

**ZÁVISLOSŤ KVALITY SIMULÁCIE ODTOKU POMOCOU ZRÁŽKOVO-
ODTOKOVÉHO MODELU OD ROZDIELNOSTI HYDROKLIMATICKÝCH
PODMIENOK KALIBRAČNÉHO A VALIDAČNÉHO OBDOBIA**

Patrik Sleziač, Kamila Hlavčová, Ján Szolgay, Juraj Parajka

Príspevok je zameraný na hodnotenie kvality simulácie vybraného zrážkovo-odtokového modelu (TUV model) v meniacich sa klimatických podmienkach. Model TUV bol kalibrovaný v období 1981 – 1990 a validovaný v období 2001 – 2010 pre dve rozdielne skupiny 213 rakúskych povodí (povodia so snehovým a dažďovým režimom odtoku). Parametre boli optimalizované pomocou lineárnej kombinácie kritérií Nash-Sutcliffovho koeficientu (NSE) a logaritmickeho Nash-Sutcliffovho koeficientu (logNSE) a evolučného algoritmu. Spoľahlivosť simulácie modelu vo validačnom období bola hodnotená pomocou indexu objemovej chyby (volume error VE). Boli identifikované dva zhluky povodí, v ktorých sa hodnoty objemovej chyby prejavili najvýraznejšie. Priebeh objemovej chyby sme ilustrovali na simulácii priemerných mesačných prietokov pre vybrané povodie z každého zhluku reprezentujúce rozdielny režim odtoku. V prípade povodia s dominantným snehovým režimom odtoku, pri náraste teploty vzduchu o 1.5 – 2 °C model výrazne podhodnotil pozorované priemerné mesačné prietoky (19 %). Naopak, u povodia s prevládajúcim dažďovým režimom odtoku, pri zmene úhrnu zrážok (20 – 30 %) model výrazne nadhodnotil pozorované priemerné mesačné prietoky (25 %). Pre praktickú aplikáciu z-o modelov to znamená, že by bolo možné resp. aj vhodné uvažovať s viacerými kalibračnými obdobiami a meniť parametre modelov počas simulácie v závislosti na hydroklimatickom režime.

KEJČOVÉ SLOVÁ: TUV model, parametrizácia modelu, objemová chyba, klimatické podmienky

DEPENDENCE OF THE QUALITY OF RUNOFF-SIMULATION BY A RAINFALL-RUNOFF MODEL ON THE DIFFERENCES IN HYDROCLIMATIC CONDITIONS OF CALIBRATION AND VALIDATION PERIOD. The present study deals with the parametrization of the rainfall-runoff (r-r) model (TUV model) in a changing climate conditions. TUV model was calibrated in period 1981 – 1990 and validated in period 2001 – 2010 for two different groups of Austrian catchments (catchments with dominant snow and rainfall-runoff regime). Model parametrization was carried out by combination of the Nash-Sutcliffe coefficient (NSE) and the logarithmic Nash-Sutcliffe coefficient (logNSE). The model efficiency was evaluated in terms of volume error (VE). We have identified two clusters of catchments in which the values of volume error was the most significant (lower or higher values). This is demonstrated on the simulations of the mean monthly flows for the selected catchment from each cluster, which also represents different runoff regime. In the case of the catchment with dominant snow-runoff regime, with a change in air temperature 1.5 – 2 °C the model significantly underestimated mean monthly flows (19 %). To the contrary, in the catchment with dominant rainfall-runoff regime, with a change in precipitation (20 – 30 %), the model significantly overestimated mean monthly flows (25 %). For the practical applicability of R-R models it would be suitable to consider various calibration periods and to change the model parameters depending on the hydroclimatic regime.

KEY WORDS: TUV model, model parametrization, volume error, climatic conditions

Úvod

Zrážkovo-odtokové (z-o) modely sú často aplikované v simulačných úlohách pri riešení rozličných vodohospodárskych problémov (predpovedanie priebehu povod-

ní, vplyv zmeny klímy na vodný režim, atď.), pričom v simulovanom období sa môžeme stretnúť s klimatickými podmienkami odlišnými od kalibračných. V súvislosti s uvedeným viacero autorov upozorňuje, že použitie týchto modelov v rozdielnych klimatických

podmienkach vedie k neistotám, ktoré ovplyvnia kvalitu ich výstupov (Oudin a kol., 2006; Vaze a kol. 2010; Merz a kol., 2011; Coron a kol., 2012; Saft a kol., 2016). Jedným, kto upozornil na potrebu testovať spoľahlivosť z-o modelov v priebehu meniacich sa klimatických podmienok, bol Klemeš (1986). Navrhol verifikovať modely pomocou diferenčného testu („Differential Split-Sample Test“), ktorého princíp spočíva v tom, že kalibračné a validačné obdobia sú vybrané na základe ich výraznejších odlišností v charaktere klimatických podmienok. Viaceré štúdie pomocou aplikácie tohto testu preukázali, že spoľahlivosť niektorých modelov sa v priebehu času menila (napr. Vaze a kol. 2010; Merz a kol., 2011; Coron a kol., 2012).

