

## Využitie zrážkovo-odtokových modelov s priestorovo rozčlenenými parametrami pri odhade vplyvu využívania územia na odtokové pomery v povodí

*K. Hlavčová, J. Szolgay, S. Kohnová, Z. Kostka: Use of Distributed Rainfall-runoff Models for Estimation of the Land-use Impact on Runoff Regime in Basins: Život. Prostr., Vol. 41, No. 4, p. 206 – 211, 2007.*

The paper is dealing with possibilities of application of rainfall-runoff modelling in integrated water basin management. Two physically based rainfall-runoff models with distributed parameters, WetSpa and WaSiM, were compared in the study. The models were used for estimation of the land-use changes impact on runoff regime in the upper Hron river basin, with emphasis on parameterization of land cover properties in runoff simulations. The basin was divided into a number of grid cells for which the water and energy balance were maintained and hydrological processes were simulated continuously both in time and space. Land use changes connected to forest management were expressed by several scenarios and changes in surface runoff, interflow, base flow and total runoff in the basin's outlet were compared. Differences in simulated runoff by both models were analyzed and discussed.

Na modelovanie procesov hydrologickej bilancie a odtokového režimu i pre celkový manažment povodí vrátane rozhodovania a plánovania, vo svete existuje a vyvíja sa mnoho nástrojov a systémov. Mnohé z nich vo svojich komponentoch riešia aj posudzovanie vplyvu spôsobu využívania územia a krajiny na odtokové procesy, čo by malo byť nevyhnutnou súčasťou integrovaného manažmentu vodných zdrojov v povodiach.

V literatúre sú často dokumentované zmeny tvorby odtoku súvisiace najmä so zmenou spôsobu využívania poľnohospodárskej pôdy a lesných porastov, ako aj so zmenou urbanizovaných území. Odstraňovanie lesa sa môže prejavovať zvýšením celkového odtoku v dôsledku zníženej evapotranspirácie, ako aj zvýšením extrémnych prietokov ako výsledok zmeny v intercepcii, infiltrácii, povrchovej retencii a drsnosti povrchu. Vzhľadom na to, že pôdny kryt

a jeho vlastnosti sú priestorovo premenlivé, vhodným nástrojom pri odhade vplyvu využívania územia na odtokový režim môžu byť zrážkovo-odtokové fyzikálne orientované modely s priestorovo rozčlenenými parametrami, ktoré vyjadrujú procesy tvorby odtoku prostredníctvom fyzikálnych rovníc zohľadňujúcich aj vplyv priestorovo rozčlenených parametrov prostredia na tvorbu odtoku. Využitie takýchto modelov v súčasnosti uľahčuje aj dostupnosť priestorovo rozčlenených údajov o povodí, ako sú digitálne výškové modely, mapy využívania územia, pôdne mapy a pod. Na druhej strane si však treba uvedomiť, že vlastnosti pôdneho krytu ovplyvňujú širokú škálu hydrologických procesov, ako je intercepcia, povrchová retencia, evapotranspirácia, drsnosť povrchu, veľkosť a rýchlosť povrchového odtoku, a preto aj vzhľadom na komplexnosť týchto procesov môže byť posudzovanie vplyvu zmeny povrchového krytu na tvorbu

odtoku zaťažené značnou neistotou (Niehoff et al., 2002).

V zrážkovo-odtokových modeloch s priestorovo rozčlenenými parametrami sa vlastnosti vegetácie alebo povrchového krytu väčšinou charakterizujú parametrami porastu (Eckhardt et al., 2003) a spoľahlivosť výsledkov modelovania závisí aj od toho, s akou presnosťou možno tieto parametre odhadnúť. Parametre vegetácie môžu byť vyjadrené napr. veľkosťou listovej plochy, percentom pokrývnosti, minimálnou a maximálnou kapacitou intercepcie, hĺbkou koreňovej zóny, drsnosťou povrchu a pod. Značný stupeň neistoty v určení týchto parametrov vyplýva najmä z problémov spojených s ich priamym meraním, ako aj s neistotou vyplývajúcou z regionalizácie bodových meraní parametrov, vzhľadom na prirodzenú variabilitu charakteristík vegetácie, súvisiacu s klimatickými a pôdnymi podmienkami, vekom vegetácie a pod. (Breuer et al., 2003). Zároveň môže byť otázne, či vôbec rôzne druhy pôdneho krytu môžu byť výrazne rozlíšené v ich vplyve na výsledky simulácií odtoku (Eckhardt et al., 2003) a diskutuje sa o tom, či sú vôbec schopné zrážkovo-odtokové modely vyjadriť zmenené podmienky využitia v zmene tvorby odtoku (Niehoff et al., 2002).

