

POSÚDENIE PRIESTOROVO-PLOŠNÝCH ZMIEN INTENZITY ERÓZIE PÔDY NA POVODÍ TISOVCA VYUŽITÍM GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÝCH SYSTÉMOV

ASSESSMENT OF SPACE AND AREAL CHANGES IN THE INTENSITY OF SOIL EROSION AT TISOVEC BASIN BY USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Natália Junáková, Martina Zeleňáková, Marcela Gergel'ová, Zuzana Kleščová

Abstrakt:

Cieľom príspevku je analyzovať súčasný stav erózie na Slovensku a hodnotenia erózných procesov. V praktickej časti je stanovená a hodnotená intenzita vodnej erózie v povodí vodného toku Tisovec. Vodná erózia ako aj modelovanie množstva sedimentov v malej vodnej nádrži Kľušov je pomocou univerzálnej rovnice straty pôdy a využitím geografických informačných systémov. Modelovaním intenzity erózie pomocou geografických informačných systémov je možné stanoviť, v ktorých častiach pozemku sú prekročené limitné hodnoty straty pôdy a tým meniť oševné postupy alebo navrhnúť a realizovať protierózne opatrenia. Tiež je možné využitím geografických informačných systémov predikovať množstvo sedimentov v nádržiach.

Abstract:

The article aims to analyze the current state of soil erosion in Slovakia and evaluation of erosion processes. In the practical part the intensity of soil erosion in Tisovec river basin is determined and evaluated. Soil erosion and amount of sediments modelling in a small water basin Kľušov is by using the universal soil loss equation, and using geographic information systems. Modelling of intensity of soil erosion using geographic information systems allow to determine in which parts of the land the limit values of soil loss are exceeded and thereby change cropping patterns or design and implementation of erosion measures. It is also possible by using geographic information systems to predict the amount of sediments in the basin.

Kľúčové slová: USLE, vodná nádrž, sediment.

1. ÚVOD

Zrýchlená erózia pôdy patrí v súčasnosti k vážnym problémom. Negatívne dôsledky najmä vodnej erózie sa prejavujú v strate, degradácii a devastácii pôdy a v plošnom znečisťovaní vodných zdrojov splaveninami [1] a chemickými látkami z povodí.

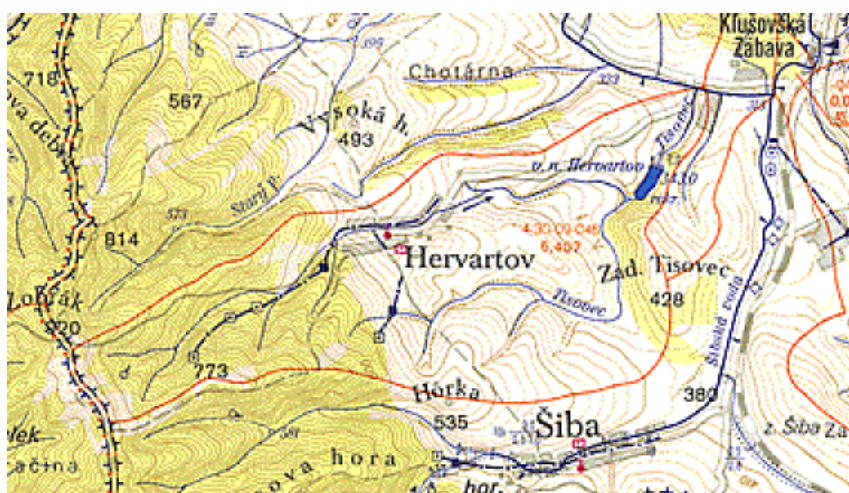
Podľa údajov FAO je na svete až 2 mld. hektárov pôd degradovaných, z toho 56 % vodnou eróziou a 28 % veternou eróziou. Zanášanie sedimentmi spôsobuje ročnú stratu objemu svetových nádrží asi o 50 km³, t.zn. asi 1 % objemu za rok [2]. V Európe je približne 16 %, t.zn. 105 miliónov ha všetkých pozemkov postihnutých vodnou eróziou a 42 miliónov hektárov je postihnutých veternou eróziou [3], [4]. Na Slovensku je v súčasnosti vodnou eróziou ohrozených približne 55 % poľnohospodárskej pôdy [5] a priemerný ročný odnos sedimentov z poľnohospodárskych pôd do vodných zdrojov je približne 2,8 až 3,2 mil. ton

[6]. Janský (1988) na základe skúmania množstva sedimentov v malých vodných nádržiach Slovenska vypočítal priemerný odnos $0,01$ až $0,54 \text{ mm}\cdot\text{r}^{-1}$ (podľa foriem využívania pôdy a pri lesnatosti povodí od 0 do 60 %) [5].

