

POROVNANIE METÓD ZBERU PRIESTOROVÝCH DÁT PRE ÚČELY ZAMERANIA VÝMOĽA V LOKALITE TURÁ LÚKA

Radovan NOSKO, Marcela MALIARIKOVÁ, Róbert FENCÍK,
Ján SZOLGAY

Comparison of spatial data collection methods for purposes of the measurement of the gully in locality Tura Luka

Abstract: Currently, the topic of the gully erosion pointing to the often resolved problem of soil degradation, which processes are accelerating in Europe. For this reason, these phenomena need to be explored to prevent further losses and restore soil functions to areas already affected. As a result of the gully erosion, a gully is produced. In practice, we use terms to define the gully; the permanent gully (necessary stabilization) and the ephemeral gully, which can be eliminated by plough every year. Measurement and quantification of impact of gully erosion is performed by various methods of spatial data collection. In the past, cross profiles measurements were used to determine the baseline parameters (volume, length, average depth, average width and slope). At present, we have different spatial data collection methods available to determine spatial landscape objects. Global navigation satellite systems (GNSS), unmanned aerial vehicles (UAV) and terrestrial laser scanning (TLS) are the most widely used. As part of the contribution, we focused on the permanent gully on an agricultural area in Myjava Hill Land in the cadastral district of Tura Luka. The area of Myjava Hill Land was significantly influenced by the Kopanitse colonization and the collectivization of agriculture, which contributed to the fact that it belongs among the most affected areas by gully erosion in Slovakia. The aim of the paper is to compare the spatial data collection methods for the purposes of measurement of the permanent gully in locality Tura Luka and to identify morphological changes of the gully, its evolution in time and to confirm the hypothesis of the negative impact of ephemeral gullies. The monitored permanent gully was measured by different spatial data collection methods. The measurements of spatial data were done in years 2014, 2015, 2016 and 2017. From the obtained data, we created a digital terrain model (DTM) and a model of the gully, which we further analyzed. In the analysis we compared the changes in the development of the gully based on the volume – as the one of the basic parameters. Finally, we compared the selected methods based on the volume, time consuming of spatial data collection and their processing.

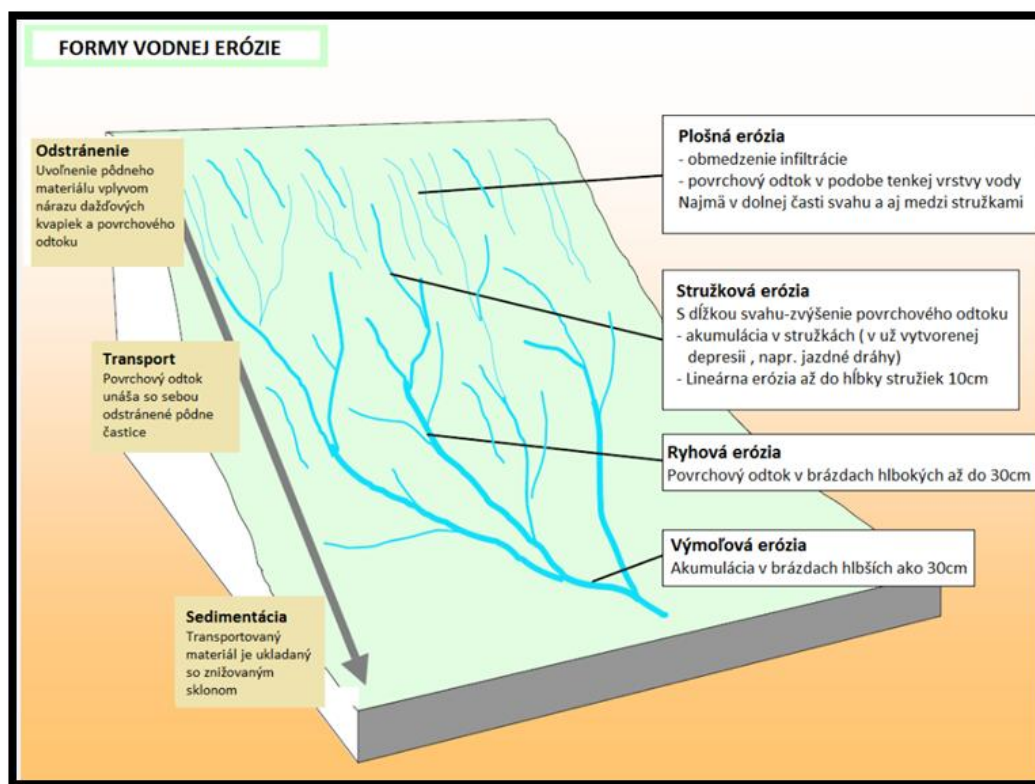
Keywords: gully erosion, global navigation satellite system, unmanned aerial vehicle, terrestrial laser scanning

Úvod

Ochrane životného prostredia sa v súčasnosti venuje zvýšená pozornosť. Jednou z hrozieb, ktorá negatívne vplýva na kvalitu pôdy je vodná erózia (Stankovičský, 2008). Vodná erózia spočíva v rozrušovaní pôdneho povrchu pôsobením dažďových kvapiek a následne vzniknutým povrchovým odtokom (Toy et al., 2002). V dôsledku erózne-akumulačných procesov podmienených zrážkovou vodou (dažďovou a z roztopeného snehu) tečúcou po svahu dochádza k mechanickému narušovaniu, odstraňovaniu, transportu a následnému usadzovaniu pôdných častíc. V rámci príspevku sa budeme venovať osobitej forme vodnej erózie, a to výmoľovej erózii, ktorej výsledkom je výmoľ. Vznik výmoľa je dlhodobý proces, ktorý je zobrazený na obr. 1.

