

Analýza zmien charakteristík priemerných denných prietokov vo vybraných vodomerných staniach na Slovensku

Zuzana Sabová

Anotácia

Predložený príspevok sa zameriava na analýzu zmien priemerných mesačných prietokov, m -denných minimálnych a m -denných maximálnych prietokov vo vybraných vodomerných staniach na území Slovenska do roku 2100 na základe simulovaných priemerných denných prietokov pomocou vstupov z klimatických scenárov KNMI a MPI. Vstupné údaje tvoria pozorované priemerné denné prietoky (1.1.1981-31.10.2010), modelované priemerné denné prietoky pomocou zrážkovo-odtokového modelu HBV (1.1.1981-31.10.2010) a simulované priemerné denné prietoky podľa klimatických scenárov KNMI a MPI (1.1.1981-31.10.2100). Skúmanou časovou periódou je obdobie od roku 1981 do roku 2100. Analýzy sa vykonali pomocou program The Indicators of Hydrologic Alteration, ktorý pracuje s dennými prietokovými radmi.

Kľúčové slová: priemerné mesačné prietoky, m -denné minimálne prietoky, m -denné maximálne prietoky, metóda IHA

Annotation

The presented article focuses on analysing the changes in average monthly discharges, m -daily minimum and m -daily maximum discharges in the selected gauging stations in Slovakia based on simulated mean daily discharges using inputs from the KNMI and MPI climate scenarios until 2100. The input data consists of the observed mean daily discharges (1.1.1981-31.10.2010), modelled mean daily discharges using the HBV rainfall-runoff model (1.1.1981-31.10.2010), and simulated mean daily discharges according to the KNMI and MPI climate scenarios (1.1.1981-31.10.2100). The research time period is from 1981 to 2100. The program The Indicators of Hydrologic Alteration was used to analyses, which the program works with daily discharge series.

Keywords: average monthly discharges, m -daily minimum discharges, m -daily maximum discharges, IHA method

Abstrakt

Priemerné mesačné prietoky a m -denné prietoky patria medzi dôležité hydrologické charakteristiky povodia a sú používané na dimenzačné úlohy v inžinierskej hydrológii. Cieľom príspevku je zanalyzovať zmeny priemerných mesačných prietokov, m -denných minimálnych a m -denných maximálnych prietokov vo vybraných vodomerných staniach Slovenska do budúcnosti pomocou klimatických scenárov. Vybranými vodomernými stanicami sú Nitra – Nitrianska Streda (6730), Laborec – Humenné (9230), Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500). Skúmaná časová perióda bola rozčlenená na štyri 30-ročia: 1.1.1981-31.10.2010, 1.11.2010-31.10.2040, 1.11.2040-31.10.2070 a 1.11.2070-31.10.2100. Analýzy sa vykonali použitím pozorovaných priemerných denných prietokov, modelovaných priemerných denných prietokov pomocou HBV modelu a simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatických údajov zo scenárov KNMI a MPI. Pri výpočte sa použil softvér

The Indicators of Hydrologic Alteration. Výsledky preukázali vo všetkých vybraných vodomerných staniách nárast priemerných mesačných prietokov v období od decembra po február. Obdobie od apríla po september je charakterizované najmä poklesom priemerných mesačných prietokov. Pre m -denné minimálne prietoky v riešených vodomerných staniách sa predpokladá pokles ich hodnôt do roku 2100. Naopak, pre m -denné maximálne prietoky je vysoká pravdepodobnosť ich nárastu do budúcnosti.

Abstract

Average monthly discharges and m -daily discharges are among the important hydrological characteristics of the basin and are used for dimensioning tasks in engineering hydrology. The study aims to analyse changes in average monthly discharges, m -daily minimum and m -daily maximum discharges in the selected gauging stations in Slovakia for the future using climate scenarios. The selected gauging stations are Nitra – Nitrianska Streda (6730), Laborec – Humenné (9230), and Topľa – Hanušovce and Topľou (9500). The climate scenarios are the Dutch KNMI climate scenario and the German MPI climate scenario. The investigated time period was divided into four 30-year periods, i.e., 1.1.1981-31.10.2010, 1.11.2010-31.10.2040, 1.11.2040-31.10.2070, and 1.11.2070-31.10.2100. Analyses were performed using observed mean daily discharges, modelled mean daily discharges using the HBV model, and simulated mean daily discharges using climate data from the KNMI and MPI scenarios. The Indicators of Hydrologic Alteration software was used in the calculation. The results showed an increase in average monthly discharges in all selected gauging stations in the period from December to February. A decrease in average monthly discharges mainly characterizes the period from April to September. For the m -daily minimum discharges in the solved gauging stations, their values are expected to decrease by 2100. On the contrary, for the m -daily maximum discharges, there is a high probability of their increase in the future.

1 Úvod

Klimatická zmena pôsobí na zmenu teploty vzduchu, zrážok, hydrologickej bilancie, prietokov a zmenu výskytu extrémnych udalostí, ktorými sú najmä sucho a povodne. Na prietok má veľký vplyv už aj malá zmena teploty vzduchu a zrážok, ktorá sa mení najmä vzhľadom na topografiu územia (Thomas a kol., 2011; Ramos a kol., 2016).

Hydrologické zmeny spolu s ich vplyvom na ekosystém sú dôležitý faktor pre trvalo udržateľný rozvoj vodných zdrojov a zmeny hydrologických charakteristík vyvolávajú súbor dopadov na krajinu. Hydrologický cyklus je zložitý proces, ktorý vplyva z priestorového a časového rozloženia fyziografických faktorov prostredia, či z povrchových podmienok povodia. Hydrológiu povodia ovplyvňuje najmä zmena využívania pôdy, ktorá ovplyvňuje evapotranspiráciu, výšku odtoku, priemerný ročný odtok, topenie snehu, pôdnu eróziu a kvalitu podzemnej vody, objem povodní, kulminačný prietok a pod. Ako ďalšie faktory, ktoré majú vplyv na hydrologický režim sú: rozvoj poľnohospodárstva, odvodňovanie, urbanizácia, lesné požiare a mnoho ďalších (Yang a kol., 2017; Zhou a kol., 2019; Ge a kol., 2018).