Aj vzhľadom na tieto problémy, v súčasnej generácii modelov s priestorovo rozčlenenými parametrami sa mnohé z nich môžu považovať skôr za polorozčlenené koncepčné modely, ktorých rovnice sú založené na zjednodušenom fyzikálnom vyjadrení procesov aplikovaných v gridovej mierke. V ideálnom prípade (pri intenzívnom zbere údajov) sú parametre pôdneho krytu v modeli merané alebo odhadované z charakteristík povodia, ale veľmi často sa niektoré parametre určujú kalibráciou modelu kvôli ich neznámej priestorovej heterogenite a finančnej náročnosti merania.

Na Slovensku sa v poslednom období použilo niekoľko fyzikálne založených hydrologických modelov s priestorovo rozčlenenými parametrami, najmä na zhodnotenie dôsledkov zmeny využívania krajiny a klímy na odtok a procesy topenia snehu a na simulovanie transportu sedimentov, napr. WaSiM, Topmodel a UEB-EHZ (Kostka, Holko, 2001, 2002), WetSpa (Papánková et al., 2005; Poórová et al., 2005; Hlavčová et al., 2005) a AGNPS (Pekárová et al., 2004 a,b).

V článku dokumentujeme a porovnávame výsledky modelovania zmeny využitia územia na odtokové pomery v povodí horného Hrona, ktoré sme posudzovali dvoma fyzikálne orientovanými modelmi s priestorovo rozčlenenými parametrami – modelom WetSpa a modelom WaSiM. Porovnali sme tu najmä také zmeny využitia územia, ktoré súvisia so zmenou

lesného porastu, pričom sme chceli poukázať na konzistentné, ako aj čiastočne rozdielne výsledky simulácií dosiahnuté oboma modelmi.

### Progresívne metódy integrovaného manažmentu povodia horného Hrona

V štúdií *Progresívne metódy integrovaného manažmentu povodia vo vzťahu k vodnému hospodárstvu, vodnému plánovaniu a implementácii Rámcovej smernice EÚ o vodách* (Szolgay a kol., 2006) sme sa zaoberali posúdením možností hydrologického modelovania s priestorovo rozčlenenými parametrami pri posudzovaní vplyvu spôsobu využívania územia na odtokové pomery. Ako pilotné územie sme vybrali povodie horného Hrona po profil Banská Bystrica s rozlohou 1 766 km<sup>2</sup>. Pre vybrané scenáre spôsobu využívania územia sme porovnávali výsledky troch fyzikálne orientovaných modelov s priestorovo rozčlenenými parametrami – WetSpa, WaSiM a Lisflood. Na porovnanie sme vybrali výsledky dvoch fyzikálne orientovaných modelov s priestorovo rozčlenenými parametrami – WetSpa a WaSiM – a zamerali sme sa najmä na také zmeny využitia územia, ktoré súvisia so zmenou lesného porastu.

### Charakteristiky modelov WetSpa a WaSiM

• *Model WetSpa (Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere)*. Povodie je v modeli rozdelené štvorcovou sieťou na rovnomerné priestorové jednotky, v ktorých sa počíta hydrologická bilancia a simuluje pohyb vody do záverečného profilu povodia. Jednotlivé zložky hydrologickej bilancie tvoria tekuté a tuhé zrážky, intercepcia, pôdna vlhkosť, infiltrácia, aktuálna evapotranspirácia, povrchový odtok, podpovrchový odtok v koreňovej zóne, priek do podzemných vôd, podzemný odtok a zásoby podzemnej vody v zóne nasýtenia. Transformácia povrchového odtoku v povodí sa simuluje pomocou rovníc odvodených z difúznej vlny a na základe hydraulických charakteristík prúdenia vody na svahoch a v riečnej sieti. Výpočet podpovrchového odtoku vychádza z Darcyho zákona a metódy kinematickej vlny.

