ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 176 - 183

POSÚDENIE ÚČINNOSTI PROTIERÓZNEJ OCHRANY NA VYBRANOM ÚZEMÍ V POVODÍ MYJAVY

Zuzana Studvová, Kamila Hlavčová, Katarína Kotríková, Veronika Morvayová

Príspevok sa zameriava na odhad intenzity vodnej erózie pôdy a následný návrh vhodného protierózneho opatrenia na vybranom území v rámci povodia Myjavy. Analyzuje a zhodnocuje aktuálny stav erózie pôdy na povodí Svacenického jarku pomocou Univerzálnej rovnice straty pôdy v kombinácii s modelom USLE 2D a modelom SDR na odhad odnosu sedimentov z povodia. Keďže výsledné hodnoty straty pôdy prekračovali prípustné hodnoty, na povodí bol urobený návrh protieróznych opatrení pásovým pestovaním plodín. Pri pásovom pestovaní plodín boli navrhnuté 2 alternatívy pestovania chránených pásov s ochrannými (vsakovacími pásmi). Zhodnotenie účinnosti navrhnutých protieróznych opatrení aj z hľadiska zníženia odtoku z povodia bolo urobené metódou SCS-CN. Odhadli sme aj zníženie celkového odnosu pôdnych častíc z územia pre jednotlivé alternatívy pásového pestovania plodín.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: vodná erózia pôdy, Univerzálna rovnica straty pôdy, USLE 2D, pásové pestovanie plodín

EVALUATING EFFECTIVENESS OF EROSION CONTROL ON THE SELECTED AREA IN THE MYJAVA BASIN. This paper focuses on the assessment of the intensity of soil erosion by water and the subsequent design of suitable erosion control measures on the selected areas in the Myjava catchment. For the analysis of soil loss and sediment transport on the Svacenický Creek basin the Universal Soil Loss Equation and the USLE 2D with the SDR model were applied. Because the resulting values of the soil loss exceeded values of tolerance soil loss the erosion control measure by strip cropping was designed. Strip cropping is based on altering the crop strips with protective (infiltration) strips. Effectiveness of protective (infiltration) strips for reducing runoff from the basin by the SCS-CN method was estimated, too. For two alternatives of strip cropping the decrease of sediment transport from the Svacenický Creek was analysed.

KEY WORDS: soil erosion by water, Universal Soil Loss Equation, USLE 2D, strip cropping

Úvod

Vodná erózia pôdy je čoraz častejšie skloňovaným pojmom nielen vo svete, ale aj u nás. Zaraďujeme ju k významným degradačným procesom pôdy, ktorý spôsobuje nielen zhoršenie jej kvality a úrodnosti, ale môže spôsobiť aj úplnú stratu pôdneho profilu. Aj keď vodná erózia pôdy najmä na poľnohospodársky využívaných pozemkoch predstavuje proces, ktorému nie je možné úplne zabrániť, vhodnými agrotechnickými, organizačnými či stavebno-technickými opatreniami je možné jej intenzitu značne redukovať. Jedným z mnohých regiónov na Slovensku, ktoré sú eróziou pôdy výrazne ohrozované, je aj oblasť Myjavskej pahorkatiny. Príčinami zrýchlenej erózie pôdy a s ňou súvisiacim intenzívnym odnosom pôdnych častíc, často spojeným s bahennými povodňami, je najmä intenzívne poľnohospodárstvo, využívajúce aj svahovité územia ako ornú pôdu. Predložený príspevok sa zaoberá posúdením intenzity erózie pôdy na povodí Svacenického jarku, s cieľom navrhnúť vhodné protierózne opatrenia na zníženie straty pôdy a transportu pôdnych častíc z povodia. V metodickej časti príspevku opisujeme použité metódy pre kvantifikáciu straty pôdy, ako aj metódu použitú na výpočet transportu sedimentov z povodia, a metodiku SCS-CN, použitú na hodnotenie účinnosti protieróznych opatrení na zníženie odtoku z povodia. Vo výsledkovej časti sme kvantifikovali stratu pôdy a transport sedimentov z povodia a navrhli protierózne opatrenia pásovým pestovaním plodín. Následne sme

metódou SCS-CN posúdili účinnosť protieróznych opatrení na zníženie odtoku z povodia, ako aj na odnos sedimentov do poldra, vybudovaného v dolnej časti povodia Svacenického jarku.

Materiál a metódy

Kvantifikácia straty pôdy vodnou eróziou

Na kvantifikáciu intenzity rozrušovania pôdnych častíc a ich transportu vodnou eróziou pôdy v súčastnosti existuje a vyvíja sa veľké množstvo empirických, koncepčných, ako aj fyzikálne orientovaných matematických modelov. Napriek svojmu empirickému charakteru sa najmä vďaka pomerne jednoduchému určeniu vstupných údajov a parametrov u nás aj vo svete stále široko využíva „Univerzálna rovnica straty pôdy“ podľa Wischmeiera a Smitha (1978), ktorá bola vyvinutá ako metóda na výpočet priemernej ročnej straty pôdy z pozemku alebo erózne uzavretého celku. Priemerná ročná strata pôdy sa v Univerzálnej rovnici straty pôdy určuje ako funkcia šiestich eróznych faktorov, ktoré v sebe zahŕňajú vplyv eróznej účinnosti dažďa, pôdnych a topografických vlastností pozemku, charakteristík pôdneho krytu, ako aj prípadných protieróznych opatrení:

$$G = R \,.\, K \,.\, L \,.\, S \,.\, C \,.\, P \qquad (1)$$

kde G je priemerná ročná strata pôdy [t.ha^{-1}.rok^{-1}], R je faktor eróznej účinnosti dažďa [MJ.ha^{-1}cm.h^{-1}], K je faktor náchylnosti pôdy na eróziu [t.ha^{-1}.rok^{-1}], L je faktor neprerušenej dĺžky svahu [-], S je faktor sklonu svahu [-], C je faktor ochranného vplyvu vegetácie [-] a P je faktor vplyvu protieróznych opatrení [-]. Faktor R sa určuje zo skutočných erózne účinných dažďov na základe ich kinetickej energie a maximálnej 30 min intenzity, faktor K sa určuje na základe textúry, štruktúry, vlhkosti pôdy a obsahu organických látok, faktor L sa určuje ako funkcia neprerušenej dĺžky svahu, faktor S ako funkcia sklonu svahu, faktory C a P sa určujú na základe tabuľkových hodnôt.

Limity a obmedzenia Univerzálnej rovnice straty pôdy, ktoré vyplývajú nielen z jednoduchej štuktúry modelu, ale aj zo spôsobu určenia eróznych faktorov, sa postupne snažili zmierniť niektoré jej modifikácie, ako napr. RUSLE (Renard et al., 1997) alebo USLE 2D (Van Oost, Govers, 2000). Model USLE 2D prináša inováciu o priestorovo - premenlivý kombinovaný topografický faktor dĺžky a sklonu svahu LS. Kombinovaný faktor LS sa odvodzuje pre erózne uzavreté pozemky (parcely) na základe rastrového digitálneho modelu reliéfu. Rastrová štruktúra digitálneho modelu reliéfu umožňuje zohľadniť jednak premenlivosť sklonu svahu v jednotlivých bunkách štvorcovej siete územia, jednak narastanie dĺžky svahu v smere povrchového odtoku od rozvodnice, resp. od hornej hranice pozemku po dolnú hranicu pozemku. Narastajúca dĺžka svahu je v modeli USLE 2D nahradená jednotkovou prispievajúcou plochou územia podľa viacerých algoritmov.

Základný vzťah pre vyjadrenie vzájomného pôsobenia dĺžky a sklonu svahu je vyjadrený rovnicou podľa Fostera a Wischmeiera z roku 1974, kde je topografický faktor pre nepravidelný svah definovaný ako:

$$LS = \sum_{j=1}^{N} \frac{S_j \lambda_j^{m+1} - S_j \lambda_{j-1}^{m+1}}{\left(\lambda_j - \lambda_{j-1}\right)(22{,}13)^m} \qquad (2)$$

kde
Sj - sklon svahu pre j - ty element (m/m),
λj - vzdialenosť medzi dolnou a hornou hranicou j - teho elementu svahu (m).

Po rozšírení rovnice na trojrozmernú topografiu dostaneme vzťah:

$$LS = \sum_{i,j} \frac{S(i,j)\lambda(i,j)_{outlet}^{m+1} - S(i,j)\lambda(i,j)_{inlet}^{m+1}}{\left(\lambda(i,j)_{outlet}^{m+1} - \lambda(i,j)_{inlet}^{m+1}\right)(22{,}13)^m} \qquad (3)$$

kde
LS - topografický faktor v USLE 2D pre jednu parcelu alebo celé povodie,
$\lambda\,(i,j)_{inlet}$ - dĺžka svahu na vstupe pre i, j - tu bunku (m),
$\lambda\,(i,j)_{outlet}$ - dĺžka svahu na výstupe pre i, j - tu bunku (m),
S (i,j) - faktor sklonu svahu pre i, j - tu bunku,
m - exponent dĺžky svahu.

Faktor sklonu svahu pre jednotlivé bunky vyjadrujú jednotlivé algoritmy podľa viacerých autorov (Van Oost, Govers, 2000):

1. Vzťah podľa Wischmeiera a Smitha (1978):

$$S(i,j) = 65{,}41\sin^2\Theta_{i,j} + 4{,}56\sin\Theta_{i,j} + 0{,}065 \qquad (4)$$

2. Vzťah podľa McCoola (1978, 1989) využívaný aj v RUSLE:

$$S(i,j) = 10.8.\sin\theta i,j + 0.03 \text{ kde } \theta i,j \le 9\% \qquad (5)$$

$$S(i,j) = 16.8.\sin\theta i,j - 0.5 \text{ kde } \theta i,j > 9\% \qquad (6)$$

3. Goversovo vyjadrenie na podklade terénnych dát z roku 1991:

$$S(i,j) = (\tan\theta_{i,j} / 0.09)^{1.45} \qquad (7)$$

4. Nearing v roku 1997 navrhol jednoduchú funkciu pre faktor sklonu svahu:

$$S = -1{,}5 + \frac{17}{\left(1 + e^{[2{,}3-6{,}1\sin(\Theta)]}\right)} \qquad (8)$$

