

MODELOVANIE VZNIKU VÝMOĽOVEJ ERÓZIE V OKOLÍ BARDEJOVA POMOCOU GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÝCH SYSTÉMOV

Jaroslav HOFIERKA¹, Štefan KOCO²

Abstract: Gully erosion is a complex phenomenon associated with extreme rainfall events and antropic land use changes. In Slovakia, many of the gullies found in current landscape were formed in medieval times, when extensive deforestations and climate change occurred. In our study, we used a geographic information system (GIS) technology, two selected models for prediction of gully location to analyze a territory around medieval town of Bardejov in Eastern Slovakia. The results of this study showed that the location of old permanent gullies found in this area is strongly associated with topography, especially contributing areas. It was confirmed that the character of land use (farmland vs. forestland) is among key factors controlling the gully formation. The study shows that GIS presents an important tool in analyses of gully erosion potential in the past, present or future in case of global climate changes and possible land use changes. Gullies are also important landmarks of past landscape conditions that can be reconstructed back in time using a GIS and field-mapping technology.

Key words: gully erosion, modeling, GIS

Úvod

Výmoľová erózia, ako zložka vodnej erózie pôdy, sa výrazne prejavuje v krajine a jej celkovom charaktere. Predstavuje komplexný prírodný jav, ktorý sa inicializuje sústredením povrchového toku vody do siete hlbokých lineárnych foriem reliéfu na svahoch počas extrémnych zrážok (Zachar, 1970). Vo vzťahu ku georeliéfu sa výmole viažu najmä na dna dolín a úvalín, prípadne na horizontálne priame úseky svahov. V našich podmienkach bol vznik výmoľov podmienený prevažne antropicky, a to zmenou využívania zeme - odlesnením a poľnohospodárskym využívaním pôvodnej lesnej krajiny najmä v stredoveku (Stankoviansky, 2003b). V tomto období prebiehali aj klimatické zmeny charakterizované chladnejšou a vlhšou klímou. Rozsiahle odlesňovanie a poľnohospodárske využívanie pôdy boli nevyhnutnou podmienkou vzniku výmoľov, avšak spúšťacím mechanizmom boli extrémne zrážky (Stankoviansky, 2003c).

Výmole, ako geomorfologické formy, spôsobujú fragmentáciu svahov, čím znehodnocujú poľnohospodársku pôdu zmenšovaním jej rozlohy. Najhustejšia sieť výmoľov sa viaže na pahorkatiny a nižšie vrchoviny, reprezentujúce prechodnú zónu medzi nížinami, nižšími časťami kotlín a pohoriami. Táto prechodná zóna je budovaná prevažne menej odolnými horninovými komplexmi s nízkou odolnosťou voči pôsobeniu ronových procesov (Stankoviansky, 1998a).

1 Doc. Mgr. Jaroslav Hofierka, PhD., Katedra geografie a regionálneho rozvoja, Fakulta humanitných a prírodných vied, Prešovskej univerzity v Prešove, Ul. 17. novembra 1, 081 16 Prešov, e.mail : hofierka@fhpv.unipo.sk

2 Štefan Koco, Katedra geografie a regionálneho rozvoja, Fakulta humanitných a prírodných vied, Prešovskej univerzity v Prešove, Ul. 17. novembra 1, 081 16 Prešov.

V súčasnom období sa výmoľová erózia na Slovensku prejavuje najmä v tvorbe efemérnych výmoľov, ktoré bývajú zvyčajne zarovnané pri najbližšej operácii obrábania pôdy, avšak pri ďalšej eróznej udalosti môžu opäť vznikáť na tých istých miestach (Stankoviansky, 1998b).

Rozmerovo väčšie permanentné výmole, ktoré nie je možné zarovnať bežnými operáciami obrábania pôdy, predstavujú v súčasnosti reliktné formy, vytvorené v odlišných klimatických podmienkach predkolektivizačného obdobia. Tieto výmole sú väčšinou stabilizované lesným porastom, vytvárajúce ostrovy lesnej vegetácie v poľnohospodárskej krajine. Napriek stabilizácii sa môžu prejavy výmoľovej erózie u týchto výmoľov v limitovanej podobe obnoviť.

V rámci výskumu výmoľovej erózie na Slovensku sa rôzni autori venovali predovšetkým priestorovej organizácii a hustote výmoľov (napr. (Bučko a Mazúrová, 1958), (Barabas, 1996, 1997)). Harčár (1995) hodnotil vzťah výmoľov ku georeliéfu a geologickému podkladu v oblasti Nízkych Beskýd. V súčasnosti sa intenzívne výmoľovou eróziou v oblasti Myjavskej pahorkatiny zaoberá Stankoviansky (2003a, 2003b, 2003c), pričom sa venuje najmä príčinám a datovaniu vzniku výmoľov.

Modelovaniu vzniku výmoľov sa venovali predovšetkým autori v zahraničí. Rozsiahly prehľad prác uvádzajú Bull a Kirkby (1997). Použitie technológie geografických informačných systémov (GIS) pri modelovaní výmoľovej erózie sa zatiaľ nerozšírilo tak, ako pri plošných formách vodnej erózie pôdy. Martínez-Casasnovas (2003) prezentoval použitie technológie GIS pri mapovaní a kvantifikácii dôsledkov výmoľovej erózie. Desmet a Govers (1996) porovnávali viaceré algoritmy pre výpočet prispievajúcich plôch, ktoré sú potrebné pri modelovaní vzniku efemérnych výmoľov. Modelovanie plošných prejavov erózie pôdy pomocou GIS-u je však bežné (napr. Mitasova et.al, 1996, Šúri et al., 2002, Hofierka a Šúri, 1995).

