

ANALÝZA ZMIEN OBJEMU VODNÝCH NÁDRŽÍ AKO PODKLAD PRE MANAŽMENT V POVODIACH – UKÁŽKOVÁ ŠTÚDIA NA BELIANSKEJ VODNEJ NÁDRŽI

Daniel Kubinský¹, Karol Weis²

¹ *Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Fakulta prírodných vied, Katedra biológie a ekológie, e-mail: posta@dkubinsky.sk*

² *Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Fakulta prírodných vied, Katedra geografie, geológie a krajinnej ekológie, e-mail: karol.weis@umb.sk*

Abstract: The paper deals with the volume changes of the Beliansky water reservoir as a result of sedimentation and aggradation of bed loads and wash loads to the area of a water reservoir by the influence of erosive activity of affluents in the watershed. The results of the comparison of two 3D models, for the year 1855 created from historic documentation and for the year 2011 created from collection of data in the field shown a reduction in the volume of 7621 m³, which represents the volume of sediments over a period of 156 years. In determining the volume changes have been used modern surveying technology and numerical modeling of the selected watershed surface area. Analysis of secondary landscape structure, slope and empirical knowledge were committed in basin areas prone to erosion, contributing to the erosion of the material. In the consequence proposals for water management, forestry, agriculture and population level, building-up and other factors have been proposed.

Key words: bathymetric surveys, GIS, volume change, watershed management

1 ÚVOD

Nástroje 3D modelovania povrchu sa dostávajú do popredia viacerých environmentálnych riešení problémov. Jedným z možností využitia je analýza zmien reliéfu dna, objemu a plochy nádrží za určité časové obdobie. Zmeny sú podmienené viacerými faktormi, napr. sedimentáciou. Akumulácia sedimentov je jedným z najzávažnejším faktorom, ktoré ohrozuje vodné nádrže. Spôsobuje stratu ich kapacity, vedie k postupnému zániku nádrží. Aby bolo možné predĺžiť životnosť nádrží, udržať dlhodobo ich retenčnú schopnosť, poznať rýchlosť sedimentácie a zachovať kvalitu vody je potrebné poznať ich aktuálne batymetrické údaje a prebiehajúce zmeny.

Kvantifikovanie vývoja sedimentačných procesov a pravidelná aktualizácia údajov o objeme nádrže umožňujú zrealizovanie prognóz zanášania, vytvorenie predpokladov pre návrh efektívnych ochranných opatrení na minimalizáciu prísunu sedimentov a ďalších negatívnych dôsledkov. Z tohto dôvodu by mali byť pravidelne vyhotovované batymetrické mapy. Následnou realizáciou účinných opatrení dosiahneme zmiernenie negatívnych dôsledkov, najmä v súčasnej dobe stúpajúcich nákladov na prevádzku a údržbu nádrží.

Záujmové územie tvorí Belianska vodná nádrž v katastri obce Banská Belá, 5 km od Banskej Štiavnice na Slovensku a jej mikropovodie. Mikropovodie po profil hrádze vodnej nádrže zaberá plochu celkom 0,3972 km², je ohraničené orografickou rozvodnicou s celkovou dĺžkou 3 033,31 m. Vznik samotného Belianskeho tajchu je datovaný najneskôr v roku 1747 (Hydroconsult, 1991). Nánosy sedimentov spôsobujú celý rad negatívnych dôsledkov, najzávažnejšie sú strata úžitkového objemu, poškodenie manipulačných zariadení, zmeny biologickej a ekologickej kvality vody, ktoré vedú k postupnému zániku nádrží (Ahmed a Sanchez, 2011; Pradhan et al., 2011). Viaceré štúdie zamerané pre determinovanie zmien objemu na základe sedimentácie na Slovensku a v zahraničí využívali práve akustické zariadenia (Pauk et al., 1997; Kočický, 2002; Fуска, 2011; Boddy a Ganske, 2005; Ceylan et al., 2011; Childs et al., 2003; Jordan et al., 2005; Kress et al., 2005; Dost a Mannaerts, 2008; Choiński a Ptak, 2009; Elçi et al., 2009). Na Slovensku sa problematike dlhoročne venuje Výskumný ústav vodného hospodárstva (ďalej VÚVH). Belianska vodná nádrž spolu s ďalšími nádržami patrí pod správu Slovenského vodohospodárskeho podniku š.p.

Cieľom štúdie je získať aktuálne batymetrické údaje Belianskej vodnej nádrže použitím moderných geodetických technológií (Global Positioning System – GPS, ultrazvukové zariadenie – sonar), geografických informačných systémov (GIS, 3D modelovanie) a identifikovať batymetrické údaje z roku 1855 z historickej mapovej dokumentácie. Na základe ich porovnania určiť objem sedimentov a ich rozloženie v nádrži za obdobie (1855 – 2011). Na základe získaných výsledkov posúdiť intenzitu prebiehajúcich sedimentačných procesov a navrhnúť ďalšie manažmentové opatrenia pre zachovanie a zlepšenie súčasného stavu. Nadmorské výšky – m n. m. sú uvádzané vo výškovom systéme „Balt po vyrovnání“ (Bpv). Charakteristika a zloženie sedimentov v práci nebolo ďalej špecifikované.

