrographische Forschungen in den Seen der Hohen Tatra. – Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie 21: 421-435.

SZEROCZYŃSKA K. & SARMAJA-KORJONEN K. 2007: Atlas of Subfossil Cladocera from Central and Northern Europe. Friends of the Lower Vistula Society, Poland, 84 pp.

SIENKIEWICZ E. & GĄSIOROWSKI M. 2016: The effect of fish stocking on mountain lake plankton communities identified using palaeobiological analyses of bottom sediment cores. – Journal of Paleolimnology 55: 129-150.

SMOL J. P. 2002: Pollution of Lakes and Rivers. A Paleoenvironmental Perspectives. Arnold, a member of the Hodder Headline Group, London, 280 pp.

SØNDERGAARD M., JENSEN J. P. & JEPPESEN E. 2003: Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. – Hydrobiologia 506 (1-3): 135-145.

STUCHLÍK E., STUCHLÍKOVÁ Z., FOTT J., RŮŽIČKA L. & VRBA J. 1985: Vliv kyselých srážek na vody na území Tatranského národního parku. – Zborník prác o Tatranskom národnom parku 26: 173-211.

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

TER BRAAK C. J. F. & SMILAUER P. 2012: Canoco Reference Manual and User's Guide: Software for Ordination, Version 5.0. Microcomputer Power, Ithaca.

THOMPSON R., KAMENIK C. & SCHMIDT R. 2005: Ultrasensitive alpine lakes and climate change. – Journal of Limnology 64: 139-152.

TOMAJKA J. 1996: K problému acidifikácie jazier vo Vysokých Tatrách. – Štúdie o Tatranskom národnom parku 1 (34): 33-54.

VRANOVSKÝ M. 1990: Vplyv antropických faktorov na biocenózy jazier Tatranského národného parku. – Zborník prednášok z konferencie k 40. Výročiu uzákonenia TANAP-u, Tatranská Lomnica, p. 467-474.

WALKER I. R. & PATERSON C. G. 1985: Efficient separation of subfossil Chironomidae from lake sediments. – Hydrobiologia 122: 189-192.

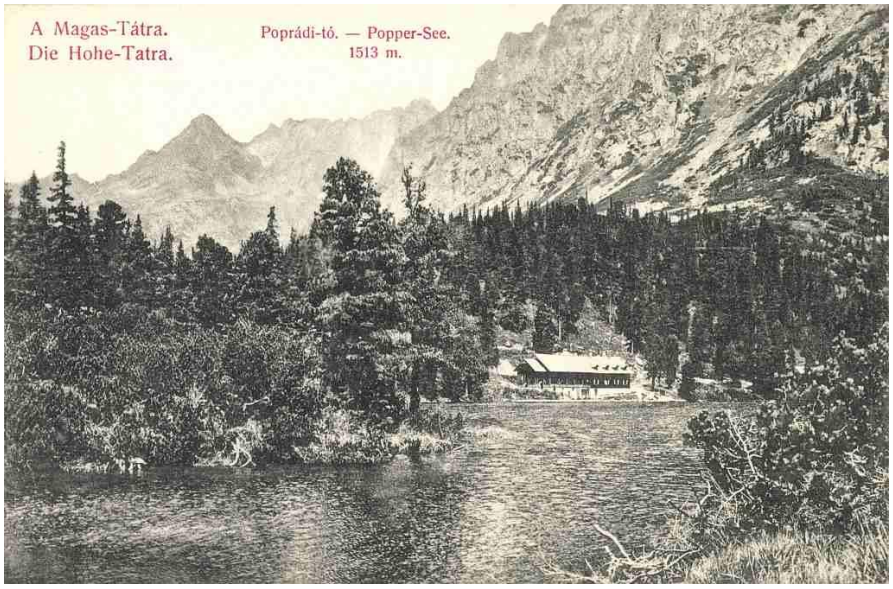
WIEDERHOLM T. (Ed.) 1983: Chironomidae of the Holarctic Region. Keys and Diagnoses. Part I. Larvae. Ent. Scand. 19: 1-457.

