

## Zmena zásobného objemu Veľkej Kolpašskej VN ako výsledok eróznno-sedimentačných procesov a návrhy na úpravu manažmentu hospodárskych činností v povodí

Daniel KUBINSKÝ, Karol WEIS, Milan LEHOTSKÝ

**Abstract:** The article focused on the evaluation of accumulation volume changes in Veľký Kolpašský water reservoir (near Banská Štiavnica, Slovakia) in period of 123 years (1889 – 2012) by comparing historical maps and using modern surveying technologies and GIS. Results showed 57.801 m<sup>3</sup> of sediments deposited in the course of 123 years that reduced the storage capacity of the reservoir by 7.23%. Analysis of secondary landscape structure in watershed, slope, aspect and empirical knowledge were committed in basin areas prone to erosion, contributing to the erosion of the material. Results showed positive increase of forest areas (+11.7%) and negative increase building-up areas (+1%) near shoreline and water area. In consequence been proposed management at water management, forestry, agriculture and population level, building-up and other factors.

**Keywords:** bathymetric surveys, reservoirs, volume change, watershed management

### Úvod

Erózne procesy v mikropovodiach menších či väčších tokov a následná akumulácia sedimentov v priestoroch budovaných vodných nádrží je celosvetový problém. Ide o závažný negatívny činiteľ, ktorý výrazne skracuje životnosť vodných nádrží (VN), obmedzuje ich funkčnosť a znižuje využiteľnosť, no predovšetkým degraduje ekologickú hodnotu pôvodných biotopov a sekundárne znižuje kvalitu vody. Ide o aktuálnu problematiku o čom svedčia mnohé štúdie o postupných zmenách kvality vodných ekosystémov (Gellis et al., 2006, Ahmed a Sanchez, 2011, Pradhan et al., 2011, Ristić et al., 2013). Zosuvom v nekompaktných horninách ako jednému zo zdrojov riekou transportovaného materiálu, ale v súvislosti so vznikom hradených jazier sa venujú napr. Smolková et al., 2009. Dynamika transportu dnových sedimentov a zmeny morfológie dna v podmienkach vysokogradientových tokov na Morave sú analyzované v prácach Galia a Hrádecký, 2010, 2011, alebo Škarpich et al., 2010. Problematikou regionálneho turizmu a jeho vplyvu na územie a následného ekologického plánovania sa zaoberal napr. Klaučo a Gregorová, 2011.

Nástroje 3D modelovania povrchu reliéfu sa v poslednom čase dostávajú do popredia pri riešení viacerých environmentálnych problémov. Jednou z možností využitia modelovania je analýza zmien reliéfu dna, zásobného objemu a plochy historických umelých vodných nádrží za určité časové obdobie. Tieto zmeny sú obvyčajne podmienené viacerými faktormi, napr. zmenou využívania samotnej vodnej nádrže a krajiny v povodí, neregulovaným rozvojom turizmu, hlavne však postupným zanášaním akumuláciami sedimentov z vlastného povodia, ktorého príčiny jednoznačne súvisia s predchádzajúcimi zmenami a ktoré ohrozuje priamo ich fyzickú existenciu. Spôsobuje stratu ich zásobnej kapacity, poškodzuje výpustné zariadenie a v nemalej miere okrem zhoršenia kvality vody spôsobuje významné ekologické zmeny pôvodných biotopov a narúša biologickú rovnováhu v nich. Aby bolo možné zamedziť, alebo aspoň obmedziť tento negatívny vývoj, je nutné analyzovať príčiny a dynamiku prebiehajúcich zmien, následne erózie, transportu a sedimentácie. Východiskom sú archívne údaje o využívaní krajiny a o priebehu hĺbníc v čase vzniku vodných nádrží spolu s aktuálnym stavom zisteným terénnym zberom dát, geodetickým a batymetrickým zameraním. Významné zmeny v spôsobe využívania a v účele využitia týchto VN za posledné desaťročia musia nutne vyústiť v radikálnu zmenu prístupu k ich údržbe i prevádzkovaniu a to predovšetkým zmenou riadenia a zmenou vykonávaných manažmentových opatrení správcu. To platí nielen pre realizácie riešené v priestore vodnej nádrže, ale pre manažment vodohospodárskych a lesohospodárskych zásahov v celom povodí. Rovnako dôležitá je osвета a zmena postoja dotknutých úradov a zástupcov miestnych samospráv.

Jedným z cieľov štúdie bolo získanie aktuálnych batymetrických údajov Veľkej Kolpašskej vodnej nádrže s využitím moderných geodetických technológií a porovnanie súčasného stavu so stavom z minulosti. Ďalším cieľom bolo identifikovať príčiny zanášania VN a navrhnúť také opatrenia v povodí, ktoré by zamedzili negatívnemu trendu vo vývoji VN a stabilizovali odtokové pomery a eróznú činnosť v celom povodí. V ideálnom prípade by postupne viedli k jeho revitalizácii. Viaceré štúdie zamerané pre determinovanie zmien objemu vodných nádrží na Slovensku a v zahraničí využívali už akustické zariadenia – sonar (Pauk et al., 1997, Kočický et al., 2002, Childs et al., 2003, Odhiambo a Boss, 2004, Jordan et al., 2005, Kress et al., 2005, Dost a Mannaerts, 2008, Choiński a Ptak, 2009, Elçi et al., 2009, Fuska a Leitmanová, 2012, Ceylan et al., 2011, Yun a Cho, 2011, Yesuf et al., 2012). Rovnakú, alebo veľmi podobnú metodiku zberu údajov o priebehu hĺbníc v súčasnosti, až na zmeny v softvérových nástrojoch použilo už od polovice 70-tych rokov viacero autorov (Janský, 1976 a 1977, Janský a Urbanová, 1994, Janský, 2003), či neskôr Česák a Šobr (2005). Dynamiku vývoja dnových sedimentov vo vzťahu k rôznym predispozíciám a faktorom v povodí, spolu s absolútnym chronologickým vývojom sedimentov skúmali Janský et al. (2010).

Historické batymetrické údaje boli získané z historickej mapy z roku 1889. Na základe ich komparácie so súčasným stavom sa určil objem sedimentov a ich priestorová distribúcia v nádrži za obdobie 123 rokov (1889 – 2012). Údaje o prebiehajúcich zmenách v nádrži a kvantifikácia sedimentov transportovaných do nádrže nám poskytnú obraz o dynamike procesov prebiehajúcich v širšom povodí. Intenzita erózie v prislúchajúcom povodí je podmienená viacerými faktormi (geologické podložie, tektonické poruchy, využívanie a zásahy do krajiny, morfometrické parametre reliéfu), hlavné z nich sú v práci ďalej špecifikované a analyzované. Na spomenutej lokalite bol doposiaľ spracovaný podobný výskum len so zameraním na brehovú – ripariálnu zónu nádrže s analýzou zmien objemu (Kubinský et al., 2014).

