

**Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV
v spolupráci
s Ústavom krajinnej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava
a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVal UKF v Nitre**



EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Ročník 16

Číslo 2/2025

**Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV
v spolupráci s
Ústavom krajinnej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava
a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVal UKF v Nitre**



EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Recenzovaný vedecký časopis venovaný aktuálnym problémom ekológie, krajiny ekológie a príbuzných vedných disciplín

Hlavný redaktor / Editor-in-Chief:

prof. RNDr. František Petrovič, PhD. MBA.

Výkonný redaktor / Executive editor:

prof. PaedDr. PhD. RNDr. Martin Boltžiar, PhD.

Redakčná rada / Editorial board:

RNDr. Peter Gajdoš, CSc.

prof. Fedir Hamor, DrSc. (Ukrajina)

RNDr. Vladimír Herber, CSc. (Česká republika)

prof. RNDr. Juraj Hreško, CSc.

prof. RNDr. Zita Izakovičová, PhD.

doc. RNDr. Zdeněk Lipský, CSc. (Česká republika)

Dr.h.c. prof. RNDr. László Miklós, DrSc.

RNDr. Milena Moyzeová, PhD.

Ing. Július Oszlányi, CSc.

Dr. László Podmanický (Maďarsko)

Dr.h.c. prof. RNDr. Florin Žigrai, DrSc. (Rakúsko)

Technické spracovanie / Computer typesetting:

RNDr. Jakub Košša

Za obsahovú a jazykovú stránku príspevkov zodpovedajú autori

Vydavateľ: Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV v spolupráci s Ústavom krajiny ekológie SAV, v. v. i., Bratislava a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVaI UKF v Nitre

Dátum vydania: december 2025

Číslo: 2

Ročník: 16

Vychádza 2x ročne

Časopis Ekologické štúdie je dostupný online na stránke <http://publikacie.uke.sav.sk/>

Evidenčné číslo MK SR: EV 4174/10

ISSN 1338-2853

OBSAH

STRNAD, M., LIBOSVÁR, T., ŠIKULA, T., DOSTÁL, I., SVOBODA, J., SZTURC, J., HAMŘÍK, T., SLEPICA, M., HLAVÁČ, V., UHLÍKOVÁ, J.: Ověření funkčnosti stávajících ekoduktů v ČR.....	4
NAZ, S., RUSŇÁK, T., HALADA, L.: Assessing the effectiveness of PhenoCam- based vegetation indices to analyse spring phenology in BAB Forest.....	25
PETLUŠ, P., MORAVČÍK, M., HREŠKO, J., MEDERLY, P., PETLUŠOVÁ, V.: Význam sklonu svahu na priestorové rozšírenie hlbok pôdy v kontexte eróznno-akumulačných procesov.....	37
BIELIKOVÁ, H., ZEMANČÍKOVÁ, J.: Regeneratívny cestovný ruch ako nový fenomén v udržateľnom rozvoji destinácií.....	51
JANČÁROVÁ, T., DAVID, S.: Floristická a vegetačná charakteristika odkaliska meďnato-železitých rúd pri obci Markušovce.....	61
IZAKOVIČOVÁ, Z., PETROVIČ, F.: Zmeny využitia krajiny Slovenska a ich environmentálne dopady.....	84

VÝZNAM SKLONU SVAHU NA PRIESTOROVÉ ROZŠÍRENIE HLĎOK PÔDY V KONTEXTE ERÓZNO-AKUMULAČNÝCH PROCESOV

THE SIGNIFICANCE OF SLOPE GRADIENT FOR THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL DEPTHS IN THE CONTEXT OF EROSION-ACCUMULATION PROCESSES

Peter PETLUŠ, Marek MORAVČÍK, Juraj HREŠKO, Peter MEDERLY, Viera PETLUŠOVÁ

Katedra ekológie a environmentalistiky, Fakulta prírodných vied a informatiky,
Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre, Tr. A. Hlinku 1, 949 74 Nitra, Slovakia

Korešpondenčná adresa: ppetlus@ukf.sk

Abstract: *This study investigates the influence of slope on the dynamics of erosional processes and the subsequent formation of soil profiles in the lowland loess hilly regions of Slovakia. Data from two localities were analyzed, confirming that slope has a significant impact on overall soil depth and the thickness of the humus horizon. The observed negative correlations between slope and soil depth (Báb: $r=-0.206$, $p<0.05$; Nová Vieska: $r=-0.334$, $p<0.02$) and between slope and humus horizon thickness (Báb: $r=-0.227$, $p<0.01$; Nová Vieska: $r=-0.356$, $p<0.01$) suggest that slope is a primary factor affecting pedogenesis in these landscapes. A critical slope value of 3° was found to significantly influence soil formation and characteristics. Steeper slopes are characterized by shallower soils and thinner humus horizons. These findings are crucial for effectively planning anti-erosional measures and for sustainable land management. This work contributes to a deeper understanding of soil formation processes in loess areas and the interactions between topographical factors and erosion.*

Key words: *erosional processes, humus horizon thickness, loess hilly regions, slope, soil depth*

Úvod

Medzi najzávažnejšie degradačné procesy s plošným prejavom patria erózne procesy, ktoré vedú k čiastočnej až úplnej strate vrchnej vrstvy pôdy. V podmienkach poľnohospodársky využívannej krajiny sú erózne procesy dlhodobým predmetom intenzívneho výskumu vzhľadom na ich rozsiahle negatívne dopady. Dôsledkom je zhoršenie kvantitatívnych i kvalitatívnych vlastností pôdy, čo sa prejavuje degradáciou úrodnej vrstvy a znižovaním hĺbky pôdneho profilu. Opakovaná erózia vedie k redukcii hrúbky pôdneho profilu, často až k odkrytiu

materskej horniny. V takto narušenej štruktúre pôdy klesá zásoba organického a minerálneho materiálu, čo v konečnom dôsledku vedie k zníženiu celkovej bonity pôdy. Strata humusového horizontu, a tým aj pôdneho organického uhlíka, je jedným z najzávažnejších dôsledkov erózie (Tobiašová et al., 2018).