WFD 2000/60/EC: European Commission 2000 – Directive 2000/60/EC of the European Parlament and of the Council – Establishing a framework for Community action in the field of water policy. Brussels, Belgium, 23 October 2000. (RSV: SMERNICA 2000/60/ES Európskeho Parlamentu a Rady z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva).



Obr. 1: Prvá turistická útulňa na brehu Popradského plesa bola postavená v roku 1879 a niesla meno prvého podpredsedu Liptovskej sekcie Uhorského karpatského spolku a liptovského podžupana Vojtecha Majlátha. O rok neskôr, údajne po zámerne založenom požiari, úplne zhorela. V roku 1881 postavil Uhorský karpatský spolok na pôvodnom mieste Majláthovej chaty nový objekt, ktorý zhorel v roku 1890 (na obr. je stav v roku 1888). Vďaka donátorovi Františkovi Máriássymu z Batizoviec bola v roku 1892 vystavaná na brehu plesa tretia chata. Nový majiteľ tunajších pozemkov Kristián Kraft von Hohenlohe ju nechal zbúrať v roku 1897, aby znížil počet návštevníkov v svojich poľovných revíroch.

Fig. 1: The first mountain hut on the shore of lake Popradské pleso was built in 1879 and was named after Vojtech Majláth, the first vice-chairman of the Liptov section of the Hungarian Carpathian Society and the council of Liptov county. A year later, reportedly after a deliberately set fire, the hut burned down completely. In 1881, the Hungarian Carpathian Society built a new hut at the place of the former Majláthova hut. The new wooden building burned down in 1890 (the figure shows the hut in 1888). Thanks to the donation of František Máriássy from Batizovce village, a third hut was built in 1892. However, to reduce the number of visitors on his hunting grounds, the new owner of the land, Christian Kraft von Hohenlohe, got the hut demolished in1897. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Majlathova_chata_1888.jpg)



Obr. 2: Štvrtý chatový objekt, tzv. 4. Majláthova chata, bol obnovený v roku 1899. Po niekoľkých prestavbách a dostavbe murovanej ubytovne slúžila táto chata do roku 1961, keď sa preborila pod snehom časť strechy. Od roku 1951 niesla meno Chata kpt. Štefana Morávku; tento názov prešiel neskôr na nový hotel a používal sa do roku 1990 (na obrázku je stav po roku 1929).

Fig. 2: The fourth, so-called 4. Majláthová cottage was restored in 1899. After several reconstructions and completion of the brick dormitories this cottage served until 1961 when the roof was destroyed by snow. In 1951 the cottage was renamed to cottage of Cpt. Štefan Morávka. This name was later transferred to the new hotel and was used until 1990 (the photograph shows the view after 1929).
(http://www.nostalgicketatry.sk/historia/popradskepleso.html)



Obr. 3: V roku 1921 majiteľ chaty, knieža Hohenlohe, prenajal chatu Klubu československých turistov. Na fotografii z roku 1948 vidieť Majláthovu chatu s prístavbou turistickej ubytovne a hospodárske budovy (vpravo).

Fig. 3: In 1921, the owner of the cottage, earl Hohenlohe, rented the cottage to the Czechoslovak Tourist Club. The picture shows the Majlathova cottage in 1948 with additional buildings, such as a tourist hostel and a farm building (on the right). (http://www.nostalgicketatry.sk/historia/popradskepleso.html)



