

MOŽNOSTI MODELOVANIA ZMENY ODTOKU INDIKOVANEJ ZMENOU KRAJINNEJ POKRÝVKY PO VETERNEJ KALAMITE V TATRÁCH

Michal Hazlinger

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

Abstract: Wind destruction of forrest in the Tatra mountains 2004 didn't change only the Land Cover. Change of Runoff parameters can be expectet too. There is a lot of methods how to simulate this change of runoff influenced by the change of natural conditions. The most useable method is the hydrological modelling by runoff models. In this article five different runoff models are described. Their applicability in our conditions is discussed and compared. Result of modelling will be present later.

Key words: Tatras, land cover change, effect of forrest canopy, runoff modelling

1. ÚVOD

Veterná kalamita v Tatrách nás postavila pred viaceré otázky: Aký bude mať táto zmena v krajine dopad na jej jednotlivé zložky? Čo všetko sa vlastne zmení? Nezmenilo sa totiž len to, že „zmizli“ stromy. Zmena išla omnoho hlbšie. Po kalamite prišlo k obnaženiu pôdy, ktorá bola dlhodobo chránená pred priamym dopadom dažďových kvapiek. Les chránil pôdu pred eróznymi účinkami vody a spomaľoval odtok vody z povodia. Po veternej kalamite a následnom vyťažení dreva sa táto situácia zásadne zmenila. Logicky by malo zmiznutie lesa spôsobiť zvýšenie hodnôt okamžitého odtoku. Závery väčšiny prác (napr. Hibbert, 1967; Bosh, Hewlett, 1982; Ward, Robinson, 1990) zaoberajúcich sa touto témou to aj potvrdzujú.

V tomto príspevku sa pokúsím načrtnúť viaceré metódy kvantifikácie celkového vplyv zmeny krajinej pokrývky na odtok vody z krajiny. Existuje niekoľko samostatných metód (modelov) pracujúcich na rôznych princípoch a s rôznou náročnosťou na podkladové dáta, ktoré by sa dali pri meraní zmeny kvantity aj kvality odtoku použiť. Pokúsím sa vybrané modely a metódy popísať a stanoviť ich vhodnosť pre tatranské podmienky.

2. VPLYV LESNEJ POKRÝVKY NA ODTOK

Les vstupuje do obehu vody v prírode väčšinou v podobe spomaľovača odtoku. Pôsobí ako štít pred dažďovými kvapkami a tým po istý čas ovplyvňuje reálnu hodnotu intenzity dažďa a následný okamžitý povrchový odtok. Pôsobí aj ako retenčný objekt, keď časť vody dočasne zachytáva na svojom povrchu a časť vody naviaže v procese evapotranspirácie.

Vegetačný kryt má aj veľké množstvo ďalších sprostredkovaných vplyvov hlavne na pôdny kryt. Koreňovým systémom a zvyškami rastlín mení štruktúru a pórovitosť pôdy, od ktorých závisí infiltrácia vody do pôdy. Okrem toho aj transpiráciou znižuje pôdnu vlhkosť a tým teda zvyšuje infiltráciu schopnosť pôdy (Cebecauer a kol., 2000).

Pri posudzovaní vplyvu vegetácie na odtok sa najčastejšie uvažuje o retenčnom vplyve lesa. Krešl (1997) upozorňuje, že retenčná kapacita lesa závisí od veku, druhu a zakmenenia. Odhaduje, že pre retenciu je najvhodnejší asi 60-ročný porast. Upozorňuje na to, že les nie je tvorený len stromami, ale má viacero etáží a každá z nich je schopná zadržiavať vodu.

Odhaduje sa, že celková retenčná kapacita zalesneného povodia môže dosahovať až 70 mm, čo by umožnilo zretardovať všetku vodu zo 100-ročného privalového dažďa. Pri dlhotrvajúcich dažďoch je však vplyv lesa (ako súboru rastlín) zanedbateľný a podstatnú úlohu zohráva retenčná kapacita pôdy. Na základe meraní v rôznych oblastiach a podmienkach sa potvrdila väčšia priepustnosť lesných pôd ako nezalesnených.

Existuje viacero teórií o tom, aký druh lesa je z hľadiska retencie, infiltrácie a intercepce najlepši. Podľa Valčíčáka (1967) je pre infiltráciu najvýhodnejší zmiešaný les, ktorý obsahuje v celom profile koreňové systémy a má dobré podmienky pre humifikáciu hrabanky. Švihla (1997) naopak za najvýhodnejší z hľadiska odtoku považuje ihličnatý les a za najnevýhodnejšie monokultúry. Veľký vplyv však má nielen druh drevín, ale aj zapojenie a veková štruktúra rastlín. 60-ročný smrekový porast pri zakorenení 1,0 a pri príčinnej zrážke 20 – 25 mm je schopný zadržať 5,1 – 6,3 mm zrážok, borovicový 3,0 – 3,9 mm a bukový 3,5 – 4,1 mm. Pri nižšom zápoji lesa alebo pri kosodrevine sa hodnota retencie znižuje (Krešl, 1997).

Z hľadiska intercepce by najlepšie hodnoty mali dosahovať dospelé smrečiny, ktoré by mali zachytiť v priemere asi 24 % zrážok. Všeobecne by podľa výskumov mali mať väčšiu schopnosť intercepce ihličnaté porasty, čo je podmienené fyziologickými parametrami ich listov resp. ihličiek (Ward, Robinson, 1990).

Valtýni (1998) odvodil základné závislosti odtoku a lesnatosti:

- so zvyšovaním lesnatosti klesá amplitúda prietokov
- vo flyšových pohoriach je vplyv lesnatosti najvyšší
- v málo zalesnených povodiach zapríčiní rovnaká zmena lesnatosti väčšiu zmenu odtokov ako vo viac zalesnených povodiach
- lesné typy patriace do kyslého lesného radu majú menší hydrický potenciál ako radu živného a tie zase menší ako radu nitrofilného
- odlišné lesné typy výraznejšie ovplyvňujú priemerný ročný prietok ako maximálne prietoky
- intercepčná kapacita lesných porastov je vo vzťahu k povodňovým prietokom omnoho menšia ako retenčná kapacita lesnej pôdy
- vo vyšších polohách sa intercepčná kapacita lesa môže prejaviť aj negatívne pri zvýšení množstva zrážok o horizontálne zrážky

- ♦ pri preplnení lesnej pôdy vodou môže v určitom časovom intervale dôjsť aj väčšiemu odtoku z lesa ako z územia bez lesa



Obrázok 1 Spracovaný vývrat v Tatrách pod hotelom Banik (2006). Foto: V. Faltan (2006)

V lesnatej krajine dochádza k zmenšovaniu výparu z pôdy Môže za to najmä väčšia vlhkosť, nižšia teplota a znížená cirkulácia vzduchu (Valčíčák, 1967). Z tohto hľadiska ovplyvňuje les odtok skôr negatívne (z hľadiska posudzovania maximálnych odtokov).