Merz a kol. (2011) kalibrovali a validovali koncepčný z-o model s polorozčlenenými parametrami pre 273 povodí v Rakúsku pre obdobia s meniacimi sa klimatickými podmienkami (striedanie chladnejších a teplejších období, alebo vlhkejších a suchších období) a zistili, že model mal tendenciu nadhodnotiť prietoky (a to aj nízke, stredné, vysoké), keď kalibračné obdobie bolo z hľadiska teploty chladnejšie než verifikačné. K podobným zisteniam dospeli aj Coron a kol. (2012), ktorí kalibrovali tri hydrologické modely s priestorovo sústredenými parametrami (GRJ4, MORDOR6, SIMHYD) v rozdielnych klimatických podmienkach a ukázali, že kalibrácia modelov v chladnejších obdobiach a následná validácia v teplejších viedla k zvýšeniu neistoty simulácií, ktorá sa prejavila vo vyšších hodnotách ukazovateľa objemovej chyby. Vaze a kol. (2010) porovnali spoľahlivosť štyroch z-o modelov s priestorovo sústredenými parametrami (SIMHYD, Sacramento, SMARG, IHACRES) za meniacich sa klimatických podmienok pre 61 povodí v Austrálii. Štúdia tiež poukázala na to, že sa spoľahlivosť modelov v priebehu času menila, čo bolo zdôvodnené rozdielnymi klimatickými podmienkami.

Viaceré z uvedených štúdií zároveň odporúčajú aplikovať aj ďalšie testovacie postupy (zamerané napr. na výber kalibračných období) a zároveň ich vzťahnúť aj k rozmanitejším klimatickým a fyzicko-geografickým podmienkam. Predložená práca sa zamerala práve na uvedené a jej cieľom je analýza parametrizácie a overenie chovania sa vybraného z-o modelu v meniacich sa klimatických podmienkach v rozmanitých fyzicko-geografických podmienkach Rakúska.

Práca je organizovaná nasledovne. V nasledujúcej časti je stručne popísaný použitý zrážkovo-odtokový model (model TUW). Ďalšia časť práce poskytuje informáciu o použitom súbore údajov (213 rakúskych povodí) a o kalibračnej a validačnej stratégii. Nasledujúca časť sumarizuje výsledky práce. Posledná časť je venovaná záverom.

Hydrologický model TUW

Pre modelovanie bol použitý koncepčný zrážkovo-odtokový model so sústredenými parametrami TUW model („Technische Universität Wien“) (Viglione a Pa-

rajka, 2014). Ide o tzv. koncepčný model s priestorovo sústredenou parametrizáciou, ktorý simuluje z-o proces kontinuálnym spôsobom v dvoch vzájomne prepojených fiktívnych nádržiach, ktoré reprezentujú základné akumulčné priestory v povodí.

Model pozostáva z troch častí (submodelov): snehový, pôdny a odtokový submodel. Úloha snehového submodelu spočíva v simulácii akumulácie a topenia snehu v povodí. Tento submodel obsahuje tieto parametre: snehový korekčný parameter (SCF), teplotný parameter (DDF), hraničné teploty zámruzu a topenia (T_r , T_s , T_m). Pôdny submodel zahŕňa hydrofyzikálne parametre, ako napr. limit pre potenciálnu evapotranspiráciu (L_{prat}), pôdnu kapacitu (FC), parameter tvorby odtoku (BETA). Hlavnou úlohou tohto submodelu je simulácia procesov, ktoré prebiehajú pod zemským povrchom.

Odtokový submodel pozostáva z parametrov, ktoré sú zodpovedné za riadenie vzniku a priebehu povrchového a podpovrchového odtoku (k_0 , k_1 , k_2), základného odtoku (B_{max}), zásoby vody v pôde (L_{suz}), a tzv. parameter transformácie odtoku (Croute). Detailnejší opis štruktúry modelu, ako aj rozličné príklady jeho aplikácii je možné nájsť v početných prácach (napr. Parajka a kol., 2007; Viglione a kol., 2013; Sleziač a kol., 2016).

