

Parametrizácia zrážkovo-odtokového modelu TUV na vybranom povodí

Ing. Kubáň Martin

Abstrakt

Práca sa zaoberá parametrizáciou zrážkovo-odtokového (z-o) modelu typu HBV na vybranom povodí Myjava. Hlavným cieľom práce je overenie správania sa z-o modelu na relatívne malom povodí (32 km²). Z-o model s priestorovo sústredenými parametrami (TUV model) bol kalibrovaný a validovaný v období 1997-2010. Bola použitá automatická kalibrácia pomocou algoritmu diferenciálnej evolúcie. Ako optimalizačná funkcia bola zvolená kombinácia Nash-Sutcliffovho koeficientu (NSE) a logaritmickeho Nash-Sutcliffovho koeficientu (logNSE). Výkonnosť modelu bola zhodnotená na základe NSE a ukazovateľa objemovej chyby (volume error VE). Výsledky ukázali (pomerne vysoké dosiahnuté hodnoty VE), že použitý model nie je vhodný pre povodie týchto rozmerov.

Keywords: TUV model, kalibrácia modelu, povodie Myjava,

Abstract

The present study deals with the parametrization of the rainfall-runoff (r-r) model (HBV type) on the selected catchment (the Myjava catchment). The objective of the study is to verify the behavior of the model on a relatively small catchment (32 km²). The lumped r-r model (the TUV model) was calibrated and validated in the period 1997-2010. The model was automatically calibrated using a differential evolution algorithm. As the optimization function a combination of the Nash-Sutcliffe coefficient (NSE) and logarithmic Nash-Sutcliffe coefficient (logNSE) was used. The model performance was evaluated by the NSE and the volume error (VE). The results showed (low values of VE) that the model is not suitable for the catchments of these dimensions (i.e., for small catchments).

Keywords: Myjava, TUV model, kalibrácia a validácia modelu, pôdna vlhkosť,

Úvod

Zrážkovo-odtokové modely majú široké uplatnenie pri riešení rôznych vodohospodárskych problémov (napr., predpovedanie priebehu povodní alebo sucha a pod.). Pri používaní týchto modelov sa však vždy stretávame s mnohými problémami (kvalita vstupných údajov, rozdielne podmienky v simulovanom a kalibračnom období a pod.), ktoré nám ovplyvňujú kvalitu výstupných hodnôt. Tieto problémy môžu byť spojené napr. s kvalitou vstupných údajov (Fendeková a kol., 2017), štruktúrou modelu (Merz a kol., 2011), rozdielnymi klimatickými podmienkami, ktoré môžu nastať v simulovanom a kalibrovanom období (napr. Sleziač a kol., 2017, Merz a kol., 2011; Coron a kol., 2012; Sleziač a kol., 2017; Sleziač a kol., 2018).

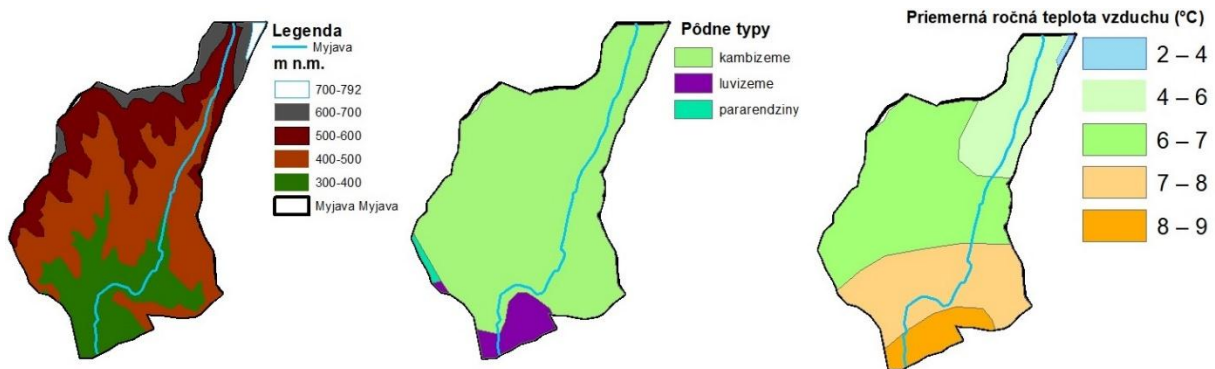
Úspešná aplikácia týchto modelov závisí tiež od toho, ako dobre je model nakalibrovaný. Inými slovami, ide stanovenie akceptovateľnej sady parametrov, ktorá by nám zabezpečila zhodu medzi meranými a simulovanými premennými na základe zvolených kritérií (napr. Gupta a kol., 2005; Beven, 2004; Wagener, 2004; Weise, 2009). V procese kalibrácie je rozhodujúca aj výkonnosť modelu, čiže kvalita informácie zachytená pomocou údajov.