Do skupiny hlavných charakteristík odtoku patrí: priemerný ročný prietok, priemerné mesačné prietoky, maximálny a minimálny prietok, priemerný denný prietok, m -denné prietoky, atď. (Hanušín, 1999). Už v roku 1957, akademik Dub vypracoval prvú regionálnu typizáciu režimu odtoku, v ktorej vyseparoval tri oblasti na základe percentuálneho podielu prvého polroka pre ročný odtok. Ide o nasledovné oblasti: vysokohorská, stredohorskú a vrchovinnú-nížinnú oblasť. Typizácia územia prebehla podľa nadmorskej výšky a jej vertikálnej zonality (Dub, 1957). Hanušín (1999) ďalej vo svojej práci vyčlenil päť typov odtokového režimu. Dostupné namerané údaje pre jeho prácu boli v období od roku 1976 do roku 1995 pre 166 povodí Slovenska.

Spracovaniu hydrologických charakteristík sa venuje na území Slovenska najmä Slovenský hydrometeorologický ústav. Už v roku 1970 publikoval SHMÚ prácu s názvom Hydrologické pomery

ČSSR I, II, III, v ktorej sa spracovali hydrologické charakteristiky pre obdobie 1931-1960. Do roku 1988 v skúmanej problematike prebehli dve etapy riešenia, ktoré sa zamerali na: homogenitu hydrologických radov, priemerné zrážkové úhrny, extrapoláciu priemerných mesačných a ročných prietokov, dlhodobé *m*-denné prietoky, dlhodobé ročné prietoky, priemerné mesačné prietoky, objemy povodňových vln, teploty vody, priemerné ročné a mesačné prietoky, zrážky na povodí mimo staničnej siete (Slovenský hydrometeorologický ústav, 2005a). Slovenský hydrometeorologický ústav spracoval aj *m*-denné prietoky na Slovensku v časovej perióde 1961-2000 pre vodomerné stanice, významné hydrologické a vodohospodárske profily, pričom dokopy boli spracované pre viac ako 1730 profilov na Slovensku. V práci sa obdobie 1961-2000 porovnávalo v referenčnom období 1931-1980. Výsledky poukázali na pokles 30-denných až 210-denných prietokov. 330-denné, 355-denné a 364-denné prietoky nevykazovali výraznú zmenu voči referenčnému obdobiu (2005b). Slovenský hydrometeorologický ústav spracoval v už spomínaných skúmaných obdobiach aj problematiku priemerných mesačných prietokov. Výsledky štúdie poukázali na pokles odtoku o 10 %, zníženie priemerných mesačných prietokov najmä v novembri, marci a apríli (2005c). Problematiku zmien prietokov a prietokových režimov analyzovali pre vybrané časti Slovenska Komorníková a kol. (2008), Pekárová a kol. (2016), Szökeová a Kohnová (2017), Pramuk a kol. (2016), Halmová a kol. (2022).

Hydrologické extrémny sa s veľkou pravdepodobnosťou budú vyskytovať so zvyšujúcou sa frekvenciou a intenzitou, čo zapríčiní najmä klimatická zmena. Preto je dôležité vedieť približne odhadnúť vplyv klimatickej zmeny na vodné zdroje a venovať sa otázkou jej dopadu (Yeste a kol., 2021; Rončák a kol., 2017).

Predložená štúdia sa zaoberá problematikou zmien priemerných mesačných, *m*-denných minimálnych a *m*-denných maximálnych prietokov vo vybraných povodiach Slovenska do budúcnosti pomocou simulovaných prietokov podľa klimatických scenárov KNMI MPI.

2 Vstupné dáta a metodika práce

Pomocou klimatických scenárov je možné predpovedať pravdepodobné zmeny klimatických charakteristík do budúcnosti, pričom ďalej sa tieto simulované dáta môžu používať aj pri analýzach pre hydrologické charakteristiky. V príspevku sa použili dva klimatické scenáre, ktorého autormi boli vedci na Oddelení meteorológie a klimatológie Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave v roku 2011. Vzniknuté klimatické scenáre vychádzali zo štyroch klimatických modelov: nemeckého ECHAM5 a MPI, kanadského CGCM3.1 a holandského KNMI (Lapin a kol., 2012).

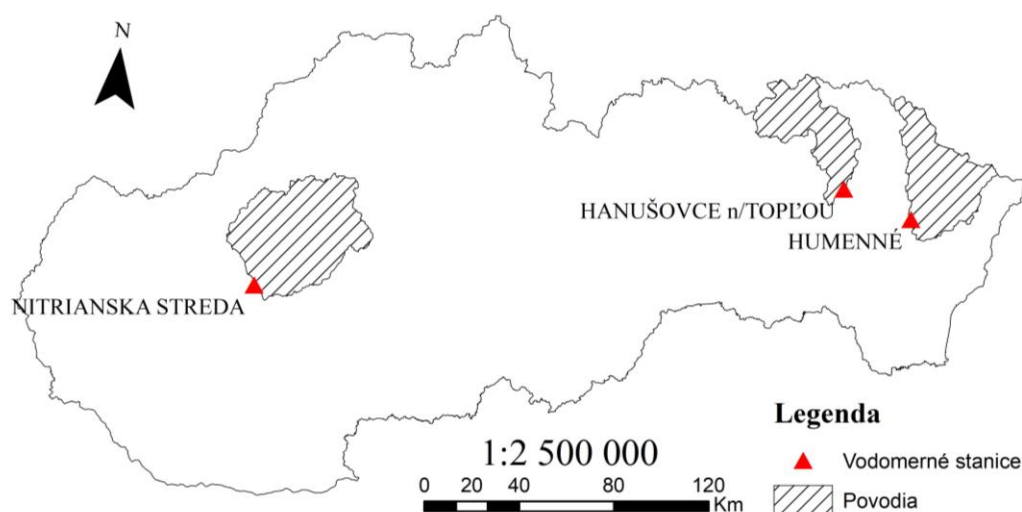
Klimatické scenáre KNMI a MPI reprezentujú integráciu oceánskych a atmosférických dynamických rovníc, ktorá má rozlíšenie siete 25x25 km. Na území Slovenska majú až 190 uzlových bodov s rozmiestnením 19x10 (Rončák a kol., 2017). Simulované dáta pre klimatický scenár KNMI sú dostupné od 1.1.1950 do 31.12.2100 a pre klimatický scenár MPI je dostupným obdobím od 1.1.1951 do 31.12.2100.

