

MONITOROVANIE ÚČINNOSTI TECHNICKÝCH OPATRENÍ V ERÓZNOM VÝMOLE MODERNÝMI TECHNOLOGIAMI

Radovan Nosko, Roman Výleta, Marcela Maliariková, Michaela Danáčová

V príspevku sú prezentované výsledky z terénnych meraní erózneho výmoľa, kde sa upriamila pozornosť na účinnosť vybudovaných drevených prehrádzok. Porovnaním priečnych profilov pred týmito stabilizačnými prvkami v jednotlivých rokoch sa zisťovala zmena tvaru profilu, z ktorej je možné zistiť, či dochádza k zarezávaniu výmoľa, čiže vymieňaniu prehrádzky alebo naopak k zanášaniu erodovanými sedimentami. Ako mapovacie technológie sa použila technológia UAV, terestrické laserové skenovanie a GNSS služby. Mapovaním v rôznych časových obdobiach sa zistilo, že z celkového počtu 7 prehrádzok bolo v štyroch prípadoch identifikovateľné ich mierne zanášanie a v dvoch profiloch dochádza k ich prehĺbovaniu. Z analýzy výsledkov vyplynulo, že v sledovanom období 2014 – 2017 dochádza k miernym zmenám v polohe a hĺbke erózneho výmoľa, spodná časť sa javí ako stabilizovaná.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: erózny výmoľ, drevená prehrádzka, terestrické laserové skenovanie, UAV technológia

MONITORING OF THE GULLY EROSION TECHNICAL MEASURES EFFICIENCY THROUGH THE USE OF MODERN TECHNOLOGIES. The paper presents the results of field measurements of the gully erosion. The treatments to be tested are small wooden check dams. The aim of this experiment is to estimate changes in erosion gully using a terrestrial laser scanner, UAV technology and GNSS. The measurements are taken in different time periods to monitor the dynamics of erosion processes. Of the total number of 7 wooden check dams, their slight clogging of eroded soil particles was identified in four cases and two profiles are deepened. The results show that there are no more significant changes in the position and the depth of erosion during the period 2014–2017, the lower part appears to be stabilized.

KEY WORDS: gully erosion, wooden check dam, terrestrial laser scanning, UAV technology

Úvod

Myjavská pahorkatina, Krupinská planina, Javorníky, Kysucká a Šarišská vrchovina sú oblasti s veľmi častou sa vyskytujúcou výmoľovou eróziou na Slovensku (Bučko a Mazurová, 1958). Základnými faktormi pre vznik výmoľovej erózie je členitý terén, veľké sklony svahov a využitie územia (najmä poľnohospodársky využívané svahy), ktoré ponúkajú ideálne podmienky na tvorbu sústredeného odtoku. Výmoľová erózia je považovaná za celosvetovo významný proces degradácie pôdy (Poense, a kol. 2003). V oblasti Myjavskej pahorkatiny sa vodnou eróziou a jej dôsledkami zaoberal predovšetkým Stankoviánsky (1997; 2008), kde už v 17. storočí bol zaznamenaný výskyt najvyššej formy vodnej erózie v podobe niekoľkých permanentných výmoľov. Ich

vznik v tejto oblasti sa spája aj s kopaničiarskou kolonizáciou, ktorú sprevádzalo výrazné odlesňovanie pozemkov. Na úkor lesných porastov vznikali nové usadlosti "kopanice" a spolu s nimi poľnohospodárska pôda. Charakter krajiny štruktúry tvorila mozaika úzkych poličok oddelených od seba líniovými prvkami v podobe terás, poľných ciest, remízok (Stankoviánsky, 2003), ktoré prirodzeným spôsobom plnili funkciu tzv. protieróznych opatrení v krajine. Vplyvom ďalších spoločenských zmien, ako bola kolektivizácia poľnohospodárstva (v pol. 20. st.) došlo k sceľovaniu pozemkov a k tvorbe veľkoblokových polí, čím prišlo k zániku spomínaných líniových prvkov (rozorávanie medzí). Pozitívom bolo opätovné zalesňovanie územia, najmä listnatými spoločenstvami, to však nebolo natoľko komplexné resp. možné. A tak existencia viacerých

erózných výmoľov v oblasti Myjavskej pahorkatiny je stále aktuálna a je predmetom viacerých štúdií.

Kvantifikovanie miery, vzniku a vývoja rôznych typov prejavov (erózna ryha, výmoľ a pod.) zapríčinených vodnou eróziou je v súčasnosti aktuálnou témou, ktorá zaujíma odbornú ale aj širokú verejnosť hlavne v období privalových dažďov spojených s bleskovými bahennými povodňami. Pre ich stanovenie sa využíva mnoho metód, ktorých základom sú buď matematicko-simulačné modely alebo terénne merania, ktoré poskytujú zber a rozbor potrebných údajov v reálnom čase, napr. po významnej zrážkovej udalosti.

