

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA
V BRATISLAVE**

Stavebná fakulta

Meno a priezvisko:

Ing. Zuzana Sabová

Autoreferát dizertačnej práce:

Detekcia Zmien charakteristík režimu odtoku

na získanie akademického titulu
philosophiae doctor - PhD.

v doktorandskom študijnom programe:
3629 vodohospodárske inžinierstvo

v študijnom odbore:
stavebníctvo

Forma štúdia:
Denná forma

Miesto a dátum:
Bratislava, 30.5.2024



Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta STU v Bratislave

Predkladateľ: Ing. Zuzana Sabová

Katedra vodného hospodárstva krajiny

Stavebná fakulta, STU v Bratislave

Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.

Katedra vodného hospodárstva krajiny

Stavebná fakulta, STU v Bratislave

Radlinského 11, 810 05

Autoreferát bol rozoslaný:

.....

(dátum rozoslania)

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa o h na Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava.

.....

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
dekan Stavebnej fakulty STU v Bratislave

Obsah

1	Úvod	2
2	Ciele a tézy dizertačnej práce	3
3	Metodické postupy dizertačnej práce (vstupné dáta, modely, regionalizácia)	3
3.1	Modelovanie časových radov pomocou zrážkovo-odtokového modelu TUW	3
3.2	Modelovanie prietokov pomocou softvéru IHA	4
3.3	Metodika regionalizácie režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov	5
3.4	Vstupné dáta	7
4	Výsledky dizertačnej práce	9
4.1	Analýza zmien hydrologických charakteristík pomocou klimatických scenárov 9	
4.2	Regionalizácia režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov	14
5	Záver	19
6	Vedecký a praktický prínos dizertačnej práce	21
	Zoznam použitých zdrojov	22
	Zoznam publikačnej činnosti a ohlasov autora	24

1 Úvod

Témou zmien hydrologického režimu sa v minulosti zaoberalo mnoho odborníkov, či už na medzinárodnej úrovni alebo na Slovensku. V súčasnej dobe existuje množstvo štatistických metód a softvérových nástrojov, ktoré napomáhajú pochopeniu týchto zmien. Predpovedanie extrémnych javov počasia, ako sú závažné povodne alebo obdobia sucha, však zostáva náročnou úlohou. Preto je nesmierne dôležité, aby sa tejto oblasti venovalo čo najviac špecialistov, čo umožní vytvoriť čo najpresnejšie scenáre budúceho vývoja hydrologických extrémov.

V posledných desaťročiach boli pozorované zmeny v hydrologickom cykle. Klimatické zmeny v Európe sú často spojené so zvyšovaním teplôt vzduchu, čo vedie k skracovaniu obdobia snehovej pokrývky v horských oblastiach. V budúcnosti by nárast teplôt mohol spôsobiť väčšie množstvo zrážok a menej snehu vo vysokohorských oblastiach, čo by výrazne ovplyvnilo sezónnu dostupnosť vody pre používateľov a životné prostredie. Globálne otepľovanie, spolu so zvýšeným obsahom vodnej pary a evapotranspirácie nad oceánmi a pevninami, môže viesť k intenzívnejším zrážkam (Berghuijs a kol., 2014; Duethmann and Blöschl, 2018; Pulliainen a kol., 2020; Thomas a kol., 2016).

Od roku 1981 došlo na Slovensku k zvýšeniu priemernej teploty vzduchu o približne 2 °C, pričom sa očakáva, že tento nárast bude pokračovať lineárnym trendom aj v budúcnosti. Na presnejšie predpovedanie zmien prietokov a ďalších hydrologických charakteristík, ako aj na skúmanie vplyvu klimatickej zmeny, je nevyhnutné používať klimatické scenáre. Scenáre klimatickej zmeny KNMI a MPI obsahujú denné údaje o viacerých premenných od roku 1951 do roku 2100. Na základe týchto dát a nameraných meteorologických údajov boli pomocou štatistického downscalingu vytvorené denné scenáre pre klimatické a zrážkomerné stanice na Slovensku. Tieto scenáre zahŕňajú maximálne a minimálne teploty vzduchu, zrážkové úhrny, denné priemerné relatívnu vlhkosť vzduchu, rýchlosť vetra a denné hodnoty globálneho žiarenia (Štefunková a kol., 2013).

V dizertačnej práci sa potvrdila detekcia zmien režimu odtoku. Pomocou klimatických scenárov sa zistili zmeny v režime dlhodobých priemerných mesačných prietokov do roku 2100. Všeobecne sa jedná o nárast dlhodobých priemerných mesačných prietokov v zimnom období a naopak, ich pokles v letnom období. Regionalizáciou režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2000 a 1991 – 2020 sa taktiež potvrdila zmena režimu odtoku na území Slovenska a Rakúska, pričom územie bolo rozdelené pri zhlukových analýzach do 5 regionálnych typov.

2 Ciele a tézy dizertačnej práce

Ciele dizertačnej práce sa zameriavajú na detekciu a identifikáciu zmien v odtokovom režime. Zmeny odtokového režimu sa budú sledovať v rôznom časovom kroku, či už v minulom, tak aj v budúcom období s využitím dostupných údajov z nových scenárov zmeny klímy. Ďalším cieľom dizertačnej práce je regionalizácia územia Slovenska pomocou priemerných mesačných prietokov, ktorá bude vytvorená na nové referenčné územie v období 1991 – 2020.

Jednotlivé čiastkové kroky napĺňania dizertačnej práce možno zhrnúť do týchto bodov:

- Výber povodí z územia Slovenska s dostupnými údajmi o prietokoch ako aj s dostupnými klimatickými údajmi pre zrážkovo-odtokové modelovanie.
- Spracovanie vstupných hydrologických a klimatických údajov a využitie RCM scenárov zmeny klímy.
- Vývoj súboru nových postupov k detekcii a identifikácii zmien hydrologického režimu tokov.
- Analýzy dlhodobej zmeny v režime odtoku za obdobie niekoľkých dekád v minulosti a budúcnosti na vybraných povodiach Slovenska.
- Na základe výsledkov analýz a scenárov navrhnúť nové typizovanie režimu odtoku na území Slovenska, prípadne Rakúska. Porovnať jeho zmeny počas posledných dekád s prognózami do budúcnosti. Analýzy by v závere mohli prispieť k hodnoteniu dopadov klimatickej zmeny a k lepšiemu manažmentu vodných zdrojov Slovenska do budúcnosti.