Je zrejmé, že skúmanie a modelovanie erózných javov je veľmi potrebné. Aj keď dnes je výpočet erózných procesov realizovaný takmer výhradne s pomocou výpočtovej techniky, stále nachádzajú uplatnenie jednoduché empirické modely (napr. univerzálna rovnica straty pôdy) modifikované pre výpočet pomocou geografických informačných systémov (GIS). V erodologickom výskume vodnej erózie sa GIS priamo uplatňuje najmä pri morfometrických a fotogrametrických metódach. GIS poskytuje nástroje pre všetky fázy výskumu erózie v krajine - identifikáciu a mapovanie, analýzu, syntézu, modelovanie, simuláciu ako aj ich mapovanie na modely optimalizácie priestorovej štruktúry krajiny a hodnotenia alternatívnych ochranných opatrení. Pre riešenie úlohy výpočtu straty pôdy v území a jej priestorové vyhodnotenie sa používa rastrový model, ktorý je vhodný pre spojité údaje (digitálny model reliéfu, faktor LS) a umožňuje pomocou mapovej algebry ako jazyka gridu uskutočniť riešenie Univerzálnej rovnice straty pôdy [7] ako súčin informačných vrstiev predstavujúcich jej jednotlivé faktory, tak aj výpočet niektorých jej faktorov. Medzi hlavné výhody prepojenia USLE a GIS patrí spresnenie výpočtu (ľahšie zahrnutie nehomogenít do výpočtu), výrazne zrýchlenie výpočtu pre veľké územia (len v prípade dostatku kvalitných digitálnych mapových podkladov, informačných vrstiev) a ľahká a efektívna prezentácia výsledkov [8].

2. CHARAKTERISTIKA POVODIA VODNÉHO TOKU TISOVEC

Intenzita vodnej erózie bola stanovená v povodí vodného toku Tisovec, nachádzajúceho sa v Prešovskom kraji v okrese Bardejov, katastrálnom území obce Hervartov a Šiba (Obr. 1). Územie patrí do čiastkového povodia Tople. Oblasť Hervartova zasahuje do mierne teplej klimatickej oblasti, kde ročný úhrn zrážok je 650 – 750 mm . V oblasti prevláda oceánska klíma s kontinentálnymi prvkami, ktoré sa prejavujú neskorým nástupom jari so zvýšenými teplotami v jeseni v porovnaní s jarou. Priemerná ročná teplota vzduchu je $8,3^\circ\text{C}$.



Obr. 1 Povodie potoka Tisovec a malá vodná nádrž Kľušov

Približne 400 m pod obcou Hervartov, v najužšej časti potoka Tisovec, je od roku 1985 vybudovaná malá vodná nádrž (MVN) Kľušov. Nachádza sa v členitom teréne s rôznymi sklonmi svahov. Jej hlavným účelom mala byť akumulácia vody na závlahu okolitých poľnohospodárskych pozemkov, ale používa sa aj na chov rýb pre športové rybárstvo,

retenciu veľkých vôd a prímestskú rekreáciu. Celkový objem nádrže je 72 188 m³, dĺžka je cca 494 m a maximálna hĺbka vody pri hrádzi 9,57 m [9]. Pôdy v jej okolí sa využívajú pre poľnohospodársku činnosť (orná pôda 22%, trvalé trávne porasty 21,5%), ale väčšiu časť tohto povodia tvoria lesy (cca 44%), pričom celková plocha povodia je 6,407 km².

Členitý charakter reliéfu tohto kraja, klimatické podmienky a prevládajúce zastúpenie stredne ťažkých pôd zaraďujú tento región medzi regióny pomerne senzitívne z pohľadu výskytu vodnej erózie na pôde. Erodované pôdne častice a nerovnomerné plnenie MVN Kľušov v dôsledku maximálnych prietokov dosahovaných v jarných a jesenných mesiacoch ovplyvňujú zvýšenú sedimentačnú činnosť v samotnej nádrži.