V prípade malých povodí alebo poľnohospodársky využívaných svahov sa zameriavame na sledovanie priestorových a časových zmien výrazných a nepravidelných tvarov erózných rýh a výmoľov prostredníctvom moderných geodetických mapovacích techník. Výber vhodnej metódy, prístroja a zariadenia na monitorovanie terénu je závislý od veľkosti sledovanej plochy územia, od jeho využitia, účelu výskumu a očakávanej presnosti, poveternostných podmienok a mnohých ďalších faktorov. Vo všeobecnosti možno však konštatovať, že medzi preferované techniky monitorovania erózie pôdy a jej prejavom patrí terestrické laserové skenovanie (TLS), technológia UAV (Unmanned Airborne Vehicle), fotogrametria (pozri napr. Eltner a kol., 2013; Castillo a kol. 2012; Wells a kol. 2016), prípadne využitie systémov GNSS (Global Navigation Satellite Systems).

Cieľom príspevku bolo monitorovanie účinnosti drevených protieróznych opatrení v permanentnom výmole, ktoré boli vybudované v roku 2010 v rámci „*Programu revitalizácie krajiny a integrovaného manažmentu povodí SR*“. Ide o jedno z protieróznych a stabilizačných opatrení, ktoré sa budujú predovšetkým v permanentných výmoľoch, aby sa zamedzilo ich rozšíreniu resp. prehĺbeniu. Nami monitorovaný erózný výmoľ sa nachádza na Myjavskej pahorkatine, na poľnohospodársky využívanom svahu v časti Turá Lúka. Ide o čiastkovú úlohu, ktorá vyplynula z aktuálneho riešenia výskumného projektu RECARE (7RP), kde sa slovenskí spoluriešitelia zaoberajú okrem problematiky degradácie pôdy a vzniku bahenných povodní v povodí Myjavy, aj technikám monitorovania erózie pôdy. Počas celého obdobia riešenia projektu prebieha zameranie tohto výmoľa rôznymi geodetickými technikami. Uvedené monitorovanie vychádza z nadväznosti riešenia úlohy v záujmovom území, kde sa už v štúdiu Nosko a kol. (2016) preukázali zmeny celkového objemu erózneho výmoľa v čase. Taktiež sa analyzovali historické (aj vojenské mapovanie) a súčasné mapové podklady, na základe ktorých sa určil aj posun v polohe a dĺžke sledovaného erózneho výmoľa z dlhodobého hľadiska (podrobnejšie Danáčová a kol., 2015).

V rámci tohto príspevku budú prezentované výsledky z terénnych meraní z rokoch 2014 – 2017 a bude zhodnotená účinnosť týchto prehrádzok, a to porovnaním priečného profilu pred týmito stabilizačnými prvkami. Porovnaním tvaru profilu z jednotlivých rokov je možné

zistiť, či dochádza k zarezávaniu výmoľa, čiže vymieľaniu prehrádzky alebo naopak k zanášaniu erodovanými sedimentami. V závere budú hodnotené monitorovacie techniky na základe našich skúseností, ktoré nám vyplynuli počas riešenia a monitorovania, pričom snahou bolo uviesť niekoľko odporúčaní a postrehov z predmetnej štúdie.

Materiál a metódy

Monitorovaný erózný výmoľ je situovaný na poľnohospodárskom svahu na konci mestskej časti Turá Lúka, približne 3 km od centra mesta Myjava. Z historických máp bolo preukázané, že erózný výmoľ sa v danom záujmovom území nachádzal už v 19. storočí. V Danáčová a kol. (2015) bol hodnotený jeho vývoj (dĺžka), ako aj posun v polohe na základe rôznych mapových podkladov. V súčasnosti je dĺžka výmoľa takmer 300 m a priemerný pozdĺžny sklon približne 10 %. Počas celého roka je výmoľ pokrytý vegetáciou a v jeho okolí sa nachádza niekoľko náletových drevín, ktoré prispievajú k jeho stabilizácii. V roku 2016 bol posledným detailným zameraním zistený objem výmoľa 1048 m³, pri použití technológie terestrického laserového skenovania (TLS). Maximálna hĺbka výmoľa je 1,2 m a priemerná šírka hrany výmoľa sa pohybuje v rozsahu 2 až 5 metrov.

Je dôležité spomenúť, že po výdatných zrážkach alebo v čase jarného topenia snehu sa sústreďuje voda nielen v permanentnom výmole, ale vytvárajú sa aj menšie efemérne ryhy (obr. 1C) pozdĺž permanentného výmoľa alebo na svahoch (obr. 1A, 1B). Tie sú však zorané pri obrábaní pôdy v pomerne krátkom čase, a tým pádom zanikne ich existencia.