Modelovanie výmoľovej erózie vyžaduje použitie a integráciu údajov z rôznych zdrojov a aplikáciu rôznych metodík a algoritmov. GIS poskytuje vhodné prostredie pre čiastkové analýzy a modelovanie procesu. V našej práci sme pri spracovaní vstupných údajov a kartografických výstupov použili GIS ArcView GIS 3.2, spracovanie údajov a modelovanie bolo realizované v GIS-e GRASS (Neteler a Mitasova, 2002).

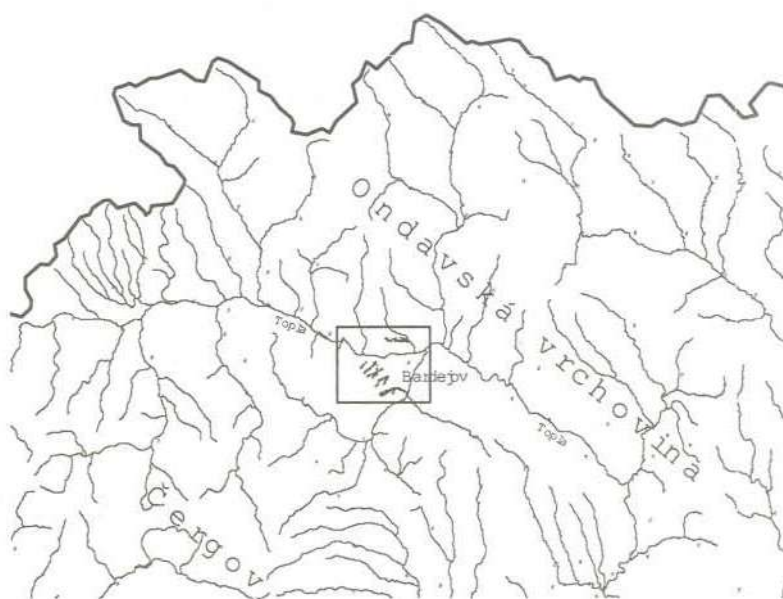
Cieľom príspevku je na príklade existujúcich stabilizovaných výmoľov v okolí Bardejova modelovať potenciál vzniku výmoľov pomocou modelov vzniku výmoľov. Čiastkovými cieľmi je implementácia existujúcich modelov vzniku výmoľov do GIS-u GRASS, testovanie vplyvu zmeny georeliéfu a spôsobu využívania krajiny na zmenu potenciálu vzniku výmoľov pre stav územia pred vznikom výmoľov a pre súčasný stav územia. Porovnaním výsledkov týchto modelov posúdiť efektívnosť daných modelov s možnosťou vyhodnotiť možné príčiny vzniku výmoľov.

Údaje a metódy

Charakteristika záujmového územia

Nami študované územie o rozlohe 20 km² sa nachádza v geomorfologickom celku Ondavská vrchovina v katastri mesta Bardejov s najnižším bodom 257,5 m.n.m a najvyšším 550 m.n.m. Z geomorfologického hľadiska stred územia pretína niva rieky Topľa. Severnú a južnú časť charakterizujú erózne svahy s plochými chrbtami a pomerne častým výsky-

tom úvalín, výmoľov a menších zosuvov (Obr. č. 1). Celok Ondavskej vrchoviny patrí do flyšového pásma, ktoré je z hľadiska výmoľovej erózie považované za najviac postihnuté územie Slovenska. Vyplýva to z geologickej stavby flyšových komplexov, najmä litofaciálneho charakteru sedimentov, budujúcich toto pásmo. Ide v podstate o striedanie nepriepustných ílovcov a slabo alebo dobre priepustných pieskovcov, resp. zlepcov (Harčár, 1995).



Obr. č. 1. Poloha záujmového územia

Keďže skúmané územie zaberá okolie stredovekého mesta Bardejov, je tu predpoklad, že jeho bezprostredné okolie bolo už v dávnej minulosti odlesnené a poľnohospodársky využívané. V súčasnosti v blízkom okolí mesta prevláda poľnohospodárske využívanie pôdy, ostrovite prerušované lesnou vegetáciou. Charakteristický je pomerne vysoký výskyt záhradkárskeho územia. Súvislejšie plochy lesa sa nachádzajú najmä v najvyššej, juhozápadnej časti územia.

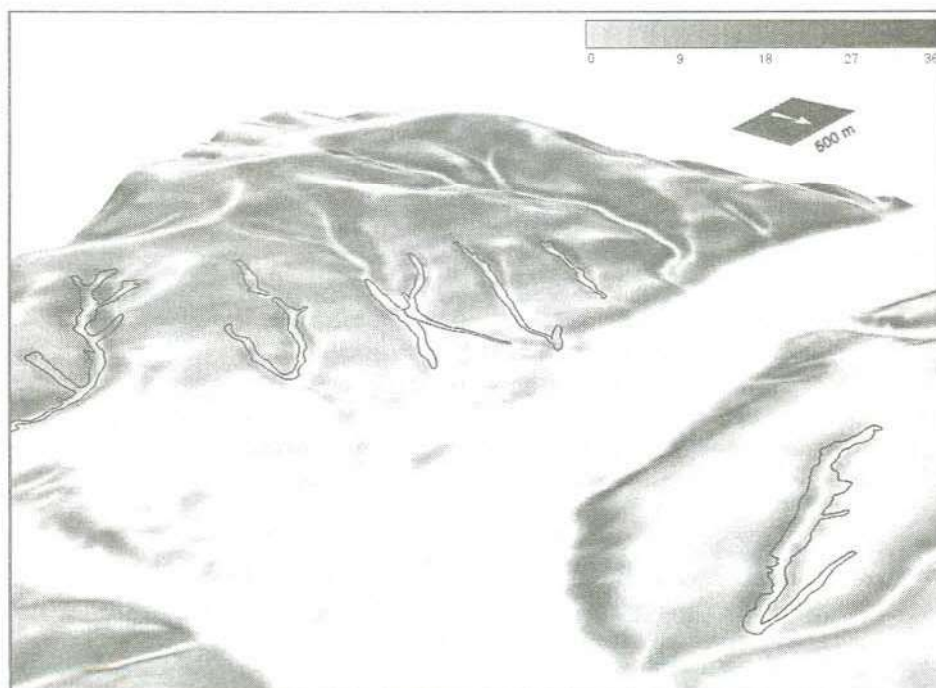
Vstupné údaje

Použitie vstupné údaje charakterizujú základné vlastnosti krajiny, ktoré vplývajú na vznik výmoľov: georeliéf, spôsob využitia zeme a geologická stavba. Údaje získané z mapových podkladov boli spresnené vlastným terénnym výskumom.

