

APLIKÁCIE GIS PRI MODELOVANÍ VODNEJ ERÓZIE A TRANSPORTU SEDIMENTOV V KRAJINE

Elena Kondrlová

Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Hospodárska 7, 94976, Nitra, Slovenská republika, e-mail: elena.kondrlova@uniag.sk, elena.kondrlova@gmail.com

Abstract

Water erosion causes losses not only in agriculture but it threatens also others sectors of management, predominately water management. The eroded and transported soil particles can negatively influence the localities where accumulated, not only with volume but also with their physical, chemical and biological characteristics being changed. The negative effect of erosion products fully displays particularly when reaching surface waters. Also this is one of the reasons of integrated protection of soil and water. Modelling in GIS interface offers one of the possible ways how to estimate intensity of erosion and sedimentation processes in catchment. The aim of this contribution was to determine intensity of erosion-sedimentation processes in catchment of the Širočina watercourse (W Slovakia). With GIS tools the average long-term soil loss was evaluated using an approach of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The values were reduced by Sediment Delivery Ratio (SDR) and so the total amount of sediments being annually transported into the water recipients was determined. By computing the trap efficiency of three small ponds situated in catchment the amount of sediments being trapped annually in the ponds was evaluated. Finally the resulting amount of sediment transported by the watercourse out of catchment was estimated. The average long-term soil loss in Širočina catchment is 33626 t per year. After reduction by SDR the amount of lost soil decreased up to 32486, what means that 1140 t is annually trapped by terrain barriers before the sediment could reach the water recipient. Another 11088 t of sediment is annually trapped in small water ponds. On the basis of conducted computed values, the average annual amount of sediments discharged from Širočina catchment is 21398 t. The approach being showed presents well usable method to form the general idea about the response of catchment management on soil loss and sediment amount. It is possible to realise the calculations at various scales (soil parcels, subcatchment or whole catchment). This approach enables to localise threatened parts of soil parcels which call for attention and the proposal of anti-erosion measures.

Kľúčové slová

Erosion-sedimentation processes, GIS, USLE, sediment delivery ratio, pond trap efficiency,

1 Úvod

Erózia pôdy je najvýznamnejšou formou fyzikálnej deštrukcie pôd na území Slovenska. Pôsobením erózných činiteľov dochádza k rozrušovaniu vrchnej vrstvy pôdy, uvoľnené pôdne častice sú ďalej transportované a akumulované v iných polohách svahu. Treba si uvedomiť, že ide o prírodný proces, a preto eróziu pôdy nie je možné úplne odstrániť. V rámci protieróznej ochrany ide teda o vyvíjanie snahy na zníženie intenzity na prípustnú hodnotu.

Okrem nenávratnej straty pôdy spôsobuje erózia aj priame poškodenie pestovaných plodín ako aj negatívne zmeny fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôdy, čo má v konečnom dôsledku vplyv na zníženie úrodnosti pôdy. K škodám však nedochádza len v poľnohospodárskej

výrobe, ale aj v ďalších odvetviach hospodárstva, predovšetkým vo vodnom hospodárstve. Erodované transportované pôdne častice môžu negatívne ovplyvňovať miesta ich akumulácie nielen svojím objemom (zanášanie vodných nádrží) ale aj svojimi fyzikálnymi, chemickými a biologickými vlastnosťami, ktorými sa výrazne odlišujú od pôvodnej pôdy. Negatívny účinok produktov erózneho procesu sa prejaví najmä vtedy, keď sa dostanú až do povrchových vôd. V takýchto prípadoch môžu spôsobiť problémy napríklad pri úprave povrchových vôd na pitnú vodu alebo eutrofizáciu povrchových vôd (koncentráciou živín, ťažkých kovov, rezíduí pesticídov a pod.). Aj to je jeden z dôvodov, prečo hovoríme o „integrovanej ochrane pôdy a vody“ [2].

Na odhad intenzity erózných a sedimentačných procesov slúžia v súčasnosti viaceré metódy, jednou z možností je aj modelovanie v prostredí geografických informačných systémov (GIS). GIS predstavujú analytický nástroj, ktorého dominantnou oblasťou je problematika priestorových analýz geografických údajov v niektorej z ich digitálnych reprezentácií, s využitím komplexu analytických nástrojov vyvinutých v rozličných vedných oblastiach [4].

