ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 108 - 113

AUTOMATIZOVANÉ MONITOROVANIE MORFOLÓGIE DNA VODNÝCH TOKOV

Valentín Sočuvka, Yvetta Velísková

Morfológiu vodných tokov ovplyvňujú najmä geologické a hydrologické podmienky, erózno-sedimentačné procesy a antropogénne zásahy do vodného prostredia. Monitorovanie morfologických parametrov a ich zmien v priebehu času patrí medzi dôležité informácie v oblasti vodohospodárskeho výskumu a prevádzky. Súčasťou komplexného morfologického hodnotenia vodných útvarov je aj hydrografický prieskum, pomocou ktorého je možné zhodnotiť mieru sedimentácie, riečnu degradáciu, stanoviť rýchlosti prúdenia alebo určiť kvalitatívne parametre vody. Tradičné spôsoby zberu dát sú vo všeobecnosti veľmi nákladné a malo efektívne. Navyše takéto prieskumy sú zvyčajne cielené iba na jeden skúmaný parameter a získanie komplexných dátových informácii je veľmi náročné. Moderný výskum však vyžaduje čoraz väčšie množstvo interdisciplinárnych dátových informácii (Sočuvka & Velísková, 2014). Nové inovácie a vývoj hydrografických zariadení zväčšili rozsah a efektívnosť ich využívania. Za významný pokrok v oblasti monitoringu vodného prostredia, možno považovať vývoj AUV prístrojov (z ang. Autonomous Underwater Vehicle). AUV prístroj je hydrografické zariadenie, ktoré je schopné samostatne sa pohybovať, monitorovať a ukladať jednotlivé dátové informácie. Tento príspevok popisuje AUV prístroj Ecomapper, dokumentuje prípravu a postup terénneho získavania priestorových a kvalitatívnych údajov a prvé výsledky, ktoré boli namerané v roku 2014 v lokalite vodnej nádrže Veľké Kozmálovce.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: morfologia, AUV, hydrografia,batymetria

AUTOMATED MORPHOLOGY MONITORING OF THE WATER BODIES. The morphology of the water bodies are influence mainly by the geological and hydrological conditions, erosion-sedimentation processes and anthropogenic interventions into the aquatic environment. Monitoring of morphological parameters and their changes over time is one of the crucial information in the field of water research and operations. Part of a complex morphological assessment of water bodies is a hydrographic survey, which is important to evaluate reservoir capacity, rate of sedimentation, river degradation, water flow and water quality monitoring. Traditional techniques of observation are generally expensive and non effective. They also do not offer a comprehensive coverage, especially nowadays, when the requirements for environmental field studies become more and more demanding. New innovations and development of hydrographic equipment widened the scope and effectiveness of their use. Autonomous Underwater Vehicles (AUV) represents the newest trend in hydrographic survey which makes the research of water environment more accessible to scientific study. This contribution represent one of the first results of using an AUV, in Central Europe, to collect high-resolution spatial data and water quality parameters which have been obtained in 2014 at location of reservoir Veľké Kozmálovce.

