

# POSÚDENIE VÝKONNOSTI KONCEPČNÉHO HYDROLOGICKÉHO MODELU PRI KALIBRÁCII Z ROZDIELNYCH ČASOVÝCH OBDOBÍ

Patrik Sleziak

**Anotácia:** Predložená práca sa zaoberá posúdením výkonnosti a efektívnosti koncepčného zrážkovo-odtokového modelu TUV pri kalibrácii do rozdielnych časových období. Model sme kalibrovali v troch 10-ročných obdobiach medzi rokmi 1980 – 2010 pre 213 rakúskych povodí. Model bol parametrizovaný pomocou diferenciálneho evolučného algoritmu Deoptim. Ako optimalizačná funkcia bol zvolený Nash-Sutcliffe (NSE) koeficient. Výsledky ukazujú, že účinnosť kalibrácií sa v priebehu času mierne zvýšila. Taktiež účinnosť verifikácií sa v čase zmenila. V nasledujúcom sme pozorovali priebeh zmeny vybraných klimatických charakteristík (teplota vzduchu, zrážky) v jednotlivých kalibračných obdobiach. Hlavné zistenia ukázali, že priemerné ročné úhrny zrážok sa cez všetky rakúske povodia pohybovali v rozmedzí od 1240 do 1300 mm/rok a ich trend sa mierne zvyšoval počas troch dekád. Teplota vzduchu stúpala v priemere o 0,5 °C počas celého skúmaného obdobia. V ďalšej časti práce boli porovnané jednotlivé kalibrácie s vybranými klimatickými charakteristikami povodí (teplota vzduchu, zrážky). Na určenie vzájomnej závislosti bol vypočítaný Pearsonov korelačný koeficient. Výsledky ukázali, že teplota vzduchu, a taktiež aj zrážky sú negatívne korelované k NSE kalibrovanému vo všetkých troch obdobiach (1980-2010). To znamená, že znižujúci sa trend NSE v týchto obdobiach zodpovedá zvyšujúcemu sa trendu teploty vzduchu, resp. zrážok. Výsledky boli spracované v softvérovom prostredí R.

**Kľúčové slová:** TUV model, kalibrácia modelu, Nash-Sutcliffe koeficient

Patrik Sleziak: ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF A CONCEPTUAL HYDROLOGIC MODEL FOR CALIBRATION FROM DIFFERENT TIME PERIODS.

**Annotation:** The present study deals with the assessment of the performance and efficiency of the TUV model if we calibrated in different periods. We calibrated this model for three consecutive 10-year periods between 1980 – 2010 for 213 catchments in Austria and analyzed the effectiveness of the calibrations. The model was calibrated using a differential evolution algorithm Deoptim. The Nash-Sutcliffe coefficient (NSE) was selected as the criterion for the calibration. The results shows that the effectiveness of the calibration slightly increased over time. Also, the effectiveness of the verification has changed over time. Next, we have analyzed changes of selected climatic characteristics (air temperature, precipitation) in the specified calibration and verification periods. The main findings are that the mean annual precipitation over all Austrian catchments varies from 1240 to 1300 mm/year and has slightly increased over 3 decades. Air temperatures have increased by almost 0,5 °C, on average, for all the catchments. Later in this article we analyzed the relationship between the NSE calibrated in different periods and the selected climatic characteristics (air temperature, precipitation). The results showed that the air temperature and precipitation are negatively correlated to NSE calibrated in all the periods (from 1980 to 2010). It means, that decreasing trend of NSE in these periods corresponds to increasing trend of air temperature/precipitation. The results were processed in the R software environment.

**Key words:** TUV model, model calibration, Nash-Sutcliffe coefficient

## Úvod

Matematická reprezentácia zrážkovo-odtokového procesu tvorí významný nástroj pre hydroológov či už z hľadiska operatívnych predpovedí alebo návrhových rozhodovaní. V tejto oblasti sa do popredia dostávajú koncepčné zrážkovo-odtokové modely, ktoré predstavujú zjednodušený komplex procesov tvorby odtoku v povodí. Jednotlivé zložky týchto modelov sú opísané na základe empirických funkcií, ktoré sú založené na pozorovaní určitých procesov v povodí. Častým problémom, ktorý je spojený s používaním týchto modelov je, že model nie je schopný poskytnúť spoľahlivé predpovede, to znamená, že nevie dostatočne uspokojivo opísať situácie vyskytujúce sa v povodí. Táto skutočnosť môže byť spôsobená viacerými faktormi, napr. nepresnými údajmi alebo príliš zjednodušeným opisom procesov, ktoré prebiehajú v povodí (Daneková a kol., 2012). Úspešná aplikácia týchto modelov závisí tiež od toho, ako dobre je model nakalibrovaný. Kalibráciu modelu si možno predstaviť ako snahu stanoviť akceptovateľnú sadu parametrov, ktorá zabezpečí zhodu medzi meranými a simulovanými premennými na základe zvolených kritérií. Tejto problematike sa v literatúre venuje pomerne veľká pozornosť, čo vedie k vývoju mnohých kalibračných postupov a stratégií (napr. Gupta a kol., 2005; Beven, 2004; Wagener, 2004; Weise, 2009).