Cieľom príspevku bolo určiť intenzitu eróžno-sedimentačných procesov v povodí Širočina. Naším zámerom bolo použitím nástrojov GIS poukázať na možnosti ich využitia pri realizácii čiastkových cieľov, ktoré zahŕňali: a) určenie straty pôdy spôsobenej vodnou eróziou; b) stanovenie množstva sedimentov transportovaného do vodného recipientu; c) určenie množstva sedimentov zachytených malými vodnými nádržami v povodí a nakoniec d) stanovenie výsledného množstva splavenín transportovaných vodným tokom Širočina mimo toto povodie.

2 Materiál a metodika

2.1 Charakteristika záujmového územia

Povodie Širočina má rozlohu 106 km² a nachádza sa na severe Nitrianskeho kraja, medzi obcami Zlaté Moravce na severe a Vráble na juhu. Priemerná ročná teplota vzduchu je 10 °C a priemerný ročný úhrn zrážok je 590 mm. Poľnohospodárska pôda zaberá 66 km², čo predstavuje 62,5 % z celkovej výmery povodia, trvalé trávne porasty majú nízke zastúpenie, vyskytujú sa len na 2 % výmery povodia (192 ha). Na malej ploche sa vyskytujú aj vinice na 107 ha (1 %) a ovocné sady na 30 ha (0,1 %). Lesy sa vyskytujú najmä na severe a východe povodia na ploche 3235 ha (30,5 %). Zastavané plochy v intraviláne a extraviláne zaberajú 551 ha, čo predstavuje 5,2 % výmery.



Obr. 1 Orná pôda nad MVN Veľké Vozokany



Obr. 2 MVN Veľké Vozokany

V povodí sa nachádzajú tri malé vodné nádrže a to konkrétne vo Veľkých Vozokanoch (16,77 ha), Nevidzanoch (8,49 ha) a Nemčiňanoch (3,13 ha) a sú v správe Slovenského vodohospodárskeho podniku, OZ Povodie Váhu, závod Nitra. Vybrané charakteristiky nádrží

uvádza tabuľka 1. Nádrže sú viacúčelové, v minulosti sa využívali aj na závlahy, v súčasnosti sa využívajú pre potreby športového rybárstva (kapor, karas, ostriež), rekreáciu či ochranu proti prívalovým vodám. V povodí prevládajú hlboké pôdy (až 95 % poľnohospodárskej pôdy), 89 % z výmery poľnohospodárskych pôd tvoria pôdy bez skeletu. Zrnitosťne sú to najmä pôdy stredne ťažké (70 %) a ťažké (25 %). Najzastúpenejšími pôdnymi typmi na poľnohospodárskej pôde v povodí sú hnedozeme (61 %), regozeme (21 %) a kambizeme (9 %).

Tab. 1 Vybrané charakteristiky vodných nádrží v povodí Širočina

Nádrž	VN Veľké Vozokany	VN Nevidzany	VN Nemčičany
Tok	Širočina	Podegerský potok	Rohožnícky potok
Rok uvedenia do prevádzky	1977	1966	1967
Vodoprávne odbery (l.s ⁻¹)	160	28	20
Zanášanie nádrže	čiasťočne zanesená	zanesená	zanesená
Q _{priem.} (l.s ⁻¹)	220	50	30
Q _{min.} (l.s ⁻¹)	20	2,3	3 (v IX.- XII.), inak 7
Objem (tis. m ³)	zásobný priestor	431,2	102,5
	ochranný priestor	115,0	43,5
	celkový priestor	577,5	146,0
			70,5

Zdroj: Slovenský vodohospodársky podnik, OZ Povodie Váhu, závod Nitra, 2008

2.2 Modelovanie v prostredí GIS

Pre stanovenie výsledného množstva splavenín transportovaných vodným tokom Širočina z povodia sme uskutočnili nasledovné kroky:

1. Priemerná dlhodobú stratu pôdy sme vypočítali použitím univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE) [11]:

$$S_p = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

kde:

S_p – priemerná dlhodobá strata pôdy (t.ha⁻¹.rok⁻¹)

R – faktor erózy účinnosti dažďa (MJ.ha⁻¹.rok⁻¹)

K – faktor erodovateľnosti pôdy (t.MJ⁻¹)

L – faktor dĺžky svahu

S – faktor sklonu svahu

C – faktor ochranného vplyvu vegetačného krytu

P – faktor účinnosti protieróznych opatrení

Poznámka: Za faktor dĺžky svahu L a sklonu svahu S bol dosadený topografický LS faktor, určený podľa vzťahu [11]:

$$LS = l_d^{0,5} \cdot (0,0138 + 0,0097 \cdot s + 0,00138 \cdot s^2) \quad (2)$$

kde:

l_d – neprerušená dĺžka svahu (m)

s – sklon svahu (%)

2. Pre odhad celkového množstva splavenín z povodia s použitím USLE je potrebné výpočet redukovať pomerom odnosu splavenín (Sediment Delivery Ratio – SDR), keďže nie všetky

erodované pôdne častice sú z pôdnych celkov transportované do vodných tokov. Tento pomer nadobúda hodnoty od 0 po 1 v závislosti od výskytu prekážok povrchového odtoku a zmien sklonu. V prípade, že transportná kapacita povrchového odtoku nie je prekročená a tok ústi priamo do toku alebo nádrže hodnota pomeru odnosu splavenín sa blíži k 1. V súčasnosti sú k dispozícii len návody na jeho približné stanovenie pre určité povodie [6]. Williams [10] zostavil rovnicu vychádzajúcu z troch základných charakteristík: plochy povodia, reliéfového pomeru a infiltrácie vyjadrenej dlhodobým priemerným číslom odtokovej krivky CN:

$$SDR = 1,366 \cdot 10^{-11} \cdot P_p^{-0,0998} \cdot S_r^{0,3629} \cdot CN^{5,447} \quad (3)$$

kde:

P_p – plocha povodia (km^2)

S_r – reliéfový pomer ($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)

CN- dlhodobé priemerné číslo odtokovej krivky

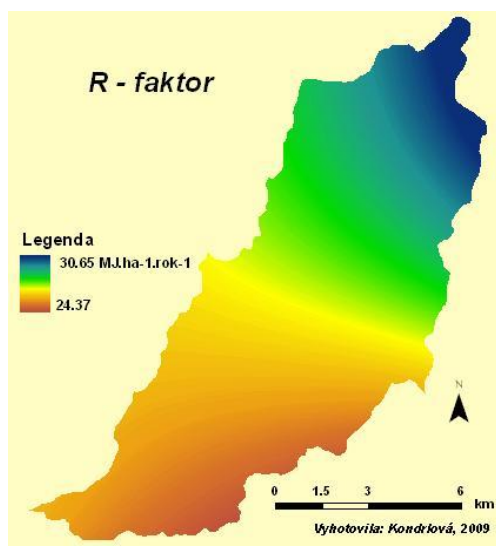
3. Pri určovaní objemu sedimentov bol vzatý do úvahy aj záchytný účinok prietochných nádrží v povodí Širočina A (%), ktorý bol stanovený pomocou Bruneho kriviek [3] na základe pomeru zásobného objemu nádrží C (m^3) k ročným prietokom do jednotlivých nádrží I ($\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$) (tab. 2).