V práci sú použité štyri skupiny analyzovaných dát. Prvú skupinu tvoria pozorované priemerné denné prietoky (OBS) z vodomerných staníc, ktoré poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav. Druhú skupinu tvoria modelované priemerné denné prietoky pomocou zrážkovo-odtokovým HBV modelom verzie TUW (HBV model) (Výleta a kol., 2020). Pomocou nakalibrovaných parametrov modelu TUW s použitím klimatických údajov z klimatických scenárov vznikli ďalšie dve skupiny skúmaných priemerných denných prietokov. Tretiu skupinu tvoria simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI a do poslednej, štvrtej skupiny analyzovaných dát patria simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára MPI (Tabuľka 1).

Vybranými vodomernými stanicami boli: Nitra – Nitrianska Streda (6730), Laborec – Humenné (9230), Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500). Všetky vybrané vodomerné stanice majú podobnú priemernú nadmorskú výšku (od 419,5 m n. m. do 435,4 m n. m.), len rozdielne umiestnenie v rámci Slovenska (Obrázok 1).

Tabuľka 1: Prehľad použitých dát a rozdelenie časových období

Použité dáta	Časová perióda
Pozorované priemerné denné prietoky (OBS) Modelované priemerné denné prietoky pomocou modelu HBV, Simulované priemerné denné prietoky podľa klimatických scenárov KNMI a MPI	1.1.1981 – 31.10.2010
Simulované priemerné denné prietoky podľa klimatických scenárov KNMI a MPI	1.11.2010 – 31.10.2040
	1.11.2040 – 31.10.2070
	1.11.2070 – 31.10.2100



Obrázok 1: Lokalizácia vybraných vodomerných staníc

Na identifikáciu zmien priemerných mesačných prietokov sa použil softvér The Indicators of Hydrologic Alteration (IHA), ktorý bol vyvinutý organizáciou The Nature Conservancy (The Nature Conservancy, 2009). Softvér IHA obsahuje nástroje na analyzovanie, ktoré môže prebehnúť založené na skúmaní jednej časovej periódy alebo na porovnávaní dvoch časových období. Výstupom softvéru IHA sú grafy a tabuľky, ktoré nesú informácie o 67 hydrologických parametroch (Hersh, Maidment, 2006).

3 Výsledky práce

V rámci výsledkov práce sa zameralo na vyhodnotenie zmien priemerných mesačných, m -denných minimálnych a m -denných maximálnych prietokov vo vybraných vodomerných staniciach do budúcnosti pomocou simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatických scenárov KNMI a MPI.

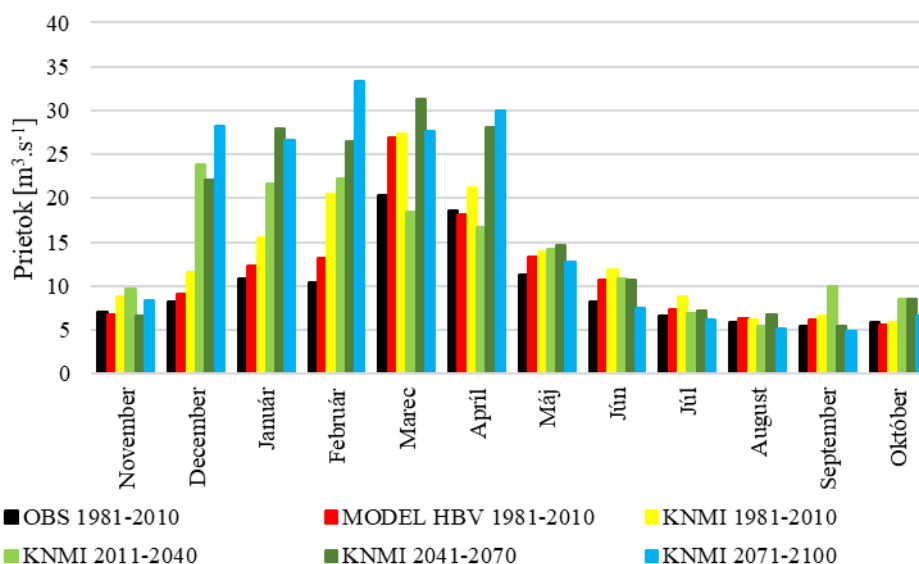
3.1 Výsledky analýz priemerných mesačných prietokov do budúcnosti

Pri vyhodnotení výsledkov priemerných mesačných prietokov sa upriamila pozornosť na ich zmeny (pokles/rast) do budúcnosti pomocou simulovaných priemerných denných prietokov podľa údajov z klimatických scenárov KNMI a MPI, ďalej na posun výskytu najvyššieho a najnižšieho priemerného mesačného prietoku.

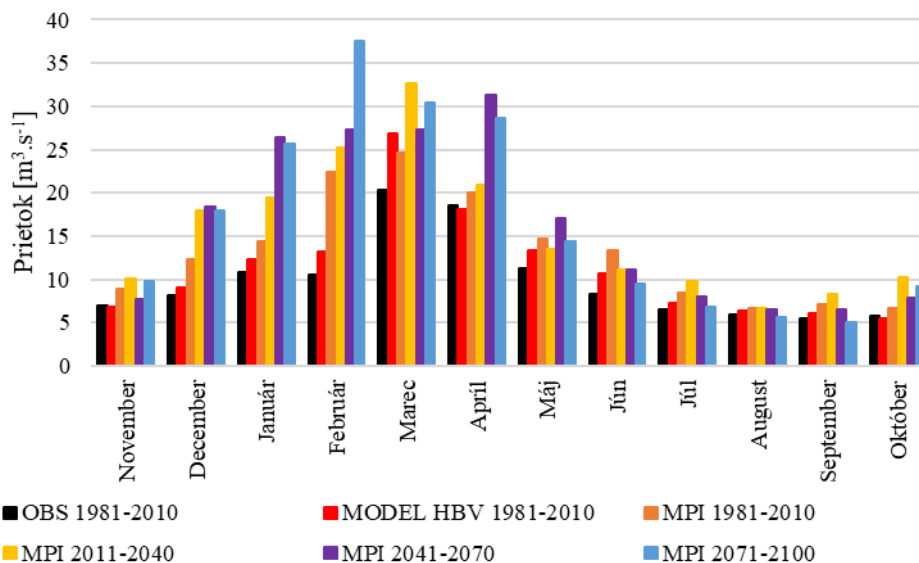
a.) Vodomerná stanica Nitra- Nitrianska Streda (6730)