3 Metodické postupy dizertačnej práce

3.1 Modelovanie časových radov pomocou zrážkovo-odtokového modelu TUW

Na predikciu denných prietokov do roku 2100 sa používal zrážkovo-odtokový model HBV s implementáciou TUW („Technische Universität Wien“). Tento koncepčný model s priestorovo sústredenou parametrizáciou simuluje odtokové procesy. Model vyžaduje vstupné dáta o zrážkach, teplote vzduchu a potenciálnej evapotranspirácii (Výleta a kol., 2020; Sleziač a kol., 2018).

Existujú rôzne variácie modelu HBV, ktoré sa používajú v rôznych klimatických podmienkach po celom svete. Model je rozdelený do troch vzájomne prepojených modulov: snehový, pôdny a odtokový. Snehový modul simuluje akumuláciu a topenie snehu v povodí. Pôdny modul reguluje mieru výparu a

vodnú bilanciu koreňovej zóny, zatiaľ čo odtokový modul riadi tvorbu a prúdenie povrchového a podpovrchového odtoku. TUW verzia modelu obsahuje 15 parametrov, ktoré umožňujú kontrolu a úpravu charakteristík simulovaných procesov a vodných stavov v povodí. Tieto parametre sa stanovujú počas procesu kalibrácie. Pre správne fungovanie modelu sú potrebné denné úhrny zrážok, priemerné denné teploty vzduchu a priemerná denná potenciálna evapotranspirácia v povodí. Priemerné denné hodnoty prietokov na koncovom profile povodia sa používajú na porovnanie s hodnotami simulovanými modelom (Výleta a kol., 2020; Sleziač, 2017).

Model TUW bol kalibrován na údajoch z obdobia 1981 až 2019, ktoré bolo rozdelené do štyroch desaťročných skupín (posledná skupina má deväť rokov): 1.1.1981 – 31.12.1990, 1.1.1991 – 31.12.2000, 1.1.2001 – 31.12.2010 a 1.1.2011 – 31.12.2019. Vždy sa jedno obdobie použilo na kalibráciu a ostatné obdobia na validáciu. Modelovanie prietokov pomocou modelu HBV sa realizovalo pre povodia Hron - Banská Bystrica (7160), Laborec – Humenné (9230), Myjava – Jablonica (5022), Nitra – Nitrianska Streda (6730), Poprad – Chmeľnica (8320), Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500), Turiec – Martin (6130) a Váh – Liptovský Mikuláš (5550). Kalibrácia parametrov modelu HBV bola vykonaná v spolupráci s Ing. Patrikom Sleziačom, PhD. (Ústav hydrologie SAV).

3.2 Modelovanie prietokov pomocou softvéru IHA

Program Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) bol vyvinutý v USA v období od 1996 do 1998, na základe práce Richtera a jeho kolegov z roku 1997. Tento program poskytuje užívateľom užitočné informácie o hydrologických dôsledkoch ľudskej činnosti a jeho výstupy môžu byť použité na formulovanie odporúčaní pre environmentálne riadenie vodných tokov. Program IHA sa najčastejšie využíva na hodnotenie, ako boli rieky, jazerá a povodia ovplyvnené ľudskou činnosťou v priebehu času, a na posúdenie budúcich klimatických scenárov v oblasti vodného hospodárstva (Hersh a Maidment, 2006).

IHA program generuje 67 štatistických parametrov, rozdelených do dvoch kategórií: IHA parametre a parametre Environmental Flow Component (EFC). Výhodou tohto programu je schopnosť analyzovať dve odlišné obdobia v rámci jedného časového úseku, čo sa často využíva v prípadoch, keď analyzované obdobie prešlo významnou zmenou, napríklad v dôsledku výstavby priehrady (The Nature Conservancy, 2009).

Program IHA zahrňuje indexy vypočítané na rôznych časových obdobiach, od denných po ročné a vnútro-ročné štatistiky. Tento rozsah časových období je dôležitý pre správne zachytenie časovania, trvania, frekvencie a rýchlosti zmien

aspektov prúdenia vody. V prípade chýbajúcich vstupných dát program IHA vykoná lineárnu interpoláciu na vyplnenie chýbajúcich údajov (Hersh a Maidment, 2006). IHA parametre môžu byť vypočítané buď pomocou parametrickej štatistiky (priemer/štandardná odchýlka) alebo neparametrickej štatistiky. Vo väčšine prípadov sa odporúča použiť neparametrickú štatistiku, ktorá je vhodnejšia pre skreslenú povahu mnohých hydrologických údajov, zatiaľ čo parametrická štatistika predpokladá normálne rozdelenie údajov. Celkovo existuje 33 štatistických parametrov IHA. Voľba medzi priemernými a mediánovými hodnotami závisí od použitej štatistickej metódy. Kľzavé priemery (1- až 30-dňové minimá a maximá) sa vždy vypočítavajú ako priemery. Program IHA generuje parametre pre päť rôznych typov Environment Flow Components (EFC): nízke prietoky, extrémne nízke prietoky, impulzy vysokého prietoku, malé a veľké povodne. Toto rozčlenenie EFC je založené na ekologických pozorovaniach, ktoré naznačujú, že riečne hydrografy môžu byť kategorizované do opakujúcich sa vzorov, ktoré majú ekologický význam. Týchto päť typov prietokových udalostí pokrýva celé spektrum prietokových podmienok potrebných na zachovanie ekologickej integrity rieky. Udržiavanie ekologických funkcií je dôležité nielen počas nízkych prietokov, ale aj počas vyšších prietokov, povodní a extrémne nízkych prietokov. EFC parametre zahŕňajú 34 štatistických parametrov (The Nature Conservancy, 2009).

V rámci dizertačnej práce sme vypočítali a analyzovali zmeny hydrologických charakteristík: priemerných mesačných prietokov, výskytu ročných minimálnych a maximálnych prietokov, M -denných minimálnych a maximálnych prietokov a indexu základného odtoku.

3.3 Metodika regionalizácie režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov

Pri regionalizácii režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov sme použili PCA analýzu a zhlukovú analýzu K -Means. Analýza hlavných komponentov (PCA) slúži na zjednodušenie opisu skupiny vzájomne lineárne závislých (korelovaných) premenných. Táto metóda transformuje pôvodné premenné na nové, nekorelované hlavné komponenty. Hlavné komponenty sú lineárne kombinácie pôvodných premenných a ich význam spočíva v miere variability (rozptyle). Cieľom PCA je redukcia počtu premenných bez straty informácií (Pearson 1901; Meloun a kol., 2005). PCA metóda transformuje viacrozmerné vstupné dáta tak, aby výstup odrážal najdôležitejšie lineárne smery (premenné), pričom minimalizuje vplyv menej významných premenných. Tým sa

získavajú charakteristické znaky z pôvodných dát a zároveň sa redukuje dimenzia dát (Jackson, 1991; Jolliffe, 2002).

