

ZMENY EKOSYSTÉMOV A RETENČNÝCH CHARAKTERISTÍK BELIANSKEJ VODNEJ NÁDRŽE A OKOLIA

Daniel Kubinský*, Karol Weis**, Milan Lehotský***

* Univerzita Mateja Bela, Fakulta prírodných vied, Katedra biológie a ekológie, Tajovského 40,
974 01 Banská Bystrica, posta@dkubinsky.sk

** Univerzita Mateja Bela, Fakulta prírodných vied, Katedra geografie, geológie a krajinnej ekológie,
Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, karol.weis@umb.sk

*** Geografický ústav SAV, oddelenie fyzickej geografie a geomorfológie, Štefánikova 49,
814 73 Bratislava, geogleho@savba.sk

Changes in ecosystems and retention characteristics of the Belianska water reservoir and surrounding area

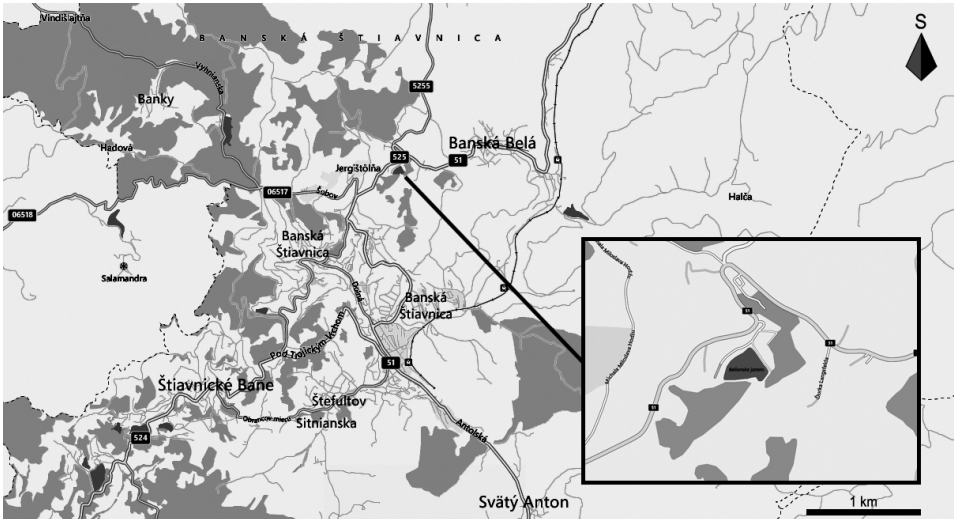
The paper concentrates on comparison and evaluation of ecosystem changes in the littoral, sublittoral zone and profundal zone as well as the riparian zone of the Belianska water reservoir. The changes in stratification and ecological zonation of the water component of the reservoir are conditioned by silting, the result of erosive and sedimentation processes. Changes were determined on the basis of comparison of current bottom relief obtained by field measurement (2011) with the bottom relief of 1855, that is over a period of 156-years. The changes in riparian zone ecosystems were stated for the period from 1949 to 2013, that is a 64-year period and were identified on the basis of analysis of aerial survey photos, orthophotomap and field research. At the same time, the paper presents possible measures for the management of the Belianska water reservoir and its riparian zone.

Key words: bathymetric survey, ecosystem changes, land cover, lake morphology, riparian zone, Banská Štiavnica

ÚVOD

Belianska vodná nádrž je situovaná neďaleko obce Banská Belá pri Banskej Štiavnici (obr. 1). Spolu s ďalšími vodnými nádržami v okolí Banskej Štiavnice je zapísaná do zoznamu svetového kultúrneho dedičstva UNESCO. Vznik nádrže je datovaný pred rokom 1747 (Hydroconsult 1991). Plocha nádrže má na základe výsledkov merania 17 859 m², dĺžka koruny hrádze meria 130 m a šírka koruny hrádze je 9 m. Erózne procesy pôsobiace v jej povodí spôsobujú zanášanie nádrže prejavujúce sa v priestorovej zmene morfológie reliéfu jej dna a tým aj v zmenách jej stratifikácie a zonácie.

Erózne procesy spôsobujú celý rad negatívnych dôsledkov, z ktorých najzávažnejšie (strata úžitkového objemu, postupné zanesenie a poškodenie manipulačných zariadení, ovplyvnenie zmien biologickej a ekologickej kvality vody) vedú až k postupnému zániku nádrží (Ahmed a Sanchez 2011, Pradhan et al. 2011). Problematika sedimentácie je aktuálna v mnohých krajinách sveta (napr. Childs et al. 2003, Boddy a Ganske 2005, Jordan et al. 2005, Kress et al. 2005 a Ceylan et al. 2011). Na Slovensku sa problematike dlhoročne venuje Výskumný ústav vodného hospodárstva (ďalej VÚVH), zber údajov akustickými metódami bol aplikovaný aj na ďalších nádržiach na Slovensku (Ružín a Klenovec – vid' Pauk 1997 a Kočický et al. 2002) či vo svete (Elçi et al. 2009).



Obr. 1. Lokalizácia Belianskej vodnej nádrže

Podklad: Bing Maps

Špecifickú úlohu pri vývoji vodných nádrží plní ripariálna zóna ako trojdimenzionálna entita interakcie akvatických a terestrických prírodných systémov (Gregory et al. 1991). Často sa označuje ako brehová alebo pririekna nárazníková zóna (Malanson 1993 a Hupp a Osterkamp 1996). Ripariálna zóna plní viacero základných funkcií (Hansen et al. 2010), dôležitých z hľadiska priaznivého vývoja vodných telies, ktoré je potrebné poznávať, manažovať a monitorovať: 1) zlepšuje kvalitu vody, t. j. redukuje nadbytočný prísun živín a kontaminantov z okolia (nivy, svahy, cesty, polia a pod.), 2) redukuje eróziu brehu a prísun sedimentov do priestoru nádrže; 3) zvyšuje biodiverzitu; 4) autoreguluje a ekologicky prirodzene optimalizuje štruktúru a zloženie svojich rastlinných a živočíšnych spoločenstiev; 5) svojou estetickou hodnotou dotvára ráz krajiny a 6) poskytuje priestor na rekreáciu a ďalšie aktivity.

O dôležitosti výskumu ripariálnej zóny svedčí aj množstvo publikovaných prác, a to zameraných buď na jej poznávanie alebo na jej manažment (napr. Naiman a Décamps 1997, Stanford 1998, Naiman et al. 2000, Ward et al. 2001 a 2002, Allan 2004, Kapusta et al. 2010 a Lehotský a Cebecauerová 2012). Rozsiahlejšia práca Hansena et al. (2010) poskytuje teoreticko-metodologické pozadie štruktúry a fungovania ripariálnej zóny. Belianska vodná nádrž je v súčasnosti intenzívne využívaná na rekreačné ciele, extenzívny chov rýb a ďalšie aktivity. Pôvodný účel, poskytovať vodu pre banské zariadenia, postupne stratila. Cieľom príspevku je porovnanie a vyhodnotenie priestorových zmien ekosystémov litorálnej, sublitorálnej a profundálnej zóny, ako aj zmien ripariálnej zóny Belianskeho tajchu, reliéfu dna a výpočet celkového objemu sedimentov naplavených za 156 rokov.