KEY WORDS: morphology, AUV, hydrography, bathymetry

Úvod

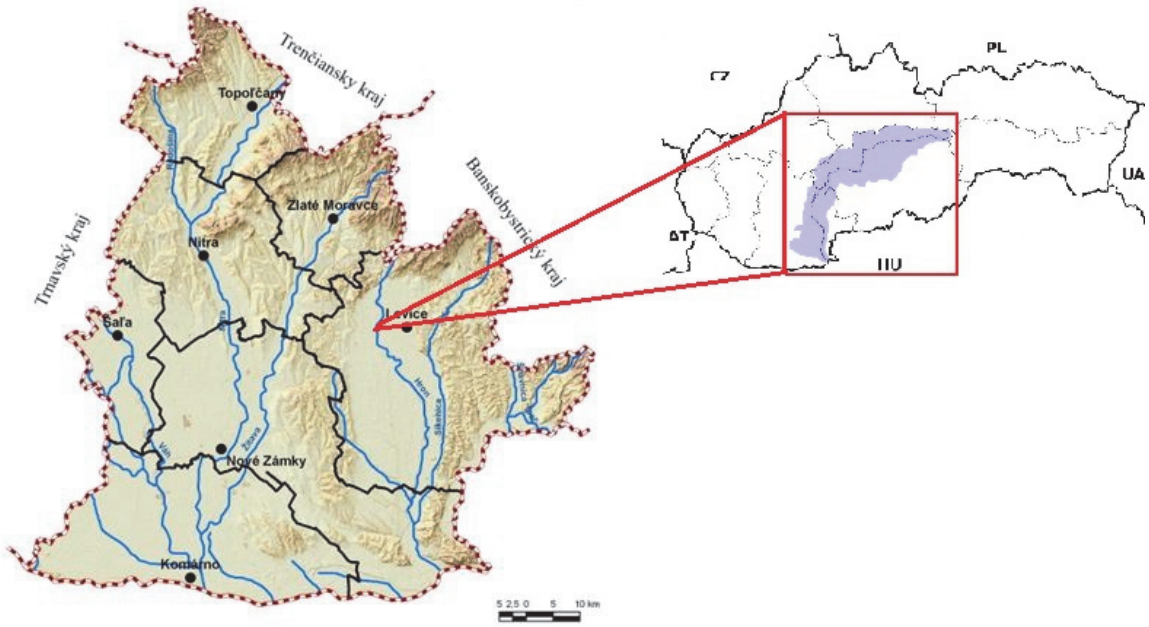
Erózia, transport a ukladanie sedimentov v prostrediach vodných útvarov má významný vplyv na riečny systém a jeho prostredie. Detailne vedomosti o vlastnostiach a priestorovom rozložení dnových sedimentov predstavujú dôležitú informáciu pre mnoho aplikácii v oblasti hydrológie, geomorfológie, geológie a taktiež vodohospodárskeho manažmentu (Sočuvka & Velísková, 2015). V rámci Slovenskej republiky jednu z najzávažnejších problematík predstavuje zanášanie vodných nádrží a riek dnovými sedimentmi. Medzi najviac zasiahnuté vodné diela (VD), na ktorých prebiehajú intenzívne erózno-sedimentačné procesy patrí VD Veľké Kozmá-

lovce. Už od začatia prevádzky v roku 1990 je na VD pozorované enormné ukladanie dnových sedimentov, ktorého dôkazom je pomerne rýchla a permanentná strata disponibilného objemu zdrže. Zanášanie zdrže má výrazne negatívne vplyvy na kvalitu vody a hydraulickú spojitosť medzi povrchovými a podzemnými vodami (Dulovičová a kol., 2013). Na základe týchto skutočností bola lokalita označená ako potenciálne vhodná pre monitorovanie priestorových a kvalitatívnych zmien z krátkodobého, ako aj z dlhodobého hľadiska. Nedávne pokroky vo výskume a vývoji AUV prístrojov nám umožňujú získať detailnejšie dátové informácie o stave vodného prostredia. AUV prístroje predstavujú v súčasnosti jeden z najmodernejších a najkomplexnejších spôsobov hydrografického prieskumu. Cieľom tohto príspevku je poskytnúť úvodnú informáciu o AUV prístrojoch, opísanie ich základných funkcií, vytvorenie prehľadu ich aplikácií a vytvorenie batymetrického modelu dna zdrže v lokalite VD Veľké Kozmálovce.

Charakteristika vybranej lokality

Vodná nadrž Veľké Kozmálovce sa nachádza v povodí rieky Hron, ktorú charakterizuje 284 km dlhá riečna sieť s prevažne krátkymi prítokmi. Povodie má značne pretiahnutý tvar z dôvodu veľmi úzkych kotlín s vysokými pohoriami po oboch stranách. Rieka má relatívne slabo vyvinutý bazén. Po geologickej stránke je územie povodia rieky Hron tvorené horninami neogénu – kvartérnych bazénov, neogénno-kvartérnych vulkanitov, mezozoika a kryštalinika (Lukniš a kol., 1974). Okolie vybranej lokality z geografického hľadiska začleňujeme k severovýchodnej časti Podunajskej nížiny, ktorú od severu ohraničujú Štiavnické vrchy. Klimaticky patri táto oblasť k najteplejším v rámci podmienok Slovenskej Republiky. Geomorfologický je vybraná lokalita častou 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 náplavmi poriečnej nivy, ktoré sú charakterizované vysokým stupňom zvodnenia. Kvartérne náplavy tvoria hlavne piesčité štrky, ktoré sú prekryté vrstvou povodňových ílovitých hlín. Režim podzemných vôd je ovplyvňovaný vodnými tokmi pretekajúcimi územím, s ktorými sú podzemné vody v hydraulickej spojitosti. 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 nachádzala 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 vyrovnávanie prietokov Hrona a závlahové odbery do kanála Perec.



