

Výskum erózných procesov v malých povodiach Slovenskej republiky: aplikácia empirických a fyzikálne založených modelov

Zuzana Németová, David Honek

Abstract

Because the water erosion represents a serious problem worldwide, many authors call this phenomenon as a natural threat. Until now, a lot of studies have been carried out on water erosion but still this topic is unclear and under research.

This paper describes two methods of quantification of erosion processes, i. e. quantification of erosion using empirical and physical-based models.

Empirical models were derived based on long-term observations of actual erosion and their structure is determined by the observed relationship among experimental data. On the other side, physically-based models are based on physical principles and describe the process of erosion through different equations. The physically-based models represent an innovative way of quantifying the intensity of erosion processes, but it is not possible to state, that the physically-based models are better than empirical models.

The simulations were performed for long-term and extreme storm rainfall events measured at the Myjava meteorological station, and variable land cover types. In the case of EROSION 3D, the unstable and variable character of soil initial moisture is crucial, so that the four scenarios of soil initial moisture in the range of 35-50 % was created. The soil water erosion was modelled in the Turá Lúka experimental area (1 km²) and small catchment of Svacenícký jarok with area of 6.3 km² located in the Myjava Hill Land in the western part of Slovakia.

The aim of the paper is to present the application of empirical models USLE, RUSLE and USPED and to present a methodical procedure of application of a physically-based EROSION-3D model on selected basins within the Slovak Republic. The created methodical application explains not only the relationships between the individual equations but mainly it provide a fundamental tool for the application EROSION-3D model and interpretation of modelled results by end users. The methodology consists of two scheme, i.e. the first one describes theoretical explanation of the processes in the model and the second one contains theoretical explanations through equations. The important part of the study includes also the method for determining the amount of sediment in small water reservoir.

At the final result, the physically-based model was applied in the catchment Svacenícký jarok in order to demonstrate the possibilities and functions of the model and also the effect of field management practices on dynamic character of the runoff-erosion processes.

Key words: empirical models, physically-based models, erosion, equation, extreme rainfall event, modelling of soil erosion, simulation

1 Úvod

Vodná erózia pôdy predstavuje veľký problém v rámci celého sveta a mnohí autori označujú tento fenomén ako prírodnú hrozbu (Midriak, 1993; Markantonis et al., 2012). Vývin metód a postupov hodnotenia vodnej erózie pôdy v posledných desaťročiach neustále narastá (Dragičević, 2017). Doposiaľ je uskutočnených množstvo štúdií zameraných na problematiku vodnej erózie pôdy, ale i napriek tomu nebol stanovený jasný rámec hodnotenia erózných procesov (Deasy, et al., 2014). V tomto príspevku sú popísané dve metódy kvantifikácie erózných procesov, t. j. kvantifikácia erózie prostredníctvom empirických a fyzikálne-založených modelov.

Empirické modely boli odvodené na základe dlhodobých pozorovaní skutočných erózných procesov, po ktorých nasledovala štatistická analýza nameraných údajov (Krása, 2010). Tieto modely vychádzajú z erózných procesov v krajine, kde jednotlivé faktory erózie svojimi vzťahmi a väzbami medzi sebou vyjadrujú intenzitu erózie pôdy. USLE model predstavuje základný kameň erózneho modelovania a jeho štruktúra bola predstavená a v 60. a 70. rokoch 20. storočia (Wischmeier a Smith, 1965 a 1978). Ďalším často aplikovaným modelom je RUSLE (Renard et al., 1997), ktorý je revíziou modelu USLE a viac sa zameriava na rýhová a medziryhová eróziu. V rovnakej dobe bola predstavená koncepcie modelu USPED (Mitášová et al., 1996; Mitáš a Mitášová, 1998), ktorá má úplne odlišnú štruktúru výpočtu a je schopná modelovať mieru erózie a depozície pôdy v rovnakom čase. V spojení so stále sa zdokonaľujúcimi GIS technikami sú empirické modely dôležitou skupinou v rámci erózneho modelovania, a ich veľkou výhodou je možnosť aplikácie v podstate kdekoľvek vo svete s relatívne nízkymi nárokmi na dáta. Na druhú stranu fyzikálne-založené modely sú schopné prekonať mnoho nedostatkov empiricky založených modelov a sú považované za vyšší stupeň modelov, pri ktorých je možné s výsledkami pracovať na podstatne vyššej úrovni (Pandey, et al., 2016). Predstavujú inovatívnejší a komplexnejší spôsob hodnotenia intenzity erózných procesov, ale i napriek tomu sa nedá jednoznačne tvrdiť, že by bolo nástrojom lepším alebo efektívnejším ako empirické modely. Fyzikálne založené modely kvantifikujú procesy vodnej erózie pôdy a formulujú matematické vzťahy medzi kľúčovými premennými (Stelian, Veronica, 2018). Fyzikálne modely ako EROSION či WEPP sú schopné na základe znalosti fyzikálnej podstaty zrážkovo-odtokových procesov simulovať následné eróžno-sedimentačné procesy. Jednou z nevýhod týchto modelov je potreba veľkého množstva presných vstupných dát, ktoré sú v mnohých regiónoch sveta ťažko dostupné (Bhattarai and Dutta, 2007), ale taktiež ich finančná náročnosť oproti empirickým modelom, ktoré sú voľne dostupné.

Všeobecným problémom modelovania je validácia a verifikácia použitých metodík. Čo sa týka erózneho modelovania, tak zriedkakede vo svete sa terénne meria miera erózie, čo je spôsobené jednak finančnou náročnosťou takýchto projektov, ale taktiež nedostatkom vhodných lokalít. Jednou z možností, ako je možné relatívne ľahko zistiť mieru erózie v danom území, je meranie sedimentov v nádržiach. Mnoho prác je venovaná tejto problematike (Boyle et al., 2011) a existuje rada spôsobov, ako zmerať množstvo sedimentov v nádrži a ako následne odvodiť mieru erózie (García-Ruiz et al., 2015).

Cieľom príspevku je prezentácia aplikácie empirických modelov USLE, RUSLE a USPED a prezentácia metodického postupu aplikácie fyzikálne-založeného EROSION-3D modelu na vybraných povodiach v rámci Slovenskej republiky. Súčasťou je tiež predstavenie spôsobu stanovenia množstva sedimentov v malých vodných nádržiach.