Pri erózne-akumulačných procesoch dochádza k transportu jemných pôdných častíc (najčastejšie <0.01 mm) z hornej časti svahu smerom nadol, kde dochádza k ich akumulácii. Akumulát spôsobuje viacnásobné zväčšenie hrúbky humusového horizontu oproti jeho pôvodnej hrúbke. V sprašových pahorkatinách Slovenska sa tento jav prejavuje transformáciou pôdných profilov. Na erodovaných pozíciách sa pôvodný horizont A vplyvom straty humusu a blízkosti spraše zosvetľuje. Prechodný horizont A/C je často nepatrný, pričom pod ním je horizont C tvorený najčastejšie sprašou, miestami je to neogénny materiál. Na týchto miestach sa prevažujú regozeme a ich subtypy. Pri mapovaní v teréne pozorujeme ich ako svetlé, obnažené plochy, najmä na konvexných formách svahov. Naopak, v úpäti svahov prebiehajú akumulačné procesy, kde je pôvodný humusový horizont A prekrytý akumulovaným materiálom typickým pre koluviálne pôdy.

Cieľom je hodnotenie vplyvu sklonu svahu na celkovú hĺbku pôdy a hrúbku humusového horizontu. Predpokladáme, že v dôsledku erózne-akumulačných procesov, charakteristických pre intenzívne poľnohospodársky využívané sprašové pahorkatiny, budú strmšie svahy spojené s plytšími pôdami s menej vyvinutým pôdnym profilmi v dôsledku pôdnej erózie.

Materiál a metodika

Študijné oblasti

Hodnotenie bolo realizované na základe pedologického prieskumu v dvoch katastrálnych územiach s intenzívnym poľnohospodárskym využívaním. Tieto oblasti sa nachádzajú v pahorkatinnom type reliéfu v katastrálnych územiach Báb (Zálužianska pahorkatina) a Nová Vieska (Hronská pahorkatina). Kombinácia členitého reliéfu, intenzívneho poľnohospodárstva a pôdotvorného materiálu náchylného na pôdnu eróziu zaraďuje študované oblasti medzi erózne náchylné (Tab. 1).

Tab. 1. Ohrozenosť poľnohospodárskej pôdy v lokalitách Báb a Nová Vieska. Zdroj: Národný katalóg otvorených dát data.slovensko.sk

<i>Ohrozenosť poľnohospodárskej pôdy vodnou eróziou podľa GAEC</i>			
		ha	%
bez ohrozenia	BA	1402,00	94,45
	NV	1185,30	97,96
mierne ohrozenie	BA	77,75	5,24
	NV	22,65	1,87
silné ohrozenie	BA	4,62	0,31
	NV	2,00	0,17
<i>Ohrozenosť poľnohospodárskej pôdy vodnou eróziou vygenerovanej z empirického modelu USLE (Wischmeier, Smith, 1978),</i>			
		ha	%
nízka	BA	1091,12	73,48
	NV	990,00	81,92
stredná	BA	243,96	16,43
	NV	165,80	13,72
vysoká	BA	141,92	9,56
	NV	165,80	13,72
extrémna	BA	8,00	0,54
	NV	1,24	0,10

BA – Báb, NV – Nová Vieska

Lokalita Báb je charakterizovaná mozaikou veľkoblokových polí s prevažujúcim konvenčným obhospodávaním pôdy, vinogradov a lesov na svahoch. Celková plocha územia je 2009 ha. Reliéf tvoria hladko modelované svahy s plytkými periglaciálnymi depresiami. Typickým znakom oblasti je striedanie plošín a svahov. Nadmorská výška sa pohybuje od 160 do 210 m n. m., sklonitosť svahov je v rozpätí 0° až 20°. Geologickú štruktúru tvoria neogénne sedimenty v podobe hrubozrnných štrkov až piesčitých ílov). V nadložnej vrstve sú v celom území vyvinuté kvartérne sedimenty (íly, piesky a hlinito-piesčité spraše a sprašové hliny).

Lokalita Nová Vieska sa nachádza v alúviu potoka Paríž. Je ohraničená Strekovskými terasami s mozaikou veľkoblokových polí a vinogradov. Celková plocha územia je 1760,50 ha. Územie sa vyznačuje eróznou-denudačným reliéfom nížinných pahorkatín a zvlnených rovín s riečnymi terasami a sprašovými tabuľami. Sklon reliéfu sa pohybuje od 0 do 17°. Nadmorská výška sa pohybuje od 120 do 226 m n. m. Geologickú štruktúru územia tvoria neogénne sedimenty – sivé a pestré íly, piesky a štrky. Kvartérny pokryv tvoria fluviálne a eolické sedimenty – piesky, piesčité štrky a piesky na terasách s pokryvom spraše a sprašových hĺn.

V oboch oblastiach sa priemerná ročná teplota pohybuje od 8,5 - 10°C, priemerný ročný úhrn zrážok je 550 - 600 mm.