Zhluková analýza je významná metóda na identifikáciu regionálnych typov, ktorá rozdeľuje objekty charakterizované skupinou premenných do podmnožín nazývaných zhluky. Cieľom je maximalizovať odlišnosti medzi zhlukmi a minimalizovať podobnosti v rámci jedného zhluku. Kľúčová je definícia metriky vzdialenosti, ktorá určuje odchýlku medzi objektami v K-rozmernom priestore. Zhluková analýza sa používa v rôznych odvetviach, ako sú biológia, geológia, ekonómia a hydrológia. Dôležité je, aby počet zhlukov bol menší než počet objektov a aby vstupné dáta neobsahovali odľahlé hodnoty. Neštandardizované dáta môžu skresliť výsledky, pretože ich dôležitosť by závisela od jednotiek merania. Závislosť premenných môže byť eliminovaná pomocou PCA, ktorá transformuje vstupné premenné na nezávislé hlavné komponenty (Král a kol., 2009; Kohnová a kol., 2006).

Pri určovaní počtu zhlukov v zhlukových analýzach sa použili dve štatistické metódy, ako priemerná šírka siluety (Average Silhouette Width) a celkový vnútorný súčet štvorcov (Total within the Sum of Squares) (Rousseeuw, 1987). Na vyhodnotenie týchto výsledkov sa použila tzv. „laktóvá“ metóda, ktorá hľadá najvýraznejší bod narušenia v metrike údajov. Na základe metódy PCA sa vybrali hlavné komponenty ako vstup pre zhlukovaciu analýzu K-means (Král a kol., 2009).

Pre každú vodomernú stanicu sa vypočítala vzdialenosť od centra regionálneho typu, pričom centrum je priemer črt staníc v danom type. Vzdialenosť od centier je dôležitá pre identifikáciu odľahlých hodnôt. Stanice, ktoré mali vyššiu vzdialenosť ako vypočítaná hranica, boli vyradené z typizácie. Tento postup sa opakoval, kým boli všetky vzdialenosti pod hranicou v oboch obdobiach 1961 – 2000 a 1991 – 2020.

Na identifikáciu hraníc zhlukov sa použil model podporných vektorov (SVM) s funkciou radiálnej bázy (RBF) (Pisner a kol., 2020). Pre každý regionálny typ bol natrénovaný jeden model SVM, ktorý oddeľoval pozorovania v tomto type od ostatných. Tréning modelu prebiehal na náhodne vybraných 80 % pozorovaní, zvyšných 20 % slúžilo na overenie modelu. Tréning využil údaje dlhodobých priemerných mesačných prietokov.

Na výpočet reprezentatívnych mesiacov pre zaradenie staníc do typov sa použila štatistická metóda permutačnej dôležitosti zhlukov (permutation feature importance) z balíčka DALEX, vybrali sa dva najdôležitejšie mesiace na opísanie typov. Metodika bola implementovaná v jazyku R v programe R Studio (verzia 2022.12.0).

3.4 Vstupné data

Pre účely dizertačnej práce, ktorá sa zameriava na analýzu zmien vybraných hydrologických charakteristík a regionalizáciu dlhodobých priemerných mesačných prietokov, boli použité rôzne skupiny vstupných údajov od Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) a Technickej univerzity vo Viedni. Na vytvorenie radov simulovaných denných prietokov do roku 2100 bol použitý zrážkovo-odtokový model HBV s implementáciou TUV (Výleta a kol., 2020). Ako vstupy do modelu poslúžili klimatologické údaje zo scenárov KNMI a MPI. Vstupné dáta boli rozdelené do skupín podľa vykonaných analýz:

- Na analýzu zmien hydrologických charakteristík boli použité dostupné dáta pre osem vodomerných staníc. Vybrané stanice majú plochu od 238,5 km² (Myjava – Jablonica (5022)) po 2093,7 km² (Nitra – Nitrianska Streda (6730)), s nadmorskou výškou od 361,7 m n. m. do 1090,1 m n. m. (Obr. 3.1). Údaje pokrývajú obdobie od roku 1981 do roku 2100, rozdelené do štyroch 30-ročných intervalov: 1981 – 2010, 2011 – 2040, 2041 – 2070 a 2071 – 2100. Na analýzu budúcich zmien hydrologických charakteristík boli použité štyri skupiny dát (Tab. 3.1): priemerné denné prietoky z pozorovaných dát (OBS) priamo z vodomerných staníc; denné priemerné modelované prietoky (MODEL HBV) pomocou zrážkovo-odtokového HBV modelu verzie TUV (s reálnymi zrážkami a teplotou vzduchu ako vstupmi); a denné priemerné prietoky zo simulovaných dát klimatických scenárov KNMI a MPI pomocou tej istej verzie HBV modelu (s použitím simulovaných zrážok a teplôt vzduchu ako vstupov).
- Pre regionálnu typizáciu režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov na Slovensku poskytol SHMÚ Bratislava vstupné dáta vo forme priemerných mesačných prietokov pre 85 vodomerných staníc. V spolupráci s SHMÚ bolo z pôvodných staníc vybraných 57 na základe dostupných pozorovaní od roku 1961 do roku 2020. Po úpravách vstupných dát na zhlukovú analýzu sa konečný počet analyzovaných staníc zmenil na 56. Zhlukovou analýzou sa porovnávali dve obdobia: staré referenčné obdobie 1961 – 2000 a nové referenčné obdobie podľa WMO 1991 – 2020. Vybrané stanice majú povodia s rozlohou od 7,25 km² (Vydrlica – Spariská (5130)) do 11474,30 km² (Bodrog – Streda nad Bodrogom (9670)). Dáta sa štandardizovali podľa plochy povodia na jednotku dlhodobého priemerného mesačného prietoku v mm/mesiac a následne sa analyzovali pomocou PCA a K-means analýzy.



