

VYUŽITIE MODELOVANIA POVRCHOVÉHO ODTOKU V METODIKE EKOLOGICKEJ ÚNOSNOSTI KRAJINY (NA PRÍKLADE ÚZEMIA POĽNOHOSPODÁRSKEHO DRUŽSTVA OČOVÁ)

Igor GALLAY – Lucia STIERANKOVÁ

Katedra aplikovanej ekológie, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

ABSTRACT

Gallay, I., Stieranková, L.: Utilization of CN curve numbers method in the estimation of carrying capacity of Landscape. (in Očová farm)

The paper deals with incorporation new methods (estimation rain-flow GIS models, CN curve numbers) in evaluation of vulnerability of Landscape physio-top (as part of evaluation carrying capacity of landscape). The rain-flow model was made in GIS SAGA 2.2 with module “Catchment Area / Recursive Upward Processing“. In the paper are samples of eventually interpretations of evaluation vulnerability landscape from rain-flow model.

Key words: CN curve number, carrying capacity of landscape, Očová, Slovakia

ÚVOD

Hodnotenie ekologickej únosnosti krajiny (Hrnčiarová et al., 1997) patrí k základným nástrojom stanovenia únosného zaťaženia územia rôznymi aktivitami človeka bez toho, aby sa zmenili až narušili jej prirodzené vlastnosti a procesy, ako aj kvalita životného prostredia. Je to syntetická účelová vlastnosť hodnotená na základe troch interpretovaných vlastností krajiny:

- zraniteľnosti prírodného prostredia rušivými vplyvmi (antropogénnymi aj prírodnými), ktoré negatívne ovplyvňujú existenciu spoločenských aktivít
- ekologickej významnosti územia
- súčasného zaťaženia prírodného prostredia

Zraniteľnosť prírodného prostredia sa hodnotí voči vybraným potenciálnym vonkajším rušivým (vo vzťahu k spoločenským aktivitám) vplyvom, u ktorých predpokladáme, že sa môžu na území vyskytovať. Pri hodnotení abiotickej časti krajiny sa najčastejšie hodnotí: potenciálny priesak, zaplavovanosť územia povrchovou vodou, podmáčanosť územia podzemnou vodou, erodovateľnosť pôdy vodou a vetrom, ohrozenie zosuvom svahov, lavínami a podobne. Ako vyplýva aj z predchádzajúceho, v našich prírodných podmienkach hrajú významnú úlohu vodou indukované procesy, najmä povrchovo odtekajúcou vodou. Zvýšené množstvo vody či povrchovo odtekajúcej alebo sa na určitom mieste hromadiacej môže ohrozovať viaceré ľudské aktivity. Povrchový odtok spôsobuje eróziu pôdy. Na málo sklonených konkávných plochách môže dochádzať naopak k zanášaniam a zamokreniu povrchovou vodou. Najväčšou hrozbou súvisiacou so zvýšeným povrchovým odtokom sú povodne, ktorých zvýšenej početnosti sme svedkami v posledných rokoch. Veľkosť povrchového odtoku z povodia či prietoku v koryte možno vypočítať viacerými metódami za rôznych predpokladov (Valtýni, 2002, Jakubis, 2002). V predkladanom článku sme sa zamerali na možnosť využitia jednej z nich, metódy odtokových kriviek (CN kriviek), v metodike hodnotenia zraniteľnosti prírodnej krajiny.

Metóda odtokových kriviek

Metóda odtokových kriviek (Chow, 1964, Valtýni, 2002, Antal, 1996, Jakubis, 2002, Závacká, 2002) umožňuje výpočet množstva povrchovo odtekajúcej vody z konkrétnej dažďa. Bola odvodená (Chow, 1964) pre malé povodia, so zväčšujúcou sa veľkosťou povodia sa znižuje presnosť výpočtu. Podľa Valtýni (2002) možno za malé považovať povodia veľkosti približne do 30 km². Hodnota CN sa určuje na základe údajov o (Antal, Igaz, 2003, Jakubis 2002):