V predkladanej práci sme sa zaoberali posúdením výkonnosti koncepčného zrážkovo-odtokového modelu (TUV) pri aplikácii na relatívne malé povodie. Špeciálne nás zaujímalo, ako sa populárny model typu HBV, ktorý bol v zahraničí úspešne aplikovaný pre veľké povodia bude správať na povodí relatívne malých rozmerov (32 km²).

1 Opis skúmaného povodia a vstupných údajov

1.1 Opis skúmaného povodia

Pre túto prácu bolo vybrané povodie Myjavy po vodomerný profil Myjava-Myjava. Rieka Myjava pramení v našom záujmovom území, nachádza sa na západe Slovenska, na Záhorí, preteká cez okresy Myjava a Senica, ako ľavostranný prítok Moravy a má dĺžku 79 km s priemerným ročným prietokom v $Q = 3,045 \text{ m}^3/\text{s}$. (1961-2010). Celé povodie má rozlohu 806 km^2 a časť povodia Myjava-Myjava má 32 km^2 . Rieka na našom povodí prekonáva výšku 392 m (Obr. 1.1), hlavným pôdnym typom na našom povodí sú kambizeme a priemerná ročná teplota vzduchu je zobrazená na (Obr. 1.1).



Obr. 1.1 Výškové členenie, pôdne typy a priemerná ročná teplota vzduchu na povodí Myjava-Myjava

1.2 Vstupné údaje

Pre povodie Myjava-Myjava boli získané vstupné údaje zo SHMÚ. Sú to hodnoty úhrnov zrážok (P), teploty vzduchu (T), potenciálnej evapotranspirácie (PET) a prietokov (Q_{mer}) v období 1.1.1997-31.12.2010. Zrážky boli interpolované zo zrážkomerných staníc použitím Tiessenových polygónov. Teploty boli pripravené metódou lineárnej regresie a potenciálna evapotranspirácia bola dopyčítaná na základe denných teplôt vzduchu pomocou metódy Blaney Criddle (Schrodter, 1985).

2 Zrážkovo-odtokový model TUW

2.1 Opis zrážkovo-odtokového modelu TUW

Z-o model TUW („Technische Universität Wien“) (Viglione a Parajka, 2014) existuje v dvoch verziách: lumped verzia (s priestorovo sústredenými parametrami) a semidistribuovaná verzia (vstupné údaje sú rozdelené do jednotlivých výškových zón po 200m). Model vychádza zo štruktúry populárneho modelu typu HBV (Kalaš, 2006).

TUW model sa skladá z troch častí, tzv. submodelov (t.j., snehový, pôdny a odtokový submodel). Snehový submodel slúži na simuláciu akumulácie a topenia snehu v povodí. Obsahuje parametre: snehový korekčný koeficient (SCF), parameter denných teplôt (DDF), teploty topenia a mrznutia snehu (T_r , T_s , T_m). Pôdny submodel simuluje procesy, ktoré prebiehajú pod zemským povrchom. Tento submodel obsahuje parametre: limitná hodnota pre potenciálnu evapotranspiráciu (L_{prat}), kapacitu vody v pôde (FC) a parameter pre tvorbu odtoku (BETA). Na simuláciu priebehu povrchového a podpovrchového odtoku slúži odtokový submodel. V tomto submodeli sa nachádzajú parametre: parametre pre povrchový, podpovrchový a základný odtok (k_0 , k_1 a k_2), parameter pre základný odtok (B_{max}), pre aktuálnu zásobu vody v pôde (L_{suz}), a parameter transformácie odtoku (Croute).