3 Výsledky a diskusia

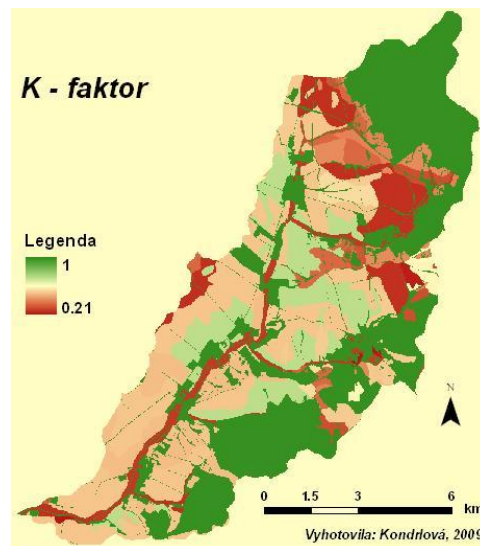
3.1 Vstupy do USLE

Vstupné údaje boli spracované v ArcView 3.2 a ArcInfo 9.2, analýzy boli uskutočnené na rastroch s rozlíšením 20 m. Pri tvorbe, resp. úprave hodnôt erózných faktorov vstupujúcich do USLE sme využili viacero nástrojov rozšírenia Spatial Analyst Tools ako aj Hydrotools 1.0. Faktor eróznej účinnosti dažďa (R-faktor) bol vypočítaný interpolačnou metódou Topo to Raster na podklade hodnôt R faktora zo 6 najbližších meteorologických staníc [7]. Hodnota R faktora sa v povodí pohybuje v rozpätí 24,37 - 30,65 $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$, priemerná hodnota R faktora je 26,96 $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$ (obr. 3). Faktor erodovateľnosti pôdy (K faktor) bol odvodený z bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ) v 7-miestnom kódovaní. Každému kódu hlavnej pôdnej jednotky (HPJ) bola priradená orientačná hodnota K faktora podľa metodiky Ilavskej, Jambora a Lazúra [5]. K faktor na poľnohospodárskej pôde v povodí sa pohybuje od 0,21 po 0,72 $\text{t} \cdot \text{MJ}^{-1}$, priemerná hodnota je 0,5 $\text{t} \cdot \text{MJ}^{-1}$ (obr. 4). Územia s iným využitím (les, zastavané plochy...) bola priradená hodnota 1.

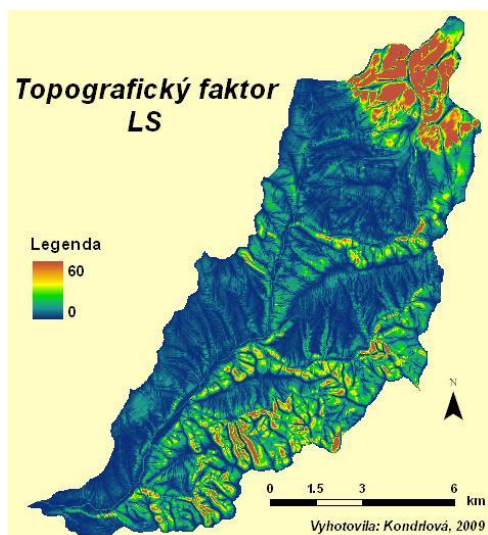
Podkladom pre tvorbu LS faktora (obr. 5) bola rastrová mapa digitálneho modelu reliéfu, ktorú sme vytvorili interpoláciou zdigitalizovaných vrstevníc. Samotný výpočet LS faktora bol realizovaný v mapovom kalkulátore. Údaje o oševných postupoch v strednej časti povodia poskytol subjekt Agro NV, a. s. so sídlom v Nemčiňanoch. V oševných postupoch sú zastúpené nasledovné plodiny: jačmeň siaty f. jarná a ozimná, raž siata f. jarná a ozimná, pšenica letná f. ozimná, kukurica siata na zrno a na siláž, repka olejka, slnečnica ročná, lucerna siata a trávová zmes. Predpokladali sme, že štruktúra pestovaných plodín je aj na iných lokalitách povodia približne rovnaká a z tohto dôvodu sme počítali s danými plodinami pre celé povodie. Mapa ochranného vplyvu vegetačného krytu bola vytvorená na základe priemerných ročných hodnôt C faktora pestovaných plodín, pre ornú pôdu v povodí sme vypočítali priemernú hodnotu $C = 0,14$. Stanovené boli aj hodnoty C faktora pre iné prvky využitia krajiny, napr. na lesných plochách bola za C faktor dosadená hodnota 0,001, v prípade nelesnej drevinovej vegetácie $C = 0,003$, na TTP $C = 0,005$ a na zastavaných plochách $C = 1$ (obr. 6). Za faktor účinnosti protierózných opatrení bola dosadená hodnota 1. Vynásobením vytvorených rastrových vrstiev v mapovom kalkulátore v prostredí GIS sme získali mapu priemernej dlhohodobej straty pôdy.