- vsakovacích a drenážnych vlastností pôdy hodnoteného územia, pôdy sú zatriedené do štyroch skupín od najviac po najmenej priepustné
- na základe údajov o využití zeme (so zameraním na jeho hydrologickú charakteristiku), spôsobe a intenzite využívania – orná pôda so širokoriadkovými či úzko riadkovými plodinami, krmovinami, terasované alebo nie, s orbou po vrstevnici, lúky a pasienky s akou pokrývnosťou plochy porastom a akej kvality, lesy dobré, zlé, priemerné v závislosti od zápoja, veku, hrúbky povrchového humusu, zemné cesty, spevnené cesty a pod.
- vlhkostného stavu pôdy v čase výskytu hodnotenej zrážky, na základe indexu predchádzajúcich zrážok odvodeného zo zrážkového úhrnu za posledných 5 dní

Z určených hodnôt CN pre každú kombináciu kategórie priepustnosti pôdy a využitia zeme (index predchádzajúcich zrážok a veľkosť zrážky z ktorej odtok počítame považujeme za rovnaké na celom území, keďže ide o malé povodia) vypočítame veľkosť potenciálnej retencie týchto plôch vzťahom:

$$R = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \text{ (mm)}, \text{ kde } R - \text{potenciálna retencia, CN} - \text{zistená}$$

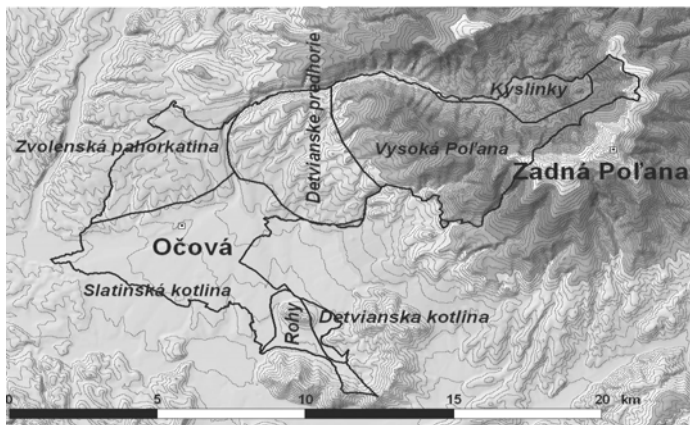
hodnota CN. Odtok zo zrážky začína až po počiatočnej akumulácii určitého množstva zrážok v povodí (intercepcia, infiltrácia, akumulácia na povrchu), ktorá tvorí podľa mnohých experimentálnych meraní v priemere 20% potenciálnej retencie. Na základe toho bol odvodený vzorec na výpočet

$$\text{priameho odtoku z uvažovaného (hodnoteného) dažďa: } H = \frac{(Z - 0,2 \cdot R)^2}{Z + 0,8 \cdot R}$$

(mm), kde H – výška priameho odtoku v mm, Z – úhrn navrhovaného dažďa. Objem priameho odtoku z hodnoteného územia vypočítame: $O = H \cdot S \cdot k$ (m³), kde O – objem priameho odtoku v m³, S – plocha hodnoteného územia v km², k – rozmerový prepočítavací koeficient (k = 1000).

CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA

Poľnohospodárske družstvo Očová leží na území s veľmi rozdielnymi prírodnými pomermi od hornatiny a vrchoviny svahov a kaldery stratovulkánu Poľana cez vrchovinu až pahorkatínu Devianskeho predhoria a Zvolenskej pahorkatiny až pozvlnenú rovinu Slatinskej kotliny (obr. 1).



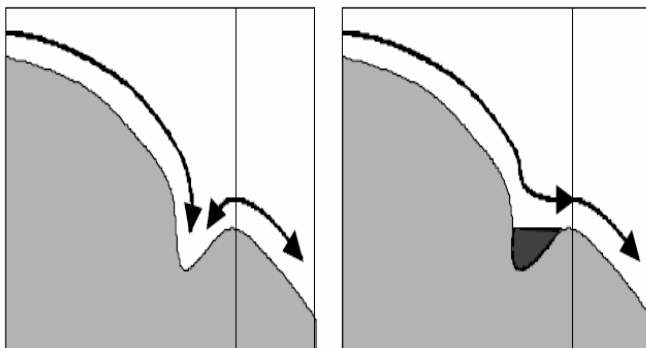
Geologické podložie sa mení od andezitov a ich pyroklastík na svahoch vulkánu a predhoria, cez ryolity a ryodacity často hydrotermálne premenené

