

ANALÝZA ZANÁŠANIA VD VEĽKÉ KOZMÁLOVCE

Ing. Valentín Sočuvka, Ústav hydrológie SAV, Bratislava

Erózia, transport a ukladanie sedimentov v prostrediach vodných nádrží predstavuje závažný vodohospodársky problém, hlavne v súvislosti so znižovaním akumulačného priestoru. Zanášanie nádrží ako následok antropogénnych zásahov a výstavby na vodných tokoch sprevádza vodné hospodárstvo už niekoľko desaťročí. Na území Slovenska sa nepriaznivé následky zanášania nádrží začali výraznejšie prejavovať v 60-tych rokoch minulého storočia, najmä na Krpelianskej a Hričovskej nádrži na Vážskej kaskáde. V súčasnosti sú výrazne zasiahnuté najmä Čunovská zdrž na rieke Dunaj a VD Veľké Kozmálovce. Príspevok predkladá opis dvoch metodík merania, porovnáva výsledky zamerania batymetrie VD Veľké Kozmálovce medzi rokmi 2012 – 2016 a analyzuje vodohospodárske opatrenia, ktoré boli vykonané na zamedzenie zanášania. Prínosom príspevku je nový postup riešenia problému, postavený na využití modernej meracej techniky a spracovanie nameraných výsledkov využitím 3D modelovania v softvérových programoch GIS.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: sedimenty, batymetria, akumulačný priestor, GIS

Úvod

Detailné vedomosti o vlastnostiach a priestorovom rozložení dnových sedimentov predstavujú dôležitú informáciu pre mnoho aplikácií v oblasti hydrológie, geomorfológie, geológie a vodohospodárskeho manažmentu (Sočuvka, Velísková, 2015). V rámci Slovenskej republiky jednu z najzávažnejších problematik predstavuje zanášanie vodných nádrží a riek dnovými sedimentmi. Medzi najviac zasiahnuté vodné diela (VD), na ktorých prebiehajú intenzívne erózo-sedimentačné procesy patrí VD Veľké Kozmálovce. Už od začatia prevádzky v roku 1988 je na VD pozorované enormné ukladanie dnových sedimentov, ktorého dôkazom je pomerne rýchla a permanentná strata disponibilného objemu zdrže. Dlhodobý monitoring a správne stanovenie objemu dnových sedimentov je základným predpokladom pre návrh efektívnych ochranných opatrení, a zároveň nevyhnutnou podmienkou, aby vodné dielo plnilo svoj účel a funkciu aj v dlhodobom horizonte. V období rokov 2012 až 2016 boli realizované hydrografické prieskumy na lokalite VD Veľké Kozmálovce pomocou hydrografického mapovacieho zariadenia Trimble Pathfinder a prístroja AUV EcoMapper (Autonomous Underwater Vehicle). Obsahom tohto príspevku je popis metodiky merania a analýza výsledkov meraní.

Charakteristika vybranej lokality

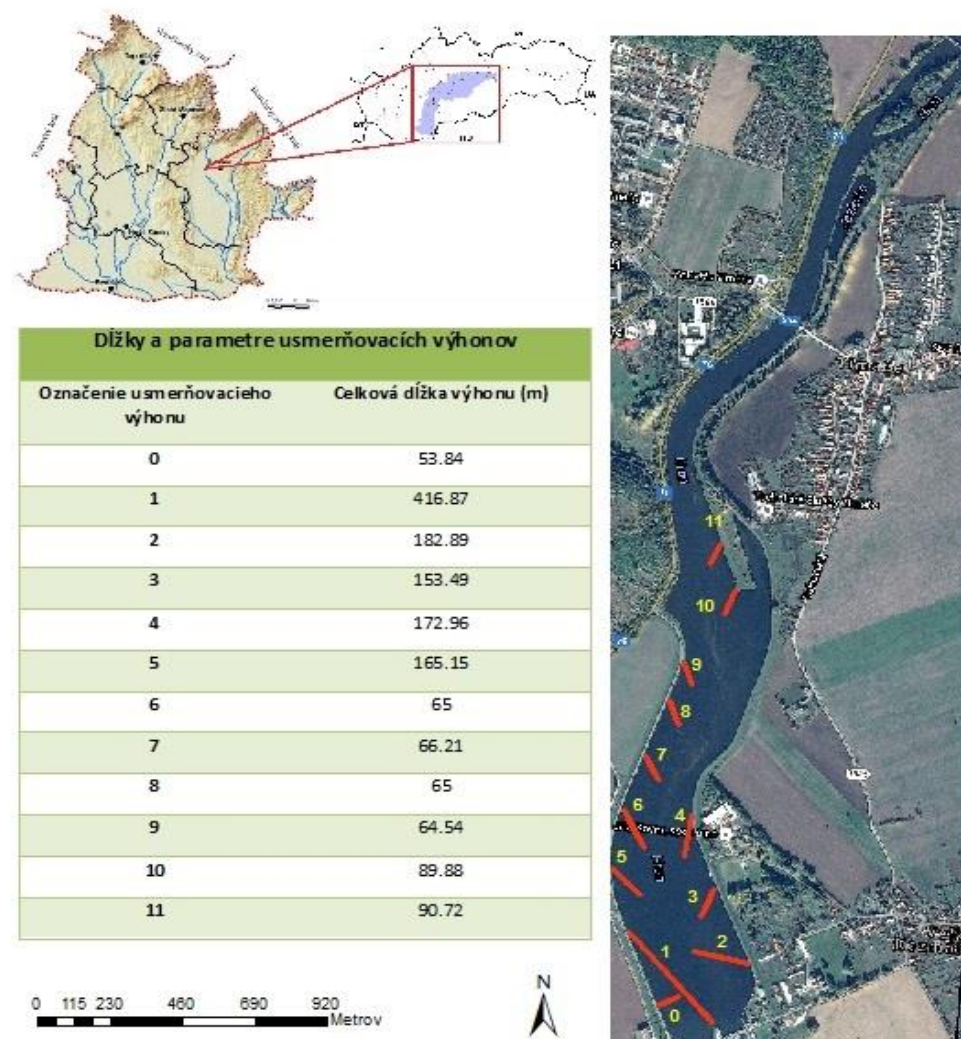
Vodná nádrž Veľké Kozmálovce sa nachádza v povodí rieky Hron, ktorú charakterizuje 284 km dlhá riečna sieť s prevažne krátkymi prítokmi. Okolie vybranej lokality z geografického hľadiska začleňujeme k severovýchodnej časti Podunajskej nížiny, ktorú od severu ohraničujú Štiavnické vrchy. Klimaticky patrí táto oblasť k najteplejším v rámci podmienok Slovenskej republiky. Povodie má značne pretiahnutý tvar z dôvodu veľmi úzkych kotlín s vysokými pohoriami po oboch stranách. Po geologickej stránke je územie povodia rieky Hron tvorené horninami neogénu – kvartérnych bazénov, neogénno-kvartérnych vulkanitov, mezozoika a kryštalinika (Lukniš a kol., 1974). Geomorfologicky je vybraná lokalita časťou tzv. Hronskej nivy, ktorá predstavuje pomerne jednotvárne ploché územie, rozčlenené lokálne hlbšími eróznymi ryhami a ramenami Hrona. Podzemné vody v oblasti VD Veľké Kozmálovce sú tvorené kvartérnymi náplavami poriečnej nivy, ktoré sú charakterizované vysokým stupňom zavodnenia. Hladina podzemných vôd je voľná, resp. veľmi mierne napätá s hĺbkou 2 - 4 metre pod povrchom terénu. Priemerná hladina podzemných vôd sa na základe inžiniersko-geologického prieskumu nachádza na kóte 171,8 m n. m.