2.2 Kalibrácia a validácia zrážkovo-odtokového modelu TUW

Model TUW bol kalibrovaný a validovaný v období 1997-2010. Parametre modelu boli odhadované na základe automatickej kalibrácie pomocou diferenciálneho evolučného algoritmu Deoptim (Ardia a kol., 2015). DEoptim je globálny optimalizačný algoritmus, ktorý patrí do triedy genetických algoritmov. Tieto algoritmy používajú biologicky inšpirované operácie kríženia, mutácie, a selekcie na populáciu s cieľom minimalizovať objektívnu funkciu v priebehu nasledujúcich generácií. DE rieši optimalizačné problémy tým, že vyvíja populáciu možných riešení pomocou alternatívnych a selekčných operátorov (Mullen, K.M., 2011). Optimalizačná funkcia pozostávala z kombinácia Nash-Sutcliffovho koeficientu (NSE) a logaritmickeho Nash-Sutcliffovho koeficientu (logNSE) a bola použitá v tvare $(NSE + \logNSE)/2$ (Sleziak a kol., 2017, 2018).

Zahrnutie oboch súčiniteľov, t.j., NSE aj logNSE by malo zabezpečiť zohľadnenie období s vyššími prietokmi aj obdobie s nižšími prietokmi. Pre posúdenie výkonnosti modelu sme použili dve metriky: Nash-Sutcliffov koeficient (NSE) a ukazovateľ objemovej chyby (VE) (rovnica 5.1).

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{sim}^i - \sum_{i=1}^n Q_{mer}^i}{\sum_{i=1}^n Q_{mer}^i} * 100 \quad (\%) \quad (5.1)$$

Q_{sim} - simulovaný prietok, Q_{mer} - pozorovaný prietok, $Q_{merpriem}$ - priemerný pozorovaný prietok.

$VE = 0$ indikuje, že nenastali žiadne objemové rozdiely medzi pozorovaným a simulovaným odtokom, pri $VE < 0$ a $VE > 0$ indikuje podhodnotenie a nadhodnotenie objemu odtoku.

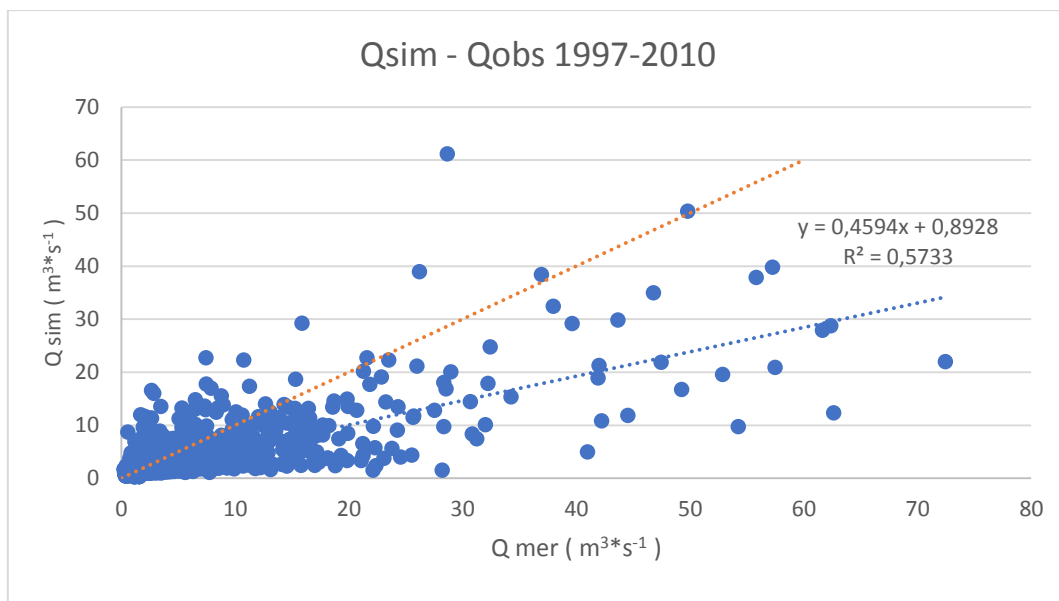
3 Výsledky kalibrácie a validácie z-o modelu