2 METODIKA

Terénny výskum na Belianskej vodnej nádrži bol realizovaný 14. 10. 2011. Aktuálne batymetrické údaje sme získali zameraním hĺbky akustickým zariadením. Meranie bolo vykonávané priamo z plavidla pomocou akustického zariadenia Humminbird 717 (dvojlúčová sonda, lúče 20° alebo 60°, udávaná presnosť ± 10 cm) prepojeného so zariadením GPS. Ultrazvukové zariadenie používa dve vlnové frekvencie, 200 kHz a 83 kHz. Meracia zostava bola umiestnená na nosníku pripevnenom k člnu, ktorý bol poháňaný elektromotorom. Na začiatku bolo potrebné vytýčenie

trasy plavby pre zber údajov, toto bolo riešené vytýčením línií v softvéri ESRI ArcGIS 10, ktoré boli následne importované do GPS prijímača. Meranie bodov bolo vykonávané v intervale 5 m medzi zameriavanými bodmi. Merania na vybraných profiloch boli uskutočnené 2-krát, aby sa overila opakovateľnosť merania. Kontrolné merania preukázali dobrú zhodu s pôvodnými meraniami. Ultrazvukový senzor bol 20 cm pod vodnou hladinou, táto hodnota bola korigovaná priamo v zariadení. Pre odstránenie nepresností sa počas zamerania vykonávali kontrolné referenčné merania hĺbok na vybranej sade bodov ciachovanou tyčou s plochou pätkou. Presnosť výsledkov zo sonarového zariadenia bola verifikovaná na ± 3 cm. Jednotlivé body merania boli lokalizované prístrojom GPS. Hĺbkové údaje boli prepočítané na absolútne nadmorské výšky dna na základe známej absolútnej výšky vodnej hladiny v čase merania (556,6 m n. m.). Hodnota bola poskytnutá Slovenským vodohospodárskym podnikom. Spracovanie terénnych meraní bolo aj napriek náročnosti kvôli minimalizácii rizika vzniknutých chýb a pre odstránenie rizika straty dát prevedené digitálne (automatický zápis meraného profilu) aj ručne, prepisom registrovaných hodnôt do terénneho zápisníka. Výsledkov terénneho spracovania je získanie poznatkov o súčasnom stave dna, ktoré dokumentuje tab. 1.

Tabuľka 1 Batymetrické body z terénneho merania – ukážka

id	X (S-JTSK) (v m)	Y (S-JTSK) (v m)	(latitude) (v °)	(longitude) (v °)	Hĺbka (v m)	absolútna nadmorská výška (hladina 556,60 m n. m.)
1	-437231	-1256540	48,4709	18,9114	0,30	556,30
2	-437232	-1256538	48,4709	18,9113	0,60	556,00
3	-437226	-1256540	48,4709	18,9115	0,40	556,20
4	-437236	-1256531	48,4711	18,9113	0,90	555,70
5	-437228	-1256528	48,4711	18,9113	1,90	554,70

Zdrojom historických údajov o pôvodnom reliéfe dna bola vrstevnicová mapa pre výpočet kubatúr s názvom „Kubatúra belianskeho rybníka v B. Belej“ z roku 1855 v mierke 1 : 1 000, získaná niveláciou banským teodolitom. Polohová presnosť historických máp pre výpočet kubatúr nádrží v okolí B. Štiavnice bola verifikovaná SVP š.p. (napr. pri príprave projektu rekonštrukcie Malej Richňavy po zameraní štôlne a vynesení situácie do pôvodných máp, geodet nenašiel žiadnu odchýlku). Mapa bola skenovaná s 300 dpi rozlíšením vo formáte TIFF (Tagged Image File Format). Zakreslené vrstevnice boli vektorizované a bola im priradená hodnota Z odčítaná z historickej mapy, udávajúca absolútnu nadmorskú výšku. Následná registrácia vektora do S-JTSK (Křovákovu zobrazenie), používaného v rámci Slovenska, bola spracovaná v prostredí ESRI ArcGIS. Referenčný kartografický podklad so známym súradnicovým systémom tvorili letecké snímky (Eurosence, 2006). Registrácia bola spracovaná na základe výberu vhodných kót, ktoré sa na oboch podkladoch dali jednoznačne identifikovať. Vektor historického plánu ako aj údaje získané z terénneho merania v priestore zátopovej čiary, boli napojené na jednotný

vektorový podklad získaný z máp Slovenskej republiky 1 : 10 000, stav k roku 2006 (Mapové podklady ZM 1 : 10 000, 2006).

Dáta z obidvoch zdrojov (časových horizontov) boli spracované v softvérovom prostredí Surfer 8, Golden Software. Interpoláčnou metódou Kriging (Webster a Oliver, 2001) boli vygenerované gridy s rozmerom bunky 2x2. Tvar pre odhad okolia bol zvolený kruh, jeho polomer bol stanovený tak, aby účinné okolie interpolácie zahrňovalo dostatok bodov priestorovo autokorelovaných. Ide o veľmi subjektívny odhad, optimum pre ďalší výpočet bolo najmenej 12 údajov (Isaaks a Srivastava, 1989). Kvalita predikcie bola verifikovaná procedúrou Cross-Validation (Deutsch, 2002). Rozdelenie početnosti reziduálov bolo normálne, s priemerom blížiacim sa 0. Vzájomným porovnaním obidvoch modelov funkciou Grid/Volume... bol od modelu súčasného stavu, (Upper Surface) odpočítaný model zachytávajúci stav v minulosti (Lower Surface). Toto porovnanie prinieslo číselné vyjadrenie rozdielu oboch modelov, teda objem naplavených sedimentov.

Mikropovodie nádrže bolo vyčlenené na základe reliéfovo-hydrologických vzťahov (charakterizované sú najmä smermi a intenzitou základných reliéfových a hydrologických procesov (Hreško et al., 2003). Pri vymedzovaní mikropovodia Belianskeho tajchu bol zvážený fakt, že mikropovodím prechádza vo svahu zarezaná asfaltová cesta č. 525 Banská Belá – Banská Štiavnica, ktorá má po celej dĺžke vybudovaný odvodňovací jarok zachytávajúci povrchové vody z celej západnej časti svahu a odvádza ich mimo samotnú vodnú nádrž, preto časť hranice mikropovodia je totožná s hranicou spomenutej komunikácie.

Analýza sklonu a orientácie svahov mikropovodia bola spracovaná v prostredí ESRI ArcGIS (modul Spatial Analyst - Surface analysis – Slope/Aspect) na základe 3D povrchu mikropovodia vygenerovaného z vrstevnicového vektorového modelu získaného vektorizáciou podkladových máp ZM 1 : 10 000. Druhotná krajinná štruktúra mikropovodia bola spracovaná taktiež v prostredí ESRI ArcGIS na základe podkladových leteckých snímok (Eurosence, 2006), aktualizovaných pre rok 2012 v teréne. Mapovaných bolo 6 kategórií: lúčne porasty, lesné porasty, nelesná drevinná vegetácia, trvalé trávne plochy, zastavané územie a samotná vodná plocha.