Hlavným účelom VD Veľké Kozmálovce je zabezpečenie dostatku vody pre jadrovú elektráreň Mochovce, ktorá má strategický význam v oblasti energetiky. Vodné dielo slúži taktiež na krátkodobé vyrovňovanie prítokov Hrona a závlahové odbery do kanála Perec. Od začatia overovacej prevádzky v roku 1988 je v zdrži pozorované enormné ukladanie sedimentov, ktoré sú transportované z vyššie položeného územia v povodí vodného toku Hron (Žiak, 2012). Hodnoteniu zanášania VD Veľké Kozmálovce sa už v predchádzajúcom období venoval kolektív autorov z VÚVH (Holubová a kol., 2002). Autori stanovili zmenšenie pôvodného objemu nádrže oproti roku 1990 o 38 %. Na základe týchto zistení bola v roku 2007 vypracovaná štúdia

„Vypracovanie alternatívnych návrhov odstránenia dnových sedimentov zo zdrže vodnej stavby Veľké Kozmálovce, vrátane opatrení pre zamedzenie usadzovania sedimentov v zdrži na základe predložených zadávacích podmienok“ (Lukáč, 2007). Výsledkom štúdie bolo konštatované, že v prípade zdrže Veľké Kozmálovce bude potrebné navrhnuť kombináciu opatrení, ktorých cieľom je obmedzenie negatívnych dôsledkov jej zanášania na prijateľnú mieru a zlepšenie súčasného stavu (Žiak, 2012). Medzi hlavné opatrenia, ktoré boli na základe tejto štúdie realizované v roku 2011 patrí:

- mechanické odstránenie nánosov z dna zdrže (celkovo bolo odťazené 130 000 m³ nánosov),
- výstavba smerových líniových stavieb na usmernenie sedimentácie a koncentráciu prietoku.

Koordinačná situácia a umiestnenie smerových líniových stavieb



Obr. 1. Lokalita vodnej nádrže Veľké Kozmálovce a umiestnenie líniových stavieb.

Fig. 1. Locations of the WR Veľké Kozmálovce and situation of line constructions

Materiál a metódy

Hydrografický prieskum VD Veľké Kozmálovce prebiehal v dvoch etapách, v roku 2012 a v roku 2016. Pre samotný zber údajov boli použité hydrografické mapovacie zariadenia Trimble Pathfinder (2012) a AUV prístroj EcoMapper (2016). Princíp fungovania sonarových prístrojov je založený na vysielaní krátkych akustických impulzov s frekvenciou 10 až 500 kHz, ktoré sa odrážajú od dna a na základe vyhodnotenia doby odrazu, sily a frekvenčnej charakteristiky je možné zostaviť podrobné batymetrické alebo topografické mapy. Samotné informácie o súčasnom stave dna vodnej nádrže sú tvorené údajmi zo súborov bodov ležiacich na jej dne, ktoré sú definované pomocou súradníc $\{x, y, z\}$ v určitom polohopisnom súradnicovom systéme.

Trimble Pathfinder

Meranie v roku 2012 bolo realizované pomocou systému Trimble Pathfinder, ktoré využíva prijímač GNSS (globálny navigačný satelitný systém) s korekciami (spresnením polohy do 0,2 m) v reálnom čase z družice Omnistar. Na zaznamenanie dát bol použitý datalogger Trimble TSC1, čo je zariadenie s voliteľnými komunikačnými systémami medzi jednotlivými zariadeniami, primárne slúžiaci na zber dát. Meranie batymetrie dna bolo uskutočnené pomocou združeného zariadenia Ohmex SonarMite a Trimble Juno SB. Ohmex SonarMite je hydrografické mapovacie zariadenie s presnosťou 0,025 m. Zariadenie vysiela lúč s frekvenciou 235 kHz a na základe odrazu od dna sa vracia späť a následne pomocou algoritmov ukladá údaj o hĺbke, pričom je tento sonar spojený s GNSS zariadením Trimble Juno SB. Hydrografické zariadenie bolo osadené na nafukovacom člne Kolibri. Počas merania plavidlo kopírovalo pripravený plán trajektórie, ktorý bol vopred importovaný do GNSS prijímača. Na každej meranej trajektórii bol v časovom intervale 2 sekundy uložený údaj o hĺbke, a taktiež o presnej polohe v súradnicovom systéme WGS-84. Na základe tohto merania vznikla hustá sieť bodov, ktorá v požadovanej miere opisuje batymetriu dna akumulácie nádrže (obr. 4). Celkový počet zozbieraných hĺbkových a polohových bodov počas merania v roku 2012 bol 18471.