Pre kalibráciu bola použitá globálna optimalizačná metóda pomocou algoritmu diferenciálnej evolúcie s využitím programu Deoptim (Ardia a kol., 2016). Parametre boli optimalizované na základe kombinácie dvoch kritérií: Nash-Sutcliffeovho koeficientu (NSE) (Nash a Sutcliffe, 1970) a jeho logaritmu ($\log NSE$) (napr. Merz a kol., 2011). Optimalizačná funkcia bola definovaná v tvare $(NSE + \log NSE)/2$, ktorá umožňuje súčasne zohľadniť obdobia s vyššími prietokmi aj obdobia nízkej vodnosti.

Spoľahlivosť simulácií modelom bola hodnotená pomocou indexu objemovej chyby simulácie (volume error, VE). Ako uvádza Merz a kol. (2011) tento ukazovateľ má výhodu v tom, že jeho hodnoty môžu byť priamo interpretovateľné ako hydrologická bilancia.

VE sme použili v nasledovnom tvare:

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{sim}^i - \sum_{i=1}^n Q_{obs}^i}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}^i} \quad (1)$$

kde, Q_{sim} a Q_{obs} reprezentujú simulovaný a pozorovaný prietok. $VE = 0$ indikuje, že nenastali žiadne objemové rozdiely medzi pozorovaným a simulovaným odtokom. Hodnoty $VE < 0$ a $VE > 0$ označujú, podhodnotenie, resp. nadhodnotenie objemov simulovaných prietokov voči pozorovaným.

Vstupné údaje a opis povodí

Práca bola zameraná na územie Rakúska. Analyzovali sa údaje z 213 povodí, ktoré predstavujú pestrú paletu klimatických a fyzicko-geografických podmienok (obr. 1). Uvedené povodia boli z hľadiska rôzneho reži-

mu odtoku rozdelené do dvoch skupín. Prvá skupina pozostáva z povodií (71), ktoré majú tvorbu odtoku ovplyvnenú najmä akumuláciou a topením snehovej pokrývky (dominantný snehový režim odtoku). Tieto povodia sú lokalizované prevažne v centrálnej a alpskej časti Rakúska.

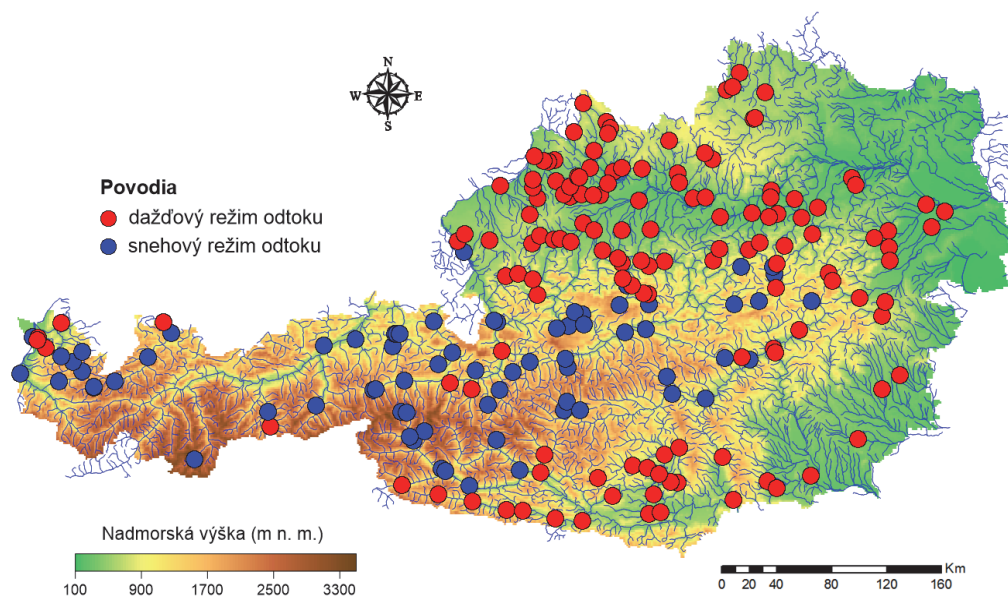
Druhú skupinu tvoria povodia (142) s dominantným dažďovým režimom tvorby odtoku, ktorý je ovplyvnený najmä zmenou zásob vody v pôde a výparom. Tieto povodia sa väčšinou nachádzajú vo východných častiach Rakúska (nížinná oblasť).

Údaje boli použité v dennom časovom kroku za obdobie od 1981 – 2010, pozostávali z priemernej denných úhrnov zrážok na povodie, priemernej dennej teploty vzduchu na povodie, priemernej dennej potenciálnej evapotranspirácie na povodie a priemerneho denného prietoku v uzatvárajúcom profile povodie. Zrážkovo-odtokový model bol kalibrovaný v období 1981 – 1990, pričom validácia (overenie výsledkov) prebiehala v období 2001 – 2010 (pre dve skupiny povodií). Medziobdobie 1991 – 2000 sme v kalibrácii ani validácii nezohľadnili, bolo použité len na dokumentáciu rozdielneho klimatic-

kého charakteru období.

