

SEDIMENTACE V MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍCH

**D. Honek, M. Šulc Michalková, Z. Némětová, M. Caletka, P. Karásek,
J. Konečná, V. Sočuvka, Y. Velísková**

1. ÚVOD

Intenzita eroze a množství erodovaného a deponovaného materiálu záleží na přírodních podmínkách daného území. Tyto procesy jsou v posledních dekádách ovlivněny klimatickými změnami, které se odráží v časoprostorovém rozložení srážkových úhrnů [1,2] Zvyšuje se výskyt intenzivních srážkových událostí, čemuž odpovídá i zvýšení počtu povodňových událostí. Současně s tím se také častěji objevují období dlouhodobého sucha [3,4].

V současné době roste počet navrhovaných i realizovaných souborů protipovodňových a protierozních opatření v Česku i na Slovensku [5], včetně výstavby malých vodních nádrží, které mají dvě hlavní funkce – protipovodňovou a zásobní. Tyto malé vodní nádrže jsou lokalizovány v zemědělských oblastech, kde je velký potenciál jejich využití. Častý problém zde představuje eroze půdy, resp. odnos a následné deponování erodovaného materiálu ve vodních tocích, v zásobních prostorách nádrží či nad jinými překážkami [6]. Takto uložené sedimenty mohou snižovat retenční kapacitu nádrže a následně účinnost v době povodní [7]. Zároveň může díky tomu růst koncentrace chemických látek ve vodě, což vede ke zhoršení kvality vody v nádrži i v profilech pod ní.

V příspěvku jsou představeny dvě metodiky terénního měření úrovně dna nádrží, ze kterých lze posléze nepřímou určit množství sedimentů. Dále jsou představeny tři erozní modely pro stanovení potenciální eroze a depozice půdy v povodí na základě známých empirických vztahů reflektujících dané přírodní podmínky. Podle stanoveného množství sedimentů je určena předpokládaná životnost nádrže, resp. doba do úplného zanesení nádrže sedimenty.

2. VÝZKUMNÁ ÚZEMÍ

Výzkumná území se nachází ve střední Evropě a jedná se o povodí Svacenického jarku na Slovensku a povodí Suchého potoka v Česku. Povodí Svacenického jarku (SVAC) se nachází v západní části Slovenska v centrální části Myjavské pahorkatiny při západním okraji města Myjava. Jedná se o 6,3 km² velké povodí v nadmořské výšce 311 až 546 m n.m., které je odvodňováno jedním tokem (Svacenický jarok). V závěrovém profilu byla v roce 2011 vybudována malá protipovodňová vodní nádrž s maximální retenční kapacitou 215 808 m³. Území se nachází na flyšovém souvrství

a je pokryto z velké části luvizememi a leptosoly. Orná půda zabírá 66 % plochy povodí a mezi hlavní pěstované plodiny patří pšenice a kukuřice. Podnebí je zde mírné kontinentální s průměrnou roční teplotou vzduchu 8,8 °C a průměrným ročním úhrnem 650-700 mm (Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ)).

Povodí Suchého potoka (SUCH) se nachází jihovýchodní části České republiky v Dražanské vrchovině, asi 30 km severně od města Brna v nadmořské výšce 556 až 652 m n.m.. Velikost povodí je 3,5 km² a protéká jím jediný tok (Suchý nebo „bezejmenný“ potok). I zde byla v roce 2011 vybudována malá vodní nádrž s maximální retenční kapacitou 67 757 m³. V podloží se nachází granodiorit a z půd se zde vyskytují převážně kambizemě. Orná půda pokrývá 47 % území a často pěstovanými plodinami jsou žito, jetel a kukuřice. Klima je zde mírné s průměrnou roční teplotou 7,3 °C a průměrnými ročními srážkami okolo 570 mm (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP)).