Model TUW sme kalibrovali v obdobiach (1997-2003 a 2004-2010) a následne krížovo validovali (Tab. 5.1). Jednotlivé výsledky sme vyniesli do bodových grafov kde sme ich porovnali s nameranými hodnotami. V grafe s bodovou závislosťou nám ako ukazovateľ zhody medzi meranými a simulovanými prietokmi slúži koeficient determinácie R^2 a trendová spojnica. Pre porovnanie sme do grafu vyniesli červenou farbou ako by vyzerala trendová spojnica keby bola zhoda 100%. Výsledky sme hodnotili podľa ukazovateľov NSE a objemovej chyby VE (tab.5.1).

Pri detailnejšom grafickom porovnaní simulovaných a pozorovaných prietokov je vidieť, že model lepšie zachytával nižšie prietoky a pri maximálnych prietokoch ich často nadhodnotil alebo podhodnotil.

Výsledky kalibrácie dosahujú hodnoty $NSE = 0,57$. Hodnoty VE dosahujú pri kalibráciách odchýlky 14-38.8% a pri validáciách 14-43%, čo poukazuje na výrazné nepresnosti. Tieto odchýlky podľa nás vznikali na základe toho, že použitý z-o model bol vyvinutý na veľké povodia rakúskych Álp, pričom nami použité povodie (32km²) za povodie malých rozmerov.

Pre detailnejšie porovnanie simulovaných a pozorovaných odtokov z povodia sme vybrali kratšie obdobia (obr. 6.3-6.5), a to obdobia hydrologických rokov alebo jednotlivých odtokových vln. Jednotlivé obdobia sme následne vyniesol do grafov. V grafoch je vidieť, že model lepšie zachytával nižšie hodnoty odtokov z povodia ako vrcholy jednotlivých vln.