Ing. Radovan NOSKO, Ing. Marcela MALIARIKOVÁ, prof. Ing. Ján SZOLGAY, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: radovan.nosko@stuba.sk, marcela.maliarikova@stuba.sk, jan.szolgay@stuba.sk

Ing. Róbert FENCÍK, PhD., Katedra geodetických základov, Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: robert.fencik@stuba.sk



Obr. 1 Vznik výmoľa na svahu upravené podľa (TLUG, 2010)

Výmole možno rozdeliť z časo-priestorového hľadiska na permanentné a efemérne. Ich charakteristickou odlišujúcou črtou je rozmer a s tým súvisiaci ich vek (Poesen et al., 2003). Permanentné výmole možno definovať aj ako historické.

Na našom území dosahujú hodnoty hĺbky permanentných výmoľov najčastejšie od 0,5 m od 2 až 3 m. Pod efemérnymi (dočasnými) výmoľmi sa chápu plytké erózne depresie, ktoré sú vzhľadom na menšie rozmery orbou rekultivované (Soil Science Society of America, 2018).

Jednou z najviac postihnutých oblastí výmoľovou eróziou je na Slovensku územie Myjavskej pahorkatiny, ktorá bola výrazne ovplyvnená kopaničiarskou kolonizáciou. Väčšina výmoľov vznikla na území Myjavskej pahorkatiny počas malej doby ľadovej a počas intenzívnej antropogénnej činnosti (17. až 18. storočie) (Stankoviansky, 2003). Ich vznik sa viazal najmä na líniové prvky ako napríklad poľné cesty (Valent et al., 2016). Pod touto činnosťou rozumieme odlesňovanie a pretváranie krajiny z pôvodnej na kultúrnu. Takto zmenená krajina a človekom vytvorené líniové prvky na svahoch vytvárajú spolu s intenzívnou zrážkovou udalosťou ideálne podmienky na tvorbu výmoľov. V súčasnosti sa predpokladá, že historické (permanentné) výmole nie sú najväčším rizikom v prípade bahenných povodní, ktoré vznikajú na poľnohospodársky obrábaných svahoch, ale sú to práve efemérne výmole (obr. 2).

Počas týchto udalostí je unášané veľké množstvo erodovaného materiálu, ktorý väčšinou končí v riekach. Ďalším sprievodným javom sú bahenné povodne (Stankoviansky, 2003). Voda z polí dokáže erodovať krajinu až na skalné podložie, hovoríme o strate ornice (obr. 3).

Cieľom príspevku je porovnať metódy zberu priestorových dát pre účely zamerania permanentného výmoľa v lokalite Turá Lúka. Identifikovať morfologické zmeny výmoľa, jeho vývoj v čase a potvrdiť hypotézu o negatívnom vplyve najmä efemérnych výmoľov.



Obr. 2 Výrez ortofotomapy z roku 2018 zobrazujúci časť územia Myjavskej pahorkatiny – efemérne výmole označené šípkami (Google Earth, 2018)



Obr. 3 Príklady eróznno-akumulačnej činnosti vodnej erózie rezultujúcej do tvorby efemérnych výmoľov v Turej Lúke – ukladanie erodovaného materiálu (vľavo – 3/2018), strata ornice (vpravo – 8/2016)

Na zameranie výmoľov a tvorbu digitálnych modelov terénu (DMT) sa používajú v súčasnosti rôzne metódy zberu priestorových dát. Geodézia ako technický vedný odbor zaoberajúci sa zberom priestorových dát a ich spracovaním, je prepojený na viaceré vedné odbory a aplikácie, ktoré využívajú metódy mapovania krajiny a presné priestorové dáta. Najmä v poslednom období sa okrem polohového určenia objektov vyžaduje aj ich výškové určenie, čo vedie k tvorbe trojrozmerných (3D) modelov, ktoré sa využívajú aj v krajinárskej a vodohospodárskej praxi (Kyšľa et al.,

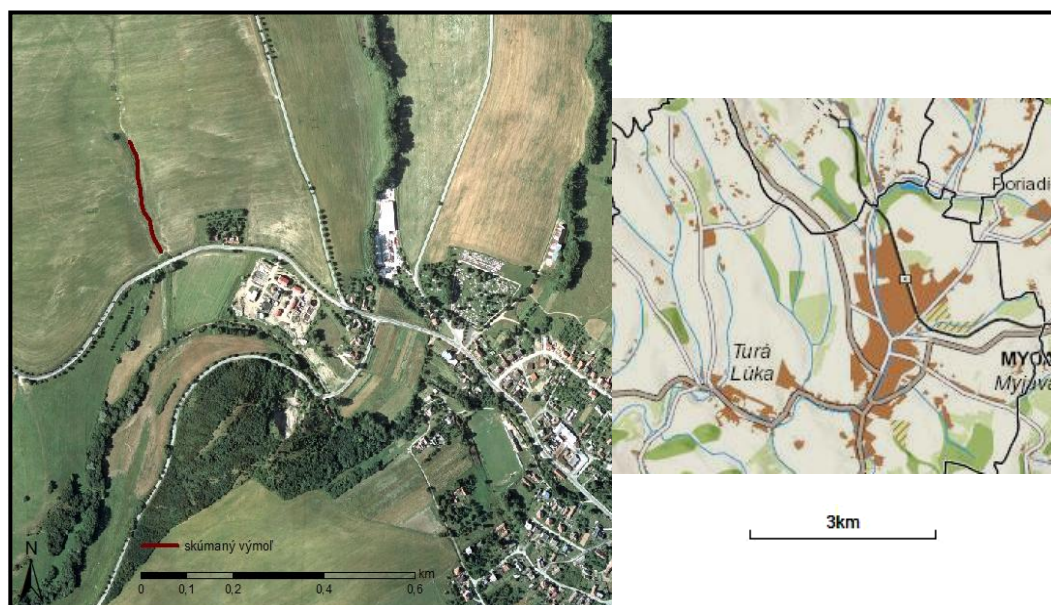
2013). Nový rozmer získalo skúmanie erózie najmä nástupom technológie laserového skenovania a bezpilotných leteckých zariadení (angl. Unmanned Aerial Vehicle – UAV), ktoré umožňujú získať detailný obraz o skúmaných objektoch (napr. výmoľ, strž, roklina a iné). Pomocou týchto metód dokážeme v krátkom čase získať veľké množstvo informácií. Metódami laserového skenovania pre účely monitorovania erózie pôdy a výmoľov sa zaoberajú viacerí autori (Gallay et al., 2011; Gallay et al., 2013; Eltner and Baumgart, 2015; Goodwin et al., 2017). Na Slovensku boli metódy laserového skenovania aplikované na 3D mapovanie krajiny v práci Hofierka a kol. (2017). Možnosti využitia UAV fotogrametrie v geomorfológii sú popísané v prácach (Miřijovský, 2013; Rusnák et al., 2018). Použitie týchto metód je však limitované viacerými faktormi, ktoré je potrebné si pred každým meraním zistiť. Predovšetkým je to účel zamerania a použitie dosiahnutých výsledkov. Dôležitou súčasťou je požadovaná presnosť a najmä cena za vykonanú prácu. Klasicky bol využívaný postup merania prostredníctvom priečnych profilov. Určovanie základných parametrov výmoľov pomocou priečnych profilov popisuje vo svojej publikácii Holý (1978). Podľa Zachara (1970) treba zistiť nasledovné charakteristiky:

- dĺžku (len hlavné rameno),
- šírku (zistí sa maximálna a priemerná šírka),
- hĺbku (priemerná a maximálna),
- sklon,
- objem.

Uvedené technológie sme aplikovali na výskum permanentného výmoľa, ktorý sa nachádza na pôdnom celku v Turej Lúke. Merania boli vykonané v rokoch 2014, 2015, 2016 a 2017.

Charakteristika sledovanej lokality

Na porovnanie vhodnosti použitia spomínaných metód zberu priestorových dát bol vybraný výmoľ na poľnohospodársky obrábanej ploche. Merania prebiehali v lokalite katastrálneho územia (k. ú.) Turá Lúka (mestská časť Myjavy), ktorá sa nachádza v západnej časti Slovenska v oblasti Myjavskej pahorkatiny (obr. 4).



Obr. 4 Lokalizácia záujmového územia (Národné lesnícke centrum, Mapový klient ZBGIS®)

Pod výmoľom sa nachádza cesta II. triedy, ktorá spája mestá Myjava a Senica. Z geomorfologického hľadiska sa mestská časť Turá Lúka nachádza v provincii Západných Karpát, v oblasti Slovensko-moravských Karpát a v celku Myjavská pahorkatina. Záujmové územie je tvorené paleogénnymi sedimentami flyšového pásma. Podložie je tvorené flyšovým súvrstvom s prevahou ílovcov (paleocén až starší eocén). Kvartér je zastúpený prevažne rôznymi druhmi svahových deluviálnych sedimentov a sutín (hlinité, hlinito-piesčité, hlinito-kamenité, piesčito-kamenité).

Samotný výmoľ, ktorý sa na území nachádza takmer 200 rokov, ústi do rieky Myjava (Nosko et al., 2016). Z meraní v teréne sme určili základné charakteristiky výmoľa (tab. 1), ktoré boli popísané v práci Nosko (2015). V sledovanom permanentnom výmoľi boli vykonané opatrenia v podobe ochrany zhlavia výmoľa a vybudovania drevených prehrádzok.

Tab. 1 Základné parametre sledovaného permanentného výmoľa z roku 2014

Základné parametre permanentného výmoľa				
Dĺžka (m)	Prevýšenie (m)	Sklon (%)	Maximálna hĺbka (m)	Maximálna šírka (m)
290	30	10,4	1,4	6,8

1. Použité metódy zberu priestorových dát

Priestorové dáta o objektoch reálneho sveta možno získať použitím rôznych metód zberu priestorových dát. Základným krokom je stanovenie vhodnej technológie, ktorou získame trojrozmerné informácie o objekte (Staňková a Černota, 2010). V prvom rade je nutné zvážiť efektívnosť merania, náročnosť metódy, presnosť a v neposlednom rade finančné požiadavky. Na zameranie a určenie parametrov výmoľa sme použili nasledujúce metódy zberu priestorových dát a prístroje:

- UAV fotogrametria, Gatewing X100 (obr. 5a),
- terestrické laserové skenovanie (TLS), Trimble TX5 (obr. 5b),
- globálne navigačné satelitné systémy (GNSS), LEICA GS15 (obr. 5c).

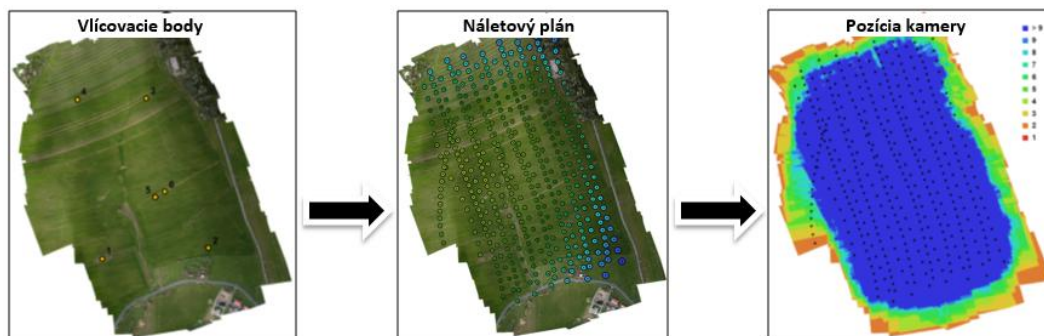


Obr. 5 Použité zariadenia na zber priestorových dát a) UAV, b) TLS, c) GNSS

1.1 Zameranie výmoľa UAV fotogrametriou a jeho spracovanie

Na snímokovanie bol použitý UAV systém s pevnými krídlami Gatewing X100 a digitálna kamera Ricoh GR III (obr. 5a). Meranie sme vykonali 10. 4. 2014 v spolupráci so spoločnosťou SGS - Holding a.s. Pred meraním sme vytvorili náletový plán (obr. 6), ktorý pozostával z definovania hranice snímokovaného územia a nastavenia parametrov snímokovania (priestorové geometrické rozlíšenie 3,4 cm, priemerná výška letu nad terénom 145 m, ohnisková vzdialenosť 6 mm). Pred snímokovaním bola vykonaná stabilizácia, signalizácia a zameranie vlícovacích bodov (obr. 6), ktoré sme vykonali kinematickou metódou v reálnom čase (angl. Real Time Kinematic – RTK) s pripojením na Slovenskú priestorovú observačnú službu (SKPOS). Na vlícovacích bodoch bola dosiahnutá maximálna hodnota strednej súradnicovej chyby m_{xy} a výškovej chyby m_z 0,02 m.