V súčasnosti je pre modelovanie k dispozícii množstvo optimalizačných algoritmov ako je napr. shuffled complex algorithm (Merz a kol., 1992), genetické algoritmy (Wang, 1997) a diferenciálne evolučné algoritmy (Storn, 2010). Viacerí autori v tejto oblasti analyzovali adekvátnu dĺžku údajov potrebnú pre kalibráciu. Harlin (1991) vo svojej práci konštatuje, že optimálna dĺžka údajov by nemala byť menšia ako desať rokov denných údajov. Yapo a Gan dospeli k výsledku, že najvhodnejšia dĺžka údajov je jeden až osem rokov nepretržitých denných údajov (Yapo a kol., 1996; Gan a kol., 1997). Ich ďalšie štúdie poukazujú na to, že v procese kalibrácie je rozhodujúca aj výkonnosť modelu, čiže kvalita informácie zachytená pomocou údajov.

V predkladanej práci sme sa zaoberali posúdením výkonnosti a efektívnosti koncepčného zrážkovo-odtokového modelu pri kalibrácii v rozdielnych časových obdobiach. Špeciálne sme skúmali tri otázky: Môže sa výkonnosť modelu zmeniť, ak model kalibrujeme v rozdielnych časových obdobiach? Ako sa mení časový priebeh vybraných klimatických charakteristík povodí (teplota vzduchu, zrážky) v jednotlivých kalibračných obdobiach? Existuje nejaký vzťah medzi koeficientom Nasha-Sutcliffa kalibrovaným v rozdielnych časových obdobiach a vybranými klimatickými charakteristikami? Na získanie odpovedí na uvedené otázky sme použili koncepčný zrážkovo-odtokový model TUW, ktorý bol vyvinutý na technickej univerzite vo Viedni (Viglione a Parajka, 2014).

## Charakteristika a opis modelu TUW

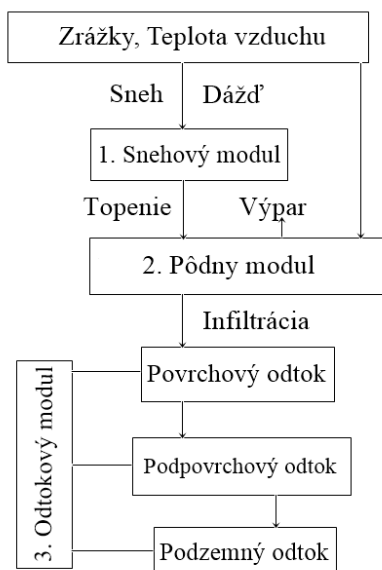
Na modelovanie bol použitý koncepčný zrážkovo-odtokový model TUW, ktorý bol vyvinutý na technickej univerzite vo Viedni. Model obsahuje 15 parametrov (Tab. 1), ktorých hodnoty sú odhadované pomocou kalibrácie. Do modelu vstupujú údaje v dennom časovom kroku a pozostávajú z priemerných denných teplôt, zrážok, evapotranspirácie a prietokov. Štruktúru modelu je možné rozdeliť do troch častí (Obr. 1):

- snehový submodel
- pôdny submodel
- odtokový submodel

Snehový submodel simuluje topenie snehu v povodí, k čomu sa používa metóda teplotného faktora (DDF – degree day factor) a teplotného parametra  $T_m$ . Teplotný interval  $T_r - T_s$  sa používa na rozlíšenie tekutých zrážok a snehu.

Pôdny submodel reprezentuje procesy, ktoré prebiehajú pod zemským povrchom. Tento submodel obsahuje parametre ako: FC (pôdna kapacita), LPrat (limit potenciálnej evapotranspirácie) a BETA (nelineárny parameter tvorby odtoku) a zahrňuje procesy ako napr. vsakovanie zrážok a roztopeného snehu do pôdy, distribúciu a akumuláciu vody v pôde, výpar vody z profilu.

Odtokový submodel transformuje nadbytočnú vodu z modelu na výpočet pôdnej vlhkosti pomocou dvoch nádrží. Voda priteká najprv do hornej nádrže, z ktorej následne časť preteká do dolnej nádrže rýchlosťou stanovenou parametrom. Povrchový odtok nastane po naplnení kapacity hornej nádrže. Celkový simulovaný odtok sa skladá z povrchového, podpovrchového a základného odtoku, ktoré sú transformované trojuholníkovou funkciou (Parajka a kol., 2007).



Obr. 1. Štruktúra modelu TUW.