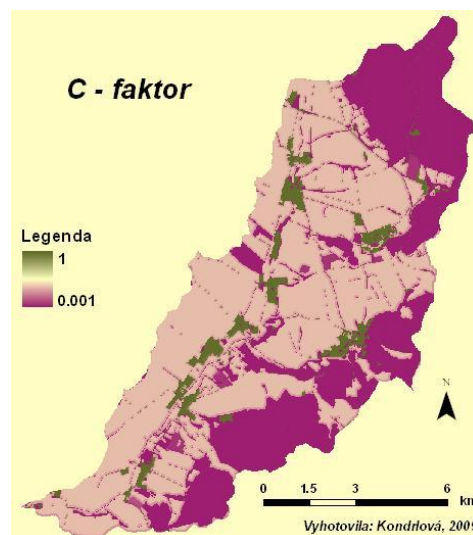
Obr. 3 Hodnoty R faktora v povodí



Obr. 4 Hodnoty K faktora v povodí



Obr. 5 Hodnoty LS faktora v povodí



Obr. 6 Hodnoty C faktora v povodí

3.2 Výpočet SDR

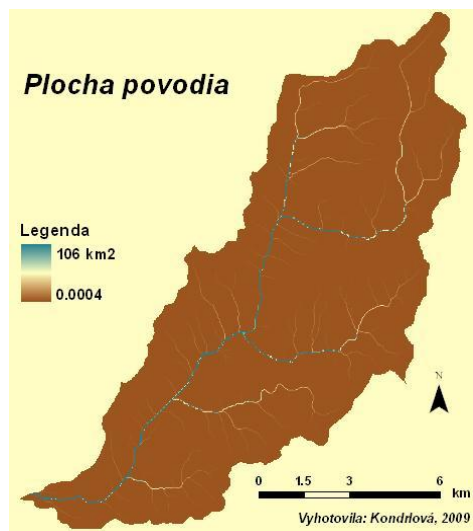
V ďalšom kroku sme vytvorili rastrové vrstvy vstupujúce do výpočtu pomeru odnosu splavenín. Jedným z dôležitých podkladov bola mapa akumulácie povrchového odtoku so zahrnutím výtokového profilu odvodená pomocou rozšírenia Hydrotools. Keďže v rastrovom dátovom modeli je každá bunka zároveň aj výtokovým profilom, bolo možné vypočítať plochu povodia (prispievajúcej plochy pre každú bunku rastra) [9]. Maximálna hodnota $S_p = 106 \text{ km}^2$ je dosiahnutá v mieste, kde vodný tok Širočina ústi do vodného toku Žitava (obr. 7).

$$P_p = (\text{akumulácia odtoku bez váhy} \cdot \text{rozlíšenie rastra}^2) / 1\,000\,000 \quad (4)$$

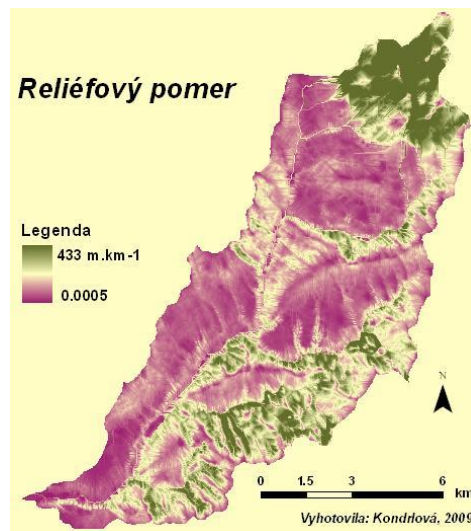
Závislosť medzi výškovým rozdielom a dĺžkou odtokovej dráhy vyjadruje reliéfový pomer, pričom sme vychádzali z mapy spriemerovaného sklonu svahu (v %) [9]. Reliéfový pomer

dosahuje najvyššie hodnoty v severnej a JV časti povodia (obr. 8) nakoľko tieto oblasti sa vyznačujú najvyššou hodnotou sklonu.

