

VYUŽITIE MODELOVANIA POVRCHOVÉHO ODTOKU PRI HODNOTENÍ ZRANITEĽNOSTI KRAJINY VO VZŤAHU K VYBRANÝM PRÍRODNÝM HROZBÁM

Igor Gallay*

* Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Katedra aplikovanej ekológie,
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, gallay@pobox.sk

Simple water flow modelling and its use in evaluation of landscape vulnerability.

Natural hazards are natural process or events, which are perceived by mankind as threats to life and property. Normally they are: volcanoes, earthquakes, floods, landslides, avalanches, high winds, etc. Some authors also include water and wind erosion, water logging or increased deposition. The paper deals with utilization of simple modelling of water flow for evaluation some natural hazards, namely: flood hazard, water logging hazard and risk of gully erosion. The water flow over landscape was estimated by application of modelling in the GIS and CN curve method and the measure of threat to landscape in relation to the modelled hazards was established.

Key words: natural hazards, floods, GIS, CN curve, landscape, vulnerability

ÚVOD

Človek svojou činnosťou vedome aj nevedome vplýva na krajinu, mení jej vlastnosti, toky hmoty a energie. To podmieňuje ďalšie zmeny, často aj s negatívnymi dôsledkami pre človeka. Jedným z nosných smerov krajinnej ekológie či geografie je preto predpovedanie možných negatívnych dosahov činnosti človeka na krajinu a navrhovanie jej vhodného využívania pre dané podmienky, čo vyústilo do metodík hodnotenia potenciálov krajiny, jej únosnosti, zraniteľnosti, zaťažiteľnosti, optimalizácie využívania a pod. Veľmi silným nástrojom pre takéto hodnotenie sú geografické informačné systémy (GIS). Ich výhodou je priestorové prepojenie databáz, rýchlosť, presnosť, ľahká archivácia a oprava dát, možnosť modelovania, počítačom podporované rozhodovanie atď. (Kozová a Bedrna, eds. 2003).

Medzi najvýznamnejšie procesy, ktoré človek svojou činnosťou výrazne ovplyvňuje a mení, s možnými výraznými negatívnymi dôsledkami pre neho samého, patrí kolobeh vody v krajine. Zvýšené množstvo vody, či už povrchovo odtekajúcej alebo sa na určitom mieste hromadiacej, môže ohrozovať viaceré ľudské aktivity. Rovnako pôsobí aj jej nedostatok (sucho). Hodnotenie kolobehu vody v krajine tvorí základ väčšiny metodík zaoberajúcich sa posudzovaním prírodných hrozieb, únosnosti krajiny, jej zraniteľnosti. Napríklad v metodike hodnotenia únosnosti krajiny (Hrnčiarová et al. 1997) sa posudzuje zraniteľnosť krajiny vo vzťahu k zaplavovaniu územia povrchovou vodou, podmáčanosti územia podzemnou vodou, potenciálneho priesaku, veľkosti vodnej erózie. Zraniteľnosť sa stanovuje na základe posúdenia vlastností abiokomplexov hodnoteného územia a ich zatriedenia do trojstupňovej pomernej stupnice (málo, stredne a veľmi). V prácach (Minár a Tremboš 1994, Trizna 1994, Trizna a Minár 1996 a Trizna 1998a) hodnotia autori zraniteľnosť území vo vzťahu k prírod-

ným hrozbám, medzi ktoré zaraďujú aj povodňovú hrozbu, hrozbu zamokrenia, hrozbu výmoľovou eróziou. Hrozby hodnotia stanovením hodnôt odolnosti jednotlivých vlastností zložiek prírodného prostredia a modelovaním zrážkovo-odtokových procesov. Pod prírodnými hrozbami (hazardmi) rozumejú prírodné procesy, ktoré ohrozujú záujmy ľudskej spoločnosti, limitujú jej rozvoj, uspokojovanie záujmov a pod. Pojem prírodné hazardy (hrozby) sa zvyčajne spája najmä s procesmi veľmi rýchlymi a ničivými, ako sú: zemetrasenie, sopečná erupcia, tsunami, povodne, lavíny, mury, zosuny, skalné rútenia, víchrice a pod. (Bolt et al. 1975, Suk 1999, Whittow 2000, Keller a Blodgett 2007). Viacero autorov však medzi ne zahŕňa aj eróziu pôdy, hrozbu sucha, hrozbu zamokrenia, zvýšenej akumulácie materiálu a pod. (Midriak 1993, Minár a Tremboš 1994, Trizna 1998a). V prácach autori Panizza (1991), Minár a Tremboš (1994), Gilara a Givone (1997), Trizna (1998a) odlišujú navzájom pojmy prírodná hrozba, zraniteľnosť a riziko. Pod hrozbou rozumejú z hľadiska človeka negatívny proces a jeho priestorový „prejav“ a frekvenciu. Na rozdiel od toho, pod zraniteľnosťou územia rozumejú citlivosť územia na hodnotenú hrozbu, ktorá vyjadruje vplyv hrozby na záujmy spoločnosti, čo možno vyjadriť v sociálnych či ekonomických kategóriách (počet obetí, výška škody a pod.). Riziko je výsledkom hrozby a zraniteľnosti.

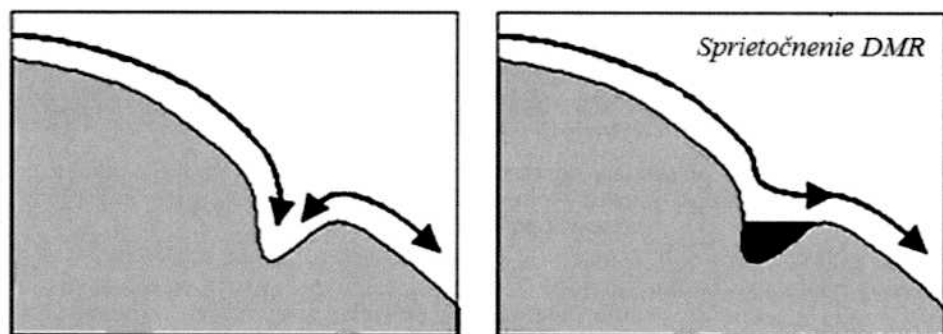
Existuje pomerne veľké množstvo zrážkovo-odtokových modelov využitelných pri hodnotení zraniteľnosti územia vo vzťahu k povodňam, zamokreniu a pod. (Wang et al. 1996, Schulla 1997, Trizna 1998b, Tate a Maidment 1999, Hrádek a Kuřík 2000, Feldman 2000, Liu et al. 2002, Vaze et al. 2004 a Adamcic et al. 2007). Väčšina z nich však potrebuje parametre, ktoré nie sú dostupné pre každé povodie, alebo je pre ich správne použitie potrebný špecialista. Naproti tomu stoja metodiky vychádzajúce z relatívne ľahko dostupných údajov o území, ktoré hodnotia zraniteľnosť vo vzťahu k jednotlivým hrozbám interpretáciou prírodných a sociálno-ekonomických vlastností hodnoteného územia – zatriedením do stupňa zraniteľnosti na základe konkrétnych hodnôt stavových veličín (napr. Hrnčiarová et al. 1997). Táto metóda je menej presná, v porovnaní so spomínanými modelmi rámcová, ale použiteľná na celom území Slovenska.

Cieľom predkladanej práce je popísať metodický postup hodnotenia povrchového odtoku v krajine, ktorý rozširuje a spresňuje postupy stanovenia zraniteľnosti krajiny uvedené v metodike Hrnčiarová et al. (1997) pri použití bežne dostupných podkladov. Uvedený metodický postup vychádza z modelovania odtokových procesov v prostredí GIS s využitím metodiky CN kriviek.