Kvantifikácia transportu sedimentov

Vzhľadom na to, že ani Univerzálna rovnica straty pôdy, ani model USLE 2D neobsahujú v sebe transportnú zložku, na odhad transportu sedimentov z povodia bola použitá rovnica SDR (sediment delivery ratio), ktorá vyjadruje pomer medzi celkovou ročnou stratou pôdy a ročným množstvom splavenín:

$$SDR = 1{,}366.10^{-11}.F^{-0{,}0998}.RP^{0{,}3629}.CN^{5{,}444} \quad (9)$$

kde
F - plocha povodia [km^2],
RP - reliéfový pomer [m/km] – (výškový rozdiel medzi najnižšou a priemernou výškou rozvodnice a najväčšou diaľkou odtokovej dráhy v povodí),
CN - číslo odtokovej krivky (priemerná hodnota pre povodie).

Pásové pestovanie plodín

Pri návrhu opatrení na zníženie erózie pôdy a odnosu sedimentov sme navrhli pásové pestovanie plodín, ktoré patrí medzi agrotechnické protierózne opatrenia. Jeho princíp spočíva v striedaní tzv. chránených pásov, ktoré predstavuje pestovaná plodina, s tzv. ochrannými alebo vsakovacími pásmi, ktoré predstavuje plodina alebo vegetačný kryt s vysokým ochranným protieróznym účinkom. Takýto účinok zabezpečujú najmä viacročné plodiny ako sú napr. ďatelinotrávnaté porasty alebo trávnaté porasty. Pri návrhu pásov treba dodržať ich situatívne usporiadanie tak, aby boli svojou dlhšou stranou rovnobežné s terénom. Šírka pásov je v tomto prípade totožná s dĺžkou svahu na jednotlivých pásoch, pričom šírka chránených pásov nesmie prekročiť kritickú dĺžku svahu (Holý, 1978). Kritickú dĺžku svahu L_K, ktorá určuje hranicu medzi prípustnou (neškodlivou) a neprípustnou (škodlivou) formou erózie je možné vyjadriť pomocou Univerzálnej rovnice straty pôdy (Heinige a kol., 1995):

$$L = Gp / R \,.\, K \,.\, S. \, C \,.\, P \rightarrow L_K = 22{,}13 \,.\, L^2 \quad (10)$$

kde Gp je prípustná strata pôdy [t.ha^{-1}.rok^{-1}], L_k je kritická dĺžka svahu [m]. Ostatné členy rovnice sú opísané vo vzťahu (1).

Hodnotenie účinnosti protieróznych opatrení metódou SCS-CN

Na jednoduché ohodnotenie účinnosti navrhovaných protieróznych opatrení sme použili metódu čísiel odtokových kriviek SCS-CN (U.S. Soil Conversation Service, 1972). Ide o empirickú metódu, ktorá bola odvodená pre výpočet priameho odtoku zo zrážok najmä pre malé, poľnohospodárky obhospodarované povodia. Používa sa aj pre výpočet návrhových prietokov z malých povodí pri nedostatku alebo absencii priamych pozorovaní. Na rozdiel od iných empirických metód na výpočet návrhových prietokov, založených na konštantnom súčiniteli odtoku, metóda SCS-CN vychádza z čísiel odtokových kriviek CN, ktoré vyjadrujú retenčnú schopnosť povodia. Číslo CN je závislé od hydrologických vlastností pôdy, charakterizovaných ich vsakovacou schopnosťou, od pôdneho krytu a spôsobu obrábania pôdy, a od vlhkostného stavu pôdy charakterizovaného predchádzajúcimi zrážkami. Hodnota čísla CN môže byť v absolútnom rozsahu od 0 po 100.
Výpočet priameho odtoku podľa metódy SCS-CN pre jednotlivú zrážkovo-odtokovú udalosť vychádza z predpokladu, že pomer medzi maximálnou a skutočnou veľkosťou strát na povodie je rovnaký ako je pomer medzi objemom odtoku a objemom zrážok, ktorý je zmenšený o počiatočnú stratu. Výška priameho odtoku sa potom vyjadrí ako funkcia príčinných zrážok, počiatočnej straty a maximálnej potenciálnej retencie povodia podľa vzťahu:

$$H_0 = \frac{(H_Z - I_a)^2}{H_Z - I_a + A} \quad (11)$$

kde je:
H_O - výška priameho odtoku [mm],
A - maximálna potenciálna retencia povodia [mm],
H_Z - výška príčinných zrážok [mm],
I_a - počiatočná strata (retencia) na povodí v dobe, keď ešte nedochádza k tvorbe odtoku [mm].

Hodnotu počiatočnej straty uvažujeme ako súčin koeficienta počiatočnej straty λ a maximálnej potenciálnej retencie povodia A. V pôvodnej metodike SCS-CN sa predpokladá konštantná hodnota koeficienta λ = 0,2.