V roku 2010 bolo vybudovaných 7 drevených prehrádzok priamo vo výmole, pričom prehrádzka č. 6 sa nachádza v hornej časti na vedľajšej vetve erózneho výmoľa. Práve vplyv týchto prehrádzok na stabilizovanie výmoľa a spomalenie vodnej erózie bude predmetom tohto článku, kde sa pokúsime zhodnotiť zmenu priečného profilu výmoľa práve v mieste pred týmito stabilizačnými opatreniami.

Technológie monitorovania

Na meranie, sledovanie a posúdenie zmien erózneho výmoľa v lokalite Turá Lúka boli použité viaceré moderné monitorovacie techniky. V rámci monitorovacieho obdobia 2014 až 2017 sa použila UAV technológia, pozemné TLS a využili sa aj merania geodetickou technológiou GNSS.

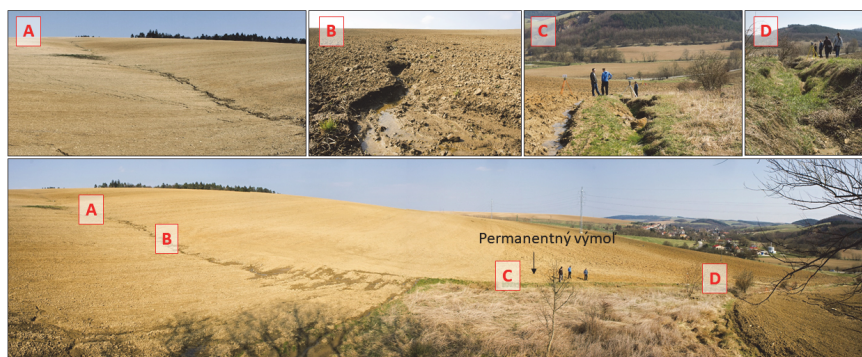
V roku 2014 bolo monitorovanie erózneho výmoľa realizované pomocou UAV technológie. V súčasnosti ide o veľmi populárny a efektívny nástroj na mapovanie územia, kde už z jedného letu je možné vytvoriť 3D model a ortofotosnímka územia. Ako letecké bezpilotné mapovacie zariadenie je veľmi často využívaná kvadrokoptéra (tzv. dron) so závesným zariadením, napr. kamerou. V prípade nepriaznivého počasia (dážď, vietor)

sa odporúča využiť malé bezpilotné lietadlo ovládané na diaľku (nastavenie náletového plánu, resp. dráha letu). Na georeferencovanie modelu sa rozmiestňujú do územia vličovacie body, ktoré sa zameriavajú najčastejšie pomocou GNSS. V rámci tohto mapovania bol zvolený letecký bezpilotný mapovací prístroj – Gatewing X100 (obr. 2A).

Technológia terestrického laserového skenovania bola použitá v roku 2015 a 2016. Ide o technológiu, ktorá má dve čiastkové úlohy, a to skenovanie objektu priamo v teréne a postprocessing (spracovanie skenu, a v prípade viacerých skenov ich spájanie). Na začiatku bezkontaktného skenovania je potrebné vytvoriť pevné bodové pole, tzv. triangulačné body, ktorých súradnice sa stanovujú pomocou GNSS systémov. Tieto pevné body slúžia na lokalizáciu polohy totálnej stanice, z ktorej sa zameriavajú súradnice vličovacích bodov (krížové terče) na georeferencovanie modelu. V rámci mapovania bol použitý 3D laserový skener Trimble TX5 (obr. 2B), ktorý funguje na princípe fázového zamerania vzdialenosti s presnosťou 2 mm/25 m. Nastavenie parametrov skenera závisí od kvality skenu, resp. hustoty

mračna bodov. Počet stanovišť skenera je podmienený od plochy územia, jeho členitosti, tienenia objektov a samozrejme dosahu zamerania. Pri monitorovaní objektu s výskytom vegetácie je dôležitá aj úprava terénu, teda odstránenie nežiaducej vegetácie napr. kosením. Zabrániť tak nepresnostiam alebo vzniku chyby pri jej odstraňovaní pomocou filtrov pri spracovávaní mračna bodov a následnej tvorby modelu reliéfu.

V roku 2017 bola na monitorovanie použitá iba technológia GNSS, ktorej výber bol ovplyvnený výskytom vysokej vegetácie v čase merania. Výhodou tejto technológie je presné určenie polohy a výšky bodu. Tvorby bodového poľa, teda hustota bodov závisí od účelu a potreby použitia modelu. Vo všeobecnosti závisí hustota bodov od veľkosti územia, jeho členitosti alebo či sa zameriavame len na určitú plochu/časť objektu (pričný profil, hrana, línia, atď.). V našom prípade na určenie dna línie výmoľa, jeho hrany a priečných profilov pred prehrádzkami bol použitý prístroj Leica Systém GS15 GNSS s pripojením na službu SKPOS, ktorá generuje tzv. sieťové korekcie geodetických súradníc v reálnom čase.



Obr. 1 Fotodokumentácia profilu záujmového územia poľnohospodárskeho svahu v časti Turá Lúka (A, B – odtokové dráhy, C a D – permanentný výmoleň).