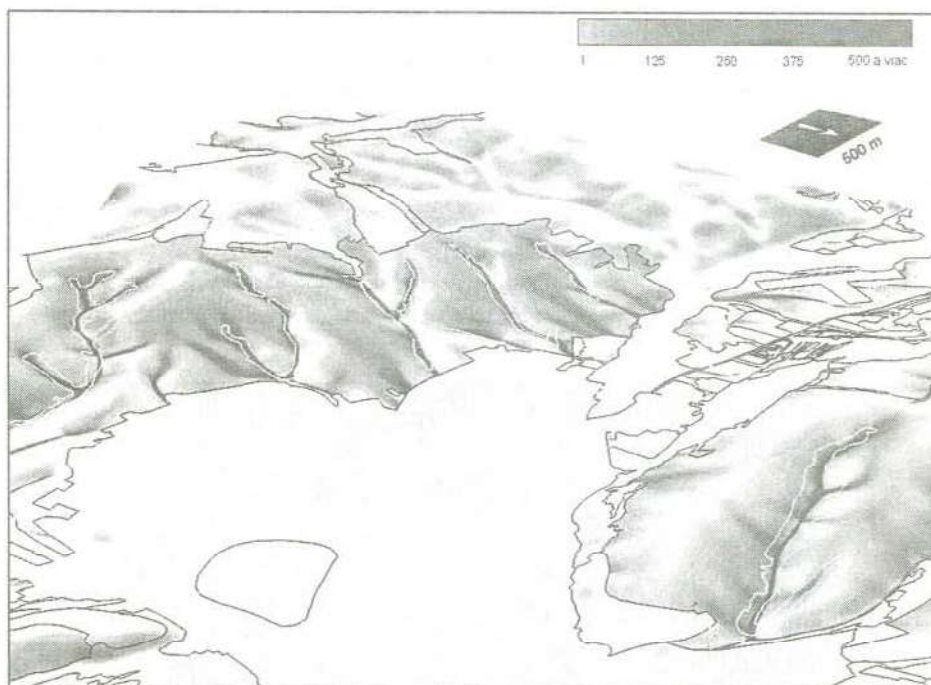
Georeliéf

Vlastnosti georeliéfu výrazne podmieňujú vznik výmoľovej erózie a predstavujú hlavné zložky vstupných údajov pre nami použité modely. Georeliéf je v GIS-e reprezentovaný digitálnym modelom (geo-)reliéfu (DMR). Primárnym zdrojom údajov boli základné mapy v mierke 1:10 000, ktoré boli prevedené do digitálnej podoby vektorizáciou v súradnicovom systéme S-JTSK v GIS-e ArcView 3.2. Vektorizované vrstevnice predstavovali vstupné bodové pole pre tvorbu digitálneho modelu reliéfu v rastrovom formáte s rozlíšením bunky 2 m pomocou priestorovej interpolácie s využitím regularizovaného splajnu s tenziou, ktorý je implementovaný v GIS-e GRASS ako príkaz *s.surf.rst* (Neteler a Mitasova, 2002). Simultánne s interpoláciou nadmorských výšok boli vypočítané aj morfo-metrické ukazovatele georeliéfu (sklon, orientácia a krivosti georeliéfu). Na Obr. č. 2 je znázornený 3D pohľad na územie s hodnotami sklonu georeliéfu v stupňoch a vyznačenou polohou sledovaných výmoľov. Pomocou príkazu *r.terraflow* boli vypočítané prispievajúce plochy (počet buniek rastra-elementárnej plochy, z ktorých odteká voda do danej bunky) pre vyčlenené poľnohospodársky využívané plochy (Obr. č. 3). Dĺžka svahov bola získaná aplikáciou príkazu *r.flow* (Obr. č. 4).

Pre stav územia pred vznikom výmoľov sme predpokladali, že v minimálnej verzii neexistovali ostré zárezy v georeliéfe (výmole), ktoré je možné dobre identifikovať aj v základnej mape v mierke 1:10 000. Tieto časti vrstevníc sme odstránili a zo zvyšku vstupného bodového poľa sme vypočítali DMR aproximujúci stav georeliéfu pred vznikom výmoľov s rovnakými parametrami interpolácie. Oba DMR tvorili základnú bázu údajov pri tvorbe jednotlivých modeloch výmoľovej erózie.