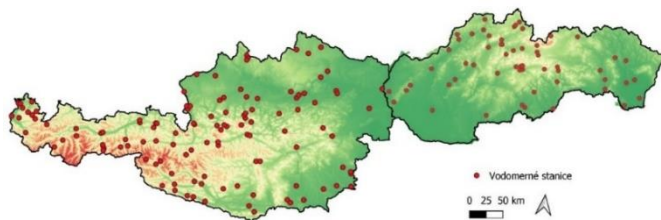
Obr. 3.1: Lokalizácia vybraných vodomerných staníc a povodí na území Slovenska pre analýzu zmien

Tab. 3.1: Základné informácie vybraných vodomerných staníc a obdobia pozorovaných a simulovaných údajov

Tok	Vodomerňá stanica	ID	Nadm. výška povodia	Plocha	OBS	Model HBV	KNMI	MPI
			[m. n. m]	[km ²]				
Myjava	Jablonica	5022	361,7	238,5	1981-2010	1981-2019	1981-2100	1981-2100
Váh	Liptovský Mikuláš	5550	1090,1	1107,2				
Turiec	Martin	6130	716,0	827,0				
Nitra	Nitrianska Streda	6730	419,5	2093,7				
Hron	Banská Bystrica	7160	844,4	1766,5				
Poprad	Chmeľnica	8320	878,1	1262,4				
Laborec	Humenné	9230	421,7	1272,4				
Topľa	Hanušovec nad Topľou	9500	435,4	1050,1				

- Pre regionálnu typizáciu režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov na území Rakúska boli poskytnuté dáta v podobe denných prietokov od Technickej univerzity vo Viedni pre 919 vodomerných staníc na území Rakúska, z ktorých bolo napokon pre časové obdobia 1961 – 2000 a 1991 – 2020 vybraných 126 vodomerných staníc s plochou povodia od 13,9 km² (vodomerňá stanica Taurer – Spöttling (212126)) do 25623,8 km² (vodomerňá stanica March – Angern an der March (207324)). Z vybraných vodomerných staníc sa pri použitej metodike vyradilo 5 vodomerných staníc a finálny počet analyzovaných povodí je 121.
- Pre regionálnu typizáciu režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov na území Slovenska a Rakúska boli vstupom do zhukových analýz všetky dostupné dáta vodomerných staníc Slovenska a Rakúska. Vodomerňé

stanice majú povodia s plochou od 7,25 km² (vodomerná stanica Spariská na toku Vydrica(5130)) do 25623,8 km² ((vodomerná stanica March – Angern an der March (207324)) (Obr. 3.2). Spolu ich tvorilo 183 vodomerných staníc, ktorých počet sa napokon upravil na výsledných 175 vodomerných staníc, ktoré tvorili finálny vstup do regionalizácie režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov na spoločnom území Slovenska a Rakúska.



Obr. 3.2: Lokalizácia vybraných vodomerných staníc na území Slovenska a Rakúska

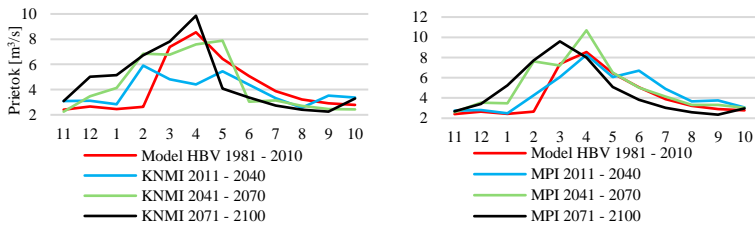
4 Výsledky dizertačnej práce

Výsledky dizertačnej práce sú rozdelené do dvoch kapitol. Prvá časť výsledkov sa venuje problematike analýzy zmien hydrologických charakteristík pomocou klimatických údajov KNMI a MPI do roku 2100 vo vybraných povodiach Slovenska. Analýzy sa zameriavajú na zmeny dlhodobých priemerných mesačných prietokov (aj z hľadiska sezónnosti), výskytu ročných minimálnych a maximálnych prietokov, M-denných minimálnych a maximálnych prietokov (1-, 7- a 90-denné minimálne a maximálne prietoky) a indexu základného odtoku (BFI). Druhá časť výsledkov je zameraná na regionalizáciu režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov pre povodia Slovenska, Rakúska a spoločného územia Slovenska a Rakúska. V rámci zhukových analýz sa porovnávajú dve referenčné obdobia: 1961 – 2000 (staré referenčné obdobie) a 1991 – 2020 (nové referenčné obdobie).

4.1 Analýza zmien hydrologických charakteristík pomocou klimatických scenárov

Z výsledkov analýz zmien hydrologických charakteristík pomocou klimatických scenárov KNMI a MPI do roku 2100 sa vybrali najvýraznejšie zmeny vo výsledkoch. V rámci zmien priebehu dlhodobých priemerných

mesačných prietokov sa vybrala vodomerná stanica Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500), pre ktorú sú charakteristické najvyššie dlhodobé priemerné mesačné prietoky v jarnom období a najnižšie dlhodobé priemerné mesačné prietoky v letnom období, spolu s mesiacmi august a september (Obr. 4.1). V období 2071 - 2100 sa očakáva zvýšenie hodnôt dlhodobých priemerných mesačných prietokov vo februári o 190 % podľa simulovaných údajov klimatického scenára MPI. Podľa údajov z tohto scenára sa očakáva posun najvyššieho dlhodobého priemerného mesačného prietoku z apríla na marec v tomto období. Zároveň sa v máji predpokladá najvýraznejší pokles prietokov podľa simulácií klimatického scenára KNMI až do roku 2100.



Obr. 4.1: Priebeh dlhodobých priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Topľa – Hanušovce nad Topľou (9500) do roku 2100

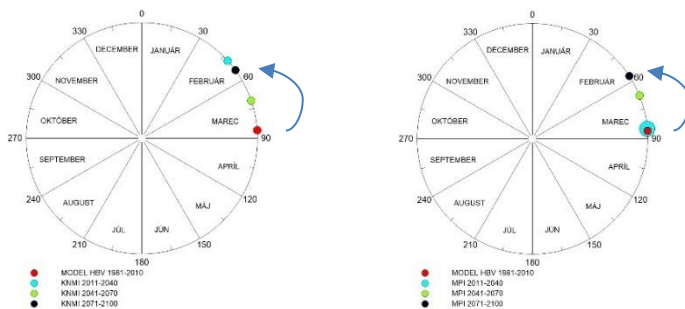
Dlhodobé priemerné mesačné prietoky je možné analyzovať aj pomocou sezónnosti, kedy je lepšie viditeľná zmena. V tejto časti dizertačnej práce sa tiež skúma modelovanie dlhodobých sezónnych prietokov v letnom polroku (od apríla do septembra) a v zimnom polroku (od októbra do marca) pre vybrané vodomerné stanice. Výsledky modelovania dlhodobých sezónnych prietokov na základe simulovaných dát klimatických scenárov KNMI a MPI sú spracované ako percentuálne zmeny v porovnaní obdobia 2071 – 2100 s historickým obdobím 1981 - 2010. Všeobecne platí, že v letnom polroku je väčšia pravdepodobnosť výskytu suchých období, čo môže mať negatívny vplyv na prietokové podmienky v povodiach. Zvýšenie teploty vzduchu v zimných mesiacoch môže ovplyvniť aj budúce formy zrážok, ktoré nemusia byť vo forme snehových zrážok, a tiež môže ovplyvniť skoršie topenie snehu, čo povedie k zvýšeniu prietokov.