Je zaujímavé sledovať zmeny ktoré v povodí nastanú pri jeho odlesnení. Hibbert (1967 in: Ward, Robinson, 1990) odvodil zo svojich výskumov, že prvý rok po odlesnení stúpne odtok asi do 300 mm. Postupne však opäť klesá v súvislosti s opätovným zarastaním územia. Naopak zalesnením územia môže dôjsť k poklesu hodnoty odtoku až do hodnoty 220 mm. Všeobecný pokles odtoku nastáva aj pri zatrávňovaní areálov bez vegetácie či pri zvyšovaní podielu ihličnatých drevín v lesných porastoch (Ward, Robinson, 1990). Marhoun (1997) pokladá zväčšovanie plochy lesa za jedno zo základných opatrení na zadržiavanie vody v krajine.

Vo všeobecnosti by sa dalo konštatovať, že väčšina autorov pokladá les za objekt, ktorý je schopný do značnej miery ovplyvniť odtok vody z povodia. Až na výnimky (pri dlhotrvajúcom daždi) sa predpokladá, že prítomnosť lesa znižuje odtok svojim pôsobením na intercepciu a na infiltráciu. Po jeho odstránení, či už antropogénnom alebo pôsobením prírodných procesov, sa teda dá predpokladať nárast hodnôt odtoku. Zmerať tento nárast dlhodobými meraniami by bolo časovo nákladné. Omnoho efektívnejšou metódou je použitie zrážkovo-odtokových modelov. V nasledujúcej časti práce stručne popíšem históriu a možnosti použitia niektorých modelov pri modelovaní zmeny odtoku.

3. MOŽNOSTI KVANTIFIKÁCIE VPLYVU ODLESNENIA NA ODTOK

Problematika modelovania zmeny odtoku vody z povodia pri potenciálnej zmene podmienok odtoku vody nie je v literatúre nová. Bosh a Hewlett, 1982 (in Blažková, 1991) uvádzajú vyše 94 párových experimentov zaoberajúcich sa vplyvom zmeny vegetačného krytu na odtok v malých povodiach. Za posledných 15 rokov sa toto číslo ešte niekoľkonásobne zväčšilo. Reálne bolo použitých niekoľko desiatok modelov modelujúcich odtok vody z povodia. V nasledujúcich častiach sa pokúsím predstaviť len malú vzorku z nich.

Všeobecne sa dá povedať, že na kvantifikáciu vplyvu odlesňovania na hydrologický režim v povodí sa používajú štyri hlavné metodiky (Blažková, 1991):

- ♦ vyšetrovanie trendov v časových radoch
- ♦ porovnávanie súboru povodí s rôznym stupňom zmeny regresnými metódami
- ♦ porovnávanie dvoch období pred zmenou a po zmene na určitom povodí kalibráciou na týchto dvoch obdobiach a porovnaním parametrov alebo kalibráciou na jednom období a simuláciou na druhom s následným porovnaním charakteristík prietokov
- ♦ modelovanie scenárov

Nie všetky modely sú však rovnako vhodné. Mali by postihovať najmä fyzikálnu podstatu zmien. Poznáme:

- ♦ **modely zmeny lesnej evapotranspirácie** – vyžadujú znalosti klimatických, pôdných a vegetačných parametrov územia
- ♦ **distribované modely podpovrchového a povrchového odtoku** – vyžadujú veľké množstvo priestorovo rozložených vstupných údajov
- ♦ **konceptné modely pôdnej bilancie (Sacramento)** – vyžadujú dostatok dát pre presnú kalibráciu

Zrážkovo-odtokové modely

Čo si vlastne treba predstaviť pod pojmom zrážkovo-odtokový model? Zrážkovo-odtokové modely simulujú pomocou matematických výpočtov realitu zložitých procesov prebiehajúcich v povodí. Sú definované klímou, topografiou, geologickými, pôdnymi a vegetačnými pomermi a využitím zeme. Ich úlohou je zodpovedanie otázok hydrologie v závislosti od skúmaného problému (Singh, 1995).

Počiatky hydrologického modelovania siahajú do polovice 19. storočia. Racionálna metóda od Mulványho (1850) a model udalostí od Imbeaua (1892) sa pokúšali dať do súvislosti vrcholový odtok a intenzitu dažďa. V roku 1932 vniesol Sherman do praxe koncept jednotkového hydrogramu spájajúceho priamu odtokovú odozvu s prebytkom dažďa. V roku 1933 Horton odvodil semiepirický vzorec založený na dlhodobom skúmaní odtoku. V roku 1945 vytvoril koncept tvorby odtoku s dôrazom na povrchový odtok. Ten istý autor v roku 1933 odvodil viacero empirických vzorcov na určenie intercepcie počas búrky pri rôznych druhoch vegetačnej pokrývky. Lighthill a Whitham v roku 1955 vyvinuli teóriu kinematickej vlny pre trasy odtoku v dlhých riekach, ktorá je v súčasnosti akceptovaná pri modelovaní povrchového odtoku aj iných hydrologických procesov (Gajdošík a kol., 2005).

V 70. a 80. rokoch minulého storočia boli vyvinuté matematické modely využívajúce štatistické a numerické modelácie. Jednotlivé modely boli postupne zlepšované a

zdokonaľované. Napríklad na základe TOPMODELU bol odvodený model verifikovaný v priebehu experimentu SALPEX96 (*Southern Alps Experiment 1996*) (Kriegerová, 2001). V Dánsku bol vyvinutý modelovací systém MIKE 11. Hydrologický model NAM bol vyvinutý na dánskom ústave hydrodynamického a hydraulického inžinierstva Technickej univerzity v Dánsku a v roku 2000 sa jeho automatickej kalibrácii venoval Madsen.

Aj na Slovensku bolo aplikovaných viacero modelov v snahe namodelovať vplyv zrážok na odtok v našich podmienkach. Kašpárek (1975) simuloval odtok povodňovej vlny z povodí Sputky, Blanice a Litavky s prihliadnutím na meniace sa parametre povodia. Mendel a Sviatko (1978) sa pokúšali stanoviť prítok do nádrží pomocou hydrologických modelov. Určovali závislosť odtokovej výšky od aktuálneho dažďa na experimentálnych povodiach Turiec a Mošteník. Janáčová (1981) sa snažila nájsť vzťah medzi zrážkami a odtokom s prihliadnutím na možnosti fyzicko-geografických prvkov ovplyvňovať odtok. Mendel a Dudák (1982, 1983) aplikovali svoj model v povodí Laborca po profil Kočkovce. Povodie bolo rozdelené na šesť čiastkových povodí a odtok v ňom bol vcelku úspešne modelovaný pomocou rozdelenia procesu tvorby odtoku na šesť fáz. Majerčáková (1984) sa pokúsila o modelovanie intercepcie ako stratovej zložky v procese tvorby odtoku zo zrážok v lesnom poraste.