Obr. č. 2. Sklon georeliéfu (v stupňoch)



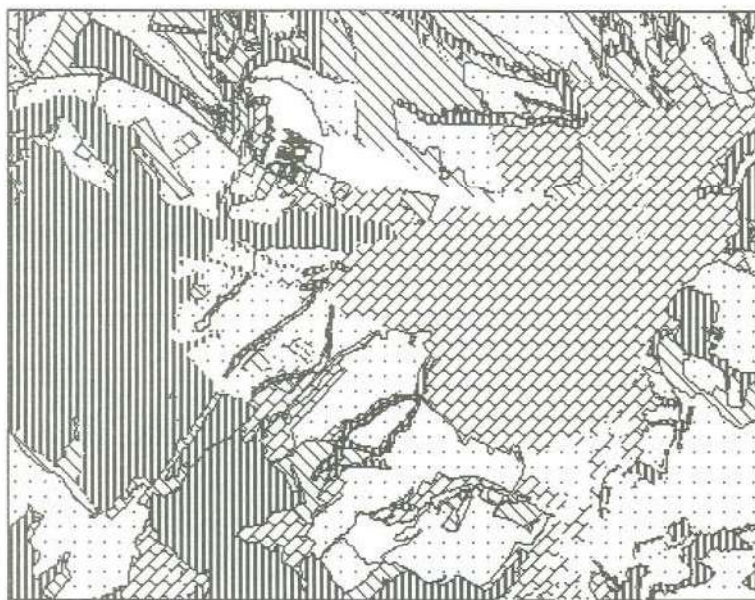
Obr. č. 3. Prispievajúce plochy (počet buniek)



Obr. č. 4. Dĺžka svahov (v metroch)

Využitie zeme

Ako vyplýva z charakteristiky výmoľovej erózie, nevyhnutnou podmienkou tohto procesu je poľnohospodárske využívanie pôdy, preto k dôležitým údajom patrí aj využívanie zeme na danom území. Z tohto dôvodu sme vytvorili digitálnu mapu využitia zeme. Mapa bola vytvorená vektorizáciou areálov využívania zeme z ortofotomapy daného územia z roku 1997 v rozlíšení 1 m pomocou programu ArcView 3.2. Vyčlenili sme areály ornej pôdy, lúk a pasienkov, lesov a zastavaných plôch. Na výslednej mape súčasného využitia zeme (Obr.č. 5) je zrejmé, že sledované výmole predstavujú ostrovy lesnej vegetácie obklopené ornou pôdou, prípadne lúkami a pasienkami. Zaujímavý je výskyt záhradkárskych oblastí v tesnom susedstve sledovaných výmoľov, ktoré sú na mape zobrazené ako zastavané plochy



Obr. č. 5. Využitie zeme v súčasnosti

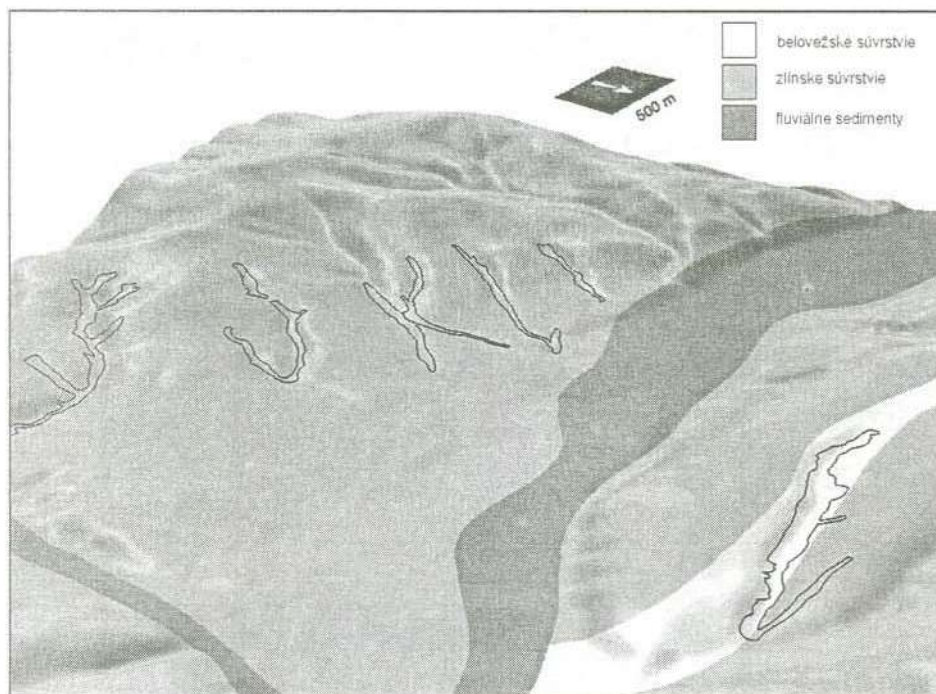
Vzhľadom na súčasný výskyt výmoľov a existenciu stredovekého mesta v tesnej blízkosti výmoľov vychádzame z predpokladu, že celá táto oblasť bola v minulosti využívaná ako orná pôda, resp. bola poľnohospodársky intenzívne využívaná. Na základe tohto predpokladu sme upravili súčasnú mapu využitia zeme tak, že na ploche výmoľov a v ich tesnej blízkosti sme vymenili lesy a zastavanú plochu (záhradkársku oblasť) za ornú pôdu (Obr. č. 6). Na mape sú naznačené aj hranice stredovekého Bardejova. V jeho bezprostrednom okolí nedokážeme bez historických podkladov vzhľadom na súčasnú zastavanosť územia presne určiť spôsob využívania zeme v minulosti, preto sme túto časť územia ponechali bez zmeny, resp. táto plocha bola vylúčená z ďalších analýz



Obr. č. 6. Predpokladané využitie zeme v minulosti

Geologické pomery

Ďalšou zložkou, ovplyvňujúcou výmoleňovú eróziu, je geologická štruktúra daného územia. Vlastnosti horninového podložia určujú, do akej miery sa tieto vlastnosti prejavujú na intenzite výmoleňovej erózie. Z tohto dôvodu sme vytvorili digitálnu mapu geologických pomerov nášho územia (Obr. č. 7) vektorizáciou areálov jednotlivých geologických vrstiev z geologickej mapy v mierke 1:50 000 (Nemček, 1986). Vzhľadom na malú rozlohu skúmaného územia a monotónnosť flyšového pásma z geologickej mapy vyplýva geologická jednotvárnosť flyšového striedania sa pieskovcov a ílovcov na celom území. Naše územie zaberá bystrická jednotka tvorená úzkym pásom belovežského súvrstvia v severnej časti územia s charakteristickým striedaním pieskovcov a ílovcov, pričom pieskovce sú tenkolisté, karbonatické a ľahko zvetrávajúce a na takmer celom zvyšnom území potom prevažuje zlínske súvrstvie, vyznačujúce sa flyšovým striedaním pieskovcov a ílovcov. V blízkosti vodných tokov Topľa a Šibská voda sa nachádzajú aj fluválne sedimenty, najmä piesčité štrky, hlinité štrky, hliny a íly, ktoré sú však mimo sledovaných výmoleňov (Nemček, 1986).