Najvyššie priemerné mesačné prietoky sa pre vodomernú stanicu Nitra – Nitrianska Streda zaznamenali v marci do roku 2010, v tomto mesiaci výsledky modelovaných priemerných denných prietokov pomocou modelu HBV nadhodnocujú najvýraznejšie výsledky z pozorovaných priemerných denných prietokov. Najmenšie odchýlky sú v letných mesiacoch, kedy je zreteľný aj pokles priemerných mesačných prietokov. Pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI (Obrázok 2) sa výskyt najvyšších priemerných mesačných prietokov mení nasledovne: do roku 2010 výsledky simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára KNMI nadhodnocujú výsledky modelovaných denných priemerných prietokov pomocou modelu HBV, do roku 2040 sa priemerné mesačné prietoky v období medzi decembrom a aprílom znížia, následne sa očakáva do roku 2070 nárast priemerných mesačných prietokov najmä od januára do mája a do roku 2100 by sa mal najvyšší priemerný mesačný prietok presunúť z marca na február. Podľa výsledkov modelovania sa výskyt najnižšieho priemerného mesačného prietoku do budúcnosti nebude meniť.

Simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára MPI (Obrázok 3) prejavujú vo svojich výsledkoch postupnú zmenu priemerných mesačných prietokov. Je možné vidieť postupný nárast priemerných mesačných prietokov v období od decembra do februára až do roku 2100. Najvyšší priemerný mesačný prietok sa presunie z marca na február, kde pre výsledky simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára MPI sa predpokladá vyššia hodnota priemerného mesačného prietoku do roku 2100 ako pri výsledkoch simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára KNMI. Simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára MPI predpokladajú rovnaký výskyt najnižšieho priemerného mesačného prietoku do budúcnosti v septembri, ako simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI.



Obrázok 2: Priebiež zmien mediánov priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Nitra – Nitrianska Streda (6730) pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI do roku 2100



Obrázok 3: *Priebeh zmien mediánov priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Nitra – Nitrianska Streda (6730) pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára MPI do roku 2100*

b.) Vodomerňa stanica Laborec – Humenné (9230)

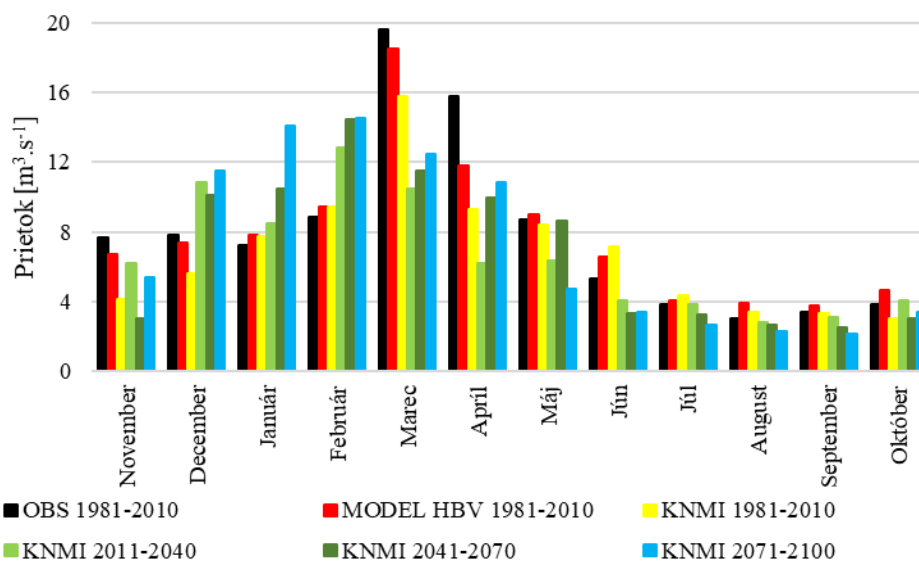
Vodomerňa stanica Laborec – Humenné je podľa výsledkov priemerných mesačných prietokov charakterizovaná najvyšším priemerným mesačným prietokom v mesiaci marec podľa výsledkov z pozorovaných priemerných denných prietokov. Vo vodomernej stanici Laborec – Humenné je viditeľný postupný nárast priemerných mesačných prietokov v období od decembra po február do roku 2100 pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI (Obrázok 4) a MPI (Obrázok 5). Do roku 2100 sa podľa výsledkov zo simulovaných priemerných denných prietokov z oboch klimatických scenárov predpokladá pokles priemerných mesačných prietokov v období od marca po november. Najvyššie hodnoty priemerného mesačného prietoku sa presunú z marca na február podľa simulovaných priemerných denných prietokov klimatického scenára KNMI do roku 2100. Výsledné hodnoty priemerných mesačných prietokov podľa výsledkov simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára MPI predpokladajú presun najvyššieho priemerného mesačného prietoku z marca na január. Pre najnižšie hodnoty priemerných mesačných prietokov platí rovnaká zmena podľa oboch klimatických scenárov, ich posun z augusta na september.

c.) Vodomerňa stanica Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500)