MODELOVANIE POVRCHOVÉHO ODTOKU V GIS

Pri modelovaní odtoku v prostredí GIS vychádzame z digitálneho modelu reliéfu (DMR). Pri jeho interpolácii z výškového bodového poľa však dochádza k vzniku chýb, drobných depresií (angl. sinks alebo pits) na povrchu DMR (obr. 1), ktoré „na prvý pohľad“ nie je možné zistiť. Tieto chyby sú zvyčajne ojedinelé, plošne až zanedbateľné a pre väčšinu analýz (sklon, expozícia, výšková členitosť a pod.) nepredstavujú žiadny problém. Problém však nastáva pri modelovaní povrchového odtoku, generovaní riečnej siete z DMR a pod., keď

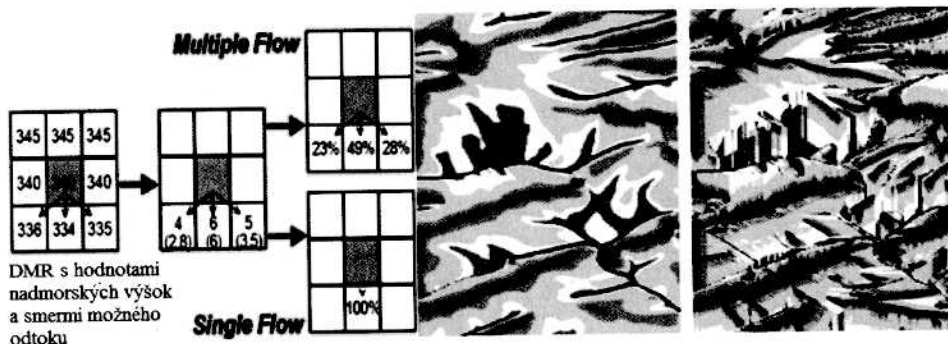
odtok vody či vygenerovaný vodný tok sa „zrazu končí“ v strede svahu. Tieto chyby je potrebné opraviť a DMR zprietočniť. Na sprietočnenie DMR je možné použiť rôzne nástroje v rôznych softvéroch GIS, napr. v programe ArcView 3.x je to rozšírenie „Hydro Tools“ (Schäuble 2003) či modul „Terrain Analysis/Preprocessing“ v programe SAGA. V ArcGIS 9.X si tento nástroj možno dokonca priamo aktivovať pri interpolácii DMR z výškového bodového poľa.



Obr. 1. Príklad vzniknutej chyby pri tvorbe DMR a jej oprava (upravené podľa Schäuble 2003)

Pri modelovaní množstva povrchovo odtekajúcej vody ďalej pokračujeme stanovením veľkosti tzv. prispievajúcich plôch – integrovaných plôch v každom bode svahu (Miklós a Izakovičová 1997, Burrough a McDonnell 1998, Šúri et al. 1997). Program vypočíta pre každú bunku „sprietočneného“ DMR (Šteffek et al. 2008) 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 veľkosť prepojených buniek. Do modelu je možné pridať ďalšiu rastrovú vrstvu (označovanú ako váhová), v ktorej definujeme pre každú bunku rastra, aká časť (v mm alebo m^3) zo zrážok bude odtekať povrchovo. Model potom počíta povrchový odtok z územia v mm (m^3), na základe sčítavania povrchových odtokov z jednotlivých buniek v smere spádnice. Pri výpočte je si možné vybrať z viacerých algoritmov výpočtu odtoku (Schäuble 2003, Olaya 2004, Burrough a McDonnell 1998), ktoré možno rozdeliť 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. 2).

Modelovanie prispievajúcich plôch je možné vykonať napr. v prostredí SAGA GIS modulom „Catchment Area/ Recursive Upward Processing“. Na výpočet podielu povrchového odtoku zo spadnutých zrážok z každej bunky rastra, ktorý vstupuje do modelu, môžeme použiť metódou CN kriviek, ktorá je popísaná v nasledujúcej časti.



Obr. 2. Dve základné skupiny algoritmov výpočtu modelov povrchového odtoku. V strednej časti obrázku výsledok Multiple Flow a v pravej časti výsledok Single Flow (upravené podľa Schäuble 2003)

Metóda CN kriviek

Metódu odtokových kriviek (CN) prvýkrát opísal Chow (1964). V našich podmienkach jej využitie a postup stanovenia podrobne uvádzajú napríklad Pašák et al. (1984), Jakubis (2002), Janeček et al. (2002), Valtýni (2002), Antal a Igaz (2003). Je vhodná najmä na stanovenie množstva priameho odtoku z prívalových zrážok pre malé povodia. Hodnoty CN sa stanovujú na základe:

a) *infiltračných a drenážnych vlastností pôd územia*, ktoré získame interpretáciou zrnitosti, skeletnatosti a pôdneho subtypu pôd územia (podrobnejší postup je popísaný v citovaných prácach) a zatriedením do štyroch skupín – od pôd s vysokou infiltračnou schopnosťou, cez pôdy so strednou rýchlosťou infiltrácie až po pôdy s nízkou a veľmi nízkou infiltračnou schopnosťou,

b) *spôsobu využívania pôdy* – podiel množstva vody zo spadnutých zrážok odtekajúcej po povrchu závisí vo veľkej miere aj od spôsobu využívania pôdy na konkrétnej ploche (okrem iného ovplyvňuje aj drenážno – infiltračné vlastnosti pôdy). Hodnota CN vlastne vyjadruje schopnosť danej plochy, v závislosti od spôsobu jej využívania a hydro – fyzikálnych vlastností pôdy, zachytiť alebo previesť na podpovrchový odtok určité množstvo vody. Čím je hodnota CN vyššia, tým viac vody odteká ako povrchový odtok. Najnižšie hodnoty CN majú kvalitné lesné porasty, naopak najvyššie spevnené cesty, strechy a pod. Príklad hodnôt CN pre rôzne spôsoby využívania zeme v závislosti od infiltračno – drenážnych vlastností pôd uvádzajú napr. Jakubis (2002), Antal a Igaz (2003),

c) *vlhkostného stavu pôdy*, vyjadreného tzv. indexom predchádzajúcich zrážok (IPZ), ktorý stanovujeme na základe celkového úhrnu zrážok z predchádzajúcich 5 dní pred hodnotenou zrážkovou udalosťou (tab. 1). Stav IPZ 2 možno charakterizovať ako strednú nasýtenosť povodia vodou. Pri zrážkovom úhrne zodpovedajúcom kategórii IPZ 1 je nasýtenosť povodia vodou nižšia, jednotlivé plochy majú vyššiu retenčnú schopnosť oproti stavu pri IPZ 2, preto sa ich hodnota CN znižuje. Naopak pri nasýtení povodia vodou, stav IPZ 3, je retenčná kapacita jednotlivých plôch oproti stavu pri IPZ 2 nižšia, preto sa hodnota ich CN zvyšuje. Prepočítavacie tabuľky hodnôt CN na základe stupňa IPZ sú uvedené napr. v prácach Jakubis (2002), Antal a Igaz (2003).

Po odvodení hodnôt CN pre každú plochu hodnoteného územia (povodia) s rôznym spôsobom využívania zeme a drenážno-infiltračnými vlastnosťami pôdy, s prihliadnutím na množstvo spadnutých zrážok za posledných päť dní, stanovíme retenčnú schopnosť každej takejto plochy (ČP) podľa vzorca:

$$A = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right), \quad (1)$$

kde A je potenciálna retencia v mm, CN – stanovená hodnota CN krivky. Výšku povrchového odtoku v mm z každej ČP potom vypočítame na základe vzťahu:

$$H_o = \frac{(Z - 0,2 \cdot A)^2}{Z + 0,8 \cdot A}, \quad (2)$$

kde H_o je výška povrchového odtoku z ČP v mm a Z je výška zrážky v mm. V záverečnom kroku vypočítame veľkosť (objem) odtoku z celého povodia (k určitému prietokovému profilu) na základe vzťahu

$$O_{Op} = 1000 \cdot H_{Op} \cdot S_p, \quad (3)$$

kde O_{Op} je objem povrchového odtoku (m^3) z povodia, S_p je plocha povodia v km^2 a H_{Op} je priemerná výška povrchového odtoku z celého povodia, vypočítaná ako vážený aritmetický priemer výšok povrchových odtokov jednotlivých ČP v povodí.