Mapovanie priestorového rozloženia typov pôd a analýza hĺbky pôdy: Cieľom mapovania bolo identifikovať priestorové rozloženie pôd a ich foriem na základe

eróznno-akumulačných charakteristík prostredníctvom terénneho výskumu. Pre priestorové rozloženie sond bola použitá šesťuholníková sieť s rozstupom 230 - 250m. Pôdne sondy boli realizované na poľnohospodársky využívannej pôde, vrátane ornej pôdy, vinogradov, sádov, záhrad na okraji obcí a trvalých trávnych porastov. Na overenie sa použil pôdny vrták Edelman s možnosťou vrtania do hĺbky 120 cm a priemerom 50 mm. Pôdny prieskum zahŕňal viac ako 600 pôdnych sond na určenie hĺbky pôdy, hrúbky humusového horizontu, prítomnosti pôdnych horizontov, hĺbky orby, charakteru pôdotvorného substrátu a hrúbky akumulovaného materiálu.

Analýza zahŕňala pôdne typy ako černozeme, regozeme a hnedozeme, ktoré sa vyvinuli na nespevnených nealuviálnych sedimentoch na svahoch. Ďalšie identifikované pôdne typy a ich subtypy ako kultizeme, antrosoly, fluvizeme, gleje a organozeme neboli hodnotené pre ich odlišný pedogenetický vývoj. Po vylúčení týchto pôdnych typov bolo spolu analyzovaných 572 pôdnych sond. Kategorizácia hĺbky pôdy vychádzala z klasifikácie podľa Džatka & Sobockej (2009) ktorá klasifikuje pôdy na základe hĺbky ako plytké (do 30 cm), stredne hlboké (30 - 60 cm) a hlboké (>60 cm). Klasifikácia identifikovaných pôdnych typov na základe hĺbky pôdy je uvedená v Tabuľke 1. Pri analýze zmien v hĺbke pôdy sa predpokladalo, že erózne a akumulačné procesy vedú k zmenám hrúbky pôdneho horizontu alebo k zmenám v slede pôdnych horizontov.

Analýza sklonu svahu a zmien hĺbky pôdy a hrúbky humusového horizontu

Sklon svahu sa všeobecne považuje za najvýznamnejší morfometrický parameter reliéfu, ktorý určuje vznik a intenzitu svahových procesov. Je významný z hľadiska využívania pôdy a poľnohospodárskeho manažmentu. Pre analýzu bol použitý Digitálny model reliéfu DMR3.5 s rozlíšením 1m. Pre prehľad a vizuálne porovnanie sklonitosti a hĺbky pôdy boli vytvorené kategórie sklonu: 0 - 1°; 1 - 3°; 3 - 7°; >7°, ktoré vychádzajú z kategorizácie sklonitosti svahov podľa Ilavskej et al. (2005). Na určenie vzťahov medzi celkovou hĺbkou pôdy a hrúbkou humusového horizontu bola použitá korelačná analýza. Významnosť korelačných koeficientov bola testovaná na hladinách významnosti $p < 0.01$ a $p < 0.05$.

Výsledky

Priestorové rozšírenie pôd

Na oboch skúmaných lokalitách dominujú mozaiky rôznych suptypov černozeme a regozeme. V humidnejších polohách boli ojedinele zastúpené tiež hnedozeme. V spodných polohách svahov sa vyskytovali akumulované kolviozeme. Charakteristickou pôdnou katénou v smere zhora nadol bola černozem, regozem v konvexnej časti svahu a kolviozem v úpätí alebo konkávnej polohe svahu.

Černozeme so zachovaným pôdnym profilom sa vyskytujú hlavne na plošinách, ale aj na miernych svahoch v rôznych častiach študovaných oblastí. Tento jav pozoroval aj (Labaz et al., 2022) v rovinatých polohách južného Poľska, kde sa zachovali neerodované alebo slabo erodované černozeme s typickou hrúbkou humusového horizontu 60-80 cm. Akumulovaná forma černozemí sa v oboch študijných oblastiach nachádza v údoliach a konkávných polohách. Tento efekt pôdnej depozície v konkávných svahových polohách je pozorovaný aj v členitých nížinných pahorkatinách v Českej republike (Zádorová et al., 2023), ale aj v podmienkach strednej Európy (Juráš et al., 1990; Rodzik et al., 2014). Regozeme a ich formy sa vyskytujú na stredných a vyšších polohách svahov, zvyčajne ako výsledok erózných procesov na sprašiach a sprašových hlinách. Sporadicky boli tiež regozeme identifikované aj na pieskovo-hlinitých neogénnych zvetraninách. Na svahoch boli erodované pôdy vizuálne obzvlášť nápadné vďaka farebnému kontrastu horizontu A alebo v prípade hnedozeme horizontu B, oproti svetlofarebnému sprašovému horizontu C. Tento jav pozorovali aj Fulajtár & Janský (2001). Naopak, akumulované pôdy v konkávných polohách svahov mali tmavší horizont A vplyvom akumulácie humusu. Farba pôdy sa menila v závislosti od farby pôdneho materiálu zo svahu. Ak sa v konkávnej časti svahu vyskytovali svetlejšie odtiene farby pôdy, išlo o sprašový materiál s nízkym obsahom humusu z horných častí svahu.

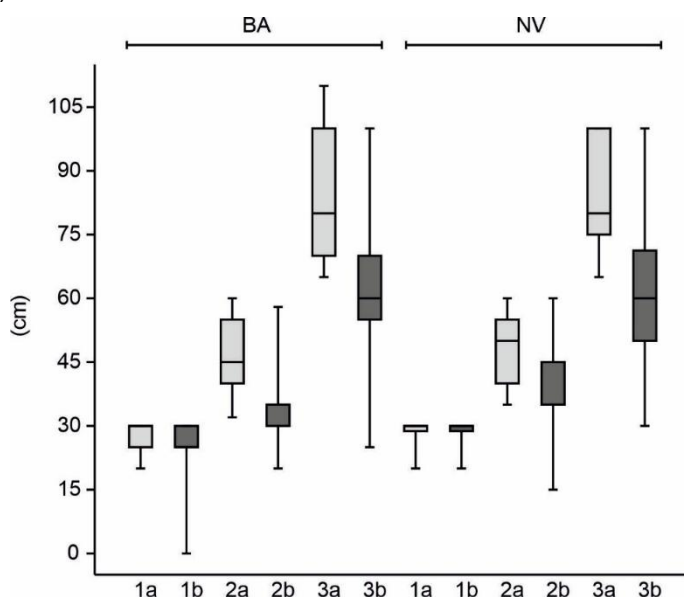
Hĺbka pôdy ako indikátor eróžno-akumulačných procesov