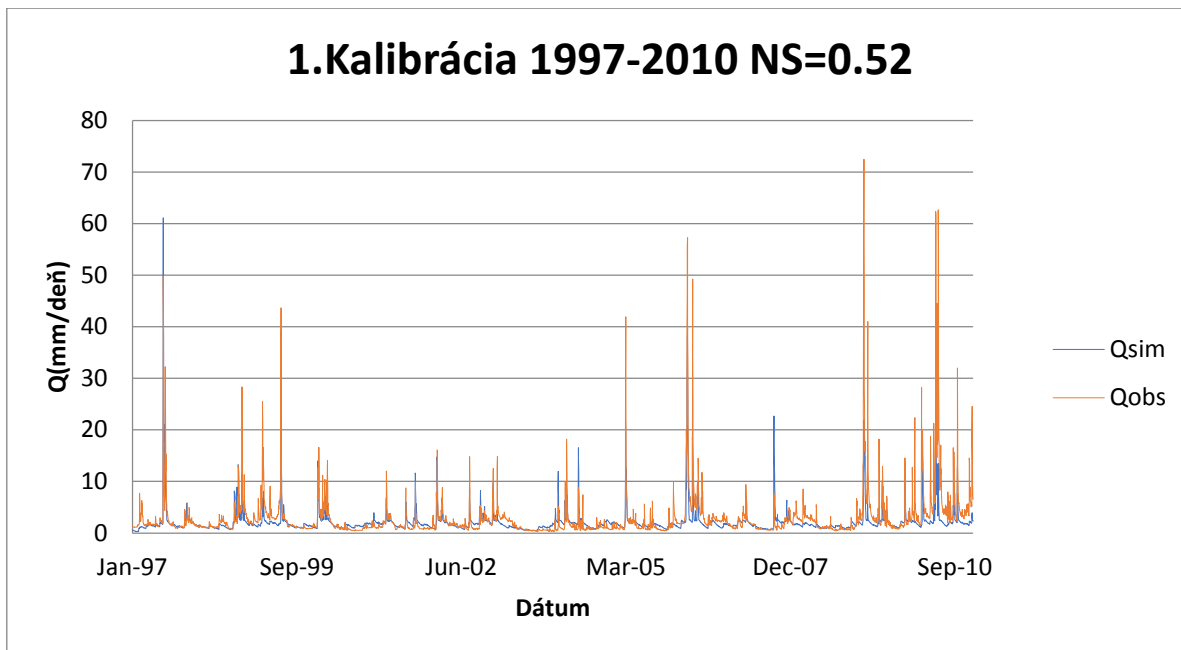


Obr. 3.1 Bodová závislosť Q_{sim} - Q_{obs} 1997-2010 Myjava-Myjava

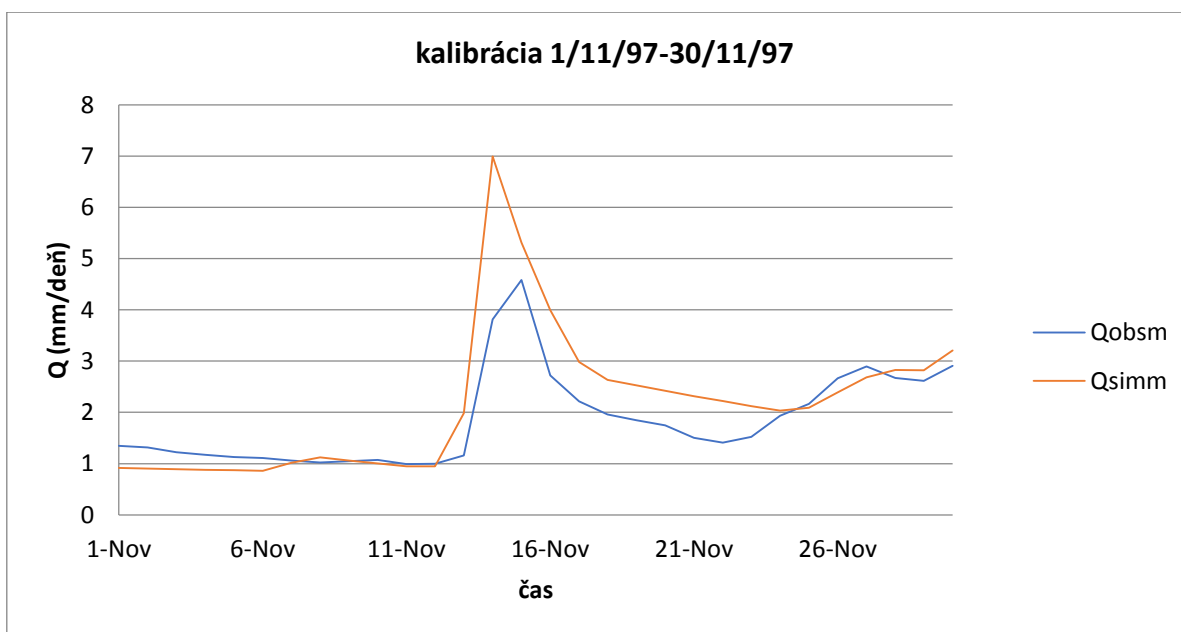
Tab. 5.1 (Vľavo) Kalibrácia a validácia a následné kalibrácie s upravenými parametrami pre obdobie 1997-2010 pre povodie Myjava- Myjava (v pravo) Kalibrácia s využitím parametrov z celého obdobia povodie Myjava-Myjava

	Nash efficiency (-)	volume error (%)
cal- 97-03	0.5206	-20.5
cal-04-10	0.4299	-38.8
val-97-03	0.4553	-14.26
val-04-10	0.3059	-43.31
1.cal-97-10	0.4655	-26.7
2.cal-97-10	0.4737	-25.19
3.cal-97-10	0.5207	-22.18