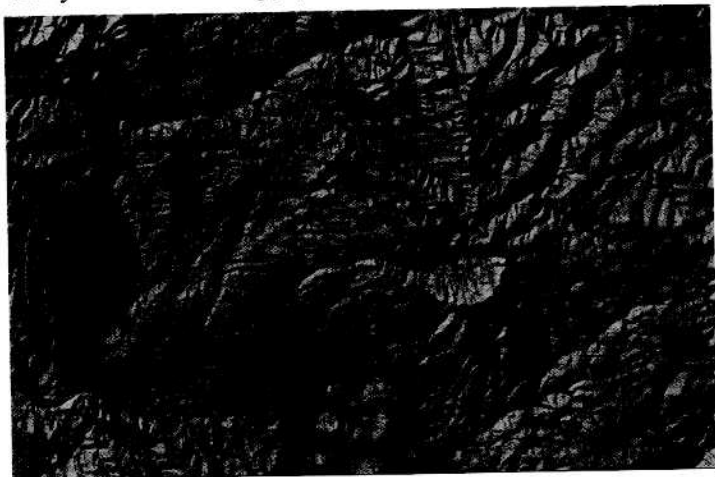
Tab. 1. Stanovenie Indexu predchádzajúcich zrážok (IPZ)

| IPZ | Celkový úhrn zrážok za predchádzajúcich päť dní | |
|-----|---|----------------------|
| | mimo vegetačného obdobia | vo vegetačnom období |
| 1 | < 13 mm | < 36 mm |
| 2 | 13 – 28 mm | 36 – 53 mm |
| 3 | > 28 mm | > 53 mm |

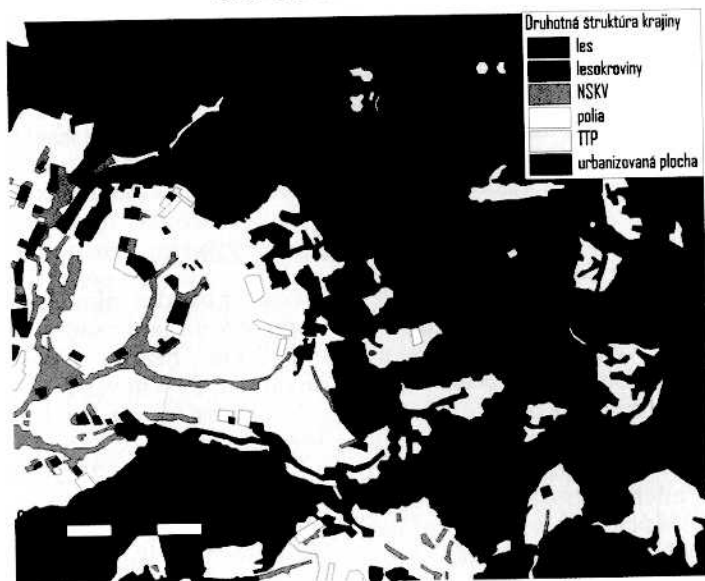
CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA

Za modelové územie sme si zvolili hornú časť povodia toku Hradná, od pramennej oblasti po uzavierajúci profil, ktorý sme zvolili pod osadou Iviny. Povodie má mierne vejárovitý tvar, s rozlohou $7,37 km^2$, dĺžkou rozvodnice $12,83 km$, s maximálnou nadmorskou výškou povodia $1\ 218 m n.m.$ a nadmorskou výškou uzavierajúceho profilu $525 m n.m.$ Nachádza sa v juhovýchodnej časti Chránenej krajinskej oblasti – biosférickej rezervácie Poľana (malá časť hodnoteného povodia siaha za jej hranice), severne od Detvy (obr. 3). Hornú časť povodia tvorí mierne chladná až chladná, veľmi vlhká hornatina na andezitoch a ich pyroklastikách s prevažujúcimi kambizemami modálnymi, vo vyšších polohách prechádzajúcich do kambizemí andozemných až andozemí modálnych, pôvodne s bukovými až jedľovo-bukovými lesmi. Spodnú časť povodia tvorí

mierne teplá vrchovina na andezitoch a ich pyroklastikách s prevažujúcou kambizemou modálnou, a pôvodne bukovo – dubovými, dubovo – bukovými až bukovými lesmi, ktorá v najnižších polohách prechádza až do mierne teplej podvrchoviny s prevažujúcimi koluviálno – fluviálno – proluviálnymi sedimentmi s pseudoglejivými až kambizemnými pôdami s pôvodne bukovo – dubovými lesmi. Tok má charakter bystriny s veľkou rozkolísanosťou vodných stavov (Jakubis 1999). Približne dve tretiny povodia v súčasnosti pokrývajú hospodárske lesy. Poľnohospodárske využívanie sa viaže na osadu Iviny v spodnej časti povodia (striedajúca sa orná pôda a trvalé trávne porasty), a na hrebeňovú časť kaldery Poľany v oblasti Príslopý (trvalé trávne porasty).



Obr. 3. Modelové územie



Obr. 4. Druhotná štruktúra krajiny modelového územia v oblasti osady Iviny

METODIKA

V našom postupe sme obe popísané metódy spojili, pričom sme postup výpočtu objemu odtoku pomocou CN kriviek modifikovali tak, aby sme ho mohli použiť na vytvorenie váhovej rastrovej vrstvy vstupujúcej do modelovania povrchového odtoku v prostredí GIS.

DMR bol vytvorený interpolovaním vrstevníc zo základných máp mierky 1:10 000 s intervalom prevýšenia 5 m v prostredí ArcGIS 9.2 funkciou „Topo to Raster“ s veľkosťou bunky rastra 5 m. V rámci interpolácie boli odstránené aj vyššie popísané drobné depresie a DMR bol „sprietočnený“.

Údaje o zrnitosti pôdy a substrátu a o subtype jednotlivých pôd územia sme získali z práce Šály (2000) a z údajov Národného lesníckeho centra vo Zvolene (NLC 2008) pre lesné pôdy a z údajov Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy v Bratislave (VÚPOP 2008) pre poľnohospodársku pôdu. Tieto sme na základe práce Antal a Igaz (2003) interpretovali a zatriedili do skupín drenážno-infiltračných vlastností pôd územia.

Ďalšou vrstvou vstupujúcou do modelovania priameho odtoku je mapa využitia zeme. Kým prírodné podmienky hodnoteného územia sú dané a je veľmi ťažké až nemožné ich meniť, spôsob využívania krajiny určuje priamo človek. Popisovaná metóda umožňuje modelovať priamy odtok pri rôznom spôsobe využívania toho istého územia a hodnotiť tak mieru ohrozenia územia napr. záplavami či zamokrením pri zmene využívania. Spojenie metódy CN kriviek s modelovaním odtoku v prostredí GIS pritom umožňuje (na rozdiel od samotnej CN metódy) nielen hodnotenie zmeny odtoku povodia ako celku, ale aj identifikáciu konkrétnych plôch, kde sa odtok v dôsledku iného spôsobu využívania zmení a odhadnutie týchto zmien.