Nadmorské výšky v m n. m. sú uvádzané vo výškovom systéme “Balt po vyrovnaní” (Bpv). Granulometrická charakteristika a petrografické zloženie sedimentov v práci nebolo ďalej špecifikované.

## Študované územie

Vodná nádrž Veľká Kolpašská je situovaná v obci Banský Studenec, 12 km od Banskej Štiavnice (obr. 1). Bola vybudovaná okolo roku 1730 ako súčasť banskoštiavnického vodohospodárskeho systému ako energetický zdroj pre účely banského dobývania, odvodňovania banského podzemia a pre úpravnicstvo. Povodie končiace hrádzou nádrže zaberá plochu celkovo 1,971 km<sup>2</sup>, je ohraničené orografickou rozvodnicou s celkovou dĺžkou 5 808 m. Uvádzaný maximálny objem nádrže v roku 1889 bol 798 900 m<sup>3</sup> (Hydroconsult, 1991). Riečna sieť v modelovom území je symetrická, stromovitá (dendritická). Tento typ riečnej siete je charakteristický pre oblasť tvorenú z približne rovnako odolných hornín.



**Obr. 1.** Poloha vodnej nádrže na Slovensku

## Metodika zberu aktuálnych batymetrických údajov

Údaje boli získané použitím bezkontaktnéj technológie merania pomocou sonaru Humminbird 717 a GPS s externou anténou pre informáciu o presnej polohe meraných bodov v súradnom systéme S-JTSK. Zostava bola upevnená na člna a zameriavanie sa vykonávalo automatickým zápisom meraných bodov. Známá nadmorská výška, od ktorej sa vychádzalo bola absolútna nadmorská výška vodnej hladiny v termíne realizácie terénu, odčítaná z nivelovanej (absolútnej) vodočetnej laty. Výstupom terénneho zamerania bola séria bodov s informáciami o presnej polohe (X, Y) a výške (H) vodného stĺpca v danom bode a prepočet na absolútnu nadmorskú výšku meraného bodu (Z). Metodika zberu a spracovania údajov na lokalite Veľká Kolpašská vodná nádrž bola detailne popísaná v prácach (Kubinský, 2013, Kubinský et al., 2014).

## Metodika zberu historických batymetrických údajov

Zdrojom údajov o historickom reliéfe dna nádrže bol plán pre výpočet kubatúr Veľkej Kolpašskej vodnej nádrže s názvom "Kolpašské jazero – Banský Studenec", kópia pôvodnej mapy z roku 1889 v mierke 1 : 10 000. Mapa bola skenovaná, hĺbnice vektorizované a každej bola priradená hodnota nadmorskej výšky odčítaná z plánu a opravená o zmenu používaného výškového systému ( $H_{Bpv} = H_{Jadran} - 0,46$  m). Vektor bol následne registrovaný do súradnicového systému S-JTSK cez multisériu vlčiacich bodov. Ako referenčný pomocný kartografický podklad so známym súradnicovým systémom boli zvolené letecké snímky (Eurosence, 2006).

## Výpočet objemu sedimentov

Výpočet bol realizovaný v softvérovom prostredí Surfer 8. Interpoláčnou metódou Kriging (Webster a Oliver, 2001) boli zo vstupných údajov vygenerované gridy s rozmerom bunky 3x3. Geometria okolia použitého pre výpočet konkrétnej hodnoty bola zvolená ako kruhová, jej polomer bol stanovený tak, aby účinné okolie interpolácie zahŕňovalo dostatok bodov priestoru s možnosťou autokorelácie. Ide o značne subjektívny odhad, optimum pre ďalší výpočet bolo minimálne 12 údajov (Isaaks a Srivastava, 1989). Kvalita predikcie bola verifikovaná procedúrou Cross-Validation (Deutsch, 2002). Rozdelenie početnosti reziduálov bolo normálne, s priemerom blížiacim sa k nule. Vzájomným odčítaním obidvoch modelov funkciou Grid/Volume bol od modelu súčasného stavu (Upper Surface) odpočítaný model zachytávajúci stav v minulosti (Lower Surface), čoho výsledkom bolo numerické vyjadrenie rozdielu oboch modelov reprezentujúce objem naplavených sedimentov.

## Analýza krajinných štruktúr a morfometrická analýza povodia

Analýza sklonu a orientácie svahov mikropovodia bola spracovaná v prostredí ArcGis (modul Spatial Analyst/Surface analysis/ Slope/Aspect) na základe 3D modelu reliéfu mikropovodia vygenerovaného z vektorového modelu vrstevníc získaného vektorizáciou podkladových máp ZM 1 : 10 000. Štruktúra DKŠ (Druhotná krajinná štruktúra) povodia VN bola spracovaná taktiež v prostredí ArcGIS. Interpretáciou ortofotosnímkov z roku 2006 s následným doplnením a modifikáciou údajov získaných terénnym prieskumom (rok 2013) a spätnou interpretáciou leteckých čiernobielych fotografií z roku 1949 sme odvodili a vytvorili mapu krajinej pokrývky územia pre oba časové horizonty (1949 a 2014). Pri georeferencovaní historických leteckých snímok bolo použitých spolu 15 vlčiacich bodov a keďže záujmové územie pokrýva len menšiu časť leteckej snímky situovanú takmer v jej strede, ortorektifikácia vykonaná nebola. Vzhľadom k tomu, že k závažnejšiemu efektu skreslenia v strede snímky takmer nedochádza a hodnoty reziduálov sa blížili k hodnote 0 považovali sme georeferenciu pre ďalšie analýzy za dostatočne presnú. Mapované boli nasledovné kategórie: 1) vodná plocha; 2) orná pôda; 3) lúky a lúčne porasty; 4) lesný porast; 5) nelesná drevinová vegetácia a kroviny; 6) zastavané územie.

Syntézou podporných údajov charakterizujúcich povodie boli identifikované rizikové časti povodia VN Veľká Kolpašská, potenciálne najviac prispievajúce k zanášaniam. Terénnou pochôdzkou bolo toto mapovanie doplnené a na základe týchto výsledkov sme mohli pristúpiť k návrhu manažmentových opatrení v povodí vodnej nádrže zameraných pre rôzne oblasti využívania krajiny (obr. 4).