V práci Blažková, Beven (1995) je aplikovaný fyzikálne založený TOPMODEL, využívajúci rozdelenie topografického a pôdneho indexu v povodí. Tento model umožňoval aj odhad rozsahu plôch prispievajúcich k priamemu odtoku. Querner a kol. (1997) použili komplexný model BILAN umožňujúci modelovanie v zimnom aj letnom režime zrážok. Tento model je vhodný na modelovanie zmien hydrologickej bilancie v povodí zapríčinených antropogénnym zásahom alebo potenciálnou zmenou klímy. Buchtele a kol. (1999) použili model SACRAMENTO. Simuluje odtok pri rôznych geologických a vegetačných podmienkach.

Skupina okolo J. Szolgaya na STU v Bratislave sa zaoberá používaním a aplikáciou rôznych zrážkovo-odtokových modelov. Model CASC2D bol použitý na simuláciu štyroch povodňových vln v povodí rieky Myjavy. Je to fyzikálny zrážkovo-odtokový model definujúci parametre povodia ako funkcie fyzikálnych charakteristík územia (Szolgay a kol., 2000). Model KINFIL použitý Kovárom a kol. (2002) slúžil na analýzu povodní v malých povodiach značne pozmenených antropogénnou činnosťou.

Uvedené zrážkovo-odtokové modely môžeme klasifikovať na základe rozličných kritérií. Všeobecne sa dajú modely rozdeliť na jednoduché, koncepčné a distribuované. Podľa posudzovania prvku náhodnosti poznáme modely stochastické a deterministické. Z hľadiska geografickej praxe je vhodné delenie na modely s priestorovo nediferencovanými (lumped) a priestorovo diferencovanými (distributed) parametrami. V geografii by malo byť uprednostňované používanie modelov s priestorovo diferencovanými parametrami, nakoľko tieto nechápu modelové územie ako jednotný celok, ale ako súbor priestorových jednotiek (grid, subpovodia) s odlišnými parametrami, ktoré následne aj navzájom odlišným spôsobom vplývajú na odtok. Aj nižšie popisované modely (s výnimkou modelu NAM) patria práve do kategórie priestorovo diferencovaných modelov.

Reálne je používaných veľmi veľa modelov. Teraz sa zameriam na podrobnejší popis len tých modelov, ktoré boli priamo použité na modelovanie zmeny hodnôt odtoku v prípade zmeny krajinej pokrývky.

Model CLSX

Blažková v roku 1991 použila semidistribovaný nelineárny model CLSX na povodí rieky Sputky. Cieľom výskumu bolo zistiť vplyv odlesnenia na kulminačné prietoky. Pri odlesnení skúmala dva quasi samostatné procesy. Prvým bolo zníženie vlhkosti vzduchu spôsobené obmedzením transpirácie a druhým bola zmena vlastného druhu odtoku z podpovrchového na hortonovský povrchový zapríčinená zníženou mierou infiltrácie.

Dôvodom výberu tohto modelu bola jeho nelineárnosť, ktorá umožňovala skúmať nerovnakú odozvu povodia na rovnako veľký impulz. V povodí sa v tomto prípade menili počiatkové podmienky – predchádzajúca nasýtenosť povodia zrážkami. Model tiež umožňoval simulovať zmeny len v určitej časti povodia a umožňoval samostatne meniť parametre zmeny transpirácie aj infiltrácie.

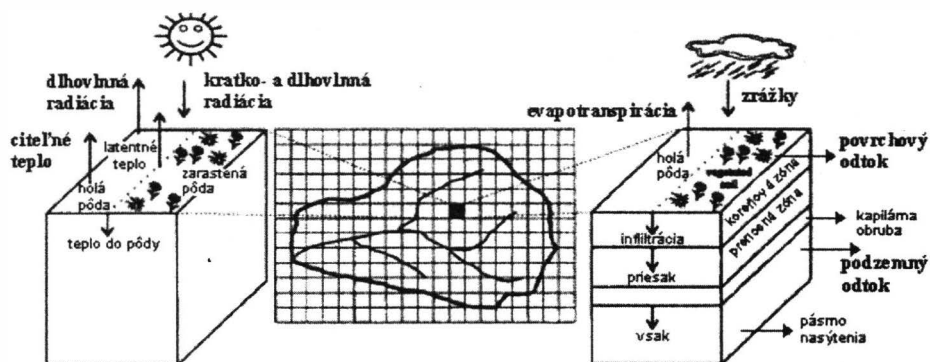
Model bol kalibrován metódou black-box. Nebola presne stanovená určitá transformačná rovnica, ktorá by nemusela byť pre celé povodie vhodná, ale transformačné funkcie boli zadávané numericky na základe úsudku a boli upresňované metódou pokus – omyl. Napriek relatívne ľahkej manipulácii s modelom (Blažková, 1991) a pomerne malej náročnosti na dáta (keď je však dát viac a sú presnejšie, aj výsledky sa spresňujú) výsledky modelovania nemožno brať ako objektívne zistené fakty, ale len ako informácie. Pri ich použití v praxi autorka odporúča pravdepodobnostné analýzy.

Model CLSX pracuje s úhrmi zrážok v jednotlivých staniách ako so vstupnými impulzmi do systému a s odtokom ako z jeho výstupom. Transformačné funkcie vyjadrujú vlastne relatívny význam jednotlivých zrážkových úhrnov. Nemusíme teda jednotlivým staniám prisudzovať určitú váhu podľa reprezentatívnej plochy územia, ale váha bude vyjadrená vlastne plochou transformačnej funkcie, ktorá je rovná zrážkovému koeficientu.

Modelovanie prebiehalo metódou scenárov odlesnenia rôznych častí povodia. Bola skúmaná zmena procesu tvorby odtoku pri príčinnej zrážke s opakovaním 0,5 – 10 000 rokov s rôznym časovým rozložením (rôzne výdatné zrážkové úhrny v určitom čase za sebou) a pri rôznych vstupných podmienkach vlhkosti povodí. Pri simulovaných zmenách transpirácie vykázal model nárast kulminačných prietokov hlavne v oblasti nižších a stredných hodnôt pri suchších počiatkových podmienkach a pri krátkodobej intenzívnej zrážke. Čím vlhšie bolo počiatkové povodie alebo čím dlhšia a menej intenzívna bola simulovaná zrážka, tým boli prírastky odtoku menšie. Pri namodelovanej zmene infiltrácie vykázal model nárast za akýchkoľvek podmienok bez ohľadu na počiatkový stav povodia alebo parametre príčinnej zrážky.