Z hľadiska zmeny výskytu ročného maximálneho denného prietoku je výrazná zmena vo vodomernej stanici Turiec – Martin (6130), v ktorej sa predpokladá jeho posun z marca na február (Obr. 4.2). Väčšie zmeny sa predpokladajú v problematike výskytu ročného minimálneho denného prietoku (Obr. 4.3), pričom ide napr. o posun výskytu ročného minimálneho denného prietoku vo vodomernej stanici Poprad – Chmeľnica (8320) z januára na október

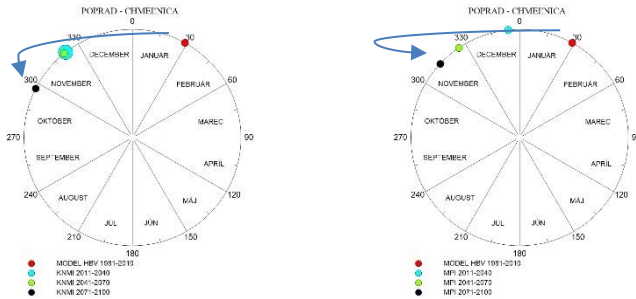
(podľa simulovaných prietokov klimatického scenára KNMI) a na november (podľa simulovaných prietokov klimatického scenára MPI).

Zmeny hydrologických charakteristík do budúcnosti sa zamerali aj na problematiku *M*-denných minimálnych a maximálnych prietokov (Obr. 4.4 a Obr. 4.5). Výsledky poukazujú na zvýšenie maximálnych prietokov na západnom Slovensku a mierne zvýšenie na východnom Slovensku. Vodomerne stanice Jablonica - Myjava a Nitra - Nitrianska Streda by mali zaznamenať nárast maximálnych prietokov Q_{90d} o 50%. Naopak, severné Slovensko by malo zaznamenať pokles maximálnych prietokov Q_{90d} o 10%. Pri minimálnych prietokoch sa očakáva zvýšenie na severe Slovenska a pokles na východnom a západnom Slovensku. Vodomernej stanica Váh - Liptovský Mikuláš by mala zaznamenať nárast minimálnych prietokov Q_{1d} o viac ako 60%. Vodomernej stanici Laborec - Humenné sa očakáva pokles minimálnych prietokov Q_{90d} o 38%. Všeobecne sa očakáva, že najvýznamnejšie zmeny nastanú v minimálnych prietokoch Q_{90d} do roku 2100.

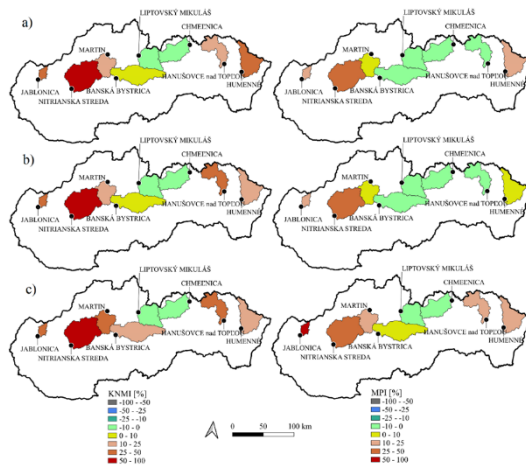
Poslednou skúmanou hydrologickou charakteristikou v rámci poslednej časti výsledkov dizertačnej práce je index základného odtoku (Obr. 4.6). Modelované prietoky pomocou simulovaných údajov klimatického scenára KNMI vo väčšine prípadov predpokladajú väčšie zmeny v rámci problematiky indexu základného odtoku v porovnaní s modelovanými prietokmi podľa simulovaných dát klimatického scenára MPI. Dôsledky poklesu BFI vo väčšine povodí s výnimkou horských oblastí naznačujú, že povodia budú vo väčšej miere náchylné na vysychanie v letných a jesenných mesiacoch.



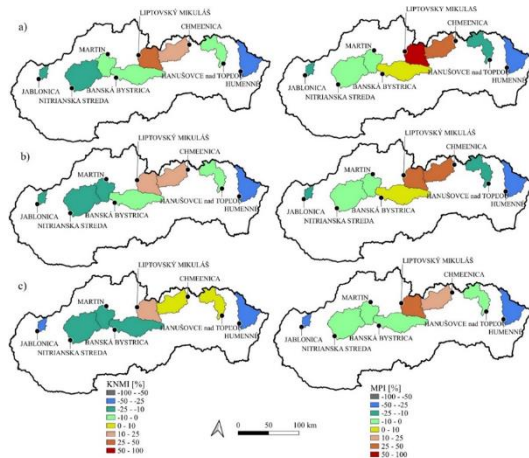
Obr. 4.2: Výsledky analýz zmien výskytu ročných maximálnych denných prietokov vo vodomernej stanici Turiec - Martin (6130) do roku 2100



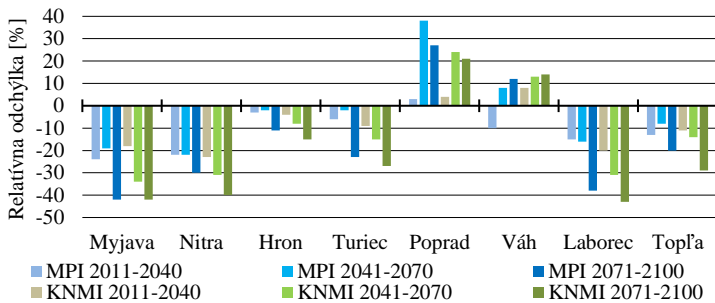
Obr. 4.3: Výsledky analýz zmien výskytu ročných minimálnych denných prietokov vo vodomernej stanici Poprad – Chmeľnica (8320) do roku 2100



Obr. 4.4: Grafická interpretácia relatívnych odchýlok vypočítaných medzi hodnotami Q_{Md} v historickom a budúcim období: a) maximálny prietok Q_{1d} ; b) maximálny prietok Q_{7d} ; c) maximálny prietok Q_{90d}



Obr. 4.5: Grafická interpretácia relatívnych odchýlok vypočítaných medzi hodnotami Q_{Md} v historickom a budúcom období: a) minimálny prietok Q_{1d} ; b) minimálny prietok Q_{7d} ; c) minimálny prietok Q_{90d}