V tab. 1 a na obr. 2 (formou krabicových grafov, pričom horizontálna čiara predstavuje medián, horná a dolná hranica krabice 75 a 25 percentil, horná a dolná anténka uvádza maximálnu a minimálnu hodnotu) sú vyhodnotené klimatické ukazovatele (ročný úhrn zrážok P, priemerná ročná teplota vzduchu T) analyzovaných povodií. Údaje dokumentujú rozdielny charakter kalibračného (1981 – 1990) a validačného obdobia (2001 – 2010), pričom medzi ne sme vsunuli medziobdobie, aby sme tento rozdiel zvýraznili. Z tohto grafického znázornenia môžeme vidieť variabilitu klimatických ukazovateľov.

Z obr. 2 a tab. 1 môžeme vidieť, že hodnoty úhrnov zrážok sa pre obe skupiny rakúskych povodií v priebehu času zvýšili. Podobný scenár sa prejavil aj v prípade teploty vzduchu. Z uvedeného je možné povedať, že obdobie (1981 – 1990) je možné z hľadiska úhrnov zrážok (P) označiť ako suchšie (nižšie hodnoty P v porovnaní s obdobím 2001 – 2010) a z hľadiska teploty vzduchu ako chladnejšie (nižšie hodnoty T oproti obdobiu 2001 – 2010).



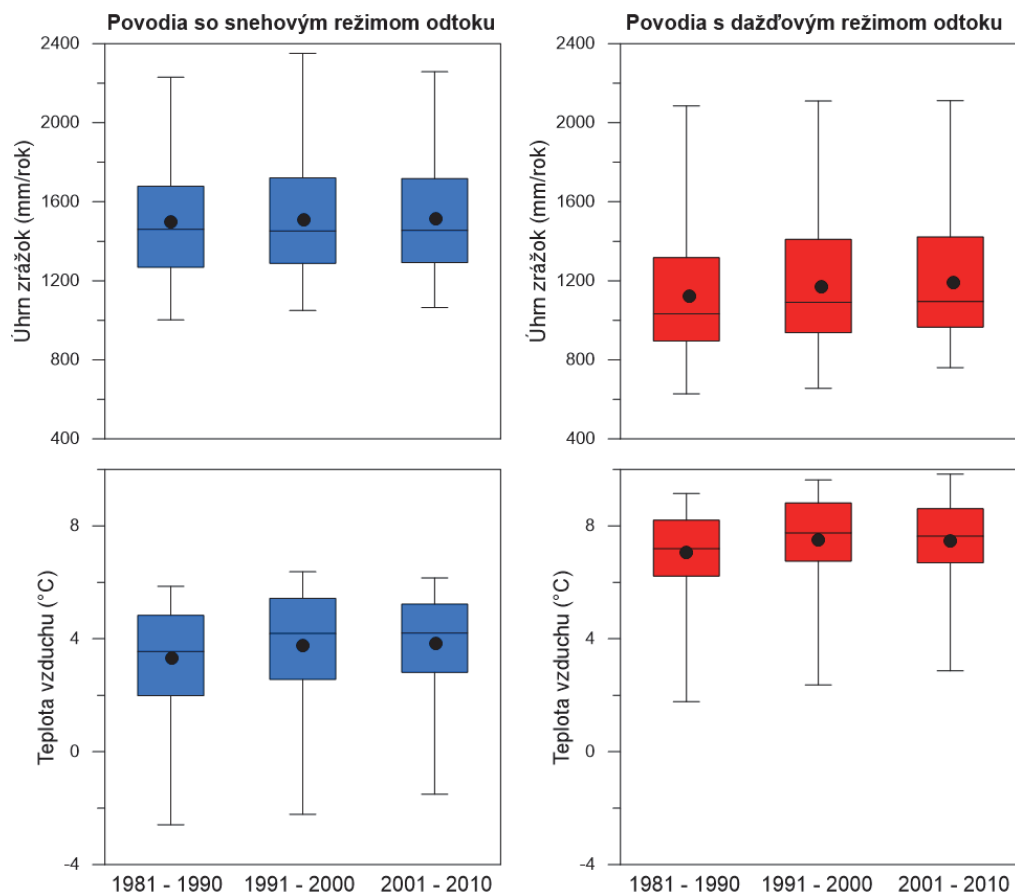
Obr. 1. Mapa Rakúska s vybranými povodiami. Symboly označujú prietokomerné stanice s rozdielnym režimom odtoku.

Fig. 1. Map of Austria with the selected catchments. The symbols indicate gauging stations with different runoff regime.

