MOŽNOSTI A VYBRANÉ POSTUPY IDENTIFIKÁCIE OHROZENIA PÔDY VODNOU ERÓZIOU

Viera Petlušová, Peter Petluš, Erika Tobiašová, Juraj Hreško

Abstract

Proper identification of erosion processes is possible by a combination of the presented methods. The importance is in exact localization of areas endangered by the erosion with the possibility of designing exact anti-erosion protection. The method of visual identification, verification of erosion processes by soil probes and identification of soil organic matter and soil structure were used. Significant soil loss caused by water erosion has become a global problem. An effective solution of this problem is conditioned by the effective identification of areas under threat of water erosion, which prevails in Slovakia. The aim is to point out the need to combine methods of identification of water erosion processes in order to objectify them for the needs of elimination of water erosion in agricultural practice. For water erosion assessment we used the method of spatial extension and digitisation of surface water erosion results using aerial photographs and modelling of water erosion processes using the universal equation for calculating the loss of soil by water erosion.

Keywords: erosion process, modelling of water erosion, soil probe, soil organic matter, anti-erosion soil protection

Úvod

Ohrozenie pôdy vodnou eróziou sa stalo závažným problémom riešeným na globálnej úrovni. Spôsobuje škody súvisiace s trvalým znižovaním úrodnosti pôdy, zmenšovaním produkčných plôch poľnohospodárskej pôdy, rozčleňovaním územia výmŕľmi, vznikom spustnutých plôch a i. Dôsledkom toho môže dôjsť ku zmenám kvality vody, ovzdušia, biologickej diverzity. V podmienkach Slovenska možno procesy vodnej erózie sledovať aj v pahorkatinách, ktoré majú vhodné klimatické a pôdne podmienky na poľnohospodárske využívanie. Výskum vodnej erózie bol realizovaný v nížinnom type pahorkatinovej krajiny. Nížinné pahorkatiny Slovenska sú najviac atakované poľnohospodárskou činnosťou človeka prakticky už od mladého paleolitu, čo dokumentujú mnohé archeologické výskumy. V 50. rokoch 20. storočia so zmenami socioekonomických podmienok došlo k významným zmenám hospodárenia na pôde, ktorých dôsledkom boli zmeny veľkosti parciel. Postupne sa uplatňoval proces intenzifikácie a sceľovania pozemkov. Menili sa formy využívania pôdy, ktoré podporovali urýchľovanie procesov spojených s povrchovým odtokom zrážkovej vody. Efektívne riešenie

tohto problému je podmienené účinnou identifikáciou plôch ohrozených vodnou eróziou, ktorá v podmienkach Slovenska prevažuje.

Cieľom je poukázať na potrebu kombinácie metód identifikácie procesov vodnej erózie za účelom ich objektivizácie pre potreby eliminácie vodnej erózie v poľnohospodárskej praxi.

Teoreticko-metodické východiská

Problematike erózie a degradácie pôdy boli venované početné štúdie, realizácie projektov protieróznej ochrany a tiež projekty pozemkových úprav. Erózne procesy predstavujú významne negatívny faktor spôsobujúci odnos a akumuláciu pôdných častíc z vrchného pôdneho horizontu v poľnohospodárskej krajine. Vrchný horizont pôdy, najviac obohatený organickým materiálom, významne podmieňujúci úrodnosť pôd, je najviac náchylným na odnos. Jeho odnos, t.j. strata je konečný a nezvratný stav, ktorý vedie k poklesom výnosov na poľnohospodárskej pôde a k značným ekonomickým stratám, ktoré môžu mať nie len ekonomické ale aj sociálne dôsledky. Výskumu vodnej erózie v poľnohospodárskej krajine v podmienkach Slovenska sa venovali Zachar (1970, 1982), Fulajtár, Janský (2001), Stankoviansky (2000, 2001). Vznik vodnej erózie je podmienený okrem iného aj morfológicko-morfometrickými vlastnosťami reliéfu. Vplyvom morfometrických vlastností reliéfu na prejavy vodnej erózie sa zaoberali Panagos, Borrelli et al. (2015), Kirkby, Bracken, Reaney (2002), Styk (2002). Uvedení autori poukázali na vplyv morfometrických vlastností reliéfu (sklonu územia) na vznik vodnej erózie. Tiež uvádzajú, že okrem sklonu územia má významný vplyv na eróziu využívanie krajiny. O závažnosti problematiky eróznno-akumulačných procesov hovorí aj rozsah rozpracovania tejto problematiky v mnohých významných zahraničných vedeckých prácach, ktoré využívajú inovatívne informačné systémy. Jedným z dominantných systémov, ktorý v súčasnosti zohráva dôležitú úlohu pri determinácii eróznno-akumulačných procesov je diaľkový prieskum Zeme. Vodná erózia sa na povrchu pôdy prejavuje vznikom odtokových dráh, ktoré majú rôzne rozmery, príp. môžu pôsobením vody vznikáť strže. Zachar (1970), Fulajtár, Janský (2001), Janeček (2008), Ward, Trimble (2004) a i. klasifikujú tieto prejavy ako plošnú a líniovú eróziu. Na rozvoj eróznnych procesov na ornej pôde má významný vplyv aj činnosť človeka, ktorý ich urýchľuje a podporuje tak vznik antropogénnej erózie. Fulajtár, Janský (2001) za priamu antropogénnu eróziu považujú procesy, ktoré sú priamym výsledkom ľudskej činnosti. Niektoré sú podobné prirodzeným procesom napr. závlahová erózia. Iné sú odlišné napr. orbová erózia, ktorá je najbežnejším prejavom antropogénnej erózie. Jej prítomnosť je zrejmá na svahovitých pozemkoch (Smetanová, 2011; Kollárová, 2013). Výskum eróznnych procesov sa postupne zdokonaľuje. Hľadajú sa nové možnosti a postupy identifikácie vodnej erózie, ktoré by bolo možné zovšeobecniť a uplatňovať ich v praxi. Voľba metód je však

závislá od účelu výskumu a môže byť koncipovaná tematicky aj územne. Vysoká variabilita metód výskumu erózie spôsobuje, že väčšina prác má svoje špecifické zameranie (pedologické, geografické, hydrologické a i.).