Maximálna potenciálna retencia povodia závisí od hodnoty čísla CN:

$$A = \frac{25400 - 254.CN}{CN} \quad (12)$$

Pri aplikovaní metódy SCS-CN na výpočet návrhového prietoku v záverečnom profile povodia sme predpokladali, že povodie je zasiahnuté príčinnými zrážkami s rovnakou štatistickou významnosťou, ako je návrhový prietok a s dobou trvania rovnou dobe koncentrácie odtoku z povodia. Pre výpočet doby koncentrácie odtoku z povodia sme po testovaní viacerých vzťahov zvolili výpočet podľa Institut for Geo-Information Science and Earth Observation (IL WIS) (Schwab et al., 1993):

$$Tc = 0{,}0195.L^{0{,}77}.S^{-0{,}385} \text{ [min]} \quad (13)$$

kde
L - dĺžka hlavného toku [m],
S - priemerný sklon toku [m/m].

Zároveň sme vychádzali z predpokladu, že sa na objeme odtokovej vlny budú podieľať celé návrhové zrážky bez straty, preto sme koeficient počiatočnej straty λ uvažovali rovný 0 (Hawkins, et al., 2008; Spál, 2013).
Objem odtokovej vlny bol vypočítaný podľa vzorca:

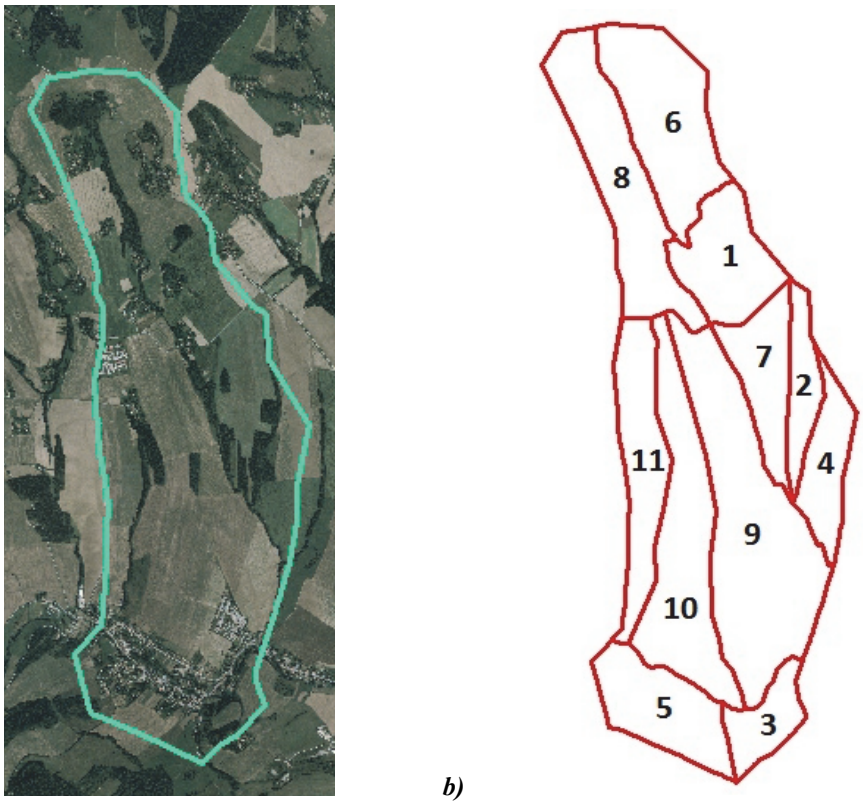
$$V = Ho \,.\, F \,.\, 10^3 \ [m^3] \qquad (14)$$

kde
Ho - výška priameho odtoku [mm],
F - plocha povodia [km^2].

Pri výpočte kulminačného prietoku sme predpokladali, že odtoková vlna ma trojuholníkový tvar, kde jej vzostupná vetva sa rovná dobe koncentrácie T_c a zostupná vetva má hodnotu rovnú dvojnásobku dobe koncentrácie, teda $2.T_c$.

Opis povodia a vstupné údaje

Záujmové územie pre odhad intenzity erózie pôdy a návrh protieróznych opatrení tvorilo povodie Svacenického jarku po svoj záverečný profil, ktorý sme predpokladali na začiatku poldra, vybudovaného na toku v dolnej časti povodia. Svacenický jarok predstavuje pravostranný prítok rieky Myjavy v oblasti Myjavskej pahorkatiny, s dĺžkou 5,4 km a je tokom IV. rádu. Plocha povodia má rozlohu 8,61 km^2. Takmer celé územie je využívané ako orná pôda, s výnimkou malej plochy lesných porastov, heterogénnych poľnohospodárskych areálov a urbanizovaného územia.
Pre riešenie úlohy boli využité najmä digitálne mapové podklady, a to rastrový digitálny model reliéfu s veľkosťou bunky 20 x 20 m, mapa druhov pôd a mapa využitia územia. Z uvedených vrstiev boli v prostredí GIS geografickými analýzami a mapovou algebrou odvodené vstupné faktory do Univerzálnej rovnice straty pôdy a USLE 2D ako priestorové vrstvy. Hodnora faktora eróznej účinnosti dažďa bola určená pre dané územie podľa Alenu hodnotou R = 30, mapa faktora K bola určená podľa mapy druhov pôdy. Hodnoty faktora S a L, ako aj združeného topografického faktora LS boli určené pre erózne uzavreté celky z digitálneho modelu reliéfu. Faktor C bol určený pre jednotlivé druhy porastov a plodiny z tabuľkových hodnôt a faktor P sme predpokladali P = 1 pre doteraz žiadne neaplikované protierózne opatrenia. Na základe identifikácie líniových prvkov z ortofotomapy (rozvodnica, údolnice, vodné toky a cesty) bolo pre hodnotenie straty pôdy vyčlenených 11 erózne uzavretých celkov. Na obr. 1 sú znázornené erózne uzavreté celky na povodí Svacenického jarku.