Hlavnými indikátormi eróžno-akumulačných procesov sú zmeny v hĺbke pôdy a hrúbke humusového horizontu. Tieto zmeny boli predovšetkým evidentné v sondách, kde boli identifikované černozeme s erodovanými a akumulovanými formami. Podobné zmeny v hĺbke pôdy a hrúbke humusového horizontu na černozemiach a regozemiach potvrdili aj Labaz et al. (2018), Šwitoniak, (2014). Na oboch lokalitách sa plytké erodované pôdy nachádzajú predovšetkým v konvexných polohách čo potvrdzuje práca Šwitoniak (2014) zatiaľ čo hlboké a akumulované pôdy v konkávných polohách svahov.

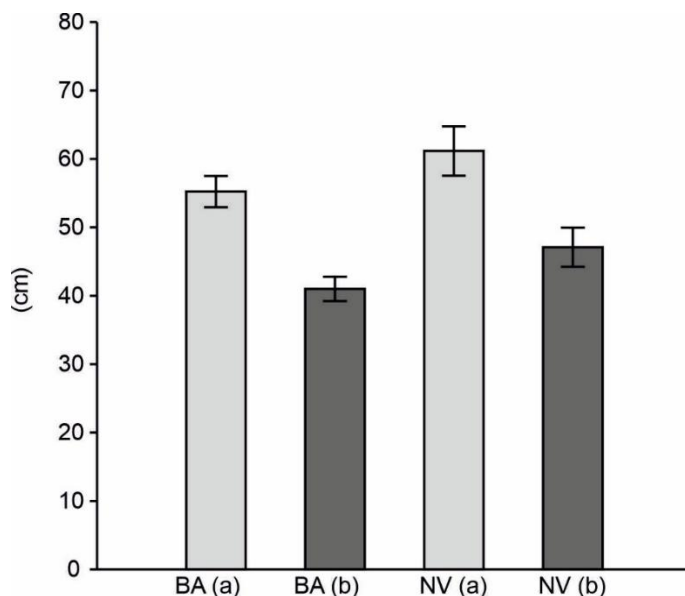
Hĺbka pôdy sa pohybovala od 20 do 100 cm (obr. 1) s prevahou stredne hlbokých pôd. Z akumulovaných foriem boli v oblasti zastúpené černozeme a hnedozeme s hĺbkou 65 - 100 cm. V Novej Vieske bola skupina pôd s erodovanými formami významne zastúpená černozemou a regozemou. Hĺbka pôdy bola od 20 do 100 cm. Tu dominovali hlboké pôdy, pričom z akumulovaných foriem boli zastúpené černozem a hnedozem. Zo základných analýz vyplýva, že erodované formy pôd majú menšiu hrúbku humusového horizontu a celkovo sú plytšie v porovnaní s pôdami s akumulovanými formami. Tento všeobecný poznatok potvrdzujú aj (Zhidkin et al., 2023), ktorí pozorovali zmeny v hrúbke humusového horizontu vo Východoeurópskej nížine, kde pôdny materiál tvorí karbonátová spraš. Papiernik

et al. (2007) uvádzajú, že v západnej a centrálnej Minnesote boli pôdy v oblastiach s vysokou stratou pôdy charakterizované stenčenými pôdnymi profilmi a malou hrúbkou humusového horizontu. V akumulovaných polohách naopak dominovali hlboké pôdy s hrubým akumulovaným humusovým horizontom.

Hrúbka humusového horizontu v oboch oblastiach korelovala s hĺbkou pôdy vo všetkých kategóriách hĺbky pôdy. V lokalite Báb bol potvrdený významný vzťah medzi celkovou hĺbkou pôdy a hrúbkou humusového horizontu ($r=0.808$, $n = 395$, $p<0.01$). Podobne silný vzťah bol pozorovaný aj v Novej Vieske ($r=0.828$, $n=177$, $p<0.01$). V Novej Vieske sú pôdy hlbšie s väčšou hrúbkou humusového horizontu. Súvisí to pravdepodobne s relatívne menšou členitosťou reliéfu, ktorý je jedným z faktorov vývoja pôdy pre tvorbu pôd, spolu s formami reliéfu (Smetanová et al., 2017; Šwitoniak, 2014) a geologickou stavbou (Labaz et al., 2018). Hrúbka humusových horizontov sa významne líšila v závislosti od polohy pôdneho profilu. Najtenšie humusové horizonty boli identifikované v konvexných častiach svahov. Priemerná hĺbka pôdy v Bábe je 54,85 cm, v Novej Vieske 61,15 cm. Podobne je to aj s hrúbkou humusového horizontu: v Bábe je 41,00 cm a v Novej Vieske 47,10 cm. (obr. 2).



Obr. 1. Celková hĺbka pôdy a hrúbka humusového horizontu v jednotlivých kategóriách hĺbky pôdy. 1 – plytké pôdy (<30 cm), 2- stredne hlboké pôdy (31-60cm), 3- hlboké pôdy (>61 cm), a – celková hĺbka pôdy, b – hrúbka humusového horizontu).



Obr. 2. Hĺbka pôdy a hrúbka humusového horizontu. BA – Báb, NV – Nová Vieska, a – celková hĺbka pôdy, b – hrúbka humusového horizontu.