METODIKA

Pri porovnávaní zmien v reliéfe dna Belianskej vodnej nádrže sme postupovali podľa metodiky hodnotenia a analyzovania vodnej nádrže Ružín (Pauk et al. 1997) a vodnej nádrže Klenovec (Kočícký et al. 2002). Táto metodika bola zvolená aj pri iných nádržiach v okolí Banskej Štiavnice, napr. pri výskume Halčianskeho (Kubinský a Weis 2011 a Weis a Kubinský 2014) a Veľkého Kolpašského tajchu (Kubinský et al. 2014b), resp. dvoch Richňavských nádrží (Kubinský et al. 2013 a 2014a). Terénny výskum Belianskej vodnej nádrže sa uskutočnil 14.10.2011. Na presné zameranie hĺbky dna bolo použité ultrazvukové sonarové zariadenie Humminbird 717 s GPS zariadením s technickými parametrami uvedenými v tab. 1. Zariadenie bolo umiestnené na člnе, pričom pomocou GPS prístroja bola zaznamenaná aktuálna pozícia každého meraného bodu v priestore a zároveň bola pomocou sonaru odčítaná hĺbka dna v mieste zamerania. Meranie bodov bolo vykonávané v intervale 5 m medzi zameriavanými bodmi. Merania na vybraných profiloch boli uskutočnené dvakrát. Kontrolné merania preukázali dobrú zhodu s pôvodnými meraniami. Na odstránenie nepresností sa počas zamerania vykonávali kontrolné referenčné merania hĺbok na vybranej sade bodov ciachovanou tyčou s plochou pätkou. Spôsob zamerania hĺbky nádrže iba ciachovanou tyčou bez použitia ultrazvukového zariadenia je zdanlivo presný, avšak z hľadiska dlhšej stabilizácie plavidla na vodnej hladine a zachovania vertikálnej polohy ciachovanej tyče v najhlbších partiách je veľmi ťažko implementovateľný do praxe. Niektoré už analyzované nádrže boli po výskume a zameraní vypustené z dôvodu rekonštrukcie hrádzového telesa Slovenským vodohospodárskym podnikom, š. p., späť bola vykonaná verifikácia presnosti zamerania vybraných bodov metódou geometrickej nivelácie v triede presnosti merania PN (presná nivelácia). Presnosť výsledkov zo sonarového zariadenia bola týmto verifikovaním stanovená na ± 3 cm (Kubinský a Weis 2012).

Tab. 1. Technické parametre zariadenia Humminbird 717

Druh sondy	dvojlúčová
Frekvencie	200 & 83 kHz
Lúče sondy	20° alebo 60°
Maximálny dosah, uvádzaná presnosť	450 m, ± 10 cm
Externá GPS 50 kanálová anténa	Uvádzaná presnosť ± 100 cm

Namerané hĺbky pri jednotlivých meracích bodoch boli prepočítané na absolútnu nadmorskú výšku dna. Prepočet bol stanovený na základe rozdielu známej výšky vodnej hladiny v deň merania. Absolútna nadmorská výška vodnej hladiny bola v termíne realizácie terénu 556,6 m n. m. Potrebne údaje poskytl pracovisko Slovenského vodohospodárskeho podniku, OZ Povodie Hrona. Po odpočítaní nameranej hĺbky od nadmorskej výšky aktuálnej hladiny bola odvodená absolútna nadmorská výška bodu merania na dne vodnej nádrže. Polohová informácia meračských bodov bola konverziou prevedená do súradnic systému JTSK – Křovákovo zobrazenie. Týmto spôsobom bola získaná prvá sada vstupných údajov pre modelovanie aktuálneho reliéfu dna vodnej nádrže

ako nepravidelná sieť bodov so stanovenou polohou v reálnom geografickom súradnom systéme a s nadmorskou výškou.

Vstupné súbory pre model reliéfu z roku 1855 boli vytvorené vektorizáciou vrstevníc skenovanej historickej mapy s názvom „Kubatúra belianskeho rybníka v B. Belej“ v mierke 1:1 000 (ŠUBA 1971). Vrstevnicová mapa zachytávajúca reliéf dna bola skenovaná s rozlíšením 300 DPI. Vektorizácia vrstevníc bola spracovaná v softvérovom prostredí R2V Able Software. Po importe súboru boli pomocou nástroja Line Editor vektorizované jednotlivé vrstevnice.

Jednotlivým vrstevniciam bola priradená hodnota Z udávajúca absolútnu nadmorskú výšku. Hodnoty boli odčítané z historického plánu a opravené o rozdiel spôsobený zmenou používaného výškového systému:

$$H_{Bpv} = H_{Jadran} - 0,46 \text{ m (Pravda a Kusendová 2007).}$$

Údaje boli následne exportované do súboru typu *.shp. Tento súbor bol neskôr georeferencovaný – umiestnený do známeho súradnicového systému, v tomto prípade do S-JTSK, Křovákovo zobrazenie. Samotné georeferencovanie sa uskutočnilo v softvérovom prostredí ArcGis použitím modulu Spatial Adjustment. Ako referenčný pomocný kartografický podklad so známym súradnicovým systémom boli zvolené letecké snímky (Eurosense 2006) a podkladové mapy série ZM 1:10 000. Na obidvoch podkladoch boli vybraté a použité ľahko identifikovateľné body, napr. poloha manipulačnej boudky na hrádzi, zakreslené cesty, okraje hrany hrádze, budovy a pod. Týmto spôsobom bola získaná druhá vstupná sada údajov pre modelovanie dobového reliéfu dna Belianskej vodnej nádrže, teda modelu zachytávajúceho stav z roku, ktorý je uvedený na historickom podklade. V tomto prípade to je rok 1855. V softvérovom prostredí Surfer 9 (Golden Software) boli ďalej zo vstupných údajov vygenerované 3D modely zachytávajúce situáciu pre oba časové horizonty a z nich následne vizualizovaný aj priebeh reliéfov dna vodnej nádrže pre roky 1855 a 2011 (obr. 3 a 4). Pri generovaní modelov sme použili interpolačnú metódu Kriging, rozmer bunky bol zvolený 2×2 m. Účinné okolie odhadu pri interpolácii bolo stanovené na základe štruktúry zdrojového bodového poľa, pričom bolo ako optimum zvolených 12 bodov (Issak a Srivastava 1989). Na základe získania dvoch detailných 3D modelov Belianskej nádrže (obdobie 1855 a 2011) a ich vzájomným odpočítaním bolo možné v prostredí Surfer vypočítať celkový objem naplavených sedimentov za časový horizont 156 rokov. Funkciou Grid/Volume bol od aktuálneho modelu súčasného stavu, teda horný povrch (upper surface) odpočítaný model zachytávajúci stav v minulosti, čiže spodný povrch (lower surface).