Obr. 1. a) Ortofoto mapa povodia Svacenického potoka a b)erózne uzavreté celky.
Fig. 1. a) Ortho photo map of the catchment of Svacenický Creek and b) erosion closed areas.

Výsledky a diskusia

Kvantifikácia straty pôdy

Strata pôdy na povodí bola kvantifikovaná Univerzálnou rovnicou straty pôdy a modelom USLE 2D podľa viacerých algoritmov určenia topografického faktora LS. Výsledky predstavovali priestorové mapy priemernej ročnej hodnoty straty pôdy v rastrovej forme s veľkosťou bunky 20 x 20 m. Priemerné hodnoty pre každý erózne uzavretý celok boli určené mapovou algebrou v prostredí GIS. V tab. 1 uvádzame hodnoty vypočítané pre jednotlivé erózne uzavreté celky pomocou Univerzálnej rovnice straty pôdy pre viaceré predpokladané pestované plodiny charakterizované rozdielnym ochranným faktorom vegetácie C, v tab. 2 uvádzame hodnoty priemernej ročnej straty pôdy podľa modelu USLE 2D pre pšenicu s faktorom C = 0,2.

Priemerné ročné hodnoty faktora C sme predpokladali nasledovne: C = 0,05 kukurica na zrno (po obilnine, siata do strniska), C = 0,08 ovos (po obilnine, siaty do strniska), C = 0,10 ovos (po okopanine, siaty pri ľubovoľnej agrotechnike), C = 0,11 repka ozimná (po obilnine, siata do strniska), C = 0,12 pšenica ozimná (po okopanine, siata pri ľubovoľnej agrotechnike), C = 0,13 jačmeň jarný (v prvom roku po ďateline, siaty do zoranej pôdy), C = 0,17 raž (v prvom roku po ďateline, siata do zoranej pôdy), C = 0,25 kukurica na zrno (siata pri ľubovoľnej agrotechnike), C = 0,44 cukrová repa (siata pri ľubovoľnej agrotechnike), C = 0,61 kukurica na zrno (siata do zoranej pôdy).

Z dosiahnutých výsledkov straty pôdy pre jednotlivé erózne uzavreté celky vidieť, že všetky hodnoty s výnimkou špeciálnych agrotechnických postupov (siatie do strniska, C = 0,05 a C = 0,08) prekračovali prípustnú stratu pôdy pre stredne hlboké pôdy 4 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$.

Tabuľka 1. Strata pôdy G [$tha^{-1}rok^{-1}$] podľa Univerzálnej rovnice straty pôdy
Table 1. Soil loss G [$tha^{-1}year^{-1}$] by the Universal Soil Loss Equation

Celok	Faktor ochranného vplyvu vegetácie C [-]									
	0,05	0,08	0,1	0,11	0,12	0,13	0,17	0,25	0,44	0,61
	Strata pôdy G [$t.ha^{-1}rok^{-1}$] pre erózne uzavreté celky									
1	3,12	4,99	6,24	6,86	7,48	8,11	10,60	15,59	27,44	38,04
2	2,54	4,06	5,08	5,59	6,10	6,60	8,64	12,70	22,35	30,98
3	8,00	12,80	16,00	17,60	19,20	20,80	27,21	40,01	70,41	97,62
4	2,70	4,33	5,41	5,95	6,49	7,03	9,20	13,52	23,80	33,00
5	5,34	8,55	10,68	11,75	12,82	13,89	18,16	26,71	47,01	65,17
6	7,61	12,17	15,21	16,73	18,25	19,78	25,86	38,03	66,93	92,79
7	2,30	3,69	4,61	5,07	5,53	5,99	7,83	11,52	20,27	28,10
8	2,97	4,75	5,94	6,53	7,13	7,72	10,10	14,85	26,14	36,24
9	2,52	4,02	5,03	5,53	6,04	6,54	8,55	12,58	22,14	30,69
10	4,81	7,70	9,63	10,59	11,55	12,52	16,37	24,07	42,36	58,73
11	2,02	3,23	4,04	4,44	4,85	5,25	6,86	10,09	17,77	24,63

Tabuľka 2. Strata pôdy pôdy G [$tha^{-1}rok$] podľa Usle 2D pre pšenicu C = 0,2
Table 2. Soil loss G [$tha^{-1}year^{-1}$] by the Usle 2D for the wheat C = 0.2