Na spracovanie dát sme použili program Agisoft PhotoScan a na určenie parametrov výmoľa sme vytvorili digitálny model terénu (DMT) s veľkosťou mriežky 5 cm a ortofotomozaiku. Podrobný postup spracovania ortofotosnímkov a tvorby DMT je uvedený v prácach Kosmeľová (2014) a Nosko (2015).



Obr. 6 Zameranie výmoľa pomocou Gatewing X100 v roku 2014 (Kosmeľová, 2014)

1.2 Zameranie výmoľa pomocou TLS a jeho spracovanie

Metódou TLS bol skenovaný výmoľ 10. 4. 2015 a 29. 4. 2016. V oboch prípadoch sme použili skener Trimble TX5. Samotnému skenovaniu predchádzala úprava terénu a príprava na meranie. Úprava terénu spočívala v odstránení nežiaducej vegetácie (kosením), aby sme čo najdôveryhodnejšie zachytili sledovaný objekt. V rámci prípravy na skenovanie bola realizovaná konfigurácia stanovísk skenera a vlčovacích bodov (obr. 7), ktoré sme umiestnili a signalizovali v blízkosti výmoľa tak, aby z každého stanoviska skenera bolo vidieť aspoň tri vlčovacie body.

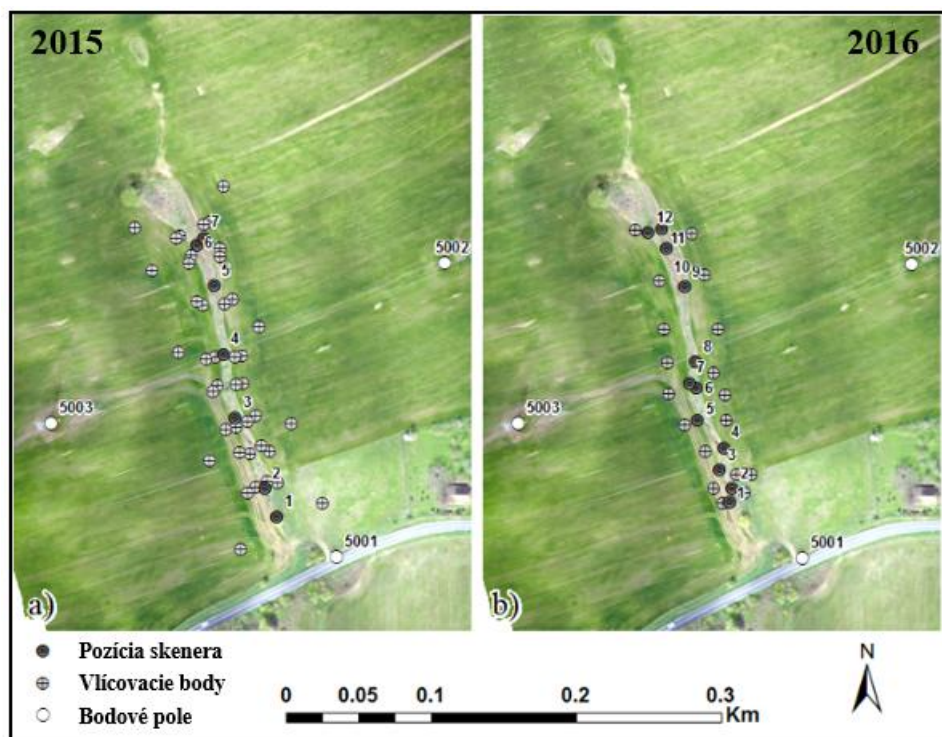
Spracovanie skenov z jednotlivých stanovísk a mračna bodov sme vykonali pomocou programu Trimble Scene. V tomto prípade bola nevyhnutná filtrácia nadbytočných bodov (vegetácia, osoby), ktoré by ovplyvnili kvalitu DMT, modelovaného výmoľa a čas ich spracovania. Výsledné DMT boli generované v rastrovej forme s veľkosťou mriežky 5 cm. Podrobný postup tvorby DMT je popísaný v prácach Nosko (2015) a Nosko et al. (2016).

1.3 Zameranie výmoľa metódou GNSS a jeho spracovanie

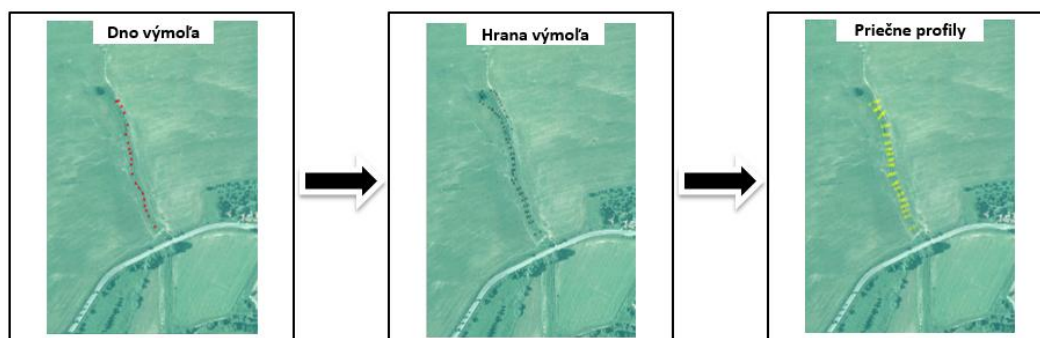
V prípade GNSS merania výmoľa kinematickou metódou v reálnom čase, ktoré bolo realizované 15. 6. 2017, sme použili GNSS prístroj Leica GS15. Meranie sme realizovali prostredníctvom priečných profilov. Priečne profily boli zamerané každých 10 m, v miestach výrazných morfometrických zmien a v miestach vybudovaných drevených prehrádzok (obr. 8). V týchto miestach bolo vykonaná úprava terénu. V tomto prípade bola najnižšia hustota bodov zamerania výmoľa. Na bodoch priečných profilov hodnoty strednej chyby vo výške m_z neprekročili 0,04 m. Zameralenie a transformácia dát do súradnicového systému Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK) bola realizovaná prostredníctvom permanentnej siete SmartNet.