3. METODIKA A POUŽITÁ DATA

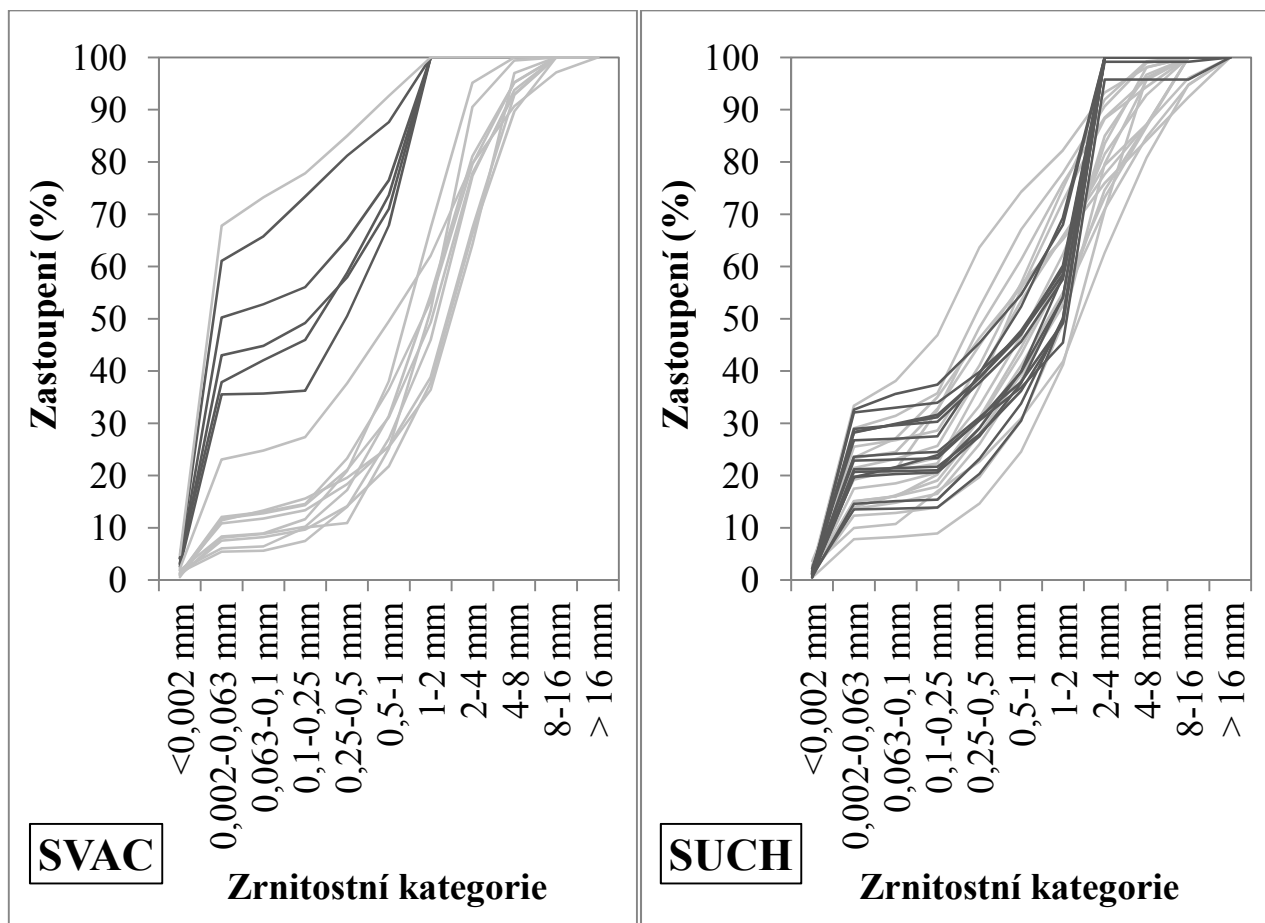
Jako vstupní data byly použity dva digitální modely terénu s rozlišením 10x10 m pro SVAC a 1x1 m pro SUCH. Srážková data byla poskytnuta z SHMÚ ze stanice Myjava a z VÚMOP z vlastní srážkoměrné stanice v povodí SUCH. Srážková data pokrývají období 2012 až 2017 a byla poskytnuta v minutovém kroku. Dalšími vstupy byly údaje o rozmístění pěstovaných plodin poskytnuté zemědělcem v obou povodích.

Součástí vstupních dat jsou i výsledky z terénního průzkumu a odběru vzorků orné půdy a sedimentů v nádržích. Vzorky byly laboratorně zpracovány a jejich výsledky sloužili hlavně pro potřeby stanovení některých vstupních parametrů erozního modelování. Zrnitostní složení je zobrazeno na obrázku 1, z něhož je patrné, že sedimenty mají větší obsah jemnějších frakcí než vzorky z polí a to zejména v případě povodí SVAC. Další výsledky jsou uvedeny v tabulce 1.

Množství uloženého sedimentu v obou nádržích bylo stanoveno pomocí dvou metodik. V nádrži v povodí SVAC byla v letech 2015, 2016 a 2017 provedena měření pomocí přístroje AUV EcoMapper, což je podvodní torpédovité plavidlo, které měří batymetrii dna nádrže rozmezí 1 až 100 metrů hloubky. Toto měření bylo