Fyzikálne založený model WETSPA

Model WETSPA je fyzikálne založený model, ktorý bol vyvinutý na simuláciu a predpoveď prenosu vody a energie medzi pôdou, rastlinstvom a atmosférou v regionálnej mierke alebo v mierke povodí. Model sa môže použiť aj na simuláciu a predpoveď tvorby povodní. Počíta hydrologickú bilanciu vyčlenených priestorových jednotiek (grid, subpovodie), ktorá zahŕňa nasledovné členy: tekuté a tuhé zrážky, intercepciu, pôdnu vlhkosť, infiltráciu, skutočnú evapotranspiráciu, povrchový odtok, podpovrchový odtok v koreňovej zóne, priesak do podzemných vôd, podzemný odtok a tvorbu zásob podzemnej vody v zóne nasýtenia. Hydrologický model WETSPA spolupracuje ako nadstavba s programom ESRI ArcView GIS (Danko, 2006).



Obrázok 2 Schéma modelu WETSPA (Danko, 2006)

Príprava údajov je viazaná na GIS prostredie, kde sa spracúvajú nasledujúce údaje: digitálny model terénu (DEM), mapa využitia krajiny, mapa pôdnych druhov, riečna sieť, umiestnenie hydrometeorologických staníc a mapy indexu oslnenia pre každý mesiac. Z týchto podkladových údajov je treba v GIS vyselektovať smer odtoku, riečnu akumuláciu odtoku, nastaviť prahové hodnoty tokov z riečnej akumulácie na vytvorenie gridovej riečnej siete, určiť rád tokov podľa Shreva, (bude použitý pre interpoláciu koeficienta drsnosti riečnych koryt) a vytvoriť mapu sklonov gridov v povodí a aj pre riečne korytá a nastaviť hodnotu minimálneho sklonu povodia, vybrať frekvenciu povodne (napr. 2-, 10-, alebo 100 – ročná povodeň) pre výpočet hydraulického polomeru z empirických vzorcov a vytvoriť mapu hydraulického polomeru z mapy riečnej akumulácie.

Do výpočtu vstupujú aj odvodené parametre pôdy ako nasýtená hydraulická vodivosť ($\text{mm}\cdot\text{hod}^{-1}$), pórovitosť pôdy ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$), maximálna pôdna vlhkosť ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$), zvyšková pôdna vlhkosť ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$), index rozdelenia pórov v pôde podľa ich veľkosti (-), bod vädnutia rastlín ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$). Počiatočná pôdna vlhkosť sa stanoví použitím topografického vlhkosťného indexu. Z mapy využitia zeme do modelu vstupujú: hĺbka koreňovej zóny (m), maximálna a minimálna kapacita intercepcie (mm) a Manningov koeficient drsnosti pre povrch zeme i riečne korytá založený na tabuľkových hodnotách. Jednotlivé odvodené parametre sú následne zadané do jednotlivých buniek v povodí, prípadne do subpovodí v rámci modelovaného povodia.

Danko (2006) nasimuloval v povodí Popradu štyri scenáre zmeny krajinej pokrývky:

- ♦ **nízka tráva za les** – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že sa lesnaté plochy zmenia na nízku trávu,
- ♦ **vysoká tráva za les** – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že sa lesnaté plochy zmenia na vysokú trávu,
- ♦ **nízka tráva za ornú pôdu** – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že sa orná pôda zmení na nízku trávu,
- ♦ **vysoká tráva za ornú pôdu** – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že sa orná pôda zmení na vysokú trávu,

Výstupom modelovania zmeny odtoku modelom WETSPA je tabuľka 1. s namodelovanými zmenami priemernej hodnoty prietokov a priemernej odtokovej výšky.

Tabuľka 1 Zmeny priemernej hodnoty prietokov a priemernej odtokovej výšky pri rôznych scenároch

Odtok/LANDUSE	Qs v m ³ .s ⁻¹	Qi v m ³ .s ⁻¹	Qg v m ³ .s ⁻¹	Q-celk. v m ³ .s ⁻¹
Súčasný Land Use	0.48	5.33	5.09	10.9
Nízka tráva za les	0.52	5.43	5.23	11.18
Vysoká tráva za les	0.51	5.43	5.2	11.1
Nízka tráva za ornú pôdu	0.45	5.34	5.11	10.89
Vysoká tráva za ornú pôdu	0.44	5.32	5.06	10.82
Zmena odtokovej výšky v mm. rok ⁻¹				
Súčasný Land Use	11.98	133.22	127.24	272.44
Nízka tráva za les	12.98	135.74	130.67	279.39
Rozdiel v mm.rok ⁻¹	1	2.52	3.43	6.96
Rozdiel v %	8.39	1.89	2.7	2.55
Vysoká tráva za les	12.83	134.83	129.9	277.55
Rozdiel v mm.rok ⁻¹	0.86	1.6	2.65	5.11
Rozdiel v %	7.14	1.2	2.09	1.88
Nízka tráva za ornú pôdu	11.21	133.48	127.63	272.31
Rozdiel v mm.rok ⁻¹	-0,77	0.25	0.38	-0,13
Rozdiel v %	-6,43	0.19	0.3	-0,05
Vysoká tráva za ornú pôdu	11.1	132.9	126.6	270.6
Rozdiel v mm.rok ⁻¹	-0,88	-0,32	-0,64	-1,84
Rozdiel v %	-7,34	-0,24	-0,50	-0,68

Qs – povrchový odtok, Qi – podpovrchový odtok, Qg – podzemný odtok, Q-celk. – celkový odtok

Zdroj: Danko (2006)

Výsledky uvedené v tab. 1 sú v podstate zhodné z výsledkami modelovania vo svetovej literatúre. Pri nahradení lesa trávnatými porastami hodnoty prietokov v rieke aj hodnoty odtokovej výšky z povodia stúpajú, pri nahradení ornej pôdy trávnatými porastami naopak klesajú. Autor sa však nepokúšal modelovať ostatné varianty, ako napríklad opačné poradie zmien, prípadne zmenu lesa na ornú pôdu a naopak.