## Výsledky a diskusia

Pri analýze časových zmien zásobného objemu Veľkej Kolpašskej vodnej nádrže sa vychádzalo podobne ako v prípade ostatných vodných nádrží v okolí Banskej Štiavnice z predpokladu, že k zmenám začalo dochádzať až po zániku komplexného vodohospodárskeho systému a jeho aktívneho využívania. K týmto zmenám dochádza odlišne podľa jednotlivých vodných nádrží medzi rokmi 1867 až 1957 prevažne v dôsledku zmien celospoločenských ako sú štátne usporiadanie, hospodársky a priemyselný rozvoj či recesia, svetové vojny, neskôr zoštátnenie a nástup kolektívizácie. Pravdivosť tejto hypotézy podporujú viaceré technické návrhy, výpočty a plány pri historických rekonštrukciách niektorých VN, kde okrem zníženia hladiny v dôsledku netesností hrádzi alebo nefunkčnosti výpustného zariadenia takmer nikdy nedochádzalo k významným zmenám zásobného objemu, práve naopak, rekonštrukcie obyčajne znamenali zvýšenie kapacity rekonštruovanej VN. Režim každej VN bol charakteristický jesenným a jarným dopĺňaním, pričom koncom leta boli často nádrže v dôsledku veľkého odberu vody pre banské a úpravárenské účely takmer prázdne a mohlo dôjsť (a sú dôkazy, že aj dochádzalo) k odtážbe naplavených sedimentov a ich použitiu na stavebné a iné účely. Zánikom udržiavania funkčnosti systému, zmenou majiteľa a účelu využívania vodných nádrží došlo zároveň k zániku viacerých pracovných funkcií pri údržbe a prevádzkovaní VN a celého vodohospodárskeho systému. Využívanie týchto technických diel po 50-tych rokoch buď ako vodných rezervoárov, alebo na rekreáciu a šport naopak vylučovalo ich celkové vyprázdnenie, rovnako ako odtážbu sedimentov, čoho dôsledkom bolo postupné znefunkčnenie systému zberných a náhonných jarkov a zlý technický stav až nefunkčnosť dnových výpustných zariadení. Tým sa znemožnila každoročná obmena objemu vody celej VN a dochádzalo k postupnej eutrofizácii najohrozennejších vodných nádrží.

Vzájomnou komparáciou dvoch časovo odlišných priestorových modelov (1889 – 2012) sme získali hodnotu objemu sedimentov naplavených do nádrže za obdobie 123 rokov. Použité boli tri výpočtové pravidlá: Trapezoidal Rule – 57,812 m<sup>3</sup>; Simpson's Rule – 57,794 m<sup>3</sup>, a Simpson's 3/8 Rule – 57,798 m<sup>3</sup>. Ich aritmetický priemer, ktorý považujeme za výslednú hodnotu je 57,801 m<sup>3</sup> (smerodajná odchýlka 9,451). Bližšie charakteristiky rozloženia sedimentov v priestore tejto vodnej nádrže a ich vizualizácia boli popisované v práci (Kubinský et al. 2014).

## Orientácie svahov reliéfu povodia Veľkej Kolpašskej VN

Najväčšia plocha územia je orientovaná na východ. Poukazujeme na fakt, že takmer 41 % územia ma prevažujúce južné orientácie (tab. 1). V čase jarných mesiacov počas náhleho oteplenia dochádza v týchto častiach k rýchlemu roztopeniu snehovej pokrývky a k odtoku, ktorý môže podmieňovať vznik nových erózných foriem.

**Tab. 1.** Orientácia svahov reliéfu voči svetovým stranám a percentuálne zastúpenie kategórií

| Orientácia svahov reliéfu | Celková plocha [km <sup>2</sup> ] | Podiel z celkovej plochy [%] |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Sever                     | 0,151                             | 7,7                          |
| Severozápad               | 0,281                             | 14,3                         |
| Západ                     | 0,236                             | 12,0                         |
| Juhozápad                 | 0,275                             | 14,0                         |
| Juh                       | 0,256                             | 13,0                         |
| Juhovýchod                | 0,275                             | 14,0                         |
| Východ                    | 0,307                             | 15,6                         |
| Severovýchod              | 0,190                             | 9,4                          |
| <b>Spolu</b>              | <b>1,971</b>                      | <b>100,0</b>                 |

## Sklony svahov reliéfu povodia Veľkej Kolpašskej VN

Najväčšia časť územia, takmer 30 % sa nachádza v strmých svahoch so sklonom nad 25° (tab. 2). Celkovo ide o pomerne členité územie. Takáto členitosť dáva predpoklad k vzniku zosuvov a erózných foriem počas intenzívnejších zrážok. Syntézou južných orientácií s časťami územia so sklonom svahu nad 25° sme vyčlenili najrizikovejšie časti povodia (obr. 4).

**Tab. 2.** Sklon svahov reliéfu a percentuálne zastúpenie kategórií

| Sklon svahov reliéfu | Celková plocha [km <sup>2</sup> ] | Podiel z celkovej plochy [%] |
|----------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 0° – 1°              | 0,198                             | 10,1                         |
| 1° – 3°              | 0,261                             | 13,3                         |
| 3° – 7°              | 0,153                             | 7,8                          |
| 7° – 12°             | 0,135                             | 6,7                          |
| 12° – 17°            | 0,307                             | 15,6                         |
| 17° – 25°            | 0,340                             | 17,3                         |
| 25° – viac           | 0,577                             | 29,1                         |
| <b>Spolu</b>         | <b>1,971</b>                      | <b>100,0</b>                 |

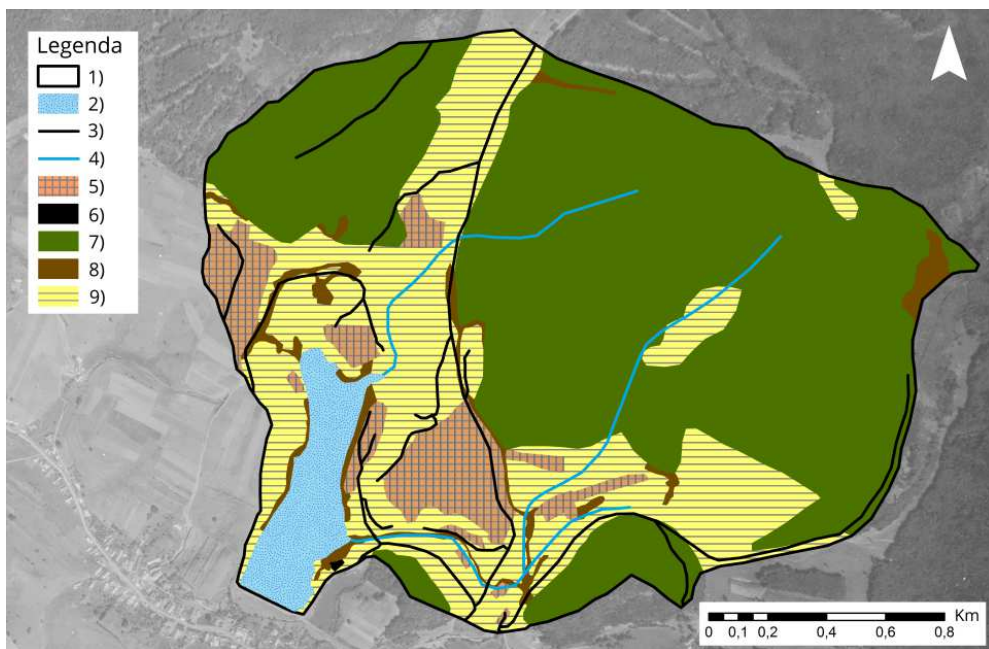
**Charakter krajinných štruktúr a geologického podložia povodia Veľkej Kolpašskej VN**