2. Výsledky

Zo všetkých použitých metód bol v prostredí programu ArcGIS vypočítaný objem sledovaného výmoľa. Objem bol určený ako hodnota reprezentujúca pretrvávajúcu eróznú činnosť vo výmoľi. Pre všetky merania bol použitý identický postup spracovania, ktorý je detailne popísaný v Nosko et al. (2016), pričom základom bola vytvorená ortofotomozaika z roku 2014, na podklade ktorej bol definovaný polygón výmoľa, a ktorý bol súčasne použitý s DMT na určenie jeho objemu. Grafické vyjadrenie postupu výpočtu sa nachádza na obr. 9, kde modrá farba reprezentuje výmoľ a jeho vypočítaný objem a červená farba okolie výmoľa (obr. 9).

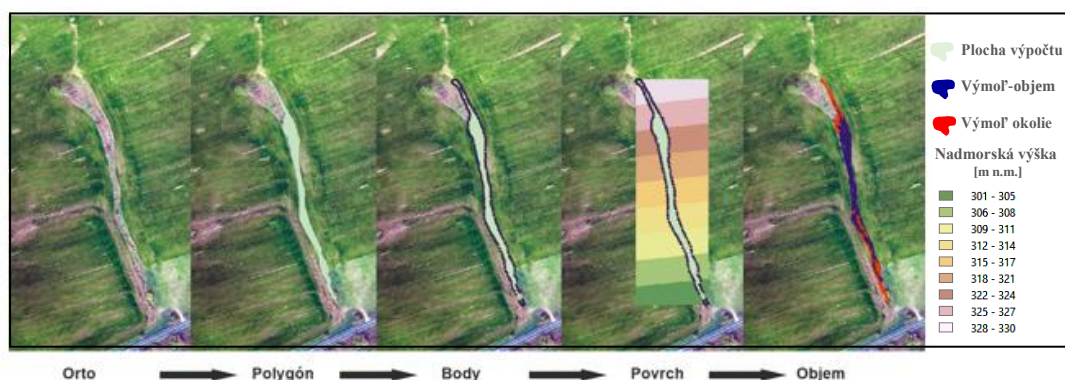


Obr. 7 Zameranie výmoľa pomocou Trimble TX5 v rokoch 2015 a 2016 (Nosko et al., 2016)



Obr. 8 Zameranie výmoľa pomocou Leica GS15 v roku 2017

Výsledky spracovania a určenia objemu sú znázornené v tab. 2. Z porovnania výsledkov z UAV fotogrametrie a TLS je zrejmé, že sledovaný permanentný výmoľ je relatívne stabilný a podlieha len miernemu vplyvu vodnej erózie. Výsledky merania metódou priečných profilov pomocou metódy GNSS možno považovať za najmenej presné za predpokladu, že objem výmoľa medziročne narastá.



Obr. 9 Postup určenia objemu v programe ArcGIS (Nosko et al., 2016)

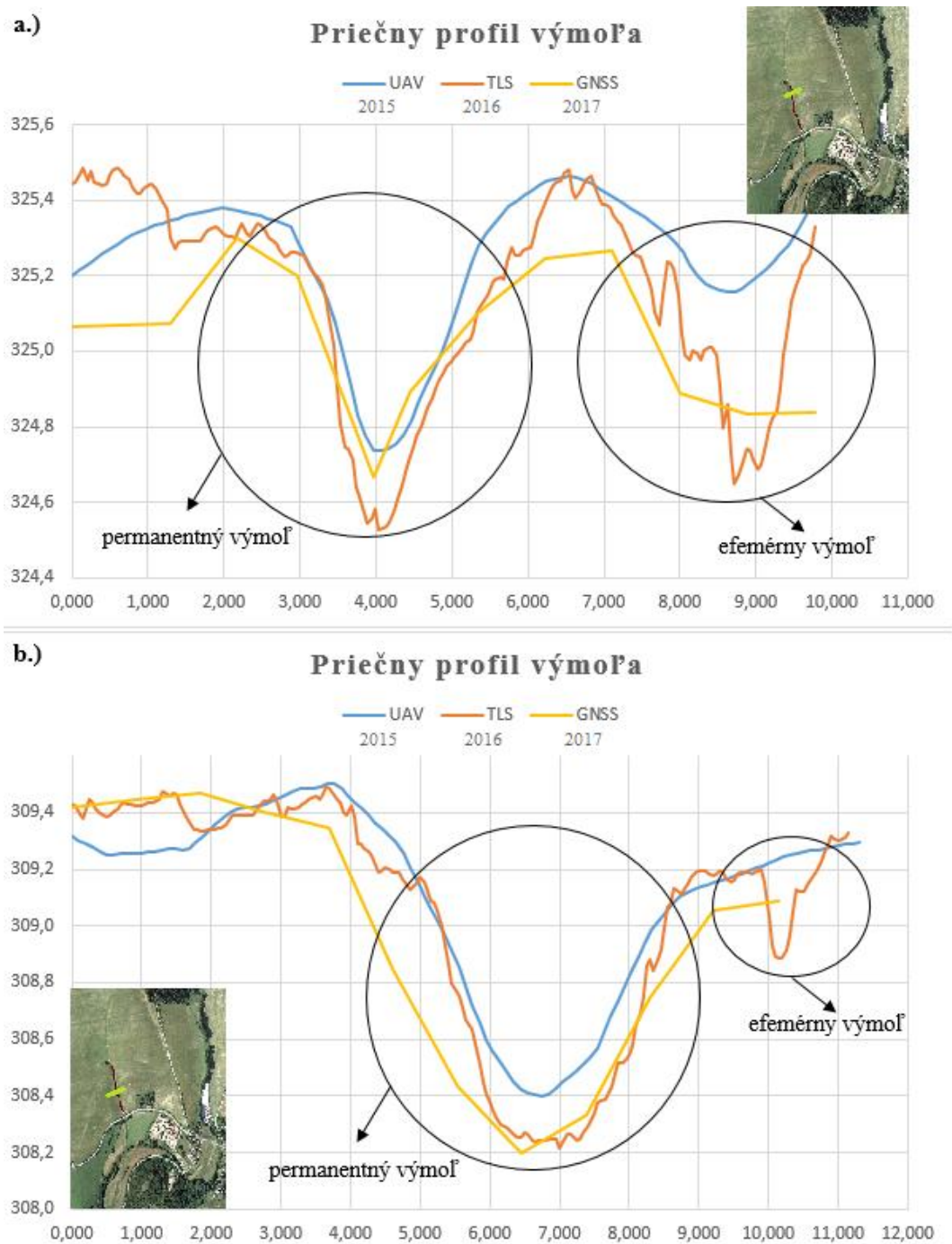
Tab. 2 Objem permanentného výmoľa v Turej Lúke vypočítaný v programe ArcGIS