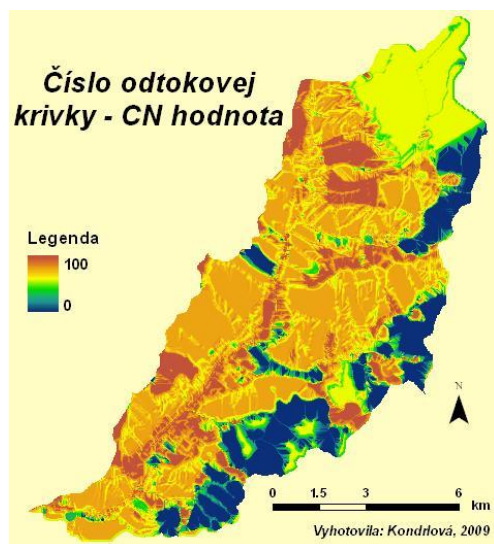
$S_r = \text{mapa akumulácie odtoku s váhou sklonu} / (10 \cdot \text{mapa akumulácie odtoku bez váhy})$ (5)



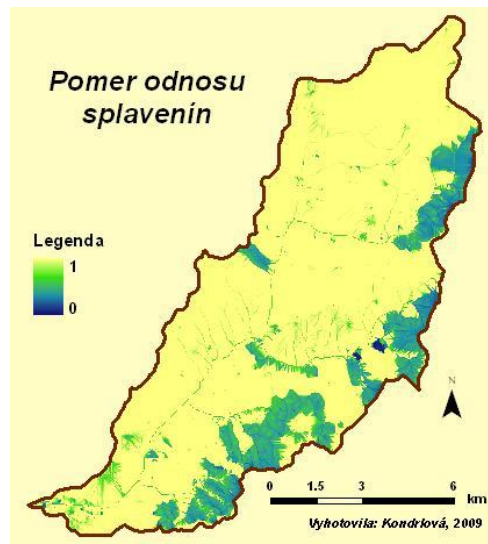
Obr. 7 Mapa prispievajúcich plôch



Obr. 8 Mapa reliéfových pomerov



Obr. 9 Mapa odtokových čísel



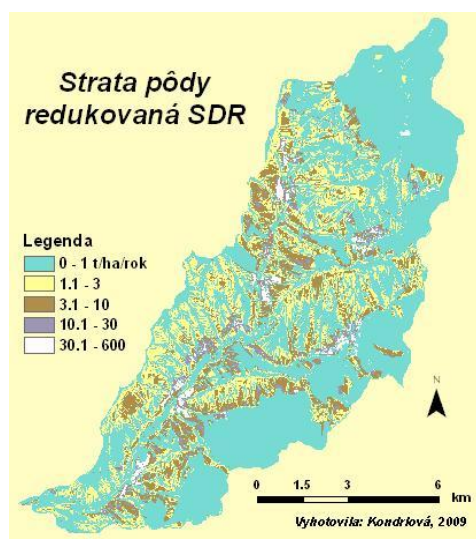
Obr. 10 Pomer odnosu splavenín

Podmienkou pre vytvorenie mapy dlhodobých priemerných čísel odtokovej krivky – CN bolo prekrytie mapy bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek s mapou využitia krajiny. Keďže HPJ v bonitovaných pôdno-ekologických jednotkách v 7-miestnom kódovaní sú kategorizované podľa morfogenetického klasifikačného systému pôd, bolo tieto potrebné previesť do staršej klasifikácie tj. geneticko-agronomickej klasifikácie pôdných jednotiek, ktoré mohli byť následne zaradené do jednotlivých hydrologických kategórií pôd A, B, C, D, prípadne AB, BC, CD. V prípade výskytu viacerých hydrologických kategórií v rámci jedného pôdneho typu sme prihliadali na kategórie zrnitosti. Tieto kategórie potom vytvorili kombinácie s prvkami využitia