AUV EcoMapper

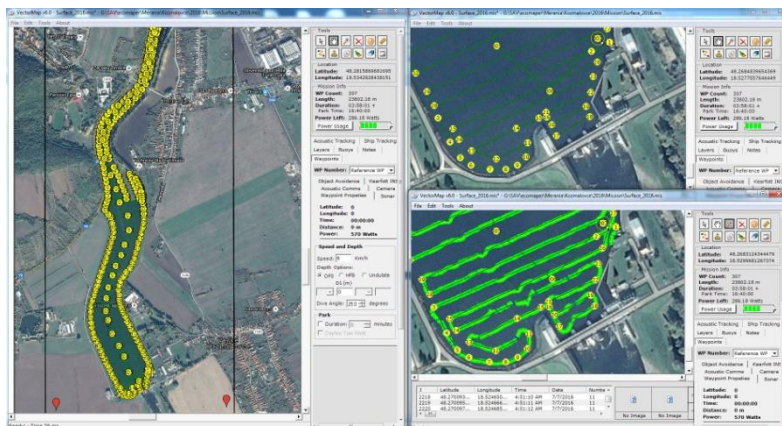
Pre hydrografický prieskum a zber údajov v roku 2016 bol použitý prístroj AUV EcoMapper. Jedná sa o hydrografické mapovacie zariadenie, ktoré je schopné samostatne sa pohybovať na povrchu a pod povrchom vodnej hladiny, vykonávať zber hĺbkových údajov a kvalitatívnych parametrov vody. Zariadenie EcoMapper tvorí hardvérová časť (obr. 2) a softvérová časť, ktorá sa používa na programovanie meraní, a zároveň aj pre čiastkové analýzy nameraných údajov. Z konštrukčného hľadiska zariadenie EcoMapper tvoria 3 hlavné sekcie. V prednej sekcii sú umiestnené senzory, ktoré slúžia na meranie kvalitatívnych parametrov vody, tlakový senzor a DVL senzor (Dopler Velocity Log), ktorý slúži pre navigáciu zariadenia pri meraniach pod vodnou hladinou. Stredná časť zahŕňa elektronické komponenty, batériu a integrovanú palubnú jednotku. V zadnej sekcii je umiestnený propeler a GPS anténa, ktorá slúži na navigáciu počas povrchových meraní. EcoMapper počas merania (misie) zhromažďuje v sekundových intervaloch vopred zadané parametre, ku ktorým sú automaticky priradené georeferenčné dáta (zemepisná šírka, dĺžka). Meranie hĺbky dna (batymetrie) sa uskutočňuje pomocou integrovaného viac-lúčového sonaru. Zariadenie využíva frekvenciu 500 kHz a má presnosť meraní $\pm 0,003$ m. Merania je možné uskutočňovať vo vodných útvaroch s hĺbkou od 0,5 m do 100 m. Meranie kvalitatívnych parametrov vody zahŕňa informácie o konduktivite, teplote vody, rozpustenom kyslíku, zákale, pH, oxidačno-redukčnom potenciáli, chlorofyle, salinite a pod.



Obr. 2. YSI EcoMapper bočný pohľad (YSI,2009)
Fig. 2. YSI EcoMapper side view (YSI,2009)

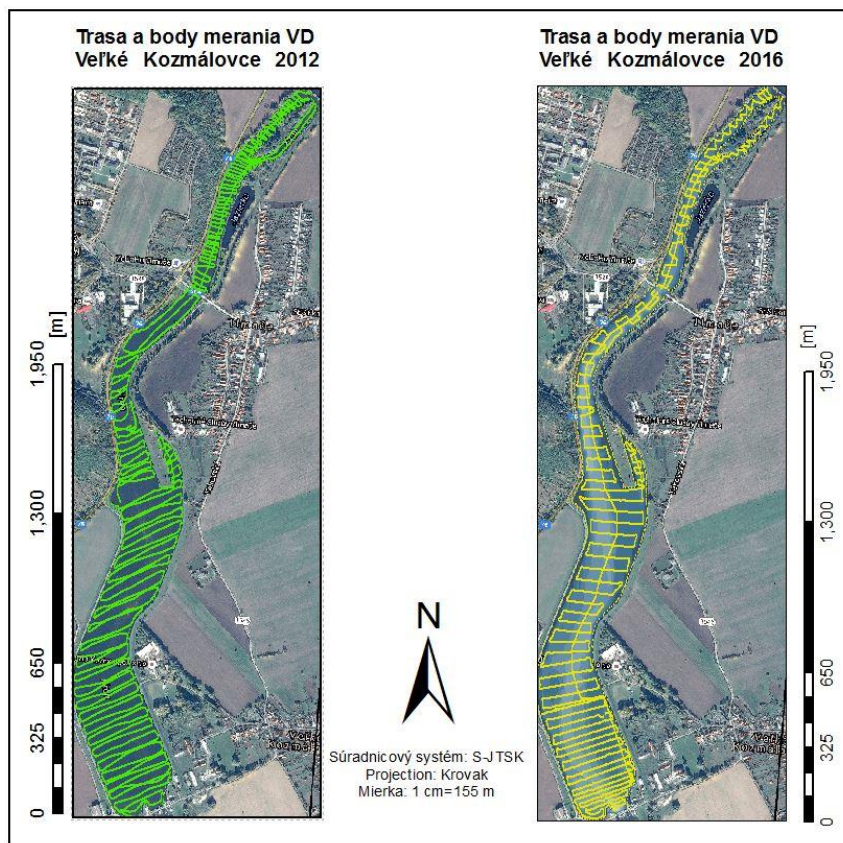
Meranie pomocou prístroja EcoMapper je založené na princípe sledovania vopred pripraveného plánu trasy, tzv. misie, ktorá je vytváraná v softvérovom prostredí VectorMap. Plánovanie misie zahŕňa nastavenie navigačných bodov a vzdialeností medzi navigačnými bodmi (obr. 3), hĺbky ponorov, rýchlosti merania, nastavenia požadovaného monitorovania kvalitatívnych parametrov a nastavenia opatrení pre bezpečný návrat prístroja na zadané stanovisko. Výstupom je ASCII súbor misie, ktorý je odoslaný do riadiacej jednotky EcoMapperu pred začiatkom misie (Sočuvka - Velísková, 2015). Po spustení merania AUV prístroj pracuje nezávisle od užívateľa a na navigáciu využíva integrovaný GPS s korekciami EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service, resp. v Amerike používaným systémom WASS). Ak meranie zahŕňa taktiež prieskum pod hladinou vody, na navigáciu sa využíva protokol DVL, ktorý slúži na zlepšenie presnosti navigácie pod vodou.