Použitá technológia	Rok merania	Objem (m ³)
UAV fotogrametria	2014	870
UAV fotogrametria	2015	910
TLS	2015	970
TLS	2016	1050
GNSS	2017	800

Porovnanie výsledkov na základe vytvorených priečných profilov znázorňuje obr. 10a), 10b). Na vybraných priečných profiloch (tam kde sa nachádza a bol zameraný efemérny výmoľ) je vidieť, že najdetailnejšie popisuje sledovaný permanentný výmoľ TLS. Pri meraní s UAV fotogrametriou pozorujeme rozdiel predovšetkým vo výškach, čo mohlo byť spôsobené najmä vplyvom vegetácie a výškou letu. Všetky použité metódy relatívne podobne popisujú sledovaný permanentný výmoľ. Najlepši je prekryt práve TLS a GNSS.

Metóda GNSS je závislá predovšetkým od počtu zameraných bodov v profile. Zásadnejšiu zmenu možno vidieť práve v prípade efemérneho výmoľa (erózna ryha), ktorý sa začal vytvárať v okolí permanentného výmoľa. Počas prvého mapovania (UAV fotogrametria v roku 2014) sa tento efemérny výmoľ na pôdnom celku ešte nenachádzal (v čase merania mohol byť odstránený orbou). V súčasnosti dosahuje v niektorých miestach približne hĺbku 0,5 m. Efemérny výmoľ je zachytený v roku 2016 pomocou TLS ako aj v roku 2017 pomocou GNSS. Rozdiel medzi permanentným a efemérnym výmoľom sa nachádza na obr. 11.

Počas meraní permanentného výmoľa v Turej Lúke bol vytvorený zápisník popisujúci časovú náročnosť jednotlivých krokov prípravy, merania až po samotné spracovanie (tab. 3).



Obr. 10a), 10b) Vybrané priečne profily permanentného a efemérneho výmoľa v lokalite Turá Lúka



Obr. 11 Permanentný a efemérny výmoľ v lokalite Turá Lúka

Tab. 3 Časová náročnosť použitých metód

ÚLOHA	Prípravné práce	Doplňkové merania	Meranie	Spracovanie merania	Celkový čas
POPIS	<i>úprava terénu, ohlasovanie letu, tvorba náletového plánu, náčrt</i>	<i>vĺčovací body, tvorba bodového poľa</i>	<i>výmoľ</i>	<i>filtrácia bodov, tvorba DMT, tvorba 3D modelu</i>	
ČAS	hod.	hod.	hod.	hod.	hod.
UAV	3	1,75	1	21,25	27
TLS	12	3	5,75	24,25	45
GNSS	1,75	0	4	0,75	6,5

Záver

V rámci príspevku sme mapovali možnosti a vhodnosť využitia rôznych metód zberu na zameranie výmoľa na poľnohospodársky obrábanej pôde. Na meranie sme použili moderné technológie, ako sú UAV fotogrametria, TLS a GNSS. V prípade každého merania je nevyhnutné si uvedomiť účel, presnosť a detailnosť vytvoreného modelu skúmaného objektu. Veľmi podstatnou súčasťou meraní je samozrejme časová a finančná náročnosť vykonávaných činností s čím úzko súvisí veľkosť meranej plochy respektíve objektu. Pri meraní erózie v teréne je potrebné si uvedomiť, že pracujeme so zložitým reliéfom s rôznou textúrou a vegetáciou. Spolu s týmito faktormi úzko súvisia prípravné práce a doplnkové merania, ktoré bolo nutné v teréne vykonať. V prípade TLS práve prípravné práce spolu s doplnkovými meraniami boli časovo náročnejšie ako samotné meranie.

Pri použití UAV fotogrametrie bolo pred snímkovaním dôležité spracovať náletový plán spolu so signalizáciou a stabilizáciou vlícovacích bodov. Ďalším obmedzením je legislatíva a poveternostné podmienky. Z hľadiska prípravy bolo najjednoduchšie meranie metódou GNSS. Tomuto meraniu predchádzala rekognoskácia územia a vytvorenie plánu merania (miesta priečných profilov). Veľkou výhodou UAV fotogrametrie a TLS je plne automatizovaný proces, počas ktorého sme získali veľké množstvo priestorových dát. Terestrický skener je nutné presúvať (meracie zostavy) aby sme dokázali skenovať celé územie. UAV nosič je limitovaný výdržou akumulátora. Meranie pomocou GNSS bolo fyzicky náročné, vzhľadom na terén, v ktorom sme sa pohybovali. V niektorých častiach permanentného výmoľa sa nachádza vegetácia v podobe stromov, ktoré znemožňovali dostatočný príjem signálu z družíc. Časovo najnáročnejšie boli meranie pomocou TLS (záleží od parametrov skenovania) a GNSS (od počtu bodov v profile). V prípade UAV fotogrametrie bola zameraná najväčšia plocha za najkratší čas. Najmenšiu plochu sme zamerali pomocou metódy GNSS.