Priestorové vstupy do modelu predstavujú mapové vrstvy v digitálnej forme a hydrometeorologické údaje v textovej forme. Základné digitálne priestorové údaje: digitálny model reliéfu, mapa pôdných druhov a mapa využitia územia. Z digitálneho modelu reliéfu sa v prostredí GIS odvodzujú ďalšie vrstvy, potrebné na simuláciu pohybu vody v povodí. Z mapy pôdných druhov a príslušnej tabuľky parametrov pôd sa vytvoria mapy parametrov pôdy, z mapy využitia krajiny a príslušnej

**Tab. 1. Porovnanie simulovaného dlhodobého priemerného denného celkového prietoku a jeho zložiek podľa jednotlivých modelov pre súčasný stav**

Model	Zložky simulovaného prietoku			Celkový prietok Q	
	Qs	Qi	Qg	Q simulovaný	Q meraný
WetSpa [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	1,363	5,565	11,755	18,683	22,794
[%] z Q	7,3	29,8	62,9	100,0	100,0
WaSiM [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	1,372	6,495	13,164	21,030	22,794
[%] z Q	6,5	30,9	62,6	100,0	100,0

Qs – povrchový prietok, Qi – podpovrchový prietok, Qg – podzemný prietok

tabuľky parametrov sa vytvoria mapy parametrov, ktoré závisia od druhu vegetácie alebo iného povrchu.

• **Model WaSiM-ETH** (*Water Flow and Balance Simulation Model*) bol vyvinutý na simuláciu vodnej bilancie a prietoku pre denný alebo kratší časový interval a je schopný reprezentovať rýchlu hydrologickú odozvu typickú pre subalpínske a alpínske povodia. Model má modulárnu stavbu a voliteľné priestorové a časové rozlíšenie simulácií. Existuje v dvoch verziách líšiacich sa spôsobom riešenia dynamiky pôdnej vody. Prvá verzia s polorozčlenenými parametrami používa princíp hydrologickej podobnosti (princíp TOPMODEL-u), druhá verzia s rozčlenenými parametrami používa systém Richardsových rovníc. Flexibilita modelu umožňuje krátkodobé simulácie (napr. priebeh povodňových vln) aj dlhodobé simulácie (vodnú bilanciu).

Zo skúseností s modelom WaSiM-ETH vyplýva, že sa dá úspešne použiť vo veľkom rozsahu priestorových mierok, od výskumných plôch (lyzimetrov) po povodia stredných mierok (macroscale). Model umožňuje voliteľné využitie rôznych podprogramov podľa potrieb a uváženia užívateľa a podľa účelu modelovania.

Jednotlivé zložky hydrologickej bilancie tvoria tekuté a tuhé zrážky, intercepcia, potenciálna a aktuálna evapotranspirácia, akumulácia a topenie snehu, infiltrácia do pôdy počítaná podľa Greena a Ampta, tvorba povrchového odtoku, zásoby vody v pôde, perkolácia a tvorba podpovrchového odtoku, spotreba pôdnej vody evapotranspiráciou, dopĺňanie zásob podzemnej vody, ako aj tvorba podzemného odtoku a sústreďovanie odtoku, transformácia vlny v koryte toku. Minimálnou požiadavkou na meteorologické vstupné údaje pre verziu modelu WaSiM-ETH s použitím princípov TOPMODEL-u sú časové rady zrážok a teploty vzduchu v dennom alebo kratšom časovom kroku z minimálne jednej meteorologickej stanice a príslušné rastrové mapy – digitálny model reliéfu, mapa čiastko-

vých povodí, mapa zón (pre potreby štatistického spracovania výstupných údajov), mapa využitia územia (typy porastu), mapa pôdných druhov a mapa topografického indexu.