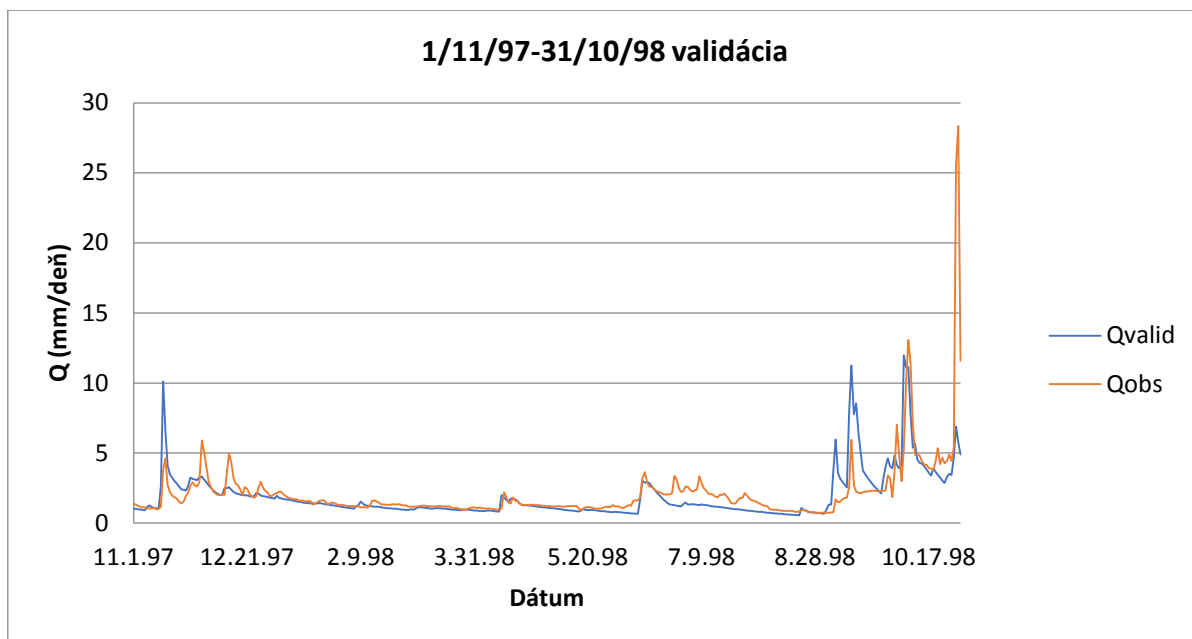
	Nash efficiency (-)	volume error (%)
cal- 97-03	0.4845	-14
val-04-10	0.4495	-38.65
cal-97-10	0.5207	-22.18



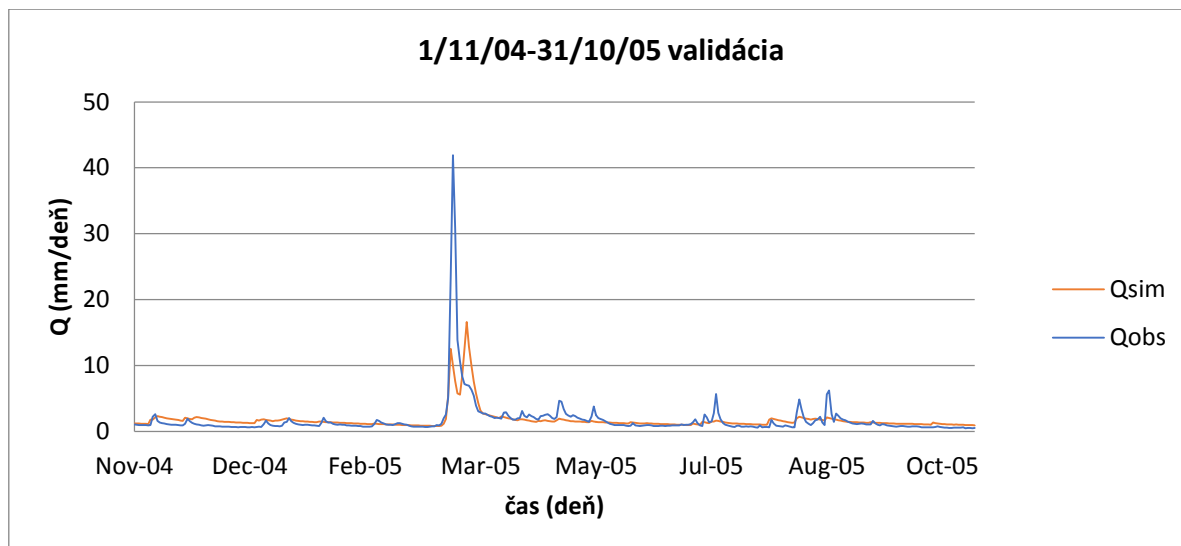
Obr. 3.2 Kalibrácia v období 1997-2010, $\log NS=0,52$, pre povodie Myjava-Myjava