Pôda v dolných častiach svahu, v menšej miere na plošinách a chrbátoch, mala výrazne väčšie humusové horizonty. Toto pozorovali aj Labaz et al., (2022b) a Zádorová et al. (2023) v podmienkach strednej Európy. V Novej Vieske je hrúbka humusového horizontu vyššia vo všetkých kategóriách hĺbky pôdy. V Novej Vieske, v kategórii plytkých pôd, sú hĺbka pôdy a hrúbka humusového horizontu rovnaké. V tejto kategórii boli identifikované iba orané Regozeme s rovnakými minimálnymi a maximálnymi hodnotami celkovej hĺbky a hrúbky humusového horizontu.

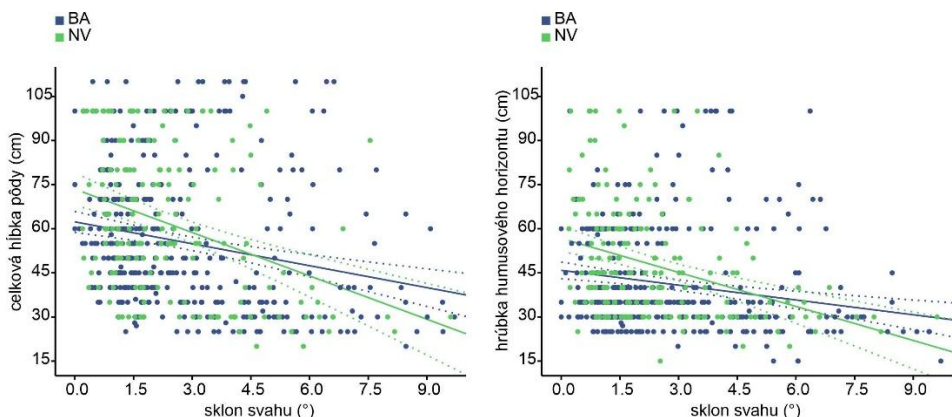
Analyzovali sme aj hĺbku pôdy a hrúbku humusového horizontu podľa pôdneho typu. Rozdelili sme jednotlivé pôdy do troch základných skupín: černozeme (CH), regozeme a erodované černozeme (RG-CHer) a hnedozeme (LV). Zistili sme, že v Bábe je priemerná hĺbka regozeme a erodovanej černozeme (N=129) len 34,94 cm a priemerná hĺbka humusového horizontu je 28,12 cm, čo približne zodpovedá hĺbke orby a mechanickému premiešaniu horizontov A a C (Šwitoniak, 2014). Priemerná hĺbka ostatných černozemí (N=251) je 64,59 cm a priemerná hrúbka humusového horizontu je 47,18 cm. Priemerná hĺbka hnedozeme (N=15) je 73,00 cm a priemerná hrúbka humusového horizontu je 49,66 cm. V Novej Vieske je hĺbka regozeme a erodovanej černozeme (N=87) 40,57 cm a humusového horizontu 33,28 cm. Hĺbka ostatných černozemí (N=88) je 81,47 cm a humusového horizontu 61,14 cm. Hĺbka hnedozeme (N=2) je 62,5 cm a humusového horizontu 30 cm.

Sklon svahu

Najväčšie zastúpenie majú svahy so sklonom do 7° , v oboch územiach dominuje kategória sklonitosti 1° až 3° , ktorá zaberá viac ako 76 % plochy. Tieto oblasti sú dominantne využívané ako intenzívne obrábaná orná pôda. Vo vyšších kategóriách sklonu ($>7^\circ$) sú zastúpené predovšetkým regozeme. Predpokladáme, že vznikli z černoziem v dôsledku času a intenzívneho poľnohospodárskeho využívania, čo potvrdzujú aj práce Šwitoniak (2014 a Zádorová et al. (2013)). Na oboch lokalitách boli erodované pôdy identifikované aj na plošinách s minimálnymi hodnotami sklonu ($<1^\circ$). To môže byť spôsobené eróziou vplyvom vetra (Sebe et al., 2011). Pôdotvorný substrát v oboch lokalitách je predovšetkým spraš a sprašové hliny, ktoré sa vyznačujú vysokou náchylnosťou na eróziu. Pôdy sú charakterizované vysokým obsahom ílu (40 - 60 %), čo ich robí málo odolnými voči eróznym procesom (Terhorst, 2000). Tento jav bol pozorovaný aj v podmienkach Sliezskej nížiny (Labaz et al., 2018).

Sklon a hĺbka pôdy v kontexte erózne-akumulačných procesov

V procesoch erózie a akumulácie sa mení hrúbka pôdnych horizontov a hĺbka pôdy. Zmeny v pôdnych horizontoch a hĺbke erodovaných pôd potvrdili Liu et al. (2021) a (Musso et al., 2020). Sklon vstupuje do vývoja erózne-akumulačných procesov ako jeden z hlavných faktorov (Shen et al., 2016). Predpokladali sme, že s narastúcim sklonom sa hĺbka pôdy a hrúbka humusového horizontu znižuje. Vychádzali sme z všeobecne známych faktov ako aj práce Šwitoniak (2014), ktorý uvádza, že najintenzívnejšie erózne procesy sa vyskytujú na konvexných častiach svahov so sklonom $>2^\circ$ a na vrcholoch svahov, kde dochádza k stenšovaniu humusového horizontu. Na oboch lokalitách hĺbka pôdy klesá s rastúcim sklonom a humusový horizont sa stenšuje (obr. 3). Podobný výsledok opísali autori Govers (1991), Poesen (2017). V podmienkach sprašových pahorkatín na Slovensku sa sklon 3° považuje za kritický (Fulajtár & Janský, 2001; Petlušová et al., 2021).



