

# Modelovanie a identifikácie stôp erózie pre potreby územnoplánovacej dokumentácie

*J. Lieskovský, P. Kenderessy: Modeling and Identification of Soil Erosion for the Purpose of Territorial Planning. Život. Prostr., No. 6, p. 344 – 347, 2009.*

Soil water erosion represents main wide spread physical degradation process on soils in conditions of Slovakia. This process causes gradual decrease of soil productivity and its ability to infiltrate and store the water, nutrition, organic matter, and soil biota with resulting transformation of soil profile. The soils affected by soil erosion cover approx. 2/3<sup>rd</sup> of the territory of Slovakia, characterized by undulating topography. Most affected are hilly lands with typical loess soils with intensive agriculture. In case such region is the subject of realization of land arrangement projects, these projects should include the complex proposal for minimalisation of the effect of soil erosion. The complex evaluation of soil erosion risk include the modeling of soil erosion, interpretation of results, validation and proposal for mitigation of soil erosion. Erosion prediction has been most widely used as a tool to guide conservation planning and for this purpose many empirical and mathematical models have been developed. The long-term soil loss predicted by models is often hardly visible in the landscape. Thus various field techniques must be used to evaluate and validate modelling results otherwise model predictions are hardly accepted by agricultural practitioners. These techniques require the evaluation of characteristics of eroded soils, identification, measurement and calculation of erosion gullies, altitude changes of soil surface etc.

Vodná erózia pôdy je v podmienkach Slovenska jedným z najrozšírenejších procesov fyzikálnej degradácie pôdy. Postupne znižuje kvalitu pôdy tým, že znižuje jej schopnosť infiltrovať a zadržiavať vodu, množstvo živín, organických látok, pôdnej bioty, a tým, že znižuje celkovú hĺbku pôdneho profilu. To spôsobuje znižovanie úrodnosti pôdy, pôdnej biodiverzity a ovplyvňuje druhové zloženie rastlinstva. Plošne je vodná erózia rozšírená prakticky na dvoch tretinách územia, ktoré sa vyznačujú zvládnutým reliéfom. Obzvlášť ohrozené sú najmä pahorkatinové oblasti na sprašiach s intenzívnou formou hospodárenia na pôde. V prípade, že sa v takomto regióne realizuje projekt pozemkových úprav, treba, aby jedným z podkladov bol projekt miestneho územného systému ekologickej stability (MÚSES) zahrňajúci aj komplexné riešenie problematiky ohrozenia pôdných zdrojov fyzikálnou degradáciou. Pod komplexným riešením rozumieme modelovanie a nasledujúce vyhodnotenie erózneho rizika, ktoré vyúsťuje do návrhu protieróznych opatrení.

## Modelovanie erózie

Na zjednodušenie a urýchlenie hodnotenia intenzity erózie boli vyvinuté viaceré erózne modely. V nich sú zachytené základné faktory, ktoré sa podieľajú na vzniku a priebehu erózie. Analýzou a kombináciou jednotlivých faktorov možno predpokladať množstvo zmytej pôdy počas roka alebo zrážkovej udalosti. Pri hodnotení erózie pre potreby územných systémov ekologickej stability (ÚSES) a pozemkových úprav sa najviac používa *Univerzálna rovnica straty pôdy* podľa metodiky Wischmeiera a Smitha (1978) a jej modifikácie. Základná rovnica má tvar:

$$Sp = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \text{ kde}$$

Sp – priemerná ročná strata pôdy v t.ha<sup>-1</sup>.r<sup>-1</sup>, R – faktor eróznej účinnosti dažďa v MJ.ha<sup>-1</sup>.cm.H<sup>-1</sup>, K – faktor náchylnosti pôdy na eróziu v t.ha<sup>-1</sup>.r<sup>-1</sup>, L – faktor nepretržitej dĺžky svahu, S – faktor sklonu svahu, C – faktor ochranného vplyvu vegetácie, P – faktor vyjadrujúci vplyv protieróznych opatrení.

Čoraz častejšie sa používa modifikácia *Univerzálnej rovnice straty pôdy*, v ktorej je dĺžka svahu nahradená príspevkovou plochou povodia (Simonides, 2005). Rovnica v tomto tvare lepšie odráža vplyv krivosti reliéfu na konvergenciu a divergenciu povrchového odtoku. Príspevkovú plochu povodia možno ľahšie a presnejšie analyzovať v prostredí geografických informačných systémov.