Počas celého priebehu merania AUV prístroj sleduje trasu podľa vopred naprogramovaných bodov, ktoré sú číselne označené (obr. 3). Po dokončení meranie je možné namerané dáta odoslať do riadiacej jednotky a počítača.



Obr. 3. *Príprava misie na VD Veľké Kozmálovce v softvérovom programe VectorMap.*
Fig. 3. *Mission planning on WD Veľké Kozmálovce in software program VectorMap*

Prvým krokom pri plánovaní trasy misie je georeferencovanie satelitnej snímky alebo iného mapového podkladu v softvérovom prostredí. Pri georeferencovaní bol použitý súradnicový systém WGS 1984/ UTM 33N. Georeferencovaná snímka bola importovaná do softvérového programu Vector Map, v ktorom bola vytýčená trasa merania pomocou zadávaných bodov. Počas misie bolo celkovo použitých 307 navigačných bodov (obr. 3). Body boli umiestnené tak, aby kopírovali brehovú čiaru VD. Po zadaní navigačných bodov vznikli priečne profily, ktoré mali odstup 15 až 20 metrov. Celková dĺžka merania bola 23802,18 m. Rýchlosť prístroja EcoMapper bola nastavená na hodnotu 6,0 km.h⁻¹ pričom meranie trvalo 3:58 hod. Interval zberu kvalitatívnych údajov a údajov o hĺbkach bol nastavený na 1 sekundu. Celkový počet zozbieraných údajov počas merania na vodnej hladine bol 18 656 pre každý meraný parameter.

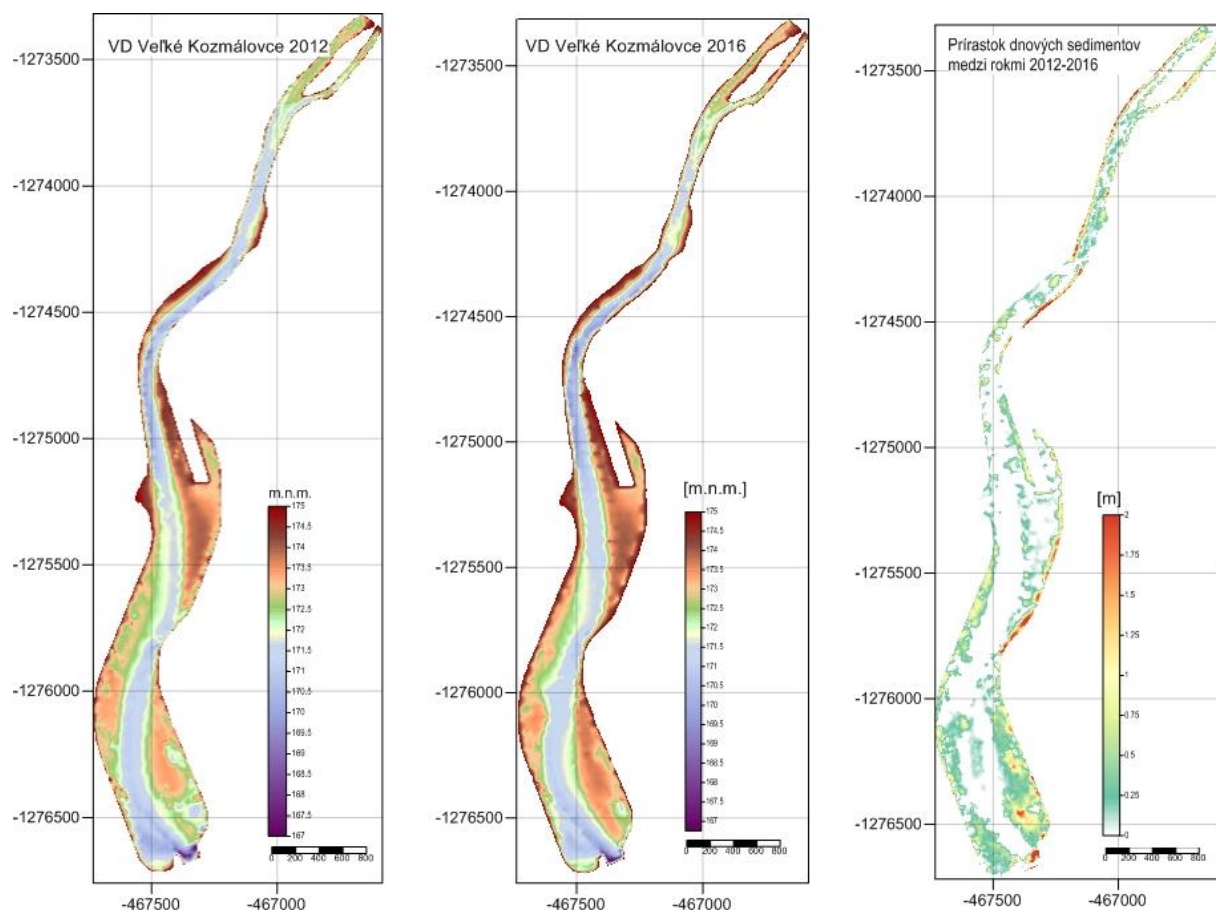


Obr. 4. *Sieť bodov a trasa zamerania sedimentov v softvérovom programe ArcMap 10.1.*
Fig. 4. *The network of sediment points in software program ArcMap 10.1.*