v kaldere Poľany, až po neogénne uloženiny rôzneho zrnitostného charakteru vo Zvolenskej kotline. Pôdy sú podmienené geologickým podložím a zmenou nadmorskej výšky, s ktorou sa menia aj klimatické podmienky. Menia sa od luvizemí a pseudoglejov v kotline cez kambizeme až po andozeme v najvyšších polohách územia. Vedľa tokov sa nachádzajú fluvizeme až gleje. Priemerné ročné zrážky stúpajú smerom do vyšších nadmorských výšok od približne 600 - 700 mm v najnižších polohách územia až po 1000 - 1100 mm v polohách najvyšších. Rovnako sa mení s nadmorskou výškou aj priemerná ročná teplota, ktorá klesá od 7 - 8 °C až na 2 - 4 °C v najvyšších polohách.

METODIKA

Práca bola riešená v prostredí geografických informačných systémov ArcView 3.2 a SAGA 2.2. Údaje o pôdach a ich vlastnostiach sme získali pre pôľnohospodársku pôdu z digitálnych máp BPEJ územia poskytnutých VÚPÚ a OP Bratislava (2006) a pre lesnú pôdu z digitálnych lesníckych pôdnych máp (Lesoprojekt, 2006). Pre územie CHKO-BR Poľana spracoval pôdne pomery Sály (2000). Z uvedených mapových podkladov sme zostrojili výslednú mapu pôdnych typov a zrnitosti. Pôdy sme rozdelili do kategórií priepustnosti pôdy na základe práce Antal (1996). Mapu využitia zeme sme vypracovali digitalizovaním údajov zo základných máp (topografických) SSR 1 : 10 000 a aktualizovaním z leteckých snímok územia z roku 2003 (TOPU, 2005) a terénnym mapovaním.

Keďže našim cieľom bolo stanoviť zraniteľnosť, tzn. potenciálnu hodnotu, predpokladali sme dve teoretické verzie obrábania ornej pôdy. Prvý variant s hydrologicky najúčinnnejšou pokrývkou – krmovinami na celej ploche ornej pôdy a druhý variant s najmenej hydrologicky účinným využívaním – širokoriadkovými plodinami. Mapu využitia zeme sme potom prekryli s mapou kategórií priepustnosti pôdy, a pre takto vytvorené jednotky sme určili na základe vyššie citovaných prác hodnoty CN pre všetky tri možné vlhkosťné stavy pôdy. To znamená, že sme vypočítali jednotlivé hodnoty retencie a odtoku pre nenasýtené pôdy (úhrn zrážok za posledných 5 dní bol nízky), pre stredne nasýtené (stredný úhrn zrážok) a pre nasýtené pôdy (vysoký úhrn zrážok za posledných 5 dní). Uvažovaná zrážka, z ktorej sme počítali výšku povrchového odtoku, bola stanovená na 100 mm. V ďalšom kroku sme pristúpili k modelovaniu veľkosti povrchového odtoku pomocou digitálneho modelu reliéfu (DMR), ktorý sme vytvorili interpoláciou výškového bodového poľa metódou regularizovaného splinu.

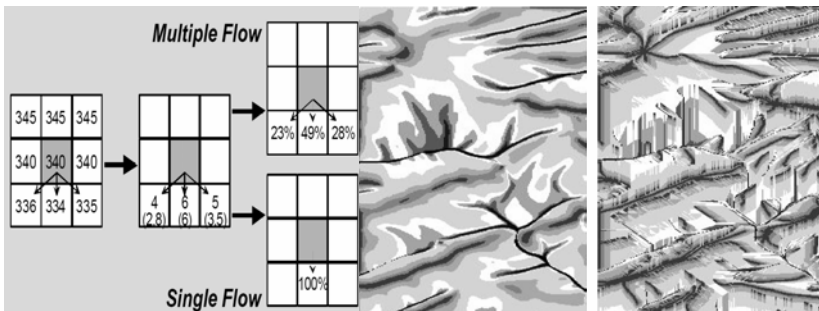


Obr.2 Príklad vzniknutej chyby pri tvorbe DMR a jej oprava. (Schäuble, 2003)