Nevýhodou *Univerzálnej rovnice straty pôdy* je to, že zanedbáva transport a depozíciu pôdy, ktoré sú súčasťou každej erózne udalosti. Depozičné plochy sa nachádzajú predovšetkým v dnách dolín na miestach, kde sa znižuje rýchlosť povrchového odtoku a klesá schopnosť vody unášať pôdne častice. Pri terénnej verifikácii namodelovaných výsledkov môžeme nájsť pôdy s hrubým humusovým horizontom na plochách, ktoré model vyčleňuje ako erózne ohrozené. Tieto plochy treba identifikovať buď terénnym prieskumom, alebo pomocou komplexnejších eróžno-akumulačných modelov. V praxi sa osvedčil model USPED (Mitašová a kol., 1996), ktorý simuluje priestorové rozloženie erózie a depozície na základe zmeny transportnej kapacity tečúcej vody, ktorá závisí od podmienok prostredia. Model možno zjednodušiť tak, že depozičné plochy sa identifikujú na základe analýzy digitálneho modelu reliéfu. Matematické vyjadrenie modelu USPED je pomerne zložité:

$$ED(r) = \text{div } qs(r) = K_t \{ [\text{grad } h(r)] \cdot s(r) \sin b(r) - h(r) [kp(r) + kt(r)] \}, \text{ kde}$$

ED – index erózie/depozície,  $qs(r)$  – transportná kapacita sedimentov,  $K_t$  – konštanta závislá od vlastností pôdy a využitia krajiny (možno vyrátať na základe USLE faktorov),  $h(r)$  – hĺbka vody (m) vypočítaná na základe príspevkovej plochy povodia,  $s(r)$  – gradient smeru najprudšieho sklonu (topografický parameter, vypočítaný na základe prvej derivácie DMR),  $b(r)$  – sklon v stupňoch,  $kp(r)$  – vertikálna krivosť reliéfu (topografický parameter, vypočítaný na základe prvej a druhej derivácie DMR),  $kt(r)$  – horizontálna krivosť reliéfu (topografický parameter, vypočítaný na základe prvej a druhej derivácie DMR).

Výstupom modelu USPED je index erózie/depozície. Záporné hodnoty vyznačujú erózne plochy, kladné hodnoty indexu sú na depozičných plochách.

### Identifikácia stôp erózie

Monitoring a meranie rozsahu vodnej erózie súvisia s mnohými ťažkosťami. Vo väčšine prípadov sú merania obmedzené na experimentálne plochy, na ktorých nie je možné kompletne reprodukovať všetky relevantné hydraulické podmienky erózie, a preto ani nemožno výsledky týchto meraní priamo transformovať na komplexné svahy a povodia. Erózia

je difúzny proces prejavujúci sa relatívne nízkymi a značne variabilnými hodnotami v priestore a čase, čo prispieva k pomernej náročnosti jej kvantifikácie. Z tohto dôvodu vznikajú aj nepresnosti pri modelovaní erózie. Pred návrhom protieróznych opatrení preto treba namodelované výsledky overiť priamo v teréne. Čas, ktorý je určený na vypracovanie projektu ÚSES (spravidla rok), je krátky na experimentálnu verifikáciu modelu, preto je výhodnejšie sledovať dlhodobé stopy, ktoré zanecháva erózia v krajine.

Najčastejšie možno v teréne pozorovať erózne ryhy a brázdy. Najvýraznejšie sú v údolných polohách, kde sa hromadí povrchový odtok. Ak je intenzita erózie vysoká a ryhy sa pravidelne nezaorávajú, môžu prerásť do trvalých výmoľov hlbokých až niekoľko metrov. Pri mapovaní takýchto erózných foriem sa najčastejšie stanovuje ich dĺžka, hĺbka a šírka. Na základe nameraných údajov sa potom vypočítava približný objem erodovaných sedimentov. Na mapovanie v menších mierkach sa osvedčili aj techniky DPZ (diaľkového prieskumu Zeme). Tie sa používajú hlavne na identifikáciu, lokalizáciu alebo hustotu erózných rýh a výmoľov v krajine. Pri dostupnosti údajov z viacerých časových radov možno hodnotiť aj ich zmeny.

Dlhodobý odnos pôdy spôsobený plošným zmyvom je, na rozdiel od odnosu spôsobeného koncentrovaným tokom v krajine, oveľa ťažší. V tomto prípade možno použiť tzv. indikatívne metódy. Aj keď v krajine v danom momente nepozorujeme erózne formy, ako ryhy a brázdy, neznamená to, že tam erózia nevzniká. Dlhodobý odnos pôdy sa môže výrazne prejavíť aj na zmene jej vlastností. Najvhodnejšími ukazovateľmi sú: zmena a redistribúcia zrnitostného zloženia, zmena obsahu organickej pôdnej hmoty, zmena horizonácie pôdneho profilu (prítomnosť alebo absencia diagnostických horizontov, zmena ich hrúbky) a translokácia takých prvkov, ako je vápnik alebo fosfor.