2 Výskumné lokality

Výskum je zamarený na centrálnu časť Myjavské pahorkatiny, kde boli vybrané dve územia – experimentálne územie Turá Lúka (1 km²) a povodie Svacenského jarku (6,3 km²). Územie Turá Lúka (Obr. 1) je viac-menej homogénne územie tvorené jedným polom vždy s jednou pestovanou plodinou. Prevládajúcimi pôdami sú hlinité pôdy a relatívne prevýšenie je cca 220 metrov (298-391 m n. m.). Dĺžka svahu je 1 100 metrov a priemerný sklon tvorí 10,9 %. V spodnej časti sa nachádza 300 metrov dlhý a až 1,5 metrov hlboký výmolu.

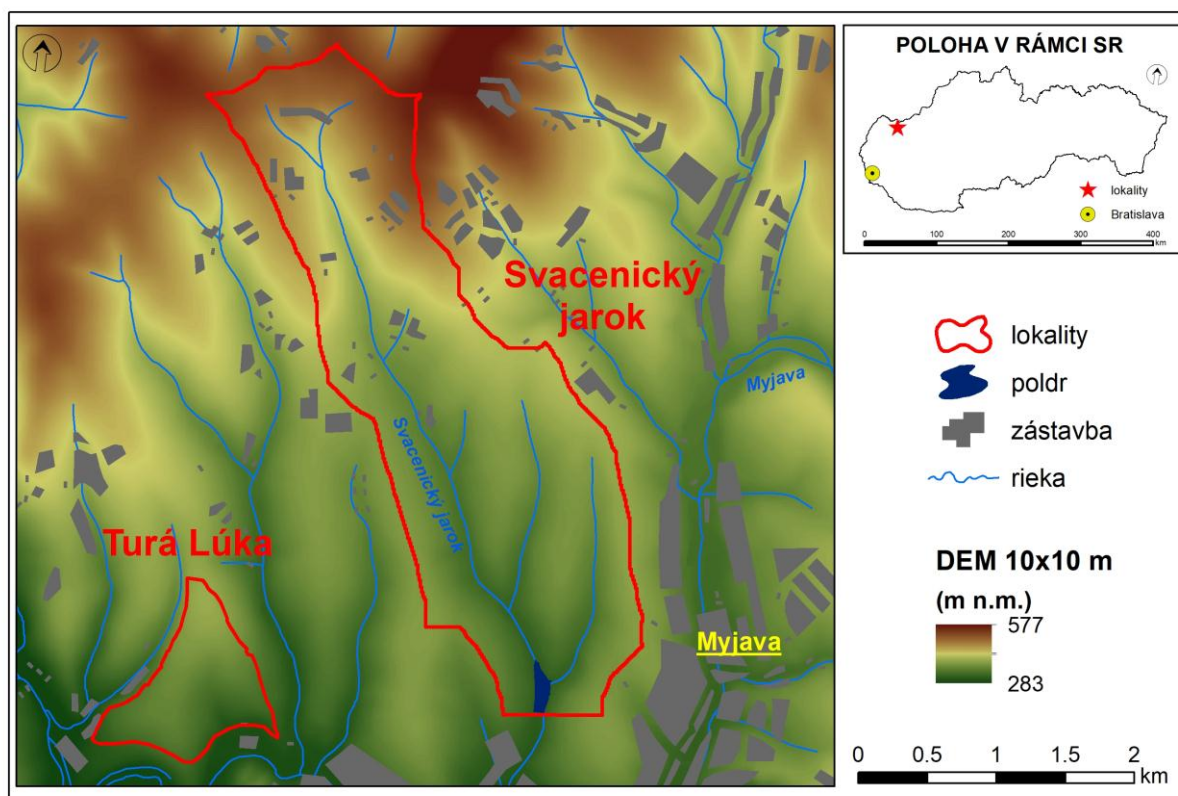


Figure 1: Lokalizácia výskumných území

Povodie Svacenickej jarok sa nachádza v tesnej blízkosti mesta Myjava (Fig. 1). Územie je členitejšie, kde rovinatejší terén tvorený poliami a zástavbou je rozdelený údolím menších vodných tokov. Relatívne prevýšenie je cca 300 metrov (311-546 m n. m.). Chrbtovým tokom je Svacenickej jarok, ktorý preteká stredom územia v južnom smere a v spodnej časti sa vlieva do malej vodnej nádrže (polder). Hornú časť povodia pokrýva pararendzina a v spodnej časti sa nachádza luvizem. Územie je tvorené zo 66 % ornou pôdou a ostatná plocha je tvorená mozaikou lesov (9 %), trávnatými porastmi (9 %), vodnými plochami (7 %), záhradami (6 %), zástavbou (2 %) a krovinami (1 %).

3 Metodika

3.1. Dáta

Základnými vstupnými dátami je digitálny model terénu (DEM) povodia v rozlíšení 10x10 m (Svacenickej jarok). Ďalej informácie o zrážkových úhrnoch poskytnutých zo Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) pre stanicu Myjava. Dáta boli poskytnuté jednak v rozlíšení denného úhrnu za obdobie 1980 až 2015 a v minútových intervaloch pre obdobie 2012 až 2017. Ďalšie podkladové dáta boli získané z dostupných máp Národného geoportálu INSPIRE (SR) a z Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy (VÚPOP). Dôležité dáta predstavujú informácie pre stanovenie množstva sedimentov v nádrži Svacenickej jarok. Ide o dáta zmien povrchu dna nádrže v rokoch 2012-2017. Sú to dáta zo Slovenskej akadémie vied v Bratislave (SAV), kde prebieha každoročné batymetrické meranie hĺbky dna pomocou prístroja AUV AcoMapper.

3.2. DEM dna nádrže Svacenickej jarok

Polder Svacenickej jarok bol tak isto uvedený do prevádzky v roku 2012 a SAV v Bratislave od roku 2015 vykonáva batymetrické merania dna nádrže. K tomuto účelu sa využíva AUV EcoMapper,

čo je bezpilotné plavidlo, ktoré sa pohybuje tesne pod hladinou vody po vopred stanovenej dráhe. Toto plavidlo je schopné veľmi detailne zaznamenať povrch dna spolu so zvolenými eko-hydrologickými charakteristikami v stojatých vodách v rozmedzí 1 až 100 metrov hĺbky. Výsledné bodové informácie sú pomocou GIS prevedené na výsledné DEM dna. Roky 2015, 2016 a 2017 sú porovnané medzi sebou a tak isto s terénnym zameraním dna pred napustením nádrže v roku 2012.