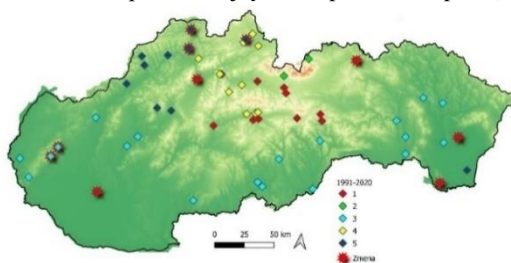


Obr. 4.6: Grafické znázornenie relatívnych odchýlok BFI pre modelované prietoky podľa simulovaných údajov z klimatických scenárov KNMI a MPI do roku 2100 od modelovaných prietokov zrážkovo-odtokového modelu TUW typu HBV

4.2 Regionalizácia režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov

Použitá metodika pre regionalizáciu režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov pozostávala z nasledujúcich krokov: na začiatku sa zvolil potrebný počet komponentov pre PCA analýzu, pričom bola nastavená hranica výberu komponentov na 98 %, čo predstavovalo počet komponentov 4; následne vybrané komponenty slúžili ako vstup do zhlukovej analýzy K-means; pri výbere vhodného počtu zhlukov (regionálnych typov) pomocou štatistických metód celkového vnútorného súčtu štvorcov a metódy priemernej šírky siluety sa vybral výsledná počet regionálnych typov 5; pomocou výpočtu maximálnej vzdialenosti jednotlivých vodomerných staníc od centier regionálnych typov sa vyradili vodomerní stanice, ktoré boli odlišné (týmto krokom sa nastavili počty analyzovaných vodomerných staníc nasledovne: pre Slovensko 56 vodomerných staníc, pre Rakúsko 121 vodomerných staníc a pre spoločné územie 175 vodomerných staníc); v rámci metodiky práce sa počítali aj charakteristické mesiace pre zaraďovanie jednotlivých vodomerných staníc do regionálnych typov; napokon sa vytvorili regionálne typy, ktoré sú charakteristické hydrologickými vzormi, kde dominujú typické režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov v závislosti od ročných období a polohy vodomerných staníc.

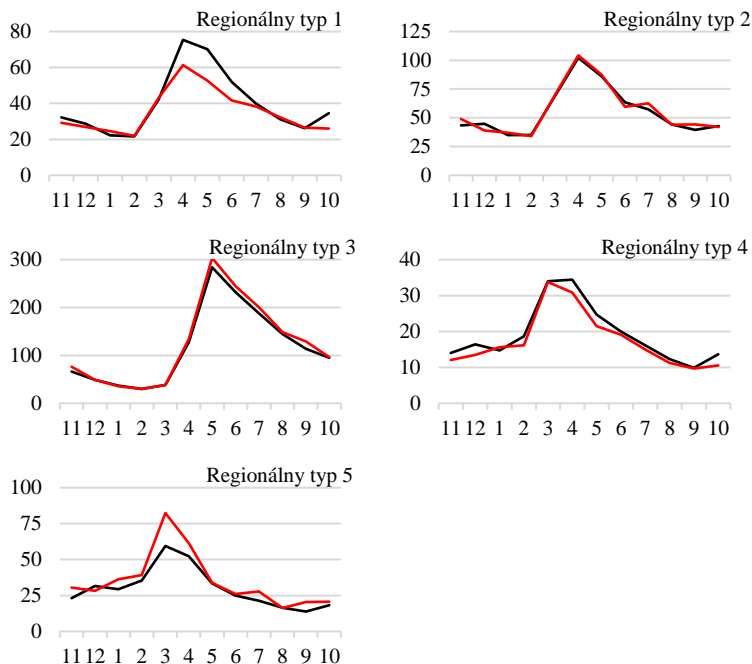
Pre územie Slovenska sú výsledky regionalizácie dlhodobých priemerných mesačných prietokov nasledovné (Obr. 4.7). Regionálny typ 1 sa nachádza v centrálnej časti stredného Slovenska a má najvyššie prietoky od februára do mája. V období 1991-2020 došlo k poklesu najvyššieho prietoku v apríli (Obr. 4.8).



Obr. 4.7: Priestorové znázornenie regionálnej typizácie režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov na území Slovenska v období 1991 – 2020

Regionálny typ 2 tvoria povodia vo Vysokých Tatrách, kde je výrazný nárast prietokov od marca do mája v dôsledku topenia snehu. Regionálny typ 3 zahŕňa 19 vodomerných staníc na juhu Slovenska a je charakterizovaný nárastom

prietokov od januára do apríla a poklesom od apríla do septembra. Regionálny typ 4 sa nachádza na severe stredného Slovenska a má najvyššie prietoky v apríli a máji. V období 1991-2020 došlo k zvýšeniu prietokov v niektorých mesiacoch. Regionálny typ 5 tvoria povodia na severozápade Slovenska, kde došlo v období 1991-2020 k presunu niektorých vodomerných staníc z regionálneho typu 4.



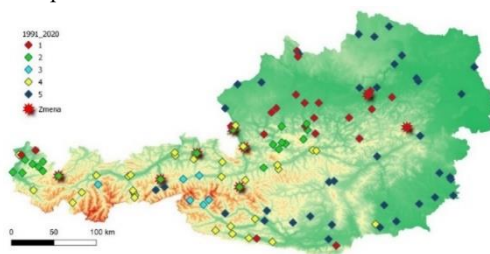
Obr. 4.8: Zmeny v priebehu priemerných hodnôt dlhodobých priemerných mesačných prietokov na území Slovenska v mm/mesiac
 *čierna farba = 1961 – 2000; červená farba = 1991 – 2020

Celkovo dochádza k zmenám v prietokoch medzi analyzovanými obdobiami, najmä v náraste hodnôt v marci a apríli. Zmeny režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov sú v severnej, západnej a východnej časti Slovenska (na území Karpát, Podunajskej nížiny, Kysuckých Beskýd, Malej Fatry, okolí Oravy a Východoslovenskej nížiny). Do regionálneho typu 1 sa oproti historickému obdobiu 1961 – 2000 presunuli nasledovné vodomerné stanice: Turiec – Martin (6130), Váh – Šaľa (6480) a Bodrog – Streda nad Bodrogom (9670) z regionálneho typu 5 (1961 – 2000). Ďalej ide o vodomerné stanice Poprad –