Porovnaním vývoja krajinej pokrývky za obdobie rokov 1949 – 2014 (tab. 3) vidíme, že došlo k významnému nárastu zástavby a to najmä v tesnej blízkosti vodnej plochy (obr. 2, obr. 3) a k zmenám kategórií druhotnej krajinej štruktúry v prospech antropogénne ovplyvňovaných štruktúr. K zníženiu rozlohy lúk a lúčnych porastov dochádza v dôsledku zanedbanej pravidelnej starostlivosti o ne a to väčšinou na úkor lesa (nekontrolované zarastanie náletovými drevinami). Dôvodom je predovšetkým zmena vlastníckych pomerov a rozpad hospodárenia bývalého poľnohospodárskeho družstva. Naopak nárast zastúpenia nelesnej vegetácie neodráža ani tak rozširovanie pásov zelene pozdĺž tokov či ciest, remíz alebo krovinej etáže porastov, ale odzrkadľuje nárast urbanizovaných plôch parkovej zelene v tesnej blízkosti chat a víkendových domov. Alarmujúci stav z rozširovaní tejto kategórie DKŠ vidno porovnaním obr. 2 a 3. Dôležité je to predovšetkým vo vzťahu k vyhodnoteniu sekundárnych negatívnych dopadov, ako sú zašľapávanie, narušovanie pôdneho krytu, obnaženie geologického podložia a tvorba koncentrovaného odtoku na spevnených a nenasiakavých antropogénnych plochách. Pozitívne možno hodnotiť jedine nárast stromovej etáže lesného porastu v miestach bývalých polí a lúk, avšak často s rizikom rozširovania nepôvodných, invázivných alebo hospodársky a krajinné-ekologicky menej cenných druhov drevín.

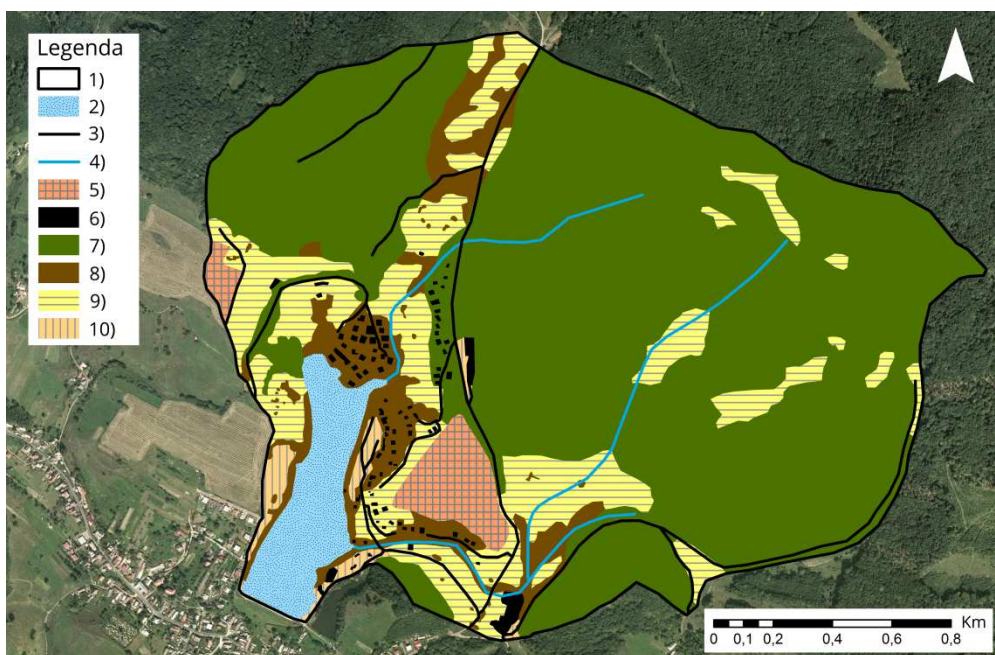
**Tab. 3.** Kategórie druhotnej krajinej štruktúry a ich percentuálne zastúpenie

| Kategória DKŠ          | Plocha [km <sup>2</sup> ] |              | Celkový podiel [%] |               | Zmena v percentuálnych bodoch |
|------------------------|---------------------------|--------------|--------------------|---------------|-------------------------------|
|                        | 1949                      | 2014         | 1949               | 2014          |                               |
| Lúky, lúčne porasty    | 0,53000                   | 0,301        | 26,88              | 15,27         | -11,61                        |
| Lesný porast           | 1,13900                   | 1,331        | 57,90              | 67,60         | +9,70                         |
| Nelesná vegetácia      | 0,06500                   | 0,148        | 3,29               | 7,50          | +4,21                         |
| Trvalé trávnaté plochy | 0,00000                   | 0,026        | 0,00               | 1,31          | +1,31                         |
| Zastavané územie       | 0,00058                   | 0,020        | 0,02               | 1,02          | +1,00                         |
| Vodná plocha           | 0,08700                   | 0,087        | 4,41               | 4,41          | 0,00                          |
| Orná pôda              | 0,14800                   | 0,057        | 7,50               | 2,89          | -4,61                         |
| <b>Spolu</b>           | <b>1,97100</b>            | <b>1,971</b> | <b>100,00</b>      | <b>100,00</b> | <b>0,00</b>                   |

Podľa geologickej mapy Slovenska (SGÚDŠ) leží záujmové územie na geologickom podloží: extrúzie biotiticko-amfibolického andezitu, extrúzivne brekcie biotiticko-amfibolického andezitu a deluviálne sedimenty: prevažne hlinito-kamenité (podradne piesčito-kamenité) svahoviny a sutiny. Aj relatívne kompaktné horninové celky sú však vo východnej a severovýchodnej časti povodia oslabené nevýraznými terciárnymi a kvartérnymi zlomovými líniami, paralelnými s blízkym kalderovým zlomom s priebehom SSV – JJZ. Kalderový zlom ako súčasť deštrukcie štiavnického stratovulkánu, prebieha tesne za juhovýchodnou hranicou povodia. Najčastejšie sa vyskytujúce hlinito-kamenité deluviálne sedimenty a eluviálno-deluviálne sedimenty (sutiny a zvetraliny) sú ale na vodnú eróziu najnáchylnejšie. Na týchto plochách, ktoré sú označené na obr. 4 odporúčame šetrne a racionálne využívanie krajiny v akejkolvek sfére.