Samostatnou a nemenej dôležitou časťou analýzy je vyhodnotenie meraní. Spracovanie merania z TLS komplikoval veľký počet nadbytočných dát, ktoré bolo nutné odfiltrovať (vegetácia, osoby). Na vyhodnotenie bol použitý softvér Scene dodávaný spolu s prístrojom Trimble TX5. Bolo vytvorené mračno bodov zo 110 miliónov bodov, čo predstavovalo problém v importe týchto dát. Naproti tomu výsledný model bol spomedzi všetkých najdetailnejší a najlepšie popisuje sledovaný objekt. Spracovanie leteckých snímok prebiehalo v prostredí programu Agisoft Photoscan, kde samotné spracovanie trvalo približne 21 hodín. V tomto prípade je však spracovaná väčšia plocha s dostatočnou presnosťou. Z tohto merania bola vytvorená ortofotomozaika. Najväčšie chyby vznikli vo výškach, čo bolo spôsobené výškou letu a stavom vegetácie. Čas spracovania bol i v tomto prípade najkratší použitím metódy GNSS. Pri tomto meraní však skúmaný objekt nie je mapovaný s vysokou mierou priestorovej podrobnosti. V tomto prípade zohráva úlohu interpolácia. Na presné určenie zmeny objemu výmoľa v jednotlivých časových obdobiach nie je táto metóda vhodná.

Z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že najpresnejší model sledovaného výmoľa z pohľadu priestorovej podrobnosti sa dá získať pomocou metódy TLS, avšak pre potreby tohto typu merania, najmä časovej náročnosti je vhodnejšie použiť meranie pomocou UAV fotogrametrie. Použitie metódy GNSS odporúčame pri meraní parametrov ako sú priemerná hĺbka, šírka a dĺžka výmoľa. Určovanie objemu výmoľa (3D modelu výmoľa) a tvorba DMT je touto technológiou veľmi náročné. V pomere cena, presnosť, kvalita, veľkosť zameranej plochy a čas je najvhodnejšie použitie UAV systémov s pevnými krídlami. TLS je vhodné používať v prípade menších plôch kde potrebujeme získať milimetrovú presnosť a detailne modelovať sledovaný objekt. GNSS ako najrýchlejšia metóda (príprava + meranie + spracovanie) je vhodná na rýchle určenie základných parametrov o objekte. Následne je nutné zamerať s vysokou mierou priestorovej podrobnosti permanentný výmoľ s metódou TLS, prípadne overiť možnosti metódy leteckého laserového skenovania (LLS), ktorá pri mapovaní väčších plôch, by bola z časového a finančného hľadiska asi efektívnejšia.

Na základe meraní je možné konštatovať, že napriek opatreniam (ochrana zhlaví výmoľa a vybudovanie drevených prehrádzok), výmoľ je pod vplyvom prebiehajúcich erózných procesov. Objem výmoľa medziročne narastá približne o 100 m³, zmeny v šírke a hĺbke analyzované na vybraných priečných profiloch boli minimálne. Intenzívna vodná erózia na území naďalej pôsobí, čo potvrdzuje fakt tvorby efemérneho výmoľa v blízkosti permanentného výmoľa, ktorý dosahuje miestami už 0,5 m, kde pri týchto hĺbkach hrozí vznik permanentného výmoľa.

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR v rámci projektu č. VEGA 1/0710/15 a Európskou komisiou v rámci projektu 7RP RECARE, kontrakt č. 603498. Poďakovanie patrí taktiež kolegom z Katedry geodézie za pomoc pri zbere a spracovaní dát.

Literatúra

- ELTNER, A., BAUMGART, P. (2015). Accuracy constraints of terrestrial Lidar data for soil erosion measurement: Application to a Mediterranean field plot. *Geomorphology*, 245, pp. 243-254.
- HOFIERKA, J., ŠAŠAK, J., ŠUPINSKÝ, J., GALLAY, M., KAŇUK, J., SEDLÁK, V. (2017). 3D mapovanie krajiny pomocou pozemného a leteckého laserového skenovania. *Životné prostredie*, 51, s. 21-27.
- HOLÝ, M. (1978). *Protierozní ochrana*. 1. vyd. Praha (SNTL – Nakladatelství technické literatury).