Tabuľka 1. Hodnoty priemernej ročných úhrnov zrážok, teploty vzduchu v špecifických obdobiach

Table 1. Values of mean annual precipitation and air temperature in specific periods

Úhrn zrážok (mm/rok)	1981 – 1990	1991 – 2000	2001 – 2010
Povodia so snehovým režimom odtoku	1494	1508	1516
Povodia s dažďovým režimom odtoku	1110	1170	1199
Teplota vzduchu (°C)	1981 – 1990	1991 – 2000	2001 – 2010
Povodia so snehovým režimom odtoku	3.2	3.7	3.8
Povodia s dažďovým režimom odtoku	6.9	7.5	7.4



Obr. 2. Variabilita klimatických charakteristík (ročný úhrn zrážok, priemerná ročná teplota vzduchu) v špecifických obdobiach. Symbol označuje priemerné hodnoty.

Fig. 2. Variability of climatic characteristics (annual precipitation, mean annual air temperature) in specific periods. Symbol indicates mean values.

Výsledky kalibrácie a validácie

Na obr. 3 (vľavo) je zobrazený vzťah medzi zmenami klimatických charakteristík oboch období (zmena úhrnu zrážok ΔP a teploty vzduchu ΔT , pričom tento vzťah je vyjadrený vo forme mediánových hodnôt jednotlivých povodí) pre obe skupiny rakúskych povodí. S tým korešponujú na obr. 3 (vpravo) farebne kódované hodnoty indexu objemovej chyby, ktoré dokumentujú vzťah medzi zmenami klimatických charakteristík a objemovou chybou (ukazovateľ spoľahlivosti simulácie modelu) vo validačnom období 2001 – 2010. V tomto zobrazení sme zvolili dva viditeľne rozdielne zhluky povodí, v ktorých sa ukazovateľ objemovej chyby prejavil najvýraznejšie.

Z vizuálneho posúdenia obr. 3 je zrejmé, že v povodiach s dominantným snehovým režimom odtoku (zhluk č. 2), pri zmene teploty vzduchu (Δt) 1.5 – 2 °C (žiadna zmena úhrnu zrážok, $\Delta P = 0\%$) dosiahol ukazovateľ obje-

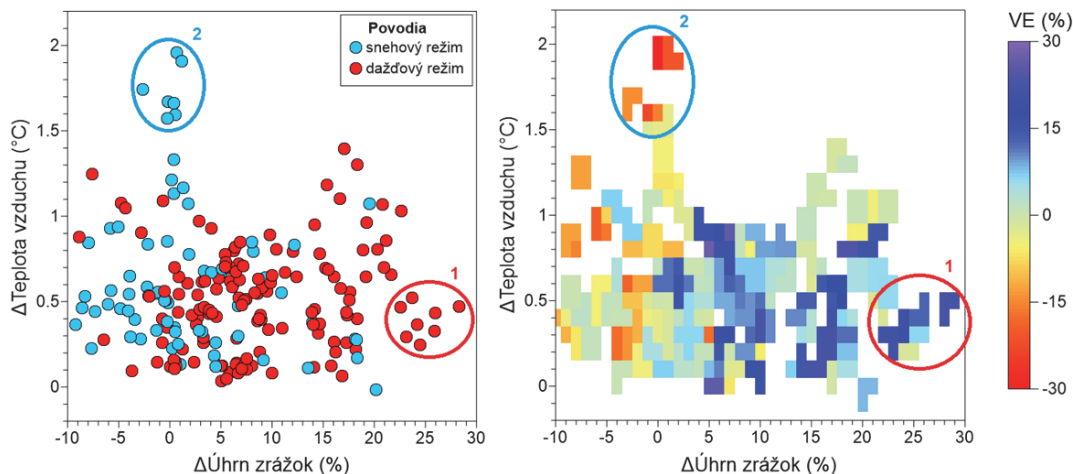
movej chyby (VE) hodnoty v rozsahu -15 až -30 % (červená farba v legende obr. 3 vpravo), čo indikuje výrazné podhodnotenie prietokov ($VE < 0$).

U povodia s dominantným dažďovým režimom odtoku (zhluk č. 1) mala väčší vplyv vyššia zmena úhrnov zrážok (ΔP) (20 – 30 %), čo sa následne odrazilo vo vyšších hodnotách objemovej chyby (15 – 30 %) (modrá farba v legende obr. 3 vpravo), čo zároveň poukazuje na výrazné nadhodnotenie prietokov ($VE > 0$).