**Obr. 2.** Druhotná krajinná štruktúra povodia v roku 1949. 1) hranica povodia; 2) vodná plocha; 3) cesty; 4) toky; 5) orná pôda; 6) zástavba; 7) lesný porast; 8) nelesná drevinová vegetácia; 9) lúky



**Obr. 3.** Druhotná krajinná štruktúra povodia v roku 2014. 1) hranica povodia; 2) vodná plocha; 3) cesty; 4) toky; 5) orná pôda; 6) zástavba; 7) lesný porast; 8) nelesná drevinová vegetácia; 9) lúky; 10) trvalé trávne porasty

Na základe výsledkov komplexného mapovania sme navrhli nasledovné manažmentové opatrenia pre jednotlivé sféry využívania krajiny v povodí.

## **Lesné hospodárstvo**

Pôvodný les má najlepšiu protiodtokovú a protieróznou funkciu. Táto je však v území ovplyvňovaná nepôvodným druhovým zložením, nevhovujúcim spôsobom ťažby a približovaním dreva a rovnako nevhodnými zárezmi lesných ciest do nespevnených svahov. Živelnú tvorbu obnažených nespevnených a umelo zarovnaných povrchov predstavuje aj budovanie skladov dreva, ktorých lokalizácia sa riadi jedine ekonomickým kritériom. Na zmiernenie negatívnych vplyvov navrhujeme na lokalitách s najväčším sklonom a južnou orientáciou a rovnako v blízkosti brehov všetkých rádoz tokov previesť kategóriu lesov z hospodárskych na lesy s ochrannou funkciou. Ekologickejší spôsob ťažby drevnej hmoty selektívnym výberom a nie masívnymi holorubmi a racionálna voľba približovacích línií v smere vrstevníc s vybudovaným odtokovo-vsakovacím jarkom sú veľmi účinné nástroje na zvýšenie podielu vsiaknutej vody v povodí, zvlášť ak sa v zasiahnutom území kombinuje s budovanými prehrádzkami úzkych dolín kamenými perforovanými múrmi na spomalenie odnosu pôdy. Tieto opatrenia boli použité už v 1. polovici 20. storočia a dodnes sa na mnohých miestach ukazujú ako najúčinnnejšie.

Optimálne by bolo rovnako znížiť ťažbu drevnej hmoty v povodí a samotné približovanie dreva vykonávať počas zimných mesiacov, keď je pôda zamrznutá, resp. počas obdobia bez výraznejších zrážok. Taktiež je potrebná racionálna voľba umiestnenia manipulačných skladov zohľadňujúc aj iné ako finančné kritériá. Tieto nemôžu byť na plochách náchylných na odnos pôdneho krytu, alebo s nesúdržným a nespevneným geologickým podkladom, v blízkosti tokov, keďže v týchto lokalitách existuje zvýšené riziko úniku ropných látok do prostredia. Taktiež v blízkosti tokov do vzdialenosti min. 15 metrov od toku je vhodné vynechať ťažbu drevnej hmoty a akékoľvek približovanie dreva. Porast a brehová vegetácia v týchto miestach stabilizuje brehy, znižuje abráziu brehov a krajinné-ekologicky plní funkciu koridorov, tieni a zabraňuje prehrievaniu tokov, atď. Počas terénnej pochôdzky boli v povodí zaznamenané viaceré približovacie linky devastujúco pretínajúce tok, čo je jednoznačne negatívne.

## **Doprava**

V záujmovom území sa nachádzajú viaceré nespevnené cesty využívané ako miestne komunikácie. Pre budovanie a správu týchto ciest platia rovnaké odporúčenia ako pri budovaní ciest na približovanie dreva a manipuláciu s ním. Dôležité je ale upozorniť na všeobecný jav, kedy cesty budované po sklady dreva prakticky nikdy nie sú zabezpečené a projektované na hmotnosť nákladu, ktorá je po nich prepravovaná. Dôležitá je v tomto prípade úloha štátnych kontrolných a dozorných orgánov, pretože akékoľvek poškodenie existujúcich úprav a prehrádzok lesnými mechanizmami je v zásade prehliadané a nikdy nebolo postihnuté. V našom záujmovom území takto došlo k poškodeniu a zničeniu niekoľkých kilometrov historických zberných a náhonných banských vodných jarkov, technických objektov chránených dokonca legislatívou UNESCO.

## **Osídlenie a rekreácia**

Obytné a rekreačné objekty môžu byť výrazným zdrojom znečisťujúcich látok, ovplyvňujúcich kvalitu vody v nádrži, jedná sa predovšetkým o splašky z obydľí. Odporúčame pravidelné monitorovanie produkcie odpadu a splaškov v lokalitách zástavby tesne v brehovej zóne vodnej nádrže. Stavebné povolenia v bezprostrednej blízkosti vodných plôch v zásade nepovoľovať a na existujúcej zastavanej ploche a v jej bezprostrednom okolí odporúčame prevádzkať len také stavebné úpravy, ktoré nezvyšujú riziko erózie povrchu, nie sú zdrojom znečistenia a bolo im vydané súhlasné stanovisko príslušným úradom štátnej inšpekcie ŽP. Obnažené svahy a plochy je nutné v čase pohybu ťažkých mechanizmov a po ňom neodkladne zastabilizovať.