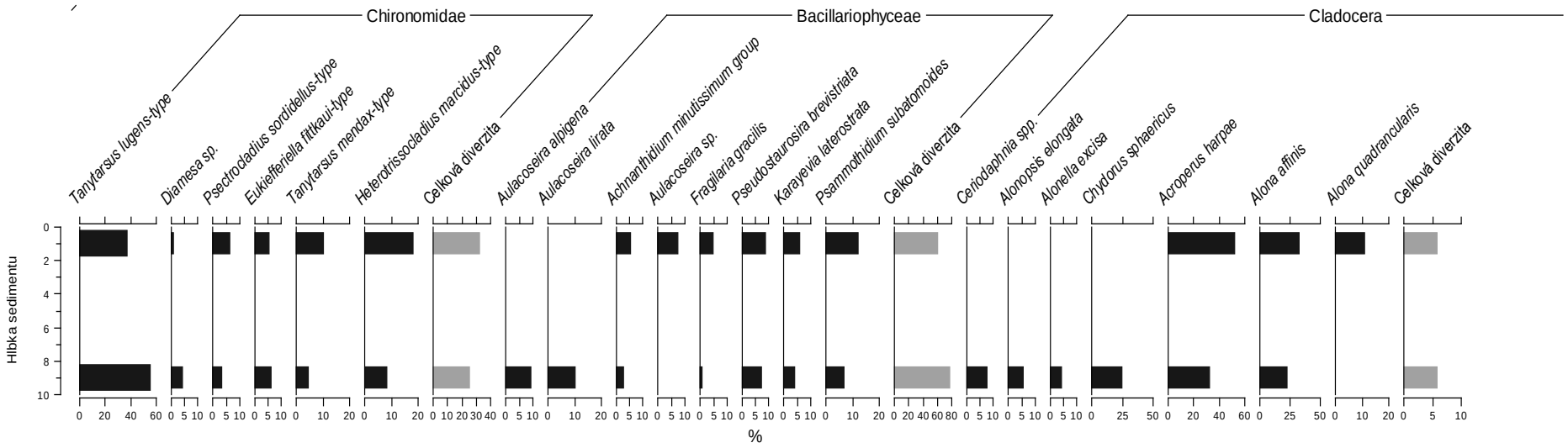
Obr. 4: V roku 1958 sa začalo s výstavbou veľkého turistického hotela. Na fotografii pravdepodobne z roku 1960, resp. 1961 je vľavo vidieť objekt Chaty kpt. Štefana Morávku, ktorý asanovali v lete 1962 a novšiu murovaná turistickú ubytovňu, ktorá zhorela pri požiari v októbri 1964. Koncom 50-tych a začiatkom 60-tych rokov stálo na brehu plesa zrejme najviac budov súčasne v celej histórii. Za novostavbou hotela sú ukryté ďalšie dve hospodárske budovy.

Fig. 4: Construction of a large tourist hotel began in 1958. On the lef side of the picture, probably from 1960 or 1961, there are two objects: the cottage of Cpt. Štefan Morávka which was demolished in the summer of 1962, and a bricked tourist hostel, which burned down in October 1964. In the late 1950s and early 1960s there was perhaps the highest number of buildings simultaneously present on the shore in the history of the lake. Two other outbuildings are hidden behind the tourist hotel.
(http://hiking.sk/pictures/article/_older/large/majlathova_chata_pr_1.jpg)