Model WetSpa použili aj Hlavčová a kol. (2006) pri posudzovaní vplyvu spôsobu využívania krajiny na odtokové pomery. Pracovali v štyroch povodiach na území Slovenska. Vypracovali si tabuľku pokryvnosti vegetácie v %, indexu pokryvnosti listov, hĺbky koreňov, Manningových koeficientov drsnosti a intercepčnej kapacity pre jednotlivé typy využitia územia. Aj títo autori použili 4 scenáre:

- ♦ **prírodné využitie územia** – celé povodie je pokryté „prirodzenou krajinnou pokrývkou – lesom
- ♦ **zmena zloženia lesa** – scenár len zmenil umelo vysadený les za prirodzený bez zásahov do zvyškov povodia.
- ♦ **tráva namiesto poľnohospodárskej pôdy**
- ♦ **tráva namiesto lesa**

Pri aplikovaní scenára prírodného využitia územia boli namodelované poklesy odtoku od 13 do 26 %. Pri scenári zmeny zloženia lesa boli zmeny celkového odtoku zanedbateľné, pri inscenovanom zamenení ornej pôdy za trávu. sa v podstate znížil len povrchový odtok. Pri. Scenári nahradenia lesa trávou preukázal model naopak zvýšenie odtoku. Výsledky, ktoré dosiahol Danko (2006) sú v podstate totožné s výsledkami dosiahnutými Hlavčovou a kol. (2006).

Metóda CN-kriviek

Táto metóda bola odvodená na základe dlhodobých pozorovaní odtokov z poľnohospodársky využívanej krajiny. Vstupné charakteristiky obsahujú nielen hydrologické dáta, ale aj parametre spôsobu využívania zeme.

Pri použití tejto metódy je potreba poznať:

- ♦ hydrologickú charakteristiku pôdneho krytu v povodí (zvyčajne na základe využitia zeme)
- ♦ hydrologickú charakteristiku jednotlivých spôsobov obrábania pôdy
- ♦ hydrologickú charakteristiku vlhkosného stavu pôdy. (podľa predchádzajúcich zrážok.

Na stanovenie hydrologickej kategórie pôd sa rozlišujú štyri samostatné typy (Antal, 1999):

- ♦ pôdy s vysokou filtračnou kapacitou aj pri úplnom nasýtení vodou – hlboké piesky a štrky
- ♦ pôdy so strednou schopnosťou vsakovania i pri ich úplnom nasýtení a s dobrou drenážou – stredne hlboké až hlboké piesočnaté a hlinitopiesočnaté pôdy
- ♦ pôdy s malou schopnosťou vsakovania pri úplnom nasýtení a nízkou drenážou – ílovitohlinité až ílovité plytké pôdy
- ♦ pôdy s malou infiltračnou kapacitou a bez drenáže – íly alebo pôdy s pozmenenou infiltračnou schopnosťou

Kategórie spôsobov obrábania pôdy sú aplikované na poľnohospodárske využitie územia. Rozlišuje sa obrábanie po vrstevnici, v priamych riadkoch, terasovanie alebo nedefinované obrábanie. Antal (1999) uvádza hodnoty CN pre jednotlivé spôsoby využívania zeme v tabuľkách. Táto hodnota CN je potom dosádzaná do vzorcov na výpočet priameho odtoku. Hodnota CN môže byť v intervale 0-100. V prípade že je hodnota CN rovná 0, všetka zrážková voda vsiakne a priamy odtok nenastane. Keď je jej hodnota rovná 100, všetka zrážková voda dopadnutá na zemský povrch odtečie (Antal, 1999 in Gajdošík a kol., 2005).

Na výpočet potenciálnej retencie sa využíva vzťah (1).

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

kde

A – hodnota potenciálnej retencie

CN – hodnota odvodená na základe vyššie spomenutých parametrov

Vypočítaná hodnota potenciálnej retencie je použitá vo vzorci na výpočet výšky priameho odtoku z povodia prípadne parciálnych povodí (2).

$$H_0 = \frac{(H_z - 0,2A)^2}{(H_z + 0,8A)} \quad (2)$$

kde

H_0 – výška priameho odtoku v mm vyvolaná dažďom

H_z – výška uvažovaného dažďa v mm

A – potenciálna retencia zo vzťahu (1)

Aby sme sa dostali k výslednej hodnote odtoku musíme použiť vzťah (3).

$$O = H_0 \cdot S' \cdot k_p \quad (3)$$

kde

O – objem odtoku (km³, m³, mm³)

S' – reálna plocha (km², m²)

k_p – prepočítavací koeficient.

Keďže plocha na mape je len relatívna (je vyjadrením priemetu reálnej plochy a je menšia ako reálna), treba ju upraviť podľa vzťahu (4).

$$S' = \frac{S}{\cos \alpha} \quad (4)$$

kde

S' – reálna plocha (km², m²)

S – relatívna plocha na mape (km², m²)

α – priemerný sklon daného povodia

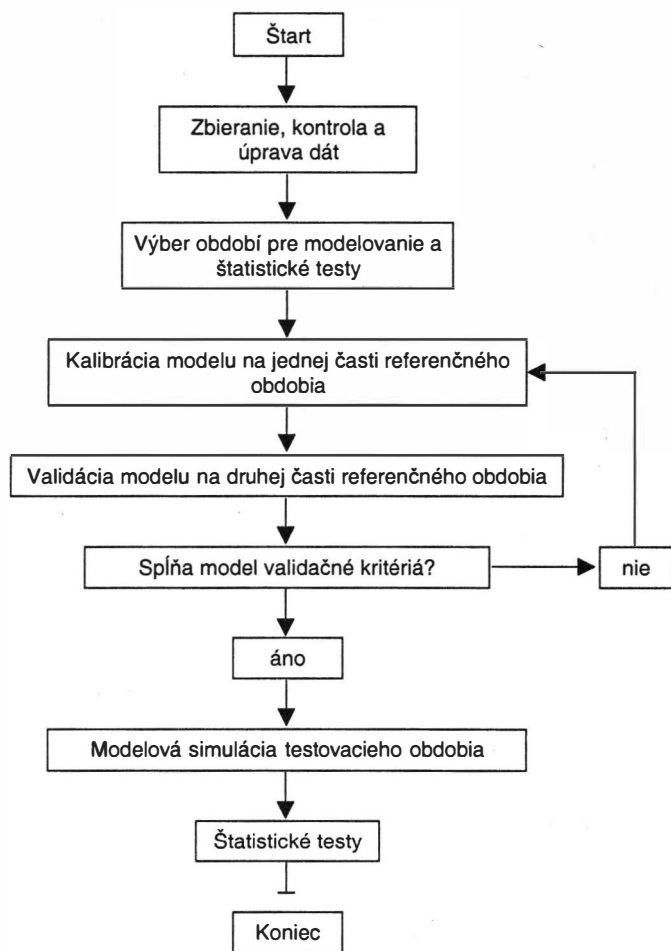
Na základe vyššie popísanej metodiky zistíme hodnoty výšky odtoku z jednotlivých partiálnych povodí resp. podiel povrchového k podpovrchovému odtoku. Pred výpočtom odtoku z týchto jednotlivých areálov potrebujeme poznať údaje o množstve zrážok a priemernom sklone povodí. V prípade, že sme vypočítali hodnoty výšky odtoku pre jednotlivé mikropovodia, odtok z celého povodia dostaneme sčítaním odtokov z jednotlivých mikropovodí (Gajdošík a kol., 2005).