Zmeny reliéfu dna nádrže nám slúžia ako informačná báza na postihnutie ekologicky interpretovateľných zmien vrchnej presvetlenej litorálnej vrstvy, sublitorálnej vrstvy a najhlbšej neosvetlenej profundálnej časti dna sladkovodných jazier (Hartman et al. 2005).

Ekosystémy ako krajinné štruktúry v ripariálnej zóne boli mapované v softvérovom prostredí ArcGis. Ripariálna zóna bola vyčlenená ako 20 metrov široké okolie (buffer) od brehovej línie. Interpretáciou ortofotosnímkov z roku 2006 s následným doplnením a modifikáciou údajov terénou pochôdzkou k súčasnému stavu (2013) a spätnou interpretáciou leteckých čiernobielych fotografií z roku 1949 sme odvodili a vytvorili mapu krajiny pokrývky územia

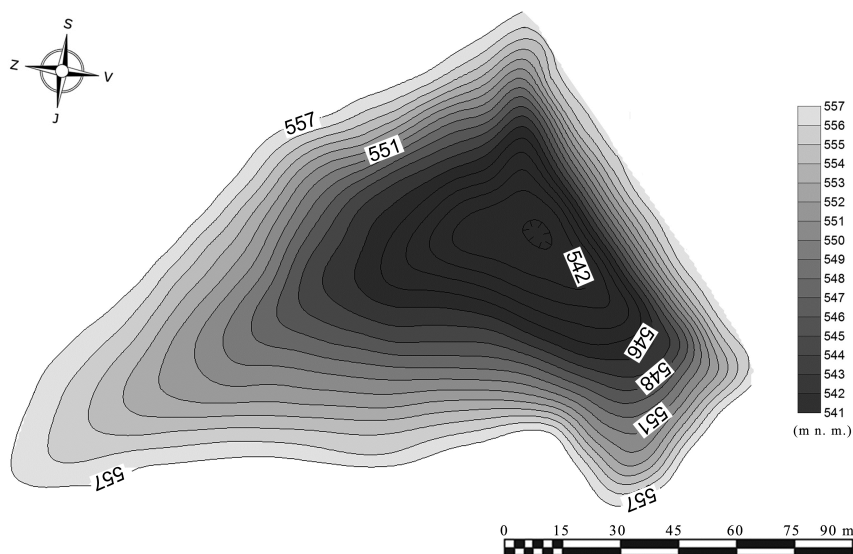
pre oba časové horizonty (1949 a 2013). Vzhľadom na malú rozlohu riešeného územia, ktoré nemá výrazne členitý reliéf, nebola vykonaná ortorektifikácia leteckých máp. Pri georeferencovaní historických leteckých máp bolo použitých spolu 17 lícovacích bodov. Pri zvážení faktu, že záujmové územie sa nachádzalo v strede jednej historickej leteckej snímky (nedochádzalo k okrajovému skresleniu) a hodnoty reziduálov sa blížili k nule, sme považovali georeferenciu za dostatočne presnú pre ďalšie analýzy.

Mapované boli nasledovné kategórie: 1) vodná plocha, 2) brehy s nízkobylinným porastom, 3) trvalé trávne porasty, 4) rozptýlené stromy, 5) kroviný, 6) porast lesného charakteru vzrastom (stromová etáž), 7) zastavané plochy a 8) záhrady. Mapovanie štruktúry ripariálnej zóny dokumentujú nasledovné obrázky – obr. 4 pre rok 1949 a obr. 5 pre rok 2013. Vypočítané plochy jednotlivých kategórií sú zhrnuté v tab. 2 a 3.

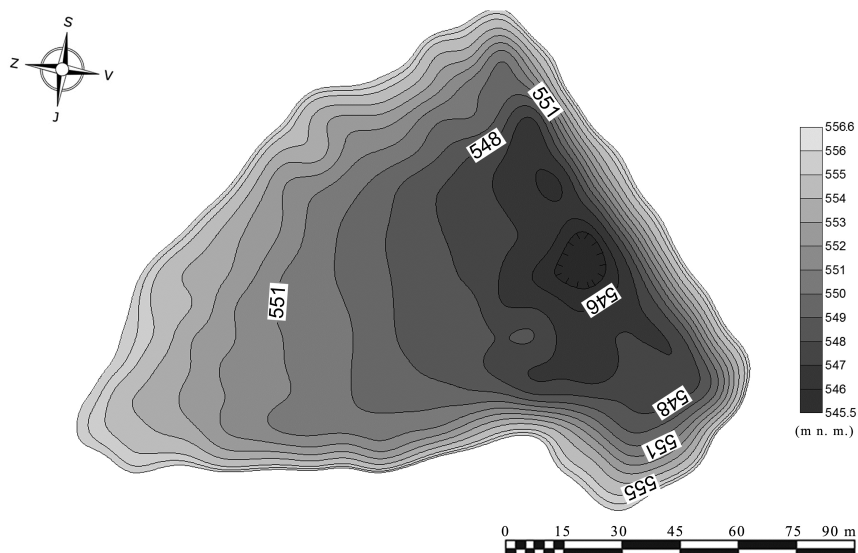
Analýzou a syntézou podporných výsledkov (zmeny reliéfu dna a zmeny v ripariálnej zóne) sme pristúpili k vyčleneniu a identifikácii priestorových ekosystémov Belianskej vodnej nádrže (obr. 5).

VÝSLEDKY

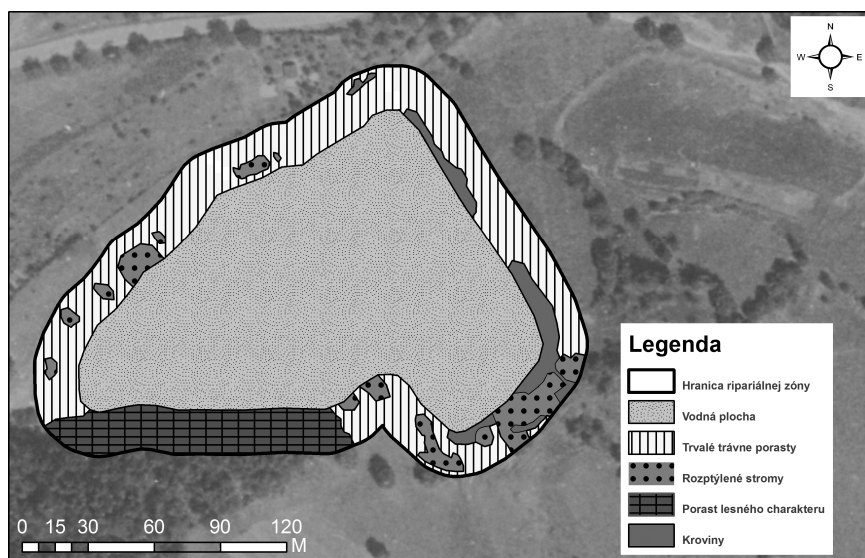
Počítačovou vizualizáciou reliéfu dna sme získali modely jeho reliéfu (obr. 2 a 3). Vypočítaný objem sedimentov použitím troch výpočtových pravidiel softvéru Surfer je nasledovný: trapezoidal rule: 7 825 m³, Simpson's rule: 7 672 m³, Simpson's 3/8 rule: 7 367 m³. Vzhľadom na to, že hodnoty majú malú smerodajnú odchýlku ($\sigma = 233$), za výslednú hodnotu považujeme ich aritmetický priemer: 7 621 m³ (Surfer 8 User's Guide 2002).