3.3. Empirické modely

3.3.1. USLE

Najznámejším empirickým modelom je bezpochyby USLE (Universal Soil Loss Equation), jeho štruktúra bola po prvýkrát predstavená v 60. rokoch 20. storočia (Wischmeier a Smith, 1965). Tento model sa používa pre stanovenie dlhodobého vývoja intenzity erózie nielen na poľnohospodárskych plochách. Miera erózie sa udáva v tonách z hektáru za rok a samotný výpočet sa skladá z násobku hodnôt jednotlivých faktorov, ktoré reflektujú fyzicko-geografické podmienky v území – R faktor (erózná účinnosť dažďa), K faktor (erodovateľnosť pôdy), L faktor (dĺžka svahu), S faktor (sklon svahu), C faktor (vplyv vegetácie) a P faktor (vplyv protieróznych opatrení). Hodnoty všetkých faktorov sa počítajú pomocou empirických vzorcov, ktoré boli odvodené z terénneho merania v USA.

3.3.2. RUSLE

Model RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) bol predstavený v roku 1997 a nadväzuje na model USLE (Renard et al., 1997). Niektoré faktory (RLS) boli revidované, čo sa odrazilo v novej podobe ich stanovení. Model sa viac zameriava na ryhovou a mezirýhovou eróziu.

3.3.3. USPED

Model USPED (Unit Stream Power based Erosion/Deposition model) vychádza z rodiny modelov USLE, ale jeho štruktúra výpočtu je úplne odlišná. Ako uvádza Mitáš and Mitášová (1998) a Mitášová et al. (1996), tento model je schopný kalkulovať eróziu a depozíciu pôdy, čo je hlavná odlišnosť a výhoda tohto modelu.

3.3.4. SDR

SDR (Soil Delivery Ratio) je metodika, ktorá sa používa pre stanovenie množstva sedimentov v povodí na základe intenzity erózie vypočítanej empirickými modelmi. Jeden zo spôsobov výpočtov predstavil Williams v roku 1977, ktorý prepočítava mieru erózie pomocou hodnoty CN krivky, reliéfového pomeru a empiricky stanovených koeficientov. Výsledné hodnoty sú vždy nižšie, ako pôvodná hodnota miery erózie.

3.4. EROSION-3D model

EROSION-3D model je fyzikálne založený model, ktorý komplexne odráža proces erózie, t. j., oddeľovanie častíc od povrchu pôdy, ich transport a ukladanie v iných polohách, v medziach stanovených modelovými predpokladmi. Komplexnosť samotných procesov a zložitosť fyzikálne založených modelov je dôvod prečo aj samotný EROSION-3D model pozostáva z dvoch submodelov; model erózie a model infiltrácie. Erózný model je časťou, ktorá podrobne charakterizuje proces erózie, (oddelenie, transport a ukladanie) častíc pôdy pôsobením kinetickej energie dopadajúcich dažďových kvapiek. Infilračný model je časťou, ktorá je zameraná na podrobný opis komplikovaného procesu infiltrácie (Schmidt, 1996).

Vzhľadom k tomu, že faktory vplývajúce na odtokové a erózne procesy sa v priestore a čase veľmi menia (vysoká heterogenita) bolo nutné túto skutočnosť zakomponovať do koncepcie modelu. Dôsledkom toho modelové rovnice nie sú konštruované na celý sklon svahu, prípadne na celú dobu