Preto v roku 2004 bolo realizované hodnotenie zanesenia tejto MVN pracovníkmi Slovenského vodohospodárskeho podniku (SVP), š.p., Odštepného závodu Košice, odboru projekcie [9]. Z výsledkov meraní vyplynulo, že od začiatku uvedenia MVN do prevádzky sa v tejto nádrži usadilo cca 24 507 m³ sedimentov, čo spôsobilo úbytok objemu vodnej nádrže o 33 %. Preto bola nádrž v rokoch 2005 – 2007 vypustená a v nádrži prebehla ťažba sedimentov.

3. STANOVENIE INTENZITY VODNEJ ERÓZIE V SLEDOVANOM POVODÍ A MNOŽSTVA SEDIMENTOV V NÁDRŽI

Určenie intenzity erózie bolo realizované pomocou rovnice USLE a využitím GIS. Strata pôdy podľa USLE bola určená len z poľnohospodársky využívaných pozemkov. Vstupnými podkladmi potrebnými pre určenie straty pôdy boli základný mapový podklad v mierke 1:10 000, ktorý bol prvotným zdrojom pre vytvorenie jednotlivých vrstiev v GIS; mapy BPEJ dostupné na internete; mapa parciel a oševné postupy získané z roľníckeho družstva podielnikov Kľušov. Z dôvodu nekompletnosti morfolologickej mapy bola vykreslená len časť povodia MVN Kľušov. V chýbajúcej časti povodia boli zastúpené hlavne lesy, na ktorých sa strata pôdy nepočíta.

Jednotlivé vrstvy faktorov USLE boli získané prevedením na raster z vektorových digitálnych mapových podkladov.

Faktor eróznej účinnosti dažďa bol odčítaný z tabuľky hodnôt R faktora podľa Malíška [10]. Keďže sa celé záujmové územie nachádza v rovnakom klimatickom regióne Bardejovského okresu, hodnota R - faktora bola určená pre sledovanú stanicu v Bardejove a predstavuje hodnotu 22,43 MJ.ha.cm⁻¹.h⁻¹.rok⁻¹.

Zdrojovým podkladom pre tvorbu vrstvy K faktora bola ako najpresnejší dostupný podklad mapa bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ). Pre jednotky BPEJ existuje v literatúre [11] jednoznačný prevodný kľúč, s pomocou ktorého boli kódy BPEJ interpretované do hodnôt faktora K. Hodnota K faktora bola určená pre každý pozemok (polygón) samostatne z 3. a 4. miesta 7 miestneho kódu hodnoty BPEJ. Obr. 2 znázorňuje výslednú mapu vrstvy faktora erodovateľnosti pôdy K.

Pre lepšie vyjadrenie sústredeného povrchového odtoku bol topografický faktor z USLE (LS faktor) nahradený Mitašovej topografickým faktorom [12], ktorý má tvar:

$$LS = (m + 1) \cdot (A / a_0)^m \cdot (\sin b / b_0)^n$$

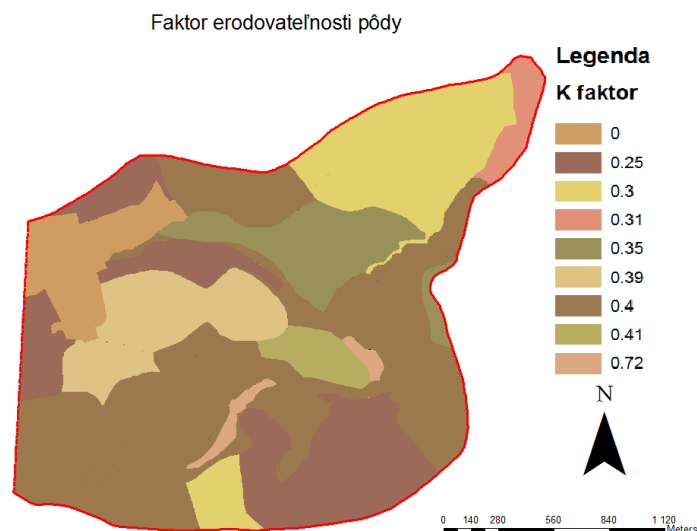
kde: A - plocha svahu - prispievajúca plocha (m),