3 VÝSLEDKY

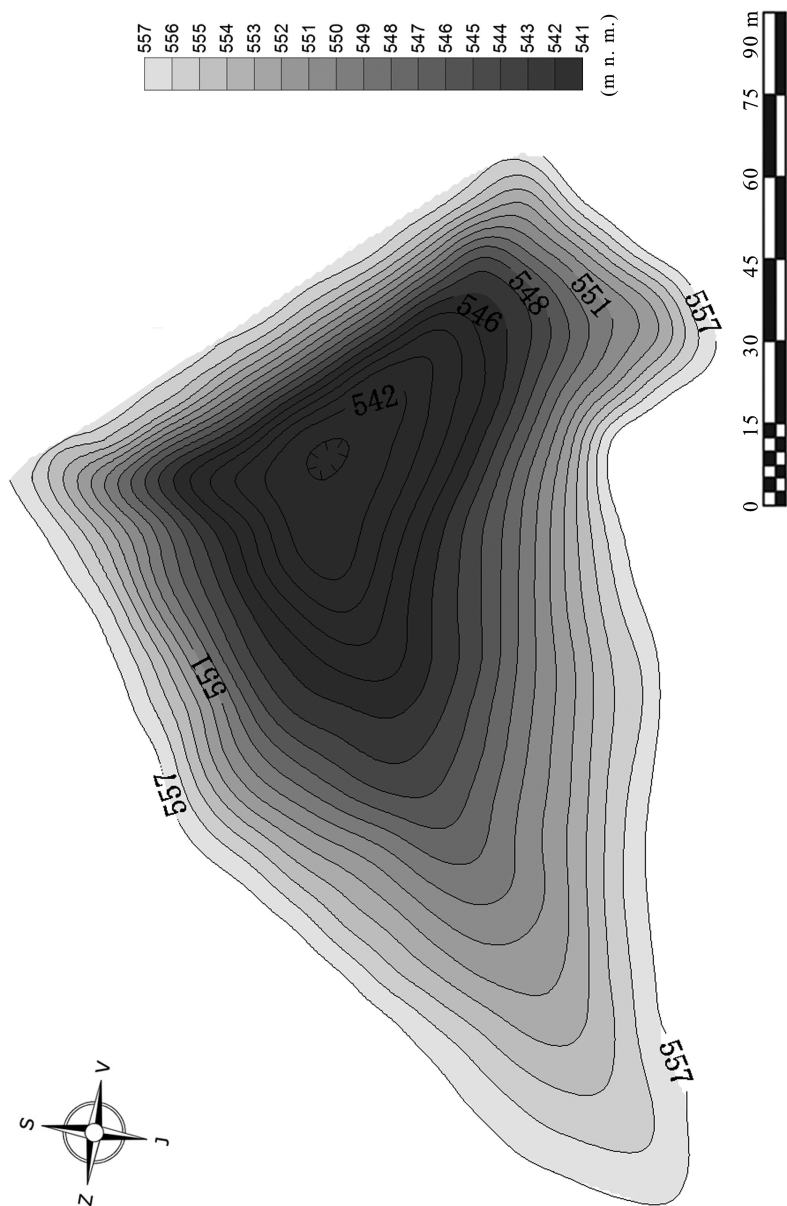
3.1 Analýza zmien objemu

Interpoláciou vstupných údajov boli získané dva modely územia, ktoré predstavujú situáciu vodnej nádrže v roku 1885 (obr. 1) a v roku 2011 (obr. 2). Výpočet objemu bol realizovaný pomocou troch klasických numerických integračných algoritmov v softvéri Surfer 8. **Extended Trapezoidal Rule** = 7825 m³, **Extended Simpson's Rule** = 7672 m³, **Extended Simpson's 3/8 Rule** = 7367 m³. Za výslednú hodnotu objemu sedimentov považujeme aritmetický priemer troch vypočítaných metód: **7621 m³** (smerodajná odchýlka všetkých troch výpočtov $\sigma = 233,16$). Výsledok predstavuje rozdiel dvoch reálnych povrchov, teda objem sedimentov naplavených do Belianskej nádrže v priebehu 156 rokov, v priemere 48,86 m³ ročne.