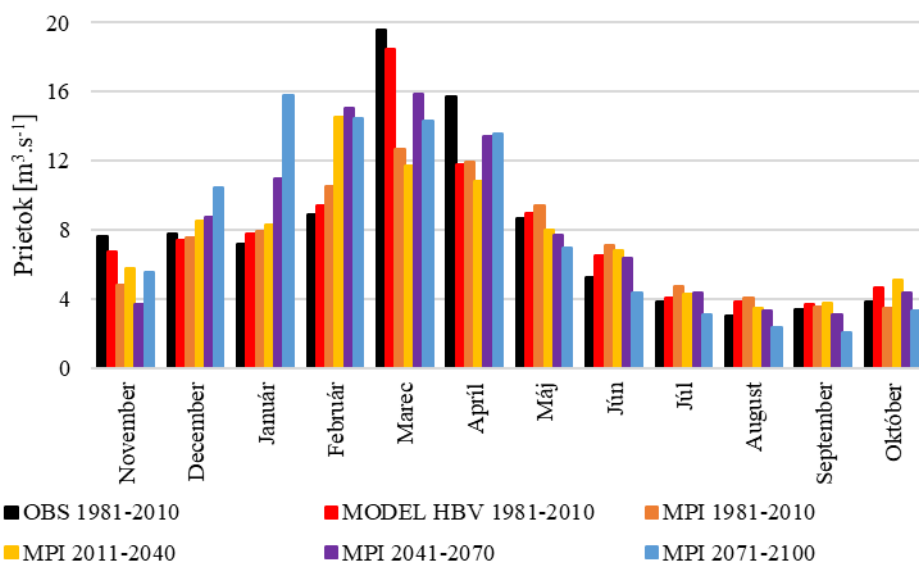
Pozorované dáta pre vodomerňu stanicu Topľa – Hanušovce nad Topľou poukazujú na najvyššie priemerné mesačné prietoky v časovej perióde 1981-2010 do mesiacov marec a apríl. Výsledky simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára KNMI (Obrázok 6) majú kolísajúci priebeh zmien priemerných mesačných prietokov do budúcnosti. Do roku 2100 sa podľa nich predpokladá rast priemerných mesačných prietokov od decembra po apríl a od mája po november ich pokles. Najvyššie hodnoty priemerného mesačného prietoku sa predpokladajú do roku 2100 pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára MPI v mesiaci apríl a najnižšie hodnoty priemerného mesačného prietoku sa posunú z októbra na september.

Výsledky simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára MPI pre vodomerňu stanicu Topľa – Hanušovce nad Topľou predpokladajú najvyšší priemerný mesačný prietok v období 2041-2070 v mesiaci apríl (Obrázok 7). Do roku 2100 sa podľa výsledkov simulovaných priemerných denných prietokov z klimatického scenára MPI zvýšia priemerné mesačné prietoky v období od januára po marec. Ich pokles je viditeľný v období od apríla po december do roku 2100. V mesiaci marec sa predpokladá najvyššia hodnota priemerného mesačného prietoku do

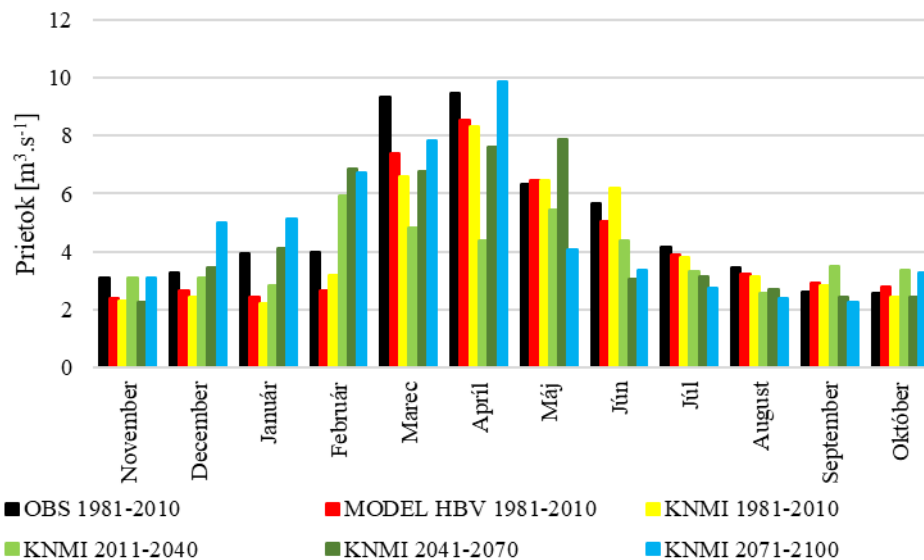
roku 2100. Posun najnižšieho priemerného mesačného prietoku sa predpokladá z októbra na september.



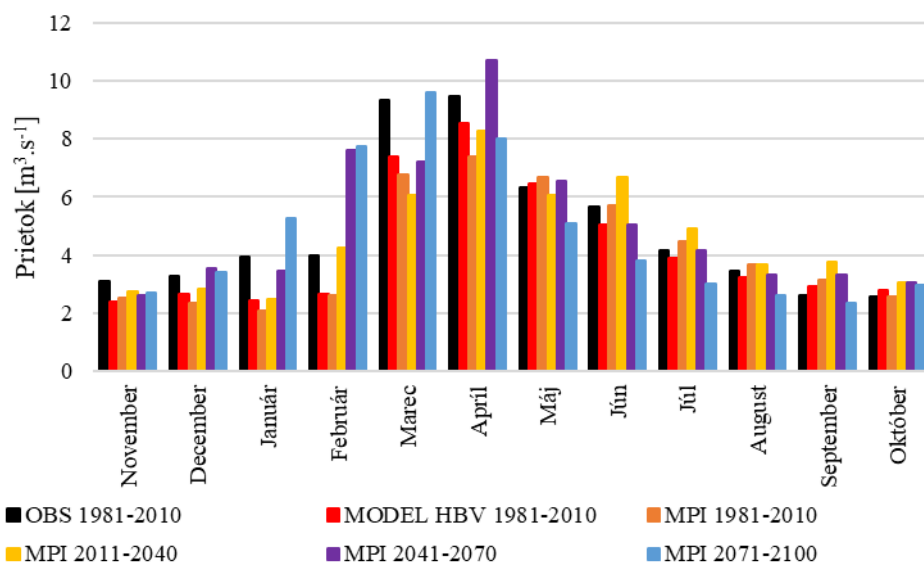
Obrázok 4: Priebeh zmien mediánov priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Laborec – Humenné (9230) pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI do roku 2100



Obrázok 5: Priebeh zmien mediánov priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Laborec – Humenné (9230) pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára MPI do roku 2100