Obr. č. 7. Geologická štruktúra územia

Terénny prieskum

Terénny prieskum bol zameraný na presnú lokalizáciu jestvujúcich výmoľov, vytýčenie hraníc výmoľov a tvorbu fotodokumentácie. Prieskumu predchádzalo predbežné určenie hraníc výmoľov z digitálnej ortofotomapy. Ako ukazovateľ hraníc jednotlivých výmoľov nám zväčša poslúžili hranice lesného porastu stabilizujúceho výmole. Kde sa takýto porast nenachádzal, bola hranica stanovená odhadom, keďže vzhľadom na nestereoskopický charakter a aj rozlíšenie použitej ortofotomapy bolo ťažké určiť jej presný priebeh. Následne v teréne boli tieto predbežne určené hranice spresnené podľa skutočného stavu využitím satelitnej lokalizačnej technológie GPS.

Mapované výmole v okolí Bardejova sa nachádzajú najmä na dnách dolín, ktorých sklon je 5-10°. Dĺžka mapovaných výmoľov je v rozsahu 500 - 1200 metrov. Hĺbka výmoľov sa pohybuje v rozmedzí 5 - 10 metrov, výnimočne aj viac, a to najmä pri vyššom sklone georeliéfu. Žiaden z výmoľov v súčasnosti nie je aktívny, zvyčajne sú pokryté stromovou vegetáciou, ktorá ich stabilizuje. Na dne niektorých výmoľov sa vyskytuje málo výdatný, resp. občasný vodný tok. Časť rozsiahlejších výmoľov je už čiastočne deštruovaná ľudskou činnosťou (záhradkárske oblasti).

Modely výmoľovej erózie

Na odhad potenciálu vzniku výmoľov sme použili dva dostupné modely. Oba využívajú najmä vlastnosti georeliéfu a horninového podložia.

Minár a Tremboš (1994) uvádzajú model hrozby výmoľovej erózie, ktorý určuje hodnotu náchylnosti daného miesta v území na výmoľovú eróziu. V zmysle tohto modelu *hodnota hrozby výmoľovej erózie* V je určená vzťahom:

$$V = \frac{S \cdot D}{L}, \quad (1)$$

kde S je faktor sklonu svahu, D je faktor dĺžky svahu, L je faktor odolnosti hornín. Vzhľadom na geologický monotónny charakter územia bol faktor odolnosti hornín na celom území konštantný ($L=2$). Hodnoty faktorov sklonu a dĺžky svahu boli vypočítané v GIS-e GRASS reklasifikáciou máp sklonov a dĺžky svahu na hodnoty faktorov podľa tabuliek hodnôt faktorov pre intervalové rozdelenie sklonu a dĺžky svahu uvedených v práci (Minár a Tremboš, 1994).

Druhý použitý model vychádza z modelu potenciálu vzniku efemérnych výmoľov uvedeného v práci (Desmet et al., 1999). Efemérne výmole sú výmole, ktorých veľkosť umožňuje ich zarovnanie napr. orbou. Avšak v prípade vhodných okolností, napr. opakujúcich sa erózných udalostí a nepoužitia technických opatrení, sa tieto výmole môžu rozvinúť do permanentnej formy výmoľov. Z existujúcich prác je zrejme, že výmole vo väčšine prípadov vznikajú síce v relatívne krátkom čase, ale etapovite, s určitými štádiami rozvoja (Zachar, 1970; Sidorchuk, 1999). V zmysle práce (Desmet et al., 1999) potenciál územia na tvorbu efemérnych výmoľov je určený vzťahom:

$$A^b \cdot \sin(S) > T, \quad (2)$$

kde A je prispievajúca plocha v danom bode [m^2], b je koeficient reflektujúci vlastnosti zvetralinového plášťa s hodnotami v rozmedzí 0,4 až 1,0, S je sklon georeliéfu v danom bode [$^\circ$], T je hraničná hodnota potenciálu pre tvorbu efemérnych výmoľov [-]. Hodnota T závisí najmä od charakteru zvetralinového plášťa a klimatických podmienok územia. V prípade nášho územia sme použili hodnotu koeficientu $b = 0,4$, ktorá predstavuje základnú, všeobecnú hodnotu tohto modelu, ktorá je vhodná pre väčšinu skúmaných území (Vandaele et al., 1996; Desmet a Govers, 1997). Presné určenie by vyžadovalo podrobnejšiu analýzu zvetralinového materiálu.

Oba modely boli implementované v GIS-e GRASS pomocou shell skriptu, ktorý je možné v GIS-e GRASS využiť vo funkcii makro jazyka. Príkaz *r.mapcalc* s funkciami mapovej algebry nám slúžil na výpočet hodnôt vzťahov oboch modelov pre každú bunku (elementárnu plochu) záujmového územia.