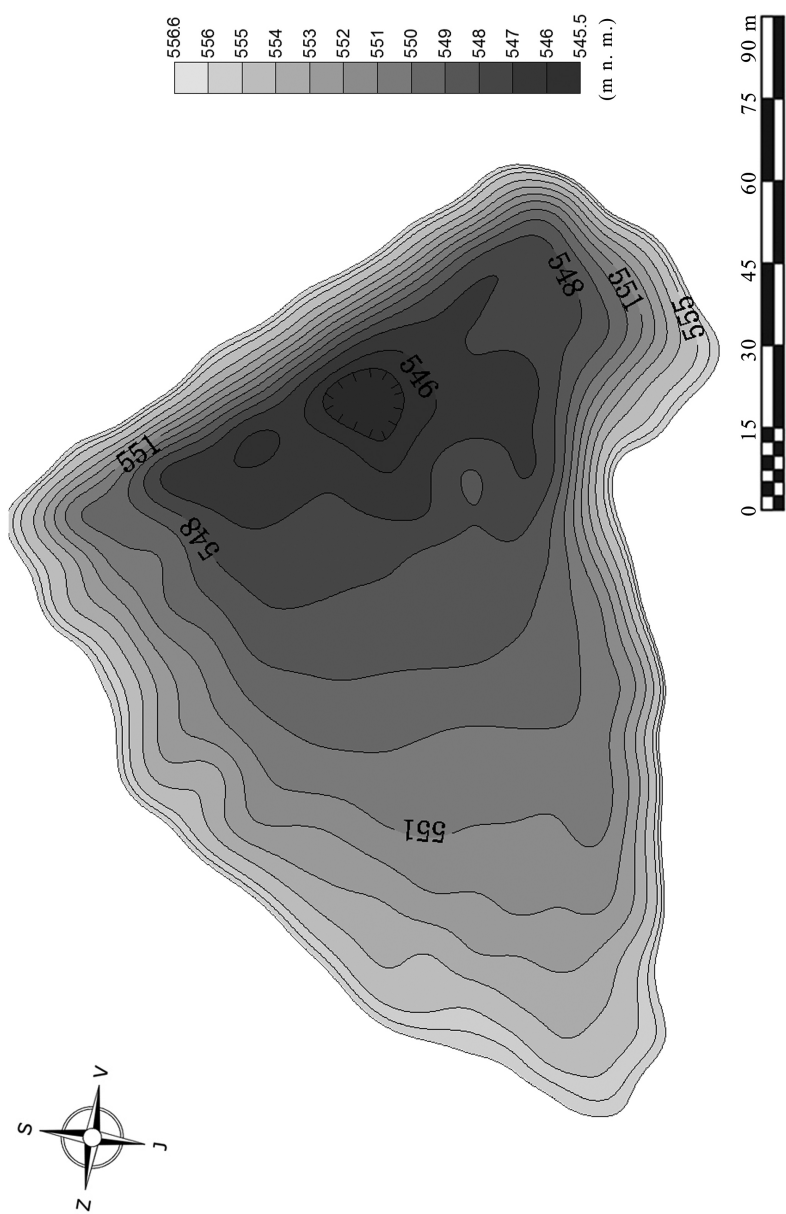
Erózne-akumulačnými procesmi došlo aj k zmenšeniu vodnej plochy, teda posunu zátopovej čiary. Plocha je na spojnici hrádze a pôvodného prítoku posunutá smerom k hrádzi približne o 15,7 m. Celková zmena vodnej plochy za dané časové obdobie 156 rokov predstavuje 926,1 m². Táto zmena je stanovená porovnaním plochy Belianskej nádrže pri rovnakej výške vodnej hladiny, totožnej s nadmorskou výškou hladiny v termíne realizácie terénneho prieskumu (556,6 m n. m.). Pohľad na časť tohto územia je na obr. 3. Porovnaním priebehu vrstevníc reliéfu z roku 1885 (obr. 1) je zrejмый pravidelný rozostup v jednom smere daný pravdepodobne prirodzeným tvarom údolia. Vybudovaním zemitej hrádze a prehradením vznikla Belianska nádrž. Naopak pri detaile z roku 2011 (obr. 2) vidíme mierny posun vo vrstevniciach. Hlavný smer prúdenia je posunutý výrazne na juh (pôvodný smer prúdenia prechádza stredom nádrže), pričom v jeho závere sa ukazuje formovanie náplavového kužľa s výrazným pozitívnym výškovým prejavom voči okoliu. Porovnaním najnižšej absolútnej nadmorskej výšky dna nádrže konštatujeme, že došlo k naplaveniu 4,5 m hrubej vrstvy sedimentu v oblasti najväčšej hĺbky. Takáto hrúbka akumulovaných sedimentov je bežná a stretávame sa s ňou aj pri iných vodných nádržiach v okolí Banskej Štiavnice. Častočasť znefunkčňuje výpustný systém. V týchto miestach došlo aj k výraznejšej planifikácii, teda vyrovnaniu reliéfu. Mierny posun vrstevníc naznačujúci splytčenie pozorujeme aj v severozápadnej časti nádrže. Práve v týchto miestach je situované vyústenie prírodného jarku do nádrže (obr. 3). Predpokladáme, že významná časť sedimentov má pôvod zo stavebnej činnosti, ktorá je exponovaná práve v blízkosti severnej a severozápadnej časti nádrže (výstavba rekreačných zariadení, úpravy svahov atď.) a ktorá sa intenzívne rozmáha najmä v posledných desaťročiach.

3.2 Analýza druhotnej krajinej štruktúry, sklonu a orientácií svahov mikropovodia

Analýza druhotnej krajinej štruktúry (DKŠ) mikropovodia priniesla výsledky zhrnuté v tab. 2, analýza sklonov v tab. 3. Rovnako, ako ostatné nádrže v okolí Banskej Štiavnice, tak aj Belianska nádrž je atraktívna pre rekreantov. Svedčia o tom viaceré nielen sezónne využívané objekty postavené v tesnej blízkosti severného brehu celkovo zaberajúce 3,52 % z plochy mikropovodia. Analýza sklonu svahov preukázala, že 11,32 % plochy mikropovodia je situovaných na kritických svahoch so sklonom nad 12°, čo považujeme za strmý svah. Najväčšiu plochu zaberajú svahy so sklonom od 1° do 3° (32,24 %). Vzájomným prekryvom mapovaných kategórií DKŠ a sklonov sme vyčlenili ohrozené plochy kategórie lúčnych porastov (tie sú vystavené pohybu mechanizmov pri kosení) s kritickým svahom. Výsledky orientácie svahu dokumentujú nasledovné: južné orientácie sú zastúpené len v minimálnej podobe. Najväčšia časť územia je orientovaná severozápadne (32,24 %). Na základe tab. 4 je možné predpokladať, že počas jarných mesiacov v povodí nedochádza k prudkému topeniu snehu s akým sa stretávame na svahoch orientovaných na juh, a tým nedochádza ani k výraznejšej eróznej činnosti počas výraznejšieho oteplenia v jarných mesiacoch, aké je aj pre podmienky Slovenska posledné roky bežné.