Tabulka 1
Hodnoty sledovaných charakteristik půdy v obou povodích

Povodí	Zastoupení půdních frakcí (%)			Obsah organického uhlíku (%)	Objemová hmotnost (g/cm ³)
	Písek	Prach	Jíl		
SVAC	2,8-12,1 (\bar{x} 6,6)	41,4-80,9 (\bar{x} 66,9)	3,6-19,4 (\bar{x} 10,6)	8,8-15,1 (\bar{x} 11,2)	0,982-1,466 (\bar{x} 1,307)
SUCH	3,5-11,9 (\bar{x} 6,1)	43,6-85,2 (\bar{x} 71,6)	3,6-15,2 (\bar{x} 6,9)	5,5-9,7 (\bar{x} 7,7)	0,856-1,157 (\bar{x} 1,039)



Obrázek 1

Výsledky zrnitostní analýzy vzorků půdy (světle šedá) a sedimentů (tmavě šedá) v obou povodích

zajištěno VÚPOP. Druhé měření v povodí SUCH a probíhá kontinuálně od roku 2012 a provádí jej VÚMOP. Jedná se o bodová měření hloubky dna od pevně zvoleného bodu v neměnné čtvercové síti. Tato metoda je vhodná zejména pro nádrže s malou hloubkou (do několika metrů).

Pro modelování intenzity erozních procesů byly zvoleny tři modely – USLE [8], RUSLE [9] a USPED [10]. Jedná se o celosvětově používané modely s rozdílným výpočtem některých vstupních faktorů, popřípadě s odlišnou modelovou strukturou (USPED). Vstupními faktory jsou i) erozní účinnost deště (R), erodovatelnost půdy (K), topografický faktor délky (L) a sklonu (S) svahu, ochranný vliv vegetace (C) a vliv protierozních opatření (P). Výsledné hodnoty intenzity eroze byly upraveny podle poměru odnosu půdy (SDR), který na základě fyzicko-geografických podmínek povodí stanoví podíl předpokládaného množství erodovaného materiálu vůči deponovanému v rámci povodí [11].

4. VÝSLEDKY A ZÁVĚR

Průměrná intenzita eroze v povodí SVAC se pohybuje mezi 1,3 (USPED) až 6,5

Tabulka 2

Měřený a modelovaný objem sedimentů a předpokládaná životnost nádrží

SVAC			SUCH		
	Objem sedimentů (m ³)	Životnost nádrže (roky)		Objem sedimentů (m ³)	Životnost nádrže (roky)
Měření	678,6	318	Měření	26,8	2 531
USLE ¹	592,0	136	USLE ¹	182,2	372
USLE ²	2 209,2	98	USLE ²	294,9	230
RUSLE ¹	1 376,9	157	RUSLE ¹	150,3	451
RUSLE ²	1 910,9	113	RUSLE ²	243,2	279
USPED	629,7	343	USPED	279,8	242

USLE¹, RUSLE¹ je počítané pro dobré hydrologické podmínky (SCS-CN)
 USLE², RUSLE² je počítané pro špatné hydrologické podmínky (SCS-CN)

(USLE) t/ha/rok a v povodí SUCH mezi 0,9 (USPED) až 1,4 (USLE) t/ha/rok. Předpokládaná doba úplného zanesení retenčního objemu obou nádrží je 100 až 400 let podle jednotlivých modelů (Tab. 2). Ve srovnání s reálně naměřenými sedimenty vychází nejlépe model USPED v povodí SVAC. V povodí SUCH je množství pozorovaného množství sedimentů o mnoho menší (až 10krát) oproti modelovanému, takže se nedá určit, výsledek kterého modelu jasně odpovídá. Jedním z vysvětlení tohoto rozdílu může být samotná stavba výpustního objektu nádrže, kde spodní výpust umožňuje kontinuální odtok vody (spolu se sedimenty) z nádrže. Díky tomu deponované sedimenty „chybí“ ve srovnání s druhou nádrží.

Závěrem lze říci, že obě metodiky měření hloubky dna se prokázaly jako vhodné pro menší vodní nádrže a jejich aplikace závisí na charakteru dané nádrže. Co se týče použitých erozních modelů, obecně představují vhodný způsob jak relativně rychle a s využitím poměrně malého množství dostupných dat stanovit množství potenciálně erodovaného materiálu [6]. Použití výše uvedených postupů by bylo vhodné zakomponovat do plánování budoucích a udržování současných nádrží, protože současná legislativa nepožaduje přesné stanovení životnosti nádrží z hlediska jejich zanášení. S ohledem na vývoj klimatu a předpokládaný častější výskyt extrémních srážkoodtokových událostí představuje dopředu nedefinované zanášení nádrží a s ním související snížení jejich účinnosti možné riziko [4,7], kterému však lze předcházet.

4. PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla realizována v rámci projektu MUNI/A/1251/2017 Integrovaný výzkum environmentálních změn v krajinné sféře Země III a projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_013/0001708 (Ecopolaris), a dále za podpory projektu VEGA 2/0025/19 a projektu Institucionální podpora MZE-RO0218.