Fig. 2 Example of incurred error at DMR creating and its correction

Výškové bodové pole sme získali prevodom vrstevníc na body. Pri interpolácii však vznikajú drobné chyby, ktoré sa zvyčajne prejavajú až pri modelovaní odtoku. Ide o akési „jamky“, ktoré zapríčiňujú, že modelovaný odtok končí hoci aj v strede svahu v jamke a za ňou začína nový. Tieto jamky je potrebné „zprietočniť“ (obr. 2). Čo sme previedli modulom „Terrain Analysis / Preprocessing“ v programe SAGA 2.2. Následne sme pristúpili k modelovaniu odtoku – jeho integrácie v smere spádnice na DMR. Modelovanie sme vykonali modulom „Catchment Area/ Recursive Upward Processing“ v prostredí SAGA 2.2, čím sme získali mapu veľkosti tzv. prispievajúcej plochy – integrovanej plochy v každom bode svahu. Program vypočíta pre každú bunku „zprietočneného“ DMR množstvo buniek, cez ktoré „pretiekla voda až kým sa dostala do tejto bunky“, teda do každej bunky vloží počet prepojených (zreťazených) buniek v smere spádnice nad touto bunkou – presne povedané spočíta veľkosti prepojených buniek. Ak mám veľkosť rastra 25 m^2 (5×5) a nad danou bunkou sú prepojené v smere spádnice 4 bunky, hodnota v bunke bude 100 m^2 . V modeli je možné pridať ďalšiu vrstvu označovanú ako „váha“. Táto vrstva musí byť vytvorená v identickom rastru ako je DMR, aby bunky oboch vrstiev sa kryli. Ak vo váhovej vrstve je v každej bunke rastra uvedená množstvo povrchovo odtekajúcej vody z danej bunky v mm, model potom počíta povrchový odtok z územia v mm, na základe sčítavania povrchových odtokov z jednotlivých buniek v smere spádnice. Pri výpočte je si možné vybrať z viacerých algoritmov výpočtu odtoku, ktoré možno zadeliť do dvoch skupín. Buď celý odtok z bunky tečie len do jednej nasledujúcej bunky (Single Flow) alebo sa podľa istého „kľúča“, na základe okolitého reliéfu, rozdeľuje aj do okolitých buniek (Multiple Flow). Druhý spôsob vernejšie modeluje realitu, ale je aj časovo náročnejší na výpočet (obr. 3). Územie PD Očová leží na území viacerých čiastkových povodí, pričom tieto

povodia nezahŕňa celé („chýbajú“ niektoré rozvodnicové – chrbtové časti). Preto by bolo potrebné zmapovať využitie zeme a získať informácie o pôdach aj pre tieto časti, čo plánujeme urobiť v blízkej budúcnosti. Z uvedeného dôvodu sme nemohli vypočítať hodnoty CN aj pre tieto časti a pridať tak váhu - veľkosť odtoku z každej bunky do modelu. Preto sme veľkosť odtoku modelovali len na základe veľkosti prispievajúcej plochy (obr. 4). Na základe hodnôt CN sme podľa metodiky vypočítali veľkosť retencie a výšku odtoku z každej plochy pre všetky 3 vlhkostné stavy a 2 varianty využívania ornej pôdy (obr. 5a – b).



Obr. 3 Dve základné skupiny algoritmov výpočtu modelov povrchového odtoku. Na strednom obrázku výsledok Multiple Flow a na obrázku vpravo výsledok Single Flow (Schäuble, 2003)

Fig. 3 Two basic groups of algorithm of surface run-off models enumeration. On the middle figure – the results of Multiple flow and on right figure – the result of Single Flow