Aj keď táto metodika bola vypracovaná pôvodne pre poľnohospodársky využívané oblasti, je použiteľná aj pre nami zadanú úlohu t.j. na zistenie vplyvu zmeny krajinej pokrývky na odtok. Do nakalibrovaného a verifikovaného modelu zadávame hodnoty pre odlesnenú krajinu a výsledky nám ukážu rozdiel medzi povrchovým odtokom zo zalesneného a odlesneného povodia. Metodika bola v našich podmienkach odskúšaná na viacerých vodných tokoch, napríklad na Rajčianke (Gajdošík, 2004), Revúcej (Šulík, 2004) aj vo vysokohorskom prostredí Tatier – Jalovecký potok (Hollová, 2004).

Hydrologický model NAM

Lørup a kol. (1998) analyzovali dopad zmeny využitia územia v semi – arídnych podmienkach Zimbabwe pomocou dlhodobých časových sérií (25 – 50 rokov). Použili kombináciu bežných štatistických metód a hydrologického modelu NAM. Kombinácia modelu a štatistickej analýzy bola zvolená z dôvodu eliminácie možného šumu, ktorým by mohla byť predpokladaná klimatická variabilita.

Samotný výskum prebiehal na šiestich neexperimentálnych povodiach v poľnohospodárskej vidieckej krajine. Pri modelovaní boli ako vstupné údaje brané do úvahy zrážky a evapotranspirácia. Na porovnanie simulovaných a pozorovaných hodnôt boli potrebné údaje o odtoku, vodných stavoch, kapacite vodných rezervoárov, parametroch hrádzí atď. Zmeny využitia územia v týchto areáloch boli podmienené zvýšením hustoty populácie a premenou krajiny na intenzívne využívanú poľnohospodársku oblasť. Povodia majú veľkosť od 200 – 1000 km². Ich prírodné podmienky sú vcelku pestrou zbierkou rôznych typov krajiny, od trávnatých pláni, cez lesíky, až po poľnohospodársky využívanú krajinu.



Obrázok 3 Schéma metodiky s použitím modelu a štatistických testov. (Lørup a kol., 1998)

Prvým krokom bolo posúdenie vstupných zrážkových dát štatistickými metódami. Dáta nemali mať žiadny trend, ktorý by sa potom nedal eliminovať pri samotnom modelovaní. Pri referenčných a testovacích obdobiach (periódach) si autori stanovili viacero kritérií:

1. Referenčné aj testovacie obdobie mali byť čo najdlhšie aby sa dali urobiť čo najlepšie štatistické testy, pričom referenčné by malo byť dlhé minimálne 6 – 10 rokov.
2. Jedna testovacia perióda by mala byť použiteľná aspoň pri troch povodiach
3. Testovacia perióda mala byť vybratá tak, aby bol zrážkový režim totožný s referenčnou periódou
4. Referenčné obdobie by malo reprezentovať kombináciu suchých, prechodných a vlhkých období, aby sa dal model nakalibrovať na široké spektrum všetkých zrážkových režimov vyskytujúcich sa v povodí

Samotné modelovanie prebiehalo v modeli NAM, čo je tradičný koncepčný hydrologický model. Pôvodne bol vyvinutý v 70. rokoch v Dánsku, neskôr s úspechom

aplikovaný na rôznych lokalitách po celom svete vrátane Zimbabwe (Lørup a kol., 1998).

Po skončení samotného modelovania prebiehali štatistické testy. Porovnával sa rozdiel medzi simulovaným a pozorovaným odtokom a sledovaným odtokom a zrážkami. Práve samotný rozdiel medzi simulovaným a namodelovaným odtokom bol braný ako kľúčový parameter pri zisťovaní zmeny odtoku vody z povodia v dôsledku zmeny využitia územia

Bolo vykonané klasické štatistické testovanie hypotéz na hydrologických časových radoch. Testované boli dve hypotézy. Nulová hypotéza tvrdila, že v testovaných hodnotách neexistujú žiadne trendy. Druhá hypotéza tvrdila, že určitý trend existuje v oboch radoch (simulovanom aj napozorovanom). Na štatistickú analýzu bol použitý Wilcoxonov (MANN-Whitneyho) test.

Výsledkom štatistických testov bol poznatok, že nie je žiadny štatistický rozdiel medzi referenčným a testovacím obdobím. Autori na záver konštatujú, že nenašli žiaden preukázateľný nárast odtoku v modelových povodiach. Môže to mať aj súvis s tým, že napriek tomu, že sa prudko zvýšila hustota populácie, podiel jednotlivých typov využitia územia ostal v jednotlivých povodiach v podstate zachovaný, len sa zvýšila intenzita využitia už predtým poľnohospodársky využívaných oblastí.

Lørup a kol. (1998) však konštatujú, že kombinácia použitia zrážkovo – odtokového modelu a následného štatistického modelovania nám môže odlíšiť zmeny odtoku, ktoré sú zapríčinené klimatickou zmenou a od zmien odtoku zapríčinených zmenou využitia územia, čo samotné štatistické analýzy nedokážu.

4. ZÁVER

Posudzovanie vplyvu zmeny využitia krajiny na odtok je z hľadiska rozsiahlych zmien v našej krajine veľmi dôležité. V podstate je táto téma sledovaná od 80. rokov 20. storočia a v priebehu štvrtstoročia bolo vyvinutých veľa metodík, ktoré umožňujú túto zmenu kvantifikovať. V tejto práci je popísaných len niekoľko z nich. Tri z nich boli aplikované na území Slovenska. Jediná mimoslovenská bola do výberu zaradená vďaka tomu, že pri štatistickom porovnávaní dvoch období brala do úvahy aj možný vplyv klimatickej zmeny. Tá nebola braná do úvahy pri žiadnej z iných predstavených metód.