## **Poľnohospodárstvo**

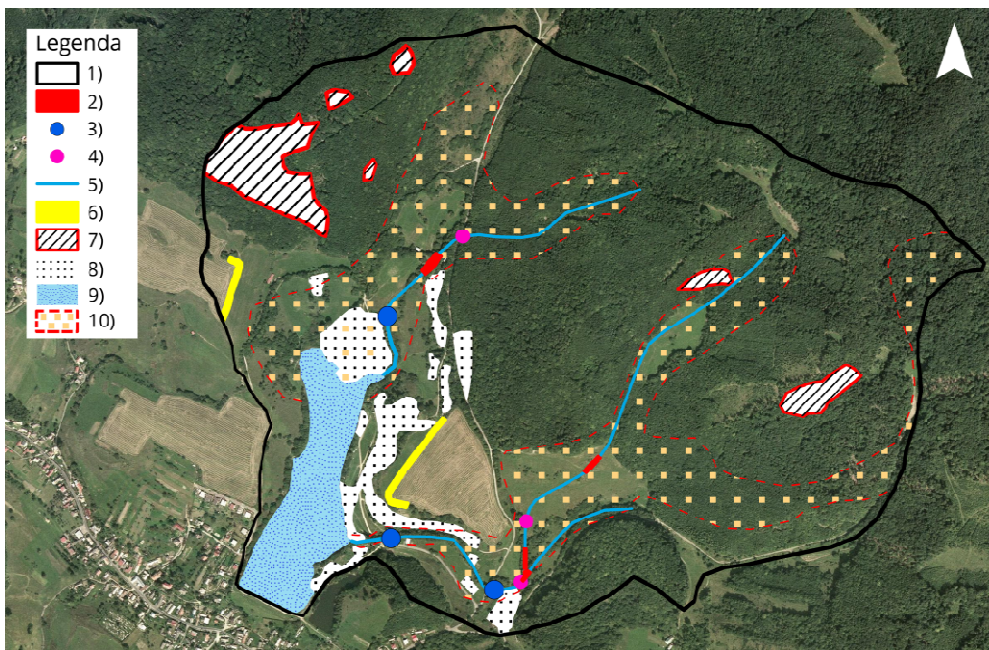
Takmer 3 % plochy územia tvorí poľnohospodárska pôda obrábaná mechanizmami. Na týchto lokalitách navrhujeme vedenie ornej línie zásadne v smere vrstevníc. Plochy v svahoch so sklonom 1° – 3° a v tesnej blízkosti vodnej plochy s odporúčanou výsadbou krovinovej etáže pri okraji poľnohospodárskej pôdy sú znázornené na obr. 4.



## Vodohospodárske opatrenia

Slovenský vodohospodársky podnik, š.p. v rámci rekonštrukčných prác na telese hrádze VN pristúpil aj k úprave a rekonštrukcii viac ako 1 km prírodných zberných jarkov, privádzajúcich vodu z okolitých svahov a vrchov. Aj týmto potvrdil dôležitosť ich zachovania a samotnej existencie. Táto rekonštruovaná časť dávno deštruovanej siete historických banských zberných jarkov nemôže byť dlhodobo funkčná bez udržania konektivity s prítokmi vyšších rádoov, musíme teda pokračovať v spriechodňovaní a rekonštrukciách vyššie proti smeru toku. Dávni konštruktéri štiavnických vodných nádrží, ako M. K. Hell, J. K. Hell, či Samuel Mikovíny si dobre uvedomovali túto spojitosť.

Vo vyústení prítokov navrhujeme vybudovanie prehrádzok a v hlavných prítokoch vybudovanie väčších sedimentačných kaziet (obr. 4). Lokalizácia ich umiestnenia bola navrhnutá s ohľadom na priestorové pomery a tak, aby nebol narušený typický krajinný obraz. Tieto kazety by mali byť pravidelne monitorované (min. 2x za rok) a obsah zachytených sedimentov podľa potreby odčatený. Na viacerých úsekoch tokov je nutné vybudovanie spevňovacích múrov zabráňujúcich abrázii brehov. Na niektorých úsekoch je možné vybudovanie menších čiastkových sedimentačných kaziet, ktoré by z časti nahrádzali funkciu vyššie odporúčaných hlavných kaziet, kompromisom môže byť prehradenie toku perforovaným múrom (prehrádzkou). Vhodné umiestnenie navrhnuté na základe terénnej pochôdzky je graficky navrhnuté na obr. 4. Pozdĺž brehovej línie odporúčame výsadbu krovín, prípadne stromov, ktoré budú plniť protieróznú a stabilizačnú funkciu, rovnako ako budú dôležitým krajinnokoologickým prvkom s dôležitým tieniacim účinkom. V miestach, kde je podložie tvorené deluviálnymi sedimentami (obr. 4) navrhujeme obmedzenie aktivít a to najmä v oblasti ťažby, či výstavby. Akékoľvek odkrytie bylinného porastu v týchto miestach môže viesť k vzniku nových erózných foriem.



**Obr. 4.** Rizikové časti a manažment. 1) hranica povodia; 2) abrázia brehov; 3) hlavné sedimentačné kazety; 4) menšie lokálne sedimentačné kazety; 5) toky; 6) odporúčaná výsadba krovínovej etáže pri okraji poľí; 7) rizikové svahy náchylné na eróziu a odnos; 8) zástavba a silný, prevažne negatívny antropický tlak; 9) vodná plocha; 10) deluviálne sedimenty

Progradujúca erózia a nekontrolovaná akumulácia sedimentov v priestore vodných nádrží je závažný problém nielen v našich podmienkach. Na priehrade Velika Dicina v Srbsku došlo za 45 rokov (1966 – 2011) k akumulácii 18750 m<sup>3</sup> sedimentov (Ristic et al., 2013). Autori za hlavnú príčinu nepriaznivého stavu považujú antropogénne pôsobenie v povodí. V nádrži Altinapa v Turecku došlo za



periódu 1967 – 2009 k zníženiu zalesnenej plochy 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). Hrúbka kalu a jemnozrnného sedimentu na návodnej strane vo vývarisku, pri umiestnení dnového výpustu často dosahuje aj niekoľko metrov (Wang et al., 2005). V jazere Dąbie (Wiśniewski a Wolski, 2005) došlo len za 34 rokov (1962 – 1996) k naplaveniu viac ako 2 m hrubej vrstvy sedimentu. V blízkosti našej záujmovej plochy, v neďalekej Belianskej vodnej nádrži došlo za 156 rokov k naplaveniu sedimentu s maximálnou hrúbkou až 4,5 metra (Kubinský a Weis, 2012).

V zmysle výsledkov štúdie na lokalite VN Klenovec (Kočícký et al., 2002) eróziu a množstvo sedimentu naplaveného do nádrže v nemalej miere ovplyvňuje aj zvýšená abrázia brehov vlnobitím. Analýze brehovej zóny, prvku podmieňujúceho eróznno-akumulačné procesy na Veľkej Kolpašskej VN sme sa venovali v štúdiu Kubinský et al., 2014. Manažment v povodí je potrebné klasifikovať komplexne, a to pre rôzne oblasti využívania (Kočícký et al., 2002, Weis a Kubinský, 2014). Z nami navrhnutých opatrení považujeme za najvýznamnejšie opatrenia na úseku lesného hospodárstva z dôvodu najväčšieho zastúpenia lesného porastu v povodí a aj to, že práve činnosťou lesných mechanizmov dochádza k najväčším škodám na už existujúcich úpravách a reguláciách. Rovnako dôležité sú ale opatrenia uplatniteľné vo vodnom hospodárstve.