Obr. 3. Lineárna regresia hĺbky pôdy sklonu svahu. Čiarkovaná čiara znázorňuje 95% confidence interval.

V lokalite Báb bolo 112 (28,4 %) z 395 sond umiestnených na svahoch $>3^\circ$, pričom až 52 sond (46,4 %) spadalo do kategórie plytkých pôd, čo indikuje najmä erodované pôdy. Erodované pôdy boli aj v kategórii stredne hlbokých pôd (regosoly, černozeme). V rozsahu 0 - 40 cm bolo identifikovaných 81 sond (72,3 %), kde bola znížená hĺbka pôdy a humusový horizont bol stenšený. S rastúcim sklonom sa postupne zvyšoval podiel plytkých pôd, čo sa potvrdilo aj v našej štúdii. Vplyv sklonu potvrdil aj Fu et al. (2011) v povodí Wangjiaqiao, ktorí uviedli, že z celkového počtu 348 odberových miest na miestach s vyšším sklonom malo 75 % z nich hrúbku pôdy v rozsahu 15-75 cm a 69 % z nich sa nachádzalo na svahu $>15^\circ$. V lokalite Nová Vieska bolo 52 sond (29,3 % z celkového počtu 177 sond) umiestnených na svahoch $>3^\circ$. V kategórii plytkých pôd do 30 cm boli zistené zmeny v hĺbke pôdy a humusovom horizonte v 25 sondách (46,3 %). Stredne hlboké pôdy do 40 cm s eróznymi procesmi boli identifikované v 30 sondách (55,6 %). V oboch lokalitách sa plytké a stredne hlboké pôdy vyskytovali prevažne v horných a stredných častiach svahu, situované na konvexných tvaroch. Toto bolo pozorované na erodovanej zvlnenej sprašovej náhornej plošine v strednej Európe Labaz et al., (2022) Identifikovali erodované plytké pôdy v horných častiach svahu a na chrbtoch v rozsahu $2^\circ - 10^\circ$ a stredne hlboké pôdy v stredných častiach svahu a na nižších pozíciách v rozsahu $0^\circ - 6^\circ$.

Hodnotili sme tiež silu vzťahu medzi sklonom, hĺbkou pôdy a hrúbkou humusového horizontu. Na oboch lokalitách sme zistili štatisticky významný vzťah medzi premennými. Na lokalite Báb existuje slabá negatívna korelácia medzi sklonom a hĺbkou pôdy ($r=-0,257$, $n=395$, $p<0,01$). Pri porovnaní sklonu a hrúbky humusového horizontu sme podobne zistili slabú negatívnu koreláciu ($r=-0,227$, $n=395$, $p<0,01$). Na lokalite Nová Vieska existuje negatívna korelácia strednej sily medzi sklonom a hĺbkou pôdy ($r=-0,388$ $n=177$, $p<0,01$) a negatívna korelácia

strednej sily medzi sklonom a hrúbkou humusového horizontu ($r=-0,374$, $n=177$, $p<0,01$). V Trnavskej pahorkatine potvrdili vzťah medzi sklonom a zmenami v pôdnom profile Smetanová et al. (2017).

Analýzovali sme tiež samostatne dve skupiny dát rozdelené podľa sklonu $<3^\circ$ a $>3^\circ$. Hodnotu 3° považujeme za kritickú a rozhodujúcu, ako potvrdili Petlušová et al. (2021). Analýzou súboru dát pre sklon $<3^\circ$ sme v Bábe nenašli žiadny vzťah medzi sklonom a hĺbkou pôdy ($r=-0,05$, $n=263$, $p=0,378$). Naopak, pri analýze sklonov $>3^\circ$ sme potvrdili vzťah medzi sklonom a hĺbkou pôdy ($r=-0,206$, $n=132$, $p<0,05$). Podobné zistenia platia aj pri analýze vzťahu medzi sklonom a hrúbkou humusového horizontu. Nenašli sme žiadny vzťah medzi sklonom a hrúbkou humusového horizontu ($r=-0,05$, $n=263$, $p=0,362$) pri analýze sklonu $<3^\circ$. Naopak, pri analýze sklonu $>3^\circ$ sme potvrdili vzťah medzi sklonom a hrúbkou humusového horizontu ($r=-0,302$, $n=132$, $p<0,01$). V Novej Vieske sa dáta správali podobne. Analýzou sklonu $<3^\circ$ sme nenašli žiadny vzťah medzi sklonom a hĺbkou pôdy ($r=-0,09$, $n=124$, $p=0,283$). Naopak, pri analýze sklonov $>3^\circ$ sme zistili vzťah medzi sklonom a hĺbkou pôdy ($r=-0,334$, $n=53$, $p<0,02$). Pri analýze sklonu $<3^\circ$ sme zistili vzťah medzi sklonom a hrúbkou humusového horizontu ($r=-0,221$, $n=124$, $p<0,02$). Pri sklone $>3^\circ$ sme potvrdili vzťah medzi sklonom a hrúbkou humusového horizontu ($r=-0,356$, $n=53$, $p<0,01$).

Diskusia

Výsledky našej štúdie potvrdzujú komplexnú dynamiku pôdneho pokryvu v intenzívne využívaných sprašových pahorkatinách Slovenska, kde sa pôvodný, prevažne černoziemný, typ pôd transformoval na mozaiku erodovaných a akumulovaných foriem. Tento fenomén je v súlade s pozorovaniami z iných stredoeurópskych sprašových oblastí (napr. Labaz et al., 2022; Zádorová et al., 2023). Konkrétne, regozeme a erodované černoze, typické pre chrbtové a stredné svahové pozície, sú priamym dôsledkom intenzívnej erózie ornice. Naopak, akumulované pôdy, ako sú koluviozeme, sa predvídateľne nachádzajú v konkávných depresiách a úpäti svahov, kde dochádza k depozícii a ukladaniu erodovaného materiálu.