Príspevok je zameraný na predstavenie možností a vybraných postupov identifikácie ohrozenia pôdy vodnou eróziou poľnohospodárskej pôdy vybranými metódami. Niektoré výsledky boli publikované v prácach Petlušová et al. (2016, 2017).

Pri hodnotení metód identifikácie procesov vodnej erózie bola využitá metóda priestorového rozšírenia a digitalizácia plošných prejavov vodnej erózie s využitím leteckých snímok a modelovanie procesov vodnej erózie s využitím univerzálnej rovnice pre výpočet straty pôdy vodnou eróziou. Ďalšie metódy identifikácie boli založené na potrebe realizácie terénneho prieskumu. Využitá bola metóda vizuálnej identifikácie, overovanie erózných procesov pôdnymi sondami a identifikácia pôdnej organickej hmoty a pôdnej štruktúry.

Modelové územie

Modelovým územím je intenzívne poľnohospodársky využívaná pahorkatinová krajina v katastrálnych územiach obcí Ľubá a Belá (okres Nové Zámky) v Hronskej pahorkatine (mapa 1). Súčasný charakter využívania krajiny je výsledkom intenzifikácie poľnohospodárstva. Prevažuje veľkobloková orná pôda so zastúpením hnedozeme, černoze a regozeme. Územie je súčasťou Podunajskej pahorkatiny. Má charakter strednej až mierne členitej pahorkatiny s nadmorskou výškou 110 - 250 m n. m. Výber územia bol podmienený prítomnosťou výrazných erózných procesov.

Mapa 1: Vymedzenie modelového územia v rámci Slovenskej republiky

Map 1: Location of model area in Slovak republic

Zdroj: digitálne vrstvy Atlas krajiny SR (2012)

Priestorové rozšírenie a digitalizácia plošných prejavov erózných procesov s využitím leteckých snímok

Priestorové rozšírenie erózných a akumulčných areálov sa realizovalo vizuálnym hodnotením a interpretáciou leteckých snímok. Identifikácia erózných procesov sa realizovala vizuálne na podklade čiernobielych (roky 1949 a 1970) a farebných leteckých snímok s veľkosťou rastra 1 m resp. 0,3 m (roky 2014 a 2015) zo šiestich časových období (roky 1949, 1970, 2006, 2011, 2014, 2015). Snímky pochádzajú z rôznych ročných období, čím sa čiastočne eliminoval efekt vegetačného krytu (sezónne čiastočne prekrývajúci vizuálny prejav erózie). Plošné hodnotenie kvantitatívneho zastúpenia erózných plôch sme získali vektorizáciou svetlých amébovitých útvarov na leteckých snímkoch. Významné boli plochy, kde erózia prebiehala v minulosti a prebieha aj v súčasnosti alebo sa vyskytla len v minulosti alebo len v súčasnosti. Nazvané boli ako plochy reálne a potenciálne ohrozené vodnou eróziou (mapa 2). Plošný prejav vodnej erózie v období rokov 1949 - 2016 sa zvýšil o 130,56 ha (8,88 %). K zväčšeniu erózných plôch došlo zmenou využívania krajiny napr. úzkopásové polička za zmenili na veľkoblokové polia. Plochy reálne a potenciálne ohrozené vodnou eróziou predstavovali spolu 408,44 ha (27,78%). Takto získané plochy je možné využiť pri ďalších možnostiach zisťovania prejavov procesov vodnej erózie. Je možné kombinovať ich napr. so sklonitosťou, expozíciou svahov, typom zmeny využívania územia, odnosom pôdy a pod (Petlušová et al., 2016).

Z výsledkov výskumu uvádzame ako príklad sklonitosť. Kombináciou reálne ohrozených plôch a sklonitosti boli identifikované plochy kde sklonitosť výrazne ovplyvňuje resp. neovplyvňuje plošné rozšírenie erózie. Sklonitosť sa hodnotila v 5 kategóriách. V kategórii 0 - 1° bola erózia zastúpená na 25,44 ha (16,9 %). Sú to plochy, ktoré sa využívajú na pestovanie jarných aj ozimných obilnín, olejní, strukovín a pod. V kategórii 1 - 3° je erózia na ploche 66,44 ha (17,70%). Z hľadiska využívania krajiny sa tieto lokality využívajú prevažne ako orná pôda ale tiež trvalé trávne porasty. V kategórii sklonitosti 3 - 7° je to 218,90 ha (30,27%). Prevažnú časť územia tvorí orná pôda. Za významný prvok vinohrady. V kategórii 7 - 12° bola erózia zistená na ploche 80,69 ha (39,83%). Vhodnosť pôdných pomerov ale dáva možnosť vyžívať toto územie ako ornú pôdu napriek tomu, že riziko vzniku erózných procesov je vysoké. Podobne je to aj v kategórii sklonitosti 12° a viac, ktorá je zastúpená na ploche 4,22 ha (22,40%). Z výsledkov je zrejma závislosť medzi sklonom územia a zastúpením reálnych erózných plôch.