a_0 - dĺžka jednotkového pozemku (22,1 m)

b - sklon svahu (°),

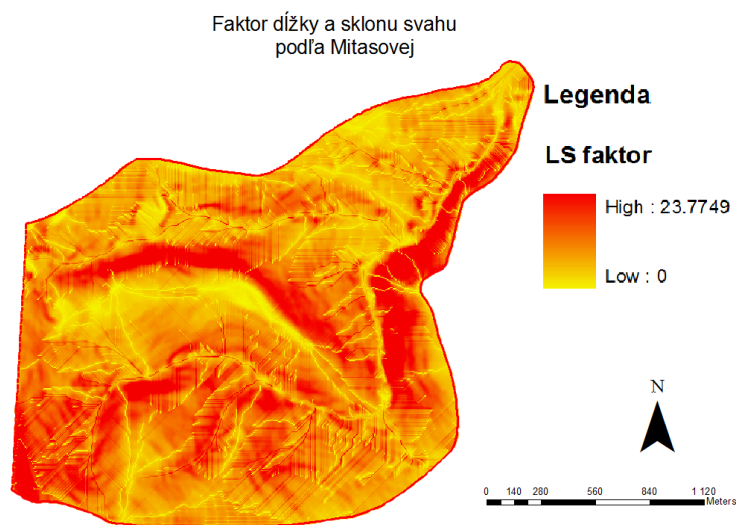
b_0 - sklon jednotkového pozemku (0,09 = 9%)

m, n - parametre pre konkrétny prevažujúci typ prúdenia a pôdne podmienky ($m=0,2$ a $n=1,2$).



Obr. 2 Mapa vrstvy K faktora

V prostredí ArcMap pomocou nadstavby Spatial Analyst s využitím príslušných hydrologických nástrojov boli postupne generované vrstvy Flow Accumulation a Slope, ktoré vstupujú do výpočtu topografického faktora. Hodnoty topografického faktora vypočítané pre sledované povodie podľa Mitašovej sú uvedené v grafickom zobrazení na Obr. 3.



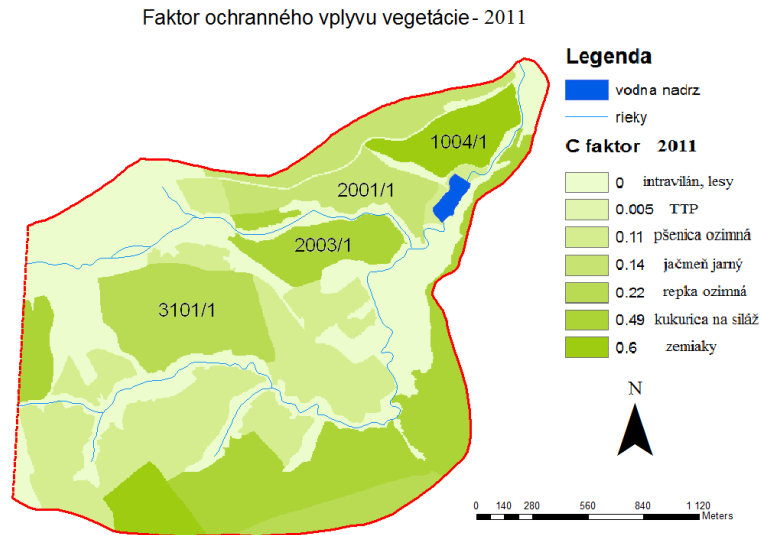
Obr. 3 Mapa vrstvy LS faktora

Hodnota C faktora bola získaná odčítaním hodnôt z príslušných tabuliek pre jednotlivé plodiny osevného postupu (Tab. 1).