Naše zistenia v skúmaných lokalitách potvrdzujú, že sklon svahu je dominantným morfometrickým parametrom ovplyvňujúcim intenzitu erózo-akumulačných procesov. Zistili sme, že s rastúcim sklonom dochádza k štatisticky významnému znižovaniu hĺbky pôdy a stenčovaniu humusového horizontu. Tento nález je v súlade s rozsiahlymi štúdiami erózie na svahoch, ktoré poukazujú na zvýšené straty pôdy na strmších svahoch (Fu et al., 2011; Govers, 1991; Poesen, 2017). Za významné považujeme zistenie kritickej hodnoty sklonu 3° , resp. štatisticky významných rozdielov vlastností pôdy pre nižšiu a vyššiu hodnotu sklonu svahu v

podmienkach nížinných sprašových pahorkatín. Na svahoch s gradientom nad 3° sme pozorovali výrazné zníženie hĺbky pôdy a hrúbky humusového horizontu, čo indikuje intenzívnejšie erózne procesy. V Bábe takmer polovica (46,4 %) sond na svahoch strmších ako 3° spadala do kategórie plytkých pôd (<30 cm).

Vzťah medzi sklonom a pôdnym profilom musí zohľadňovať aj komplexnosť foriem reliéfu. Hoci všeobecným trendom je znižovanie hĺbky pôdy s rastúcim sklonom, naša štúdia ukázala, že hlboké, akumulované pôdy sa môžu vyskytovať aj na vyšších svahoch. Toto je pravdepodobne dôsledkom prítomnosti konkávných foriem reliéfu, ktoré sa môžu vyskytnúť pozdĺž katény svahu, kde dochádza k spomaľovaniu odtoku a následnej akumulácii erodovaného materiálu, čím sa vytvárajú hlbšie pôdne profily aj na relatívne strmších polohách svahu. Naopak, konvexné tvary reliéfu podporujú zrýchlený transport materiálu a vedú k stenčovaniu pôdy. Táto interakcia medzi sklonom a tvarom reliéfu je kľúčová pre presné pochopenie priestorového rozloženia pôdných vlastností a je v súlade s prácami iných autorov (napr. Labaz et al., 2022; Świtoniak, 2014; Zádorová et al., 2013).

Hoci sklon je kritickým faktorom, je dôležité zdôrazniť, že eróžno-akumulačné procesy sú výsledkom súhry viacerých environmentálnych premenných. Výskum by sa mal preto zamerať na komplexnejšie vyhodnotenie vplyvu tvaru reliéfu (konvexné, konkávne) a špecifickej polohy na svahu, v ktorej sa pôdne sondy nachádzajú, s cieľom detailnejšie pochopiť priestorovú variabilitu pôdných vlastností.

Záver

Kľúčovou hnacou silou priestorovej diferenciácie pôdy v oboch študijných oblastiach sú eróžno-akumulačné procesy, ktoré sú podporované intenzívnym využívaním ornej pôdy. Štúdia v dvoch lokalitách intenzívne využívaných na poľnohospodársku činnosť potvrdila prítomnosť mozaiky erodovaných pôd. Okrem černozeme sa na svahoch vyskytujú aj regozeme a erodované černozeme. Akumulované pôdy boli identifikované v úpätných polohách v konkávných častiach reliéfu.

V kontexte eróžno-akumulačných procesov sme potvrdili významné zmeny v hĺbke pôdy a hrúbke humusového horizontu. Zistili sme silný vzťah medzi celkovou hĺbkou pôdy a hrúbkou humusového horizontu. Vo vzťahu k sklonu sme potvrdili, že hĺbka pôdy a hrúbka humusového horizontu klesajú s rastúcim sklonom. Toto pozorovanie je založené na slabých a stredných koreláciách. Napriek tomu, hlboké a akumulované pôdy sa vyskytujú aj na strmších svahoch. Tieto sa nachádzajú predovšetkým v konkávných polohách, kde aj napriek vyššiemu sklonu dochádza

k akumulácii materiálu. Toto zistenie považujeme za významné pre návrh a implementáciu protieróznych opatrení.

Sklon je rozhodujúcim a významným faktorom pri rozvoji erózo-akumulačných procesov. Na pozíciách so sklonom nad 3° sme potvrdili vzťah medzi sklonom a hrúbkou humusového horizontu. V týchto oblastiach by sa mali preferovať plodiny s vysokým protieróznym s minimálnym spracovaním pôdy. Naopak, na pozíciách so sklonom do 3° nebol zistený žiadny významný vzťah medzi sklonom, hĺbkou pôdy a hrúbkou humusového horizontu. Na týchto plochách je možné pestovať plodiny s nižšou protieróznou účinnosťou (napr. kukurica na zno, slnečnica, cukrová repa, zemiaky), samozrejme, s aplikáciou vhodných agrotechnických opatrení. Zavedenie vhodných manažérskych postupov v ohrozených oblastiach minimalizuje straty pôdy a vyčerpanie živín v dôsledku erózie.

Podakovanie

Tento výskum bol podporený projektom VEGA 1/0342/22 „Identifikácia, hodnotenie a konsolidácia eróziou ohrozených nížinných pahorkatín Slovenska“.