Existuje ešte niekoľko ďalších možných faktorov okrem klimatickej zmeny, ktoré môžu ovplyvniť výsledky modelovania danej zmeny odtoku. Naef a kol. (2002) konštatujú, že hodnotenie vplyvu zmeny využitia územia na odtok je mysliteľné iba v tom prípade, že odtok z krajiny nastáva veľmi rýchlo. V opačnom prípade môže do procesu odtoku zasahovať veľké množstvo iných faktorov a kvantifikácia vplyvu danej zmeny využitia územia je tým značne sťažená. Lewis a kol. (2000) študovali priamo účinky odlesnenia na odtok v Kalifornii. Vybrané územie však nepotvrdilo domienku, že s lesnatosťou stúpa odtok, keďže ani 14 % zníženie plochy lesa sa závažnejšie do odtoku nepremietlo. Autori to dali do súvislosti s vysokou prahovou hodnotou citlivosti daného prostredia na zmenu lesnatosti.

Všetky popísané metodiky vychádzajú z výsledkov hydrologického modelovania. Všetky predpokladajú zmenu určitých parametrov v zmenenom prostredí, nie celkovú globálnu zmenu prostredia, ktorá by bola ťažko simulovateľná kvôli veľkému množstvu

vstupných parametrov. Všetky vyžadujú záverečné porovnanie namodelovaných a reálnych hodnôt. Toto záverečné porovnanie je však v podobe štatistickej analýzy zakomponované priamo do procesu len v prípade metodiky použitej Lørupom a kol. (1998). Ostatné metodiky porovnávajú absolútne hodnoty odtokov prípadne ich zmenu v % (WetSpa), alebo porovnanie v sebe vôbec nemajú, keďže doteraz neboli u nás na kvantifikáciu vplyvu zmeny využitia územia na odtok použité (CN-krivky).

Pred samotným modelovaním zmeny odtoku následkom zmenenej krajinej pokrývky je treba zvážiť vhodnosť jednotlivých metodík pre daný účel. Model CLSX v predloženej verzii umožňuje pracovať len so zmenou určitého množstva parametrov, v tomto prípade so zmenou infiltrácie a transpirácie. Na modelovanie takej rozsiahlej zmeny akou je odlesnenie potrebujeme ale uvažovať podstatne väčšie množstvo parametrov. Model WetSpa pracuje s omnoho väčším množstvom parametrov a podobne ako CN-krivky vychádza z určitých empiricky zistených hodnôt pre danú krajinnú pokrývku resp. pre dané využitie územia. Tieto modely boli úspešne kalibrované v slovenských podmienkach. Metodika spojená s použitím CN-kriviek nebola u nás ešte aplikovaná na modelovanie zmeny odtoku, len na odhad objemu povrchového odtoku z územia pri určitej zrážkovej udalosti. Oba modely však pracujú pod užívateľským prostredím ArcView a sú relatívne ľahko použiteľné. Model NAM bol kalibrovaný v odlišnom prírodnom prostredí a jeho kalibrácia a úprava na naše podmienky by boli určite omnoho náročnejšie.

Pravdepodobne najužitočnejšie by teda bolo simulovať vplyv zmeny krajinej pokrývky na odtok pomocou modelov WetSpa, alebo CN-kriviek. Konkrétny výber bude uskutočnený pri praktickej časti riešenia zadanej problematiky.

Tento príspevok je len teoretickým úvodom k modelovaniu zmeny odtoku vplyvom odlesnenia v Tatrách po veternej kalamite. Nasledovať by mala praktická aplikácia niektorého (niektorých) z vyššie popísaných modelov a súvisiacich metodík.

Literatúra

- ANTAL, J. 1999. *Agrohdrologia*. Nitra: SPU, 1999, s. 82-96.
- BLAŽKOVÁ, Š. 1991. Modelování změn kulminačních průtoků z deště vlyvem odlesnění metodou scénářů. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 39., č. 2., 1991, s. 97-115.
- BLAŽKOVÁ, Š., BEVEN, K.J. 1995. Modelování čar překročenímaximálních průtoků frekvenční verzi TOPMODELu. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 43., č. 3., 1995, s. 148-172.
- BOSH, J.M., HEWLETT, J.D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evaporation. In: *Journal of Hydrology*, č. 55, 1982, s. 3-23.
- BUCHTELE, J., BUCHTELOVÁ, M., FOŘTOVÁ, M., DOBROVSKÝ, M. 1999. Runoff changes in Czech river basin – the outputs of Rainfall-runoff simulations using different climate change scenarios. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 47., 1999, č. 3, s. 180-194.
- CEBECAUER, T., HOFIERKA, J., ŠŮRI, M. 2000. Vplyv kvality údajov na modelovanie povrchového toku vody. In: *1. konferencia asociácie slovenských geomorfológov pri SAV: Zborník referátov*. Edit. Lacika, J. Bratislava: 2000, s. 27-34.
- DANKO, M. 2006. Posúdenie vplyvu spôsobu využívania územia na odtokové procesy v povodí rieky Poprad. In: *Konferencia mladých hydroológov*, Bratislava, 2006 – CD.
- DHI, 1994. *MIKE 11 Short description*. Hřrsholm: Hanish, Hydraulic institute, 1994
- GAJDOŠÍK, P. 2004. *Simulácia odtoku na základe zmeny priestorovej štruktúry krajiny v povodí Rajčianky*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, 2004 – Diplomová práca.