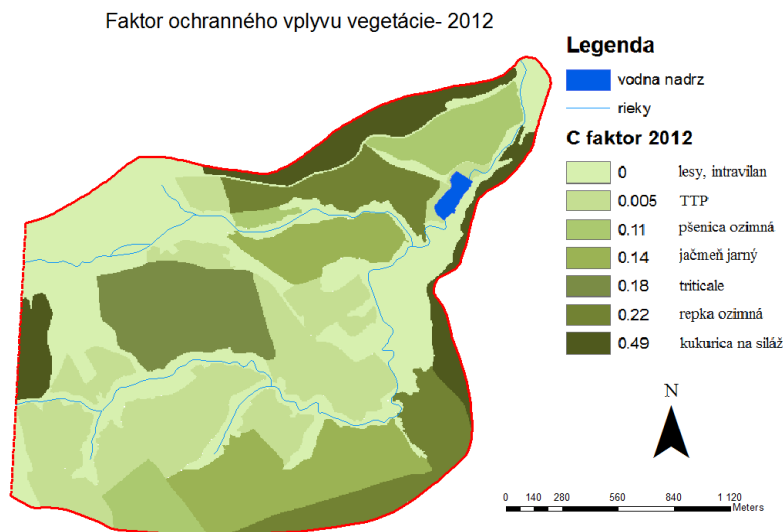
Tab. 1 2-ročný osevný postup pre vybrané parcely

Parcela	Rok 2011	Rok 2012
1004/1	Zemiaky	Pšenica ozimná
2001/1	Pšenica ozimná	Repka ozimná
2003/1	Kukurica na siláž	Jačmeň jarný
3101/1	Jačmeň jarný	Tritikale

Ďalším podkladom pre vrstvu C faktora bola mapa parciel, pomocou ktorej boli vykreslené polygóny jednotlivých pozemkov. Polygónom boli priradené hodnoty podľa využitia územia a tým sa vytvorili vektorové dáta. Po vytvorení vektora bola opäť vrstva C faktora prevedená na raster (Obr. 4, 5).



Obr. 4 Mapa vrstvy C faktora pre rok 2011



Obr. 5 Mapa vrstvy C faktora pre rok 2012

V sledovanom povodí sa nevykonávajú žiadne protierózne opatrenia, preto hodnota faktora protieróznej ochrany bola stanovená $P=1$.

Erózný odnos sedimentov v povodí Tisovca výrazne ovplyvňuje množstvo sedimentov v MVN Kľušov. Na stanovenie ich množstva v nádrži bolo potrebné určiť celkovú priemernú ročnú stratu pôdy, ktorá bola vypočítaná na základe percentuálneho zastúpenia jednotlivých farebných pixelov v skúmanom povodí. Nie všetky uvoľnené častice z povodia však sú transportované do vodných tokov, preto pre bolo nutné v ďalšom kroku určiť, aký podiel častíc z tých, ktoré boli na pozemku erodované, dosiahlo vodné prostredie a koľko z nich bolo naopak zachytených v povodí, t. zn. priemerné ročné transportovateľné množstvo pôdnych častíc uzáverovým profilom povodia. Pre riešenie daného územia bol zvolený vzťah pre

výpočet súčiniteľa odnosu SDR podľa Williamsa [13]. Pre odhad pomeru zachytenia sedimentov v MVN Kľušov metódou Bruneho kriviek bol využitý analytický vzťah, ktorým Dendy vyjadril priebeh strednej Bruneho krivky [14]. Pomer odnosu sedimentov (SDR) pre povodie potoka Tisovec predstavuje hodnotu 0,879 a hodnota záchytného účinku (A) MVN Kľušov je 74,3 %.

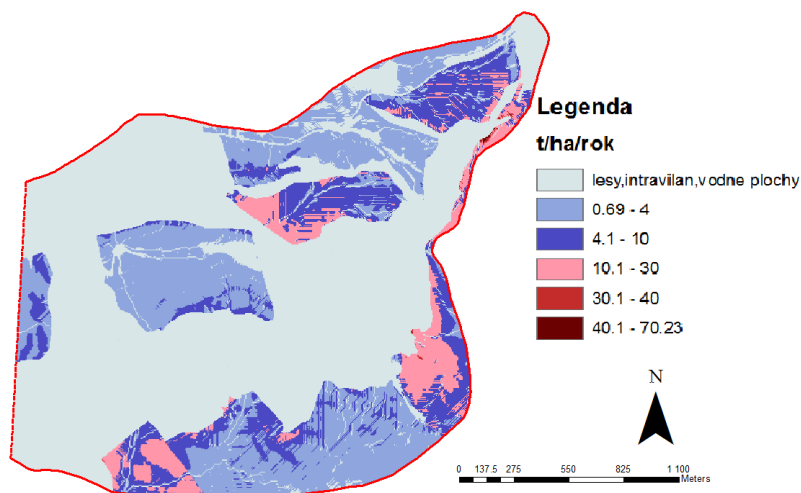
4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Erózný odnos (G) v povodí rieky Tisovec (Obr. 6, 7) bol vypočítaný na základe Wischmeier-Smithovej univerzálnej rovnice straty pôdy, vynásobením piatich faktorov v rastrovom kalkulátore v prostredí geografického informačného systému ArcGIS® podľa vzorca:

$$G = R * K * LS * C * P$$

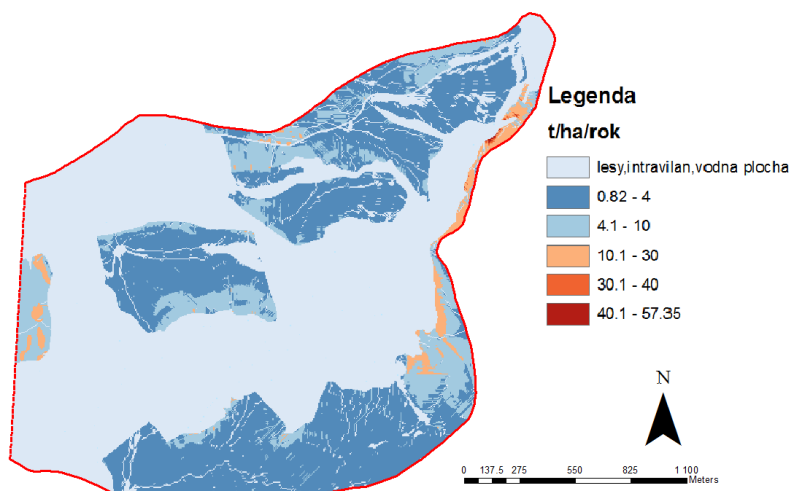
Odnos pôdy bol určený pre roky 2011 a 2012 z dôvodu rôzneho protierózneho účinku pestovaných plodín v danom povodí.

Strata pôdy zo rok 2011 (LS podľa Mitašovej)



Obr. 6 Intenzita erózie pôdy v závislosti od spôsobu obhospodarovania v roku 2011

Strata pôdy zo rok 2012 (LS podľa Mitašovej)



Obr. 7 Intenzita erózie pôdy v závislosti od spôsobu obhospodarovania v roku 2012

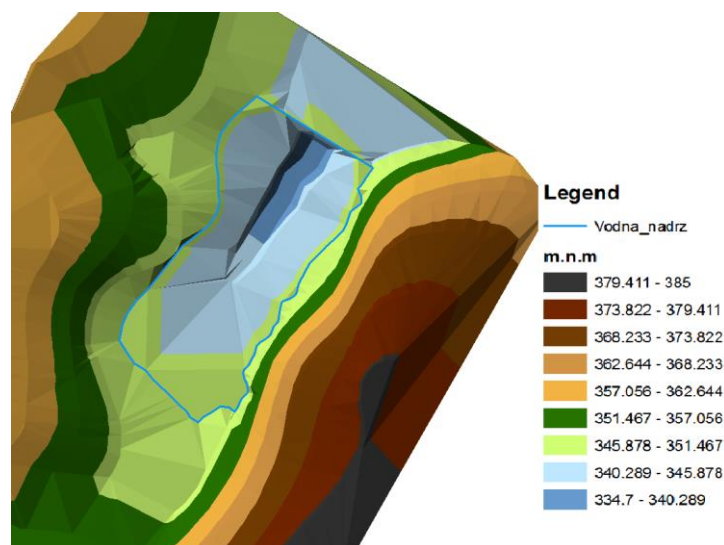
Z obr. 6 a 7 je zrejmé, že intenzita erózných procesov v povodí potoka Tisovec je rôzna v závislosti od rôzneho spôsobu využitia územia. Pretože v danom území sa vyskytujú prevažne pôdy hlboké s hĺbkou 0,60 až 0,90 m, za prípustnú stratu pôdy, pri ktorej ešte nedochádza k poškodeniu pôdneho profilu sa považuje hodnota $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ [15]. Na základe výstupov z GIS možno konštatovať, že limitné hodnoty odnosu pôdy pri vodnej erózii za rok 2011 sú dosahované a prekračované na parcelách s nevhodnou voľbou plodín s nízkym protieróznym účinkom t.j. zemiaky a kukurica na siláž. V roku 2012 boli tieto plodiny nahradené obilninami, ktoré zabezpečujú dostatočnú protieróznou ochranu týchto parciel.