Celok	Govers	McCool	Nearing (McCool)	Nearing (Wischmeier Smith)	Wischmeier Smith
1	19,38	9,81	9,43	8,63	9,05
2	7,13	3,93	3,80	3,98	3,75
3	27,35	17,06	17,12	13,15	16,87
4	15,01	8,98	8,57	7,32	8,16
5	19,57	11,85	11,43	9,46	11,11
6	45,67	25,23	24,36	17,62	21,59
7	16,69	7,98	7,64	7,15	7,33
8	18,83	10,93	10,50	8,66	9,86
9	19,36	10,10	9,65	8,51	9,17
10	24,67	13,59	13,13	10,36	12,06
11	13,70	7,38	7,04	6,48	6,78

Odnos pôdnych častíc do záverečného profilu povodia sme vypočítali na základe rovnice (9), podľa ktorej sme odhadli pomer (SDR) medzi celkovou ročnou stratou pôdy z povodia a ročným množstvom transportovaných sedimentov. Číslo CN sme pre pôvodný stav povodia pred návrhom protieróznych opatrení odhadli hodnotou CN = 71,9. Celkovú ročnú hodnoty straty pôdy sme uvažovali ako sumu straty pôdy z jednotlivých erózne uzavretých celkov pri predpoklade pestovaných plodín na ornej pôde s C = 0,25 (kukurica siata na zrno pri ľubovoľnej agrotechnike). Stratu pôdy na erózne uzavretých celkoch sme uvažovali ako priemernú hodnotu vypočítanú podľa Univerzálnej rovnice straty pôdy a USLE 2D, pričom sme z výpočtov pre vysoké hodnoty straty pôdy vylúčili výsledky dosiahnuté podľa Goversa. Výsledky výpočtov sú uvedené v tab. 3.

Návrh protieróznych opatrení

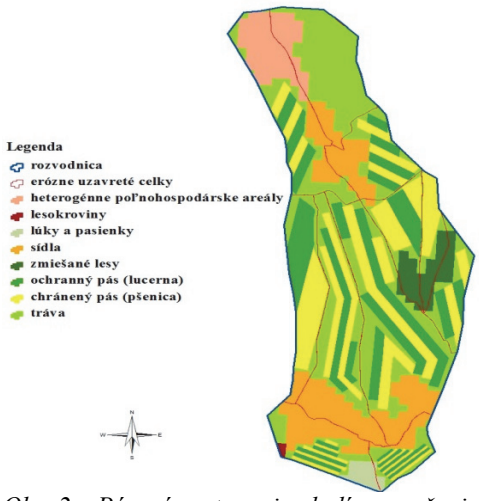
Na zníženie straty pôdy na prípustnú hodnotu 4 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ sme ako protierózne opatrenie zvolili pásové pesto vanie plodín, založené na striedaní chránených a ochranných (vsakovacích pásov). Pri návrhu boli dodržané základné princípy tohto opatrenia, ktoré predpokladajú, že šírky chránených pásov by nemali prekračovať kritickú dĺžku svahov L_K. Šírky ochranných (vsakovacích pásov) boli z prevádzkových dôvodov navrhnuté rovnaké ako šírky chránených pásov. Na obr. 2 a 3 ilustrujeme návrhy urobené pre dve alternatívy. Prvá alternatíva predstavovala kombináciu chránených pásov s pestovanou plodinou pšenicou ozimnou a ochranných pásov s lucernou, druhá alternatíva bola navrhnutá kombináciou viacerých plodín, pričom na chránených pásoch bola navrhnutá kukurica na zrno s C=0,05 (siata do strniska), ovos s C=0,08 a jačmeň jarný C=0,13 v kombinácii s ochrannými pásmi s lucernou.

Zhodnotenie účinnosti protieróznych opatrení na zníženie odtoku z povodia

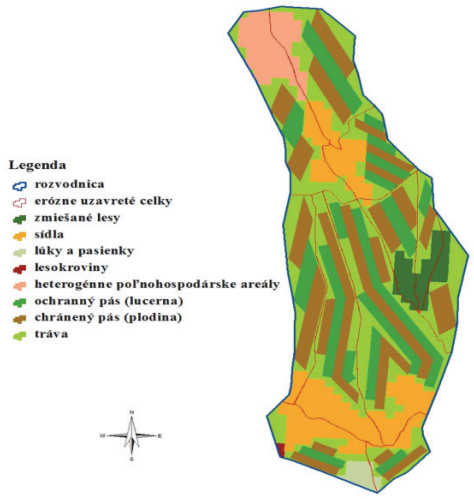
V ďalšom kroku boli navrhnuté opatrenia zhodnotené aj z hľadiska ich účinnosti na zníženie odtoku z povodia. Hodnotenie bolo urobené metodikou pre výpočet priameho odtoku podľa metódy SCS - CN kriviek. Pri analýzach bola využitá metodika SCS – CN s tabuľkovými hodnotami CN pre vlhkostný stav II. Pre výpočet návrhových prietokov z návrhového dažďa sme predpokladali koeficient počiatočnej straty $\lambda = 0$. Pre navrhované protierózne opatrenia sme odhadli pre prvú alternatívu pásového pestovania plodín CN = 67,08 a pre druhú alternatívu CN = 68,19. Dobu koncentrácie odtoku sme vypočítali podľa vzťahu (13) Tc = 4315,2 s. Hodnoty návrhových zrážok pre trvanie rovné dobe koncentrácie odtoku z povodia boli odvodené z denných návrhových zrážok v stanici Myjava jednoduchým škálovaním podľa Majtánová (2015). V práci sme uvažovali s návrhovými zrážkami s dobou opakovania 100, 20 a 10 rokov. Výsledné hodnoty výpočtov sú uvedené v tabuľke 4.
Zároveň sme na základe novoodhadnutých čísiel CN vypočítali zmenu transportu celkového množstva sedimentov z povodia. Výsledky výpočtov sú uvedené v tab. 5.