Mapa 2: Plochy ohrozené vodnou eróziou
Map 2: Areas endangered by water erosion

Zdroj: digitálny model terénu 10x10, Esprit s. r. o.; Základná mapa SR 1:10 000; ortofotomapa EUROSENSE, 2015

Modelovanie procesov vodnej erózie

Realizovalo sa ako výpočet potenciálnej priemernej ročnej straty pôdy a stanovenie odnosu materiálu zo svahu.

Na zistenie potenciálnej priemernej ročnej straty pôdy bola použitá tzv. univerzálna rovnica pre výpočet dlhodobej straty pôdy vodnou eróziou – USLE podľa Wischmeiera a Smitha (1978). Hodnota prípustnej straty pôdy slúži na stanovenie miery erózneho ohrozenia pozemku. Je definovaná ako maximálna veľkosť erózie pôdy, ktorá dovoľuje dlhodobu a ekonomicky dostupne udržiavať dostatočnú úroveň úrodnosti pôdy (Janeček a kol., 2012). Pri kategorizácii výpočtom získaných údajov sa vychádzalo zo 4 kategórií priemernej ročnej straty pôdy, ktoré sú uvedené v Zákone č. 220/2004 Z. z., ktorý uvádza hraničné hodnoty kategórií erodovateľnosti poľnohospodárskych pôd (mapa 3). Výrazné prejavy erózie boli zistené v stredne členitých pahorkatinových častiach územia so sklonitosťou väčšou ako 3° , prevažne však tam, kde je sklonitosť územia $7 - 12^\circ$. V týchto častiach podľa údajov získaných pri výpočtoch straty pôdy prevláda kategória 2 a 3 (stredná a vysoká strata pôdy). Územie sa dlhodobu využíva ako veľkobloková intenzívne využívaná orná pôda. V jednej lokalite v kategórii 3 s vysokou stratou pôdy je v súčasnom období les.

Pri stanovení odnosu materiálu zo svahu sa vychádzalo z metodiky Miklós, a kol. (1997). Metodika bola upravená vzhľadom na predpoklad transportu pôdných častíc po svahu a nie ich akumuláciu. Využitie boli krivosti reliéfu. Boli vypočítané v prostredí geografických informačných systémov na podklade digitálneho modelu reliéfu. Odvodený bol zo základných vrstevnicových máp SR v mierke 1:10 000. Pre vertikálnu aj horizontálnu členitosť sa určili 3 kategórie: plochy konkávne, prepadnuté so spomaleným odnosom, plochy rovné, nezakrivené a plochy konvexné, vypuklé so zrýchleným odnosom. Syntézou vertikálnej a horizontálnej krivosti boli zistené základné formy reliéfu, ktoré sa považujú za rozhodujúce pri stanovení odtokových pomerov a pre naše potreby pre stanovenie potenciálneho odnosu materiálu zo svahu. Základné formy reliéfu boli spolu so sklonitosťou územia využité pri výpočtoch odnosu materiálu zo svahov. Identifikovali sme 3 kategórie odnosu materiálu: slabý, stredne silný, silný. Na väčšej časti územia sú zastúpené kategórie stredne silného až silného odnosu, čo výrazne podmieňuje odnos pôdných častíc a ich akumuláciu v konkávných častiach územia (mapa 4).

Mapa 3: Potenciálna ročná strata pôdy
Map 3: Annual average potential soil erosion

Mapa 4: Odnos materiálu zo svahu
Map 4: Removal of material from the slope

Zdroj: digitálny model terénu 10x10, Esprit s. r. o.; Základná mapa SR 1:10 000; ortofotomapa EUROSENSE, 2015

Modelovanie procesov vodnej erózie možno považovať za účinný spôsob ochrany pôdy pred vodnou eróziou, ktorým si užívateľ pôdy manažuje obhospodarovanie za účelom minimalizovania strát pôdnej hmoty. Na základe výskumu sa potvrdilo, že pôda podlieha eróznym procesom. V priebehu sledovaného obdobia sa plocha intenzívne poľnohospodársky využívala. Pestovala sa repka olejná, pšenica ozimná a na susednom pôdnom celku s prejavom strednej straty pôdy kukurica siata.

Identifikácia a overovanie vizuálnych erózných procesov pomocou pôdných sond

Na identifikáciu bola použitá pôdna sonda Edelman s možnosťou vŕtania do 500 cm s priemerom 50 mm. Overovali sa mocnosť humusového horizontu, prítomnosť pôdných horizontov, hĺbka preorávania, charakter pôdotvorného substrátu a mocnosť akumulovaného materiálu. Na základe zistených údajov sa identifikovali eróziou ohrozené pôdy (svetlé plochy) alebo zemina akumulovaná v konkávných častiach svahov ako prejav transportu pôdných častíc po svahu. Identifikácia sa realizovala 39 pôdnymi sondami. Overenie erózných procesov pomocou pôdných sond poukazuje, že prevažne zastúpené pôdne typy regozem, hnedozem erodovaná, černoze erodovaná, indikujú prítomnosť erózie minimálne v troch štvrtinách prípadov (tab.1). Pôdne sondy poukázali aj na to, že v dolných akumulčných častiach svahov a na konvexných formách svahov s nižším sklonom sa nachádzajú naplaveniny (kolviozeme) do hĺbky viac ako 2 m.