GIS boli uplatnené nielen pri stanovení a hodnotení intenzity vodnej erózie v povodí Tisovca, ale tiež boli využité na predikovanie zanášania malej vodnej nádrže Kľušov pri rôznej kombinácii osevných postupov, čím sa dá predísť rýchlemu zaneseniu nádrže. Na základe určenia priemernej ročnej straty pôdy v povodí redukovanej pomerom SDR a zachytnou účinnosťou nádrže bolo určené výsledné množstvo splavenín zachytených v nádrži za sledované obdobie (Tab. 2), pričom sa uvažuje s priemernou hodnotou objemovej hmotnosti sedimentu $1,3 \text{ t}/\text{m}^3$.

Tab. 2 Celkové množstvo sedimentov v nádrži za jednotlivé roky

Rok	G [t/rok]	SDR [-]	A [%]	Usadené sedimenty	
				[t/rok]	[m ³ /rok]
2011	1 581,67	0,879	74,3	1 032,98	794,6
2012	1 218,89			796,05	612,35

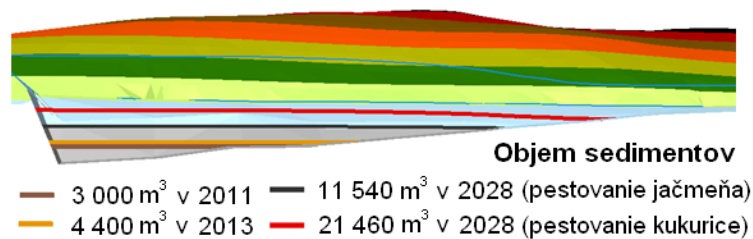
Pre grafické znázornenie množstva sedimentov zachytených v nádrži bol vytvorený digitálny model terénu vychádzajúc z vrstevníc a priečných profilov nádrže do vzdialenosti 238 m od koruny hrádze. Pomocou funkcie „create TIN“ v nadstavbe 3D Analyst bola vytvorená vrstva TIN, ktorá znázorňuje model terénu (Obr. 8). Následne bola vytvorená aj vrstva sedimentov v určitej nadmorskej výške a po preložení týchto vrstiev navzájom program ArcGIS pomocou funkcie „Cut/Fill“ vygeneroval objem sedimentov, ktorý je zachytený v nádrži pri danej výške.



Obr. 8 Digitálny model terénu

Za predpokladu, že po odbahnení a opätovnom napustení v roku 2007 sa nádrž zanášala sedimentmi cca 750 m³/rok v závislosti od spôsobu obhospodarovania, bolo by v roku 2013 v nádrži usadených približne 4 400 m³ sedimentov, čo predstavuje úbytok celkového objemu nádrže o 6 %.

Ak by sa v celom povodí na ornej pôde (okrem TTP) pestovala kukurica, tak by ročný odnos pôdy predstavoval 1 740 m³. Pri takomto oševnom postupe by sa v nádrži v priebehu 15 rokov usadilo približne 21 460 m³ sedimentov (Obr. 9). Pri pestovaní jačmeňa na ornej pôde by odnos pôdy predstavoval hodnotu cca 730 m³/rok. Pomocou GIS je možné predpovedať, že za 15 nasledujúcich rokov by bolo v MVN Kľušov usadených 11 540 m³ sedimentov (Obr. 9).



Obr. 9 Predikcia procesu zanášania nádrže

5. ZÁVER

Z dôvodu rastúcej intenzity erózo-transportných procesov v povodiach Slovenska a zanášania vodných tokov a nádrží eróziou uvoľnenými pôdnymi časticami je potrebné venovať pozornosť stanoveniu a hodnoteniu intenzity vodnej erózie. Pri hodnotení erózie na úrovni celých povodí už v dnešnej dobe nepripadá do úvahy manuálny výpočet pomocou modelov, ale výpočty sú vždy realizované s podporou mapových dát spracovaných na počítačoch. Preto je práca s geografickými informačnými systémami základnou zložkou prípravy vstupov do erózných modelov.