Analýzou zmien v priebehu a hĺbkach dna v priestore vodnej nádrže Vaľká Kolpašská a historického vývoja jej povodia spolu s analýzou najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich odtokové pomery sme dospeli k predloženým návrhom uplatniteľným v manažmente povodia. Je pravdepodobné, že nie všetky navrhované opatrenia budú aplikované najmä z finančných dôvodov. Akékoľvek prihladenie aspoň na niektoré z nich a ich následná implementácia do praxe by priniesla pozitívny výsledok v podobe stabilizácie ekologických hodnôt samotnej VN, zníženia množstva naplavovaných sedimentov do nádrže a tým prispeli k jej záchrane. Účinnosť konkrétnych opatrení preverí až čas. Veľká Kolpašská nie je len vodná nádrž, je to taktiež významná technická pamiatka zapísaná v Zozname svetového prírodného a kultúrneho dedičstva UNESCO ako súčasť chránenej lokality s názvom „Banská Štiavnica a technické pamiatky okolia“. Taktiež je to obľúbená lokalita prímestského turizmu a rekreácie, využívaná aj na chov rýb a športový rybolov. Kvalita vody a jej fyzikálno-chemické ukazovatele ju radia k revírom s vhodnými podmienkami pre chov kaprovitých druhov rýb, rovnako aj lososovitých druhov. Tento potenciál stále nie je dostatočne docenený. Je našou povinnosťou zabrániť postupnému zániku vodnej nádrže a akémukoľvek znižovaniu kvality vody ignorovaním týchto skutočností.

## 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.
- 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.
- ČESÁK, J., ŠOBR, M. 2005: Metody batymetrického mapování českých jezer. *Geografie*, 100(3), 141-151.
- DEUTSCH, C.V. 2002: *Geostatistical Reservoir Modeling*. New York (Oxford University Press), 376 p.
- DOST, R., MANNAERTS, C. 2008: *Generation of Lake Bathymetry Using Sonar, Satellite Imagery and GIS*. <[http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc08/papers/papers/pap\\_1110.pdf](http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc08/papers/papers/pap_1110.pdf)>.
- ELÇI, Ş., BOR, A., ÇALIŞKAN, A. 2009: Using numerical models and acoustic methods to predict reservoir sedimentation. *Lake and Reservoir Management*, 25, 297-306.
- EUROSENCE, 2006: Letecké meračské snímky.
- FUSKA, J., LEITMANOVÁ, M. 2012: Tvorba DMR dna vodnej nádrže v súčasnom stave. *Slovenská poľnohospodárska knižnica pri SPU v Nitre*. <<http://www.slpk.sk/eldo/2012/zborniky/014-12/fuska.pdf>>.
- GALIA, T., HRÁDECKÝ, J. 2010: Úvod do problematiky transportu dnových sedimentů beskydských vysokogradientových toků. In: *Geografie pro život ve 21. století: Sborník příspěvků z XXII. sjezdu České geografické společnosti pořádaného Ostravskou univerzitou v Ostravě 31. srpna – 3. září 2010*. Ostrava (Ostravská univerzita v Ostravě), pp. 43-48.
- GALIA, T., HRÁDECKÝ, J. 2011: Bedload transport and morphological effects of high-magnitude floods in small headwater streams – Moravskoslezské Beskydy Mts. (Czech Republic). *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 59(4), 238-250.

- GELLIS, A.C., WEBB, R. M. T., MCINTYRE, S. C., WOLFE, W. J. 2006: Land-Use Effects on Erosion, Sediment Yields, and Reservoir Sedimentation: A Case Study in the Lago Loíza Basin, Puerto Rico. *Physical Geography*, 27, 39-69.
- HYDROCONSULT, 1991: *Banskoštiavnická oblasť – správa*. Štúdia. Bratislava, 164 s.
- CHILDS, J. R., SNYDER, N. P. & HAMPTON, M. A. 2003: *Bathymetric and geophysical surveys of Englebright Lake*. USGS Geoscience data. <<http://tinyurl.com/mybzq7t>>.
- CHOIŃSKI, A., PTAK, M. 2009: Lake Infill as the Main Factor Leading to Lake's Disappearance. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18, 347-352.
- ISAAK, H. E., & SRIVASTAVA, R. M. 1989: *Introduction to Applied Geostatistics*. New York (Oxford University Press), 561 p.
- JANSKÝ, B. 1976: Mladotické hrozené jezero – geomorfologie sesuvných území. *Acta Universitatis Carolinae – Geographica*, 11(1), 3 – 18.
- JANSKÝ, B. 1977: Mladotické hrozené jezero – morfografické a hydrografické poměry. *Acta Universitatis Carolinae – Geographica*, 12(1), 31 – 46.
- JANSKÝ, B., URBANOVÁ, H. 1994: Mladotice Lake (Czech Republic) – siltation dynamics in the lake basin. *Acta Universitatis Carolinae – Geographica*, 29(2), 95-109.
- JANSKÝ, B. 2003: Dynamika zanášení Mladotického jezera. In: Janský, B., Šobr, M. a kol. eds. *Jezera České republiky*. Praha (Katedra fyzické geografie a geoekologie, PíFUK), pp. 65-70.
- JANSKÝ, B., SCHULTE, A., ČESÁK, J., RIOS ESCOBAR, V. 2010: The Mladotice Lake, western Czechia: The unique genesis and evolution of the lake basin. *Geografie*, 115(3), 247-265.
- 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.
- KOČICKÝ, D., PAUK, J., KOČICKÁ, E., GARGALOVIC, R., VÁGÓ, Z., VAZAN, V., WEIS, K. 2002: *Eróznio-sedimentačné procesy na VN Klenovec*. Banská Štiavnica (Esprit s. r. o.), 155 p.
- KLAUČO, M., GREGOROVÁ, B. 2011: Regional development and tourism through landscape ecological planning. In: *Możliwości finansowania rozwoju jednostek samorządu terytorialnego w Polsce, Zeszyty naukowe 31*. Wrocław (Wyższa szkoła zarządzania i finansów we Wrocławiu), pp. 131-155.
- 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*. The Central Nebraska Public Power and Irrigation District. <<http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5040/sir2005-5040.pdf>>.
- KUBINSKÝ, D., 2013: Využitie gis pri analýze zmien vodných nádrží - ukázková štúdia na Veľkej Kolpašskej vodnej nádrži. *Fórum mladých geoinformatikov 2013, Recenzovaný zborník*.
- KUBINSKÝ, D., LEHOTSKÝ, M., WEIS, K. 2014: 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(1), 171-178.
- KUBINSKÝ, D., WEIS, K. 2014: Analýza zmien objemu vodných nádrží ako podklad pre manažment v povodiach – ukázková štúdia na Belianskej vodnej nádrži. *Acta geographica Universitatis Comenianae*, 57, 117-134.
- ODHIAMBO, B.K., BOSS, S.K. 2004: Integrated echo sounder, GPS, and GIS for reservoir sedimentation studies: Examples from two Arkansas Lakes. *Journal of the American Water Resources Association*, 40, 981-997.
- PAUK, J., MIKLÓS, L., TREMBOŠ, P. 1997: *Vývoj eróznio-sedimentačných procesov vodnej nádrže Ružín, Čiastková správa D – Krajinnoekologické princípy ochrany nádrže pred zanášaním*. Banská Štiavnica (Esprit, s. r. o.), 46 p.
- PRADHAN, D., ANCEV, T., DRYNAN, R., HARRIS, M. 2011: Management of Water Reservoirs (Embungs) in West Timor, Indonesia. *Water Resources Management*, 25, 339-356.
- RISTIĆ, R., LJUJIĆ, M., DESPOTOVIĆ, J., ALEKSIĆ, V., RADIĆ, B., NIKIĆ, Z., MILČANOVIĆ, V., MALUŠEVIĆ, I., RADONJIĆ, J. 2013: Reservoir sedimentation and hydrological effects of land use changes-case study of the experimental Dičina river watershed. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(1), 91-98.
- ŠKARPICH, V., GALIA, T., HRÁDECKÝ, J., PEČ, J. 2010: Identifikace (dis)konektivit vodních toků za využití makrogranulometrické analýzy korytových sedimentů (Moravskoslezské Beskydy). *Geol. výsk. Mor. Slez. v r. 2010*, 199-204.