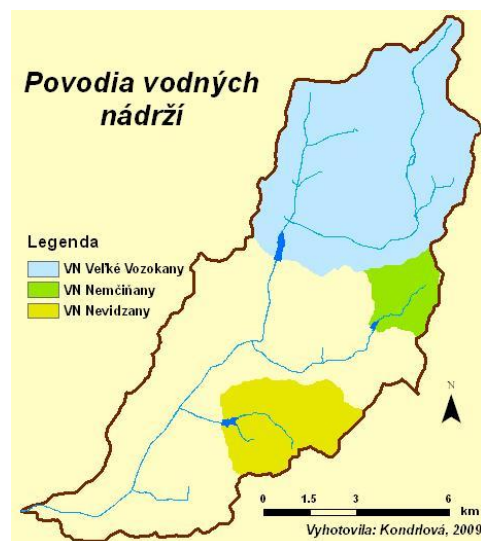
krajiny. V rámci ornej pôdy sa bližšie špecifikoval charakter pestovaných plodín (širokoriadkové, úzkoriadkové plodiny a krmoviny) a spôsob obrábania pôdy (v priamych riadkoch). Kvalita pôdneho krytu bola na relevantných plochách charakterizovaná ako dobrá prípadne priemerná. Na podklade prvkov využívania pôdy a už spomínaných hydrologických charakteristík pôdy boli jednotlivým kombináciám priradené priemerné ročné hodnoty CN podľa metodiky Ven Te Chowa [1]. V prípade hraničiacich hydrologických kategórií (AB, BC, CD) bola hodnota CN určená ako priemer CN hodnôt nižšej a vyššej hydrologickej kategórie. Výsledná mapa reprezentatívnych CN hodnôt bola vytvorená zo spriemerovaných hodnôt čísiel odtokových kriviek [9] (obr. 9).

$$CN_{\text{reprez}} = \text{mapa akumulácie odtoku s váhou CN} / \text{mapa akumulácie odtoku bez váhy} \quad (5)$$

Vynásobením vytvorených rastrových vrstiev v mapovom sme získali výslednú mapu pomeru odnosu splavenín (obr. 10), ktorou sme redukovali mapu priemernej dlhodobej straty pôdy, čím sme získali mapu straty pôdy už aj so zohľadnením účinku bariér, spôsobujúcich zachytávanie erodovaných častíc (obr. 11).



Obr. 11 Strata pôdy (redukovaná SDR)



Obr. 12 Čiastkové povodia MVN

3.3 Množstvo splavenín zachytených v nádržiach a celkové množstvo splavenín z povodia

Po tom ako sme určili záchytný účinok jednotlivých nádrží, bolo možné vypočítať aj priemerné množstvo sedimentov, ktoré sa v nádržiach ročne zachytí. Pre každú malú vodnú nádrž sme určili čiastkové povodie k ich uzáverovému profilu (v mieste výpustu z nádrže) a určili tak veľkosť ich prispievajúcej plochy (obr. 12). Pomocou príkazu zonálnej štatistiky sme určili množstvo priemernej dlhodobej straty pôdy (už redukovanej SDR) pre každé čiastkové povodie nádrží. Toto množstvo bolo následne vynásobené percentom zachytenia splavenín v nádržiach, čím sme určili množstvo ročne zachytených sedimentov ako aj prispievajúce množstvo splavenín ($S_{p,\text{red}}$) transportovaného ďalej z čiastkových povodií (tab. 2).

Celková priemerná dlhodobá ročná strata pôdy v povodí Širočina určená pomocou metodiky USLE v prostredí GIS je 33626 t. Po redukcii pomerom odnosu splavenín (SDR) sa toto množstvo znížilo na 32486 t, z čoho vyplýva že 1140 t sedimentov sa zachytilo na terénnych prekážkach, skôr ako by sa dostali do vodného recipientu. Ďalších 11088 t sedimentov ročne

sedimentuje v malých vodných nádržiach v povodí. Na podklade uvedených hodnôt je celkové priemerné ročné množstvo splavenín opúšťajúce povodie Širočina (v zaústení do vodného toku Žitava) 21398 t.