V práci sú prezentované informácie o priestorovom rozšírení vodnej erózie na poľnohospodárskej pôde v povodí potoka Tisovec v Bardejovskom okrese prostredníctvom geografických informačných systémov vzhľadom k použitému oševným postupom. V závislosti od intenzity vodnej erózie je namodelované predikovanie zanášania malej vodnej nádrže Kľušov.

Informácie o intenzite vodnej erózie získané využitím GIS sú nevyhnutným podkladom pre ochranu pôdy pred vodnou eróziou a pri návrhu a realizovaní vhodných protierózných opatrení. Použitie rastlín v oševnom postupe s vyšším protieróznym účinkom v kombinácii s ďalšími protieróznymi opatreniami umožňuje znížiť eróziu a tým aj prísun sedimentov do vodných nádrží.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantovej úlohy VEGA 1/0882/11 a VEGA 1/0609/14.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] ŠLEZINGR M.: *The Brno reservoir – drained. Public recreation and landscape protection - with man hand in hand. Conference proceeding.* Brno: Mendel University Brno. 2013. p. 186-189.
- [2] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: *EEA Signals 2004. A European Environment Agency update on selected issues.* Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 2004. 36 p.
- [3] EUROPEAN COMMISSION: *The state of soil in Europe - A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report - SOER 2010.* Luxembourg. 2012. 76 pp.
- [4] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: *Assessment and reporting on soil erosion. Background and workshop report. Technical report 94.* Copenhagen. 2003. 103 pp.
- [5] MIDRIAK R.: *Eróziou spustnuté pôdy v krajine Slovenska.* Geomorphologia Slovaca et Bohemica. č. 2/2010. s. 7-15.
- [6] JAMBOR P.: *Water and wind erosion upon Slovakian soils.* Vedecké práce č. 25. Bratislava: VÚPOP. 2003. s. 41-46.
- [7] WISCHMEIER W. H., SMITH D. D.: *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning.* Agriculture Handbook No. 537. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture. 1978. 58 p.
- [8] KRÁSA J.: *Empirické modely vodní eroze v ČR – nástroje, data, možnosti a rizika výpočtu.* Habilitačná práca. Praha: ČVUT, Stavebná Fakulta. 2010. Dostupné na internete: <http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/gisz/habilitace_krasa_2010.pdf>.
- [9] SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK: *Vodná nádrž Kľušov (Hervartov).* 2005.
- [10] MALÍŠEK A.: *Zhodnotenie faktora eróznej účinnosti privalovej zrážky.* Geografický časopis. č. 42/1990. s. 410-422.
- [11] ILAVSKÁ B., JAMBOR P., LAZÚR R.: *Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení.* Bratislava: VÚPOP. 2005.
- [12] MITASOVA H., MITAS L., BROWN W. M., JOHNSTON D.: *Multidimensional Soil Erosion/deposition Modeling. PART III: Process based erosion simulation.* Report for USA CERL. USA: University of Illinois. 1996. 28 pp.
- [13] WILLIAMS J. R.: *Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models.* Erosion and solid mater transport in inland water. International association of hydrological sciences publication. No. 122/1977. p. 168-179.
- [14] COPELAND R. R.: *Albuquerque Arroyos Sedimentation Study. Numerical Model investigation. Technical Report HL-95-2.* U.S. Army Corps of Engineers. 1995. 155 p.
- [15] MŽP SR: *Zákon NR SR č. 220/2004 o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.* 2004.

AUTORI

Ing. Natália Junáková, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Ústav environmentálneho inžinierstva,
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice

e-mail: natalia.junakova@tuke.sk

doc. Ing. Martina Zeleňáková, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Ústav environmentálneho inžinierstva,
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice

e-mail: martina.zelenakova@tuke.sk

Ing. Marcela Gergel'ová, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav geodézie, kartografie
a geografických informačných systémov, Park Komenského 19 , 043 84 Košice

e-mail: marcela.gergelova@tuke.sk

Ing. Zuzana Kleščová

Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Ústav environmentálneho inžinierstva,
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice

e-mail: dolna.zuzana@gmail.com