Tabuľka 3. Výpočet priemerného ročného odnosu pôdnych častíc (sedimentov) [$t.rok^{-1}$]
Table 3. Quantification of the mean annual sediment transport [$t.year^{-1}$]

F [km^2]	RP [m/km]	CN	SDR	Strata pôdy [$t.rok^{-1}$]	Celkový odnos [$t.rok^{-1}$]
8,61	20,94	71,29	0,407	19 966,1	8 126,199



Obr. 2. Pásové pestovanie plodín pre pšenicu.
Fig. 2. Strip cropping for wheat.



Obr. 3. Pásové pestovanie plodín pre 3 plodiny.
Fig. 3. Strip cropping for 3 crops.

Tabuľka 4. Výpočet návrhových prietokov v záverečnom profile povodia
Table 4. Design floods in the basin outlet

	Doba	Hz_N [mm]	Ho [mm]	V [m^3]	Q_N [m3/s]
Pôvodné CN = 71,29	100	32,31	7,756	66777,19	10,317
	20	26,25	5,361	46155,07	7,131
	10	23,53	4,400	37887,26	5,853
Plodiny CN = 67,08	100	32,31	6,651	59604,58	8,847
	20	26,25	4,566	40989,94	6,074
	10	23,53	3,736	33566,16	4,970
Pšenica CN = 68,19	100	32,31	6,923	57263,98	9,208
	20	26,25	4,761	39315,68	6,333
	10	23,53	3,899	32169,96	5,186

Tabuľka 5. Priemerný ročný odnos pôdnych častíc [$t.rok^{-1}$]
Table 5. Mean annual sediment transport [$t.year^{-1}$]

CN	SDR	Strata pôdy [$t.rok^{-1}$]	Odnos sedimentov [$t.rok^{-1}$]
Pôvodné CN = 71,29	0,407	19 966,1	8 126,199
Plodiny, CN = 67,08	0,292	19 966,1	5 830,099
Pšenica, CN = 68,19	0,319	19 966,1	6 369,183

Záver

Na vybranom území v rámci povodia Myjavy bol urobený odhad vodnej erózie pôdy a transportu sedimentov z povodia, s následným návrhom protieróznych opatrení. Pre výpočet straty pôdy boli použité dva jednoduché modely – Univerzálna rovnica straty pôdy a model USLE 2D s algoritmami výpočtu LS podľa viacerých autorov, v kombinácii s rovnicou SDR na výpočet celkového odnosu sedimentov z povodia. Výpočty boli urobené v prostredí GIS pre jednotlivé erózne uzavreté celky, identifikované na povodí na základe líniových prvkov, ako sú vodné toky, cesty, rozvodnica povodia a údolnice. Uvažovali sme s viacerými druhmi pestovaných poľných plodín na ornej pôde, charakterizovanými ochranným faktorom vegetácie C.

Výsledky straty pôdy uvedenými metódami sa ukázali ako pomerne konzistentné, s výnimkou výpočtov podľa Goversa, ktorý predpokladá aj ryhovú formu erózie pôdy. Tieto sme preto pre vysoké hodnoty straty pôdy z ďalších výpočtov vylúčili. Celkovú stratu pôdy z povodia sme určili ako sumu straty pôdy na jednotlivých erózne uzavretých celkoch, ktorú sme vypočítali ako priemernú hodnotu z jednolivých modelov. Keďže hodnoty straty pôdy podľa všetkých metód výrazne prekračovali prípustnú hodnotu straty pôdy pre stredne hlboké pôdy, bol navrhnutý spôsob protieróznej ochrany územia pásovým pestovaním plodín pre 2 rôzne alternatívy kombinácie plodín. Pásové pestovanie plodín je založené na striedaní chránených a ochranných (vsakovacích pásov), ktoré zabezpečujú zníženie povrchového odtoku a zadržanie sedimentov z vyššie položeného pásu. Následne sme preto ohodnotili účinnosť týchto opatrení na zníženie návrhových prietokov z povodia. Hodnotenie bolo urobené metodikou pre výpočet priameho odtoku podľa metódy SCS - CN kriviek. Pri analýzach bola využitá pôvodná metodika SCS - CN s koeficientom počiatočnej straty $\lambda = 0$ a s tabuľkovými hodnotami CN pre vlhkostný stav II. Hodnoty návrhových zrážok pre trvanie rovné dobe koncentrácie odtoku z povodia boli odvodené z denných návrhových zrážok v stanici Myjava jednoduchým škálovaním. Uvažovali sme s návrho-vými zrážkami s dobou opakovania 100, 20 a 10 rokov.