Obr. 3.3 Kalibrácia v období Nov-1998 pre povodie Myjava-Myjava



Obr. 3.4 Validácia pre hydr.rok 97/98 pre povodie Myjava-Myjava



Obr. 3.5 Validácia pre hydr. rok 04/05 pre povodie Myjava-Myjava

4 Záver

Zrážkovo odtokové modely nachádzajú široké uplatnenie pri riešení mnohých praktických vodohospodárskych a inžinierskych problémov. Častým problémom spojeným s používaním týchto modelov v hydrológii je ich kalibrácia, pretože modely obsahujú veľké množstvo parametrov. Z tohto dôvodu sa tejto problematike venuje pomerne veľká pozornosť. Predložená práca bola zameraná na uvedené a jej cieľom bolo overenie správania sa z-o modelu typu HBV na relatívne malom povodí (32 km²). Výsledky boli zhodnotené na základe dvoch ukazovateľov kvality simulácie (Nash-Sutcliffovho koeficientu NSE a objemovej chyby VE). Metrika VE pri kalibrácii dosahovala hodnoty (-38%) a pri validácii až (-48%), čo poukazuje na výrazné podhodnotenie prietokov. Znepokojujúce hodnoty objemovej chyby sme prisúdili nevhodnej veľkosti nášho povodia (32km²). Model TUV bol navrhnutý pre povodia v rádovo stovkách kilometrov štvorcových, o čom sme sa presvedčili aj v predchádzajúcej štúdii, kde sme TUV model aplikovali na povodie Myjavy po merný profil Šaštín-Stráže (643 km²), pričom sa preukázala uspokojivá výkonnosť modelu (VE do 14%) (Kubáň a kol. 2018)).

Pod'akovanie

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu Tvorba a vývoj environmentálnych technológií pri protipovodňovej ochrane sídiel Malokarpatskej oblasti - prípadová štúdia Modra a ITMS kód projektu 26240220019, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

CEOLA, S., et al., 2015: Virtual laboratories: new opportunities for collaborative water science. Supplement of Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 2101–2117, doi:10.5194/hess-19-2101-2015-supplement,

CORON, L., Andréassian, V., Perrin, C., Lerat, J., Vaze, J., Bourqui, M., Hendrickx, F., 2012: Crash testing hydrological models in contrasted climate conditions: An experiment on 216 Australian catchments, Water Resour. Res., 48, W05552, doi:10.1029/2011WR011721.

FENDEKOVÁ, M., Poárová, J., Slivová, V., 2017: Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta.

KLEMEŠ, V., 1986: Operational testing of hydrological simulation models, Hydrol. Sci. J., 31(1), 13 – 24, doi:10.1080/02626668609491024.

KUBÁŇ, M., Szolgay, J., Slezia, P., 2018: Parametrizácia zrážkovo-odtokového modelu typu HBV na vybranom povodí v meniacich sa klimatických podmienkach. (Diplomová práca).

MERZ, R., Parajka, J., Blöschl, G., 2011: Time stability of catchment model parameters: Implications for climate impact analyses, Water Resour. Res., 47, W02531, doi: 10.1029/2010WR009505.,

MULLEN, K.M, Ardia, D., Gil, D., Windover, D., Cline, J., 2011: DEoptim: An R Package for Global Optimization by Differential Evolution. Journal of Statistical Software, 40(6), 1-26.

PARAJKA, J., Merz, R., Blöschl, G., 2007: Uncertainty and multiple calibration in regional water balance modelling case study in 320 Austrian catchments. Hydrol. Process, 21, 435 – 446, doi: 10.1002/hyp.

SLEZIAK, P., Hlavčová, K., Szolgay, J., Parajka, J., 2017: Závislosť kvality simulácie odtoku pomocou zrážkovo-odtokového modelu od rozdielnosti hydro-klimatických podmienok kalibračného a validačného obdobia. Acta Hydrologica Slovaca, ročník 18, č. 1, 23 – 30.

SLEZIAK, P., Hlavčová, K., Szolgay, J., Parajka, J., Duethman, D., Danko, M., 2018: Factors controlling alterations in the performance of a runoff model in changing climate conditions. J. Hydrol. Hydromech., 66, 4, 381-392. doi:10.2478/johh-2018-0031.