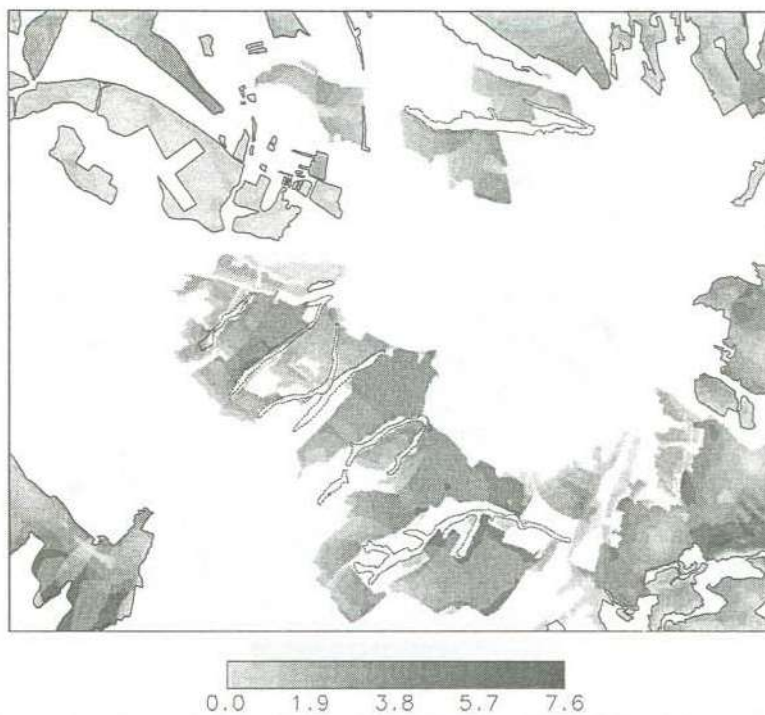
Výsledky a diskusia

Aplikáciou vyššie spomenutých modelov na zvolené záujmové územie sme získali hodnoty potenciálu (bezrozmerné čísla, indexy) pre vznik výmoľov pre obdobie pred (Obr. č. 8a a Obr. č. 9a) a po ich vzniku (Obr. č. 8b a Obr. č. 9b). Pri aplikácii modelov sme vylúčili zastavané plochy a plochy súvislých lesov. V zóne výskytu výmoľov sme predpokladali výlučne ornú pôdu. V súčasnosti sa na ploche výmoľov a v ich tesnej blízkosti nachádza najmä lesná a krovinatá vegetácia stabilizujúca výmoľ, prípadne zastavaná plocha (záhradkárske oblasti). Súčasná poloha výmoľov je znázornená preuršovanou bielou alebo čiernou farbou.

Oba modely evidentne zachytili vyšší potenciál územia pre tvorbu výmoľov v minulosti (Obr. č. 8a a Obr. č. 9a). Rozdiely medzi modelmi vystupujú v presnosti lokalizácie vzniku výmoľov na základe maximálnych hodnôt modelov. Porovnanie oboch použitých modelov ukazuje, že model hrozby výmoľovej erózie (Obr. č. 8a) nezachytáva dostatočne dná dolín a úvalín ako miesta s maximálnou hrozbou vzniku výmoľov v porovnaní s modelom vzniku efemérnych výmoľov (Obr. č. 9a). Naopak, najvyššie hodnoty sú sústredené na svahoch s najvyšším sklonom. Predpokladáme, že príčinou tohto stavu je relatívne vysoká váha faktoru sklonu a tiež použitie faktoru dĺžky svahu, ktorý na dnách dolín a úvalín nedosahuje, v porovnaní s okolím, výrazne vyššie hodnoty (Obr. č. 4). Dnom dolín prebieha len údolníca a svah začína na okraji dna. Preto rozhodujúcim faktorom pre hrozbu výmoľov sa, v prípade tohto modelu, stáva sklon svahu.

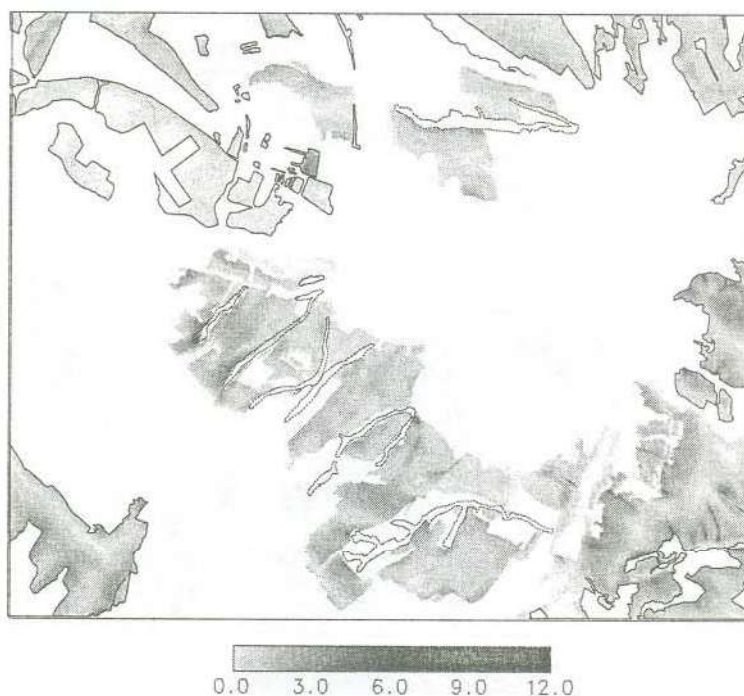
Model pre vznik efemérnych výmoľov (Obr. č. 9a) dosahuje najvyššie hodnoty na dnách dolín a výmoľov, takže správne poukázal na výskyt väčšiny sledovaných výmoľov. Nepodarilo sa mu však zachytiť 2 vetvy výmoľov, ktoré nemajú výraznú topografickú preddispozíciu (napr. severná vetva výmoľa na severnej strane územia). Je možné, že táto diskrepancia je spôsobená ďalšími faktormi, ktoré mohli vyvolať tvorbu výmoľov, napr. poľné cesty. Napriek tomu je zjavné, že veľmi významným morfometrickým ukazovateľom pre vznik výmoľov v okolí Bardejova je prispievajúca plocha, ako nepriamy ukazovateľ povrchového odtoku vody. V situáciách extrémnych zrážkových udalostí dochádza k intenzívnemu tečeniu vody po povrchu (overland flow), pretože intenzita zrážky vysoko prevyšuje infiltračnú schopnosť pôdy. Je pravdepodobné, že povrchové tečenie vody je počas týchto udalostí blízko svojho rovnovážneho stavu (steady-state). V tom prípade prispievajúca plocha kvantifikujúca plochu georeliéfu, z ktorej steká voda do daného bodu je adekvátnym ukazovateľom množstva vody pretekajúcej cez daný bod na georeliéfe.