5. LITERATURA

- [1] DOLÁK, L., ŘEZNÍČKOVÁ, L., DOBROVOLNÝ, P., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P. (2017): Extreme precipitation totals under present and future climatic conditions according to regional climate models. In: Vačkář, D et al. [eds.]: Climate change adaptation pathways from molecules to society (pp. 27-37). Brno, Global Change Research Institute, Czech Academy of Sciences.
- [2] TRNKA, M., BRÁZDIL, R., VIZINA, A., DOBROVOLNÝ, P., MIKŠOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., HLAVINKA, P., ŘEZNÍČKOVÁ, L., ŽALUD, Z. (2017): Droughts and Drought Management in the Czech Republic in a Changing Climate. In: Wilhite, D.A. et al. [eds.]: Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy (pp. 461-480). Boca Raton, CRC Press, Taylor & Francis.
- [3] VAN ROMPAEY, A.J.J., VERSTRAETEN, G., VAN OOST, K., GOVERS, G., POESEN, J. (2001): Modelling means annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surfaces Proc. Landforms*, 26: 1221–1236.
- [4] HLAVČOVÁ, K., KOHNOVÁ, S., BORGA, M., HORVÁT, O., ŠŤASTNÝ, P., PEKÁROVÁ, P., MAJERČÁKOVÁ, O., DANÁČOVÁ, Z. (2016): Post-event analysis and flash flood hydrology in Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64(4): 304–315.
- [5] Plány dílčích povodí z 30.6.2016 (vyhláška č. 24/2011 Sb.), Ministerstvo životního prostředí, dostupné na: www.eagri.cz.
- [6] YIN, X.-A., YANG, Z.-F., PETTS, G. E. (2011): Reservoir operating rules to sustain environmental flows in regulated rivers. *Water Resources Research*, 47: 1-13.
- [7] BORRELLI, P., MÄRKER, M., PANAGOS, P., SCHÜTT, B. (2014): Modeling soil erosion and river sediment yield for an intermountain drainage basin of the Central Apennines, Italy. *Catena*, 114: 45-58.
- [8] WISHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1965): *Rainfall-Erosion Losses From Cropland East of the Rocky Mountains*. Washington, USDA.
- [9] RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K., YODER, D. C. (1997): *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Washington, USDA-ARS.
- [10] MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M., IVERSON, L. R. (1996): Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of GIS*, 10(5): 629-641.
- [11] WILLIAMS, J.R. (1977): Sediment Delivery ratio Determined with Sediment and Runoff Models. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters* (pp. 168-179), IAHS-AISH pub No. 122.

SUMMARY

The uncontrolled reservoir siltation presents a hazard together with the rising number of reservoirs and current climate change. This paper presents the possible

methodologies to measure siltation in small reservoir and how to calculate the potential soil water erosion and deposition of the contributing area.

The results show that the USLE-based erosion models are suitable for estimation of erosion processes, especially USPED model, which is capable to model erosion and deposition of the material in the same time. Also, both approaches to investigate the development of the reservoir bottom were verified. The use of AUV EcoMapper is appropriate for reservoirs with stable water level between 1 and 100 meters, however the second approach is more suitable for shallow reservoirs.

According to observed and modelled sediment budget of reservoirs the supposed reservoir lifetime was determined from 100 to 400 years. The siltation is much higher in the Svacenický reservoir in contrast to Němčický reservoir (Suchý creek catchment), which corresponds to bigger catchment area, higher percentage of arable land and more variable relief.

Mgr. David Honek^{1,2}

tel.: +420541126317, e-mail: david.honek@vuv.cz

Mgr. Monika Šulc Michalková, Ph.D. et Ph.D.¹

tel.: +420549493179, e-mail: sulc@mail.muni.cz

Ing. Zuzana Némětová³

tel.: +421259274279, e-mail: zuzana.nemetova@gmail.com

Mgr. Martin Caletka^{1,2}

tel.: +420541126317, e-mail: martin.caletka@vuv.cz

Mgr. Petr Karásek⁴

tel.: +420541126277, e-mail: karasek.petr@vumop.cz

Ing. Jana Konečná⁴

tel.: +420541126277, e-mail: konecna.jana@vumop.cz

Ing. Valentin Sočuvka, PhD.⁵

tel.: +421232293509, e-mail: socuvka@uh.savba.sk

Ing. Yvetta Velísková, PhD.⁵

tel.: +421232293507, e-mail: veliskova@uh.savba.sk

¹Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita
Kotlářská 2, 611 37 Brno, Česká republika

²Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i.

Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, Česká republika

³Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave

Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

⁴Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Lidická 25/27, 602 00 Brno, Česká republika

⁵Ústav hydrologie, Slovenská akadémia vied

Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava, Slovenská republika