#### Simulácie prietoku pre súčasný stav

Oba modely sme použili s ich pôvodnými tabuľkami, na základe ktorých sa v nich parametrizujú kategórie spôsobu využívania územia a pôdne druhy. V oboch existuje súbor globálnych parametrov, ktoré nie sú priestorovo rozčlenené, ale konštantné pre celé povodie. Tieto parametre sme kalibrovali pre územie horného Hrona na denných údajoch z obdobia 1981 – 2000, pričom sme použili rovnaké hodnoty vstupných údajov, ako aj priestorových údajov v rastrovej forme s veľkosťou štvorca 100 x 100 m. Spoľahlivosť modelov sme hodnotili zhodou medzi meranými a simulovanými hodnotami priemerných denných prietokov v záverečnom profile povodia posudzovanou koeficientom Nash-Sutcliffe. Modely WetSpa a WaSiM simulujú aj zložky celkového prietoku, ako je povrchový, podpovrchový a celkový prietok. Táto, na jednej strane silná stránka modelov, je limitovaná tým, že jednotlivé zložky odtoku nevieme kalibrovať na ich skutočné hodnoty, ich veľkosť pri simulácii výrazne závisí od súboru parametrov modelu kalibrovaných na zhodu medzi meranými a simulovanými celkovými prietokmi v záverečnom profile povodia. Napriek tomu sme pri oboch modeloch pri simulácii odtoku v súčasných podmienkach spôsobu využívania územia dosiahli podobné výsledky. Pre súčasný stav využívania územia tvoril podľa oboch modelov najmenšiu zložku povrchový prietok (Qs), a to 6,5 – 7,3 % celkového prietoku. Podpovrchový prietok (Qi) tvoril podľa oboch modelov 29 – 31 % celkového prietoku a podzemný prietok (Qg) približne 63 % celkového simulovaného prietoku.

**Tab. 2. Zastúpenie typov lesa v jednotlivých scenároch využitia územia v povodí horného Hrona**

Typy lesa	Súčasný stav	Scenár 1	Scenár 2	Scenár 3	Scenár 4
Ihličnatý les [%]	20,4	11,8	10,6	68,1	-
Listnatý les [%]	5,6	16,5	7,6	-	5,6
Zmiešaný les [%]	42,1	67,5	53,6	-	62,5

### Scenáre zmeny spôsobu využitia územia

Pri súčasnom spôsobe využívania územia v povodí horného Hrona zaberá orná pôda 15 % plochy povodia, trávne porasty 8 %, lesy 68 %, kríky 5 % a nepriepustné plochy vrátane urbanizovaného územia sa nachádzajú na 4 % plochy povodia. Zmenu využitia územia sme vyjadrili niekoľkými scenármi, na ilustráciu uvádzame tie, ktoré uvažujú najmä so zmenou lesných porastov.

- **Prirodzená krajina.** Týmto scenárom sme vyjadrili spôsob využitia územia najbližší prirodzenej krajine (bez zásahu činnosti človeka), keď by bolo takmer celé povodie zalesnené. Scenár vytvoril Esprit, spol. s r. o., Banská Štiavnica, v rámci štúdie Szolgaya a kol. (2004). Pri tomto scenári nie je v povodí zastúpená orná pôda, trávne porasty tvoria 3 % rozlohy územia, lesy predstavujú 96 % rozlohy, 1 % predstavujú kroviny a 1 % nepriepustné plochy.

- **Zmena druhového zloženia lesa.** Druhý scenár vyjadruje zmenu druhového zloženia tak, aby čo najviac zodpovedalo prirodzenému zloženiu lesa, využitie ostatných kategórií krajiny sa oproti súčasnosti nemenilo. Tento spôsob využitia územia možno zrealizovať pri rešpektovaní súčasného využívania územia (urbanizované územie, orná pôda a pod.), prirodzenej krajiny by sa približovalo iba zloženie lesa. Scenár bol vytvorený logickou kombináciou súčasného využitia územia a typu lesa podľa scenára *Prirodzená krajina*. Pri tomto scenári 15 % rozlohy povodia tvorí orná pôda, trávne porasty 8 %, lesy 72 %, kroviny 1 % a nepriepustné plochy vrátane urbanizovaného územia zaberajú 4 %.

- **Ihličnatý les.** Tretí scenár predpokladá, že listnaté a zmiešané lesy sa menia na ihličnaté. V tomto prípade sme chceli posúdiť najmä citlivosť modelu na uvedené druhy lesných porastov. Ako prvé sme stabilnejšie listnaté a zmiešané lesy nahradili menej stabilnými ihličnatými lesmi.