Pri tvorbe mapy využitia územia sme vychádzali z mapy (Olah 2003, Olah et al. 2006 a Kunca et al. 2008), ktorú sme doplnili o mieru zarastenia trvalých trávnych porastov drevinami na základe práce Gallyovej (2008). Takto vytvorenú mapu sme využitím ortofotomáp územia a terénneho mapovania upravili na kategórie potrebné na určenie hodnôt CN (Jakubis 2002, Antal a Igaz 2003).

Váhovú rastrovú vrstvu vytvorenú s využitím metódy CN kriviek vstupujúcu do modelovania povrchového odtoku sme vytvorili prekrytím mapy areálov drenážno-infiltračných vlastností pôd územia a mapy využitia zeme sme vyčlenili v území plochy (ČP) s odlišnými odtokovými podmienkami charakterizovanými hodnotami CN.

Pre každú ČP sme pomocou vzťahov (1) a (2) vypočítali potenciálnu retenciu a výšku priameho odtoku. Výsledkom je mapa priameho odtoku v mm z jednotlivých ČP, ktorá je vo vektorovej reprezentácii (mapa pôd i využitia zeme boli vektormi).

V nasledujúcom bode dochádza k zmene oproti pôvodnej metodike CN kriviek. Pomocou vzťahu (3) sme vypočítali objem priameho odtoku, nie však z povodia ako celku, ale pre každú ČP, pričom ako veľkosť územia do vzťahu sme zadali veľkosť bunky budúceho výsledného rastra váhovej vrstvy, ktorý musí byť parametrami totožný s rastrom DMR. Keďže veľkosť bunky rastra nášho DMR je 25 m², zadali sme do vzorca veľkosť územia 0,000025 km². Výsledkom bola vektorová vrstva objemu povrchového odtoku z každej ČP, ktorý

by sa vytvoril na ploche 25 m². Tento vektor sme v nasledujúcom kroku transformovali v prostredí GIS na raster rovnakých parametrov ako raster DMR. Výsledná rastrová váhová vrstva obsahuje v každej bunke hodnotu objemu odtoku, ktorý sa vytvoril na ploche tejto bunky.

Výsledný model množstva povrchovo odtekajúcej vody z privalovej zrážky bol vytvorený v programe SAGA GIS modulom „Catchment Area / Recursive Upward Processing“.

Výsledky modelovania sme využili ako vstup do hodnotenia zraniteľnosti územia vo vzťahu k zaplavovaniu povrchovou vodou a zamokreniu. Vychádzali sme z metodiky hodnotenia únosnosti krajiny (Hrnčiarová et al. 1997), kde sa hodnotí zraniteľnosť typov abiotických komplexov územia voči rušivým faktorom na základe náchylnosti jednotlivých prvkov abiokomplexu (reliéf, substrát, pôda a voda) na narušenie týmito faktormi. Nami popisovaná metodika rozširuje toto hodnotenie o chórický aspekt, keď nehodnotíme zraniteľnosť územia len na základe topických vlastností konkrétneho geotopu, ale na základe vlastností všetkých geotopov v povodí a na základe horizontálnych väzieb medzi nimi.

Zraniteľnosť vo vzťahu ku zaplavovaniu

Ako podklad na hodnotenie sme vzali model množstva odtoku pri privalovej zrážke 126 mm a nasýtení povodia vodou (IPZ 3). Územie sme na základe výšky povrchového odtoku rozdelili na dve časti: „s dostatočným“ nahromadeným množstvom vody pre povodne (vypočítané množstvo odtoku nad 100 000 m³) a s „nedostatočným“ (odtok pod 100 000 m³). Hraničná hodnota bola stanovená na základe prác Jakubisa (1999, 2005 a 2008), kde autor uvádza pre ním zameraný uzavierajúci prietokový profil na toku Hradná (ktorý bol založený na hranici CHKO – BR Poľana), veľkosť 100 – ročného prietoku (Q₁₀₀) rovný 20 m³·s⁻¹. Na základe vzťahu pre výpočet kulminačného prietoku (Pasák et al. 1984, Valtýni 2002, Janeček et al. 2002 a Závacká 2005), ktorý podrobnejšie uvádzame v nasledujúcej kapitole, sme vypočítali, že objem odtoku 100 000 m³ v hodnotenom povodí toku Hradná, pri extrémnej zrážke 126 mm za 1 hodinu, by zodpovedal kulminačnému prietoku 21,2 m³·s⁻¹.

Ďalšími podkladmi vstupujúcimi do hodnotenia boli mapa nív (terénne mapovanie), prevýšenie reliéfu územia nad prislúchajúcim tokom a sklon.

Za najviac ohrozené územie zaplavovaním sme pokladali územie v rámci nivy s prevýšením nad tokom do 2 m.

Za stredne ohrozené sme označili plochy v rámci nivy s prevýšením nad 2 m nad osou doliny, ďalej plochy mimo nivy, ale pri toku s odtokom nad 100 000 m³ a s prevýšením do 2 m a taktiež suché dná dolín s odtokom v čase modelovej zrážky nad 100 000 m³, prevýšením nad osou doliny do 2 m a sklonom do 10°.

Za málo ohrozené sme pokladali plochy mimo nivy s odtokom nad 100 000 m³ a s prevýšením do 5 m nad osou doliny, ako aj suché doliny s odtokom (pri privalovej zrážke 126 mm a nasýtení pôdy vodou) nad 100 000 m³ s prevýšením nad osou doliny do 2 m a sklonom 10-15° a rovnako aj suché doliny s odtokom nad 100 000 m³ s prevýšením nad osou doliny do 5 m a sklonom do 10°.

Ostatné plochy boli zaradené do kategórie žiadne (alebo takmer žiadne) ohrozenie.

Zraniteľnosť vo vzťahu k zamokreniu

Algoritmus hodnotenia zraniteľnosti je možné zhrnúť nasledovne: konkrétna plocha v území je zraniteľná tým viac, čím viac vody na ňu priteká, čím má horšie infiltračno – drenážne vlastnosti, čím má menší sklon a nachádza sa v údolných polohách s konkávnym tvarom reliéfu.

Vypočítané množstvo pritečenej vody do každej „bunky“ v území (množstvo odtoku pri prívalovej zrážke 126 mm a pri vlhkom variante) sme na základe histrogramu početnosti buniek s určitým prítokom interpretovali metódou „natural breaks“ do troch kategórií „ohrozenia zamokrením“ (nízke 0-500 mm, stredné 500-4 000 mm, vysoké nad 4 000 mm).

Infiltračno – drenážne vlastnosti plochy sme vyjadrili mapou CN hodnôt územia, ktorú sme tiež na základe histrogramu metódou „natural breaks“ zatriedili do troch kategórií: nízke (hodnoty CN od 25 do 50), stredné (51-75) a veľké ohrozenie (nad 75).

Treťou hodnotenou vlastnosťou bola syntéza tvarov reliéfu a polohy na svahu, ktoré sme interpretovali na základe práce Miklósa et al. (1990) a vytvorili tak mapu „tendencie pohybu materiálu“ v území. Vzniknuté kategórie sme zatriedili do troch stupňov ohrozenia: nízke, stredné a veľké (tab. 2).

Poslednou vlastnosťou vstupujúcou do hodnotenia bol sklon rozdelený do troch kategórií: nízka ohrozenosť (nad 7°), stredná ohrozenosť (3-7°), vysoká ohrozenosť (0-3°).