Obr. 2. Detail reliéfu dna Belianskeho tajchu – stav v roku 1855

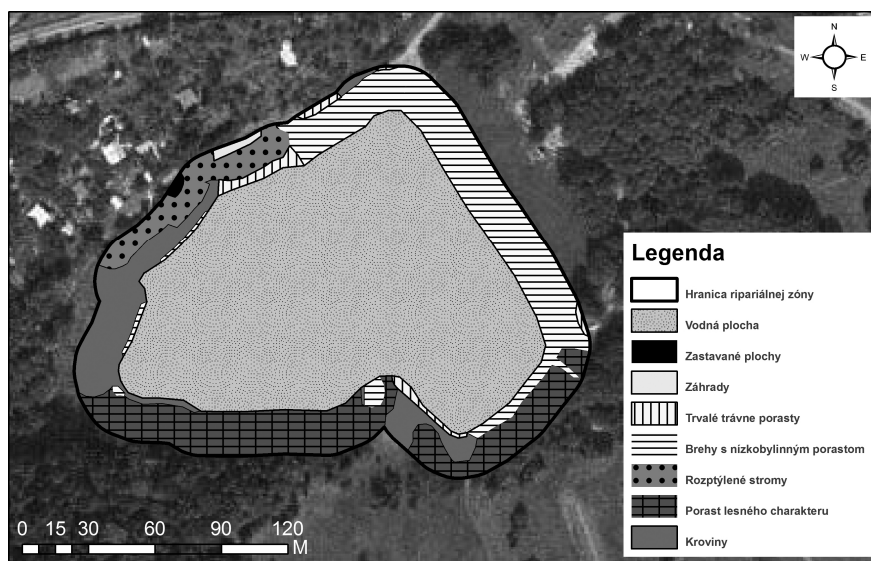


Obr. 3. Detail reliéfu dna Belianskeho tajchu – stav v roku 2011



Obr. 4. Situácia ripariálnej zóny v roku 1949

Podklad: LMS © Topografický ústav Banská Bystrica



Obr. 5. Situácia ripariálnej zóny v roku 2013

Podklad: Eurosence 2006

Tab. 2. Plochy kategórií ripariálnej zóny (v m²)

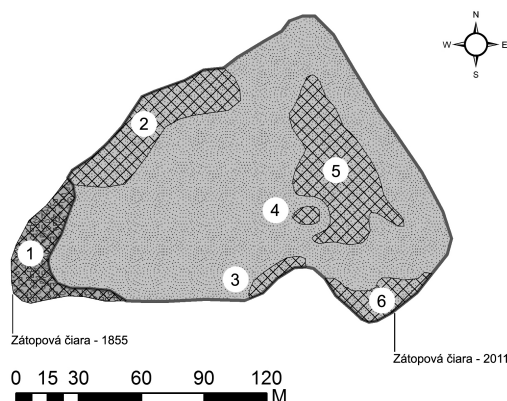
Rok \ Plocha	1	2	3	4	5	6	7	8	Spolu
1949	18 664	0	7 787	1 506	1 051	2 568	0	0	31 576
2013	17 859	4 302	428	1 173	2 248	3 993	47	91	30 141

Vysvetlivky: 1 – vodná plocha, 2 – brehy s nízkobylinným porastom, 3 – trvalé trávne porasty, 4 – rozptýlené stromy, 5 – kroviny, 6 – porast lesného charakteru, 7 – zastavané plochy, 8 – záhrady

Na základe analýzy štruktúry a porovnania štruktúry ripariálnej zóny na obr. 4 a 5 a tab. 2 a 3 indikujeme nasledovné: Vodná plocha Belianskeho tajchu sa zmenšila za obdobie rokov (1949-2013) o rozlohu 804 m². Celková zmena vodnej plochy za obdobie 156 rokov (1855-2011), ktoré je dané rokom historického mapového podkladu so zakreslením priebehu reliéfu dna, predstavuje 926 m². Tento fakt potvrdzuje, že k najintenzívnejšej akumulácii a zanášanju vodnej nádrže dochádza v posledných desaťročiach a poukazuje na negatívne antropogénne pôsobenie v oblasti výstavby, terénnych úprav (deštrukcie pôvodných prítokových jarkov, nedostatočné manažmentové opatrenia na úseku manipulácie s výškou vodnej hladiny dnovým výpustom) a podobne. Vplyvom súčasného využívania tajchu na turistické účely, rekreáciu a chov rýb (funkcia poskytovania vody na banské účely zanikla) sa stretávame s výrazným zvýšením podielu kategórie *brehy s nízkobylinným porastom* na miestach pôvodných trvalo trávnatých plôch (TTP). V minulosti mala celá oblasť Banskej Štiavnice prevažne pasienkovo-lúčny charakter. V súčasnosti sú tieto plochy zalesnené,

zastavané alebo inak pozmenené. Indikácia zvýšeného počtu krovinovej vrstvy poukazuje iba na postupnú sukcesiu na bývalých plochách s TTP. Negatívne hodnotíme výstavbu a vznik záhrad v tesnej blízkosti nádrže v období rokov 1949-2013 (predovšetkým z pohľadu zániku plôch s možnosťou prirodzeného vsakovania zrážkových vôd a vzniku nepriepustných zhrtených plôch s potenciálom sústreďovania a zrýchľovania povrchového odtoku).

Na základe porovnania zmien v reliéfe dna vodnej nádrže za roky 1855-2011 a porovnania zmien ripariálnej zóny za roky 1949-2013 (obr. 6) sme v priestore nádrže vyčlenili nasledovné plochy, ktoré boli za dané časové obdobia najviac pozmenené.