Takto získané namodelované hodnoty povrchového odtoku pomocou hodnôt CN a príspevkových plôch sme využili na stanovenie zraniteľnosti územia voči potenciálnemu priesaku, zaplavovanosti územia povrchovou vodou, podmáčanosti. Vypočítané hodnoty retencie sme na základe histogramu rozdelili na tri skupiny – nízke, stredné a vysoké. Taktiež hodnoty veľkosti príspevkových plôch (množstva - veľkosti odtoku) sme rovnakým spôsobom rozdelili na malý odtok, stredný a vysoký. Z DMR sme odvodili funkciu „derive slope“ v prostredí ArcView 3.2. mapu sklonov. Z nej sme vyčlenili plochy so sklonom do 3° a nad 3° . Previedli sme syntézu týchto troch máp a výslednú mapu interpretovali nasledovne: za územie ohrozené zanášaním, podmáčaním a „zamokrovaním“ povrchovou vodou pokladáme svahy so sklonom do 3° , na ktoré je veľký prísun vody a majú (ako aj ich okolie) malú retenciu (zlé infiltračné vlastnosti a pod.), t.j. kategórie veľký odtok a nízka retencia (obr. 6 a 7). Územia náchylné na lineárnu eróziu sme získali vynásobením veľkosti sklonu a veľkosti príspevkovej plochy – čím vyššia hodnota tým väčší predpoklad lineárnej erózie. Získané hodnoty sme znova

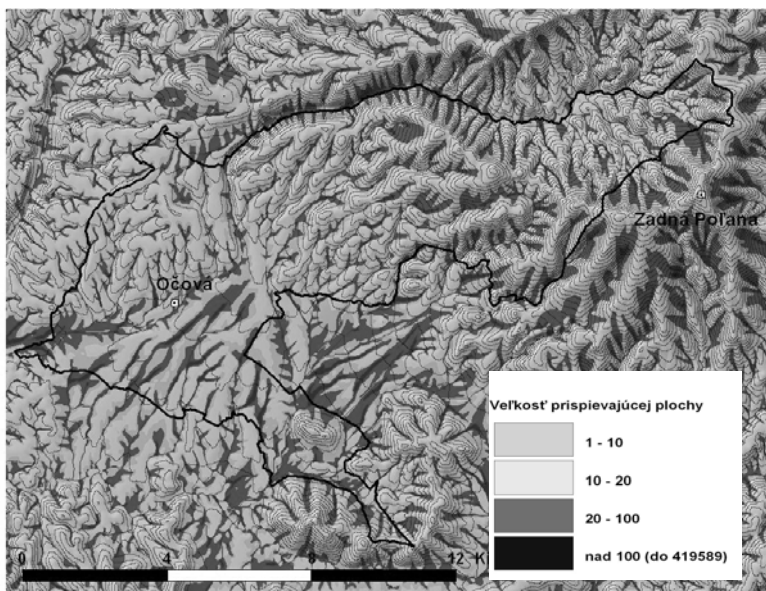
rozdělili na základe priebehu hodnôt v histograme na územie nízkym, stredným a vysokým ohrozením (obr. 7).

VÝSLEDKY

Na obrázkoch 4 až 7 prinášame ukážky možného využitia interpretácie množstva povrchového odtoku vypočítaného pomocou metódy odtokových kriviek a jeho modelovaním z DMR v prostredí GIS, pri hodnotení zraniteľnosti abiotického komplexu. Na obr.4 je mapa priestorovej diferenciacie veľkosti povrchového odtoku v závislosti len od modelácie reliéfu pre širšie okolie PD Očová. Na obr. 5a a 5b naopak prinášame ako sa mení výška odtoku v závislosti na priestorovej diferenciacii priepustnosti pôdy, jej vlhkosti a využívania zeme. Je možné vidieť, že kým vo variante „suchá pôda a využívanie ornej pôdy z hľadiska hydrickej účinnosti najpriaznivejšie“ (A1) tvorí interval výšky odtoku 0 – 20 mm 93 % územia a interval 80 – 100 mm (zo 100 mm privalovej zrážky) sa nevyskytuje, pri variante „mokrú pôda a využívanie ornej pôdy z hľadiska hydrickej účinnosti najpriaznivejšie“ (A3) sa naopak interval 0 – 20 mm nevyskytuje a 60 – 100 mm tvorí 30 %. Pri najhoršej variante – „mokrú pôda a využívanie ornej pôdy z hľadiska hydrickej účinnosti najnepriaznivejšie“ (B3) interval 60 – 100 mm zaberá až 62 %.

Na obr. 6 prinášame mapy ohrozenia územia zvýšeným množstvom povrchovo odtekajúcej vody z privalového dažďa (tu sme uvažovali so zrážkou 100 mm za hodinu) pre obe varianty využívania ornej pôdy – na celej ornej pôde sa pestujú krmoviny (variant A) a na celej ornej pôde sa veľkoblokovo pestujú širokoriadkové plodiny (variant B). Z výsledkov vidieť, že kým u prvého variantu na 82 % územia prevláda malé ohrozenie a na 3 % veľké, pri druhom variante malé ohrozenie je na 42 % územia, stredné na 51 % a veľké na 7 %.