Obrázok 6: *Priebeh zmien mediánov priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500) pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI do roku 2100*



Obrázok 7: *Priebeh zmien mediánov priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500) pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI do roku 2100*

3.2 Výsledky modelovania m -denných minimálnych a maximálnych prietokov do budúcnosti

Pri vyhodnotení výsledkov zmien m -denných minimálnych a maximálnych prietokov sa zameralo najmä na ich jednotlivé percentuálne zmeny v rámci riešených období do budúcnosti. Na lepšie znázornenie zmien vybraných charakteristík do budúcnosti sme použili relatívnu odchýlku (RO), ktorá je daná vzťahom:

$$\frac{\textit{klimatický scenár} - \textit{HBV model}}{\textit{HBV model}} * 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde,

klimatický scenár – výsledky modelovania m -denných minimálnych a maximálnych prietokov pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatických scenárov KNMI a MPI,

HBV model – výsledky modelovania m -denných minimálnych a maximálnych prietokov pre modelované priemerné denné prietoky pomocou modelu HBV.

Vo vodomernej stanici Nitra – Nitrianska Streda (Tabuľka 2) sa podľa výsledkov simulovaných priemerných denných prietokov z údajov klimatického scenára KNMI a MPI do roku 2100 predpokladá: pokles hodnôt 1-denného, 3-denného, 7-denného, 30-denného a 90-denného minimálneho prietoku; a rast hodnôt 1-denného, 3-denného, 7-denného, 30-denného a 90-denného maximálneho prietoku. Simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI predpokladajú výraznejšie zmeny v poklese a raste m -denných minimálnych a maximálnych prietokov do budúcnosti.

Pre vodomernú stanicu Laborec – Humenné (Tabuľka 3) výsledky modelovania m -denných minimálnych a maximálnych prietokov naznačujú pokles m -denných minimálnych prietokov pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI a MPI do roku 2100. Výsledky simulovaných priemerných denných prietokov podľa oboch klimatických scenárov naznačujú podobné zmeny pri porovnaní časových období 1981-2010 a 2071-2100. Pre m -denné maximálne prietoky výsledky simulovaných priemerných denných prietokov z oboch klimatických scenárov naznačujú rast ich hodnôt do budúcnosti. Extrémnejší nárast hodnôt m -denných maximálnych prietokov javia výsledky pre simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI.

Poslednou skúmanou vodomernou stanicou je vodomerná stanica Topľa – Hanušovce nad Topľou, ktorej výsledné hodnoty m -denných minimálnych a maximálnych prietokov sú zapísané v Tabuľke 4. Simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI javia nasledovný priebeh zmien: pokles do 2 % pri 1-dennom, 3-dennom, 7-dennom minimálnom prietoku do roku 2100, rast do 3 % pri 30-dennom a 90-dennom minimálnom prietoku. Výsledky simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára MPI naznačujú pokles m -denných minimálnych prietokov a majú väčšie zmeny ako simulované priemerné denné prietoky podľa klimatického scenára KNMI. Pre m -denné maximálne prietoky naznačujú výsledky simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára KNMI rast. Výsledky simulovaných priemerných denných prietokov naznačujú pokles 1-denného, 3-denného a 7-denného maximálneho prietoku a rast 30-denného a 90-denného maximálneho prietoku.

Tabuľka 2: Porovnanie prietokových zmien *m*-denných minimálnych a maximálnych prietokov vo vodomernej stanici Nitra – Nitrianska Streda (6730) do budúcnosti

Nitra - Nitrianska Streda (6730)	MODEL HBV	KNMI				MPI			
	1981-2010	1981-2010	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1981-2010	2011-2040	2041-2070	2071-2100
	[m ³ .s ⁻¹]	[%]							
1-dňové minimum	4.40	-8.59	-10.12	-14.75	-20.44	4.05	2.57	2.00	-4.96
3-dňové minimum	4.44	-9.04	-10.57	-14.56	-20.71	4.55	6.02	2.07	-4.87
7-dňové minimum	4.50	-8.53	-10.39	-14.83	-20.68	6.13	11.08	3.06	-4.22
30-dňové minimum	5.11	-10.74	-8.02	-11.62	-14.38	5.21	7.73	6.22	-6.20
90-dňové minimum	6.35	-8.76	-6.40	-8.62	-18.53	11.44	11.99	8.61	-7.79
1-dňové maximum	61.14	21.23	35.51	37.70	56.40	7.93	34.94	23.77	32.37
3-dňové maximum	59.29	16.61	32.55	36.55	54.41	6.86	35.23	22.25	30.14
7-dňové maximum	52.52	19.61	40.40	43.64	63.69	11.35	41.83	24.43	36.50
30-dňové maximum	40.11	15.88	30.67	38.72	48.94	4.01	36.60	23.93	33.61
90-dňové maximum	27.47	24.75	29.45	34.07	64.91	9.10	36.55	36.22	46.89

Tabuľka 3: Porovnanie prietokových zmien *m*-denných minimálnych a maximálnych prietokov vo vodomernej stanici Laborec – Humenné (9230) do budúcnosti

Laborec - Humenné (9230)	MODEL HBV	KNMI				MPI			
	1981-2010	1981-2010	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1981-2010	2011-2040	2041-2070	2071-2100
	[m ³ .s ⁻¹]	[%]							
1-dňové minimum	4.40	-15.83	-25.36	-34.49	-31.66	-5.57	-5.20	-19.80	-28.65
3-dňové minimum	4.44	-16.50	-25.67	-35.07	-32.33	-6.38	-5.58	-12.01	-29.14
7-dňové minimum	4.50	-16.67	-24.02	-34.90	-32.24	-5.40	-5.17	-10.04	-29.50
30-dňové minimum	5.11	-20.78	-18.25	-33.28	-30.83	-4.41	-5.21	-5.87	-30.60
90-dňové minimum	6.35	-0.60	-6.20	-31.77	-37.73	12.31	-1.44	-11.03	-37.57
1-dňové maximum	61.14	6.04	6.36	29.15	27.90	-0.23	18.35	4.12	17.10
3-dňové maximum	59.29	4.99	5.46	26.28	27.95	3.65	23.48	6.83	15.01
7-dňové maximum	52.52	10.82	1.38	10.47	21.45	2.06	30.97	-1.70	8.06
30-dňové maximum	40.11	-6.02	-15.23	-0.16	10.57	-5.91	7.01	-0.65	4.92
90-dňové maximum	27.47	0.31	4.59	4.42	16.82	7.76	10.62	20.29	17.75