Tab. 2. Algoritmus stanovenia stupňov ohrozenia zaplavovaním na základe tvarov reliéfu a polohy na reliéfe vychádzajúc z práce Miklós et al. (1990)

| Topografická poloha a normálová, krivosť | Horizontálna krivosť | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Xh | Oh | Ah |
| VXn | Zrýchľovaný disperzný | Zrýchľovaný rovnomerný | Zrýchľovaný koncentrický |
| VOn | pohyb – výlučný odnos | pohyb – výlučný odnos | pohyb – výlučný odnos |
| VAn | nízke ohrozenie | nízke ohrozenie | nízke ohrozenie |
| SXn | Zrýchľovaný disperzný | Zrýchľovaný rovnomerný | Zrýchľovaný koncentrický |
| | pohyb – odnos | pohyb – prevažujúci odnos | pohyb – vyrovnaný transport |
| | nízke ohrozenie | nízke ohrozenie | stredné ohrozenie |
| SOn | Rovnomerný disperzný | Rovnomerný rovnomerný | Rovnomerný koncentrický |
| | pohyb – prevažujúci odnos | pohyb – vyrovnaný transport | pohyb – prevažujúci prínos |
| | nízke ohrozenie | nízke ohrozenie | stredné ohrozenie |
| SAn | Spomaľovaný disperzný | Spomaľovaný rovnomerný | Spomaľovaný koncentrický |
| | pohyb – vyrovnaný transport | pohyb – prevažujúci prínos | pohyb – prínos |
| | stredné ohrozenie | stredné ohrozenie | veľké ohrozenie |
| DXn | Spomaľovaný disperzný | Spomaľovaný rovnomerný | Spomaľovaný koncentrický |
| DAn | pohyb – výlučný prínos | pohyb – výlučný prínos | pohyb – výlučný prínos |
| | veľké ohrozenie | veľké ohrozenie | veľké ohrozenie |

Vysvetlivky: X – konvexný, O – nezakrivný, A – konkávný, V – vrcholová poloha, S – svahová poloha, D – údolná poloha, h – horizontálna krivosť, n – normálová krivosť

Algoritmus hodnotenia bol nasledovný: v rámci každej popísanej vrstvy sme kategórii nízke ohrozenie priradili hodnotu 1, kategórii stredné ohrozenie hodnotu 2 a kategórii veľké ohrozenie hodnotu 3. Vykonali sme syntézu uvedených 4 vrstiev a hodnoty spočítali. Výsledkom bola mapa ohrozenosti územia vo vzťahu k zamokreniu, pričom za plochy s nízkym ohrozením sme považovali tie

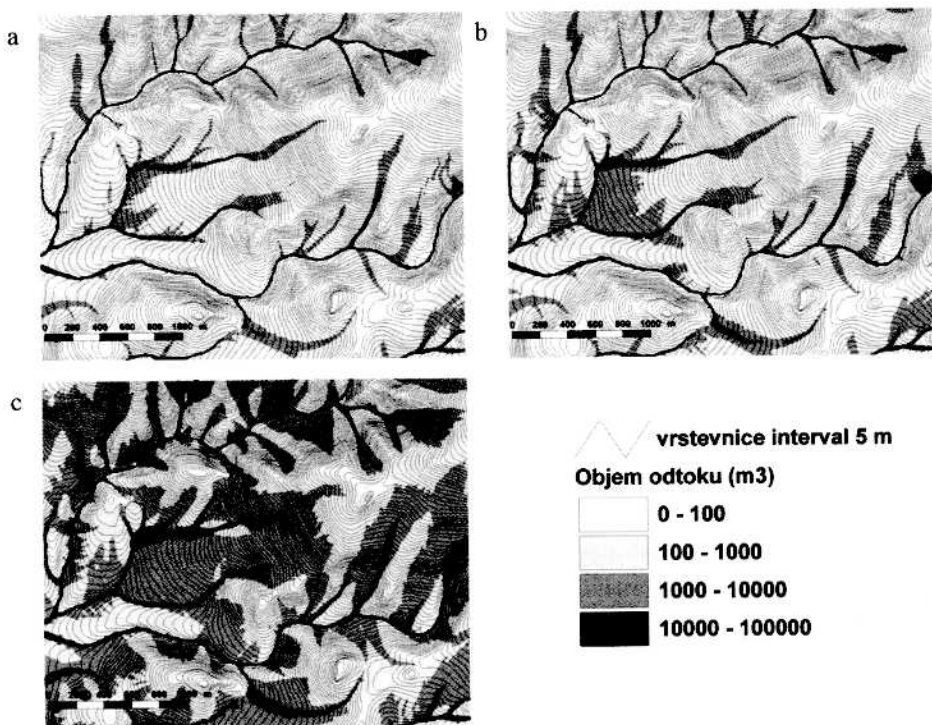
s výsledným súčtom 4 až 6. Za stredne ohrozené sme označili plochy s výsledným súčtom z intervalu 7 až 9 a za najohrozenejšie plochy s výsledným súčtom 10 až 12.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Ako ukážku vplyvu zmeny vstupných podmienok na výsledky modelovania uvádzame na obr. 5 modely povrchového odtoku vzhľadom na rôzne využitie zeme. V modeloch sme uvažovali s nasýtením povodia vodou (IPZ3) a zrážkou 126 mm, pri ktorej sme predpokladali, že zasiahla rovnakou intenzitou celé územie. Táto hodnota extrémnej prívalevej zrážky bola zvolená na základe údajov z prác popisujúcich výšku zrážok pri povodniach na Slovensku z posledných rokov (Borsanyi et al. 1999, Majerčáková et al. 2002, Valtýni 2002 a Midriak et al. 2004), ako aj nameraných údajov zo SHMÚ (2006), podľa ktorých napr. maximálny denný zrážkový úhrn na stanici Poľana v júli 2001 bol 120 mm, či v júli 2003 91 mm.

Okrem reálneho využitia zeme (VZ_{REAL}) sme modelovali povrchový odtok aj pre jeho teoretické varianty.

Všetkým plochám v súčasnosti využívaných poľnohospodárskym spôsobom (orná pôda, pasienky, lúky) bolo využívanie zmenené na les, vrstvu sme označili ako VZ_{LES} .

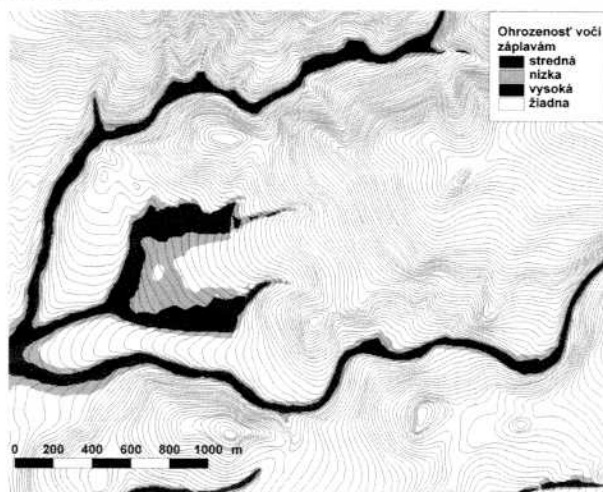


Obr. 5. Povrchový odtok v modelovom území
a – pre VZ_{REAL} , b – pre VZ_{LES} , c – pre VZ_{ORP}

Plochám v súčasnosti využívaným ako lúky alebo pasienky bolo využívanie zmenené na ornú pôdu, ostatné plochy ostali bezo zmeny. Vrstvu sme označili ako VZ_{ORP}.