Tab. 1: Pôdne typy s prejavom erózie (E) a bez prejavu erózie pôdy (N)

Table 1: Soil types with erosion (E) and without erosion (N)

číslo sondy	klasifikácia pôdneho typu		číslo sondy	klasifikácia pôdneho typu	
1	regozem kultizemná na neogénnych sedimentoch	E	27	černoze erodovaná na spraši	E
2	regozem kultizemná na neogénnych sedimentoch	E	28	černoze arenická na neogénnych pieskoch	N
3	regozem kultizemná na neogénnych sedimentoch	E	29	regozem na spraši	E
4	hnedozem erodovaná na neogénnych sedimentoch	E	30	černoze na spraši	N
5	černoze erodovaná na neogénnych sedimentoch	E	31	regozem kultizemná na spraši	E
6	regozem typická na neogénnych sedimentoch	E	32	černoze erodovaná na spraši	E
7	kolviozem	E	33	nezistený pôdny typ výrazne rubifikovaný	N
8	černoze erodovaná na sprašiach	E	34	černoze erodovaná na spraši	E

9	černozem kultúrná karbonátová na spraši	N	35	koluviozem	E
10	koluviozem	E	36	nezistený pôdny typ výrazne rubifikovaný na spraši	N
11	regozem typická na neogénnych pieskoch	E	37	černozem typická na spraši	N
12	hnedozem kultúrná na odvápnených sprašiach	N	38	černozem erodovaná na spraši	E
13	regozem na zvetralých neogénnych štrkoch nespevných	E	39	černozem typická na spraši	N
14	černozem typická odvápnená na spraši	E	40	deluviát	E
15	černozem hnedozemná akumulovaná	E	41	regozem kultúrná na spraši	E
16	regozem kultúrná na spraši	E	42	deluviát	E
17	černozem kultúrná karbonátová	N	43	regozem typická na spraši	E
18	regozem na spraši	E	44	černozem typická	N
19	regozem na spraši	E	45	černozem hnedozemná na spraši	N
20	hnedozem erodovaná (rubifikovaná) na spraši	E	46	černozem erodovaná na spraši	E
21	koluviozem	E	47	černozem erodovaná na spraši	E
22	koluviozem	E	48	regozem na spraši	E
23	regozem kultúrná na neogénnych sedimentoch	E	49	regozem mycelárna karbonátová	E
24	regozem kultúrná na neogénnych sedimentoch	E	50	černozem erodovaná na spraši	E
25	černozem erodovaná na spraši	E	51	akumulát na neogénnych štrkoch	E
26	černozem kultúrná na spraši	N			

Zdroj: terénny prieskum (2015 - 2017)

Identifikácia pomocou analýzy pôdnej organickej hmoty a pôdnej štruktúry

Prejavy vodnej erózie sú nielen kvantitatívneho, ale aj kvalitatívneho charakteru. Identifikácia týchto zmien na základe vybraných parametrov pôdnej organickej hmoty (SOM) a pôdnej štruktúry odráža nielen prejavy tejto formy erózie v krajine, ale aj zmeny v produkčnej schopnosti pôd ovplyvnených vodnou eróziou (Pintaldi et al., 2018; Wang et al., 2018). Odnosom častíc z povrchového humusového horizontu, ktorý je najbohatší na organické látky, dochádza nielen k redukcii hrúbky tejto aktívnej časti pôdneho profilu (Conforti et al., 2013), ale aj

k zhoršovaniu ďalších vlastností pôdy (Šarapatka et al., 2018), pretože sú v úzkom vzťahu s pôdnou organickou hmotou. V tejto súvislosti sa uvažuje nielen o znižovaní obsahu organického uhlíka, ale aj o jeho distribúcii v pôdnych agregátoch, čo súvisí so sekvestráciou uhlíka (Lal, 2018; Li et al., 2017). Pôdna štruktúra a pôdna organická hmota je spolu s pôdnou textúrou súčasťou faktora erodovateľnosti pri výpočte priemernej dlhodobej straty pôdy. Pri hodnotení prostredníctvom SOM a pôdnej štruktúry boli využité viaceré ich parametre ako celkový organický uhlík (TOC), labilný (C_L) a nelabilný (C_{NL}) uhlík, humusové látky (HL), frakčné zloženie pôdnych agregátov, koeficient zraniteľnosti pôdnej štruktúry (K_v) (Valla et al., 2000), index tvorby prísušku (I_c) (Lal a Shukla, 2004) či kritický obsah SOM (S_c) (Valla et al., 2000), na ktorých sa vplyv eróznno-akumulačných procesov prejavil v plnom rozsahu. Ide o zmeny nielen v jej množstve, ale aj kvalite, resp. stabilite. Množstvo TOC, ako v pôde (tab. 2), tak aj v pôdnych agregátoch (tab. 3) sa zvyšovalo v smere z hornej časti svahu nadol, avšak kvalita humusu (tab. 2) mala opačnú tendenciu. V prípade obsahov C_L (tab. 4) aj C_{NL} (tab. 5) vo vodoodolných makro-agregátoch (WSA) bola situácia obdobná, teda ich obsahy zvyšovali v smere nadol po svahu. Obsahy organického uhlíka mali súčasne klesajúcu tendenciu od väčšej frakcie s jeho najvyšším obsahom, po najmenšiu frakciu WSA s najnižším obsahom. Odber vzoriek pôdy sa realizoval v máji 2017 (Mária dvor, Belá), októbri 2017 (nad vinohradmi, 400 m východne od kóty Dubník 208 m n. m.) a v apríli 2018 (nad vodnou nádržou Kamenný Most, Ľubá).