Fig. 1. View of the study area of the agricultural hill slope in Tura Luka (A, B – runoff path, C and D – permanent gully erosion).



Obr. 2 Monitorovanie erózneho výmoľa, A – UAV technológia, B – pozemné terestrické laserové skenovanie, C – GNSS technológia.

Fig. 2. The monitoring of gully erosion, A – UAV technology, B – terrestrial laser scanning, C – GNSS technology.

Postprocessing

Pri UAV technológii bolo snímkanie vykonávané z výšky 150 metrov nad terénom, kde závesným aparátom na Gatewingu X100 bola kamera s geometrickým rozlíšením GSD 70 mm. Celkovo bolo vyhotovených a automaticky georeferencovaných 350 snímok pomocou softvéru AgisoftPhotoScan, ktorý pracuje na princípoch počítačového videnia (computer vision) a aplikuje algoritmus SFM (structure from motion). Zo snímok bol generovaný detailný výškopisný a polohopisný model z hustého mračna bodov vytvoreného z digitálnych snímok. Rezíduá na vlícovacích bodoch dosiahli max. hodnoty 0,02 m v polohe aj výške, takže sa predpokladá kvalita výškového digitálneho modelu na úrovni mH = 0,05 m.

Spracovanie dát z TLS prebehlo v softvéri SCENE. Priestorová presnosť registrácie jednotlivých stanovísk skenera bola 7 v roku 2015 (12 v roku 2016) bola lepšia ako 5,0 mm. V oboch rokoch sa použili rovnaké trigonometrické body, ktoré boli zamerané pomocou Leica Systém GS15 GNSS s pripojením na službu SKPOS. Následne boli mračná bodov z jednotlivých stanovísk spojené pomocou vlícovacích bodov, ktoré boli zamerané totálnou stanicou (Leica FlexLine TS02). V roku 2015 bolo celkovo spracovaných 150 miliónov bodov (110 miliónov bodov v roku 2016) a presnosť merania dĺžky bola 2,5 mm na 10 m. Problémom bola vyššia vegetácia, ktorá spôsobuje zákryty.

Na orezávanie a odfiltrovanie vyššej vegetácie, ako kríkov a stromov bol použitý softvér CloudCompare. Výsledný digitálny model reliéfu bol použitý pre potreby ďalších analýz.

Na spracovanie observácií GNSS sa v súčasnosti používa množstvo rôznych softvérov v závislosti od meracieho prístroja. V tomto prípade bol na vyhodnotenie výsledkov použitý LEICA produkt. Transformácia do národného súradnicového systému S-JTSK bola zabezpečená v permanentnej sieti SmartNet. Celkovo bolo spracovaných 207 bodov popisujúcich hrany výmola, os dna a priečne profily v miestach prehrádzok.

Pri použití a spracovaní nielen vyššie uvedených geodetických techník monitorovania je potrebné prihliadať na vnútornú chybu pri každom spôsobe zberu dát, ako aj na výber softvéru a následné spracovanie. Predmetom príspevku nie je porovnanie a analýza týchto techník

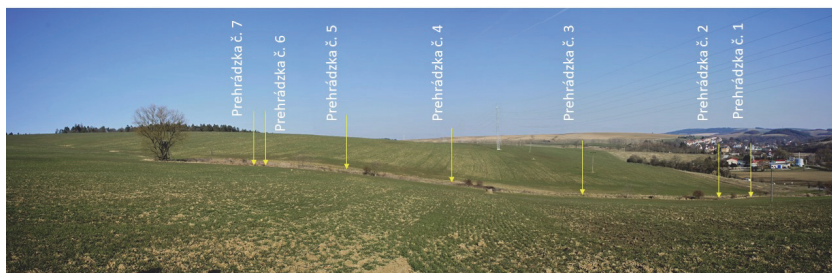
monitorovania, ale identifikácia morfológických zmien výmola vplyvom vybraných stabilizačných opatrení.

Výsledky a diskusia

Pre hodnotenie morfológických zmien boli vytvorené digitálne modely erózneho výmola na základe zamerania resp. využitia rôznych geodetických technológií. Digitálny výškový model okolitého reliéfu bol vytvorený pomocou UAV technológie – fotogrametrie, pričom bol použitý systém Gatewing X100 (lietadlo). Pri spracovaní výstupov z TLS boli vytvorené digitálne výškové modely, na podklade ktorých boli vyhotovené a porovnávané pozdĺžne a priečne profily v sledovanom období. GNSS technológiou bolo merané presné bodové pole, ktoré však nebolo natoľko husté, aby sme vytvorili digitálny model terénu. Body sa však využili na zistenie aktuálnej polohy hrany a dna výmola, ale aj analýze priečných profilov v častiach, kde sa očakávajú zmeny tvaru výmola a účinok stabilizačných prehrádzok.