Literatúra

- Džatko, M., & Sobocká, J. (2009). Príručka pre používanie máp pôdnoekologických podmienok. Inovovaná príručka pre bonitáciu a hodnotenie poľnohospodárskych pôd Slovenska. (4.). VÚPOP.
- Fu, Z., Li, Z., Cai, C., Shi, Z., Xu, Q., & Wang, X. (2011). Soil thickness effect on hydrological and erosion characteristics under sloping lands: A hydropedological perspective. *Geoderma*, 167–168, 41–53.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.08.013>
- Fulajtár, E., & Janský, L. (2001). Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana (1.). VÚPOP.
- Govers, G. (1991). Rill erosion on arable land in Central Belgium: Rates, controls and predictability. *CATENA*, 18(2), Article 2. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(91\)90013-N](https://doi.org/10.1016/0341-8162(91)90013-N)
- Juráň, C., Jurčová, O., & Malíšek, A. (1990). Modelovanie poľnohospodárskych sústav vrátane ochrany pôdy proti erózii. Výskumná správa. Bratislava.
- Labaz, B., Muszyfaga, E., Waroszewski, J., Bogacz, A., Jezierski, P., & Kabala, C. (2018). Landscape-related transformation and differentiation of Chernozems – Catenary approach in the Silesian Lowland, SW Poland. *CATENA*, 161, 63–76.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.003>

- Labaz, B., Waroszewski, J., Dudek, M., Bogacz, A., & Kabala, C. (2022a). Persistence of arable Chernozems and Chernic Rendzic Phaeozems in the eroded undulating loess plateau in Central Europe. *CATENA*, 216, 106417. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106417>
- Labaz, B., Waroszewski, J., Dudek, M., Bogacz, A., & Kabala, C. (2022b). Persistence of arable Chernozems and Chernic Rendzic Phaeozems in the eroded undulating loess plateau in Central Europe. *CATENA*, 216, 106417. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106417>
- Liu, C., Liu, G., Li, H., Wang, X., Chen, H., Dan, C., Shen, E., & Shu, C. (2021). Using ground-penetrating radar to investigate the thickness of mollic epipedons developed from loessial parent material. *Soil and Tillage Research*, 212, 105047. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105047>
- Musso, A., Ketterer, M. E., Greinwald, K., Geitner, C., & Egli, M. (2020). Rapid decrease of soil erosion rates with soil formation and vegetation development in periglacial areas. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(12), 2824–2839. <https://doi.org/10.1002/esp.4932>
- Papiernik, S. K., Lindstrom, M. J., Schumacher, T. E., Schumacher, J. A., Malo, D. D., & Lobb, D. A. (2007). Characterization of soil profiles in a landscape affected by long-term tillage. *Soil and Tillage Research*, 93(2), 335–345. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.05.007>
- Petlušová, V., Petluš, P., Ševčík, M., & Hreško, J. (2021). The Importance of Environmental Factors for the Development of Water Erosion of Soil in Agricultural Land: The Southern Part of Hronská Pahorkatina Hill Land, Slovakia. *Agronomy*, 11(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061234>
- Poesen, J. (2017). Soil erosion in the Anthropocene: Research needs: Soil erosion in the Anthropocene. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43. <https://doi.org/10.1002/esp.4250>
- Rodzik, J., Mroczek, P., & Wiśniewski, T. (2014). Pedological analysis as a key for reconstructing primary loess relief—A case study from the Magdalenian site in Klementowice (eastern Poland). *CATENA*, 117, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.001>
- Sebe, K., Csillag, G., Ruzsiczay-Rüdiger, Z., Fodor, L., Thamó-Bozsó, E., Müller, P., & Braucher, R. (2011). Wind erosion under cold climate: A Pleistocene periglacial mega-yardang system in Central Europe (Western Pannonian Basin, Hungary). *Geomorphology*, 134(3), 470–482. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.003>

Shen, H., Zheng, F., Wen, L., Han, Y., & Hu, W. (2016). Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. *Soil and Tillage Research*, 155, 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.011>

Smetanová, A., Verstraeten, G., Notebaert, B., Dotterweich, M., & Létal, A. (2017). Landform transformation and long-term sediment budget for a Chernozem-dominated lowland agricultural catchment. *CATENA*, 157, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.05.007>

Świtoniak, M. (2014). Use of soil profile truncation to estimate influence of accelerated erosion on soil cover transformation in young morainic landscapes, North-Eastern Poland. *CATENA*, 116, 173–184. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.12.015>

Terhorst, B. (2000). The influence of Pleistocene landforms on soil-forming processes and soil distribution in a loess landscape of Baden–Württemberg (south-west Germany). *CATENA*, 41(1), 165–179. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00098-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00098-9)

Tobiašová, E., Barančíková, G., Gömöryová, E., Dębska, B., & Banach-Szott, M. (2018). Humus substances and soil aggregates in the soils with different texture. *Soil and Water Research*, 13(1), 44–50. <https://doi.org/10.17221/31/2017-SWR>

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., ... Yutani, H. (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>

Zádorová, T., Penížek, V., Lisá, L., Koubová, M., Žížala, D., Tejnecký, V., Drábek, O., Kodešová, R., Fér, M., Klement, A., Nikodem, A., Reyes Rojas, J., Vokurková, P., Pavlů, L., Vaněk, A., & Moska, P. (2023). Formation of Colluvisols in different soil regions and slope positions (Czechia): Stratification and upbuilding of colluvial profiles. *CATENA*, 221, 106755. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106755>

Zádorová, T., Penížek, V., Šefrna, L., Drábek, O., Mihaljevič, M., Volf, Š., & Chuman, T. (2013). Identification of Neolithic to Modern erosion–sedimentation phases using geochemical approach in a loess covered sub-catchment of South Moravia, Czech Republic. *Geoderma*, 195–196, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.11.012>

Zhidkin, A., Gennadiev, A., Fomicheva, D., Shamshurina, E., & Golosov, V. (2023). Soil erosion models verification in a small catchment for different time windows with changing cropland boundary. *Geoderma*, 430, 116322. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116322>