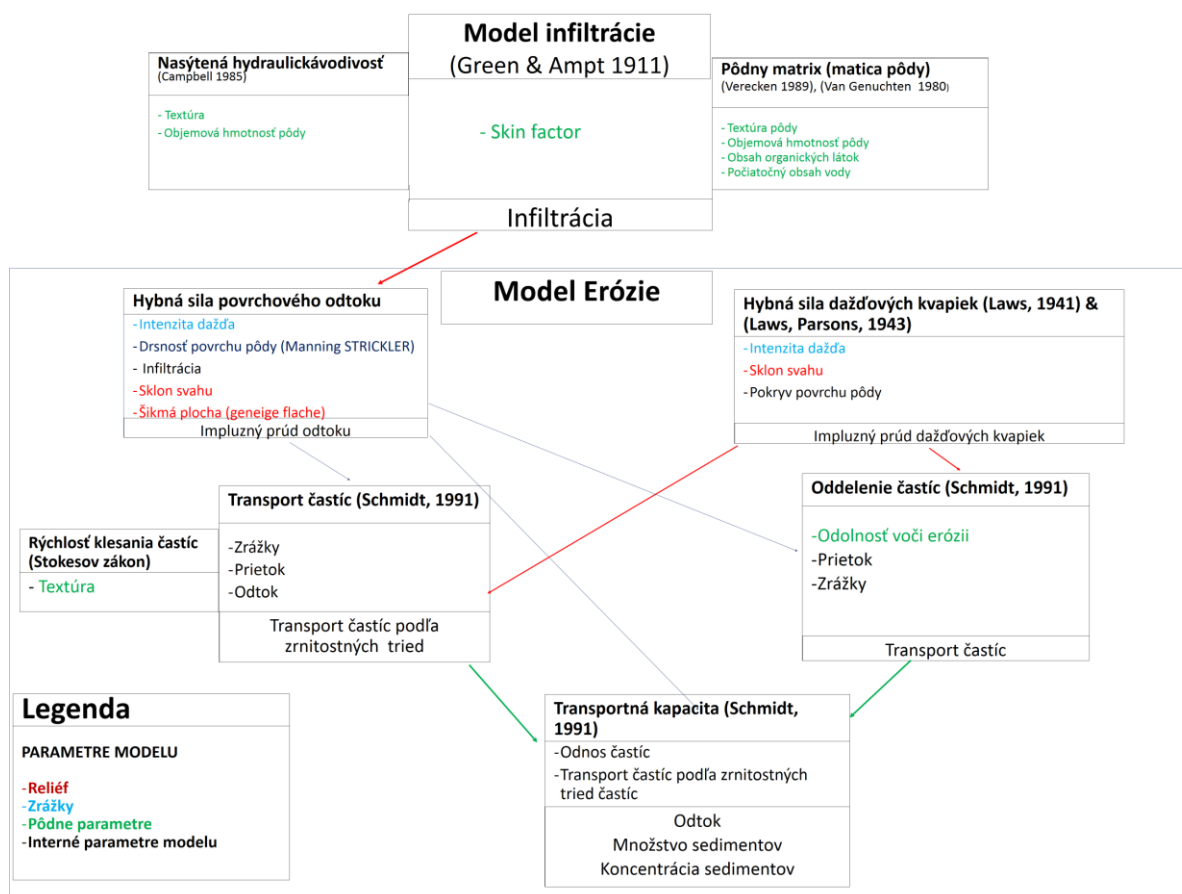


Figure 2: Slovný opis vzťahov v rámci EROSION-3D modelu

trvania zrážkovej udalosti, ale len na menšie priestorové a časové segmenty, ktoré sami o sebe môžu byť homogénne. Následne kombinácia menších priestorových a časových segmentov vypovedá o celkovom procese spolu s jeho priestorovou a časovou diferenciáciou.

3.5. Komplexný popis modelových vzťahov

V tejto podkapitole je uvedená slovná charakteristika vzťahov jednotlivých rovníc opisujúcich odtokové a erózne procesy (Fig. 2), na ktorý nadväzuje Fig. 3 popisujúci modelové rovnice. Takto vytvorené schémy umožňujú a slúžia na náhľad do vnútorného prostredia modelového nástroja, a vypovedajú o vzťahoch medzi jednotlivými rovnicami navzájom. Farebné označenie symbolizuje druh pôdneho vstupu (Fig. 2 legenda). Vzájomná spojitosť a nadväznosť medzi jednotlivými charakteristikami a parametrami je označená šípkami. Vytvorená slovná a rovnicová schéma poskytuje prehľad modelových vstupných a výstupných procesov a umožňuje pochopiť koncepciu modelu. Na základe nej je možné nielen samotné použitie EROSION-3D modelu, ale najmä interpretácia výstupov konečným užívateľom.

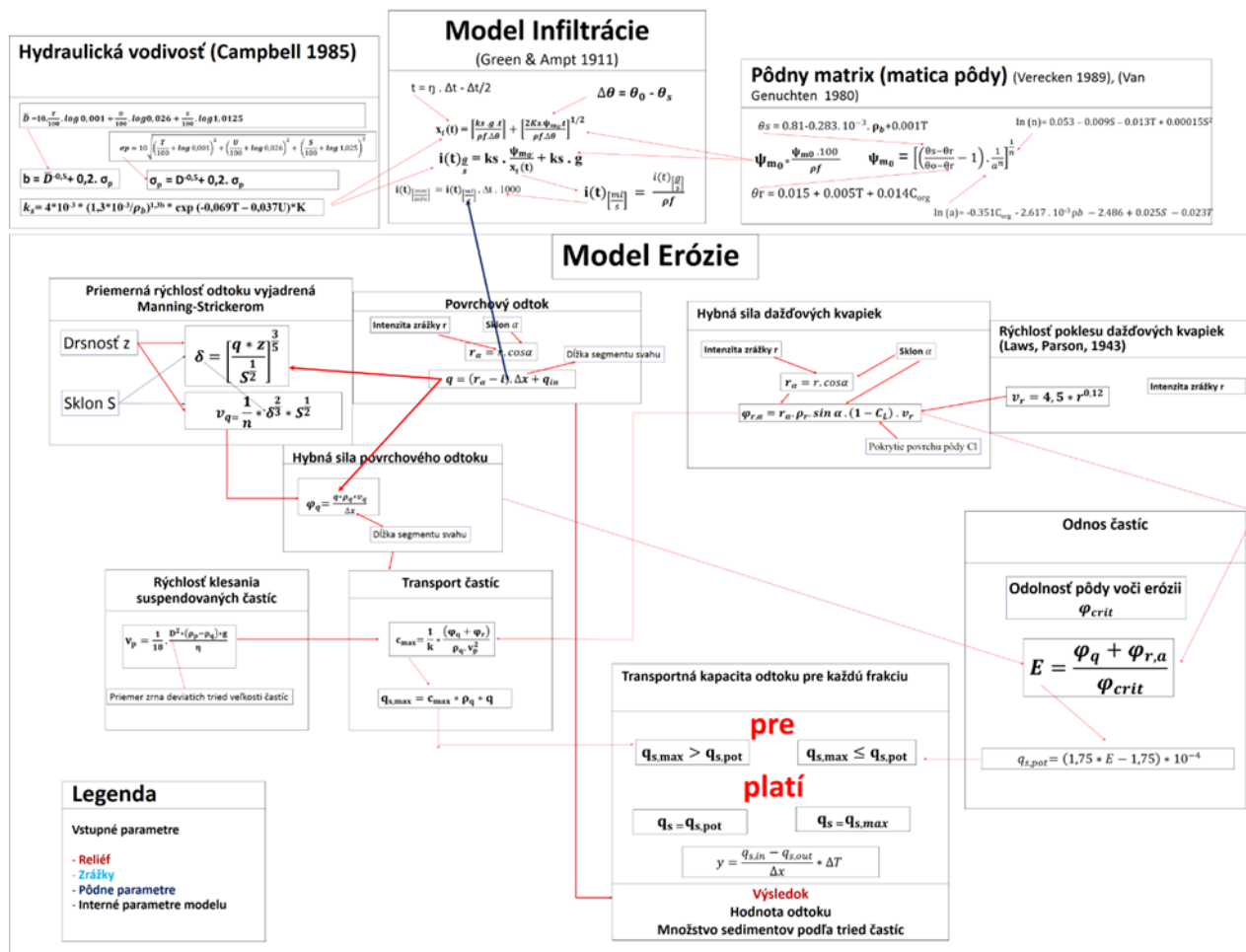


Figure 3: Modelové rovnice opisujúce jednotlivé erózne a odtokové procesy v modeli