Poloha najhlbšieho dna výmola sa zisťovala z vytvorených výškových modelov z roku 2014, 2015 a 2016 a taktiež z bodov línie dna zameraných GNSS v roku 2017. Pri porovnaní boli viditeľné len mierne zmeny v polohe a to konkrétne v strednej a hornej časti výmola. V dolnej časti zdá sa byť výmol zastabilizovaný, čo sa týka jeho polohy. Pri identifikácii zmeny hĺbky erózneho výmola sa dáta z UAV technológie (r. 2015) do detailnejšieho hodnotenia nezohľadňovali, vzhľadom na existenciu väčších odchýlok merania a stavu vegetácie v čase merania, keďže nebola vykonaná jej úprava. V rámci postprocesingu sme tieto hodnoty upravili o konštantnú hodnotu 30 mm po celej dĺžke, nakoľko značná časť vegetácie dosahovala tieto hodnoty. Zanášanie výmola sa zistilo v najnižšej časti a v jeho záhlaví. Naopak prehĺbenie výmola bolo identifikované v strednej a v hornej časti výmola (detailnejší popis výsledkov v Nosko a kol., 2017).

V rámci tohto príspevku sme sa zamerali na hodnotenie účinnosti protieróznych opatrení, kde sa vychádzalo z priečných profilov pred prehrádzkami. Lokalizácia drevených prehrádzok je uvedená na obrázku č. 3. Keďže v roku 2016 bolo vykonané najdetailnejšie monitorovanie, tak práve línia z tohto roka bola zvolená ako porovnávací, resp. referenčný. Na základe tejto línie sa určovali zmeny hĺbky výmola v ostatných rokoch.



Obr. 3. Panoramatická snímka erózneho výmola s lokalizáciou 7 drevených prehrádzok.

Fig. 3. Panorama of the erosion gully with location 7 small wooden check dams.

Detailnejšie hodnotenie bolo teda realizované v priečnych profiloch v mieste prehrádzok, kde je možné priamo posúdiť aj jeho tvar. Najnižšie položenú prehrádzku – spodnú (prehrádzka č. 1), ktorá sa nachádza na konci výmoľa a je umiestnená pod stromom, bolo pomerne ťažké analyzovať. Pri GNSS technológii bol problém s príjmom družíc v dôsledku výskytu vysokej a hustej vegetácie a vytvorené zákryty, tieň zase ovplyvňovali hustotu a presnosť technológií UAV a TLS. Z tohto dôvodu bola hodnotená len na základe rekognoskácie terénu, ktorá sa vykonávala niekoľkokrát počas roka v monitorovacom období. V mieste prehrádzky bolo zistené jej zanášanie a poukazujú na to aj vybrané fotografie, kde vidieť vrstvu sedimentov z vyššie položených miest (obr. 4a fotografia z apríla 2014, na obr. 4b fotografia z marca 2015 a na obr. 4c jún 2017). Priečny profil v staničení 18,7 m, ktorý je pred prehrádzkou č. 2, bol identifikovaný ako prehĺbenie dna výmoľa. Ak by sa bralo do úvahy, že meranie z roku 2014 je len orientačné (zelená čiarkovaná čiara), vzhľadom na vyššie spomínané fakty o nepresnosti merania tohto merania, tak sa možno domnievať, že od roku 2015 (modrá čiara) prichádza k evidentnému poklesu celého profilu. Za posledný rok sa výmoľ v hĺbke výrazne nezmenil, prišlo len k jeho rozšíreniu. V roku 2017

boli merané iba zlomové body v priečnom profile pomocou GNSS (čierné body) a tvar výmoľa bol získaný lineárnou interpoláciou susedných bodov (bodkočiarkovaná čierna čiara).

V mieste pred prehrádzkou č. 3 nedochádza k výraznejším zmenám v priečnom profile erózneho výmoľa, nakoľko z jednotlivých terénnych meraní možno vidieť len mierne rozšírenie na ľavom brehu výmoľa.

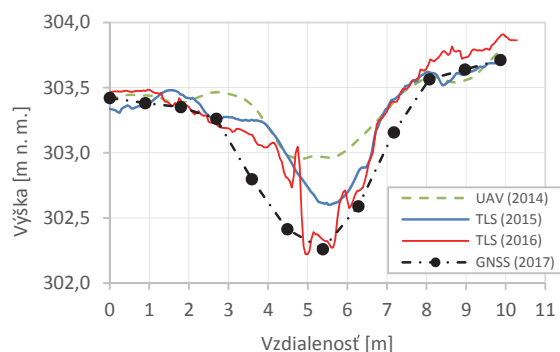
Prehrádzka č. 4 sa nachádza v strednej časti výmoľa v staničení 120,6 m, kde sú nižšie pozdĺžne sklony a aj výmoľ má zložitejší tvar. Je tu výskyt vyššej vegetácie, ktorá prispieva k zvýšeniu drsnosti odtoku. Pred prehrádzkou č. 4 dochádza k miernym zmenám v hĺbke, hlavne vo vedľajšej vetve výmoľa (obr. 7). V hlavnom výmoľi možno vidieť rozšírenie v horizontálnom smere. Z priečneho profilu 167,0 m (pred prehrádzkou č. 5) sú badateľné len nepatrné zmeny jeho tvaru, zanedbateľné zanášanie dna a zníženie jeho medzivrcholu (obr. 8).