Tabuľka 4: Porovnanie prietokových zmien m -denných minimálnych a maximálnych prietokov vo vodomernej stanici Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500) do budúcnosti

Topľa - Hanušovce nad Topľou (9500)	MODEL HBV	KNMI				MPI			
	1981-2010	1981-2010	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1981-2010	2011-2040	2041-2070	2071-2100
	[m ³ .s ⁻¹]	[%]							
1-dňové minimum	4.40	-12.08	3.19	-11.20	-0.69	-4.13	6.51	16.27	-16.52
3-dňové minimum	4.44	-12.03	2.98	-11.22	-0.99	-4.34	6.70	17.30	-16.31
7-dňové minimum	4.50	-12.22	2.25	-11.79	-1.52	-4.74	6.81	17.26	-13.50
30-dňové minimum	5.11	-16.26	0.43	-17.43	2.13	-6.48	5.47	11.05	-12.43
90-dňové minimum	6.35	-10.73	-5.96	-2.13	2.76	-5.52	6.27	13.81	-2.68
1-dňové maximum	61.14	11.65	13.50	-5.05	24.53	14.01	2.49	12.78	-7.05
3-dňové maximum	59.29	8.53	11.39	-10.91	24.70	10.78	-0.86	11.23	-18.35
7-dňové maximum	52.52	11.69	7.20	-4.90	37.87	14.40	10.63	16.39	-9.59
30-dňové maximum	40.11	11.41	4.30	1.33	25.62	13.95	12.84	5.89	8.70
90-dňové maximum	27.47	18.38	9.55	3.21	33.99	9.99	12.67	22.12	18.55

4 Diskusia a záver

Príspevok sa zameriaval na analýzu budúcich zmien priemerných mesačných prietokov, m -denných minimálnych a m -denných maximálnych prietokov vo vybraných vodomernej staniciach na území Slovenska až do roku 2100 pomocou simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatických scenárov KNMI a MPI. Vybranými vodomernejmi stanicami boli Nitra – Nitrianska Streda (6730), Laborec – Humenné (9230), Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500).

Zo zmien priebehov priemerných mesačných prietokov je vo všetkých analyzovaných vodomernejmi stanicami približne rovnaký priebeh rastov a poklesov ich hodnôt. Najlepšie je viditeľný rast priemerných mesačných prietokov v období od decembra po február vo všetkých skúmaných vodomernejmi stanicami. Nárast priemerných mesačných prietokov môže naznačovať zvyšujúce sa zrážky v daných povodiach, ktoré budú prevažne v kvapalnej forme alebo na druhej strane zvyšujúce sa teploty, ktoré môžu eliminovať snehovú pokrývku. Vzhľadom na to, že vodomernejmi stanice sa nenachádzajú vo vysokohorskom prostredí, je možnejšia teória ohľadom zvyšujúcich sa zrážok.

Pre pokles priemerných mesačných prietokov nie je priebeh vo všetkých troch vodomernejmi stanicami rovnaký. Pre vodomernejmi stanicu Nitra – Nitrianska Streda platí pokles priemerných mesačných prietokov v období od mája do november. Vo vodomernejmi stanici Laborec – Humenné ide o pokles priemerných mesačných prietokov v období od marca po november. Pre vodomernejmi stanicu Topľa – Hanušovce nad Topľou sa predpokladá pokles priemerných mesačných prietokov od mája/apríla po november/december. Poklesy priemerných mesačných prietokov môžu byť spôsobené zvyšujúcim sa výskytom období sucha s dlhším trvaním, ktoré je charakteristické nedostatkom zrážok. Najlepšie kalibrované modelované dáta HBV modelom sú vytvorené pre vodomernejmi stanicu Laborec – Humenné. Pre ďalšie analýzy do budúcnosti je pre vodomernejmi stanice Topľa – Hanušovce nad Topľou a Laborec – Humenné vhodnejšie použiť klimatický scenár MPI, ktorý lepšie popisuje časové

obdobie v minulosti od roku 1981 do roku 2010. Pre vodomerné stanice Nitra- Nitrianska Streda je vhodnejší na ďalšie analýzy klimatický scenár KNMI.

Sabová a Skoncová (2021) sa zamerali v práci na analýzy zmien priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Hron – Banská Bystrica (7160). Podľa tejto štúdie je možné porovnanie troch častí Slovenska vzhľadom na danú problematiku (východ, stred, západ). V západnej časti Slovenska sa predpokladá, že najvyšší priemerný mesačný prietok bude do roku 2100 vo februári. Pre stredné Slovensko výsledky naznačujú, že najvyšší priemerný mesačný prietok bude v apríli do konca sledovaného obdobia. Pre východné Slovensko budú najvyššie hodnoty priemerného mesačného prietoku v januári/februári. Výnimku tvorí vodomerná stanica Topľa – Hanušovce nad Topľou, ktorá s výslednými hodnotami zmien pripomína skôr oblasť stredného Slovenska ako východného.

Z hľadiska hydrologickej charakteristiky m -denných minimálnych prietokov sa predpokladá pokles hodnôt m -denných prietokov do budúcnosti, pričom najvýraznejšie zmeny sa týkajú 90-denného minimálneho prietoku. Vo vodomernej stanici Nitra – Nitrianska streda sa výsledkami simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára KNMI zaevidoval výraznejší pokles m -denných minimálnych prietokov a nárast m -denných maximálnych prietokov oproti výsledkom simulovaných priemerných denných prietokov podľa klimatického scenára MPI. Simulované priemerné denné prietoky podľa oboch klimatických prietokov predpokladajú pokles hodnôt m -denných minimálnych prietokov približne o 30 – 40 % vo vodomernej stanici Laborec – Humenné. Vo vodomernej stanici Topľa – Hanušovce nad Topľou je vidieť rast hodnôt m -denných minimálnych prietokov podľa simulovaných priemerných denných prietokov z klimatického scenára KNMI do roku 2100.