Tab. 2: Vybrané kvantitatívne a kvalitatívne parametre pôdnej organickej hmoty
Table 2: Selected quantitative and qualitative parameters of soil organic matter

	TOC (mg.kg ⁻¹)	C _{HL}	C _{HK} (%)	C _{FK}	C _{HK} /C _{FK}
R1	7530	38,11	26,16	11,95	1,43
R2	10810	39,59	26,64	12,95	1,15
R3	14570	43,17	25,26	17,91	1,13

R1 – horná konvexná časť, R2 – svah, R3 – akumulačná konkávná časť; TOC – celkový organický uhlík, C_{HL} – uhlík humusových látok, C_{HK} – uhlík humínových kyselín, C_{FK} – uhlík fulvokyselín, C_{HK}/C_{FK} – pomer uhlíka humínových kyselín k uhlíku fulvokyselín

Tab. 3: Celkový organický uhlík vo frakciách vodoodolných makro-agregátov
Table 3: Total organic carbon in the fractions of water-resistant macro-aggregates

	>5 mm	>3-5 mm	>2-3 mm	>1-2 mm (mg.kg ⁻¹)	>0,5-1 mm	>0,25-0,5 mm	<0,25 mm
R1	10990	8880	8860	11270	10980	8090	5580
R2	13750	13020	13570	13080	11800	11360	10270
R3	21010	17580	18380	19460	17950	16040	15210

R1 – horná konvexná časť, R2 – svah, R3 – akumulačná konkávná časť

Tab. 4: Labilný organický uhlík oxidovateľný KMnO_4 (C_L) vo frakciách vodoodolných makro-agregátovTable 4: Labile organic carbon oxidized with KMnO_4 (C_L) in the fractions of water-resistant macro-aggregates

	>5 mm	>3-5 mm	>2-3 mm	>1-2 mm (mg.kg^{-1})	>0,5-1 mm	>0,25-0,5 mm	<0,25 mm
R1	778	691	695	731	682	465	277
R2	1203	1186	1070	1124	1118	911	730
R3	3270	1593	2019	1653	1463	1683	987

R1 – horná konvexná časť, R2 – svah, R3 – akumulčná konkávna časť

Tab. 5: Nelabilný organický uhlík (C_{NL}) vo frakciách vodoodolných makro-agregátovTable 5: Non-labile organic carbon (C_{NL}) in the fractions of water-resistant macro-aggregates

	>5 mm	>3-5 mm	>2-3 mm	>1-2 mm (mg.kg^{-1})	>0,5-1 mm	>0,25-0,5 mm	<0,25 mm
R1	10212	8189	8165	10539	10298	7625	5303
R2	12547	11834	12500	11956	10682	10449	9540
R3	17740	15987	16361	17807	16487	14357	14223

R1 – horná konvexná časť, R2 – svah, R3 – akumulčná konkávna časť

Jedným z hlavných mechanizmov sekvestrácie uhlíka je zvýšenie jeho obsahu v makro-agregátoch bohatých na uhlík (Six et al., 2002), čo predpokladá aj ich priaznivú veľkostnú distribúciu. Zastúpenie veľkostne priaznivejších makro-agregátov preosiatych za sucha (DSA) (1 – 7 mm) sa zvyšovalo smerom nadol po svahu a naopak, obsah menších (<1 mm) a väčších (>7 mm) frakcií DSA sa znižoval (tab. 6), čo opäť poukazuje nielen na zhoršenie vlastností erodovaných vrchných častí pôdneho profilu, ale súčasne môže, podobne ako predchádzajúce parametre, identifikovať aj eróziou postihnuté plochy.

Tab. 6. Percentuálne zastúpenie frakcií makro-agregátov preosiatych za sucha

Table 6: Percentage proportion of fractions of dry-sieved macro-aggregates

	>7 mm	>5-7 mm	>3-5 mm	>1-3 mm	>0,5-1 mm	>0,25-0,5 mm	<0,25 mm
	($\%$)						
R1	13,08	11,49	14,58	20,70	17,12	9,65	13,39
R2	12,36	16,55	18,23	22,82	13,74	7,27	9,04
R3	9,86	17,03	21,16	28,70	13,18	4,55	5,52

R1 – horná konvexná časť, R2 – svah, R3 – akumulčná konkávna časť

Prepojením parametrov, ktoré sú súčasťou faktora erodovateľnosti (SOM, pôdna štruktúra, pôdna textúra) získame ďalšie parametre, ktoré korešpondujú s prejavmi vodnej erózie. Hodnoty koeficientu zraniteľnosti pôdnej štruktúry (K_v) (Valla et al., 2000) a indexu tvorby prísušku (I_c) (Lal, Shukla, 2004) klesali a naopak, hodnoty kritického obsahu SOM (S_t) (Valla et al., 2000) stúpali smerom nadol po svahu (tab. 7), na základe čoho možno za najmenej priaznivý stav považovať opäť na plochách v hornej časti svahu a v podstate s klesajúcou tendenciou nadol.