Výsledky a diskusia

Pre dosiahnutie cieľa v podobe správneho určenia zmien objemu a priestorového rozloženia sedimentov na VD Veľké Kozmálovce bol zvolený nasledovný postup. Keďže predchádzajúce merania a výsledky zamerania VD Veľké Kozmálovce boli prezentované v súradnicovom systéme S-JTSK, prvým krokom pri spracovaní nameraných údajov bola konverzia nameraných dát zo súradnicového systému WGS 84. Na konverziu dát bol použitý program Univcol 3.6 (Universal Column Calculator), ktorý svojimi možnosťami je orientovaný na prácu s údajmi, ktoré majú zadané súradnice. Okrem matematických operácií so stĺpcami umožňuje sortovanie dát, zobrazuje základnú štatistiku, prepočítava súradnicové systémy, filtruje dáta, počíta závislosť a formátuje výstup (Marušiak, 2014). Súčasne s prepočtom súradnicového systému bol uskutočnený aj prepočet hĺbkových údajov. Hĺbkový údaj bol odpočítaný od aktuálneho vodného stavu hladiny H, ktorý mal počas merania v roku 2012 hodnotu 174,95 m. n. m a v roku 2016 hodnotu 174,90 m. n. m. Hodnota absolútnej výšky vodnej hladiny v čase merania bola poskytnutá Slovenským vodohospodárskym podnikom.

Pre správnu tvorbu modelu dna je dôležité určiť brehovú líniu, a zároveň zadefinovať jej nadmorskú výšku. Na tento účel bol využitý program ArcMap 10.1, kde do vopred georeferencovaného rastra boli pridané body kopírujúce brehovú líniu. Následne týmto bodom boli pomocou funkcie Calculate Geometry priradené súradnice a nadmorská výška. Dáta z oboch časových období boli súbežne spracované v softvérovom prostredí Surfer 11 (Golden Software) a ArcGIS 10.1 (ESRI).

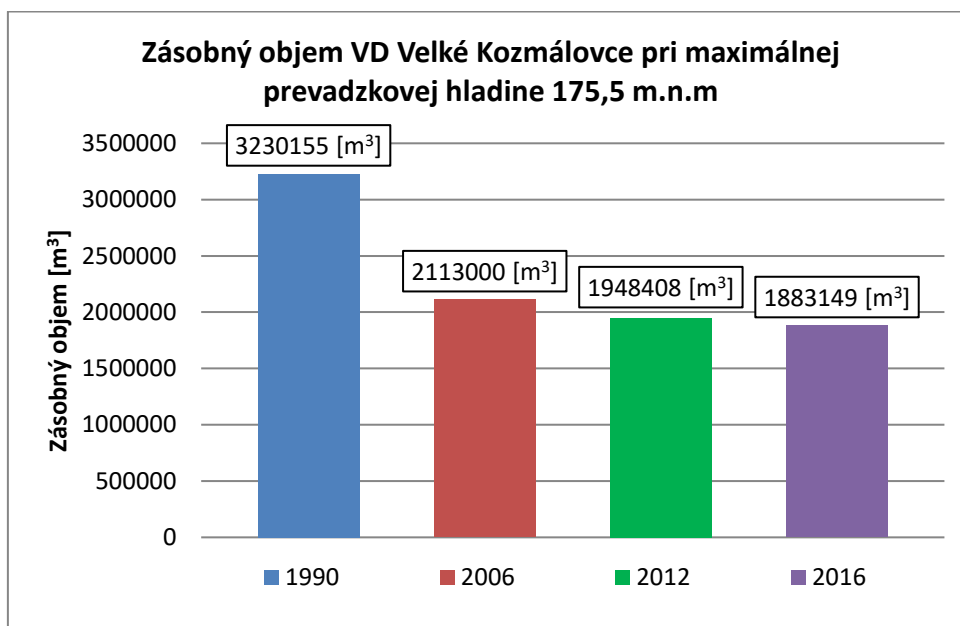


Obr. 5. Digitálny model terénu VD Veľké Kozmálovce v softvérovom programe Surfer11