Na svahových polohách vplyvom erózie nastáva odnos jemného pôdneho materiálu (najčastejšie frakcie s veľkosťou zŕn menej ako 0,01 mm) zo svahovej časti na úpätie, kde sa akumuluje. Tieto nánosy môžu zväčšiť hrúbku vrchného horizontu pôdy oproti pôvodnej až niekoľkonásobne.

Na detekciu zmien pôdnej horizontácie možno použiť aj údaje DPZ. Metóda vychádza z princípu rozdielnej spektrálnej odrazivosti areálov erodovaných a neerodovaných pôd. Vo viditeľnej časti spektra pôdne vlastnosti odráža farba pôdy. Táto korelácia je významná hlavne v oblastiach s pôdami, ktoré majú výraznú diferenciáciu pôdneho profilu, napríklad na sprašových pahorkatinách pokrytých černozemami alebo hnedozemami. Pôvodne vytvorený tmavý humusový horizont A je odnesený a súčasný orníčný,





1. Svetlé erodované plochy na sníme z DPZ (obec Šalov), © Eurosense, Geodis, 2002



3. Vodná nádrž zanesená vplyvom eróznno-akumulačných procesov (Vráble). Foto: J. Lieskovský

2. Vinohradnícky stĺp obnažený v dôsledku dlhodobého odnosu pôdy (vinohrady v obci Klasov). Foto: J. Lieskovský



kultizemný horizont sa vytvára obrábaním svetlej strednej, resp. spodnej časti Bt horizontu. Tieto plochy možno na družicových alebo leteckých snímkach identifikovať ako svetlé, vyblednuté miesta v porov-

naní s okolím (obr. 1). V prípade kombinácie týchto údajov s digitálnym modelom reliéfu ich možno detegovať ešte presnejšie, keďže sú spravidla lokalizované na svahovitých polohách.

Medzi jednoduché terénne metódy patrí aj indikácia erózie na základe zmeny výšky pôdnej pokrývky vzhľadom na nehybné objekty v teréne. Môžu to byť ploty, korene stromov, viničné stĺpy, steny stavieb a podobne. Dobrým príkladom je meranie stupňa obnažovania, resp. zanašania bazálnych častí stĺpov vo svahovitých vinohradoch alebo koreňov stromovej vegetácie (obr. 2).

Na úrovni povodia možno sledovať eróziu na základe zmeny množstva usadenín vo vodných rezervoároch (obr. 3). Pri tejto metóde ide o porovnanie vypočítaného množstva erodovaných sedimentov v povodí s údajmi vyjadrujúcimi objem akumulovaných sedimentačných nánosov v nádržiach, do ktorých vyúsťuje povrchový odtok z povodia. Na Slovensku sa táto metóda použila aj pri overení presnosti viacerých erózných modelov (Hlavčová, Macura, 1993).

### Návrh protieróznych opatrení

Podstatou protieróznych opatrení je zvýšiť vsakovaciu schopnosť pôdy, zadržiavať pôdne častice vegetačnou pokrývkou, alebo prerušiť a odvieť povrchový odtok. Protierózne opatrenia sa navrhujú na miestach, kde je reálna erózia vyššia, ako je prípustná strata pôdy. Tá sa určuje podľa hĺbky pôdneho profilu. Pri navrhovaní protieróznych opatrení treba brať do úvahy konfiguráciu reliéfu (dĺžku, sklon, krivosť svahu, smer povrchového odtoku), súčasnú krajinnú štruktúru (využitie územia, súčasnú kostru ÚSES), ale aj požiadavky vlastníkov pôdy a poľnohospodárov

(dostupnosť pre obrábaciu agrotechniku, podmienky, pri ktorých možno protierózne opatrenie skutočne realizovať).

Protierózne opatrenia sa rozdeľujú na líniové (výsadba protieróznych pásov) a plošné (návrh zmeny spôsobu využívania pôdy). Efektívne a pomerne ľahko realizovateľné sú plošné organizačné opatrenia (pestovanie protieróznych plodín, vrstevnicové obrábanie, ochranné zatrávenie alebo zalesnenie). Pestovanie iba vybraných protieróznych plodín naráža na záujmy trhovej ekonomiky, ktorá preferuje pestovanie krátkodobu ekonomicky najvýhodnejších plodín bez ohľadu na ich protierózny účinok. Vrstevnicové obrábanie je tiež pomerne efektívne, v niektorých prípadoch mierne komplikuje pohyb mechanizmov po svahu. Zaujímavá môže byť bezorbová agrotechnika, ktorá sa ukazuje ako veľmi účinná, chýbajú však skúsenosti s jej využitím na Slovensku. Silne a extrémne ohrozené pôdy na strmých svahoch treba zatrávniť alebo zalesniť. Tu nastáva problém s vlastníckymi vzťahmi, keďže poľnohospodári nie sú ochotní vzdať sa ornej pôdy. Protierózne vsakovacie pásy prevádzajú povrchový odtok na podpovrchový, a tým zabraňujú nárastu kinetickej energie povrchovej vody na svahu. Okrem pôdoochrannej funkcie plnia aj ďalšie úlohy – môžu byť súčasťou kostry ÚSES, zlepšujú mikroklimu, krajinný ráz, prípadne môžu plniť i produkčnú funkciu.