V hornej časti výmoľa, kde dochádza aj k jeho vetveniu, je pomerne silne rozšírená vegetácia. V ľavej časti priečneho profilu sú väčšie odchýlky medzi jednotlivými meraniami, ktoré mohli byť spôsobené úpravou vegetácie, resp. jej nepokosením (obr. 9). V staničení 204,2 m nie sú výraznejšie zmeny tvaru priečneho profilu erózneho výmoľa.



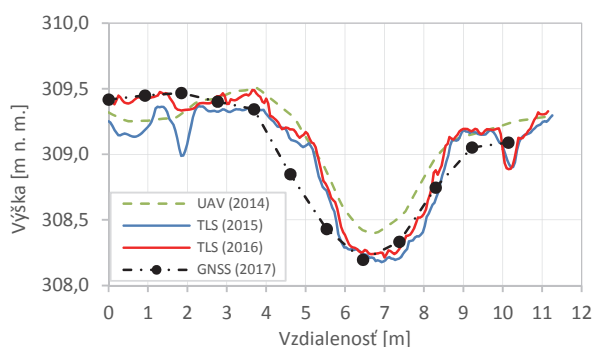
Obr. 4. Pohľad na prehrádzku č. 1 (spodná): a) rok 2014 b) rok 2015 c) rok 2017.

Fig. 4. Photo from site wooden check dams no. 1 (lower): a) year 2014 b) year 2015 c) year 2017.



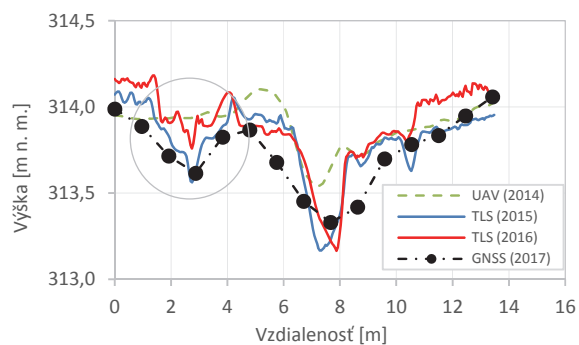
Obr. 5. Priečny profil erózneho výmoľa pred prehrádzkou č. 2 v staničení 18,7 m a fotografia z miesta zamerania.

Fig. 5. The cross profile of the gully erosion in front of wooden check dam no. 2, in stage 18,7 m and photo from site monitoring.



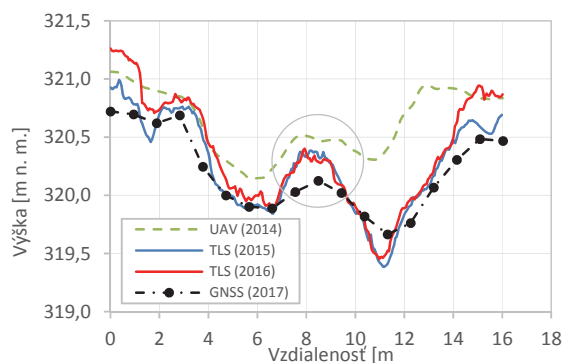
Obr. 6. Priečný profil erózneho výmola pred prehrádkou č. 3 v staničení 73,8 m a fotografia z miesta zamerania.

Fig. 6. The cross profile of the gully erosion in front of wooden check dam no. 3 in stage 73,8 m, photo from site monitoring.



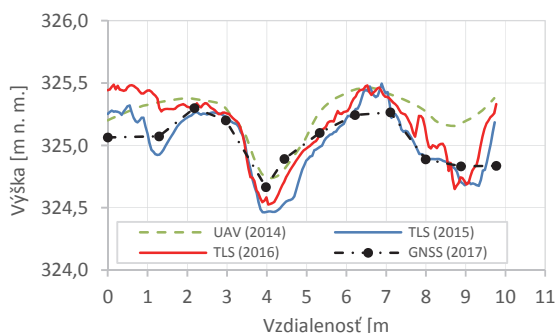
Obr. 7. Priečný profil erózneho výmola pred prehrádkou č.4 v staničení 120,6 m a fotografia z miesta zamerania.

Fig. 7. The cross profile of the gully erosion in front of wooden check dam no. 4, in stage 120,6 m photo from site monitoring.



Obr. 8. Priečný profil erózneho výmola pred prehrádkou č. 5 v staničení 167,0 m a fotografia z miesta zamerania.