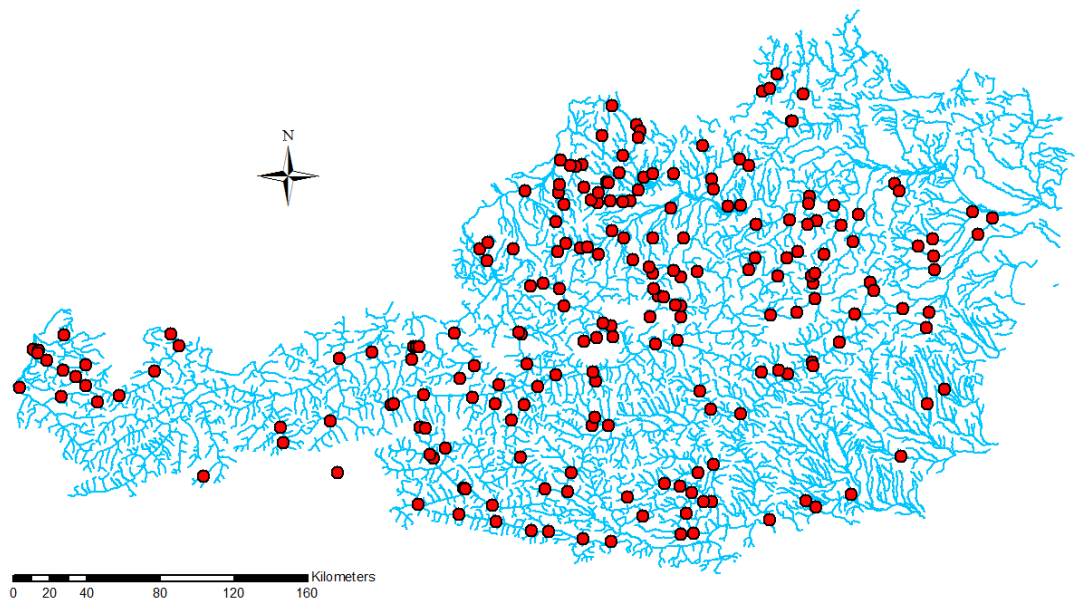
Parametre modelu	Definícia a jednotky	Rozsah
SCF	snehový faktor	0,9 – 1,5
DDF	teplotný faktor (mm/°C deň)	0,0 – 5,0
Tr	hodnota nad ktorou je zrážka kvapalná (°C)	1,0 – 3,0
Ts	hodnota pod ktorou je zrážka snehová (°C)	-3,0 – 1,0
Tm	hodnota pri ktorej nastáva topenie snehu (°C)	-2,0 – 2,0
LPrat	limit potenciálnej evapotranspirácie ( )	0,0 – 1,0
FC	pôdna kapacita (mm)	0 – 600
BETA	nelineárny parameter tvorby odtoku ( )	0,0 – 20,0
k0	parameter ovplyvňujúci povrchový odtok (deň)	0,0 – 2,0
k1	parameter ovplyvňujúci podpovrchový odtok (deň)	2,0 – 30,0
k2	parameter ovplyvňujúci podzemný odtok (deň)	30,0 – 250,0
lsuz	zásoba vody (mm)	1,0 – 100,0
cperc	perkolácia (mm/deň)	0,0 – 8,0
bmax	parameter spojený so základným odtokom (deň)	0,0 – 30,0
croute	voľný parameter (mm/deň)	0,0 – 50,0

Tab. 1. Popis parametrov modelu TUW spolu s intervalom, v ktorom boli kalibrované

## Vstupné údaje

V predkladanej práci sme analyzovali údaje z 213 rakúskych povodí (Obr. 2). Rakúsko je rovinaté, mierne zvlnené na východe a severe a vysokohorské na západe a juhu. Nadmorská výška sa pohybuje v rozpätí od 115 do 3797 metrov nad morom. Priemerné ročné zrážky sa pohybujú v intervale od 400 mm na východe až takmer po 3000 mm na západe.

V práci boli použité údaje v dennom časovom kroku za obdobie od 1.1.1980 do 31.12.2010, pozostávajúce z priemerných denných úhrnov zrážok, teploty vzduchu, evapotranspirácie a prietoku. Údaje boli spracované v softvérovom prostredí R (R Development Core Team, 2011) použitím balíka TUWmodel (Viglione a Parajka, 2014) pre modelovanie, balíka DEoptim (Ardia, 2015) pre optimalizáciu, a balíka GGplot2 (Wickham, 2015) pre zobrazenie grafov.



Obr. 2. Mapa Rakúska s vybranými prietokomernými stanicami

## Kalibrácia a verifikácia modelu TUW

Dané rady údajov sme rozdelili na tri obdobia po desať rokov začínajúc mesiacom január až po december, pre ktoré sme následne kalibrovali a verifikovali model. Prehľadná schéma priebehu modelovania je znázornená v tabuľke 2.

	1980 – 1990	1991 – 2001	2001 – 2010
1980 – 1990	Kalibrácia	Verifikácia	Verifikácia
1991 – 2000	Verifikácia	Kalibrácia	Verifikácia
2001 – 2010	Verifikácia	Verifikácia	Kalibrácia

Tab. 2. Schéma priebehu modelovania

Pre kalibráciu modelu sme použili automatickú kalibráciu pomocou diferenciálneho evolučného algoritmu Deoptim (Swagatam a kol., 2011). Použitý genetický algoritmus patrí medzi evolučné algoritmy a pomocou balíka DEoptim (Ardia a kol., 2015) je možné

aplikovať tento algoritmus v softvérovom prostredí R. Tento algoritmus pri hľadaní správneho riešenia využíva princípy ako je dedičnosť, mutácia, prirodzený výber, kríženie. Jeho princípom je postupná tvorba generácií, ktoré sú tvorené populáciou, ktorá pozostáva z viacerých jedincov.