Konečný návrh protieróznych opatrení je kombináciou súčasnej krajinej štruktúry, plošných a líniových opatrení (obr. 4).

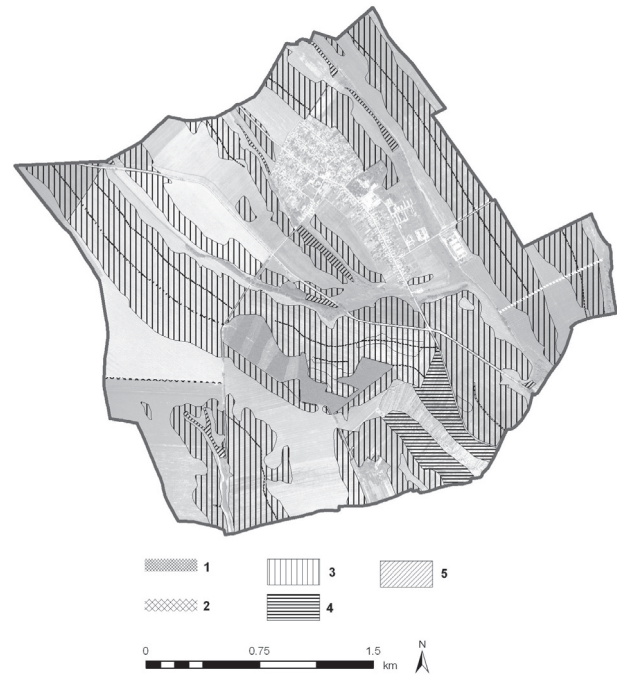
\* \* \*

Rozvoj geografických informačných systémov výrazne uľahčil modelovanie erózie, ktoré sa stalo súčasťou územného plánovania. Interpretácia namodelovaných údajov bez hlbšej znalosti modelu a terénnej verifikácie je problematická. Dlhodobé pôsobenie erózie v krajine zanecháva pozorovateľné stopy, na základe ktorých možno lepšie hodnotiť eróziu ohrozenosť územia a efektívnejšie navrhovať protierózne opatrenia.

*Príspevok vznikol ako výstup vedeckého projektu 2/7027/7 Hodnotenie zmien biodiverzity v rámci Vedeckej grantovej agentúry MŠ SR a SAV.*

#### Literatúra

Hlavčová, K., Macura, V.: Modelling of Overland Flow and Erosion Processes. Slovak Journal of Civil Engineering, 1, 1993, p. 3 – 8.



4. Príklad komplexného návrhu MÚSES s protieróznymi opatreniami (obec Klasov): 1 – stabilizovať ornú pôdu proti vodnej erózii výsadbou ekostabilizačnej vegetácie, 2 – stabilizovať ornú pôdu proti vodnej erózii výsadbou ekostabilizačnej vegetácie (navrhnuť aj s poľnou cestou), 3 – zmeniť formy hospodárenia (pestovať plodiny s dobrou protieróznou účinnosťou a pod.), 4 – zatrávniť medziriadky, alebo pestovať podplodiny s dobrými pôdostabilizačnými vlastnosťami (ďatelínu, lucernu a pod.), 5 – stabilizovať zamokrené plochy. Autori: P. Kenderessy, J. Lieskovský

Mitašová, H., Hofierka, J., Zlocha, M., Iverson, L. R.: Modeling Topographic Potential for Erosion and Deposition Using GIS. Int. Journal of Geographical Information Science, 10, 1996, 5, p. 629 – 641.

Šimonides, I.: Vplyv topografického faktora na eróznou ohrozenosť územia. Ekológia (Bratislava), 24, 2005, 1, s. 413 – 430.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D.: Predicting Rainfall Erosion Losses – a Guide to Conservation Planning. U. S. Department of Agriculture. Hyatsville : Agr. Handbk, 537, 1978, 58 p.

**Mgr. Juraj Lieskovský, PhD., Ústav krajinej ekológie SAV Bratislava, pobočka Nitra, Akademická 2, 949 01 Nitra, juraj.lieskovsky@savba.sk**

**Mgr. Pavol Kenderessy, PhD., Ústav krajinej ekológie SAV, Štefánikova 3, P. O. Box 254, 814 99 Bratislava, pavol.kenderessy@savba.sk**