Tab. 2 Zachytené množstvo splavenín v nádrži situovaných v povodí Širočina

Malá vodná nádrž	Veľké Vozokany	Nevidzany	Nemčiňany
Zásobný priestor – C (m ³)	431250	102500	46500
Prietok priem. rok - I (m ³ . rok ⁻¹)	6937920	1576800	946080
C/I	0,062	0,065	0,049
A (%)	80,0	80,5	77,0
Zachytený sediment (t . ha ⁻¹ . rok ⁻¹)	9340,2	1207,6	540,5
S _{p,red} z povodí nádrží (t . ha ⁻¹ . rok ⁻¹)	2335,0	292,5	161,5

4 Záver

V príspevku sme poukázali na možnosti využitia GIS pri modelovaní erózných a sedimentačných procesov. Postup uvedený v príspevku predstavuje dobre použiteľnú metódu pre odhad množstva splavenín. Použitím GIS je možné určiť priemernú dlhodobú stratu pôdy ako aj množstvo splavenín, transportovaných z povodia. Tieto výpočty je možné realizovať v rôznych mierkach, ako pre jednotlivé pôdne celky tak pre čiastkové povodia či samotné povodie. Tento prístup umožňuje lokalizovať ohrozené časti pôdných celkov vyžadujúce si zvýšenú pozornosť a návrh protierózných opatrení. Presnosť výsledkov uskutočnených analýz priamo závisí od kvality vstupov ako aj použitých metód. Treba podotknúť, že aj pri kvalitných vstupných dátach poskytujú modelové situácie len všeobecnú predstavu o odozve hospodárenia v povodí na stratu pôdy a množstvo sedimentov.

Podakovanie: Príspevok bol vypracovaný v rámci projektov VEGA 1/4404/07 (Vplyv erózných procesov na zmenu organizácie poľnohospodárskej krajiny) a VEGA 1/4412/07 (Integrované hodnotenie vybraných faktorov ovplyvňujúcich návrh všeobecných zásad funkčného usporiadania územia v projektoch komplexných pozemkových úprav 9)

5 Referencie

- [1] Antal, J.: *Aplikovaná agrohydrologia*. VŠP, Nitra, 1997. 154 s. ISBN 80-7137-363-X.
- [2] Antal, J.: *Protierózna ochrana pôdy*. Vydavateľstvo SPU, Nitra, 2005. 79 s. ISBN 80-8069-572-5.
- [3] Brune, G. M.: Trap efficiency of reservoirs. 1953. In: Krása, 2004.
- [4] Hlásny, T.: *Geografické informačné systémy. Priestorové analýzy*. Agentúra ZEPHYROS & Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, Banská Bystrica, 2007. 160 s. ISBN 978-80-8093-029-5.
- [5] Ilavská, B., Jambor, P., Lazúr, R.: Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení. VÚPOP: Bratislava, 2008. 60 s. ISBN 80-89128-14-9.
- [6] Janeček, M. a kol.: *Ochrana zemédelské půdy před erozí – Metodika ÚVTIZ č. 5/1992*. ÚVTIZ, Praha, 1992. 110 s. ISSN 0231-9470.
- [7] Kondrlová, E.: *Aplikácie GIS pri eróznej ohrozenosti územia*. In: 9. stretnutie užívateľov produktov IDRISI a ESRI: zborník príspevkov a prezentácií [CD-ROM]. Technická univerzita: Zvolen, 2008. ISBN 978-80-228-1875-9.
- [8] Krása, J.: *Hodnocení erozních procesů vce velkých povodích za podpory GIS*. Dizertačná práca. ČVUT, Praha, 2004.

- [9] Šinka, K.: *Využitie rozšírenia Hydrotools 1.0 pre ArcView GIS 3.x*. In: 9. stretnutie užívateľov produktov IDRISI a ESRI: zborník príspevkov a prezentácií [CD-ROM]. Technická univerzita: Zvolen, 2008. ISBN 978-80-228-1875-9.
- [10] Williams, J. R.: *Sediment delivery ratio determined with sediment and runoff models*. 1977, In. Janeček a kol., 1992.
- [11] Wischmeier, W. H., Smith, D.D.: *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, no. 537, 58 pp.