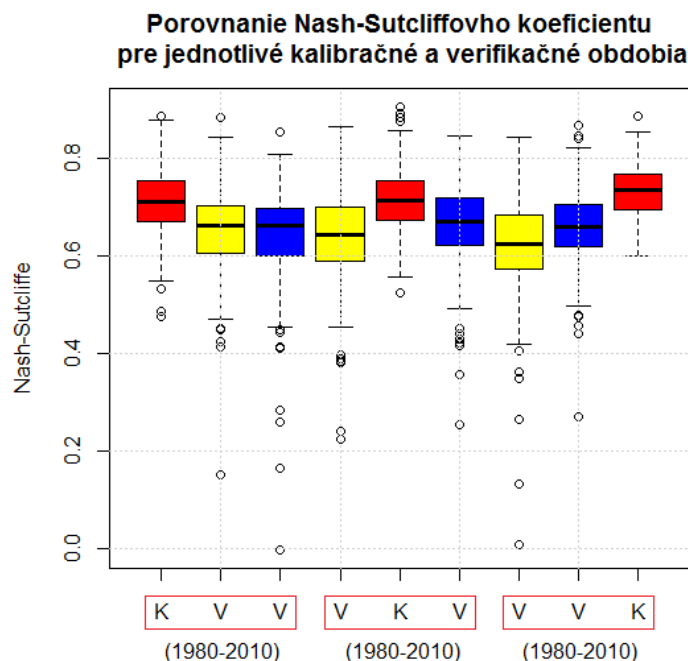
Ako optimalizačné kritérium bol použitý Nash-Sutcliffe a logaritmicke transformovaný Nash-Sutcliffe koeficient. Funkcie môžeme zapísať v nasledovnom tvare:

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim}^i - Q_{obs}^i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}^i - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (1)$$

$$\log NSE = \frac{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{sim}^i) - \log(Q_{obs}^i))^2}{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{obs}^i) - \log(\bar{Q}_{obs}))^2} \quad (2)$$

Cieľovú funkciu sme použili v tvare:  $(NSE + \log NSE)/2$ . Kde  $Q_{sim}$  a  $Q_{obs}$  sú simulovaný a pozorovaný prietok.

Obr. 3 zobrazuje variabilitu Nash-Sutcliffovho koeficientu (NSE) pre jednotlivé kalibračné a verifikačné obdobia. Získané hodnoty NSE, spolu so základnými štatistickými charakteristikami, sú zosumarizované v Tab. 3. Môžeme identifikovať, že priemerné hodnoty NSE pre jednotlivé kalibrácie sa pohybujú v rozpätí 0,71 – 0,73, čo znamená, že v priebehu času sa účinnosť jednotlivých kalibrácií mierne zvýšila. Z výsledkov kalibrácie je zrejmé, že pomocou diferenciálneho evolučného algoritmu (DEoptim) bola nájdená sada parametrov modelu, ktorá vierohodne simuluje skutočnosť. Nash-Sutcliffov koeficient dosahuje hodnoty v jednotlivých kalibračných obdobiach v rozsahu 0,71 – 0,73. Taktiež si môžeme všimnúť, že účinnosť jednotlivých verifikácií sa v priebehu času zmenila. Pre verifikácie v prvom kalibračnom období sa dosiahli hodnoty NSE v priemere 0,63 (1991 – 2000) a 0,64 (2001 – 2010). V druhom kalibračnom období sa dosiahli hodnoty NSE v priemere 0,64 (1980 – 1990) a 0,66 (2001 – 2010) a v treťom kalibračnom období hodnoty 0,62 (1980 – 1990) a 0,66 (1991 – 2000).



Obr. 3. Porovnanie variability NSE pre jednotlivé kalibračné a verifikačné obdobia

	n	priemer	medián	min	max	sd	se
<b>Kalibrácia (1980-1990)</b>	213	0,7098	0,7131	0,4780	0,8882	0,0662	0,0045
Verifikácia (1991-2000)	213	0,6491	0,6629	0,1532	0,8841	0,0882	0,0060
Verifikácia (2001-2010)	213	0,6389	0,6621	0,0021	0,8539	0,1070	0,0073
Verifikácia (1980-1990)	213	0,6392	0,6433	0,2248	0,8665	0,0907	0,0062
<b>Kalibrácia (1991-2000)</b>	213	0,7160	0,7140	0,5254	0,9074	0,0643	0,0044
Verifikácia (2001-2010)	213	0,6638	0,6700	0,2544	0,8460	0,0847	0,0058
Verifikácia (1980-1990)	213	0,6169	0,6263	0,0089	0,8455	0,1058	0,0072
Verifikácia (1991-2000)	213	0,6580	0,6594	0,2720	0,8698	0,0799	0,0055
<b>Kalibrácia (2001-2010)</b>	213	0,7327	0,7360	0,5998	0,8874	0,0543	0,0037

Tab. 3. Porovnanie štatistických hodôt získaných z jednotlivých kalibrácií a verifikácií