Obr. č. 8. Model hrozby výmoľovej erózie a) pred vznikom (obrázok na str. 242) a b) po vzniku výmoľov, súčasný stav (obrázok hore)





Obr. č. 9. Model vzniku efemérnych výmoľov a) pred vznikom (obrázok na str. 243 dole) a b) po vzniku výmoľov, súčasný stav (obrázok hore)

Porovnanie oboch modelov pre súčasné obdobie ukazuje na relatívnu stabilitu a celkovo nižšie hodnoty potenciálu. V súčasnosti na území neexistuje žiaden aktívny výmoľ, avšak existujú prejavy plošnej erózie pôdy, ktoré sa v mnohých prípadoch zhodujú s vyšším hodnotami potenciálu oboch modelov. Je zrejmé, že mechanizmus vzniku výmoľovej a aj plošnej erózie vychádza z rovnakých princípov, avšak dôsledky (prejavy a formy) sú odlišné.

Použitím týchto modelov sme poukázali, že aj napriek tomu, že výmoľová erózia je podmienená antropicky, a to najmä prostredníctvom zmeny charakteru využívania zeme, veľký význam pre tvorbu výmoľov má georeliéf a jeho vlastnosti, pretože vytvárajú predispozíciu na veľký povrchový odtok s dostatočnou unášacou schopnosťou vody. Z tohto hľadiska určujúcou vlastnosťou georeliéfu je prispievajúca plocha a sklonitostné pomery. Zároveň sme potvrdili antropický charakter výmoľovej erózie poukázaním na význam spôsobu využívania zeme, keďže všetky skúmané výmole boli správne predikované v oblasti, kde aj v súčasnosti prevažuje poľnohospodárske využívanie pôdy. Navrhnuté zmeny v georeliéfe a v spôsobe využívania zeme na vybraných plochách (obmedzených len na oblasť výmoľov) viedli k presnej lokalizácii výmoľov pomocou GIS-u a modelov, čo bolo potvrdené terénnym prieskumom pomocou technológie GPS.

Záver

V predloženej práci sme poukázali na možnosti modelovania výmoľovej erózie s použitím geografických informačných systémov. Cieľom príspevku bolo na príklade stabilizovaných výmoľov v okolí Bardejova prostredníctvom GIS-u modelovať potenciál vzniku výmoľov, vytvoriť modely nielen pre súčasný stav, ale aj predpokladaný stav pred vznikom výmoľov. Použitie GIS-u umožňuje vytvárať scenáre prírodných podmienok a pomocou modelov testovať lokality pre vznik výmoľov, modelovať intenzitu erózných procesov, vypočítavať objem odneseného materiálu a analyzovať prírodné a sociálnoekonomické dôsledky týchto procesov.

Porovnaním dvoch modelov sme dospeli k výsledkom, ktoré poukazujú na ich použiteľnosť nielen na lokalizáciu vzniku nových výmoľov, ale aj rekonštrukciu podmienok, za ktorých vznikali výmole v minulosti. GIS tak predstavuje významný nástroj pri skúmaní tohto prírodného javu v súčasnosti, v minulosti, ale zároveň umožňuje predpovedať možné dôsledky globálnych klimatických zmien na lokálnej úrovni vo forme scenárov. Keďže výmole predstavujú krajinný znak, prejav (landmark), ktorý je výsledkom určitých podmienok v minulosti, môžeme pomocou GIS-u, modelov vzniku výmoľov a moderných mapovacích techník spätne rekonštruovať štruktúru krajiny v tých vlastnostiach, ktoré podmieňovali vznik výmoľov v minulosti.

Pre typ výmoľov vznikajúcich na dne dolín a úvalín sme tiež poukázali na význam prispievajúcej plochy, ktorá v prípade extrémnych zrážkových udalostí je významným faktorom pre vznik výmoľov. V našej práci sme neanalyzovali množstvo a intenzitu zrážok potrebných pre vznik výmoľov, ale implicitne sme predpokladali extrémne zrážky, ktoré viedli k rovnovážnemu stavu v povrchovom tečení vody na georeliéfe. Naša analýza potvrdila význam spôsobu využitia zeme, pretože vegetačná pokrývka má ochranný účinok na málo odolný zvetralinový plášť.

V ďalšom výskume sa chceme zamerať na doplnenie historických prameňov z mestského archívu v Bardejove, ktoré by nám pomohli presne rekonštruovať sledované územie v minulosti, pokiaľ možno až pred vznikom výmoľov. Pomocou multikriteriálnej štatistickej analýzy tiež vyhodnotíme vplyv (váhu) jednotlivých faktorov pre vznik výmoľov, čím prispejeme k upresneniu doteraz používaných modelov.

Literatúra

- BARABAS, D., 1996, Erózne javy v povodí Hornádu. *Natura Carpatica*, 37, 63-68.
- BARABAS, D., 1997, Erózne javy v povodí Bodvy. *Natura Carpatica*, 36, 9-14.
- BUČKO, Š., MAZÚROVÁ, V., 1958, Výmoľová erózia na Slovensku. In Zachar, D., ed. *Vodná erózia na Slovensku*. Bratislava, Vydavateľstvo SAV, 68-101.
- BULL, L. J., KIRKBY, M. J., 1997, Gully processes and modelling. *Progress in Physical Geography*, 21, 354-374.
- DESMET, P. J. J., GOVERS, G., 1996, Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10, 311-331.
- DESMET, P. J. J., GOVERS, G., 1997, Two-dimensional modelling of the within-field variation in rill and gully geometry and location related to topography. *Catena*, 29, 283-306.
- DESMET, P. J. J., POESEN, J., GOVERS, G., VANDAELE, K., 1999, Importance of slope gradient and contributing area for optimal prediction of the initiation and trajectory of ephemeral gullies. *Catena*, 37, 377-392.