Tab. 7. Vybrané parametre pôdnej štruktúry

Table 7: Selected parameters of soil structure

	K_v	I_c	S_t (%)
R1	1,441	1,477	1,706
R2	1,343	1,011	2,911
R3	1,204	0,689	3,913

R1 – horná konvexná časť, R2 – svah, R3 – akumulčná konkávnna časť; K_v – koeficient zraniteľnosti pôdnej štruktúry, I_c – index tvorby prísušku, S_t – kritický obsah pôdnej organickej hmoty

Strata pôdnej štruktúry a náchylnosť na eróziu ($S_t < 5\%$) sa prejavila vo všetkých prípadoch a mala klesajúcu tendenciu $R1 > R2 > R3$.

Záver

Každá využitá identifikačná metóda ohrozenia pôdy vodnou eróziou sa preukázala ako vhodná, ale nemožno ju zovšeobecniť a jednoznačne odporučiť pre akékoľvek hodnotené územie. Erózne procesy sú ovplyvnené špecifickými prírodnými a antropogénymi podmienkami. Uvedené metódy majú svoje pozitívne a negatívne stránky (tab. 8).

Tab. 8: Výhody a nevýhody vybraných postupov identifikácie vodnej erózie

Table 8: Advantages and disadvantages of identification water erosion selected methods

výhody	nevýhody
Priestorové rozšírenie a digitalizácia plošných prejavov erózných procesov s využitím leteckých snímok	
- možnosť vytvorenia referenčnej vrstvy vektorizáciou v prostredí ARC GIS, nad ktorou sú metódou overlay vytvorené priestorové jednotky, ktoré možno využiť v ďalšom hodnotiacom procese	- svetlé amébovité útvarov na leteckých snímkoch nemusia byť eróznymi plochami
- vytypovanie erózných plôch, ich lokalizácia pred terénnym prieskumom	- potreba overenia identifikovaných plôch terénnym prieskumom

Modelovanie procesov vodnej erózie	
<ul style="list-style-type: none"> - účinný spôsob ochrany pôdy pred vodnou eróziou, ktorým si užívateľ pôdy manažuje obhospodarovanie za účelom minimalizovania strát pôdnej hmoty 	<ul style="list-style-type: none"> - nezohľadňujú reálny obraz prejavov vodnej erózie - nezahrňuje ukladanie pôdnych častíc na pozemku alebo pod pozemkom - nie je vhodné modelovanie využívať pre kratšiu dobu ako ročné obdobie a pre zisťovanie straty pôdy z jednej zrážky alebo topenia snehu
Identifikácia a overovanie vizuálnych erózných procesov pomocou pôdnych sond	
<ul style="list-style-type: none"> - účinný spôsob identifikácie reálnych erózných procesov - reálne pochopenie krajinnoeekologických, geomorfologických súvislostí a vzťahov 	<ul style="list-style-type: none"> - vyžaduje si odborné znalosti o pôde - terénny prieskum viazaný na určité obdobia v roku (vlhkosť pôdy, výška vegetácie)
Identifikácia pomocou analýzy pôdnej organickej hmoty a pôdnej štruktúry	
<ul style="list-style-type: none"> - umožňuje identifikovať nielen kvantitatívne, ale aj kvalitatívne zmeny vo vlastnostiach pôd ohrozených vodnou eróziou - zachytáva súvislosti medzi eróziou pôdy a klimatickou zmenou 	<ul style="list-style-type: none"> - vyžaduje si analýzy v laboratórnych podmienkach - terénny prieskum je viazaný na optimálnu aktuálnu vlhkosť pôdy

Zdroj: vlastný výskum

Účelná identifikácia erózných procesov je možná kombináciou predstavených metód a postupov, ktorej bude predchádzať podrobná analýza geologicko-geomorfologických faktorov a pedologicko-geografických faktorov. Významným krokom pri identifikácii erózných procesov je analýza využívania krajiny vo viacerých časových horizontoch. Na jej základe možno predpokladať či v území môže potenciálne dochádzať k rozvoju erózných procesov alebo k ich eliminácii. Na základe podrobných analýz je možné vybrať si kombináciu vhodných metód určených na identifikáciu vodnej erózie. Význam kombinácie rôznych postupov spočíva v presnej lokalizácii eróziou ohrozených plôch s možnosťou návrhu presnej protieróznej ochrany.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja (č. APVV-17-0377 Hodnotenie novodobých zmien a vývojových trendov poľnohospodárskej krajiny Slovenska).