Na to, aby sa dokázalo lepšie pochopenie zmien priemerných mesačných prietokov a iných hydrologických charakteristík je potrebný väčší počet vykonaných analýz. Je potrebné sa do budúcnosti zamerať na vyšší počet vodomerných staníc, použitie iných klimatických scenárov a zlepšiť kalibráciu HBV modelu. Aj napriek tomu nám výsledky z analyzovaných vodomerných staníc naznačujú trend zvyšovania prietokov v zimnom období a v letnom období ich pokles do budúcnosti.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu a výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0374, a projektom VEGA 1/0632/19. Autori týmto ďakujú za podporu projektom.

Referencie

Dub, O., 1957: *Hydrologia, hydrografia, hydrometria*. SNTL, Bratislava.

Ge, J., Peng, W., Huang, W., Qu, X., Singh, S. K., 2018: *Quantitative Assessment of Flow Regime Alteration Using a Revised Range of Variability Methods*. In: *Water*, roč. 10, č. 597, doi:10.3390/w10050597.

Halmová, D., Pekárová, P., Podolinská, J., Jeneiová, K., 2022: *The assessment of changes in the long-term water balance in the Krupinica River basin for the period 1931–2020*. In: *Acta Hydrologica Slovaca*, roč. 23, č. 1, s. 21–31.

Hanušín, J., 2000: *Regionálna typizácia odtokového režimu na príklade súboru povodí s autochtónnymi tokmi na Slovensku*. In: *Geografický časopis*, roč. 52, č. 1, s. 337–351.

Hersh, E., Maidment, D., 2006: *Assessment of Hydrologic Alteration Software*. CRWR Online Report 06-11, TX 78712-4497.

Komorníková, M., Szolgay, J., Svetlíková, D., Szökeová, D., Jurčák, S., 2008: *A hybrid modelling framework for forecasting monthly reservoir inflows*. In: Journal of Hydrology and Hydromechanics, roč. 56, č. 3, s. 145-162.

Lapin, M., Bašták, I., Gera, M., Hrvol, J., Kremlet, M., Melo, M., 2012: *New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models*. In: Acta Meteorologica Universitatis Comeniana. vol. 37, s. 25-73.

Pekárová, P., Halmová, D., Bačová Mitková, V., 2016: *Analýza zmien charakteristík maximálnych povodní Dunaja v stanici Bratislava*. In: Acta Hydrologica Slovaca, roč. 17, č. 2, s. 215 – 223.

Pramuk, B., Pekárová, P., Škoda, P., Halmová, D., Bačová Mitková, V., 2016: *Identifikácia zmien režimu denných prietokov slovenských riek*. In: Acta Hydrologica Slovaca, roč. 17, č. 1, s. 65-77.

Ramos, V., Maia, R., Formigo, N., Oliveira, B., 2016: *Assessment of Ecological Risk Based on Projected Hydrological Alteration*. In: Environmental Processes, roč. 3, s. 569- 587, doi:10.1007/s40710-016-0164-0.

Rončák, P., Hlavčová, K., Kohnová, S., Szolgay, J., 2012: *Zmena návrhových prietokov vo vybraných povodiach na Slovensku v budúcich desaťročiach*. In: Acta Hydrologica Slovaca, roč. 18, č. 2, s. 174-182.

Sabová, Z., Skonvová, D., 2021: *Analýza scenárových zmien charakteristík priemerných mesačných a minimálnych prietokov do roku 2100 na povodí horného Hrona*. In: BLAHOVÁ, A. -- LEŠKOVÁ, D. Zborník príspevkov z 33. konferencie mladých hydroológov, 20. konferencie mladých vodohospodárov, 22. konferencie mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov na kvalitu ovzdušia. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, ISBN 978-80-99929-30-3.

Slovenský hydrometeorologický ústav, 2005a: *Spracovanie hydrologických charakteristík – Koordinácia. Záverečná správa čiastkovej výskumno-vývojovej úlohy 3030-05*. Bratislava, s. 24.

Slovenský hydrometeorologický ústav, 2005b: *Spracovanie hydrologických charakteristík. M-denné prietoky na Slovenských tokoch*. Bratislava, s.105.

Slovenský hydrometeorologický ústav, 2005c: *Spracovanie hydrologických charakteristík. Priemerné mesačné prietoky*. Bratislava, s.35.

Szökeová, D., Kohnová, S., 2017: *Modelovanie mesačných prietokových radov s aplikáciou SETAR a LSTAR modelov*. In: Acta Hydrologica Slovaca, roč. 18, č. 1, s. 3- 14.

The Nature Conservancy, 2009: *Indicators of Hydrologic Alteration Version 7 User's Manual*. s 81.

Thomas, B., Steidl, J., Dietrich, O., Lischeid, G., 2011: *Measures to sustain seasonal minimum runoff in small catchments in the mid-latitudes: A review*. In: Journal of Hydrology, roč. 408, s. 296-307, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.07.045.

Výleta, R., Hlavčová, K., Szolgay, J., Kohnová, S., Valent, P., Danáčová, M., Kandra, M., Aleksič, M.: *Prehodnotenie štruktúry a metodiky kvantitatívna vodohospodárska bilancia povrchových vôd, 1. časť. Vedecko-výskumná rozborová štúdia*. Bratislava, s. 282.

Yang, T., Cui, T., Xu, CH.-Y., Ciais, P., Shi, P., 2017: *Development of a new IHA method for impact assessment of climate change on flow regime*. In: Global and Planetary Change, roč. 156, s. 68-79.

Yeste, P., Rosa-Cánovas, J. J., Romero-Jiménez, E., Ojeda, M. G.-V., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., Esteban-Parra, M. J., 2021: *Projected hydrologic changes over the north of the Iberian Peninsula using a Euro-CORDEX multimodel ensemble*. In: Science of the Total Environment, roč. 777, č. 146126, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146126>.

Zhou, M., Qu, S., CHen, X., Shi, P., Xu, S., CHen, H., Zhou, H., Gou, J., 2019: *Impact Assessment of Rainfall-Runoff Characteristics Response Based on Land Use Change via Hydrological Simulation*. In: Water, roč. 11, č. 866, doi:10.3390/w11040866.