- SMOLKOVÁ, V., PÁNEK, T., HRÁDECKÝ, J. 2009: Holocene sedimentation dynamics and average catchment denudation acquired from the sedimentary basins of the landslide-dammed lakes in the Flysch Carpathians. In: *Geomorfologický sborník 8: Sborník abstraktů*. Plzeň (Západočeská univerzita v Plzni, Česká asociace geomorfologů), s. 52.
- TOPOGRAFICKÝ ÚSTAV BANSKÁ BYSTRICA, 2014: *Historické letecké meračské snímky z roku 1949*.
- WEBSTER, R., OLIVER, M. 2001: *Geostatistics for Environmental Scientists*. New York (John Wiley and Sons), 330 p.
- WIŚNIEWSKI, B., WOLSKI, T. 2005: Changes in Dąbie Lake bathymetry in the period 1962 – 1996. *Limnological Review*, 5, 255-262.
- WEIS, K., KUBINSKÝ, D. 2014: Analýza zmien objemu Halčianskej vodnej nádrže vplyvom erózie ako podklad pre manažment v povodí. *Geografie*, 119(2), 126-144.
- YESUF, H. M., ALAMIREW, T., MELESSE, A. M., ASSEN, M. 2012: Bathymetric Mapping for Lake Hardibo in Northeast Ethiopia Using Sonar. *International Journal of Water Sciences*, 2012, 1, 1-9.
- YUN, H.S. & CHO, J.M. 2011: Hydroacoustic application of bathymetry and geological survey for efficient reservoir management. *Journal of the Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography*, 29, 2, 209-217.

**Autori ďakujú Slovenskému vodohospodárskemu podniku š.p. za poskytnutie historických mapových dokumentov. Práca vznikla v rámci riešenia grantu UGA-I-11-005-08, poskytnutý Fakultou prírodných vied, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, a VEGA 2/0106/12.**

## **Change in Storage Volume of Veľká Kolpasska Water Reservoir as Result of Erosion and Sedimentation and Proposals to Modify Management Activities in own Watershed**

Daniel KUBINSKÝ, Karol WEIS, Milan LEHOTSKÝ

**Summary:** The Veľká Kolpašská reservoir is an important source of surface water with great retention capacity. The paper is focused on the analysis of the retention characteristics of the Veľká Kolpašská water reservoir. Using modern geodetic technologies (sonar and GPS) we obtain the actual bathymetric data. Historical bathymetric data were obtained from historical maps from 1889. Results of comparison bathymetric data from 1889 and 2012 showed 57.801 m<sup>3</sup> of sediments deposited in the course of 123 years that reduced the storage capacity of the reservoir by 7.23%. Analysis of changes in land cover in the watershed for a period of 64 years (comparison of historical and current aerial map ) we see that there is a positive increase of forest cover by 9.7% , but also to an increase in built-up area of 1%. Area is located nearby to the water surface, as viewed negatively. Comparing changes in the watershed and field research we identify risk part liable to erosion. In consequence were proposed management at water management, forestry, agriculture and population level, building-up and other factors. Systematic research of infilling water reservoirs is important for understanding the dynamics of processes occurring in the watershed, as well as for understanding their causes. Not only allows knowing detail the specific conditions in the watersheds, but quantitatively comparing the volumes and quantities of alluvial material in the reservoirs at different times. This is the only way to predict the next development, the only way to be on time to avoid negative consequences. To activities like water reservoirs research into the need to invest time and convert regular monitoring. Water management system in Banská Štiavnica is unique not only known in Slovakia, but throughout the world. It is part of the world cultural and natural heritage UNESCO. We need protect this unique work and preserved for future generations.

**Tab. 1.** Orientation of the slopes and their shares in the categories

**Tab. 2.** Slope angles and their shares in the categories

**Tab. 3.** Categories of secondary landscape structure and their shares

**Fig. 1.** Localization of the water reservoir within Slovakia

**Fig. 2.** Secondary landscape structure in the basin in 1949: 1) boundary of the basin; 2) water area; 3) roads; 4) watercourses; 5) arable land; 6) built-up area; 7) forest cover; 8) non-forest woodz vegetation; 9) meadows

**Fig. 3.** Secondary landscape structure in the basin in 2014: 1) boundary of the basin; 2) water area; 3) roads; 4) watercourses; 5) arable land; 6) built-up area; 7) forest cover; 8) non-forest woodz vegetation; 9) meadows

**Fig. 4.** Risk areas and management: 1) boundary of the basin; 2) abrasion of the banks; 3) main deposits of sediments; 4) smaller local deposits of sediments; 5) watercourses; 6) recommended shrub planting areas on the edges of fields; 7) slopes with a risk of erosion and denudation; 8) built-up areas and strong, mainly negative anthropogenic impact; 9) water area; 10) diluvial sediments

---

**Adresy autorov:**

RNDr. Daniel Kubinský

Katedra biológie a ekológie, FPV UMB

Tajovského 40, 974 01, Banská Bystrica

[posta@dkubinsky.sk](mailto:posta@dkubinsky.sk)

RNDr. Karol Weis, PhD.

Katedra geografie, geológie a krajinnej ekológie, FPV UMB

Tajovského 40, 974 01, Banská Bystrica

[karol.weis@umb.sk](mailto:karol.weis@umb.sk)

RNDr. Milan Lehotský, CSc.

Geografický ústav SAV

Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

[geogleho@savba.sk](mailto:geogleho@savba.sk)