Literatúra

CONFORTI, M. – BUTTAUFUOCO, G. – LEONE, A. P. – AUCELLI, P. P. C. –

- ROBUSTELLI, G. – SCARCIGLIA, F. 2013. Studying the relationship between water-induced soil erosion and soil organic matter using Vis–NIR spectroscopy and geomorphological analysis: A case study in southern Italy. In *Catena*. vol. 110, pp. 44-58.
- FULAJTÁR, E. – JANSKÝ, L. 2001. *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. Bratislava: VÚPOP, 2001. 310 s. ISBN 80-85361-85-X.
- JANEČEK, M. a kol. 2012. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika. Praha: ČZU FŽP, 2012. 113 s.
- JANEČEK, M. a kol. 2008. *Základy erodologie*. Praha: UT FŽP ČZU, Powerprint s. r. o, 2008. 172 s. ISBN 978-80-213-1842-7.
- KIRKBY, M. – BRACKEN, L. – REANEY S. 2002. The influence of land use, soils and topography on the delivery of hillslope runoff to channels in SE Spain. In *Earth Surface Processes and Landforms*. vol. 27, pp. 1459-1473.
- KOLLÁROVÁ, M. 2013. Indikátory erózie pôdy a zmena vlastností erodovaných pôd sprašových pahorkatín. In Klikušovská, Z., Sviček, M. (eds.) *Environmentálne indexy, agroenvironmentálne opatrenia a ekosystémové služby v krajine*. Zborník z vedeckého seminára. Bratislava: VÚPOP, 2013. s. 21-28.
- LAL, R. – SHUKLA, M. K. 2004. *Principles of soil physics*. New York: Marcel Dekker, 2004.
- LAL, R. 2018. Accelerated Soil erosion as a source of atmospheric CO₂. In *Soil and Tillage Research*. (in press)
- LI, Z. – LIU, CH. – DONG, Y. – CHANG, X. – NIE, X. – LIU, L. – XIAO, H. – LU, Y. – ZENG, G. 2017. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly–gully region of China. In *Soil and Tillage Research*. vol. 166, pp. 1-9.
- MIKLÓS, L. – KRCHO, J. – HRNČIAROVÁ, T. – MATEČNÝ, I. – KOZOVÁ, M. 1997. *Morfometrické ukazovatele reliéfu a ich účelnosť interpretácie pre plánovacie procesy*. Nadácia katedry UNESCO pre ekologické vedomie, 1997. ISBN 80-967351-5-2.
- PANAGOS, P. – BORRELLI, P. – POESEN, J. – BALLABIO, C. – LUGATO, E. – MEUSBURGER, K. – MONTANARELLA, L. – ALEWELL, C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. In *Environmental Science and Policy*. vol. 54, pp. 438-447.
- PETLUŠOVÁ, V. – PETLUŠ, P. – HREŠKO, J. 2016. *Identifikácia procesov vodnej erózie v poľnohospodárskej krajine*. Nitra: UKF, 2016. 98 s. ISBN 978-80-558-1118-5.
- PETLUŠOVÁ, V. – PETLUŠ, P. – HREŠKO, J. 2017. Vplyv zmien využívania krajiny na eróziu pôdy v katastrálnych územiach Ľubá a Belá (Hronská pahorkatina). In *Geograficky časopis*. ISSN 0016-7193, 2017, roč. 69, č. 3, s. 245-262.

- PINTALDI, E. – D'AMICO, M. E. – STANCHI, S. – CATONI, M. – FREPPAZ, M. – BONIFACIO, E. 2018. Humus forms affect soil susceptibility to water erosion in the Western Italian Alps. In *Applied Soil Ecology*. vol. 123, pp. 478-483.
- SIX, J. – CALLEWAERT, P. – LENDERS, S. – DE GRYZE, S. – MORRIS, S. J. – GREGORICH, E. G. – PAUL, E. A. – PAUSTIAN, K. 2002. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. In *Soil Science Society of America Journal*. vol. 66, no. 6, pp. 1981-1987.
- SMETANOVÁ, A. 2011. Vplyv poľnohospodárskej aktivity na reliéf nížinných sprašových pahorkatín (prehľad doterajších výskumov). In *Acta Geographica Universitatis Comenianae*. roč. 55, č. 2, s. 265-281.
- STANKOVIANSKY, M. 2000. Differentiated geomorphic effect of gully erosion due to large scale land use changes. In Balteanu, D., Ielenicz, M., Popescu, N., (eds.) *Geomorphology of the Carpatho-Balkan Region. Proceedings of the Carpatho-Balkan Conference*, Baile Herculane, Orsova, Drobeta Turnu Severin, Romania, October 11-17, 1998. Bucuresti: CORINT, pp. 187-200.
- STANKOVIANSKY, M. 2001. Erózia z orania a jej geomorfologický efekt s osobitým zreteľom na Myjavsko – bielokarpatskú oblasť. In *Geografický časopis*. ISSN 0016-7193, 2001, roč. 53, č. 2, s. 95-110.
- STYK, J. 2002. Monitoring vplyvu vodnej erózie na zmeny vybraných vlastností pôd. In Kobza, J. (ed.) *Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitoringu pôd. Výsledky z Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda za obdobie 1997 - 2001*, 2. Bratislava : VÚPOP, 2002, s. 142-159.
- ŠARAPATKA, B. – CAP, L. – BILA, P. 2018. The varying effect of water erosion on chemical and biochemical soil properties in different parts of Chernozem slopes. In *Geoderma*, vol. 314, pp. 20-26.
- VALLA M. – KOZÁK J. – ONDRÁČEK V. 2000. Vulnerability of aggregates separated from selected anthrosols developed on reclaimed dumpsites. In *Rostlinná výroba*. roč. 46, č. 12, s. 563-568.
- WANG, Y. – RAN, L. – FANG, N. – SHI, Z. 2018. Aggregate stability and associated organic carbon and nitrogen as affected by soil erosion and vegetation rehabilitation on the Loess Plateau. In *Catena*. vol. 167, pp. 257-265.
- WARD, A. D. – TRIMBLE, S. W. 2004. *Environmental hydrology*. 2-nd Edition. London: Lewis Publishers. 475 p. ISBN 1-56670-616-5.
- WISCHMEIER, W. H. – SMITH, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses*. Maryland: SEA USDA Hystaville, 1978. 58 p.
- ZACHAR, D. 1970. *Erózia pôdy*. Bratislava: SAV, 1970. 527 s.
- ZACHAR, D. 1982. *Soil erosion*. New York: Elsevier, 1982. 548 p.
- ZÁKON č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

OPTIONS AND SELECTED METHODS OF IDENTIFICATION OF SOIL RISK BY WATER EROSION

Summary

Soil changes related to erosion are reflected in the ability of soil to perform these functions. Significant soil loss caused by water erosion has become a global problem. An effective solution of this problem is conditioned by the effective identification of areas under threat of water erosion, which prevails in Slovakia. An object of research was upland. The uplands in Slovakia have suitable climatic and edaphic conditions for agricultural land use. The uplands in the Slovak lowland were intensively used by agricultural practices. The process of intensification and land unification took place. Land use types contributing to faster surface runoff of the rainwater were widely implemented.