4 Prehľad postupov prác (Výsledky)

4.1. Vstupné hodnoty pre empirické modelovanie

Vstupné hodnoty pre výpočet jednotlivých faktorov boli stanovené jednak na základe reálne nameraných hodnôt, mapových podkladov a z rešerše odbornej literatúry. Medzi reálne nameraná dáta patria zrážkové úhrny zo stanice Myjava pre výpočet R faktoru a DEM 10x10 z roku 2005 (od firmy Esprit spol s r.o.) pre výpočet L a S faktora. Hodnota faktora K bola stanovená podľa mapových podkladov z VÚPOP a na základe tabelárnych hodnôt pre jednotlivé BPEJ (Bonitačná pôdno-ekologická jednotka) doplnené o pôdne druhy či typy. Najzložitejšie bolo stanovenie hodnôt C faktora pre jednotlivé skupiny land use a land cover, pretože v literatúre sa nachádzala celá rada rôznych hodnôt. Zvolené hodnoty v tabuľke 1 sú výsledkom syntézy hodnôt najmä z európskej literatúry a stanovené pre podobné územia, ako sú naše. Naopak najjednoduchšie bolo stanovenie hodnoty P faktora, u ktorého sa nastavila hodnota 1, pretože v našich územiach nebol potvrdený žiadny protierózny management krajiny (hodnota 1 nastavená v zhode s vedeckou literatúrou).

Tabulka 1: Hodnoty C faktora pro různé jednotky land use a land cover

Land use/cover jednotky		Hodnota	Zdroj
Orná půda	kukurica	0.72	Janeček et al., (2012)
	cirok	0.32	Malíšek (1992); Panagos et al., (2015a)
	repa	0.22	Janeček et al., (2012)
	žito	0.17	Janeček et al., (2012)
	jačmeň	0.15	Janeček et al., (2012)
	pšenica	0.12	Janeček et al., (2012)
	lucerna	0.01	Janeček et al., (2012)
Neobrábaná půda	bez vegetácie	0.5	Panagos et al., (2015a)
	kroviny	0.2	Panagos et al., (2015a)
	záhrady, sady	0.1	Malíšek (1992); Boyle et al., (2011)
	trávnaté porasty	0.005	Janeček et al., (2012)
	lesy	0.001	Boyle et al. (2011); Panagos et al., (2015a); Renard et al., (1997)
	spevnené povrchy	0	a-priori assumption
	vodné plochy	0	a-priori assumption

4.2. Metodický postup aplikácie EROSION-3D

EROSION-3D model je fyzikálne-založený a epizódny model, ktorý je určený k modelovaniu erózných a odtokových procesov na povodia do veľkosti 400 km². Pojem fyzikálne-založený znamená, že každý proces (erózný i odtokový) je vyjadrený prostredníctvom rozličných rovníc, ktoré sú podrobne vysvetlené v metodickej časti.

Preto, aby mohol byť model využívaný sú potrebné tri hlavné vstupné parametre:

- Parametre reliéfu, ktoré sa zadávajú v podobe digitálneho modelu reliéfu. Podstatné je, aby digitálny model reliéfu mal zhodnú geometrickú definíciu ako ostatné atribúty zadávané vo forme rastrovej vrstvy.
- Zrážky vstupujú do modelu tabelárnej podobe s absolútnym časovým určením, pričom časový krok je v priebehu celej zrážky konštantný. Zrážky sú elementom, ktorý vo vysokej miere ovplyvňuje konečné výsledky. Jednotkami sú mm/min.
- Pôdne parametre predstavujú najproblematickejší modelový input. V rámci tohto vstupu bola vytvorená metodika, ktorá bola prezentovaná a publikovaná vo viacerých článkoch (Németová, Honek, 2017), (Németová, Honek, Látková, 2017). Súhrn vstupných pôdných parametrov je uvedený v tabuľke 2.

Keďže model interne obsahuje nemeckú klasifikáciu pôd, ktorá nie je totožná s klasifikáciou používanou v našich podmienkach, bolo potrebné vytvoriť metodiku, pomocou ktorej sa bude postupovať pri zadávaní pôdných vstupných parametrov. Tejto problematike boli venované viaceré články (Németová, Honek, 2017; Németová et al., 2017; Németová, 2017).

Table 2: Zoznam vstupných pôdných parametrov (Michael von Werner, 2006)

P.č.	Pôdny parameter	Jednotky
1.	Objemová hmotnosť (BULK DENSITY)	[kg/m ³]
2.	Obsah organického uhlíka (CORG)	[hm. %]
3.	Počiatková vlhkosť (INITIAL MOISTURE)	[obj. %]
4.	Erózna odolnosť pôdy (ERODIBILITY)	[N/m ²]
5.	Drsnosť povrchu pôdy (ROUGHNESS)	[s/m ^{1/3}]
6.	Pokrytie povrchu pôdy (COVER)	[%]
7.	Opravný faktor ovplyvňujúci stav povrchu pôdy (SKIN FACTOR)	[-]
8.	Obsah pôdných častíc (PARTICLE SIZE)	[hm. %]

4.3. Aplikácia empirických modelov

Empirické modely boli najprv aplikované na testovacom území Turá Lúka v tesnej blízkosti Svacenického jarku. Územie má obdobné fyzicko-geografické vlastnosti ako Svacenický jarok, jedná sa však o jednoliate pole vždy s jednou pestovanou plodinou. Úlohou bolo implementovať výpočty empirických modelov do prostredia ArcGIS a následne testovať vplyv rôznych pestovaných plodín a porovnanie jednotlivých modelov. Výsledky boli prezentované na konferencii v Brne (Honek, 2017) a konferencii v Debrecíne (2017). Priestorová variabilita erózných procesov v rámci Turej Lúky je zobrazená na obrázku 4. Jedným z hlavných poznatkov je, že výsledky z jednotlivých modelov sa veľmi líšia a napríklad model USPED vykazuje najvyššie hodnoty erózie (Tab. 3). Ďalej je tak isto značný rozdiel medzi pestovanými plodinami, kde najväčšie ohrozenie ornej pôdy je pri pestovaní kukurice (až 4 krát vyššie hodnoty miery erózie ako u pšenice; Tab. 3). Samozrejme najväčší problém predstavujú územia bez vegetačného krytu, čo bolo zvolené najmä ako referenčná plocha pre zrovnanie výsledkov.

Na konferencii EGU vo Viedni v roku 2018 bolo prezentované prvé porovnanie výsledkov z empirických modelov a nameraných hodnôt v poldri Svacenický jarok. Bolo zistené, že všetky modely vykazujú skôr vyššie hodnoty miery erózie, než je reálne nameraných sedimentov v poldri (celkom 698 m³ sedimentov za rok). Najlepšie vychádzal model USPED, kde výsledná hodnota rozdielu miery erózie a depozície pôdy sa pohybovala medzi 41,6 m³ pro pšenici ku 730,7 m³ pro kukurici (Tab. 4).