Obrázok 1 Reliéf dna Belianskej nádrže – situácia v roku 1855



Obrázok 2 Reliéf dna Belianskej nádrže – situácia v roku 2011



Obrázok 3 Časť prírodného jarku na severnej strane nádrže

Tabuľka 2 Plochy a percentuálne zastúpenie kategórií DKŠ povodia Belianskej nádrže

Kategória DKŠ	Celková plocha (km²)	Celkový podiel (%)
Lúky, lúčne porasty	0,236	59,52
Lesný porast – listnatý	0,078	19,64
Nelesná drevinová vegetácia	0,040	10,02
Trvalé trávnaté plochy	0,012	3,02
Zastavané územie	0,014	3,52
Vodná plocha	0,017	4,28
Spolu	0,397	100

Tabuľka 3 Plochy a percentuálne zastúpenie kategórií sklonov povodia Belianskej nádrže

Sklonitosť	Celková plocha (km²)	Celkový podiel (%)
0° – 1°	0,040	10,07
1° – 3°	0,128	32,24
3° – 7°	0,110	27,70
7° – 12°	0,063	15,86
12° – 17°	0,014	3,52
17° – 25°	0,017	4,28
25° – viac	0,014	3,52
Spolu	0,397	100

Tabuľka 4 Plochy a percentuálne zastúpenie kategórií orientácií povodia Belianskej nádrže

Orientácia	Celková plocha (km²)	Celkový podiel (%)
Sever	0,040	10,07
Severozápad	0,128	32,24
Západ	0,110	27,70
Juhozápad	0,063	15,86
Juh	0,014	3,52
Juhovýchod	0,017	4,28
Východ	0,014	3,52
Severovýchod	0,011	2,77
Spolu	0,397	100

3.3 Manažmentové opatrenia

Pol'nohospodárstvo

Z analýzy druhotnej krajinnej štruktúry je zrejmé, že viac ako polovica plochy tvoria lúky a lúčne porasty (takmer 60 %). Využívajú sa aj na pasenie dobytká. Je potrebné zamedziť koncentrácii zvierat najmä v okolí horných častí tokov, ktoré sa príležitostne využívajú ako napájadlá. Spomenuté plochy sa pravidelne kosené mechanizmami, ktoré by bolo potrebné vynechať aspoň v častiach, kde sklon povodia Belianskej vodnej nádrže presahuje 17°, resp. zvoliť kosenie bez použitia mechanizmov (obr. 4).

Lesné hospodárstvo

Brehovú eróziu tokov vo významnej miere ovplyvňujú pásy brehovej vegetácie (Morris, 1998). V modelovom povodí na niekoľkých úsekoch o približnej dĺžke približne 70 metrov sa brehová vegetácia nenachádza, alebo došlo k jej čiastočnému výrubu. Na uvedených miestach navrhujeme opätovnú výsadbu a doplnenie brehovej vegetácie. Odporúčame výsadbu ihličnatých drevín v okolí toku kvôli menšiemu opadu, ktorý môže prispievať neskôr k zanášaniam prítokov, prípadne v horných častiach toku aj výsadbu rýchlorastúcich listnatých drevín, ktoré sú z hľadiska lesníckej typológie pre dané modelové územie vhodnejšie.