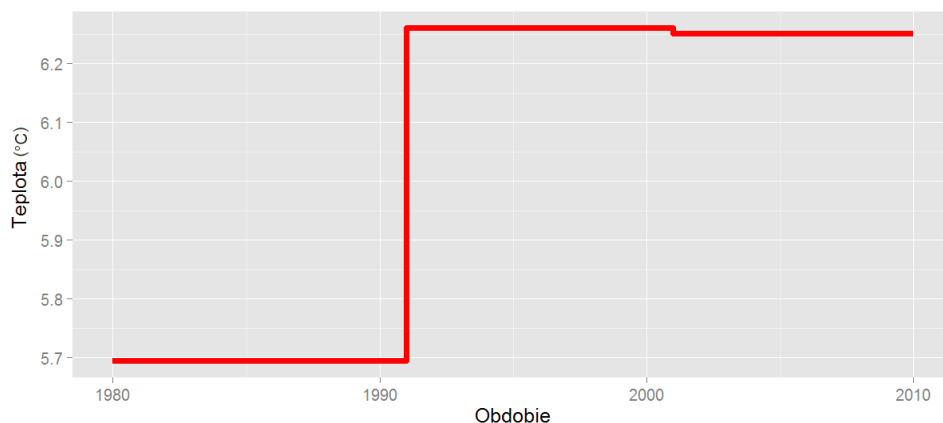
### Posúdenie zmeny vybraných klimatických charakteristík povodí v jednotlivých kalibračných obdobiach

V tejto časti práce sme spracovali analýzu priemerných ročných údajov vybraných klimatických charakteristík (teplota vzduchu, zrážky) jednotlivých povodí za účelom zobrazenia časového priebehu hodnôt uvedených charakteristík v rozdielnych kalibračných obdobiach. Výsledky priebehu zmien teploty a zrážok v jednotlivých kalibračných obdobiach sú zosumarizované v tabuľke 4. Z tab. 4 je zrejmé, že jednotlivé hodnoty analyzovaných zrážok a teplôt sa v priebehu času menili. Túto skutočnosť dokumentujú obr. 4, 5. Priemerná ročná teplota (Obr. 4) dosahovala v prvom období (1980 – 1990) hodnotu 5,69 °C. V druhom období (1991 – 2000) táto hodnota stúpila na 6,26 °C a v treťom období (2001 – 2010) klesla o jeden stupeň na hodnotu 6,25 °C. Z výsledkov vyplýva, že teplota vzduchu stúpila v priemere o 0,5 °C počas celého skúmaného obdobia.

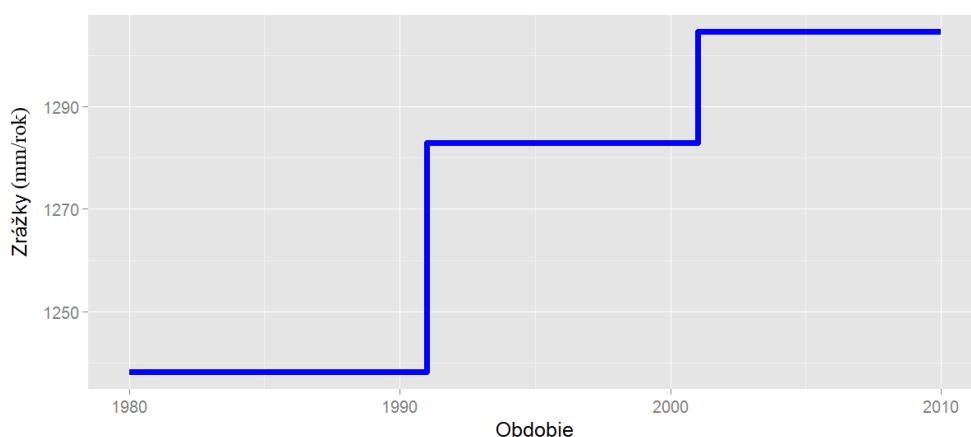
Obr. 5. poskytuje informáciu o časovom priebehu zrážok v jednotlivých kalibračných obdobiach. Počas všetkých troch dekád mali zrážky stúpajúci trend. Priemerné ročné zrážky dosiahli v prvom období hodnotu 1238,26 mm/rok. V druhom období táto hodnota stúpila na 1282,85 a v treťom na 1304,59.

Charakteristika	1980 – 1990	1991 – 2001	2001 – 2010
Teplota [°C]	5,69	6,26	6,25
Zrážky (mm/rok)	1238,26	1282,85	1304,59

Tab. 4. Porovnanie priemerných ročných hodnôt vybraných charakteristík povodí v jednotlivých kalibračných obdobiach



Obr. 4. Priebeh teploty vzduchu v jednotlivých kalibračných obdobiach



Obr. 5. Priebeh zrážok v jednotlivých kalibračných obdobiach

### Posúdenie jednotlivých kalibrácií modelu vzhľadom k vybraným klimatickým charakteristikám povodí

Táto časť práce opisuje analýzu vzťahu medzi hodnotami Nash-Sutcliffovho koeficientu kalibrovaného v rozdielnych obdobiach a vybranými klimatickými charakteristikami povodí (teplota vzduchu, zrážky). Na určenie vzájomnej závislosti bol vypočítaný Pearsonov korelačný koeficient, ktorého hodnoty sú zosumarizované v tabuľke 5. Z tab. 5 je zrejmé, že jednotlivé hodnoty korelačného koeficientu sa v priebehu kalibračných období menili. V prípade teploty vzduchu sa hodnoty pohybovali v rozsahu od  $-0,777$  v prvom kalibračnom období (1980-1990) až po  $-0,132$  v treťom kalibračnom období (1990-2010). Podobný prípad si môžeme všimnúť aj v prípade zrážok, kde sa hodnoty Pearsonovho koeficientu pohybovali v rozpätí  $-0,067$  až  $-0,318$ . Uvedené skutočnosti sú zobrazené v obr. 6, 7.