Fig. 8. The cross profile of the gully erosion in front of wooden check dam no. 5, in stage 167,0 m photo from site monitoring.



Obr. 9. Priechy profil erózneho výmoľa pred prehrádzkou č. 7 v staničení 204,2 m a fotografia z miesta zamerania.

Fig. 9. The cross profile of the gully erosion in front of wooden check dam no. 7, in stage 204, 2 m photo from site monitoring.

Záver

V rámci príspevku sú metodicky uvedené využité monitorovacie techniky, spracovanie a vyhodnotenie terénnych meraní sledovaného erózneho výmoľa na poľnohospodársky využívanom svahu v Turej Lúke. Merania boli vykonávané v monitorovacom období od roku 2014 do 2017. Treba podotknúť, že cieľom nebolo detailne hodnotiť použité spôsoby geodetického merania, ale na základe našich skúseností uvedieme odporúčania o vhodnosti použitia rôznej mapovacej techniky. Pre detailné a zložité tvary erózných výmoľov sa osvedčila technika TLS, ktorá je však časovo najnáročnejšia na zameranie a aj na samotné vyhodnotenie dát. Pre územie s vysokou vegetáciou alebo krovinatým (lesným porastom) je nutnosť voľby viacerých stanovísk kvôli zákrytom, tieňom, prípadne úprava tejto vegetácie. A taktiež nie je vhodná pre väčšie plochy. Snímkovanie UAV technológiou je možnosť mapovania väčších plôch, pomerne rýchle zamerania a spracovanie, avšak dosahujeme nižšiu presnosť ako pri TLS. Pri tvorbe mračna bodov a ortofotosnímky je tu možnosť úpravy digitálneho modelu reliéfu.

Z našich výsledkov zamerania erózneho výmoľa k zmene polohy osi dna nedošlo k výraznejším zmenám v monitorovacom období a spodná časť sa javí ako zastabilizovaná, hlavne vo vegetačnom období. Pre identifikáciu zmeny hĺbky erózneho výmoľa sa vychádzalo z pozdĺžneho sklonu dna, kde sa podarilo určiť úseky s prejavom jeho zanášania a prehĺbenia.

Z exportovaných priečných profilov pred vybudovanými drevenými prehrádzkami boli detailnejšie zisťované zmeny tvaru erózneho výmoľa. Hlavnou úlohou prehrádzok je stabilizácia výmoľa v polohe, spomalenie sústredeného odtoku a zachytenie transportovaného sedimentu, čomu do istej miery dochádza a dochádza k celkovej stabilizácii erózneho výmoľa. V hornej časti

má výmoľ zložitejší tvar, a aj z dôvodu výskytu vegetácie tam nedochádza k výraznejšej zmene hĺbky a jeho tvaru. V ostatných priečných profiloch boli preukázané zmeny v horizontálnom aj vertikálnom smere. Z výstupov možno konštatovať, že zmeny v šírke boli v niektorých miestach až 0,5 m, avšak rozdiely v hĺbke neboli významné (do 0,2 m). K najvýraznejšej zmene došlo z nášho pohľadu na najnižšie položené prehrádzke, ktorá sa nachádza na konci výmoľa, kde je evidentné jej zanášanie sedimentami.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR rámci projektu č. VEGA 1/0710/15 a Európskou komisiou v rámci projektu 7RP RECAR, kontrakt č. 603498. Podakovanie patrí taktiež kolegom z katedry Geodézie SvF STU v Bratislave za pomoc pri zbere a spracovaní dát.

Literatúra

- Bučko Š., Mazurová V. (1958): Výmoľová erózia na Slovensku. In: Zachar D (ed) Vodná erózia na Slovensku. Slovak Academy of Sciences, Bratislava, pp. 68–101.
- Castillo, C., R. Pérez, M. R. James J. N. Quinton, E. V. Taguas, J. A. Gómez (2012): Comparing the Accuracy of Several Field Methods for Measuring Gully Erosion, Soil Sci. Soc. Am. J. 76:1319–1332.
- Danáčová, M., Nosko, R., Výleta, R., Karabová, B., Szolgay, J. (2015): Možnosti posúdenia zmien výmoľovej erózie na povodí Myjavy, Acta Hydrologica Slovaca, Roč. 16, tematické číslo 1, s. 167–175.
- Eltner, A., Mulsow C. A., Maas, Q., H.-G. (2013): Quantitative measurement of soil erosion from tls and uav data, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2.
- Nosko R., Výleta, R., Fraštia, M., Škrinár, A., Danáčová, M.