Table 3: Zrovnanie výsledkov empirických modelov v území Turá Lúka (Honek, 2017)

	USLE	RUSLE	USPED
Bez vegetácie			
Celková erózia pôdy v území (t.rok ⁻¹)	322.3	177.8	691.6
Miera erózie v území (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	3.98	2.20	8.55
Kukurica na siláž			
Celková erózia pôdy v území (t.rok ⁻¹)	232.1	128.0	508.2
Miera erózie v území (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	2.87	1.58	6.28
Kukurica na zrno			
Celková erózia pôdy v území (t.rok ⁻¹)	196.6	108.4	434.3
Miera erózie v území (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	2.43	1.34	5.37
Pšenica ozimná			
Celková erózia pôdy v území (t.rok ⁻¹)	38.7	21.3	89.3
Miera erózie v území (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	0.48	0.26	1.10
Repka ozimná			
Celková erózia pôdy v území (t.rok ⁻¹)	70.9	39.1	162.1
Miera erózie v území (t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹)	0.88	0.48	2.00

Table 4: Výsledky empirických modelov (EGU 2017)

Model	Bez vegetácie		Kukurica na siláž		Pšenica ozimná	
	Erózia (t/ha)	Objem sedimentov (m ³)	Erózia (t/ha)	Objem sedimentov (m ³)	Erózia (t/ha)	Objem sedimentov (m ³)
USLE	13.1	4567.8	9.5	3288.8	1.6	548.0
RUSLE	8.2	2846.5	5.9	2049.4	1.0	241.7
USPED	3.4	1190.0	2.1	730.7	0.1	41.6
Nameraný objem sedimentov			698 m ³			

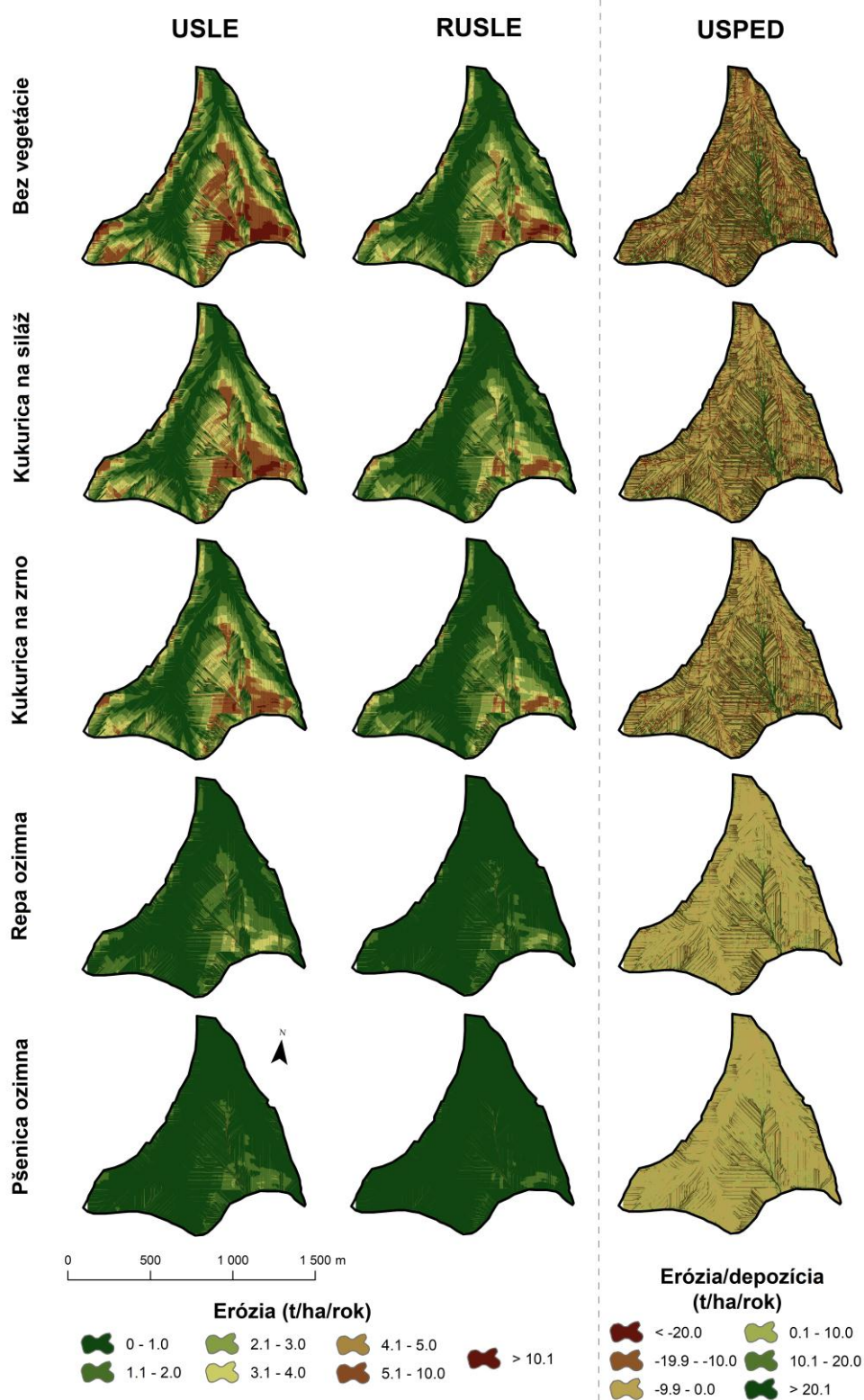


Figure 4: Výsledky empirického modelovania na Turej Lúke

4.4. Aplikácia modelu EROSION 3D

Uvedená podkapitola je venovaná samotnej aplikácii fyzikálne-založeného modelu. Mnohé články boli venované aplikácii modelu v povodí Svacenickeho jarku za rozličných podmienok. V rámci