Obr. 1. Lokalita vodnej nádrže Veľké Kozmálovce a povodie rieky Hron v rámci územia SR.
Fig. 1. Locations of the WR Veľké Kozmálovce and the basin of Hron River within the territory of SR.

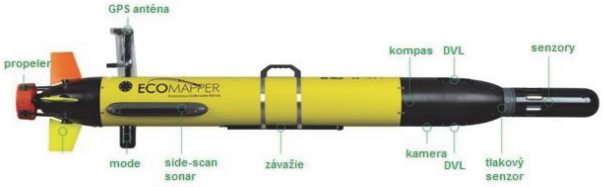
Materiál a metódy

Pre samotný zber údajov bolo použite AUV zariadenie Ecomapper. AUV prístroje predstavujú zariadenia, ktoré sa v súčasnosti využívajú v širokej škále hydrografického výskumu. Prístroje majú vo všeobecnosti tvar torpéda a pôvodne boli vyvíjané pre účely armády. Prvé pokusy o skonštruovanie AUV prístroja prebehli už v roku 1957 na Univerzite vo Washingtone. Pomocou prístroja bola skúmaná difúzia, akustický prenos a výskum pohybu vo vode. V priebehu osemdesiatych rokov minulého storočia sa začali AUV prístroje využívať aj na prieskumné a hydrografické účely (Vijay, 2011). Za významný AUV prístroj sa považuje IFREMER L'Epaulard, ktorý skonštruovala ECA v spolupráci s Francúzskym oceánografickým výskumným inštitútom v osemdesiatych rokoch minulého storočia. AUV prístroj IFREMER L'Epaulard bol využívaný na oceánografický prieskum s hĺbkovým dosahom až 6000 m. V priebehu nasledujúcich rokov bolo vyrobených niekoľko stoviek AUV prístrojov, ktoré mali postupne čoraz širší záber využitia. Najnovší vývoj a výskum umožnil využitie AUV prístrojov aj v rámci vnútrozemských podmienok a zároveň rozšíril oblasti ich merania o biologické a geochemické ukazovatele. V súčasnosti sa aktívnemu vývoju AUV prístrojov venuje približne desať medzinárodných spoločností, ktoré zahŕňajú firmy ako YSI, Kongsberg Maritime, Bluefin Robotics, Internation Submarine Engineering a pod.

YSI EcoMapper

EcoMapper bol vyvinutý firmou YSI (USA) a navrhnutý bol tak, aby umožňoval rýchly a ľahký zber hĺbkových údajov, kvalitatívnych parametrov vody a detekciu objektov pomocou side-scan sonaru. AUV zariadenie Ecomapper predstavuje prístroj, ktorý je schopný samostatne sa pohybovať na povrchu a pod povrchom vodnej hladiny a vykonávať záznam dát. Toto zariadenie je ideálne pre hydrografické prieskumy a priestorové monitorovanie životného prostredia v pobrežných ako aj vnútrozemských plytkých vodných útvaroch. 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 hľadiská zariadenie Ecomapper tvoria 3 hlavné sekcie. V prednej sekcii sú umiestnené senzory ktoré slúžia na meranie kvalitatívnych parametrov vody, tlakový senzor a DVL senzor (ang. Dopler Velocity Log), ktorý slúži pre navigáciu zariadenia pri misiách pod vodnou hladinou. Stredná časť zahŕňa elektronické komponenty, batériu a integrovanú palubnú jednotku. V zadnej sekcii je umiestený propeler a GPS anténa, ktorá slúži na navigáciu počas povrchových misii.
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 viaclúčového sonaru (multi-beam echosounder). Zariadenie využíva frekvenciu 500 kHz, a ma presnosť meraní ± 0,003m. Merania je možné uskutočňovať vo vodách s hĺbkou väčšou ako jeden meter. Meranie kvalitatívnych parametrov vody zahŕňa informácie o konduktivite, teplote vody, rozpustenom kyslíku, zákale, pH/ORP, chlorofyle, salinite a pod. Základná technická špecifikácia pristroja je uvedená v nasledujúcich bodoch:

- **Rozmery:** Priemer: 14.73 cm, Dĺžka: 160.8 cm,
- **Hmotnosť:** 20.41kg,
- **Hĺbkový dosah:** 1 až 100 metrov,
- **Vydrž batérie:**
  8 hodín pri rýchlosti 5 km/h; závislá na konfigurácii batérie,
- **Rýchlosť:** 2 – 7 km/h,
- **Sonar:** 500kHz, presnosť 0.003 m,
- **Software:**
  VectorMap: plánovanie misie a prezeranie dát,
  Sonar Mosaic: spracovanie sonarových záznamov,
  UVC: prevádzka, spustenie misie a diaľkové ovládanie,
- **Elektronická výbava:**
  Procesor Intel Atom s operačným systémom Windows XP a 80 GB diskom pre ukladanie dát,
- **Doppler Velocity Log:**
  10-beam DVL pre navigáciu, batymetriu, aktuálnu pozíciu,
- **Dátová komunikácia:**
  Bezdrôtové pripojenie Ethernet 802,11 g,
  2. 4 GHz rádiové spojenie, pokiaľ je zariadenie na povrchu,
- **Navigácia:**
  Povrchová navigácia: GPS (EGNOS korekcie),
  Podpovrchová navigácia: DVL, navigácia výpočtom, kompasom, hĺbka senzorov a rýchlosti vozidla.



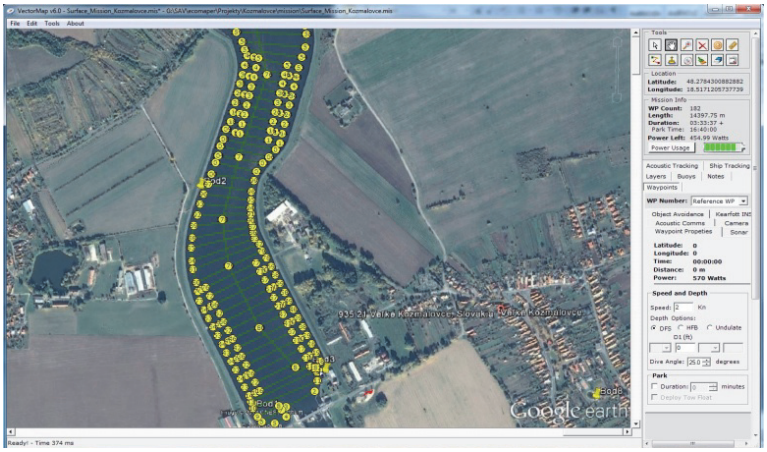
Obr. 2. YSI EcoMapper bočný pohľad, (YSI, 2009).
Fig. 2. YSI EcoMapper side view (YSI, 2009).