- HARČÁR, J., 1995, Výmlová erózia v SZ časti Nizkých Beskýd – vzťah ku štruktúre a reliéfu. In.: Hochmuth, Z., ed. Reliéf a integrovaný výskum krajiny. Zborník referátov z konferencie. Pedagogická fakulta UPJŠ Prešov, 19-31.
- HOFIERKA, J., ŠÚRI, M., 1995, Modelovanie a kartografické zobrazovanie vodnej erózie pôdy s využitím GIS-u a údajov Landsat TM. *Geodetický a kartografický obzor*, 9, 198-203.
- KIRKBY, M.J., BULL, L.J., 2003, Thresholds of gully initiation: a comparison of field data and model predictions. *Catena Special Issue* 50 (2-4), 415-434.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., 2003, A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. *Catena*, 50, 293-308.
- MINÁR, J., TREMBOŠ, P., 1994, Prírodné hazardy – hrozby, niektoré postupy ich hodnotenia. *Acta AFRNUC, Geographica*, 35, Bratislava, 173-194.
- MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M., IVERSON, R. L., 1996, Modeling Topographic Potential for Erosion and Deposition Using GIS. *Int. Journal of Geographical Information Systems*, 10, 629-641.
- NEMČOK, J., 1986, Geologická mapa Pienin, Čergova, Ľubovianskej a Ondavskej vrchoviny. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 79 – 902 - 90.
- NETELER, M., MITASOVA, H., 2002, Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Boston, Kluwer Academic Publishers, 464 s.
- SIDORCHUK, A., 1999, Dynamic and static models of gully erosion. *Catena*, 37, 401-414.
- STANKOVIANSKY, M., 1998a, Geomorfologický efekt pôsobenia rovinových procesov v poľnohospodárskej krajine. In.: Zborník referátov z odbornej konferencie v Nitre: Trvalo udržateľná úrodnosť pôdy a protierózna ochrana. Bratislava, 301 – 308.
- STANKOVIANSKY, M., 1998b, Význam tvorby efemérnych výmlov v súčasnej i dlhodobej morfogenéze. In. *Act. Fac. Stud. Hum. Et Nat. Un. Preš. Prírodné vedy, Folia geographica*, 2, 321 – 326.
- STANKOVIANSKY, M., 2003a, Gully evolution in the Myjava Hill Land in the second half of the last millennium in the context of the central-european area. *Geographia Polonica*, 76, 2, 89 – 107.
- STANKOVIANSKY, M., 2003b, Geomorfologická odozva environmentálnych zmien na území Myjavskej pahorkatiny. Bratislava, Univerzita Komenského, 155 s.
- STANKOVIANSKY, M., 2003c, Historical evolution of permanent gullies in the Myjava Hill Land, Slovakia. *Catena*, 51, 223 – 239.
- ŠÚRI, M., CEBECAUER, T., HOFIERKA, J., FULAJTÁR, E., 2002, Soil erosion assessment of Slovakia at a regional scale using GIS. *Ekológia (Bratislava)*, 21, 404-422.
- VANDAELE, K., POESE, J., GOVERS, G., WESEMAEL, B., 1996, Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. *Geomorphology*, 16, 161-173.
- ZACHAR, D., 1970, Erózia pôdy. Bratislava, Vydavateľstvo SAV, 528 s.

MODELING THE INCEPTION OF GULLY EROSION AROUND TOWN OF BARDEJOV USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Summary

Gully erosion is a complex phenomenon associated with extreme rainfall events and anthropic land use changes. In Slovakia, many of the gullies found in current landscape were formed in medieval times, when extensive deforestation and climate change occurred. In our study, we used a geographic information system (GIS) technology and two selected models for prediction of gully location to analyze a gully erosion potential in a territory with old permanent gullies around medieval town of Bardejov, Eastern Slovakia. The input data consisted of digital terrain model including morpho-

metric attributes (aspect, slope steepness, upslope contributing areas, slope lengths), orthophotomaps for a current land use and geologic map. Both gully erosion models have been implemented in GRASS GIS. The analysis of gully erosion potential was performed for current and past landscape conditions. The past conditions were represented by changes in land use (forest stabilizing the gullies was replaced by arable land) and topography (removed gully forms from contours). The results of this study showed that the location of old permanent gullies found in this area is strongly associated with topography, especially contributing areas. It was confirmed that the character of land use (farmland vs. forestland) is among key factors controlling the gully formation. The study shows that GIS presents an important tool in analyses of gully erosion potential in the past, present or future in case of global climate changes and possible land use changes. Gullies are also important landmarks of past landscape conditions that can be reconstructed back in time using a GIS and field-mapping technology.

Figure captions:

Fig. 1. Study area location

Fig. 2. Slope steepness (in degrees)

Fig. 3. Contributing areas (number of cells)

Fig. 4. Slope lengths (in meters)

Fig. 5. Current land use

Fig. 6. Assumed land use in the past

Fig. 7. Geological structure of the territory

Fig. 8. Gully erosion hazard model a) before the incision (upper picture) b) after the incision, current state (lower picture)

Fig. 9. Ephemeral gully erosion model a) before the incision (upper picture) b) after the incision, current state (lower picture)

Recenzovali: Prof. RNDr. Ján Harčár, CSc.
Doc. Ing. Jozef Vilček, PhD.