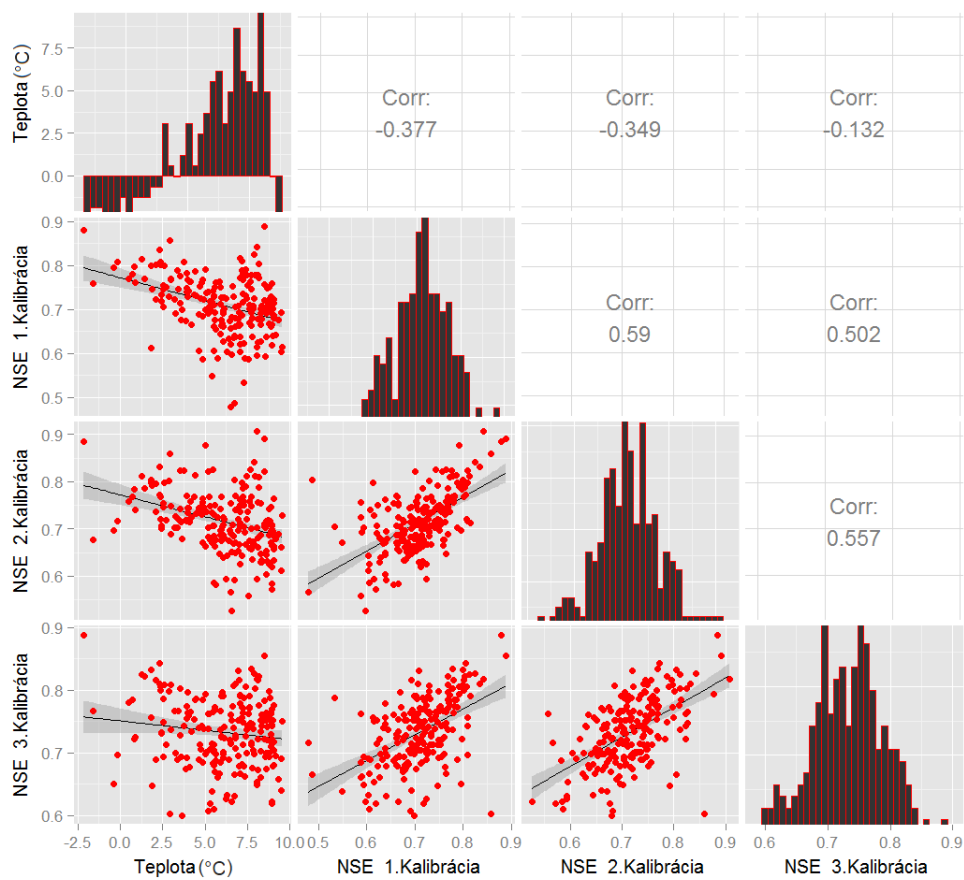
Obrázok 6 poskytuje informáciu o vzťahu medzi NSE kalibrovaným v rozdielnych obdobiach a teplotou vzduchu. Môžeme si všimnúť, že teplota vzduchu je negatívne korelovaná k NSE kalibrovanému vo všetkých obdobiach (1980 – 2010). To znamená, že znižujúci sa trend v jednotlivých kalibračných obdobiach zodpovedá zvyšujúcemu sa trendu teploty vzduchu a naopak.

Obrázok 7 hovorí o vzťahu medzi NSE kalibrovaným v rozdielnych obdobiach a zrážkami. Podobne ako v predchádzajúcom prípade aj v tomto si môžeme všimnúť, že zrážky sú negatívne korelované k NSE kalibrovanému vo všetkých obdobiach (1980 – 2010). To

znamená, že znižujúci sa trend NSE v jednotlivých kalibračných obdobiach zodpovedá zvyšujúcemu sa trendu zrážok a naopak.