Plánovanie misie

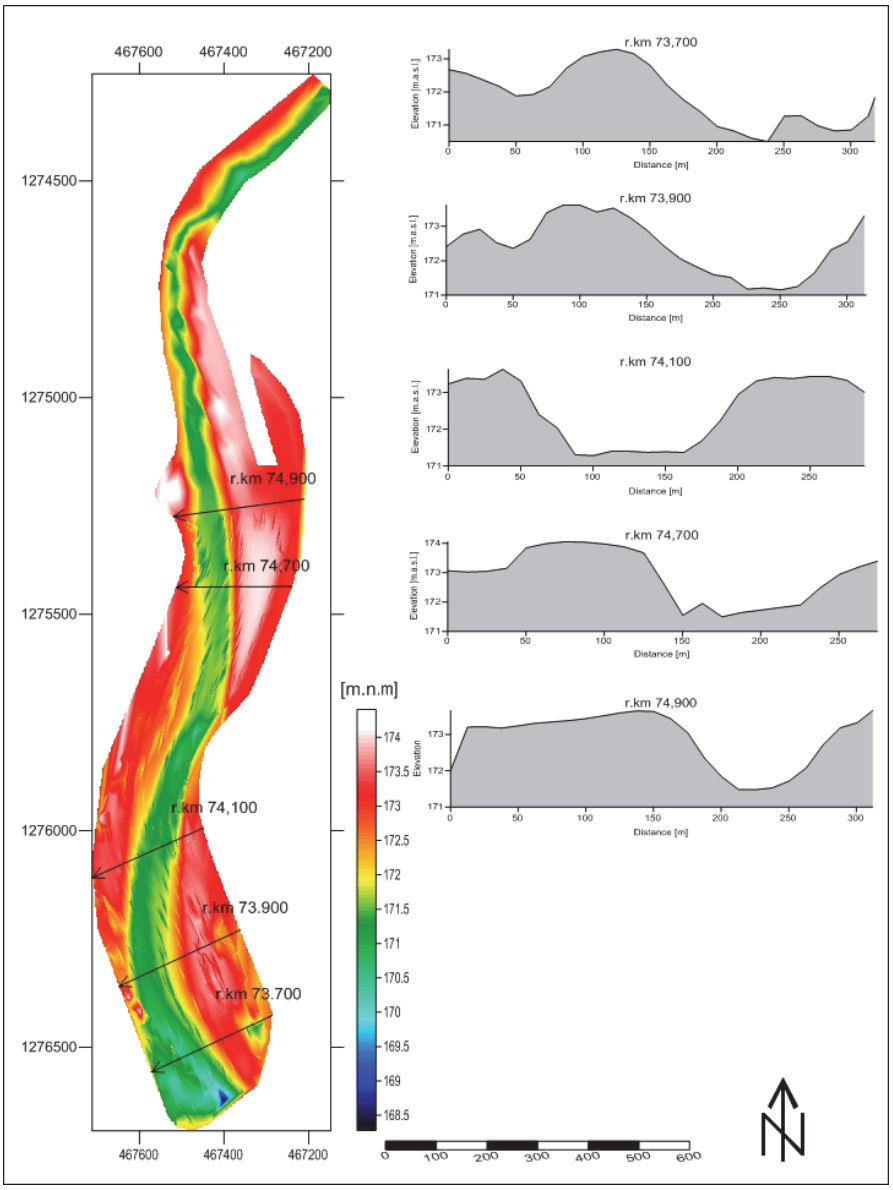
Meranie pomocou prístroja Ecomapper funguje na princípe sledovania vopred pripraveného plánu tzv. misie, ktorá je vytváraná v softvérovom prostredí VectorMap.
Softvér umožňuje plánovanie viacerých misii v rovnakom priestore. Plánovanie misie zahŕňa nastavenie navigačných bodov a vzdialeností medzi navigačnými bodmi (obr. 3), hĺbky ponorov, rýchlosti merania, nastavenia konkrétnych kvalitatívnych parametrov a bezpečnostných opatrení. Výstupom je ASCII súbor misie, ktorý je odoslaný do riadiacej jednotky EcoMapperu ako vstup cez bezdrôtové rozhranie pred začiatkom misie (Sočuvka & Velísková, 2015). Po spustení misie AUV prístroj pracuje nezávisle na užívateľovi a na navigáciu využíva integrovaný GPS s korekciami EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service, resp. v Amerike používaným systémom WASS). Ak misia zahŕňa taktiež prieskum pod hladinou vody, na navigáciu sa využíva protokol DVL (ang. Doppler Velocity Log**)**, ktorý slúži na zlepšenie presnosti navigácie pod vodou. Počas celého priebehu misie AUV prístroj sleduje trasu podľa vopred naprogramovaných bodov (waypointov), ktoré sú číselne označené (obr.3). Po dokončení svojej misie, EcoMapper využíva na komunikáciu vzdialené pripojenie plochy (Windows®), ktoré slúži na odoslanie zozbieraných dát cez bezdrôtové Wi-Fi pripojenie a bezpečné ukončenie misie.