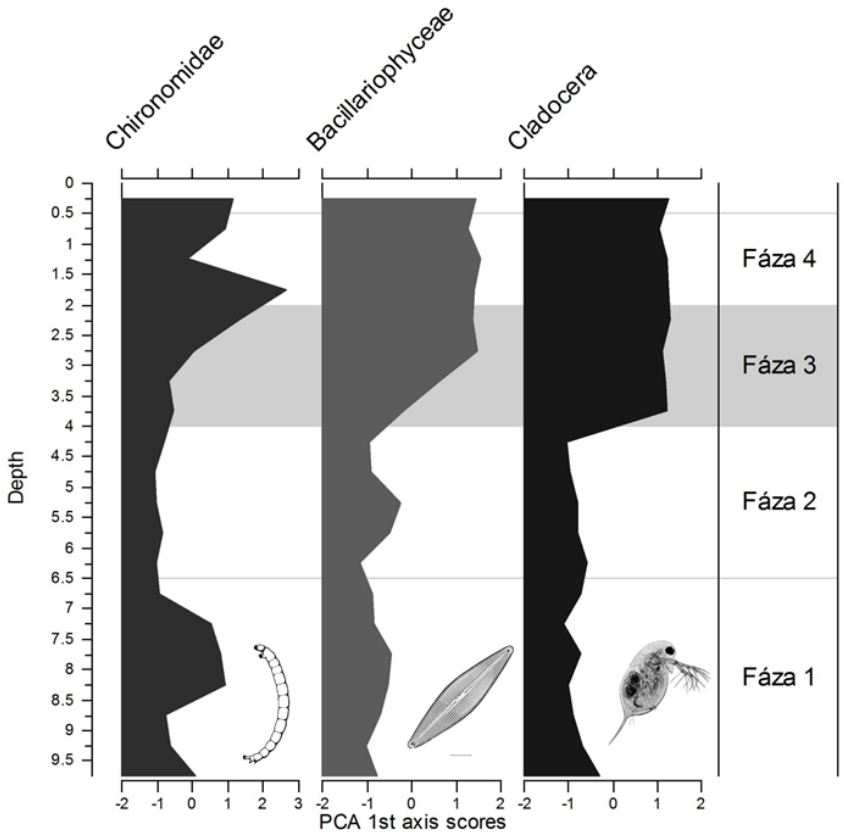
Obr. 5: V roku 2011 bola na mieste pôvodnej Majláthovej chaty uvedená do prevádzky jej replika – Majláthova chata (vľavo od hotela, stav v roku 2015, foto D. Dobríková).

Fig. 5: In 2011, the replica of Majláthova cottage was built at its original location (left of the tourist hotel) (Photo D. Dobríková, 2015).



Obr. 6: Stratigrafický diagram zobrazujúci relatívnu početnosť (%) dominantných taxónov (čierne) a celkový počet taxónov (sivé) pakomárov (Chironomidae), rozsievok (Bacillariophyceae) a perloočiek (Cladocera) vo vrchných (0 – 2 cm) a spodných (8 – 10 cm) vrstvách sedimentu.

Fig. 6: Stratigraphic diagram showing relative abundances (%) of dominant taxa (black bars) and total number of taxa (grey bars) of midges (Chironomidae), diatoms (Bacillariophyceae) and water fleas (Cladocera) in the surface (0 – 2) and bottom (8 – 10) parts of the sediment.



Obr. 7: Porovnanie historických zmien spoločenstiev pakomárov (Chironomidae), rozsievok (Bacillariophyceae) a perloočiek (Cladocera) Popradského plesa za posledných cca 200 rokov. Zmeny sú vyjadrené ako skóre spoločenstiev na 1. osi analýzy hlavných komponentov (PCA). Fáza 1 – obdobie začiatkov turistickej aktivity v povodí; Fáza 2 – obdobie výstavby turistických objektov na brehu jazera; Fáza 3 – obdobie prevádzky veľkokapacitného turistického hotela, resp. chaty (fáza je vyznačená sivým pásom); Fáza 4 – obdobie realizácie nápravných opatrení (výstavba čističky odpadových vôd a odvádzanie odpadových vôd k odtoku).

Fig. 7: Comparison of historical changes in the communities of midges (Chironomidae), diatoms (Bacillariophyceae) and water fleas (Cladocera) of lake Popradské pleso over the last ~ 200 years. Changes are expressed as PCA 1 axis scores. Phase 1 – the period prior to significant tourist activity in the lake catchment; Phase 2 –period of construction of tourist facilities on the shore of the lake; Phase 3 – period of operation of a tourism hotel, direct pollution of the lake from the hotel (grey stripe); Stage 4 – the period of implementation of amelioration actions (construction of wastewater treatment plant and transfer of sewerage to the lake-outlet area).