The aim is to point out the need to combine methods of identification of water erosion processes in order to objectify them for the needs of elimination of water erosion in agricultural practice.

Our model area is intensively managed agricultural land and lies within the upland areas of Ľubá and Belá administration boundaries. Its current land use character is the result of agricultural intensification. Large scale arable land with cambisols, regosols and mollic soils prevail. The area is part of Podunajská pahorkatina upland. The segmentation of the landscape has moderate to low character with altitudes from 110 – 250 meters above the sea level. The selection of the area was determined by presence of significant erosion processes.

For water erosion assessment we used the method of spatial extension and digitisation of surface water erosion results using aerial photographs and modelling of water erosion processes using the universal equation for calculating the loss of soil by water erosion. Other methods of identification were based on the need for implementation of field research. The method of visual identification, verification of erosion processes by soil probes and identification of soil organic matter and soil structure were used.

Spatial extension and digitisation of surface water erosion results using aerial photographs. The identification of erosion processes was performed visually on the basis of aerial images from the 6 time periods (years 1949, 1970, 2006, 2011, 2014, 2015). The photographs come from different seasons, partially eliminating the effect of the vegetation cover (seasonal overlapping of visual evidence of erosion). The spatial evaluation of the quantitative representation of erosive areas was obtained by vectorizing the bright amoebae formations on aerial photographs. Surface water erosion results increased by 130,56 ha (8,88 %) in the period 1949 - 2016. Enlargement of erosive areas was caused by land use changes, the small scale fields turned into large scale fields. Real and potentially threatened areas by water erosion occupied 408.44 ha (27.78%).

Modelling of water erosion processes. We used the universal equation for the calculation of long-term soil loss by water erosion - USLE according to Wischmeier and Smith (1978). Categorization of the calculated results was based on 4 categories of average annual soil loss, which are stated in the Act no. 220/2004 Coll. Significant signs of erosion have been found in moderately hilly areas with a slope greater than 3°, but mostly where the slope of the area is 7-12°. This area is for long-term intensively used as large-scale arable land.

Visual identification and verification of erosion processes by soil probes. For identification we used soil probe Edelman. The thickness of the humus horizon, the presence of soil horizons, the depth of the ploughing, the type of the parent material and the thickness of the accumulated material have been verified. Based on collected data, we identified erosion endangered soils (bright patches) or accumulated soil in concave parts of slopes. Identification was realized through 39 soil probes. Verification of erosion processes using soil probes indicates that predominantly represented soil types of regosol, brown earth eroded, chernozem eroded indicate the presence of erosion in at least three quarters of cases.

Identification of soil organic matter and soil structure. The proof of water erosion has not only of the quantitative, but also qualitative character. Removing of the particles from the surface humus horizon, cause not only the reduction of thickness of this active part of soil profile, but also worsening of the other soil properties, because they are in a close relation to soil organic matter. In this context, it is necessary to consider not only the decreasing of total organic carbon, but also its distribution in the soil aggregates that is in a close relation to carbon sequestration. The soil structure and soil organic matter are together with the soil texture a part of erodibility factor, which is a part of universal soil loss equation for the calculation of average long-time soil loss. The erosion-accumulation processes reflected on the parameters of soil organic matter and soil structure in a full extent. Carbon quantity and its fractions both in the soil and in soil aggregates increase from the top of the slope downwards, however the quality of humus has an opposite tendency. This shows on the removing mainly the fresh sources of organic matter that are removed before their stabilization in the soil, into the lower sites, which results in a decreasing of the productive ability of the areas that are affected by removing of these particles and simultaneously it inhibits the carbon stabilization, which causes its lower sequestration in the soil, and thus higher losses not only the mechanical (erosion), but also biological (losses in the form of CO₂ into the atmosphere) character.

Each identification method has proven to be appropriate but can not be generalized and explicitly recommended for every study area. Erosion processes are influenced by specific natural and anthropogenic conditions. The methods mentioned have both positive and negative sides. Proper identification of erosion processes is possible by a combination of the presented methods. The importance is in exact localization of areas endangered by the erosion with the possibility of designing exact anti-erosion protection.

Ing. Viera Petlušová, PhD.

Katedra ekológie a environmentalistiky FPV UKF v Nitre
Trieda A. Hlinku 1, 949 74 Nitra
E-mail: vpetlusova@ukf.sk

RNDr. Peter Petluš, PhD.

Katedra ekológie a environmentalistiky FPV UKF v Nitre
Trieda A. Hlinku 1, 949 74 Nitra
E-mail: ppetlus@ukf.sk

Doc. Ing. Erika Tobiašová, PhD.

Katedra pedológie a geológie FAPZ
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Trieda A. Hlinu 2, 949 76 Nitra
E-mail: erika.tobiasova@uniag.sk

Prof. RNDr. Juraj Hreško, PhD.

Katedra ekológie a environmentalistiky FPV UKF v Nitre
Trieda A. Hlinku 1, 949 74 Nitra
E-mail: jhresko@ukf.sk