Oba identifikované zhluky povodí boli následne znázornené na mape Rakúska (obr. 4). Z každého zhluku sme vybrali jedno povodie (Neukirchen – povodie s dominantným snehovým režimom odtoku, Reith – povodie s dominantným dažďovým režimom odtoku), na ktorých sme na simulovaných priemerných mesačných prietokoch ilustrovali predchádzajúce zistenia (obr. 5). Obr. 5 poskytuje informáciu o pozorovaných priemerných mesačných prietokoch a k nim prislúchajúcich simulovaných priemerných mesačných prietokoch vo validačnom

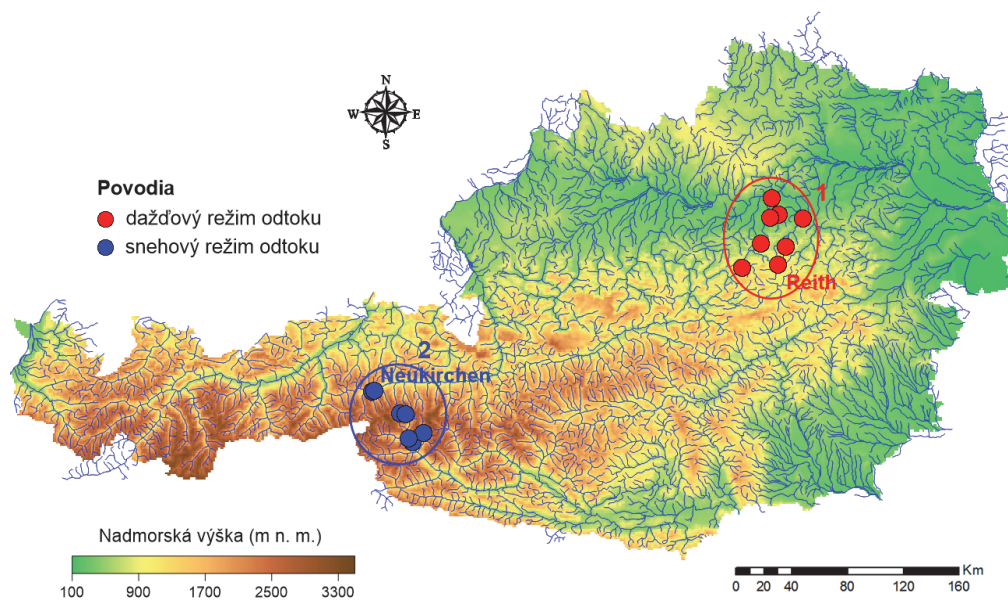
období 2001 – 2010. Z obr. 5 zároveň môžeme taktiež vidieť rozdielny prietokový režim. V prípade povodia s dominantným snehovým režimom odtoku boli dosiahnuté vyššie hodnoty priemerných mesačných prietokov najmä v letných mesiacoch. Na prvý pohľad je zrejmé, že v prípade obidvoch povodií sa model horšie vysporiadal so simuláciou reality (korešponduje s obr. 3). U povodia s dominantným snehovým režimom odtoku

(horské, alpské povodie) (obr. 5 v ľavo) model podhodnotil prietoky najmä v hornej časti. Podľa ukazovateľa objemovej chyby bol rozdiel medzi pozorovaným a simulovaným prietokom -19%. Naopak v prípade povodia s dominantným dažďovým režimom odtoku (nížinná časť Rakúska) (obr. 5 vpravo) model výrazne nadhodnotil pozorovaný prietok, čo sa odrazilo aj na hodnotách ukazovateľa objemovej chyby VE = 25 %.



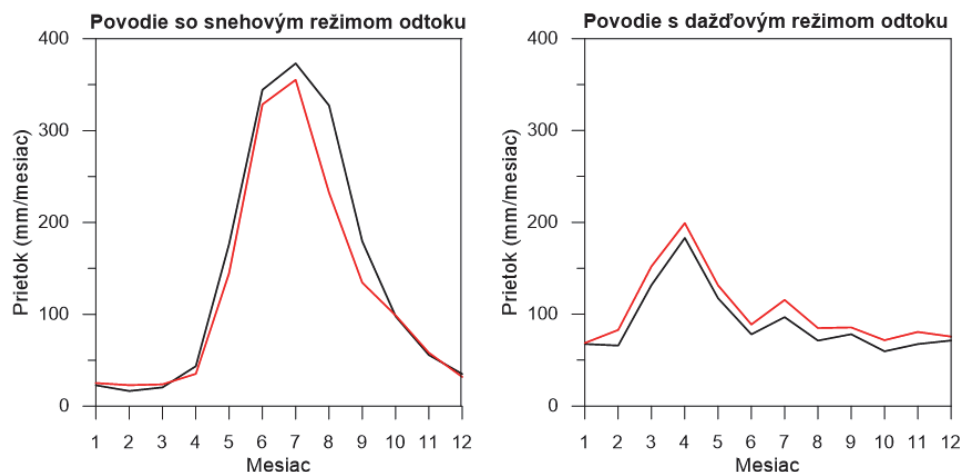
Obr. 3. Vzťah medzi zmenou klimatických charakteristík (zmena medzi obdobiami 2001 – 2010 a 1981 – 1990) a vybranými rakúskymi povodiami (v ľavo) a ukazovateľom objemovej chyby VE (vpravo).