- **Zmiešaný les.** Štvrtý scenár predpokladá, že ihličnatý les sa nahradí zmiešaným lesom. Aj v tomto prípade sme chceli posúdiť reakciu povodia na zmenu v lesnom hospodárstve, pričom sme nahradili ekologicky menej stabilné ihličnaté lesy zmiešanými lesmi.

Pri posledných dvoch scenároch zaberá 15 % rozlohy povodia orná pôda, trávne porasty tvoria 8 %, lesy 68 %, kroviny 5 % a nepriepustné plochy vrátane urbanizovaného územia predstavujú 4 %.

### Výsledky simulácií

- Scenár *Prirodzená krajina* sa prejavil poklesom dlhodobého priemerného denného celkového prietoku podľa oboch modelov. Podľa modelu WetSpa klesol dlhodobý priemerný denný prietok o  $1,430 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , t. j. o 7,7 % v porovnaní so súčasným stavom. Podľa modelu WaSiM sa tento scenár prejavil na zmene celkového prietoku výraznejším poklesom, a to o  $4,060 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , t. j. o 19,3 % v porovnaní so súčasným stavom.

- Scenár *Zmena druhového zloženia lesa* sa prejavil nepatrným znížením dlhodobého priemerného denného celkového prietoku, pri modeli WetSpa to bolo o  $0,167 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , t. j. o 0,9 % oproti súčasnému stavu. Podľa modelu WaSiM sa dlhodobý priemerný denný celkový prietok nepatrne zvýšil, a to o  $0,202 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , t. j. približne o 1,0 % oproti súčasnému stavu.

- Scenár *Ihličnatý les* sa podľa modelu WetSpa prejavil miernym nárastom dlhodobého priemerného denného celkového prietoku o  $0,443 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , t. j. o 2,4 % oproti súčasnému stavu. Podľa modelu WaSiM sa dlhodobý priemerný denný celkový prietok znížil o  $2,401 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , t. j. o 11,4 % oproti súčasnému stavu.

- Scenár *Zmiešaný les* sa prejavil opačne ako predchádzajúci. Podľa modelu WetSpa sa mierne znížil dlhodobý priemerný ročný celkový prietok, o  $0,172 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (-0,9 %) oproti súčasnému stavu. Podľa modelu WaSiM

**Tab. 3. Zmeny dlhodobého priemerného denného celkového prietoku pre rôzne spôsoby využívania územia v porovnaní so súčasným stavom podľa obidvoch modelov**

Scenár	WetSpa		WaSiM	
	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	[%]	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	[%]
Prirodzená krajina	-1,430	-7,7	-4,060	-19,3
Zmena druhového zloženia lesa	-0,167	-0,9	0,202	1,0
Ihličnatý les	0,444	2,4	-2,401	-11,4
Zmiešaný les	-0,172	-0,9	1,034	4,9

sa tento scenár prejavil zvýšením dlhodobého priemerného denného celkového prietoku o 1,034 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (+4,9 %) oproti súčasnému stavu.

Z porovnania údajov v tab. 3 a 4 je zrejme, že v modeli WetSpa reaguje na zmenu spôsobu využívania krajiny najmä povrchový odtok, kým v modeli WaSiM podpovrchový odtok.

\* \* \*

Zmena odtoku pri scenári, v ktorom napodobňujeme správanie prirodzenej krajiny, keď je takmer celé povodie zalesnené, sa prejavila pri obidvoch modeloch znížením prietokov v záverečnom profile povodia. Zmena prietokov pri scenároch, v ktorých sa predpokladala zmena skladby lesa, sa prejavila iba miernou zmenou odtoku, pričom rozdielne na zmenu skladby lesa reagovali obidva modely. Odlišne reagovali aj pri zmene lesa na ihličnatý a pri zmene lesa na zmiešaný les. Pri modeli WetSpa sa odtok zvýšil pri zmene lesa na ihličnatý les a znížil sa pri zvýšení zastúpenia zmiešaného lesa, pri modeli WaSiM sa táto zmena v obidvoch prípadoch prejavila opačne. Uvedené rozdiely sú spôsobené najmä parametrami, akými sú v jednotlivých modeloch vyjadrené vlastnosti listnatého a ihličnatého lesa. V modeli WetSpa sa pre ihličnatý les predpokladá nižšia intercepcia a plytšia koreňová zóna ako pre listnatý les, a preto pri ihličnatom lese má povodie nižšiu retenčnú schopnosť a prejavuje sa vyšším odtokom ako pri listnatom lese. V modeli WaSiM má ihličnatý les vyššiu intercepciu, väčšiu hĺbku koreňovej zóny a väčšiu výšku porastu, preto ihličnatý les zabezpečuje vyššiu retenčnú schopnosť povodia ako listnatý les a nižší odtok.