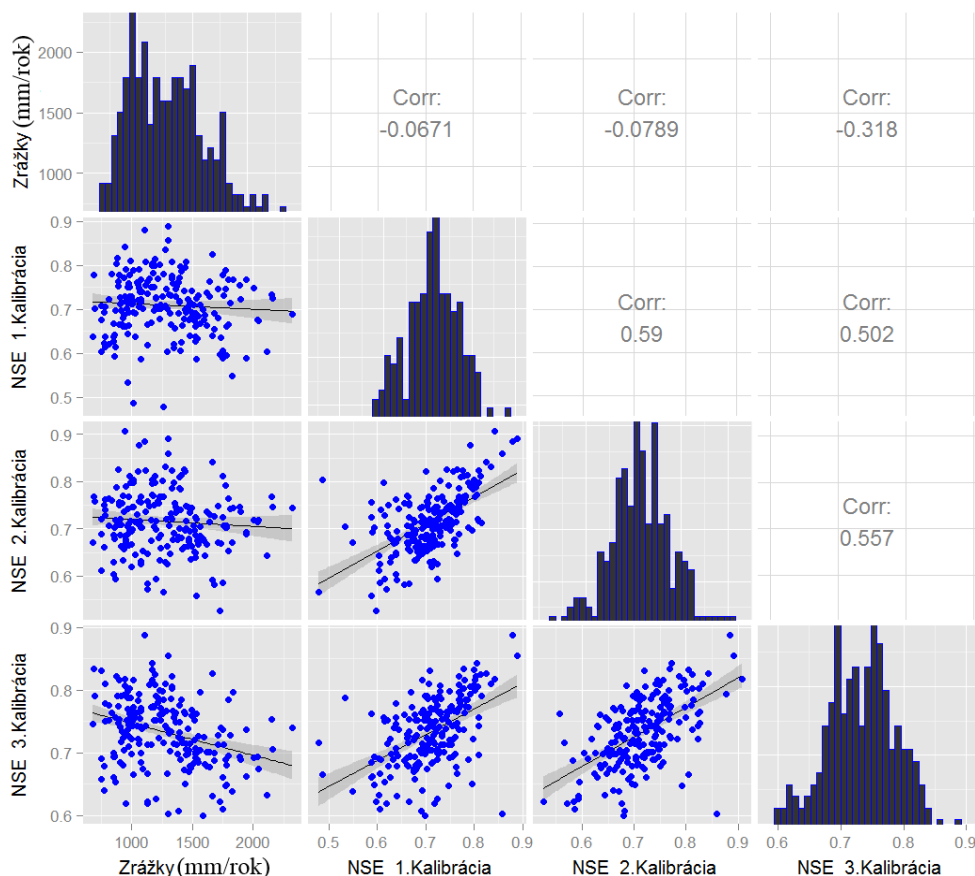
Charakteristika	Kalibrovaný NSE	Pearson
Teplota [C]	NSE 1. Kalibrácia	-0,377
Teplota [C]	NSE 2. Kalibrácia	-0,349
Teplota [C]	NSE 3. Kalibrácia	-0,132
Zrážky (mm/rok)	NSE 1. Kalibrácia	-0,067
Zrážky (mm/rok)	NSE 2. Kalibrácia	-0,079
Zrážky (mm/rok)	NSE 3. Kalibrácia	-0,318

Tab. 5. Porovnanie jednotlivých korelácií na základe Pearsonovho korelačného koeficientu



Obr. 6. Porovnanie vzájomného vzťahu medzi NSE kalibrovaným v rozdielnych obdobiach a teplotou vzduchu





Obr. 7. Porovnanie vzájomného vzťahu medzi NSE kalibrovaným v rozdielnych obdobiach a zrážkami

## Záver

Zrážkovo-odtokové modely nachádzajú široké uplatnenie pri riešení mnohých praktických vodohospodárskych a inžinierskych problémov, ktoré sú zamerané najmä na skúmanie správania sa povodia pri rôznych zmenených podmienkach. 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, čo vedie k vývoju mnohých kalibračných postupov a stratégií.

Cieľom príspevku bolo posúdenie výkonnosti a efektívnosti koncepčného zrážkovo-odtokového modelu TUW pri kalibrácii do rozdielnych časových období. Výsledky ukázali, že účinnosť kalibrácií sa v priebehu času mierne zvýšila. Taktiež účinnosť verifikácií sa v čase zmenila. Zistenia taktiež ukázali, že priemerná ročná teplota sa cez všetky rakúske povodia pohybovala v rozmedzí od 1240 do 1300 mm/rok a tento trend sa mierne zvyšoval počas troch dekád. Teplota vzduchu stúpala v priemere o 0,5 °C počas celého skúmaného obdobia. Tieto zistenia sú v kontexte s prácou Merz a kol. (2011), ktorá poukazuje na stúpajúci trend teploty a zrážok v jednotlivých rakúskych povodiach. V záverečnej časti práce boli porovnané jednotlivé kalibrácie s vybranými klimatickými charakteristikami povodí (teplota vzduchu, zrážky). Výsledky ukázali, že teplota vzduchu a taktiež aj zrážky sú negatívne korelované k NSE kalibrovanému vo všetkých troch obdobiach (1980-2010). To znamená, že znižujúci sa trend NSE vo týchto obdobiach zodpovedá zvyšujúcemu sa trendu teploty vzduchu, resp. zrážok. Výsledky boli spracované v softvérovom prostredí R.