Fig. 3. Relationship between the change in the climatic characteristics (change between periods 2001 – 2010 and 1981 – 1990) and the selected Austrian catchments (left), and volume error (right).



Obr. 4. Mapa Rakúska s dvomi identifikovanými zhlukmi povodií.

Fig. 4. Map of Austria with two identified cluster of catchments.



Obr. 5. Porovnanie pozorovaných (čierna farba) a simulovaných (červená farba) priemerných mesačných prietokov vo validačnom období 2001 – 2010 pre dve vybrané povodia s rozdielnym režimom odtoku.

Fig. 5. Comparison of observed (black colour) and simulated (red colour) mean monthly flows in the validation period 2001 – 2010 for two selected catchments with different runoff regime.

Diskusia a záver

V rámci tohto príspevku sme sa zamerali na analýzu vplyvu parametrizácie vybraného zrážkovo-odtokového modelu v rozdielnych klimatických podmienkach kalibračného a validačného obdobia na kvalitu simulácie. Hydrologický model bol kalibrovaný v období 1981 – 1990 (v priemere chladnejšie obdobie z hľadiska teploty vzduchu a suchšie z pohľadu zrážok) a validovaný v období 2001 – 2010 (v priemere teplejšie obdobie z hľadiska teploty vzduchu a vlhšie z pohľadu zrážok).

Pre optimalizáciu parametrov modelu bola použitá lineárna kombinácia kritérií Nash-Sutcliffovho koeficientu a logaritmickeho Nash-Sutcliffovho koeficientu. Spoľahlivosť vo validačnom období modelu bola hodnotená pomocou indexu objemovej chyby.

Boli identifikované dva zhluky povodí, kde sa hodnoty ukazovateľa objemovej chyby prejavili najvýraznejšie (nízke, resp. vysoké hodnoty, ktoré indikujú výrazné podhodnotenie, resp. nadhodnotenie pozorovaných prietokov), na ktorých sme ilustrovali dopad rozdielnosti klimatických charakteristík na simuláciu priemerných mesačných prietokov pre dve vybrané povodia, ktoré reprezentujú rozdielny režim odtoku (snehový a dažďový režim).

Výsledky ukázali, že v prípade povodia s prevládajúcim snehovým režimom odtoku, pri náraste teploty (1.5 – 2 °C) model výrazne podhodnotil prietok, čo sa odrazilo v záporných hodnotách ukazovateľa objemovej chyby (-19 %). Naopak v prípade druhého vybraného povodia (povodie s dominantným dažďovým režimom odtoku), pri väčšej zmene úhrnu zrážok (20 – 30 %) model vý-

razne nadhodnotil pozorovaný prietok (VE = 25 %).

Uvedené je zároveň v súlade s prácami Vaze a kol. (2010), Coron a kol. (2012), Merz a kol. (2011), ktoré sa zaoberali spoľahlivosťou zrážkovo-odtokových modelov v meniacich sa klimatických podmienkach a dospeli k podobným zisteniam. Práce zároveň poukazujú na to, že kalibrácia zrážkovo-odtokových modelov v chladnejších klimatických podmienkach a následná validácia v teplejších vedie vo väčšine prípadov k nadhodnoteniu pozorovaných prietokov. Napr. Merz a kol. (2011) v práci ukázal, že keď použil parametre modelu kalibrované do obdobia 1976 – 1981 (chladnejšie obdobie) pre simuláciu prietoku v období 2001 – 2006 (teplejšie obdobie), nízke prietoky (Q_{95}) boli nadhodnotené 12 %, stredné prietoky (Q_{50}) 15 % a vysoké prietoky (Q_5) 35 %. Autori zároveň odporúčajú opatrnosť pri aplikácii z-o modelov v rozsahu meniacich sa klimatických podmienok.

Pre praktickú aplikáciu z-o modelov to znamená, že by bolo vhodné uvažovať s viacerými kalibračnými obdobiami a meniť parametre modelov počas simulácie v závislosti na hydroklimatickom režime (napr. v predpokladanej prevádzke). Schopnosť takéhoto riešenia sme naznačili v práci Valent a Szolgay (2013), kde sme sa pokúsili zlepšiť týmto spôsobom kvalitu reprodukcie režimu maximálnych prietokov.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0425 a a projektom VEGA č. 1/0891/17.