Z obrázka vidieť, že model umožňuje identifikovať konkrétne plochy so zmeneným povrchovým odtokom pri zmene vstupných podmienok, napr. zmene využitia zeme. Sme schopní nielen identifikovať konkrétne plochy so zmeneným odtokom, ale aj kvantifikovať, ako sa odtok zmenil. Možno tak hodnotiť pôsobenie navrhovaných alternatív využitia zeme na veľkosť povrchového odtoku v území, napríklad posudzovať ohrozenosť určitej plochy (napr. obce) zaplavovaním. Rovnaká zmena využitia zeme na rovnakej výmere, ale v rôznej časti územia, môže vyvolať odlišnú zmenu odtoku v závislosti od polohy (vrchol, svah, dolina, iniciálna či koncová časť povodia) a spôsobu využívania nad i pod zmenenou plochou. Túto skutočnosť je možné popisovanou metódou takisto zachytiť.

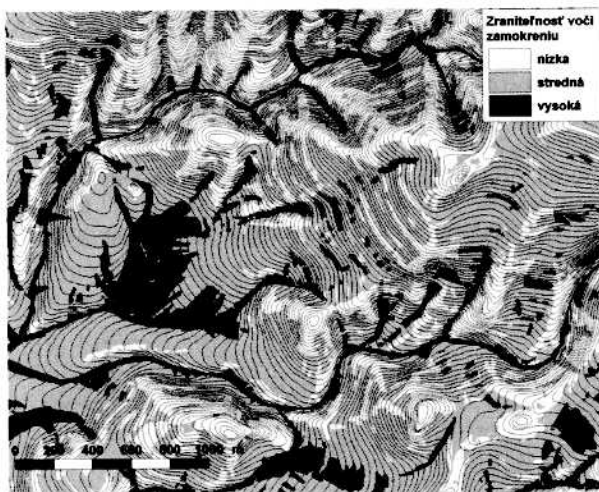
Na obr. 6 a 7 sú výsledné mapy zraniteľnosti okolia Ivín vo vzťahu k zaplavovaniu a zamokreniu.



Obr. 6. Zraniteľnosť modelového územia vo vzťahu k zaplavovaniu

Je samozrejmé, že popisovaná metóda sa z hľadiska presnosti nemôže rovnať podstatne komplexnejším zrážkovo-odtokovým modelom, ktoré umožňujú hodnotiť povodňovú hrozbu aj na základe parametrov koryta, ako sú napr. HEC-HMS s nadstavbou HEC-GeoHMS (Feldman 2000), HEC-RAS s nadstavbou HECGeoRAS (Tate a Maidment 1999), DesQ – MaxQ (Hrádek a Kuřík 2000), Fénix (Trizna 1998b), WaSiM-ETH (Schulla 1997), WetSpa (Wang et al. 1996 a Liu et al. 2002) a z neho pre slovenské pomery model FRIER (Hlavčová et al. 2008) a SMAR (Kachroo 1992). Komplexnosť a presnosť modelov podmieňuje vysokú náročnosť na vstupné dáta, ako napr. denné (hodinové) údaje z klimatických staníc a prietokov v záverečnom profile toku. Do modelov vstupuje veľké množstvo údajov o fyzikálnych parametroch pôdy, hĺbke koreňov, topení snehu, infiltrácii, evapotranspirácii, intercepcii, ktoré je

potrebné namerať, alebo odvodiť. Vo väčšine modelov je tiež nutné pre schematizáciu toku v počítači geodeticky zmapovať rad priečných profilov koryta a ich okolia v miestach, kde sa mení charakter koryta. To však na druhej strane umožňuje vykresliť záplavové zóny pri prekročení kapacity koryta.



Obr. 7. Zraniteľnosť modelového územia vo vzťahu k zamokreniu

Náš postup pracuje s mnohými zjednodušeniami. Napríklad uvažuje s rovnako intenzívnou zrážkou na celom hodnotenom území a počas jej celého trvania, nezohľadňuje klasické teórie prúdenia vody v nenasýtenej zóne pôdneho profilu a pod. (Jeníček 2007). Metódu CN kriviek je možné použiť len pre malé a stredne veľké povodia a len pre veľké zrážky. V prípade kratších zrážkových udalostí s menším úhrnom (< 25 mm), nie je zaručené, či odhad prostredníctvom CN čísel bude dostatočne korektný. Jednoduchosť opisovaného postupu je však výhodou z hľadiska jeho ľahkej použiteľnosti – DMR a využitie zeme patria medzi najčastejšie spracovávané vrstvy v GIS. Je skôr vhodný pre relatívne ľahké a rýchle stanovenie povrchového odtoku najmä v rámci malých až veľmi malých povodí bez klimatických a hydrologických meraní, napr. v metodikách hodnotenia únosnosti krajiny, EIA, integrovaného manažmentu povodia a pod. Cieľom popísaného postupu bolo v zmysle metodiky Hrnčiarová et al. (1997) diferencovať územie na málo, stredne a veľmi zraniteľné. Preto sme pri modelovaní použili teoretickú zrážku extrémnej veľkosti a intenzity za predpokladu nasýtenia povodia vodou (IPZ 3), keď aj podpovrchový odtok pôsobí, spolu s povrchovým, na veľkosť povodňovej vlny.

Popísanú metódu modelovania povrchového odtoku je možné aj spresniť a vypočítať kulmináčny prietok z modelovanej zrážky a porovnať ho s kapacitou koryta na vybranom mieste (miestach), ktoré považujeme za kritické, napr. nad obcou a pod. Vychádzajúc z metódy jednotkového hydrogramu (Pasák et al. 1984, Janeček et al. 2002, Valtýni 2002 a Závacká 2005) kulmináčny prietok môžeme napr. vypočítať:

$$Q_{\max} = \frac{2 \cdot Oop}{t_p} (m^3 \cdot s^{-1}) \quad (4)$$

kde Q_{\max} – kulminačný prietok, Oop – objem priameho povrchového odtoku z uvažovaného dažďa, t_p – celkový čas povodňového prietoku. Hodnotu trvania povodňového prietoku vypočítame:

$$t_p = 3 \cdot t_n (s), \quad (5)$$

kde t_n – čas narastania prietoku, ktorý získame pomocou vzťahu:

$$t_K = \left(0,868 \cdot \frac{L^3}{\Delta H_t} \right)^{0,385} \cdot t_z (s), \quad (6)$$

kde t_z – doba trvania zrážky (s), t_K – čas koncentrácie prietoku, ktorý vypočítame:

$$t_n = \frac{t_z}{2} + 0,6 \cdot t_K (s) \quad (7)$$

kde L – dĺžka hlavného toku (km), ΔH_t – výškový rozdiel medzi najvyšším a najnižším miestom v toku. Na základe uvedených vzťahov vypočítaný objem odtoku $100\,000\text{ m}^3$ (ktorý sme použili ako hraničný pri hodnotení zraniteľnosti vo vzťahu k zaplavovaniu) pri extrémnej zrážke 126 mm za 1 hodinu, dĺžke toku 5 km a výškovým rozdielom medzi najvyšším a najnižším miestom v toku 376 m v povodí toku Hradná by zodpovedal kulminačnému prietoku $21,2\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

ZÁVER

Modelovanie povrchového odtoku je v súčasnosti veľmi aktuálne najmä v súvislosti s prebiehajúcimi klimatickými zmenami a s tým spojeným zvýšeným výskytom extrémnych zrážok a povodňových udalostí. Popisovaná metóda modeluje rozdelenie povrchového odtoku v území v závislosti od reliéfu (koncentrácia, rozptyl) a drenážno-infiltračných podmienok odvodených z vlastností pôdno-substrátového komplexu a využívania pôdy. Metóda má nižšiu presnosť v porovnaní s komplexnejšími modelmi, je však rýchla a pomerne jednoduchá, vychádzajúca z ľahko dostupných podkladov. Vhodné je ju použiť najmä v malých povodiach (do $30\text{--}40\text{ km}^2$) bez klimaticko-hydrologických meraní do rôznych metodík hodnotenia zraniteľnosti, únosnosti, integrovaného manažmentu povodia a pod., či na vytvorenie si základnej predstavy o zrážkovo – odtokových podmienkach v území. Rámcovo je možné modelovať vplyv zmeny využívania zeme v území na množstvo povrchovo odtekajúcej vody, teda na zvýšenie alebo zníženie povodňovej hrozby, či modelovať účinnosť protipovodňových opatrení v území. Pre vytypované oblasti je možné potom zabezpečiť podrobné merania a využiť niektorý s presnejších modelov.