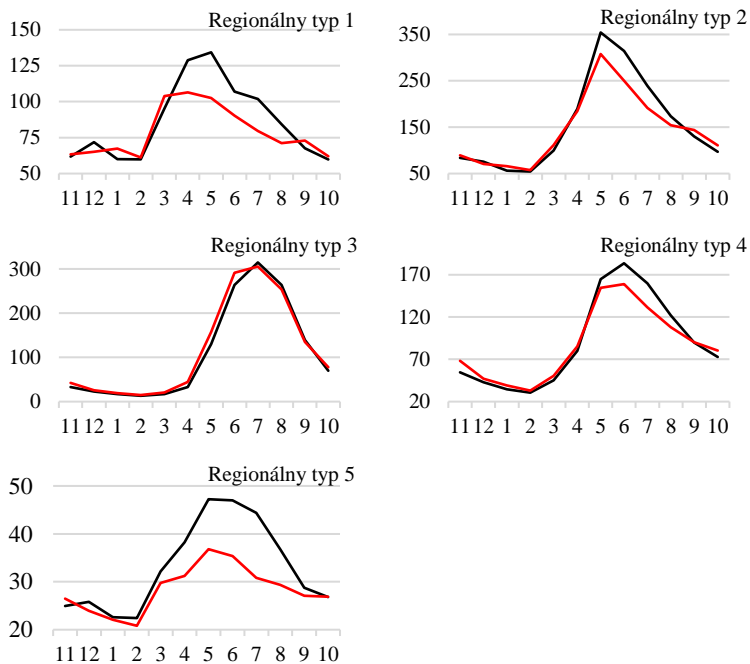
Chmeľnica (8320) a Laborec – Michalovce/Meďov (9290) z regionálneho typu 3 (1961 – 2000).

Regionalizáciou režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov pre územie Rakúska (Obr. 4.9) sa zistilo, že medzi obdobiami 1961 – 2000 a 1991 – 2020 nie je vidieť výrazné zmeny. Celkovo bolo zmenených 8 povodií medzi regionálnymi typmi. Do regionálneho typu 1 sa presunuli dve povodia z regionálneho typu 5 (1961 – 2020): Wieselburg – Kleine Erlauf (207795) a Singerin – Shwarza (208702). Najvýraznejšie zmeny nastali v regionálnom type 2, do ktorého sa presunulo až 6 vodomerných staníc: Steeg - Lech (201012), Zell am Ziller-Zellbergeben – Ziller (201756) a Bad Hofgastein – Gasteiner Ache (203208) z regionálneho typu 1, a Obergäu – Lammer (203307) a Moos – Glanbach (201947) z regionálneho typu 4.

Centrálna časť Rakúska patrí do regionálneho typu 1, kde najvyššie hodnoty prietokov sú v máji a najnižšie v jesennom a zimnom období (Obr. 4.10). V regionálnom type 2 sa vyskytujú extrémne nárasty prietokov od februára po máj. Alpská časť Rakúska tvorí regionálny typ 3, kde sú najnižšie prietoky v zimnom a jarnom období a najvyššie od mája po september. Regionálny typ 4 je charakteristický najvyššími prietokmi od mája po august a najnižšími v januári a februári. Regionálny typ 5 zahŕňa povodia v nížinných oblastiach s najnižšími hodnotami prietokov počas celého roka.



Obr. 4.9: Priestorové znázornenie regionálnej typizácie režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov na území Rakúska v období 1991 – 2020



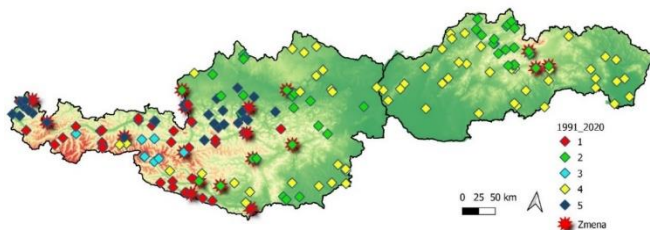
Obr. 4.10: Zmeny v priebehu priemerných hodnôt dlhodobých priemerných mesačných prietokov na území Rakúska v mm/mesiac
 *čierna farba = 1961 – 2000; červená farba = 1991 – 2020

Na základe zhlukovej analýzy 175 povodí bolo identifikovaných 5 regionálnych typov na území Slovenska a Rakúska (Obr. 4.11). Výsledky ukazujú, že povodia na Slovensku sa nachádzajú v dvoch regionálnych typoch. V Rakúsku sa mení regionálny typ pri 17 povodiach, zatiaľ čo na Slovensku len v 3. Do regionálneho typu 1 pribudli nasledovné vodomerné stanice: Weißbach – Krumbach-Zwing (200303), Vellach – Miklauzhof (212852) (z regionálneho typu 5 v období 1961 – 2000), Krumme Steyrling – Molln (205898), Paltenbach – Selzthal (210815) a Gösseringbach – Neudorf (212704) (z regionálneho typu 2 v období 1961 – 2000). Do regionálneho typu 2 pribudlo 9 povodí (Biely Váh – Východná (5330), Hron – Zlatno (6950), Hnilec – Stratená (8530), Moosache – Au-St, Georgen bei Salzburg (203547), Isper – Isperdorf (207613), Mur – St, Georgen ob Judenburg (211102), Thörlbach – Hansenhütte (211250), Lieser – Spittal (212530) a Gurk – Mairtatten (212860) z regionálneho typu 4 v období

STU

1961 – 2000. Do regionálneho typu 3 sa pridala len vodomerná stanica Gasteiner Ache – Bad Hofgastein (203208) z regionálneho typu 1 (1961 – 2000). V regionálnom type 5 pribudli nasledovné vodomerné stanice z regionálneho typu 1 (1961 – 2000): Lech – Steeg (201012), Ziller – Zell am Ziller-Zellbergeben (201756) a Glanbach – Moos (203422).

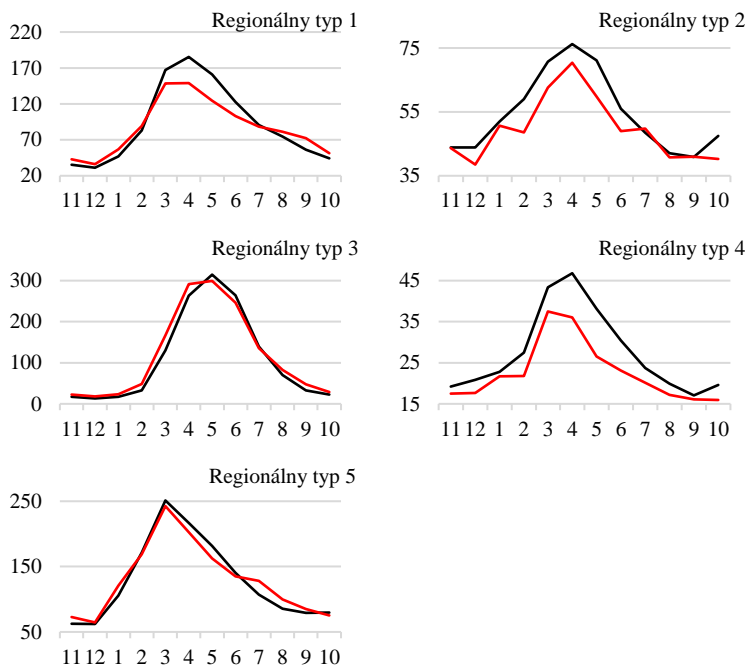
Výrazná zmena nastáva v mesiaci september, kedy dochádza k nárastu prietokov v období 1991 – 2020 (Obr. 4.12). Mesiace od marca do júna majú najvyššie hodnoty prietokov. Regionálny typ 1 je charakteristický pre povodia s mesiacmi apríl a august (1961 - 2000) a jún a september (1991 - 2020). Regionálny typ 2 je lokalizovaný na severe Slovenska a centrálnej oblasti Rakúska a je nestabilnejší ako typ 1. Regionálny typ 3 je charakteristický pre Alpskú oblasť Rakúska a je ovplyvnený topením snehu v jarnom období. Regionálny typ 4 zahŕňa nížinnú oblasť Slovenska a sever s juhom východného Rakúska. Regionálny typ 5 tvoria povodia zo stredo-západnej a západnej časti Rakúska.