Z výsledkov vyplynulo, že pre 1. alternatívu pásového pestovania plodín sa 100, 20 aj 10 ročné návrhové prietoky znížili približne o 14 až 15 % oproti pôvodnému stavu, pre 2. alternatívu pásového pestovania sa návrhové prietoky znížili približne o 11 % oproti pôvodnému stavu.

Na záver je potrebné uviesť, že všetky modely a metodické postupy využité v práci sú pomerne jednoduché, založené na empirických a koncepčných vzťahoch, z čoho môžu vyplývať aj prípadné neistoty dosiahnutých výsledkov. Napriek tomu sme v práci chceli ukázať pomerne jednoduchý konzistentný prístup využiteľný v praxi na ohodnotenie miery ohrozenosti územia vodnou eróziou pôdy, návrh agrotechnických protieróznych opatrení, ako aj ohodnotenie účinnosti týchto opatrení na zníženie odnosu pôdnych častíc a zníženie odtoku z povodia.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR rámci projektu č. VEGA 1/0710/15 a Európskou komisiou v rámci projektu 7RP RECARE, kontrakt č. 603498.

Literatúra

Danko, M. (2011): Modelovanie povodňovej vlny pre návrhy protipovodňových opatrení. Dizertačná práca. Bratislava

Hawkins, R.H., Ward, T.J., Woodward, D.E., Van Mullem, J.A. (2008): Curve Number Hydrology – State of the Practice. ASCE, ISBN 978-07844-1004-2, 106 pp.

Heinige, V., Hlavčová, K., Bacúrik, I. (1995): Ochrana a organizácia povodia. Návody na cvičenia. Bratislava, STU, ISBN 80-227-0747-3

Holý, M. (1978): Protierozní ochrana. Praha, SNTL/ALFA , 283 s.

Majtánová, N. (2015): Analýza extrémnych odtokových situácií na povodí Svacenického jarku. Bakalárska práca. Bratislava

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). Handbook 703. US Department of Agriculture: Washington.

Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., Freveret, R.K. (1993): Soil and water conservation engineering. John Wiley & Sons, Inc., New York, 507 pp.

Spál, P. (2013): Prietokové vlny pre dimenzovanie retenčných priestorov na malých povodiach. Dizertačná práca. Stavebná fakulta STU v Bratislave, 174 s.

U.S. Soil Conservation Service (1972): In: Pilgrim, D., H. (1987): Australian Rainfall and Runoff. A Guide to Flood Estimation, Vol. 1, Institution of Engineers, Australia.

Van Oost, K., Govers, G. (2000): Usle2D Katholieke Universiteit Leuven Information provider: Physical and Regional Geography Research Group [online], [cit. 22.04.2015]. Dostupné na internete: http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/usle2dhome/

Wischmeier W.H. and Smith D.D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses, USDA Agricultural Handbook No. 537.

EVALUATING EFFECTIVENESS OF EROSION CONTROL ON THE SELECTED AREA IN THE MYJAVA BASIN

This paper focuses on the assessment of soil loss, sediment transport by water and the subsequent design of suitable erosion control measures on the Svacenický Creek basin, which is a sub-basin of the Myjava catchment.

For estimation of soil loss from the Svacenický Creek basin two simple empirical erosion models were used – the USLE (Universal Soil Loss Equation) and the USLE 2D model, for estimation of sediment transport the SDR (Sediment Delivery Ratio) method was applied. In the USLE 2D model several algorithms of calculating topographic LS factors were tested. Resulting values of soil loss calculated by both erosion models and all algorithms were provided in GIS in the form of spatially distributed layers. The total soil loss from the basin was determined as the sum of the soil loss from the individual erosion closed units. As the result values achieved by all methods significantly exceeded limit of tolerance soil loss for medium soil depth the erosion control by strip cropping was proposed in two alternatives. The strip cropping is non-technical erosion control which is based on altering the crop strips with protective (infiltration) strips reducing sediment transport and surface runoff from upslope crop strips. Therefore in the next step the effectiveness of erosion control measures for reducing floods from the basin was estimated, too. For this analysis the empirical SCS – CN method with CN values considering different crop alternations was applied. The approach was based on estimating design floods from design rainfalls therefore the coefficient of initial loss λ in the SCS – CN method was supposed equal to 0. Values of design rainfalls with return periods of 100, 20 and 10 years and for duration equal to the time of runoff concentration were derived from design daily rainfalls in the station Myjava by the simple scaling methodology. As it follows from the results in Table 4 and 5 by both alternatives of strip cropping it was possible to decrease the design floods (by 11-14 %) and total amount of sediment transport from the basin.

Acknowledgements

This research was also supported by the Slovak Grant Agency under VEGA project No's 1/0710/15 as also by the European Commission's Seventh Framework project RECARE, Contract No 603498.

Ing. Zuzana Studvová
prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD.
Ing. Katarína Kotríková
Bc. Veronika Morvayová
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave
Radlinského 11
810 05 Bratislava
E-mail: zuzana.studvova@stuba.sk
kamila.hlavcova@stuba.sk
katarina.kotrikova@stuba.sk