Tento príspevok vznikol ako súčasť riešenia projektu APPV č. 0591-07 „Spustené pôdy a pustnutie krajiny Slovenska“, VEGA č. 1/0026/08 „Vývoj využitia

krajiny a jeho vzťah ku zložkám krajinnno-ekologického komplexu" a VEGA č. 1/0557/10 „Meniace sa podmienky krajiny a indikátory antropogénnych vplyvov“.

LITERATÚRA

- ADAMEC, M., HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J., ŽIDEK, D. (2007). Modelování hydrologických extrémů s podporou DPZ a GIS. In Langhammer, J., ed. *Změny v krajině a povodňové riziko. Zborník príspevkov*. Praha (PřF UK), pp. 51-62.
- ANTAL, J., IGAZ, D. (2003). *Aplikovaná agrohydrologia*. Nitra (SPU).
- BORSANYI, P., PODOLINSKÁ, J., SOTÁK, Š., ŠIPIKALOVÁ, H. (1999). *Hodnotenie júlových povodňových situácií v povodí Hrona a Ipl'a*. Banská Bystrica, (SHMÚ). Dostupné na: http://www.shmu.sk/File/sms/sipikalova_hodnotenie.pdf. (cit.: 2009-03-28).
- BURROUGH, P. A., McDONNELL, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems. Spatial information systems and geostatistics*. Oxford (Oxford University Press).
- BOLT, B. A., HORN, W. L., MACDONALD, G. A., SCOTT, R. F. (1975). *Geological Hazards*. New York (Springer Verlag).
- FELDMAN, A. D., ed. (2000). *Hydrologic modeling system HEC-HMS*. Technical reference manual, USACE, Davis.
- GALLAYOVÁ, Z. (2008). *Krajinnnoekologická analýza a využívanie trvalých trávnych porastov v chránenej krajinskej oblasti – biosférickej rezervácii Poľana*. Vedecké štúdie, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen.
- GILARD, O., GIVONE, P. (1997). Flood Risk management: new concepts and methods for objective negotiations. In Leavesley, G. H., Lins, H. F., Nobilis, F., Parker, R. S., Schneider, V. R., van de Ven, F. H. M., eds. *Destructive water: water-caused natural disasters, their abatement and control*. Wallingford (IAHS Press), pp. 145-155.
- HLAVČOVÁ, K., HORVÁTH, O., SZOLGAY, J., KOHNOVÁ, S. (2008). *Analýza možných zmien odtoku zo zrážok a topenia sa snehu na čiastkovom povodí tokov Hornád a Bodrog vplyvom využívania územia a jeho retenčných vlastností*. Záverečná správa, SvF STU v Bratislave, Bratislava.
- HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. (2000). *Model DesQ-MaxQ – verze 5.0. Příručka uživatele*. Praha (ČZU).
- HRNČIAROVÁ, T., MIKLÓŠ, L., KALIVODOVÁ, E., KUBÍČEK, F., RUŽIČKOVÁ, H., IZAKOVIČOVÁ, Z., DRDOŠ, J., ROSOVÁ, V., KOVAČEVIČOVÁ, S., MIDRIAK, R., RAČKO, J., HREŠKO, J., KOZOVÁ, M., DOBROVODSKÁ, M., ŠTEFUNKOVÁ, D., ŠIMONVIČ, V., BEDRNA, Z., OSZLÁNYI, J., JANČOVÁ, G., NOVÁKOVÁ, K., SLÁVIKOVÁ, D., ZAUŠKOVÁ, L., DUDICH, A., TREMBOŠ, P., BARANČOK, P., VARŠAVOVÁ, M. (1997). *Ekologická únosnosť krajiny. Metodika a aplikácia na 3 benefičné územia, I. – IV. časť, Ekologický projekt MŽP SR Bratislava*. Bratislava (ÚKE SAV).
- CHOW, V. T. (1964). *Handbook of applied hydrology*. New York (Mc.Graw-Hill Book Company).

- JAKUBIS, M. (1999). Odtokové charakteristiky vodných tokov chránenej krajinej oblasti – biosférickej rezervácii Poľana. *Journal of Forest Science*, 45, 467-480.
- JAKUBIS, M. (2002). *Hydrologia. Návody na cvičenia*. Zvolen (TU vo Zvolene).
- JAKUBIS, M. (2005). Regionálne rovnice vodných tokov CHKO BR Poľana. In Sláviková, D., ed. *Biosférická rezervácia Poľana po pätnástich rokoch. Zborník referátov z vedeckej konferencie Zvolen, 21 – 22. 9. 2005*. Zvolen (TU vo Zvolene), pp. 61-67.
- JAKUBIS, M. (2008). *Výskum závislosti regionálnej hydraulikkej geometrie na príklade vodných tokov CHKO BR Poľana*. Zvolen (TU vo Zvolene).
- JANEČEK, M. (2002). *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha (ISV).
- JENÍČEK, M. (2007). Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážkovoodtokové procesy metódou CN krívek. In Langhammer, J., ed. *Změny v krajině a povodňové riziko*. Praha (PřF UK), pp. 41-50.
- KACHROO, R. K. (1992). River flow forecasting. Part 5. Applications of a conceptual model. *Journal of Hydrology*, 133, 141-178.
- KELLER, E., BLODGETT, R. (2007). *Natural hazards. Earth's processes as hazards, disasters and catastrophes*. Upper Saddle River (Prentice Hall).
- KOZOVÁ, M., BEDRNA, eds. (2003). *Krajinnoekologické metódy v regionálnom environmentálnom hodnotení*. Bratislava (Univerzita Komenského).
- KUNCA, V., GALLAY, I., GALLAYOVÁ, Z., OLAH, B., ŠKVARENINOVÁ, J., ŠTEFFEK, J., WIEZIK, M. (2008). *Antropogénny vplyv a biodiverzita vo vybraných neovulkanitoch na strednom Slovensku*. Zvolen (TU vo Zvolene).
- LIU, Y.B., DE SMEDT, F., PFISTER, L. (2002). Flood prediction with the WetSpa model on catchment scale. In Wu, B., Wang, Z.-Y., Wang, G., Huang, G. Gh., Fang, H., Huang, J., eds. *Flood Defence '2002*. New York (Science Press), pp. 499-507.
- MAJERČÁKOVÁ, O., ŠPIKALOVÁ, H., ŠKODA, P. (2002). O povodniach v skratke, *Enviromagazín*, 5, p.10.
- MIDRIAK, R. (1993). *Únosnosť a racionálne využívanie územia vysokých pohorí Slovenska*. Bratislava (SZOPK).
- MIDRIAK, R., VALTÝNI, J., ŠÁLY, R., ZAUŠKOVÁ, E., GALLAY, I. (2004). Funkčnosť lesa pri živelných vodohospodárskych pohromách z krajinnoekologického hľadiska. (Prípadová štúdia s osobitným zreteľom na povodie Malej Svinky). In Šiška, B., Igaz, D., eds. *Konferencia proceedings – CD ROM „Bioklimatologické pracovné dni 2004“ – Zmeny podnebia – Extrémny počasie – Organizmy a ekosystémy. Medzinárodná vedecká konferencia, Viničky 23.-26.8.2004*. Nitra (SPU).
- MIKLÓŠ, L., BEDRNA, Z., HRNČIAROVÁ, T., KOZOVÁ, M. (1990). *Analýzy a čiastkové syntézy abiotických zložiek krajiny. Ekologické plánovanie krajiny LAN-DEP II. Učebné texty Ekologizácia hospodárenia v krajine*. Bratislava (SVŠT a ÚKE SAV).
- MIKLÓŠ, L., IZAKOVIČOVÁ, Z. (1997). *Krajina ako geosystém*. Bratislava (Veda).
- MINÁR, J., TREMBOŠ, P. (1994). Prírodné hazardy – hrozby, niektoré postupy ich hodnotenia. *AFRNUC Geographica*, 35, 173-194.
- NLC (2008). *Digitálna mapa lesných pôd 1:10 000*. Zvolen (Národné lesnícke centrum).
- OLAH, B. (2003). *Vývoj využitia krajiny Podpoľania. Starostlivosť o kultúrnu krajinu prechodnej zóny BR Poľana*. Vedecké štúdie 1/B, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen.