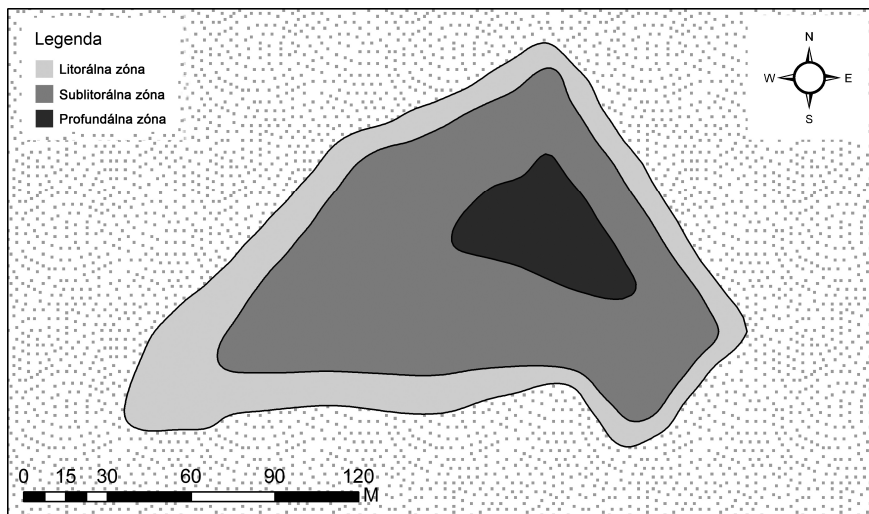


Obr. 6. Zmeny ekosystémov Belianskej vodnej nádrže za roky 1855-2011

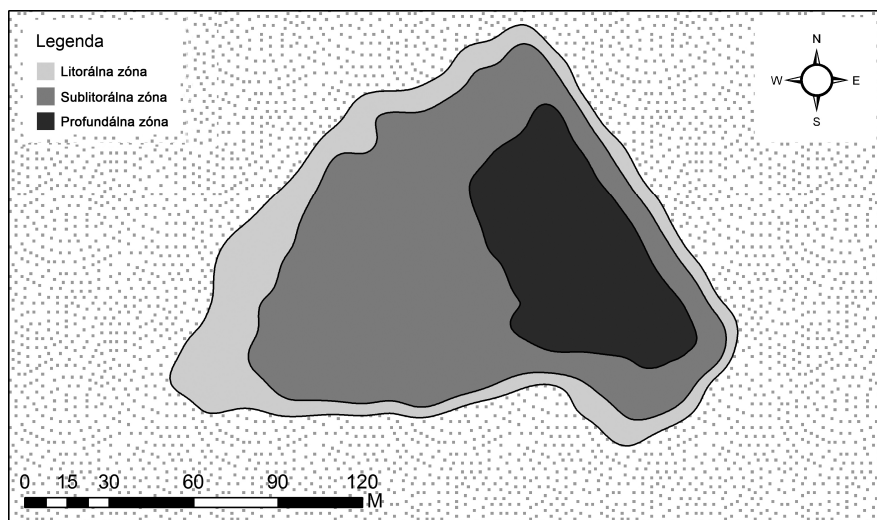
Vysvetlivky: 1 – 6 zmenené alebo ovplyvnené ekosystémy

1) Pôvodná vodná plocha bola vplyvom eróznio-sedimentačných procesov zmenená na úplne zazemnený terestrický ekosystém nachádzajúci sa mimo brehovej línie a vodnej hladiny. Krajinnú pokrývku v ňom predstavuje krovitý porast, substrát je tvorený jemným piesčitým sedimentom. Z vodného ekosystému sa teda stal v priebehu rokov suchozemský; 2) a 3) Časť vodnej hladiny, ktorá sa vplyvom nárastu solitérnych drevín vysadených v tesnej blízkosti vodnej plochy dostala do intenzívneho zatienenia. Priame zatienenie korunami stromov má vplyv na teplotu vody a svetelný režim v týchto miestach. Predpokladáme nižšiu teplotu oproti okolitej vode, tiež výrazne menej osvetlenia; 4) Náplavový kužeľ, ktorý ovplyvňuje charakter dna nádrže (dno v týchto miestach dosahuje vyššiu nadmorskú výšku). V jeho priestore preto nepredpokladáme zimovanie rýb, ktoré vyhľadávajú najhlbšie položené miesta nádrže s najteplejšou vodou; 5) Najhlbšia oblasť dna vodnej nádrže bola v dôsledku naplavovania a usadzovania sedimentov nivelizovaná, teda došlo v porovnaní so situáciou v roku 1855 k zväčšeniu jej celkovej plochy. V najhlbších partiách nádrže došlo k akumulácii miestami niekoľko metrov hrubej vrstvy bahenných sedimentov; 6) Priestor s najväčšou akumuláciou sedimentov bol identifikovaný počítačovou vizualizáciou a porovnaním obidvoch modelov reliéfu dna (1855 a 2011) v južnej časti nádrže. Vzhľadom na to, že toto územie je situované pomerne ďaleko od hlavného prítoku, predpokladáme tu usadeniny vytriedených jemných piesčitých frakcií.

Vplyvom eróznio-sedimentačných procesov, akumulácie materiálu a antropogénneho pôsobenia došlo v priestore Belianskej vodnej nádrže aj k zmenám jej stratifikácie. Pre porovnanie sme zvolili nasledovné rozdelenie životného priestoru v nádrži: litorál, sublitorál a profundál (Hartman et al. 2005). Stratifikácia Belianskej vodnej nádrže v roku 1855 je na obr. 7, v roku 2011 na obr. 8. Vypočítané rozlohy jednotlivých zón sú zhrnuté v tab. 3.



Obr. 7. Stratifikácia Belianskej vodnej nádrže – stav v roku 1855



Obr. 8. Stratifikácia Belianskej vodnej nádrže – stav v roku 2011

Tab. 3. Vypočítané plochy zón Belianskej vodnej nádrže a ich zmeny

Rok	Litorál	Sublitorál	Profundál	Spolu
1855	6 931 m ²	11 097 m ²	1 787 m ²	19 815 m ²
2013	4 537 m ²	10 459 m ²	4 000 m ²	18 996 m ²
zmeny 1855 a 2013	-34,54 %	-5,72 %	+123,84 %	-4,13 %