Jednotlivé modely sa líšili citlivosťou zložiek odtoku na zmenu využívania územia. Kým v modeli WetSpa na zmenu porastov reagoval najmä povrchový odtok, v modeli WaSiM sa citlivejšou reakciou prejavil podpovrchový aj podzemný odtok.

Výsledky simulácií odtoku pri zmenených podmienkach spôsobu využívania územia podľa obidvoch modelov sú v zásade konzistentné. Určité rozdiely vyplývajú najmä z rozdielov v parametrizácii vlastností vegetačného krytu a môžu tiež súvisieť aj s rozdielnym spôsobom vyjadrenia procesov fyzikálnymi rovnicami v modeloch, z ktorých môže vyplývať aj rozličná citlivosť simulovaných procesov na zmenu vegetácie.

Z výsledkov tiež vyplýva, že zrážkovo-odtokové modely s rozčlenenými parametrami sú perspektívnym nástrojom, ktorý možno veľmi dobre využiť v integrovanom manažmente vodných zdrojov v povodiach a pri rozhodovaní o spôsobe využívania krajiny a jej plánovaní. Pri využívaní si však treba uvedomovať ich limity a problémy, ktoré by sa mohli vyskytnúť pri interpretácii výsledkov. Stále pracujeme s modelmi, v ktorých sa parametre nastavujú na základe porovnávania simulovaných a meraných prietokov pri súčasnom stave. Rozloženie odtoku na jednotlivé zložky, ktoré sú iba výsledkom simulácie modelu, nevieme porovnať so skutočným stavom. Jednotlivé porasty a krajinná pokrývka v simulovaných procesoch takisto môžu byť zatažené značnou mierou neurčitosti. Ďalšia neistota môže vyplývať z rôzneho spôsobu a miery zjednodušenia procesov v jednotlivých modeloch, ktoré nemusia vždy dostatočne reprodukovat reálne fyzikálne procesy tvorby odtoku v jednotlivých povodiach.

Zrážkovo-odtokové modely s rozčlenenými parametrami nepredstavujú v žiadnom prípade rutinný nástroj, ich využívanie si vyžaduje dobré vedomosti o hydrologických procesoch, o možnostiach parametrizácie prostredia v modeloch, ako aj o vlastnostiach skúmaného povodia. Pre integrovaný manažment povodia odporúčame preto skúmať každé povodie, resp. región zvlášť, a prípadne overovať aj viacero modelových prístupov.

*Príspevok vznikol s podporou grantu VEGA 2/5056/25, VEGA 1/4024/07 a projektu APVT-51-017804 Agentúry na podporu vedy a techniky.*

**Tab. 4. Zmeny dlhodobých priemerných denných hodnôt zložiek celkového prietoku pre všetky scenáre v porovnaní so súčasným stavom podľa obidvoch modelov**

Scenár	WetSpa [%]				WaSiM [%]			
	Qs	Qi	Qg	Q	Qs	Qi	Qg	Q
Prírodná krajina	-25,3	-1,8	-8,4	-7,7	-0,5	-20,7	-20,6	-19,3
Zmena druhového zloženia lesa	-0,1	-0,5	-1,2	-0,9	1,9	2,6	0,0	1,0
Ihličnatý les	1,0	1,8	2,8	2,4	-10,7	-16,1	-9,2	-11,4
Zmiešaný les	-0,3	-0,6	-1,2	-0,9	4,2	7,2	3,9	4,9

Qs – povrchový prietok, Qi – podpovrchový prietok, Qg – podzemný prietok, Q – celkový prietok