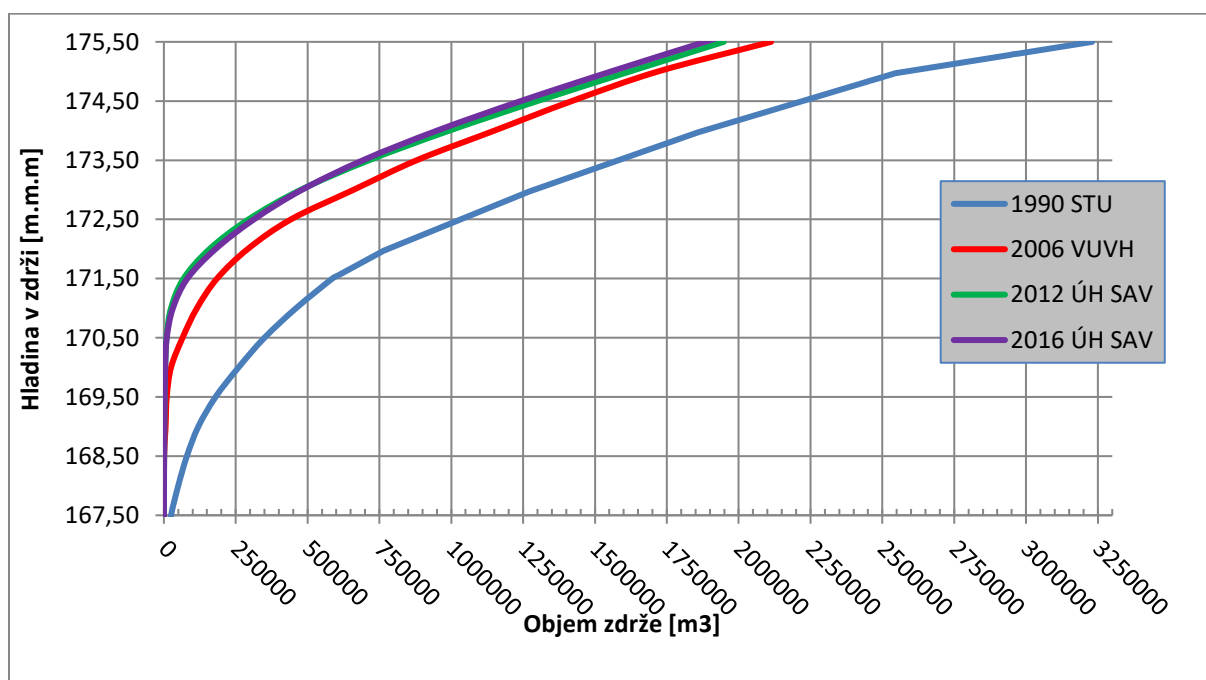
Fig. 5. Digital terrain model of VD Veľké Kozmálovce in software program Surfer 11

Pre tvorbu modelu v softvérovom prostredí Surfer 11 bola využitá interpolačná metóda Kriging, pomocou ktorej boli vygenerované gridy s rozmerom bunky 1×1 m. Geometria okolia použitého pre výpočet konkrétnej hodnoty bola zvolená ako kruhová. Polomer bol stanovený tak, aby účinné okolie interpolácie zahŕňovalo dostatok bodov priestoru s možnosťou autokorelácie. Interpoláciou boli získané dva modely územia, ktoré zobrazujú situáciu na VD Veľké Kozmálovce v roku 2012 a 2016 (obr. 5). Vzájomným odčítaním oboch

modelov funkciou Grid/Volume bol od modelu súčasného stavu (Upper Surface, 2016) odpočítaný model zachytávajúci stav v minulosti (Lower Surface, 2012), čoho výsledkom bolo vyjadrenie rozdielu oboch modelov, teda objemu naplavených sedimentov. Táto funkcia bola taktiež využitá pre výpočet zásobného objemu VD Veľké Kozmálovce pri rôznych výškach vodnej hladiny, pričom výpočet objemu bol realizovaný pomocou troch klasických numerických integračných algoritmov v softvéri Surfer 11 (Extended Trapezoidal Rule, Extended Simpson's Rule, Extended Simpson's 3/8 Rule). Za výslednú hodnotu považujeme aritmetický priemer troch vypočítaných metód (Kubinsky, Weiss, 2013). Celkový zásobný objem VD Veľké Kozmálovce pri maximálnej prevádzkovej hladine 175,5 m. n. m a jeho vývoj od roku 1990 po súčasnosť je znázornený na obr. 7.

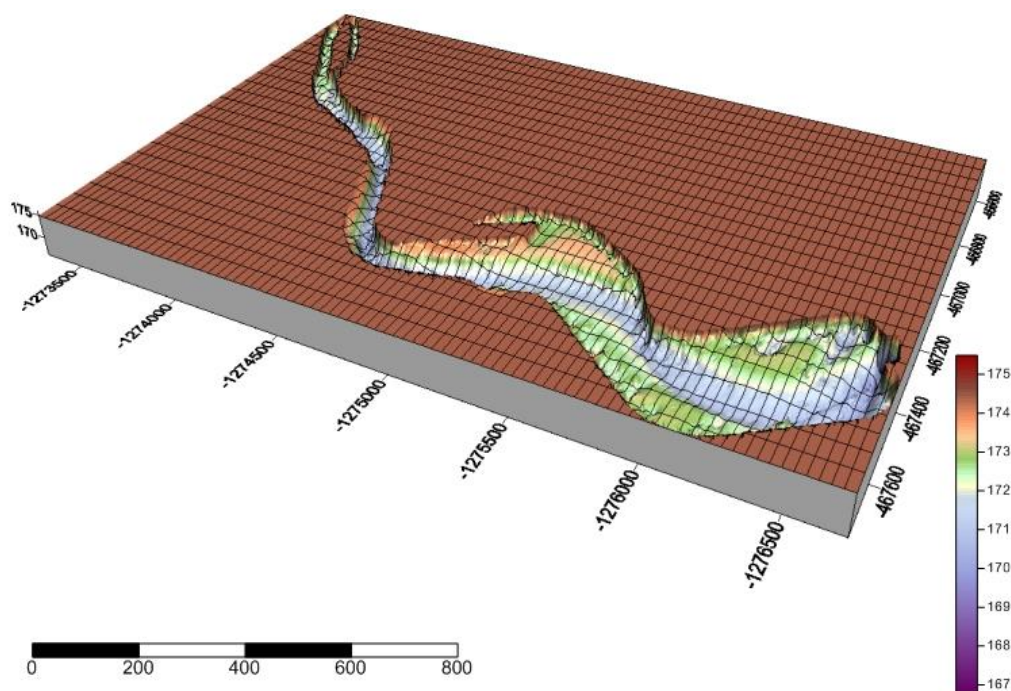


Obr. 6. Zásobný objem VD Veľké Kozmálovce pri maximálnej hladine 175,5 m. n. m
Fig. 6. Volume capacity of WD Kozmálovce for maximum water level 175.5 m. n. m