## Literatúra

- [1] Ardia, D. – Mullen, K.M. – Peterson, B.G. – Ulrich, J. 2015. *DEoptim: Differential evolution in R* (Diferenciálny evolučný algoritmus v R). Version 2.2-3.
- [2] Beven, K.J. 2004. *Rainfall-runoff modelling: the primer*. John Wiley and Sons, s. 372.
- [3] Daneková, T. – Szász, V. – Tegelhoffová, M. – Szolgay, J. 2012. *Příklad neistôt v kalibráciách zrážkovo-odtokového modelu Hron spojený s výberom kalibračných období*. Acta Hydrologica Slovaca, Roč. 13, č. 1, s. 219-232.
- [4] Gan, T.Y. – Dlamini, E.M. – Biftu, G.F. 1997. *Effects of model complexity and structure, data quality, and objective functions on hydrologic modelling* (Účinky zložitosti štruktúry modelu, kvality údajov a cieľových funkcií na hydrologické modelovanie). Journal of Hydrol., 192, s. 81-103. doi:10.1016/S0022-1694(96)03114-9.
- [5] Gupta, H.V. Beven, K.J. – Wagener, T. 2005. *Model calibration and uncertainty estimation* (Kalibrácia modelu a odhad neistôt) In: Anderson, M.G. (Ed): Encyclopedia of hydrological sciences, John Wiley & Sons, Chichester, s. 2015-2031.
- [6] Harlin, J. 1991. *Development of a process oriented calibration scheme for the HBV hydrological model* (Vývoj kalibračného postupu pre hydrologický model HBV). Nord. Hydrol., 22, s. 15-36.
- [7] Merz, R. – Parajka, J. – Blöschl, G. 2011. *Time stability of catchment model parameters: Implications for climate impact analyses* (Časová stabilita parametrov modelu). Water Resour. Res., 28, s. 1015-1031.
- [8] Parajka, J. – Merz, R. – Blöschl, G. 2007. *Uncertainty and multiple calibration in regional water balance modelling case study in 320 Austrian catchments* (Neistota a viacnásobná kalibrácia v modelovaní regionálnej vodnej bilancie v 320 rakúskych povodiach. Hydrol. Process., 21, s. 423-446. Doi: 10.1002/hyp.6253.
- [9] R Development Core Team. 2011. *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing* (R: jazyk a prostredie pre štatistické výpočty). Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- [10] Storn, R. 2010. *Differential evolution homepage*. International computer science institute, University of California, Barkeley. URL: <http://www1.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>
- [11] Swagatam, D. – Ponnuthurai, N.S. 2011. *Differential evolution: A survey of the State-of-the-Art* (Diferenciálna evolúcia: Prieskum stavu). Transactions on evolutionary computation. Roč. 15, č. 1, s. 4-31.
- [12] Viglione, A. and Parajka, J. 2014. *TUWmodel: Lumped hydrological model for educational purposes* (TUWmodel: Hydrologický model pre vzdelávacie účely). Version 0.1-4.
- [13] Wagener, T. – Wheeler, H. – Gupta, H.V. 2004. *Rainfall-runoff modelling in gauged and ungauged catchments*. (Zrážkovo-odtokové modelovanie v povodiach s pozorovaniami a bez pozorovaní) Imperial College Press, s. 306.

[14] Wang, Q. 1997. *Using genetic algorithms to optimize model parameters (Použitie genetických algoritmov pre optimalizáciu parametrov modelu)*. *Envir. Modell. Softw*, 12, s. 27-34.

[15] Weise, A. 2009. *Global optimization algorithms: Theory and application*). Available at: <http://www.it-weise.de/projects/book.pdf>.

[16] Wickham, A. 2015. *GGplot2: An implementation of the grammar of graphic*. Version 1.0.1. <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>

[17] Yapo, P. – Gupta, H.V. – Sorooshian, S. 1996. *Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: Sensitivity to calibration data (Automatická kalibrácia koncepčných zrážkovo-odtokových modelov: Citlivosť na kalibračné údaje)*. *Journal of Hydrology*, s. 23-48.

## Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná projektom VEGA č. 1/0776/13.

Patrik Sleziak: ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF A CONCEPTUAL HYDROLOGIC MODEL FOR CALIBRATION FROM DIFFERENT TIME PERIODS.

This article presents the use of a conceptual rainfall-runoff model called TUV model to different periods. In the first part, a description of the TUV model is reviewed. In the practical part, this model is tested in order to comparatively assess the effectiveness of the calibrations in different periods. The effectiveness of the calibration and the verification has changed over time.

In the next part, we have observed changes of selected climatic characteristics (air temperature, precipitation) in particular calibration and verification periods. The main findings are that the mean annual precipitation over all Austrian catchments varies from 1240 to 1300 mm/year and has slightly increased over 3 decades. Air temperatures have increased by almost 0.5 °C, on average, for all the catchments.

Later in this article we analyzed the relationship between a NSE calibrated in different periods and the selected catchment characteristics (catchment area, elevation, air temperature). The results showed that the air temperature and the precipitation are negatively correlated to the NSE calibrated in all the periods (from 1980 to 2010).

The calibration procedure for the models works properly. The results showed that the TUV model is appropriate for calibration to different periods. As a result, we recommend TUV model for the similar calibration procedures and strategies.

---

**Ing. Patrik Sleziak<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Patrik Sleziak, Ing., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Radlinského 11, 813 68, Bratislava, Slovenská republika, 0908 965 784, patrik.sleziak@stuba.sk