- OLAH, B., BOLTÍŽIAR, M., PETROVIČ, F., GALLAY, I., (2006). *Vývoj využitia krajiny slovenských biosférických rezervácií UNESCO*. Vedecké štúdie 2/B, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen.
- OLAYA, V. (2004). *A gentle introduction to SAGA GIS. Edition 1.1*. Dostupné na: <http://geosun1.uni-geog.gwdg.de/saga/html/index.php> (cit: 2009-03-31).
- PANIZZA, M. (1991). Geomorphology and seismic risk. *Earth-Science Reviews*, 31, 11–20.
- PASÁK, V., JANEČEK, M., ŠABATA, M., DÝROVÁ, E., HEJL, R., ŠVEHLA, F., TINTĚRA, J., ASINGR, J., ŠROT, R. (1984). *Ochrana pôdy pred erozi*. Praha (SZN).
- SHMÚ (2006). *Maximálne denné zrážkové úhrny vybraných zrážkomerných staníc v okolí CHKO – BR Poľana za obdobie 1980-2005*. Banská Bystrica (Slovenský hydrometeorologický ústav).
- SCHÄUBLE, H. (2003). *HydroTools 1.0 for ArcView 3.x*. Dostupné na: www.terraes.de (cit: 2009-03-26).
- SCHULLA, J. (1997). Hydrologische Modellierung von Flußgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. *Zürcher Geographische Schriften*, 69, Zürich (ETH).
- SUK, M., (1999). *Geologické faktory v ochrane životného prostredia. (Úvod do geologickej mesologie)*. Brno (Moravské zemské muzeum).
- ŠÁLY, R. (2000). *Pôdy chránenej krajiny – biosférickej rezervácie Poľana*. Bratislava (VÚPOP).
- ŠTEFFEK, J., GALLAY, I., GALLAYOVÁ, Z., KUNCA, V., LEPEŠKA, T., OLAH, B., ŠKVARENINOVÁ, J., UJHÁZY, K., UJHÁZYOVÁ, M., WIEZIK, M., KRIŽANOVÁ, Z. (2008). *Krajinnoekologický výskum. Vybrané teoretické a metodologické aspekty. Vysokoškolská učebnica*. Zvolen (FEE TU vo Zvolene).
- ŠŮRI, M., CEBECAUER, T., FERANEC, J., FULAJTÁR, E. (1997). Soil water erosion risk assessment at regional scale using integrated data analysis. *Proceedings of the Twelfth International Conference on Applied Geologic Remote Sensing. November 1.-8. 1997*. Denver (ERIM), pp. 315-322.
- TATE, E., MAIDMENT, D. (1999). *Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS MS*. Austin (University of Texas). Dostupné na: <http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html> (cit: 2009-03-28).
- TRIZNA, M. (1994). Hydrologické aspekty hodnotenia povodňovej hrozby. *AFRNUC Geographica*, 35, 85-94.
- TRIZNA, M. (1998a). Hodnotenie zraniteľnosti územia pri identifikácii povodňového rizika. *AFRNUC Geographica*, 41, 13-34.
- TRIZNA, M. (1998b). *Identifikácia a hodnotenie povodňovej hrozby a povodňového rizika*. Dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- TRIZNA, M., MINÁR, J. (1996). Niektoré nové metodické aspekty hodnotenia povodňovej hrozby. *AFRNUC Geographica*, 39, 89-98.
- US-ACE (2000). *Hydrologic modeling system HEC-HMS, technical reference manual*. Davis (USACE Hydrologic Engineering Center).
- VALTÝNI, J. (2002). *Lesy a povodie*. Vedecké štúdie. 5/A, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen.

- VAZE, J., BARNETT, P., BEALE, G., DAWES, W., EVANS, R., TUTEJA, N. K., MURPHY, B., GEEVES, G., MILLER, M. (2004). Modelling the effects of land-use change on water and salt delivery from a catchments affected by dryland salinity in south-east Australia. *Hydrological Processes*, 18, 1613-1637.
- VÚPOP (2008). *Digitálna mapa bonitovaných pôdnoekologických jednotiek*. Dostupné na: www.vupop.sk (cit: 2009-03-26).
- WANG, Z., BATELAAN, O., DE SMEDT, F. (1996). A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). *Physical Chemistry of the Earth*, 21, 189-193.
- WHITTOW, J. B. (2000). *Dictionary of physical geography*. London (Penguin Books).
- ZÁVACKÁ, M. (2005). Analýza odtoku v horských povodiach s rôznou lesnatosťou. In Sláviková, D., ed. *Biosférická rezervácia Poľana po pätnástich rokoch. Zborník referátov z vedeckej konferencie Zvolen, 21.-22. 9. 2005*. Zvolen (TU vo Zvolene), pp. 67-77.

Igor Galay

SIMPLE WATER FLOW MODELLING AND ITS USE IN EVALUATION OF LANDSCAPE VULNERABILITY

Man changes the environment and adjusts it according to his selfish needs. Humans often act thoughtlessly with the vision of an easy profit. The negative effects appear later. These effects or reactions may be the results of frequent low evaluation or even underestimation of the possible effects of our exploitative behaviour. In the recent decades, in connection with the permanent pressure of human activities on landscape, questions of landscape potential, ecological stability, its carrying capacity and sustainable development emerged. To answer these questions, it is necessary to have a good knowledge about the 'natural behaviour of the landscape' - how nature works, its spatial and time structures the flow of mass, energy and inherent information transfer. Natural hazards are natural processes or events, which are perceived by mankind as a threat to life and property. In this article, the natural hazards induced by water are dealt with. The flow of water over landscape was estimated using modelling in GIS and CN curve methods. This method is simpler than the more complex models (for example HEC-GeoHMS, HEC-RAS with extension HECGeoRAS, DesQ - MaxQ, Fénix, WaSiM-ETH, WetSpa), which need detailed data about rainfall, flow volume, morphometric parameters of river channels, etc. On the other hand, the commonly used data (land-use and DMR) are sufficient for the method described. The results are less precise than results obtained by more complex models, but they are sufficient for the basic evaluation of natural hazards and the resulting landscape vulnerability resulted. This method can be improved by calculation of maximal discharges. The parts of the sample land, which is threatened by floods, water logging and of gully erosion were selected. The areas threatened by floods were identified according to the theorem that the most menaced areas are in the floodplain, near channel with adequate flow volume, and with the smallest elevation over the valley line. Areas menaced by water logging were identified according to theorem that the most threatened areas are those of the biggest inflow, with the worse infiltration conditions, the smallest slope inclination and those located in a concave form of relief. Areas threatened by gully erosion were identified according to theorem that the most threatened areas are those with the biggest inflow and the biggest slope inclination. Our results are on Figs. 5 to 7.