DISKUSIA

Vo výsledkoch práce môžeme sledovať negatívny vplyv eróžno-sedimentačných procesov na zmeny reliéfu a celkovú morfológiu Belianskej vodnej nádrže, ale aj zmeny krajinej štruktúry a ekosystémov v ripariálnej zóne, ktorá v priamej miere ovplyvňuje aj fungovanie vodnej nádrže. Vodná plocha Belianskeho tajchu sa zmenšila za obdobie rokov (1949-2013) o rozlohu 819 m². Celková zmena vodnej plochy za obdobie 156 rokov (1855-2011), ktoré je dané rokom historického mapového podkladu so zakreslením priebehu reliéfu dna, predstavuje 926 m². Indikuje to vplyv negatívneho antropogénneho pôsobenia, stavebnej činnosti, úprav svahov a ciest na eróžno-sedimentačné procesy. So zvyšujúcou sa stavebnou činnosťou sa stretávame najmä posledné desaťročia, pričom stavebné úpravy a výstavba sa neustále približujú až k samotnej vodnej ploche. Tento negatívny trend však nie je výnimočný. Stretávame sa s ním aj pri ďalších vodných nádržiach v okolí Banskej Štiavnice (Kubinský et al. 2013). Poukazujeme aj na vznik brehov s nízkobylinným porastom, ktoré vznikli na miestach trvalých trávnych porastov predovšetkým antropogénnym vplyvom (pravidelné vykášanie, zašliapavanie a podobne). Tieto plochy sú následne náchylnejšie na eróziu. Zmena kategórie sekundárnej krajinej štruktúry má spolu so vznikom antropogénne zhutnených plôch hlavný dosah na znižovanie možností vsakovania dažďovej vody a na koncentráciu a zrýchľovanie povrchového odtoku. V priestore brehovej zóny tak rastie jeho erózna schopnosť a dochádza k vyplavovaniu jemnozrnných frakcií podložia a pôdnych profilov z koreňových systémov brehových porastov. Zánikom pôvodnej funkcie vodnej nádrže so špecifickým vodným režimom, keď pravidelne v letných mesiacoch dochádzalo takmer k úplnému vyprázdneniu kapacity nádrže, nastáva po častej deštrukcii a znefunkčnení dnových výpustov k negatívnym vývojovým trendom. Rovnako zanikla možnosť odťažby obnažených a gravitačne vytriedených dnových akumulácií napr. na stavebné účely alebo rekultivácie. Ani včasné znižovanie prevádzkovej hladiny VN výlučne pred očakávanými zrážkami a zvýšenie jej retenčného objemu pri nádržiach s čiastočne, alebo už opäť plne funkčnými výpustmi (po rekonštrukcii) nedokáže tieto trendy zvrátiť.

Z výsledkov analýzy zmien stratifikácie Belianskej vodnej nádrže je zrejmé, že k zmenám došlo aj v jednotlivých zónach, a to predovšetkým v ich plochách. Navyiac sa jednotlivé zóny vyznačujú variabilnými ekologickými podmienkami (teplota vody, osvetlenie, hustota vody, kolobeh kyslíka, oxidu uhličitého a iné) a následne aj druhovou variabilitou. Za obdobie 156 rokov (1855-2011) došlo k zväčšeniu profundálnej zóny celkom o 2 212 m². Zväčšenie je dané naplavením

ním sedimentov a celkovým zarovnávaním profundálnej zóny. Naopak, vplyvom posunu brehovej línie došlo k zmenšeniu litorálnej zóny celkovo o 2 394 m². K zmenám plochy sublitorálnej zóny došlo len mierne, a to poklesom o 638 m². Na základe výsledkov odporúčame brať do úvahy nasledovné: Zabrániť ďalšiemu prísunu sedimentov z hlavného prítoku vybudovaním kaskády alebo kazety s objemom aspoň 1 m³ pred vtokom do vodnej nádrže a podľa potreby usadený sediment pravidelne odťažiť. Kapacita objemu takejto kazety je priamo úmerná frekvencii jej nutného vyprázdňovania.

V ripariálnej zóne, 20 m od brehovej línie, obmedziť všetky stavebné úpravy, použitie mechanizmov a zabrániť akémukoľvek zhutňovaniu, ale aj odkrývaniu svahov, a to aj krátkodobému. Ak v ripariálnej zóne použitie mechanizmov a stavebnú činnosť nemožno vylúčiť, odporúčame ich časovo zaradiť do obdobia bez zrážkovej činnosti a porušené svahy opätovne stabilizovať, prevzdušniť, prípadne inak naturalizovať.

Analýza ripariálnej zóny vodnej nádrže sa ukázala ako ťažisková pri zisťovaní príčin zvýšeného prínosu anorganických produktov erózie a zvetrávania do priestoru nádrže (Kubinský et al. 2014b). Druhá polovica 20. storočia znamenala prudký nárast podielu prímestskej rekreácie a budovania letných chatových oblastí v tesnej blízkosti vodných nádrží. Neschopnosť štátu vhodne regulovať tento typ zástavby a predovšetkým kontrolovať dodržiavanie platných zákonov v oblasti ochrany krajiny (zánik pôvodných ekostabilizujúcich činiteľov a vlastností voľnej krajiny) a hygieny (septiky a trativody verzus kanalizačné prípojky víkendových chát) viedol k nekontrolovateľnej až chaotickej výstavbe so silným negatívnym vplyvom na prírodné prostredie. Zmeny štruktúry ripariálnej zóny odrážajú len časť týchto negatív. Sú však dominantné pri analýze príčin a dôsledkov eróžno-sedimentačných procesov príbrežnej zóny.

Proces sedimentácie umelých vodných nádrží je aktuálny. Aj napriek týmto faktom je nutné analyzovať okrem primárnych podmienok, nevyhnutných na spustenie erózných procesov rôznej intenzity (klimatické činitele, morfometrické parametre svahov a krajinná pokrývka), aj ich sekundárne ovplyvnenie antropogénnymi zásahmi a negatívnym vplyvom človeka na odtokový režim v mnohých povodiach Slovenska. K tomu prispieva aj regulovaná či neregulovaná ťažba drevnej hmoty s budovaním siete nespevnených lesných ciest a zväznic na približovanie dreva, často nerešpektujúca pôdoochranné pravidlá. Nespevnenosť takejto lesnej cesty je pri jej povrchovom zhutnení rovnakým negatívom. Účinnosť hlbých kaziet na vodných tokoch, ako prvkov zachytávajúcích podstatnú časť splavovaných sedimentov, ktoré tiež zvyšujú infiltráciu vody a tým výrazne znižujú intenzitu erózných a následne eróžno-akumulačných procesov v povodí, preverí až čas. V minulosti pravidelne budované a hlavne čistené kazety účinne bránili zanášaniam vodných nádrží. Upustením od tejto činnosti a postupným zazemnením mnohé nádrže časom stratili svoj význam.

Metodika získavania údajov pomocou moderných geodetických technológií sa v praxi ukazuje pri takomto type nádrží nielen ako jediná možná, ale aj dostatočne presná, rýchla a ekonomická. Svedčí o tom skutočnosť jej aplikácie v rôznych nádržiach u nás a v zahraničí (Kočícký et al. 2002 a Ceylan et al. 2011). Historické vrstevnicové mapy na výpočet kubatúr boli vytvorené nivelá-

ciou dna nádrží. Polohová presnosť týchto máp bola verifikovaná SVP, š. p. (napr. pri príprave projektu rekonštrukcie Malej Richňavskej nádrže po zamerní stôlne a vynesení situácie do pôvodných máp nenašiel geodet žiadnu odchýlku). Je potrebné poznamenať, že cieľom príspevku nie je exaktne stanoviť objem naplavených sedimentov do priestoru nádrže, ale poukázať na zmeny morfológie nádrže, stratifikácie a objemu vplyvom eróžno-sedimentačných procesov s čo najväčšou presnosťou.