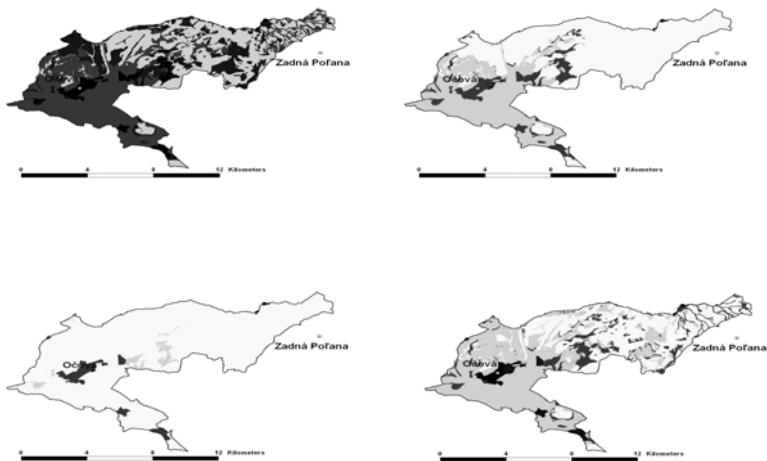
Na obr. 7 je mapa ohrozenia územia lineárnou eróziou zostrojená na základe súčinu veľkosti sklonu a veľkosti príspevkovej plochy (Olaya, 2004). Metóda vychádza z predpokladu, že čím je vyšší sklon a množstvo povrchovo odtekajúcej vody – dochádza ku koncentrácii a lineárnemu vymieľaniu pôdy. Posledná mapa je presne opačnou interpretáciou tých istých parametrov. Predpokladá sa, že čím je väčší povrchový prítok vody a menší sklon, tým je horší odtok z danej plochy, voda sa hromadí a dochádza k zamokreniu plochy. Za hraničný sklon, pod hodnotou ktorého dochádza k hromadeniu vody, sme stanovili hodnotu 3°. Uvedené ukazovatele je však potrebné hodnotiť nie samostatne, ale v spojitosti s ďalšími vlastnosťami krajiny. Napríklad ohrozenie lineárnou eróziou (získanú vyššie popísaným postupom) kombinovať s potenciálnou vodnou eróziou vypočítanou niektorou zo známych metód (univerzálna rovnica pôdnych strát Wischmeiera – Smitha, Frevertova modifikovaná Zdražilom a pre Slovensko upravená Midriakom, 1977).



Obr. 4 Veľkosť prispievajúcej plochy územia PD Očová

Fig. 4 Size of conducive area of agricultural cooperative Očová region

Aj ďalšie dosiahnuté výsledky je možné ďalej interpretovať, napríklad za územia so zvýšenou priesakovosťou (a tým možným znečistením podzemných vôd) možno pokladať plochy zaradené do kategórie „A“ priepustnosti pôd pri stanovovaní hodnôt CN. Povodňami sú ohrozené najmä nívne časti okolia tokov. Pomocou uvedených modelov je možné vypočítať i to, či koryto daného toku odvedie dané množstvo odtečenej vody, alebo či sa voda z koryta vyleje (Valtýni, 2001). Na to je však potrebné zmerať jednotlivé parametre koryta toku priamo v teréne (napr. v obci) a vypočítať kapacitu koryta toku.



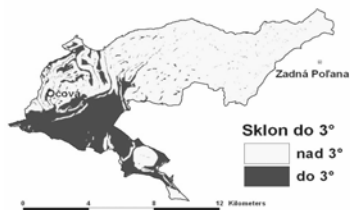
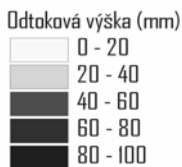
Obr. 5a Mapy výšky povrchového odtoku pre rôzne varianty vlhkosti pôdy a využívania ornej pôdy (1 časť)

Fig. 5a Water-line of surface run-off for different soil humidity and arable land use (first part)