	Bez vegetácie			Kukurica na siláž			Pšenica ozimná		
Vlhkostný scenár	Odtok (m³)	Erózia (t/ha)	Objem sedimentov (m³)	Odtok (m³)	Erózia (t/ha)	Objem sedimentov (m³)	Odtok (m³)	Erózia (t/ha)	Objem sedimentov (m³)
35%	265260.6	33.7	11731.3	59068.6	10.1	3498.9	38742.8	0.5	184.8
40%	356409.4	46.6	16223.3	373003.8	54.6	18988.7	199902.9	4.4	1499.3
45%	480724.6	64.5	22437.2	397542.3	59.8	20794.9	298137.8	11.1	3853.5
50%	480724.6	64.5	22437.2	397542.3	59.8	20794.9	298137.8	11.1	3853.5
Nameraný objem sedimentov			698 m³						

ZRÁŽKOVÁ UDÁLOST 28. OKTÓBER 2016

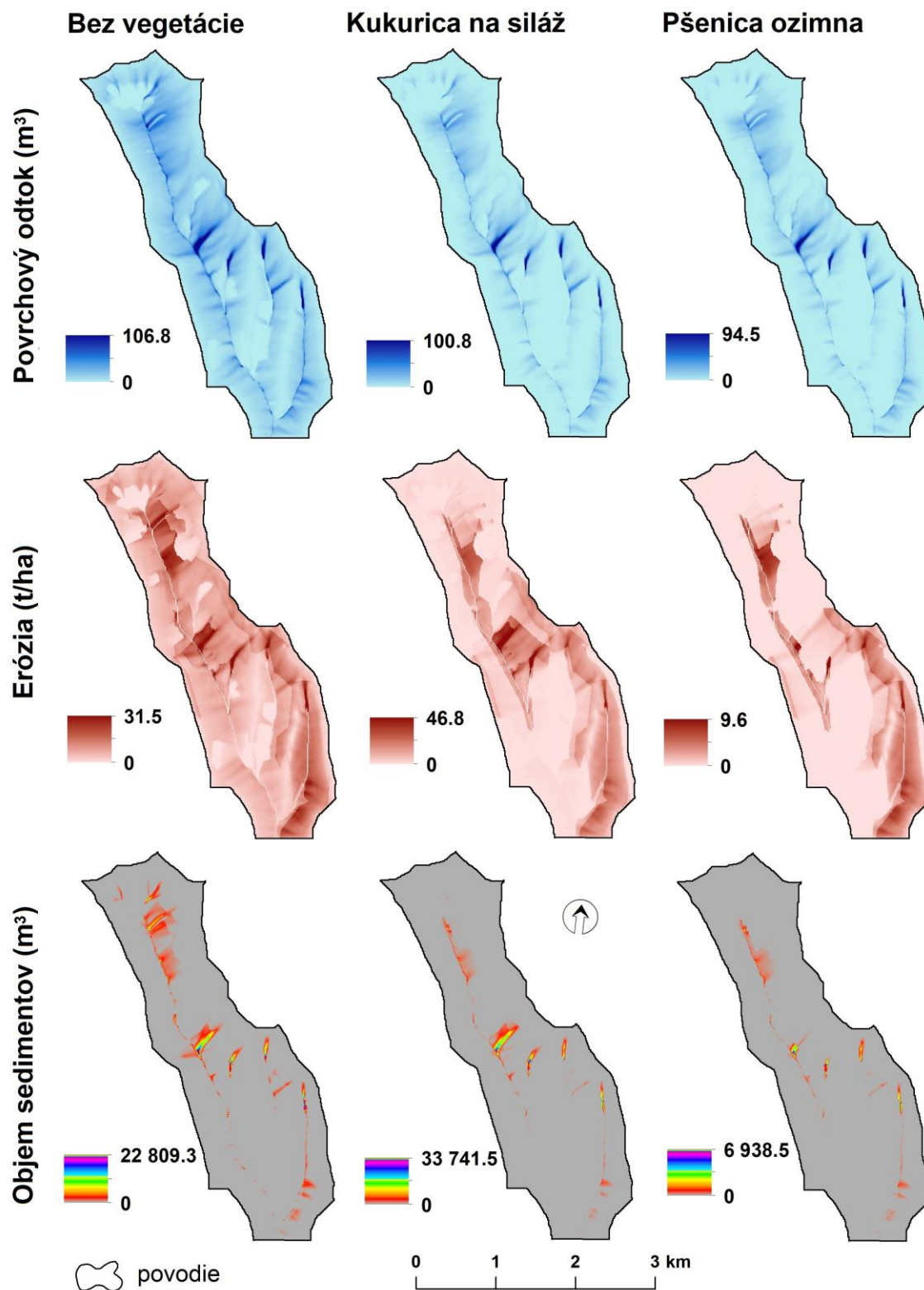


Figure 5: Výsledky z modelu EROSION-3D (EGU 2017)

5 Záver

Komplexná štúdia erózných procesov v malých povodiach je dôležitou súčasťou vedeckého výskumu, slúžiaca nielen k získaniu nových vedeckých poznatkov, ale taktiež smeruje ku zlepšeniu životného prostredia pomocou vhodných environmentálnych opatrení. Predstavená práca sa zaoberá nielen hodnotením aktuálnych erózne-sedimentačných procesov, ale tak isto ich vývojom v čase, vrátane dopadu na funkciu technických opatrení – poldra.

Jedným z hlavných prínosov práce je aplikácia fyzikálne založeného modelu EROSION-3D a jeho zrovnanie s empirickými modelmi USLE, RUSLE a USPED. V tejto kombinácii je možné veľmi dobre popísať aktuálne i dlhodobé správanie v povodí, vrátane možnej predikcie do budúcnosti. Príspevok poukázal na problematiku zrovnania modelových hodnôt s reálne nameranými dátami, kde je možné využiť dáta o sedimentácii v nádržiach. Výsledky poukazujú na nadhodnocovanie u všetkých modelov, i keď čiastočná zhoda s meranými sedimentmi v poldri bola preukázaná u modelu USPED. Tieto rozdiely medzi modelovanými a meranými dátami je možné vysvetliť jednak samotnou schopnosťou výpočtov jednotlivých modelov, ale najmä použitými vstupnými dátami, ktoré sú často prevzaté z literatúry či daných metodik. V tejto súvislosti je potreba zdôrazniť potrebu reálnych a terénne nameraných vstupných dát, čo by podľa nás malo viesť ku spresneniu výpočtov a zmenšeniu rozdielu medzi modelmi a meranými dátami. Nikdy sa neodstaneme na presnú zhodu medzi meranými a modelovanými dátami, ale je možné sa dostať k relatívnej zhode s určitou mierou neistoty.