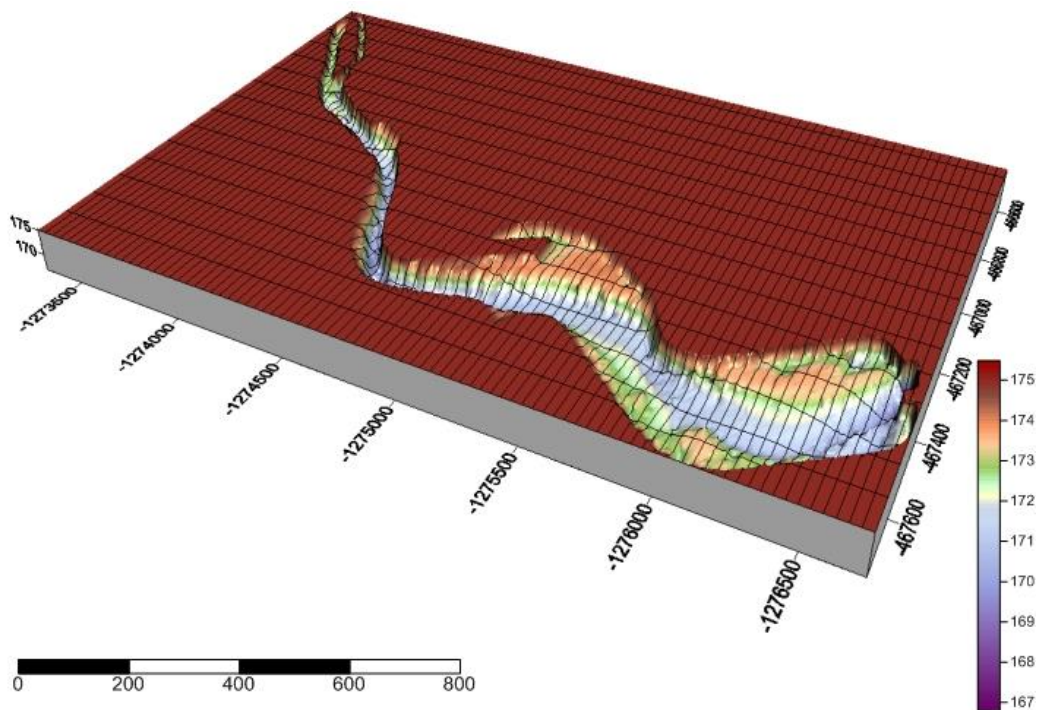


Obr. 7. Vývoj objemu VD Veľké Kozmálovce- vplyv zanášania
Fig. 7. Trends in the volume of the WD Veľké Kozmálovce - impact of sediment fouling

Ďalším krokom bolo vytvorenie 3D modelu reliéfu dna VD Veľké Kozmálovce. Z meraných dát – bodov $\{x, y, z\}$ boli zhotovené modely reliéfu dna. Digitálne modely boli vytvorené vo vektorovom formáte s rozmerom bunky 1 x 1 m (nástrojom *3D Surface*). Obrázky 8 a 9 znázorňujú 3D model reliéfu dna v roku 2012, respektíve v roku 2016.



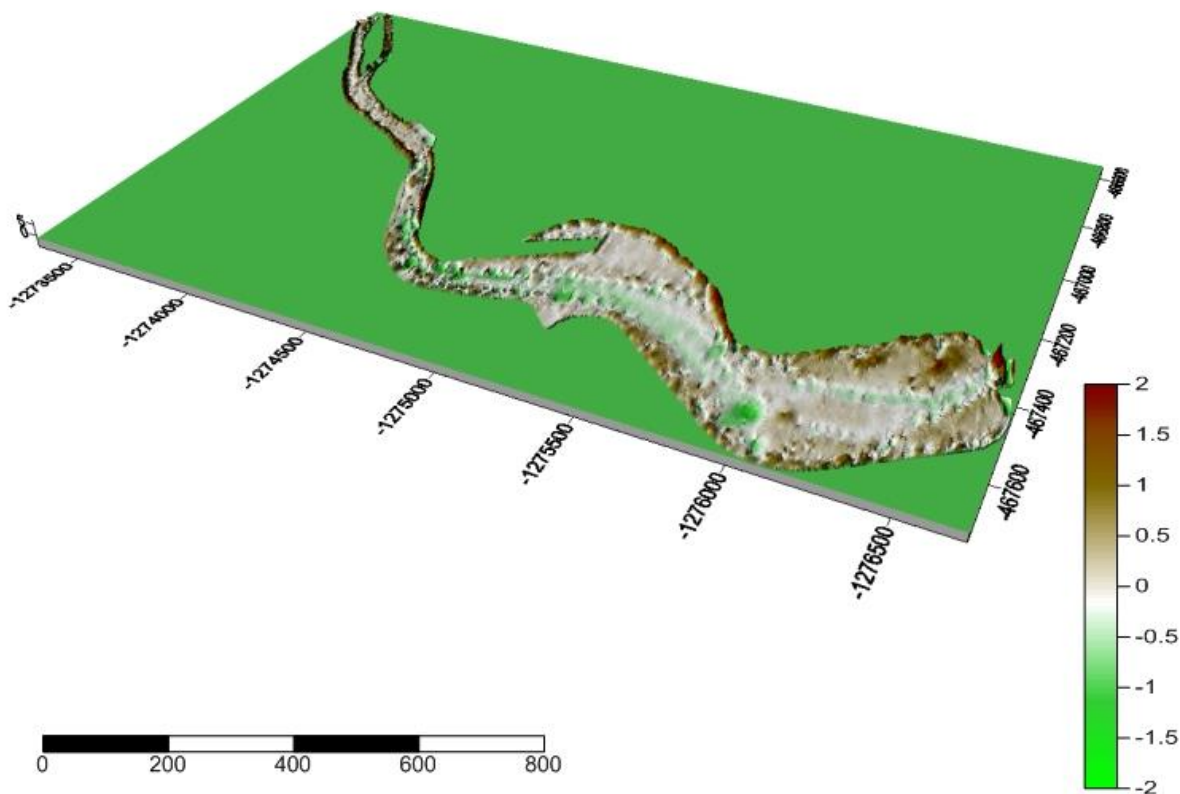
Obr. 8. 3D model terénu VD Veľké Kozmálovce z roku 2012 v softvérovom programe Surfer11
Fig. 8. 3D terrain model of WD Veľké Kozmálovce from 2012 in software program Surfer 11