Zber údajov a spracovanie dát

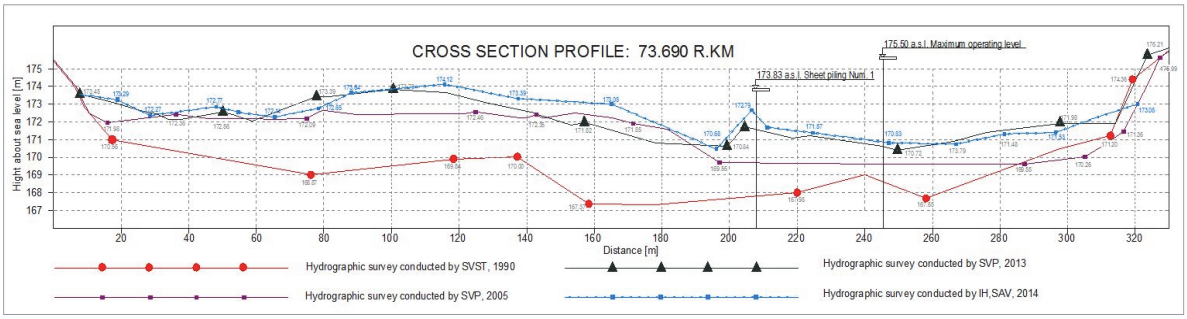
Prieskum nádrže Veľké Kozmálovce sa uskutočnil v mesiaci október 2014. Cieľom bolo vytvorenie, resp. aktualizovanie 2D a 3D topografie zdrže.
Na meranie bolo využité opísané AUV zariadenie EcoMapper, ktoré zhromažďovalo údaje o hĺbke a kvalite vody v sekundových intervaloch. Zároveň tieto údaje boli automaticky dopĺňané o georeferenčné dáta, ktoré spájajú kvalitatívny parameter a hĺbku s presnou polohou v súradnicovom systéme WGS 84 (angl. World Geodetic System 1984). Z dôvodu poveternostných podmienok nebolo možné zameranie celej plochy nádrže. Meranie bolo preto ukončené na riečnom kilometri 76,15. Vzhľadom k tomu, že VD Veľké Kozmálovce končí približne v 77 rkm, percentuálna časť nedomeraného úseku je zanedbateľná. Celkový počet zozbieraných údajov predstavoval číslo 14 499 pre každý meraný parameter. Keďže predchádzajúce merania a výsledky z meraní na VD Veľké Kozmálovce boli prezentované v súradnicovom systéme S-JTSK, prvým krokom pri spracovaní nameraných údajov bola konverzia nameraných dát. Na konverziu dát bol použitý program Univcol 3.6 (Universal Column Calculator), ktorý svojimi možnosťami je orientovaný na prácu s geo datami, ktoré majú zadané súradnice. Okrem matematických operácií so stĺpcami umožňuje sortovanie dát, zobrazuje základnú štatistiku pre stĺpce, prepočítava súradnicové systémy, filtruje dáta, počíta závislosť medzi stĺpcami 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 hodnotu 174,9 m.n.m. Následným importom a spracovaním zameraných bodov v softwarovom prostredí Surfer 9 - Golden Software boli vygenerované gridy s rozmerom bunky 2 x 2. Na vizualizáciu reliéfu dna a tvorbu modelov bolo taktiež použité softvérové prostredie ArcMap 10.1. Na základe aktuálneho stavu batymetrie dna bol vyhodnotený aktuálny stav zanesenia nádrže a následne bolo vytvorené, resp. aktualizované porovnanie zanášanie nádrže v priebehu rokov. Na obr. 5 je znázornený vybraný profil na riečnom kilometri 73,690.



Obr. 3. Príprava misie na vodnej nádrži Veľké Kozmálovce v softwarovom programe VectorMap.
Fig. 3. Mission planning on WR Veľké Kozmálovce in software tool VectorMap.



Obr. 4. Batymetria vodnej nádrže Veľké Kozmálovce a priebeh dna vo vybraných profiloch.
Fig. 4. Bathymetry of WR Veľké Kozmálovce and curve of the bottom in selected profiles.