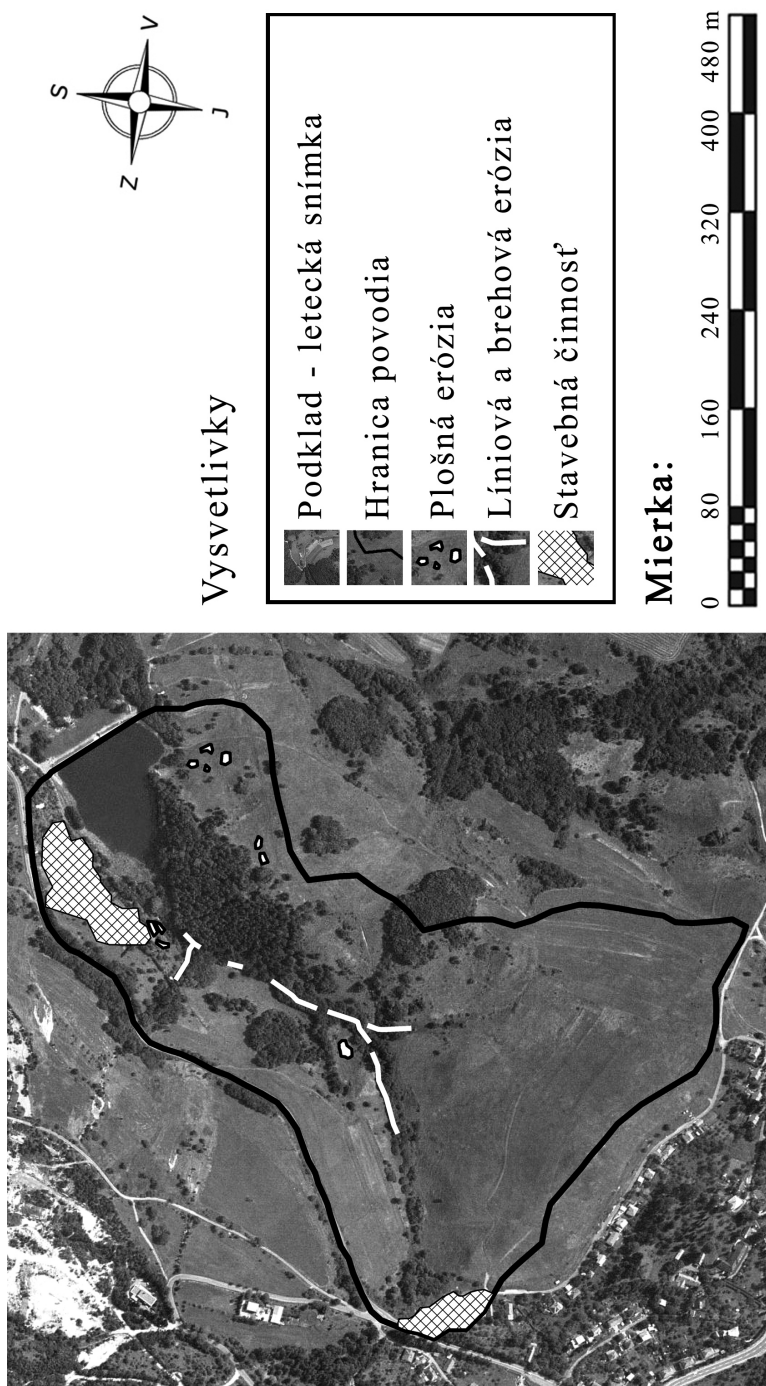
Osídlenie a ďalšie faktory

Plochy severozápadne od nádrže sú v jej tesnej blízkosti využívané na zástavbu rekreačných zariadení, pričom častokrát sa stretávame s úplným odkrytím celých svahov a výstavbou ciest pre stavebné mechanizmy, čo hodnotíme ako negatívne, navyše zastavané plochy ležiace tesne pri vodnej ploche sú situované na geologickom podloží deluviálnych sedimentov, teda na podloží ktoré ľahko eroduje. Západná časť povodia hraničiaca s križovatkou ciest Banská Štiavnica - Banská Belá, Banská Štiavnica - sedlo červená Studňa je vystavená navážaniu rôznorodého materiálu (zimný posyp ciest, zemina, stavebný materiál) – obr. 5, kde túto činnosť úplne vylučujeme. Na miestnej komunikácii Banská Belá - Banská Štiavnica, ktorá tvorí súčasť hranice povodia, odporúčame vynechať v zimných mesiacoch posyp pevným materiálom a namiesto neho použiť chemickú úpravu povrchu cesty a s ohľadom na blízkosť vodnej nádrže zvoliť vhodné chemické zloženie.

Vodohospodárske opatrenia

Napriek tomu, že Belianska vodná nádrž ma celoročný stabilný, ale relatívne malý prítok, na jeho konci tesne pred samotným telesom nádrže je potrebné vybudovať sedimentačnú kazetu na zachytenie časti splavenín s rozmerom minimálne 2 m³. Jej umiestnenie odporúčame v blízkosti západného brehu nádrže, kde došlo k posunu zátopovej čiary (obr. 6).

Po jej vybudovaní odporúčame jej pravidelné revízie a vyčistenie od naplavených sedimentov. Minimálne v miestach vzniku brehovej erózie spevniť brehy prítokov kameňom alebo múrom a zmierniť tak brehovú eróziu predovšetkým v období



Obrázok 4 Plochy povodia Belianskej vodnej nádrže náčtylné na eróziu



Obrázok 5 Navážanie rôznorodého materiálu na západnom okraji povodia

epizodických prívalových dažďov, ktoré sa aj v našich podmienkach vyskytujú čoraz častejšie. Podobné opatrenia sa v rôznych iných povodiach vyskytujú pomerne často (Vyhne, Hodruša Hámre atď.) a empirickým pozorovaním sa ukázali ako účinné. Pravidelná aktualizácia batymetrických údajov každých 5 rokov a následné vyhodnocovanie miery sedimentácie, vytvorenie databanky priečných profilov pre vyhodnocovanie morfometrických zmien v exponovaných oblastiach z hľadiska zanášania. Pravidelne udržiavať dobrý technický stav systému zberných jarkov v rámci širšieho povodia, slabé miesta spevniť betónovým múrom.

4 DISKUSIA

Na ukážkovej štúdii Belianskej vodnej nádrže sme použitím 3D modelovania a moderných geodetických technológií zhodnotili nielen súčasný stav, ale aj vývoj morfometrie dna vodnej nádrže za 156 rokov (1855 – 2011). Redukcia možnej chyby pri výpočtoch a dosiahnutie presnejších výsledkov by bolo možné zhustením kroku merania na vodnej ploche na 3 metre, alebo nižšiu, čím by vznikla nepravidelná sieť bodov z rozstupom 3 metre, alebo menej. Po zhutnení prvotných vstupných údajov by bolo možné zmenšiť účinné okolie odhadu pre interpoláciu, vedúcu ku kvalitnejšej predikcii. Po vynesení meračských bodov do mapy a vygenerovaní prvotného

modelu reliéfu by sa v miestach najväčších zmien (náplavový kužeľ, depresie, sedimentačné lavice...) mohli vykonať opakované terénne merania s menším pravidelným rozstupom pre detailnejšie zachytenie zmien priebehu povrchu dna a pre následné detailnejšie modelovanie.



Obrázok 6 Novovzniknuté územie, ktoré bolo pôvodne súčasťou nádrže a vzniklo posunom zátopovej čiary

Na základe výsledkov je možné konštatovať, že metóda zberu údajov pomocou sonaru umiestneného na plavidle a zariadenia GPS je nielen dostatočne presná, ale predovšetkým rýchla, a tým ekonomicky rentabilná pre vyhodnotenie a zameranie menších ako aj stredne veľkých vodných nádrží. Spôsob zamerania hĺbky nádrže iba ciachovanou tyčou, resp. iným ciachovaným zariadením bez použitia ultrazvukového zariadenia je zdanlivo presný, avšak z hľadiska sťaženej stabilizácie plavidla na vodnej hladine je zachovanie vertikálnej polohy ciachovanej tyče už pri hĺbke nad 5 – 6 metrov takmer nemožné. Popísaný postup merania a jeho výsledky umožnia aj s odstupom určitého časového intervalu znova zamerať jednotlivé profily, vyhodnotiť a porovnať s nameraným stavom v roku 2012, posúdiť ďalšie trendy zanášania nádrže. Toto porovnanie môže slúžiť ako podklad pre vyhodnocovanie morfometrických zmien v exponovaných oblastiach z hľadiska zanášania – umožňuje sledovať dynamiku zanášania pri pravidelnom meraní a slúži ako pomocný nástroj pre sledovanie erózneho odnosu z vlastného povodia. Analýza súčasnej druhotnej krajiny