Obr. 9. 3D model terénu VD Veľké Kozmálovce z roku 2016 v softvérovom programe Surfer11
Fig. 9. 3D terrain model of WD Veľké Kozmálovce from 2016 in software program Surfer 11

Poslednou analýzou bolo zistenie výškového rozdielu medzi digitálnym modelom terénu z roku 2012 a 2016. Výsledky tejto analýzy sú zobrazené na obr. 10. Miesta, kde došlo k usadeniu sedimentov sú označené hnedou farbou a jej odtieňmi. V sledovanom území sme zaznamenali maximálny prírastok usadených sedimentov vo

výške 2 m. Prírastok bol lokalizovaný v spodnej časti zdrže, hlavne v blízkosti hrádzového telesa a brehovej čiary. Zároveň možno konštatovať, že medzi rokmi 2012 až 2016 došlo k významným zmenám prúdenia v dolnej časti zdrže, čo možno pripísať hlavne výstavbe smerových líniových stavieb.



Obr. 10. Výška sedimentov zobrazená v softvérovom programe Surfer 11
 Fig. 10. Height of the bottom sediments in software program Surfer 11.

Záver

Intenzívne eróznio-sedimentačné procesy v povodiach vodných tokov významne ovplyvňujú prevádzku a funkčnosť vodohospodárskych stavieb vybudovaných aj v nedávnej minulosti. Základným predpokladom pre udržanie ich dlhodobej funkčnosti je detailný monitoring daného územia a návrh účinných ochranných opatrení. Cieľom tohto príspevku bola analýza zanášania VD Veľké Kozmálovce medzi rokmi 2012 – 2016 a porovnanie s pôvodným stavom počas spustenia prevádzky na základe dostupných podkladov a informácií. Pomocou hydrografických meraní a viacerých analýz uskutočnených v softwarovom prostredí Surfer 11 a ArcMap 10.1 bol stanovený prírastok dnových sedimentov v prostredí VD medzi obdobím 2012 – 2016 v celkovom objeme 65 259 m³. Z hľadiska celkového zásobného objemu to predstavuje zníženie zásobného objemu o 41,7 % pri maximálnej prevádzkovej hladine 175,5 m n. m. V rámci manažmentu povodia a uskutočnených vodohospodárskych opatrení sa podarilo znížiť intenzitu zanášania oproti stavu z minulosti. Avšak preukázaná a dlhodobá akumulácia sedimentov v priestore VD Veľké Kozmálovce ohrozuje pôvodnú zásobnú a protipovodňovú funkciu. Preto v rámci manažmentu povodia bude nevyhnutné uskutočniť dôkladnú analýzu krajinných štruktúr ako aj morfometrickú analýzu povodia. Zmenšenie objemu akumulačného priestoru o 41,7 % si zároveň vyžaduje sledovať trend vývoja zanášania na základe systematického a pravidelného zbierania batymetrických údajov v určitých časových intervaloch.

Literatúra

HOLUBOVÁ, K., SZOLGAY, J., MIŠÍK, M. A LISICKY, M. 2002: Výskum odtokového režimu a hydrodynamiky prúdenia extrémnych prietokov na rieke Hron vo vzťahu k protipovodňovej ochrane územia. Záverečná sprava. VUVH, Bratislava, 60 strán.

KUBINSKÝ, D., WEIS K., Analýza zmien objemu vodných nádrží ako Podklad pre manažment v povodiach Ukážková štúdia na Belianskej vodnej Nádrži, Acta Geographica Universitatis Comenianae, Vol. 57, 2013, No. 2, pp. 117-133.

LUKÁČ, M., 2007 - Štúdia „Vypracovanie alternatívnych návrhov odstránenia dnových sedimentov zo zdrže vodnej stavby Veľké Kozmálovce, vrátane opatrení pre zamedzenie usadzovania sedimentov v zdrži na základe predložených zadávacích podmienok.

LUKNIŠ, M., PRINC, J. a kol.: Slovensko 3. Ľud – I. časť. Bratislava : Obzor, 1974. 736 s.

MARUŠIAK, I., 2014. Universal Column Calculator 3.6 manuál. G-trend s r.o., 25p.

SOČUVKA, V., VELISKOVÁ, Y. 2015: Určenie batymetrie a kvality vody v nádrži pomocou AUV prístroja, Konferencia: Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia a fyzika vody v pôde, Zemplínska šírava, Jún, 2-4, 2015, Slovenska republika.

YSI Ecomapper operation manual, 2009, YSI (Yellow Springs Instruments)

YSI Hydrodata Limited, 2012, Messingham Sands Bathymetry and Water Quality Survey, Report Number 5219032012.

ŽIAK, M., 2012: Prevádzkové problémy spôsobené zanášaním priestoru zdrže vodnej stavby hat' Veľké Kozmálovce, vykonané opatrenia na elimináciu usadzovania plavenín, Konferencia: Priehradné dni 2012, Slovenska republika.

Ing. Valentín Sočuvka

Ústav hydrológie SAV
Dúbravská cesta 9
841 01 Bratislava
Slovenské republika

Tel: +421 948 006 249

E-mail: socuvka@uh.savba.sk