## Literatúra

- Breuer, L., Eckhardt, K., Frede, H. G.: Plant Parameter Values for Models in Temperate Climates. *Ecol. Model.*, 2003, 169, p. 237 – 293.
- Eckhardt, K., Breuer, L., Frede, H. G.: Parameter Uncertainty and the Significance of Simulated Land Use Change Effects. *J. of Hydrol.*, 273, 2003, p. 164 – 176.
- Hlavčová, K., Szolgay, J., Kohnová, S., Papánková, Z., Horvát, O.: On the Possibility of Assessment of Land Use Change Impact on Runoff with a Hydrological Model with Distributed Parameters. *Meteor. J.*, 8, 2005, p. 73 – 81.
- Kostka, Z., Holko, L.: Runoff Modelling in a Mountain Catchment with Conspicuous Relief Using TOPMODEL. *J. Hydrol. Hydromech.*, 49, 2001, 3 – 4, p. 149 – 171.
- Kostka, Z., Holko, L.: Impact of Climate and Vegetation Changes on Hydrological Processes in the Jalovecký Creek Catchment, CD – ERB and NEFRIEND Proj. 5 Conf. Interdisciplinary Approaches in Small Catchment Hydrology: Monitoring and Research. Slovak NC IHP UNESCO /UH SAV, 2002, p. 86 – 96.
- Niehoff, D., Fritsch, U., Bronstert, A.: Land Use Impacts on Storm-Runoff Generation: Scenarios of Land-use Change and Simulation of Hydrological Response in a Meso-scale Catchment in SW-Germany. *J. of Hydrol.*, 267, 2002, p. 80 – 93.
- Papánková, Z., Horvát, O., Hlavčová, K., Szolgay, J., Kohnová, S.: Scenarios of Changes in Flood Regime Due to Land Use Change in the Hron River Basin. In: Marsalek, J. (ed.): *Transboundary Floods: Reducing Risk and Enhancing Security through Improved Flood Management Planning*. NATO Advanced Research Workshop. TREIRA, S.R.L., Oradea, Romania, 2005, p. 193 – 205.
- Pekárová, P., Koníček, A., Miklánek, P., Stančík, Š.: Lifespan Estimation of the Considered Sediment Trapping Ponds in the Upper Torysa Basin Using AGNPS Model (Part I. Rainfall Scenario Creation). *Acta Hydrologica Slovaca*, 5, 2004a, 2, p. 286 – 292.
- Pekárová, P., Svoboda, A., Miklánek, P., Koníček, A., Pekár, J.: Lifespan Estimation of the Considered Sediment Trapping Ponds in the Upper Torysa Basin Using AGNPS Model (Part I. Simulation Results). *Acta Hydrologica Slovaca*, 5, 2004b, 2, p. 293 – 301.
- Poárová, J., Velčická, L., Kuníková, E., de Smedt, F., Bahreman, A., Corluy, J., Liu, Y. B.: Assessing Impact of Land Use on Floods Using the WetSpa model. *J. Hydrol. Hydromech.*, 2005, p. 53.
- Szolgay, J., Hlavčová, K., Kohnová, S., Kubeš, R., Zvolenský, M., Papánková, Z., Horvát, O.: Analýza možnej zmeny odtokových pomerov spôsobená zmenou retenčných vlastností na povodí horného Hrona. Záverečná správa pre MŽP SR. Bratislava : Stavebná fakulta STU, 132 s.
- Szolgay, J., Hlavčová, K., Kohnová, S., Danihlík, R., Kostka, Z., Kalaš, M.: Progresívne metódy integrovaného manažmentu povodia vo vzťahu k vodnému hospodárstvu, vodnému plánovaniu a implementácii Rámcovej smernice EÚ o vodách. Záverečná správa pre MŽP SR. Bratislava : Stavebná fakulta STU, 2006, 119 s.

**Doc. Ing. Kamila Hlavčová, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, kamila.hlavcova@stuba.sk**

**Prof. Ing. Ján Szogay, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, jan.szogay@stuba.sk**

**Doc. Ing. Silvia Kohnová, PhD., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Radlinského 11, Bratislava, silvia.kohnova@stuba.sk**

**RNDr. Zdeněk Kostka, PhD., Experimentálna hydrologická základňa, Ústav hydrologie SAV, Ondrašovská 16, 03105 Liptovský Mikuláš, kostka@uh.savba.sk**