Vďaka terénnemu prieskumu a komunikácii s odborníkmi a poľnohospodármi v roku 2018 vznikla sada nových vstupných dát. Tieto dáta budú použité pre nové výpočty v povodiach Svacenského jarku a v povodí Suchého potoka (3,5 km²), ktoré sa nachádza cca 25 km severne od Brna v Česku. V tejto časti sa výskum zameria na možnosť hodnotenia zanášania malých vodných nádrží sedimentmi, ktoré tak strácajú svoju protipovodňovú funkciu. Tu budú výsledky z modelov USLE, RUSLE, USPED a EROSION-3D konfrontované s informáciami z oboch poldrov. Jedným z cieľov je posúdenie vhodnosti aplikácie jednotlivých metodik pre stanovenie množstva sedimentov v malej vodnej nádrži, vrátane posúdenia vplyvu zmien využitia a managementu krajiny na zrážkovo-odtokové a erózne-sedimentačné procesy. Posudzovať sa bude vplyv vývoja dlhodobých zrážkových úhrnov, ale taktiež vplyv erózne účinných zrážok či vybraných extrémnych udalostí.

Záverom je možné konštatovať, že erózia pôdy je dôležitým faktorom vývoja životného prostredia. Ako bolo preukázané na oboch výskumných lokalitách, miera erózie je závislá od mnohých premenných a čo sa týka orných pôd, tak je nemožné ju úplne eliminovať. Avšak vďaka vhodnému manažmentu je možné ju potlačiť.

6 Pod'akovanie

Projekt je finančne podporovaný Špecifickým výskumom Masarykovej Univerzity v Brne (MUNI/A/1251/2017) a programu VEGA grant Agency No. 1/0710/15. Autori chcú ďalej poďakovať SAV v Bratislave a SHMÚ v Bratislave za poskytnutá dáta a rady.

7 Literatúra

1. BHATTARAI, R., DUTTA, D. (2007): Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS at Catchment Scale. *Water Resources Management*, 21, s. 1635-1647.
2. BOYLE, J. F., PLATER, A. J., MAYERS, C., TURNER, S. D., STROUD, R. W., WEBER, J. E. (2011): Land use, soil erosion, and sediment yield at Pinto Lake, California: comparison of a simplified USLE model with the lake sediment record. *Journal of Paleolimnology*, 45, s. 199-212.
3. DEASY, C., TITMAN, A., QUINTON, J.N. (2014): Measurement of flood peak effects as a result of soil and land management, with focus on experimental issues and scale. *Journal of Environmental Management* 132, s. 304-312. ISSN 0301-4797.

4. DRAGIČEVIĆ, N. KARLEUŠA, B. OŽANIĆ, N. (2017): Erosion Potential Method (Gavrilović Method) Sensitivity Analysis. *Soil & Water Resources* 12, 2017 s. 51–59. ISSN 1805-9384.
5. GARCÍA-RUIZ, J. M., BEGUERÍA, S., NADAL-ROMERO, E., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., LANA-RENAULT, N., SANJUÁN, Y. (2015): A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*, 239, s. 160-173.
6. HONEK, D. (2017): Modelování vodní eroze na Myjavské pahorkatině, Slovensko. In Vladimír Herber. *Fyzickogeografický sborník*, 15, Brno.
7. KRÁSA, J. (2010): Empirické modely vodní eroze v ČR – nástroje, data, možnosti a riziká výpočtu, habilitačná práca, 2010, Praha, s. 160.
8. MARKANTONIS, V., MEYER, V., SCHWARZE, R. (2012): Valuating the intangible effects of natural hazards – review and analysis of the costing methods. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, s. 1633–1640.
9. MIDRIAK, R. (1993): Únosnosť a racionálne využívanie územia vysokých pohorí Slovenska. Bratislava, SZOPK.
10. MITÁŠ, L., MITÁŠOVÁ, H. (1998): Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. *Water Resources Research*, 34(3), s. 505-516.
11. MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M., IVERSON, L. R. (1996): Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of GIS*, 10(5), s.629-641.
12. NÉMETOVÁ, Z. (2017): Vytvorenie metodiky pre aplikáciu erózneho modelu EROSION-3D v podmienkach Slovenska. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering*. Bratislava: Spektrum STU, 2017, s. 569--575. ISBN 978-80-227-4751-6.
13. NÉMETOVÁ, Z., HONEK, D., Látková, T. (2017): Evaluation of potential soil water erosion in the Myjava Hill Land: The comparison between two physically-based erosion models. In FÜLÖP, A. -- IVÁNYI, P. *Architectural, Engineering and Information Sciences*. Pécs: Pollack Press, 2017, s. 99. ISBN 978-963-642-780-1.
14. NÉMETOVÁ, Z., HONEK, D., LÁTKOVÁ, T. (2017): Application of physically-based erosion 3D model in small catchment. In *SGEM 2017. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 17. Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems*. Sofia: STEF 92 Technology, 2017, s. 43--50. ISBN 978-619-7408-27-0.
15. NÉMETOVÁ, Z., KOHNOVÁ, S., FÖLDES, G. Evaluation the influence of different crop types on soil water erosion: the case study in the Myjava Hill Land, Slovakia. In *WMCAUS 2018*. [s. l.]: [s. n.], 2018, s. 125.
16. RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K., YODER, D. C. (1997): Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington, USDA-ARS.
17. SCHMIDT J., von WERNER M., MICHAEL A. (1996): *EROSION-2D/3D: Ein Computermodeill zu Simulation der Bodenerosion durch Wasser*. Dresden/Freiberg : Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft/Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1996. s. 240.
18. STELIAN I., VERONICA A., (2018): Mathematical Modelling of Soil Erosion Process. Technical report. Institute of Mathematical Statistics and Applied mathematics of Romanian Academy. Romania.
19. WERNER M. (2006): *Erosion-3D, User manual, Ver. 3.1.1*, Berlin, GEOGNOSTICS.
20. WILLIAMS, J. (1977). Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. *IAHS Publ*, 122, 168-179.
21. WISHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1965): Rainfall-Erosion Losses From Cropland East of the Rocky Mountains. Washington, USDA.

22. WISHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Washington, USDA.