Literatúra

- Ardia, D, Mullen, K.M., Peterson, B.G., Ulrich, J. (2016): DEoptim: Differential evolution in R. R package, version 2.2-4, dostupné na: <https://cran.r-project.org/web/packages/DEoptim/citation.html>.
- 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.
- Klemeš, V. (1986): Operational testing of hydrological simulation models, *Hydrol. Sci. J.*, 31(1), 13 – 24, doi:10.1080/02626668609491024.
- 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.
- Nash, J.E., a Sutcliffe, J.V. (1970): River flow forecasting through conceptual models, part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282 – 290, doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6.
- Oudin, L., Perrin, Ch., Mathevet, T., Andréassian, V., Michel, C. (2006): Impact of biased and randomly corrupted inputs on the efficiency at the parameters of watershed models. *Journal of Hydrology*, 320, 62 – 83, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.016>.
- 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.6253.
- Saft, M., Peel, M.C., Wewtern, A.V., Perraud, J.M., Zhang, L. (2016): Bias in streamflow projections due to climate induced shifts in catchment response. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 1574 – 1581, doi: 10.1002/2015GL067326.
- Sleziak, P., Szolgay, J., Hlavčová, K., Parajka, J. (2016): The impact of the variability of precipitation and temperatures on the efficiency of a conceptual rainfall-runoff model. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24(1), 1 – 7, doi: <https://doi.org/10.1515/sjce-2016-0016>.
- Valent, P. a Szolgay, J. (2013): Vplyv zlepšenia kalibrácie kontinuálneho z-o modelu na simuláciu radu maximálnych ročných prietokov. *Acta Hydrologica Slovaca*, 14(1), 225 – 232, http://147.213.100.3:81/ah_articles/2013_14_1_Valent_225.pdf.
- Vaze, J., Post, D.A., Chiew, F.H.S., Perraud, J.M., Viney, N.R., Teng, J. (2010): Climate nonstationarity – Validity of calibrated rainfall-runoff models for use in climatic changes studies. *J. Hydrol.*, 394 (3-4), 447 – 457, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.09.018.
- Viglione, A., Parajka, J. (2014): TUVmodel: Lumped hydrological model for educational purposes, R package version 0.1-4, dostupné na: <http://CRAN.R-project.org/package=TUVmodel> (posledná úprava 13.9.2016).
- Viglione, A., Parajka, J., Rogger, M., Salinas, J.L., Laaha, G., Sivapalan, M., Blöschl, G. (2013): Comparative assessment of predictions in ungauged basins – Part 3: Runoff signatures in Austria, *Hydrol. Earth System Sci.*, 17, 2263-2279, doi:10.5194/hess-17-2263-2013.

DEPENDENCE OF THE QUALITY OF RUNOFF-SIMULATION BY A RAINFALL-RUNOFF MODEL ON THE DIFFERENCES IN HYDROCLIMATIC CONDITIONS OF CALIBRATION AND VALIDATION PERIOD

In this study we parametrized the rainfall-runoff (r-r) model (TUV model) in a changing climate conditions. In the first part, we calibrated TUV model in period 1981 – 1990 (colder period in terms of air temperature) and validated in period 2001 – 2010 (warmer period) for two groups of Austrian catchments with different runoff regime. For the model calibration a differential evolution algorithm (DEoptim) was used. The model was parametrized by combination of the Nash-Sutcliffe coefficient and the logarithmic Nash-Sutcliffe coefficient. The model efficiency was assessed by volume error (VE). Two cluster of catchments with the most significant values of VE have been identified. This findings were illustrated on the simulations of the mean monthly flows for two selected catchments which

represent different runoff regime (snow and rainfall regime). The results showed that in the catchment with dominant snow-runoff regime, with the change in temperature 1.5 – 2 °C, the model significantly underestimated mean monthly flows. It was reflected in lower negative values of VE (-19 %). On the other hand, in the catchment with dominant rainfall-runoff regime, with the change in precipitation (20 – 30 %) the model significantly overestimated observed flows (VE achieved value of 25 %).

These results have implications when using hydrological models as decision-making tools in various practical applications (flood forecasting, climate change studies, etc.). As a result, we also recommend caution when using r-r models in a changing climate conditions.

Ing. Patrik Sleziak
prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD.
prof. Ing. Ján Szolgay, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF, STU
Radlinského 11
810 05 Bratislava
Tel.: +421 908 965 784
E-mail: patrik.sleziak@stuba.sk
kamila.hlavcova@stuba.sk
jan.szolgay@stuba.sk

Univ. Doz. Dr. Juraj Parajka
Institute of Hydraulic Engineering and Water Resource Management
Vienna University of Technology
Karlsplatz 13/222
A-1040 Vienna
E-mail: parajka@hydro.tuwien.ac.at