Obr. 5. Porovnanie kolmatácie VD Veľké Kozmálovce medzi rokmi 1990 až 2014.
Fig. 5. Comparison of aggradations of WD Veľké Kozmálovce between years 1990 – 2014.

Záver

Erózno-sedimentačné procesy predstavujú závažnú vodohospodársku problematiku, ktorá významne vplýva na prevádzku vodných diel, kvalitu a vlastnosti povrchových a podzemných vôd a v neposlednom rade aj na organizmy žijúce vo vodnom prostredí. Základným predpokladom pre výskum a návrh ochranných opatrení je detailný a dlhodobý monitoring vodného prostredia. Inovácie a vývoj nových hydrografických prístrojových zariadení zväčšili rozsah ich aplikácii a efektívnosť ich využívania. AUV prístroj EcoMapper nám umožňuje detailnejší a rýchlejší zber dát, ktoré sa navyše vyznačujú nízkou odchýlkou a množstvom nameraných údajov. To nám umožňuje riešenie tejto problematiky na vyššej úrovni po kvalitatívnej aj kvantitatívnej stránke. Cieľom tohto príspevku bolo predstavenie prvého AUV prístroja EcoMapper v rámci Strednej Európy a demonštrovanie čiastkových výsledkov z prvého merania, ktoré sa uskutočnilo v roku 2014 v lokalite VD Veľké Kozmálovce.

Poďakovanie

Tento príspevok vynikol vďaka podpore projektu VEGA-2/0058/15.

Literatúra

Dulovičová, R., Velísková, Y., Bara, M., Schűgerl, R. (2013): Stanovenie vplyvu hrúbky nánosov pozdĺž Chotárneho kanála na interakciu povrchových a podzemných vôd v jeho okolí. Acta Hydrologica Slovaca, 2013, Roč. 14, No. 1, s. 126-134.

Herban, I. S., Alionescu, A. (2012): Creating 3D model and bathymetric contour map using a modern topographical approach. RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre 2012, Vol. 12.

Lukniš, M., Princ, J. a kol. (1974): Slovensko 3. Ľud – I. časť. Bratislava : Obzor, 1974. 736 s.

Sočuvka, V., Velísková, Y. (2014): Possibilities of determining the thickness and volume of the bottom sediments in water reservoirs. Acta Hydrologica Slovaca, 2014, Vol., 15., 370-378 p.

Sočuvka, V., Velísková, 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, Jun, 2-4, 2015, Slovenska republika.

Marušiak, I. (2014): Universal Column Calculator 3.6 manuál. G-trend s r.o., 25p.

Vijay, S. (2011): Autonomous underwater vehicles, Seminar on Autonomous Underwater Vehicles, PESCE Mandya: http://www.scribd.com/doc/55826714/Autonomous-Underwater-Vehicles

YSI Ecomapper operation manual (2009): YSI (Yellow Springs Instruments).

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

AUTOMATED MORPHOLOGY MONITORING OF THE WATER BODIES

The role of bathymetry as well as recent sedimentation in water reservoir management is very important. Due to innovations and development of AUVs the range and quality of the hydrographic survey increase. Application of AUVs EcoMapper allows us to obtain information faster and with higher precision, what is important in data processing because creation of 3D model which uses the bathymetric measurements is being done by considering the accuracy of the required data. AUVs EcoMapper have been used to gather the data information on WR Veľké Kozmálovce. Data includes information about depth and water quality parameters. The results of the surveying are the GIS datasets and maps which provide higher resolution of bathymetric data and contours of the bottom reservoir, than what was available from the previous survey. Additionally, these data contain information about water quality and they will be published in the near future. Due to the efficiency of the method, repeat and targeted surveys over areas of interest could be conducted with more frequent period and with narrow transect widths. That increases the resolution of the model and provides to us important information for water management and hydrology research.

Ing. Valentín Sočuvka
Ing. Yvetta Velísková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Račianska 75 ,
831 02 Bratislava
Tel: +421 948 006 249
E-mail: socuvka@uh.savba.sk
veliskova@uh.savba.sk