- (2016): Estimation of changes in erosion gully on a hillslope, SGEM 2016. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Book 3. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems: conference proceedings. Extended scientific sessions. Vienna, Austria, 2 - 5 November 2016. 1. vyd. Sofia: STEF 92 Technology, 95-102. ISSN 1314-2704
- Poense, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, G., (2003): Gully erosion and environmental change: importance and research needs, *Catena* 50, 91 – 133.
- Stankoviansky, M., (1997): Antropogénne zmeny krajiny myjavskej kopačníarskej oblasti. *Životné prostredie*, 31, 2, s. 88-93.
- Stankoviansky, M. (2003): Geomorfologická odozva environmentálnych zmien na území Myjavskej pahorkatiny. UK Bratislava 152s.
- Stankoviansky, M. (2008): Vplyv dlhodobého obrábania pôdy na vývoj slovenských Karpát, *Acta geographica Universitatis Comenianae* 50, s. 95-116.
- Wells R. R., Henrique g. Momm, Sean J. Bennett, Karl R. Gesch, Seth M. Dabney, Richard Cruse, Glenn V. Wilson (2016): A Measurement Method for Rill and Ephemeral Gully Erosion Assessments, *Soil Science Society of America Journal*, 203–214.

MONITORING OF THE TECHNICAL MEASURES IN THE GULLY EROSION USING BY MODERN TECHNOLOGIES

The aim of this experiment is to estimate changes in erosion gully in the locality of Turá Lúka using a terrestrial laser scanner, UAV technology and GNSS. The measurements are taken one time in the year to monitor the dynamics of erosion processes. The treatments to be tested are small wooden check dams (inbuilt to stabilise the gully). The length of the erosion gully is about 300 meters; the minimum altitude is 300.5 meters above sea level; the maximum altitude is 328.8 meters above sea level. The measurement, monitoring and assessment of changes in the erosion gully were carried out using various modern mapping techniques, such as UAV technology and terrestrial laser scanning. The first monitoring of gully erosion was performed in year 2014 by the UAV technology, one of the most modern and efficient tools for mapping terrain since 3D models. Orthophotos of the area of interest can be created in one flight. An aerial unmanned mapping unit (aircraft) – Gatewing X100, with a camera and a wingspan of one meter was used in this study. The process of gully erosion mapping consisted of deploying and measuring the control points (CP) within the selected location, setting the flight plan of the UAV, spreading the take-off ramp out, and then by processing the aerial photography itself. In the year 2015 and 2016 were implemented via the Trimble TX5 terrestrial laser scanning device for monitoring of the changes in the gully erosion. It is a 3D scanner, which currently belongs to the most advanced technologies for the acquisition of spatial information. Mapping through the use of terrestrial laser scanning (TLS) generally involves two sub-tasks: scanning the object in the field and post-processing of the scans. After setting the parameters of the scanner affecting the duration and final quality of the scans as well as the point density of the cloud, the laser scanning itself was started. After its completion, the scanner was transferred to the next position, so that the marks at CP were visible again (including at least one of the previous adjacent scans). The procedure was repeated until the scanning had

covered the entire area of the erosion gully. The number of scanner positions and their distribution within the area of interest was 7 positions in the year 2015 (12 positions in the year 2016). The last measurement in monitoring period with the aim to measure and compare changes in the bed of the gully was provided in the 2017. The GNSS technology was applied for the measurement of 19 cross section profiles at the sections with the highest changes in the longitude profile of the gully.

The post-processing of measured data, in this case the creation of the Digital Terrain Model (DTM) represents a very important step in field measurements. We implemented the Agisoft PhotoScan system for the image processing by the UAV equipment. This software works on the principle of computer vision and applies the structure from a motion (SfM) algorithm. A total of 350 images were oriented automatically, and a detailed elevation model was subsequently created from the dense point clouds generated from the digital images. The residues at CP reached maximum values of 0.02 meters in their heights and positions, so we expect the quality of the digital elevation model to be $m_h = 0.05$ m. Data processing of the TLS was realized using Trimble Scene software. The spatial accuracy of the registration of the twelve specific scans was better than 5.0 mm. A total of 150 million points (110 million points in the 2016) were processed. Taller vegetation, which resulted in eclipses, created an issue. Individual clouds were connected and cut, and the taller vegetation, such as shrubs and trees, was filtered out using the Cloud Compare system. The resulting model was used for further analysis. Measured data was processed using Leica software (100 points).

Detailed monitoring revealed a change in the shape of the gully, it deepened in the middle part and rose, especially in the lower part of the gully. The results show that it is subject to erosion and partial changes in the shape are occurring. The results show that, despite the stabilization measures, the erosion processes are still

ongoing in the gully and that its volume has been increasing within a short period. This fact confirms that the gully is still changing under the impact of erosion activity. Significant changes in the parameters of the length and average slope of the eroded gully were not

detected, except the slope conditions in front of four wooden check dams, which were partly reduced by deposits of eroded soil particles. The erosion (increase in the longitudinal slope) was detected in two check dams.

Ing. Radovan Nosko
Ing. Roman Výleta, PhD.
Ing. Marcela Maliariková
Ing. Michaela Danáčová, PhD.
STU v Bratislave, Stavebná fakulta
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Radlinského 11
810 05 Bratislava
Slovenská republika