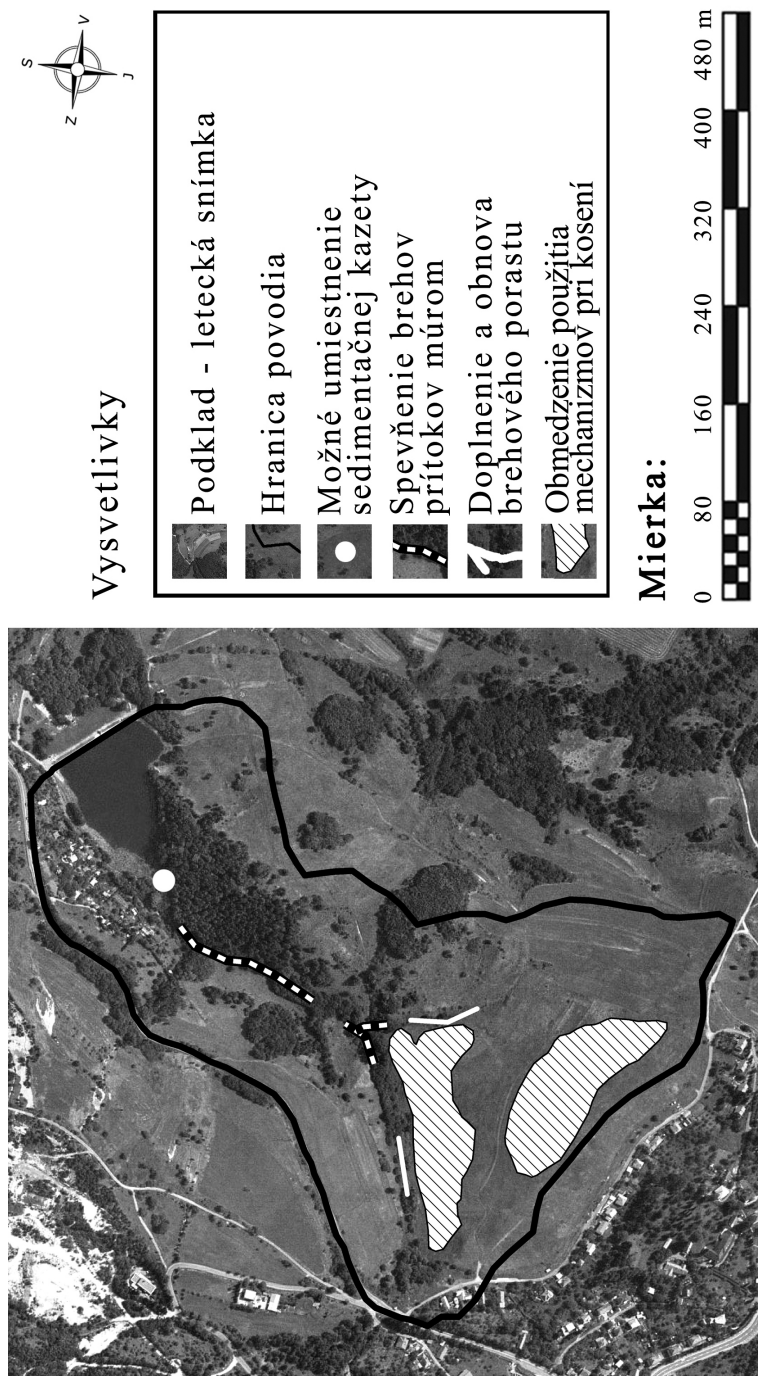
štruktúry a morfometrického parametru sklonitosti a orientácie svahov povodia a empirické poznatky získané pravidelnými terénnymi pochôdzkami nám umožnili komplexnejšie pochopiť prebiehajúce procesy v celom mikropovodí. Na ich základe sme vyčlenili mapu ohrozených plôch povodia Belianskej nádrže (obr. 4) a následne navrhli vhodné manažmentové opatrenia pre minimalizáciu ďalších negatívnych procesov spôsobujúcich postupné zanášanie Belianskej nádrže (obr. 7).

Celkový objem sedimentov (7621 m^3) naplavených do nádrže za obdobie 156 rokov svedčí o menej intenzívnom odnose z povodia, ktoré v blízkej dobe výraznejšie neohrozí samotnú vodnú nádrž. Napriek tomu túto skutočnosť nemôžeme podceňovať a v tejto dobe je nutné uvažovať minimálne s pravidelným zberom batymetrických údajov každých 5 rokov a sledovať trend vývoja. Pri väčšej intenzite sedimentačných procesov a výraznejších zmenách v krátkom časovom horizonte je potrebné stanoviť možné príčiny v mikropovodí a operatívne navrhnúť ďalší manažment.

5 ZÁVER

Erožno-sedimentačné procesy sú problém s ktorým sa stretávame v každom povodí, vodnom toku či nádrži. Spôsobujú zmeny vodnej plochy, objemu, morfometrie reliéfu dna, ovplyvňujú kvalitu a vlastnosti vody. V neposlednom rade majú vplyv na organizmy žijúce vo vodnom prostredí. Cieľom príspevku bola analýza zmien v reliéfe dna a objemu Belianskej nádrže s časovým odstupom 156 rokov. Ide o významné technické dielo, ktoré je na zozname technických a prírodných pamiatok zapísaných v UNESCO. Hoci plocha povodia je relatívne malá a samotný prítok do vodnej nádrže nie je intenzívny a v priebehu roka výrazne nevyrovnaný, práve tieto vlastnosti podmienili, že za časové obdobie 156 rokov došlo k naplaveniu vyššie erodovaného materiálu do nádrže s jeho celkovým objemom **7621,89 m³**. Táto skutočnosť je hodnotená ako nepriaznivá, aj keď sa nejedná o objem sedimentov schopný v krátkej dobe výrazne znížiť životnosť nádrže, a to z viacerých dôvodov. Najdôležitejší je fakt, že retenčný objem nádrže sa znížil o viac ako 7500 metrov kubických. Odstránenie takejto vrstvy sedimentov je nielen technologicky, ale aj finančne nesmierne náročné. Navyiac len samotná odťažba sedimentov nie je finálny krok, nakoľko sedimenty sú radené podľa zákona o odpadoch (Zákon o odpadoch č. 223/2001 Z. z) do kategórie nebezpečného odpadu, ktorý podlieha špeciálnemu spracovaniu. Navyiac zanedbaním tejto skutočnosti môže postupne dôjsť k výraznému zmenšeniu vodnej plochy a časom k postupnému zániku vodnej nádrže, alebo jej časti. Podobný prípad máme možnosť vidieť na viacerých vodných nádržiach banskoštiavnickej oblasti (napr. v Halčianskom tajchu, či nádrži Jasenica).