- GAJDOŠÍK, P., ŠULÍK, V., TRIZNA, M. 2005. Geografické spektrum 4. *Vplyv zmeny priestorovej štruktúry krajiny na odtok vody z povodia*. Bratislava: Geografika, 2005. 64 s. ISBN 80-968146-4-8.
- HIBBERT, A.R., 1967. Forest treatment effects on water yield. In: *Forest Hydrology*, W.E. Sopper a H.W. Ludd (Ed.), Pergamon, Oxford, 1967
- HLAVČOVÁ, K., SZOLGAY, J., KOHNOVÁ, S., HORVÁT, O., PAPÁNKOVÁ, Z. 2006. Parameterization of Land-Use characteristics in distributed rainfall-runoff modelling. In: *Meteorologický časopis*, 9, 2006, s. 131-138.
- HOLLOVÁ, J. 2004. *Simulácia odtoku v závislosti na priestorovej štruktúre krajiny v povodí Jaloveckého potoka*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geokológie, 2004. – Diplomová práca.
- HORTON, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. In: *Trans. AGU*, č. 14, 1933, s. 446-460.
- HORTON, J.H., HAWKINS, R.H. 1965. Flow path of rain from the soil surface to the water table. In: *Soil science*, č. 100, 1965, s. 377-383.
- CHOW, V.T. 1964. *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1964.
- JANÁČOVÁ, V. 1981. *Fyzikogeografické činitele a ich vplyv na tvorbu odtoku z povodia Laborca*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geokológie, 2001 – Diplomová práca.
- KAŠPÁREK, L. 1975. Aplikace modelu chavání povodí při dešťovém odtoku. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 23., 1975, č. 4, s. 18-26.
- KOVÁŘ, P., CUDLÍN, P., HEŘMAN, M., ZEMEK, F., KORYTÁŘ, M. 2002. Analysis of flood events on small river catchments using the KINFIL model. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 50., 2002, č. 2, s. 157-172.
- KREŠL, J. (1997). Vliv lesa na utváření odtoku při přivalových a dlouhotrvajících deštích. *Povodně a krajina* 97, Brno, s. 4/8-4/12.
- KRIEGEROVÁ, I. 2001. *Využitie zrážkovo-odtokových modelov pri hodnotení extrémneho odtoku v krajine (Aplikácia modelu AGNPS na vybranom povodí)*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geokológie, 2001 – Diplomová práca.
- LEWIS, D., SINGER, M.J., DAHLGREN, R.A., TATE, K.W. 2000. Hydrology in a California oak woodland watershed: a 17-year study. In: *Journal of Hydrology*, č. 240, 2000, s. 106-117.
- LIU, Y. B., DE SMEDT, F. 1994. *Wetspa Extension, A GIS – based Hydrologic Model for Flood Prediction and Watershed Management*. Vrije University Brussel, 2004
- LØRUP, J.K., REFGAARD, J.C., MAZVIMAVI, D., 1998. Assessing the effect of land use change on catchment runoff by combined use of statistical tests and hydrological modelling: Case studies from Zimbabwe. In: *Journal of Hydrology*, č. 205, 1998, s. 147-163
- MAJERČÁKOVÁ, O. 1984. Modelovanie intercepce ako stratovej zložky v procese tvorby odtoku zo zrážok. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 32, č. 4, 1984, s. 364-379.
- MARHOUN, K. 1997. Úpravny toků a inundačních území a jejich vliv na průběh povodní. In: *Povodně a krajina '97 : Sborník přednášek* (Brno 13. – 14. 11. 1997). Brno, 1997, s. 5/46-5/49
- MENDEL, O., SVIATKO, A. 1978. Lineárny regresný zrážkovo-odtokový model a jeho využitie na výpočet celkového prítoku vody do nádrží. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 26, 1978, č. 3, s. 245-258.
- MENDEL, O., DUDÁK, K. 1982b. Modelovanie odtoku zo zrážok a organizácia jeho výpočtu. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 30, 1982, č. 3, s. 13-21.
- MENDEL, O., DUDÁK, K. 1983. Kontinuálny model odtoku zo zrážok s aplikáciou v povodí Laborca. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. 31, 1983, č. 3.-4, s. 17-28.
- MÍČETOVÁ, E., PAVLIČKO, P., VYSOUDIL, M. 2001. Tvorba topoklimatických map v prostredí geoinformačných technológií. *Geoinfo*, č. 3/2001, s. 46-50. ISSN 1212-4311
- NAEF, F., SCHERRER, S., WEILER, M., 2002. A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change. In: *Journal of Hydrology*, č. 267, 2002, s. 74-79.

- QUERNER, J. A KOL. 1997. Impact of land-use, climate change and groundwater abstraction on stream-flow drought using physically based models. In: *IAHS publications*, č. 246, 1997, s. 171-179.
- SINGH, V.P. 1995. *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 1995, 186 s.
- SZOLGAY, J. 1991. *Matematické modely v hydrológii*. Masarykova univerzita, Brno, 1991 – Skriptá.
- SZOLGAY, J. a kol. 2000. *Zhodnotenie odtokových pomerov v povodí Myjavy v oblasti Myjavskej pahorkatiny*. Bratislava: STU, Stavebná fakulta, 2000.
- ŠULÍK, V. 2004. *Simulácia odtoku na základe zmeny priestorovej štruktúry krajiny v povodí Revúcej*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, 2004 – Diplomová práca.
- ŠVIHLA, V. 1997. Príspevek k řešení problému lesního vodního hospodářství. In: *Povodně a krajina '97 : Sborník přednášek (Brno 13. – 14. 11. 1997)*. Brno, 1997, s. 3/27-3/31.
- TODINI, E. 1980. *CLSX, HOMS Component*. Geneva: WMO, 1980.
- VALČIČÁK, J. 1967. K otázke vplyvu lesnatosti na priemerný ročný odtok vo vybraných povodiach na území Slovenska. In: *Vodohospodársky časopis*, roč. XV, 1967, č. 2, s. 133-155.
- VALTÝNI, J. 1998. Vplyv lesa na retenčnú kapacitu povodia. In: *Povodne a protipovodňová ochrana : Zborník z vedeckej konferencie (Banská Štiavnica 12. – 13. 2. 1998)*. Banská Bystrica : Dom techniky ZSVTS, 1998, s. 262-265.
- WARD, R.C., ROBINSON, M., 1990. *Principles of Hydrology*. London: McGraw-Hill Book Company, 1990. ISBN 0-070707204-9.

Some possibilities of modeling the change of runoff influenced by change of land cover after the wind disaster in Tatras

Summary

There is a lot of works in the world literature discussing about the influence of forest on runoff. Most of them means, that the deforestation affect the increase of overland flow and decrease of infiltration. There is a lot of methods, how to evaluate this changes. The most successful and most widely used method is hydrological modelling followed by statistical test or results comparison.

Four different hydrological models are described. First one is the oldest one. Non-linear threshold semidistributed model CLSX was used in 1991 on the modelling in the Sputka river catchment. The reduction of transpiration and infiltration caused by deforestation was simulated. Results of modelling were in agreement with pair catchment experiments described in literature.

In the next part of this article, the physically-based WetSpa model is described. This one has been used in a lot of Slovak river catchments to estimate the effect of Land use change on surface runoff, interflow, baseflow and total runoff. This model works in the conditions of ESRI ArcView GIS. Authors used eight different scenarios of Land Use changes.

SCS CN curves method is presented in the next part of this article. This method was used to forecast the amount of overland flow in the catchment influenced by specific rainfall event. There is possibility to apply this method to estimate the runoff change caused by changed natural conditions.

Combination of statistical testing and hydrological modeling is presented in the last part of this article. This methodology was adopted to distinguish between the effects of climate variability and the effects of land use change. The hydrological model NAM

was used for modelation and Wilcoxs statistical test for distinguishion of the the influence of climatic variability

Method of landuse change scenarios was considered as the most applicable because of its simple results generation after the model calibration. WetSpa model and CN – curves method were considered as optimal models for this aim, because they, have been succesfully used in the Slovak conditions yet.