Popísaný postup merania a výsledky umožnia aj s odstupom času znova zamerať vodnú nádrž, vyhodnotiť a porovnať s nameraným stavom v roku 2011 a posúdiť ďalšie trendy zanášania nádrže. Na základe trendu zanášania je možné detailne analyzovať vlastné povodie nádrže a navrhnúť vhodné manažmentové opatrenia (Kočícký et al. 2002). Objem nádrže v roku 1855 bol 146 000 m³. Súčasná kapacita je znížená o objem naplavených sedimentov (7 621 m³) na celkových 138 379 m³, teda došlo k zníženiu o 5,22 %. Aj napriek faktu, že časť Belianskej vodnej nádrže sa vplyvom akumulácie sedimentov dostala za zátopovú čiaru, nehovoríme o extrémnom zanášaní. Napr. v nádrži Altinapa v Turecku došlo za periódu 1967-2009 k zníženiu o 33,4 % (Ceylan et al. 2011). Nepriaznivá situácia zanášania jazier a nádrží bola popísaná aj v susednom Poľsku, kde spolu 25 jazier za periódu 50 rokov stratilo 9,9 % akumulačnej kapacity (Choiński a Ptak 2009).

Na obr. 3, ktorý zobrazuje detail reliéfu dna Belianskeho tajchu, bola v roku 2011 najmenšia absolútna nadmorská výška dna 545,5 m n. m, čo predstavuje v časovom horizonte 156 rokov zvýšenie dna v oblasti najväčšej hĺbky až o 4,5 m. Zo štúdií na iných nádržiach (napr. jazero Dąbie, kde za periódu 1962-1996 došlo k naplaveniu cez 2 m hrubej vrstvy sedimentu) je zrejmé, že nejde o výnimočnú situáciu (Wiśniewski a Wolski 2005). Takáto hrúbka sedimentu najvýraznejšie pôsobí na dnový výpusť, ktorý sa takto stáva nefunkčný.

Vo viacerých literárnych zdrojoch (Lichner 2002) je uvedená ako maximálna hĺbka Belianskeho tajchu 18 metrov. Počas terénneho merania však maximálna nameraná hĺbka nepresiahla 11,4 m. Pre tieto skutočnosti je nutné monitorovať stav zanášania, dokumentovať trend vývoja a pochopiť mechanizmy späté s procesom zanášania. Len tak bude možné prijať a implementovať vhodné manažmentové opatrenia, ktoré by dlhodobo garantovali zachovanie jej najdôležitejšej funkcie, tvorbu dlhodobých povrchových zásob vody a protipovodňovú ochranu, resp. umožňovali predpovedať budúci vývoj (Wiśniewski a Wolski 2005). V tejto fáze je nutné minimálne začať so zberom údajov, ktoré doposiaľ o nádržiach v okolí Banskej Štiavnice neexistujú. Aj napriek skutočnosti, že Beliansky tajch so zánikom baníctva v okolí Banskej Štiavnice stratil svoju primárnu funkciu, je dodnes využívaný na chov rýb, rekreáciu a plní aj ďalšie funkcie, napr. protipovodňovú či krajinnoekologickú.

ZÁVER

Práca využitím diachrónej analýzy reliéfu dna a ripariálnej zóny Belianskej vodnej nádrže poukazuje na zmeny jej ekosystému. Zmeny reliéfu dna sú podmienené predovšetkým eróžno-sedimentačnými procesmi a následnou akumuláciou sedimentov v priestore nádrže. Zmeny ripariálnej zóny majú priamy vplyv na viaceré faktory, ktoré podmieňujú teplotný a svetelný režim vody. Syntézou

obidvoch hlavných faktorov, teda zmien reliéfu a krajinej štruktúry ripariálnej zóny, sme vyčlenili v priestore nádrže viaceré zóny s dynamickými zmenami v kvalite miestneho ekosystému. Belianska vodná nádrž nie je iba technická pamiatka zapísaná do zoznamu UNESCO, treba ju chápať aj ako živý ekosystém, ktorý obsahuje na malom priestore relatívne uzatvorené spoločenstvo organizmov a v ktorom, ako naznačujú výsledky prezentované v príspevku, prebiehajú relatívne významné zmeny.

Práca vznikla v rámci riešenia grantu UGA-I-11-005-08, poskytnutého Fakultou prírodných vied, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Slovensko a VEGA č. 2/0106/12.

LITERATÚRA

- AHMED, K. B., SANCHEZ, M. (2011). A study of the factors and processes involved in the sedimentation of Tarbela reservoir, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 62, 927-933.
- ALLAN, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 35, 257-284.
- BODDY, N. N., GANSKE, L. (2005). Bathymetric changes within Lake Zumbro of Olmsted Country. *Hydrologic Study of Produced by the Minnesota Pollution Control Agency*, 1-21.
- CEYLAN, A., KARABORK, H., EKOZOGLU, I. (2011). An analysis of bathymetric changes in altinapa reservoir. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6(2), 15-24.
- ELÇI, Ş., BOR, A., ÇALIŞKAN, A. (2009). Using numerical models and acoustic methods to predict reservoir sedimentation. *Lake and Reservoir Management*, 25, 297-306.
- EUROSENSE (2006). *Letecké snímky*.
- GREGORY, S. V., SWANSON, F. J., McKEE, W. A., CUMMINS, K. W. (1991). An ecosystem perspective of riparian zones: focus on links between land and water. *BioScience*, 41, 540-550.
- HANSEN, B., REICH, P., LAKE, P. S., CAVAGNARO, T. (2010). Minimum width requirements for riparian zones to protect flowing waters and to conserve biodiversity: a review and recommendations. *Report to the Office of Water*. Department of Sustainability and Environment. Melbourne (School of Biological Sciences, Monash University).
- HARTMAN, P., PŘIKRYL, I., ŠTĚDRONSKÝ, E. (2005). *Hydrobiologie*. Praha (Informatorium).
- HUPP, C. R., OSTERKAMP, W. R. (1996). Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, 14, 277-295.
- HYDROCONSULT (1991). *Banskoštiavnická oblasť – štúdia*. Bratislava.
- CHILDS, J. R., SNYDER, N. P., HAMPTON, M. A. (2003). Bathymetric and geophysical surveys of Englebright Lake, Yuba-Nevada Counties, California. *US Geological Survey Open-File Report*, 03-383, 1-20.
- CHOINSKI, A., PTAK, M. (2009). Lake infill as the main factor leading to lake's disappearance. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18, 347-352.
- ISSAK, H., SRIVASTAVA, R. M. (1989). *Introduction to applied geostatistics*. New York (Oxford University Press).
- JORDAN, D. C., FONSTAD, M. A. (2005). Two dimensional mapping of river bathymetry and power using aerial photography and GIS on the Brazos River, Texas. *Geocarto International*, 20(3), 1-8.