- GALLAY, M., LLOYD, CH., MCKINLEY, J., BARRY, L. (2011). Porovnanie vertikálnej presnosti digitálnych modelov georeliéfu z údajov získaných moderným pozemným meraním a leteckým laserovým skenovaním, *Kartografické listy*, 19, s. 61-71.
- GALLAY, M., LLOYD, CH., MCKINLEY, J., BARRY, L. (2013). Assessing modern ground survey methods and airborne laser scanning for digital terrain modelling. A case study from the Lake District, England. *Computers and Geosciences*, 51, pp. 216-227.
- GOODWIN, N.R., ARMSTON, J.D., MUIR J., STILLER, I. (2017). Monitoring gully change: A comparison of airborne and terrestrial laser scanning using a case study from Aratula, Queensland. *Geomorphology*, 282, pp. 195-208.
- KOSMELOVÁ, J. (2014). *Využitie UAV na mapovanie krajiny*. Diplomová práca, Bratislava (Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta), 56 s.
- KYŠELA, K., BLIŠŤAN, P., KOVANIČ, E. (2013). Využitie vybraných geodetických metód pre zameranie povrchových prevádzok s cieľom tvorby ich 3D modelov [online]. In *Fórum mladých geoinformatikov*. Zvolen (Technická univerzita) [cit. 2018-08-06]. Dostupné na: <<http://gis.tuzvo.sk/tiki-index.php?page=F%C3%B3rum+mlad%C3%BDch+geoinformatikov+2013>>
- MIŘIJOVSKÝ, J. (2013). *Bezpilotní systémy – sběr dat a využití ve fotogrametrii*. 1. vydání. Olomouc (Vydavatelství UP), 169 s.
- NOSKO, R. (2015). *Posúdenie vývoja erózneho výmola pre účely protieróznej ochrany*. Diplomová práca, Bratislava (Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta), 71 s.
- NOSKO, R., VÝLETA, R., FRAŠTIA, M., ŠKRINÁR, A., DANÁČOVÁ, M. (2016). Estimation of changes in erosion gully on a hillslope. In *Proceedings of 16th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference SGEM*, pp. 95-102.
- POESEN, J., NACHTERGAELE, J., VERSTRAETEN, G., VALENTIN, C. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50, pp. 91-133.
- RUSNÁK, M., SLÁDEK, J., KIDOVÁ, A. (2018). Využitie UAV technológie pre klasifikáciu a mapovanie krajiny vo fluvialnej geomorfológii. *Geografický časopis*, 70, 2, s. 141-160.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Glossary of Soil Science Terms [online] [cit. 2018-20-10]. Dostupné na: <<https://www.soils.org/publications/soils-glossary>>
- STANKOVIANSKY, M. (2003). Historical evolution of permanent gullies in the Myjava Hill Land, Slovakia. *Catena*, 51, pp. 223-239.
- STANKOVIANSKY, M. (2008). Vplyv dlhodobého obrábania pôdy na vývoj reliéfu slovenských Karpát. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 50, pp. 95-116.
- STAŇKOVÁ, H., ČERNOTA, P. (2010). A principle of forming and developing geodetic bases in the Czech Republic. *Geodezija i Kartografija*, 36(3), pp. 103-112.
- TLUG, 2010. TLUG-Veranstaltung Vorsorgender Bodenschutz, 27.10.10. [online] [cit. 2018-06-20]. Dostupné na: <https://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/abt1/v-referate/01_bodenerosion_101027.pdf>
- TOY, T.J., FOSTER, G.R., RENARD, K.G. (2002). *Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement and Control*. New York, USA (John Wiley and Sons).
- VALENT, P., RONČÁK, P., MALIARIKOVÁ, M., BEHAN, Š. (2016). Utilization of Historical Maps in the Land Use Change Impact Studies: A Case Study from Myjava River Basin. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24(4), pp. 15-26.
- ZACHAR, D. (1970). *Erózia pôdy*. Bratislava (Vydavateľstvo SAV).

Summary

Comparison of spatial data collection methods for purposes of the measurement of the gully in locality Tura Luka

Currently, the topic of the gully erosion pointing to the often resolved problem of soil degradation, which processes are accelerating in Europe. For this reason, these phenomena need to be explored to prevent further losses and restore soil functions to areas already affected. As a result of the gully erosion, the gully is produced. There is the permanent gully (necessary stabilization) and the ephemeral gully, which can be eliminated by plough every year. Measurement and quantification of impact of the gully erosion is performed by various methods of spatial data collection. We focused on the methods as UAV photogrammetry, terrestrial laser scanning and global navigation satellite systems. The area of our interest was the permanent gully on an agricultural area in Myjava Hill Land in the cadastral district of Tura Luka. The measurements of spatial data were done in years 2014, 2015, 2016 and 2017.

The measurement with the method of UAV photogrammetry was done in year 2014. We used Gatewing X100 UAV system with fixed wings and the digital camera Ricoh GR III. TLS method was used to scanning the gully in years 2015 and 2016. We used the Trimble TX5 scanner. We used the GNSS receiver Leica GS15 for measurement the gully in year 2017. The measurement was done by means of cross profiles.

We created DTM for each method and time period. We calculated the volume of the monitored gully (tab. 2). The volume was determined as the value representing the persistent erosive activity in the gully. We used an identical processing procedure for all measurements, which was based on the orthophotomosaic from year 2014. We created a polygon of the gully on the basis of the orthophotomosaic. This polygon was used simultaneously with DTM of each method to determine volumes of the gully.

The time consuming of each method (preparation, measurement and processing) is summarized in table 3. From the results obtained, it is clear that the most accurate model of the monitored gully in terms of spatial details can be obtained using TLS method. This method is the most time consuming. GNSS method as the fastest method is suitable for quickly determining the basic parameters of the gully. On the basis of the measurements it can be stated, that the volume of the gully increases year-on-year by about 100 m³. The intensive erosion activity continues on the territory, which confirms the fact of creation of the ephemeral gully near the permanent gully.

Fig. 1 Formation of the gully on the slope, modified by (TLUG, 2010)

Fig. 2 Part of the orthophotomap from 2018 showing part of the territory Myjava Hill Land – ephemeral gullies marked with arrows (Google Earth, 2018)

Fig. 3 Examples of erosion-accumulation activity of water erosion resulting in the formation of ephemeral gullies in Tura Luka – accumulation of eroded material (left – 3/2018) and loss of topsoil (right – 8/2016)

Fig. 4 Location of the area of interest

Fig. 5 Used equipment for collecting spatial data

Fig. 6 Measurement of the gully using the Gatewing X100 in 2014 (Kosmeřová, 2014)

Fig. 7 Measurement of the gully using Trimble TX5 in 2015 and 2016 (Nosko et al., 2016)

Fig. 8 Measurement of the gully using Leica GS15 in 2017

Fig. 9 Process of volume determination in ArcGIS (Nosko et al., 2016)

Fig. 10a), 10b) Selected cross profiles of the permanent gully in Tura Luka

Fig. 11 Permanent and ephemeral gully in Tura Luka

Tab. 1 Basic parameters of the monitored permanent gully from 2014

Tab. 2 The volume of the permanent gully in Tura Luka calculated in ArcGIS

Tab. 3 Used methods and their time-consuming

Prijaté do redakcie: 11. júla 2018

Zaradené do tlače: december 2018