Systematický výskum zanášania vodných nádrží je dôležitý pre poznanie miery erózneho ohrozenia v mikropovodiach rovnako ako pre poznanie negatívnej zmeny retenčného objemu nádrže akumuláciou sedimentov v priestore nádrží. Umožňuje nielen poznať konkrétne objemy a množstvá materiálu naplaveného do nádrže, ale aj predpovedať budúci vývoj. Dôležitejšie je ale získanie informácií pre správnu voľbu



Obrázok 7 Mapa navrhovaných manažmentových opatrení povodia Belianskej vodnej nádrže

d'alších krokov, zamedzujúcich alebo obmedzujúcich tento negatívny vývoj. Banskštiavnický vodohospodársky systém je jedinečný unikát známy nielen v rámci Slovenska, ale aj na celom svete. Je zapísaný do zoznamu svetového a kultúrneho dedičstva UNESCO. O to viac je potrebné pripomenúť význam Belianskej vodnej nádrže a nezanedbávať zistené skutočnosti.

Pod'akovanie

Práca vznikla v rámci riešenia grantu UGA - I-11-005-08. Pod'akovanie patrí Ing. Václavovi Koledovi zo Správy stredného Hrona (SVP š.p.), vedúcemu pracoviska Štiavnické Bane, za poskytnutie potrebných historických podkladov a cenných informácií týkajúcich sa nádrže Belianska.

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, 5, s. 927-933. ISSN 1866-6280
- BODDY, N. N., GANSKE, L. 2005. Bathymetric Changes within Lake Zumbro of Olmsted County. *Hydrologic Study of Produced by the Minnesota Pollution Control Agency*, s. 1-21.
- CEYLAN, A., KARABORK, H., EKOZOGLU, I. 2011. An analysis of bathymetric changes in altinapa reservoir. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, vol. 6, no. 2, s. 15-24. ISSN 1844 - 489X
- DEUTSCH, C. V. 2002. *Geostatistical Reservoir Modeling*. Oxford University Press, New York.
- DOST, R., MANNAERTS, C. 2008. Generation of Lake Bathymetry Using Sonar, Satellite Imagery and GIS. *ESRI UC 2008, ESRI International User Conference 2008*.
- ELÇI, Ş., BOR, A., ÇALIŞKAN, A. 2009. Using numerical models and acoustic methods to predict reservoir sedimentation. *Lake and Reservoir Management*, 25, 3, s. 297-306.
- FUŠKA, J., LEITMANOVÁ, M. 2012. Tvorba DMR dna vodnej nádrže v súčasnom stave. In *Krajinné inžinierstvo: problémy, trendy a perspektívy 2011*. Zborník vedeckých prác z odborného seminára pri príležitosti týždňa vedy a techniky na Slovensku 2011. Nitra, Slovenská poľnohospodárska univerzita.
- HREŠKO, J., MEDERLY, P., PETROVIČ, F. 2003. Processing of the Landscape Ecological Plan of the City of Považská Bystrica Using GIS. *Životné prostredie*, 37, 1. [online] [cit. 2014-1-25]. Dostupné na: <<http://uke.sav.sk/zp/2003/zp1/hresko.htm>>
- Kolektív *HYDROCONSULT 1991*. Banskštiavnická oblasť, štúdia. Bratislava, 164 s. – správa.
- 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*, s. 1-20.
- CHOIŃSKI, A., PTAK, M. 2009. Lake Infill as the Main Factor Leading to Lake's Disappearance. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18, 3, s. 347-352.
- 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, s. 1-8.
- KOČICKÝ, D., et al. 2002. *Eróznio-sedimentačné procesy na VN Klenovec*. Esprit s.r.o, Banská Štiavnica, 155 s. – správa
- 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. *Scientific Investigations Report 2005-5040*. Published by U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey, s. 1-27.

- MORRIS, G., FAN, J. 1998. *Reservoir Sedimentation Handbook*. McGraw-Hill Professional, 1 edition, 848 s. ISBN-10: 007043302X, ISBN-13: 978-0070433021
- PAUK, J., MIKLÓS, L., TREMBOŠ, P. 1997. Vývoj eróznno-sedimentačných procesov vodnej nádrže Ružín. *Čiasťková správa D – Krajinná ekologická princípy ochrany nádrže pred zanášaním*. ESPRIT, Banská Štiavnica, s. 1-46.
- PRADHAN, D., ANCEV, T., DRYNAN, R., HARRIS, M. 2011. Management of Water Reservoirs (Embungs) in West Timor, Indonesia. *Water resources management*, 25, 1, s. 339-356.
- SLOVENSKÝ VODHOSPODÁRSKY PODNIK, 2013. Interné materiály slovenského vodohospodárskeho podniku.
- WEBSTER, R., OLIVER, M. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons, New York.
- Zákon o odpadoch č. 223/2001 Z. z

An analysis of volume change water reservoirs as a base for watershed management – Case study in Belianska water reservoir

Summary

The paper was to compare changes in volume Belianska water reservoir over a 156 years using 3D digital elevation model. The gradual alluviation of reservoirs is worldwide problem. It is a negative fact, reducing the durability of water reservoirs and dams, water quality and water feature reservoirs in flood protection. The experience of other reservoirs in the area of Banská Štiavnica we can conclude that the amount of sediment reaching several meters, which greatly affects the drainage device and causes a reduction in the total reservoir storage capacity. These reservoirs also known under the name “tajchy” usually don’t have a natural and continuous flow of water is supplied mainly with the artificially constructed collection ditches. Nevertheless, each reservoir has its elementary watershed undergoing hydrological processes affecting the reservoir. Usually it is a negative effect of human activities (building, adjustment slopes, building unpaved outgoing forest communications). In this context, it is necessary not only to quantify the degree of volume, but also find its cause in watershed. The result is therefore that the calculated volume of sediment in m³ in a more comprehensive understanding of the watershed, finding the largest sources of sediment and subsequently proposing such measures, which were fixed, and minimize other negative processes. Belianska water reservoir is an important technical monument registered in the list of UNESCO, one with the other reservoirs virtually the only source of surface water in the vicinity of Banská Štiavnica. This is an important phenomenon documenting the maturity of the mining water management system. It is therefore our duty neglected the above, and try to preserve this unique object, not only for us but also future generations.