Výška odtoku B2

Výška odtoku B3



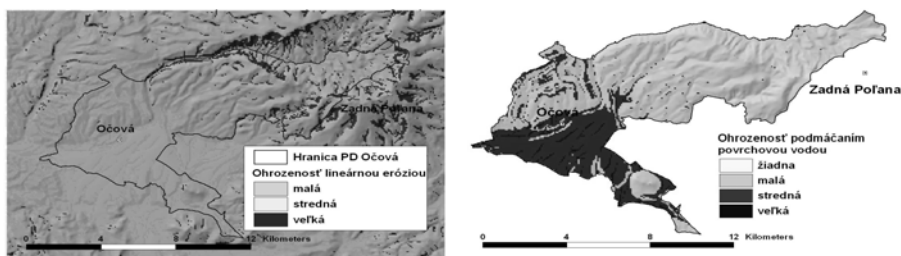
Obr. 5b Mapy výšky povrchového odtoku pre rôzne varianty vlhkosti pôdy a využívania ornej pôdy (2 časť)

Fig. 5b Water-line of surface run-off for different variants soil humidity and arable land use (second part)



Obr. 6 Mapy ohrozenia územia zvýšeným množstvom povrchovo odtékajúcej vody z privalových zrážok pre obe varianty využívania ornej pôdy

Fig. 6 Maps of area exposure to increase quantity surface runing-off water from storm rainfall for both arable land use variants



Obr. 7 Ohrozenosť územia lineárnou eróziou a podmáčaním

Fig. 7 Exposure of region by linear erosion and underflooding

ZÁVER

V príspevku prinášame ukážku využitia metódy odtokových kriviek a modelovania odtoku v prostredí GIS pri rozšírení metodiky hodnotenia zraniteľnosti krajiny. Uvedené postupy výrazne spresňujú hodnotenie a výsledky sú exaktnejšie než výsledky získané len jednoduchou priamou interpretáciou vlastností abiokomplexu. Pomocou uvedených metód získame informáciu o priestorovej diferenciacii retencie územia, výšky a objemu povrchového odtoku. Tieto výstupy v spojitosti s ďalšími podkladmi o abiokomplexe je možné interpretovať do účelových vlastností ako je zraniteľnosť územia voči zamokreniu (podmáčaniu) územia, lineárnej erózií, zvýšenej priesakovosti, ohrozenia územia povodňami pri určitej výške spadnutých zrážok a podobne.

Pod'akovanie

Autor ďakuje agentúre VEGA za finančnú podporu pri riešení projektov č. 1/2379/05 a č. 1/3283/06, v rámci ktorých vznikol prezentovaný príspevok.

LITERATÚRA

- ANTAL, J., 1996: Agrohydroológia. VŠP v Nitre, 162 s.
- HRNČIAROVÁ, T. et al., 1997: Ekologická únosnosť krajiny. Metodika a aplikácia na 3 benefičné územia, I. – IV. časť, Ekologický projekt MŽP SR Bratislava, ÚKE SAV, Bratislava, 110 s.
- CHOW, V., T., 1964: Handbook of Applied Hydrology. New York, Mc. Graw-Hill Book Company, 1418 s.
- JAKUBIS, M., 2002: Hydroológia. Návody na cvičenia. TU vo Zvolene, 126 s.
- MIDRIAK, R., 1977: Potenciálna erózia lesnej pôdy ČSSR. Vedecké práce VÚLH vo Zvolene, č. 25, s. 201 – 228.
- OLAYA, V., 2004: A gentle introduction to SAGA GIS. Edition 1.1, <http://geosun1.uni-geog.gwdg.de/saga/html/index.php>
- SCHÄUBLE, H., 2003: HydroTools 1.0 for ArcView 3.x. www.terracs.de
- VALTÝNI, J., 2002: Lesy a povodie. Vedecké štúdie. 5/2001/A, TU vo Zvolene, 46 s.
- ZÁVACKÁ, M., 2002: Vplyv lesa na odtok vody z malého povodia. Dizertačná práca. Lesnícka fakulta, TU vo Zvolene, 81 s. + prílohy

Ing. Igor Gallay, Ing. Lucia Stieranková

Katedra aplikovanej ekológie

Fakulta ekológie a environmentalistiky

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

email: gallay@pobox.sk

tel. č.: +421 45 5206 510