- KAPUSTA, J., STANKOVIANSKY, M., BOLTÍŽIAR, M. (2010). Changes in activity and geomorphic effectiveness of debris flows in the High Tatra Mts within the last six decades (on the example of the Velická Dolina and Dolina Zeleného Plesa Valleys). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balkanica*, 44, 5-35.
- KOČICKÝ, D., PAUK, J., KOČICKÁ, E., GARGALOVÍČ, R., VÁGÓ, Z., VAZAN, V., WEIS, K. (2002). *Eróznio-sedimentačné procesy na VN Klenovec*. Banská Štiavnica (Esprit s.r.o).
- KRESS, W. H., SEBREE, S. K., LITTIN, G. R., DRAIN, M. A., KLING, M. E. (2005). *Comparison of preconstruction and 2003 bathymetric and topographic surveys of Lake McConaughy, Nebraska*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5040. Nebraska (The Central Nebraska Public Power and Irrigation District).
- KUBINSKÝ, D., WEIS, K. (2011). Zmeny retenčného objemu v priestore Halčianskeho tajchu. *Acta Hydrologica Slovaca*, 12, 59-64.
- KUBINSKÝ, D., WEIS, K. (2012). Zmeny retenčného objemu v priestore Belianskej vodnej nádrže. *Acta Hydrologica Slovaca*, 13, 108-115.
- KUBINSKÝ, D., FUSKA, J., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M. (2013). Zmeny akumulačného objemu vodných nádrží Veľká Richňavská a Malá Richňavská. *Acta Hydrologica Slovaca*, 14, 402-413.
- KUBINSKÝ, D., FUSKA, J., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M., POKRÝVKOVÁ, J. (2014a). Zmeny reliéfu dna a akumulačného objemu umelej vodnej nádrže a intenzita jej zanášania za ostatných 125 rokov – príklad Veľkej Richňavskej. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 2(3), 31-40.
- KUBINSKÝ, D., LEHOTSKÝ, M., WEIS, K. (2014b). Changes in bathymetry and land cover of riparian zone of an old artificial water reservoir Veľký Kolpašský. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9, 171-178.
- KUBINSKÝ, D., FUSKA, J., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M. (2013). Zmeny akumulačného objemu vodných nádrží Veľká Richňavská a Malá Richňavská. *Acta Hydrologica Slovaca*, 14, 402-413.
- LEHOTSKÝ, M., CEBEAUEROVÁ, M. (2012). Complexity of riparian zone – case study of rural segment of the River Torysa. *Geographical Journal*, 64(2), 1-22.
- LICHNER, M. (2002). *Banská Štiavnica - svedectvo času*. Banská Bystrica (Harmony).
- MALANSON, G. P. (1993). *Riparian landscapes*. Cambridge (Cambridge University Press).
- NAIMAN, R. J., DÉCAMPS, H. (1997). The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621-658.
- NAIMAN, R. J., BILBY, R. E., BISSON, P. A. (2000). Riparian ecology and management in the Pacific Coastal rain forest. *BioScience*, 50, 996-1011.
- PAUK, J., MIKLÓS, L., TREMBOŠ, P. (1997). *Vývoj eróznio-sedimentačných procesov vodnej nádrže Ružín: čiastková správa D - Krajinnoeologické princípy ochrany nádrže pred zanášaním*. Banská Štiavnica (ESPRIT).
- PRADHAN, D., ANCEV, T., DRYNAN, R., HARRIS, M. (2011). Management of water reservoirs (Embungs) in West Timor, Indonesia. *Water Resources Management*, 25, 339-356.
- PRAVDA, J., KUSEDOVÁ, D. (2007). *Aplikovaná kartografia*. Bratislava (Geografika).
- STANFORD, J. A. (1998). Rivers in the landscape. Introduction to the special issue on riparian and ground ecology. *Freshwater Ecology*, 40, 402-406.
- SURFER 9 (Golden Software, Colorado, USA).
- SURFER 8 USER'S GUIDE (2002). SURFER'S User Guide, 640 p.
- ŠTÁTNY ÚSTREDNÝ BANSKÝ ARCHÍV (1971). *Evička rybník – Štiavnické Bane, mapa v mierke 1:1 000, sekcia HKG*.

- WARD, J. V., TOCKNER, K., UEHLINGER, U., MALARD, F. (2001). Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. *Regulated Rivers: Research & Management*, 17, 311-323.
- WARD, J. V., ROBINSON, C. T., TOCKNER, K. (2002). Applicability of ecological theory to riverine ecosystems. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 28, 443-450.
- WEIS, K., KUBINSKÝ, D. (2014). Analýza zmien objemu Halčianskej vodnej nádrže vplyvom erózie ako podklad pre manažment v povodí. *Geografie*, 119, 126-144.
- WIŚNIEWSKI, B., WOLSKI, T. (2005). Changes in Dąbie Lake bathymetry in the period 1962-1996. *Limnological Review*, 5, 255-262.

Daniel Kubinský, Karol Weis, Milan Lehotský

CHANGES IN ECOSYSTEMS AND RETENTION CHARACTERISTICS OF THE BELIANSKA WATER RESERVOIR AND SURROUNDING AREA

The aim of this paper is to compare and evaluate the changes in the Belianska Water Reservoir, namely the changes in bottom relief and ecological stratification over a period of 156-years (1855-2011) and changes in the shore area over a 64-year period (1949-2013). Historical map for the calculation of the Belianska Water Reservoir cubature from 1855 and the current field study were used to identify the changes in bottom relief and calculate the volume of deposited sediments. During the field study the depth was located directly using an acoustic device (echo sounder) right from the boat. The location of the points obtained by this procedure was determined by the external GPS device, which was connected to the echo sounder. It provided us with information on the present state of the bottom of the Belianska Water Reservoir. Input data were processed via Surfer 9 software, which helped us to visualize the relief in both periods. Comparing the results, we learned out that the volume of sediments deposited in 156 years is 7,621 m³. Accumulation of sediments in the direction of the inflow caused decrease in water area and shift of the flood line. In 156 years, the water area decreased by 926 m² and changed its character from water to terrestrial environment. The deepest point was levelled markedly and a layer of sediments with a thickness of several metres was deposited there. The changes to the shore were identified by analysis of aerial photos from 1949, up-to-date orthophotomap, and field study done in 2013. Eight categories (water area, shores covered by low herbaceous plants, permanent grasslands, scattered trees, bushes, forest vegetation, built-up areas, and gardens) were surveyed. Analysis of the chosen categories revealed an important increase of shores covered by low herbaceous plants susceptible to erosion which took place in the last 64 years. On the shore, 20 metres from the water area, several buildings were constructed and slopes converted into gardens. It is a negative phenomenon, which supports erosion and potentially leads to degradation of water quality. The information on changes in bottom relief and shores served as a basis for the evaluation of the individual ecosystems which changed most and changes in ecological stratification over the stated period of time. The results show increase of the profundal zone, set by the bottom planification in the deepest parts. While the littoral zone descended, the sublittoral zone remained almost unchanged. The Belianska Water Reservoir is more than a technical monument inscribed in the UNESCO list of cultural and natural heritage under number 400 "Historic Town of Banská Štiavnica and the Technical Monuments in its Vicinity". It is important to consider it as an ecosystem with a relatively closed association of organisms on a small area. As the results indicate, there are relatively important changes under way.