Obr. 4.11: Priestorové znázornenie regionálnej typizácie režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov na území Slovenska a Rakúska v období 1991 – 2020

Vykonalí alternatívnu analýzu, ktorá rozdelila povodia do 6 regionálnych typov. Tento počet bol druhou alternatívou, ktorá vychádzala zo štatistických výsledkov pre regionálnu typizáciu dlhodobých priemerných mesačných prietokov. Použitím šiestich regionálnych typov sme síce získali jeden nový regionálny typ v centrálnej časti Rakúska, ale vznikol len zmenami na hraniciach pôvodných regionálnych typov. Celkovo sme zistili zmenu hydrologického režimu na 20 vodomerných staniciach na území Slovenska a Rakúska, pri použití 6 regionálnych typov sme zaznamenali zmenu na 24 vodomerných staniciach. Výsledky pre územie Slovenska ukázali, že povodia Slovenska aj v tomto prípade patria len do dvoch regionálnych typov. Preto sme v našej dizertačnej práci prezentovali vhodnejšiu regionalizáciu režimu dlhodobých priemerných

mesačných prietokov s počtom regionálnych typov 5, na základe nášho pohľadu a výsledkov štatistických testov.



Obr. 4.12: Zmeny v priebehu priemerných hodnôt dlhodobých priemerných mesačných prietokov na území Slovenska a Rakúska v mm/mesiac

*čierna farba = 1961 – 2000; červená farba = 1991 - 2020

5 Záver

V rámci dizertačnej práce sme sa zaoberali dvoma problémami: detekciou zmien hydrologických charakteristík do budúcnosti a regionalizáciou režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov s cieľom detegovať ich zmeny v rámci 2 referenčných období.

Detekcia zmien hydrologických charakteristík sa zameriavala na zmeny dlhodobých priemerných mesačných prietokov, výskyt ročných minimálnych a maximálnych denných prietokov, zmeny M -denných maximálnych a

minimálnych prietokov a indexu základného odtoku (BFI) vo vybraných ôsmych povodiach na Slovensku. S použitím zrážkovo-odtokového modelu TUW sme simulovali priemerné denné prietoky do roku 2100 s využitím dát z klimatických scenárov KNMI a MPI. Výsledky naznačujú významné hydrologické zmeny v budúcnosti, ako je napríklad nárast dlhodobých priemerných mesačných prietokov vo vyššie položených oblastiach Slovenska v skorých jarných mesiacoch v dôsledku skoršieho topenia snehu. Naopak, v nížinách Slovenska sa očakáva zvýšenie prietokov od októbra do mája, s najvyššími hodnotami v mesiacoch február a marec. Letné mesiace budú charakterizované rastúcimi teplotami a nedostatkom zrážok, čo povedie k poklesom dlhodobých priemerných mesačných prietokov a častejším obdobiam sucha. V budúcnosti sa očakáva aj zvýšenie minimálnych prietokov v období od jesene do zimy. Na západnej časti Slovenska sa predpokladá nárast M -denných maximálnych prietokov, zatiaľ čo na strednom Slovensku sa očakáva ich pokles. Východná časť Slovenska by mohla zažiť až 50% nárast M -denných maximálnych prietokov do roku 2100. Analýzy BFI ukazujú prevažne klesajúce hodnoty vo väčšine povodií, čo negatívne ovplyvní ich hydrologické režimy. Výsledky poukazujú na skutočnosť, že simulované prietoky podľa klimatického scenára KNMI predpokladajú extrémnejšie zmeny v hydrologických charakteristikách ako simulované prietoky podľa klimatického scenára MPI.

V rámci regionalizácie režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov územia Slovenska a Rakúska, sa skúmali dve časové obdobia (1961 – 2000 a 1991 – 2020) a zmena režimu medzi nimi. Regionálna typizácia bola urobená použitím metódy PCA, a následne zhlukovou metódou K -means. Štatistickým testovaním sme dospeli k vytvoreniu 5 regionálnych typov, medzi ktorými sa detegovali zmeny v režime odtoku medzi skúmanými dvoma obdobiami. Pre územie Slovenska sa detegovala najmä zmena režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov v oblasti severného, západného a východného Slovenska. Nárast v dlhodobých priemerných mesačných prietokov v marci a apríly medzi obdobiami bol zistený u povodií nachádzajúcich na severozápadnom Slovensku. V období jari, leta a zimy sa zmenil režim dlhodobých priemerných mesačných prietokov aj pre povodia nížinných oblastí na južnej časti Slovenska, pričom ide o pokles hodnôt dlhodobých priemerných mesačných prietokov. Podobný pokles je zrejmy aj pre povodia v centrálnej časti Slovenska v období jari. Pre regionálnu typizáciu režimu odtoku pre územie Rakúska sa najvýraznejší pokles dlhodobých priemerných mesačných prietokov vyskytol v letnom období pre nížinné oblasti severného, východného a južného Rakúska. Okrem povodií v Alpskej časti Rakúska, hodnoty dlhodobých priemerných

mesačných prietokov poklesli vo všetkých regionálnych typoch v letnom období pre obdobie 1991 – 2020. Analýzy pre spoločné územie Slovenska a Rakúska poukázali na najvýraznejšie zmeny poklesu dlhodobých priemerných mesačných prietokov v nižnej oblasti Slovenska a v centrálnom území Rakúska. Ďalšia výrazná zmena v poklese dlhodobých priemerných mesačných prietokov bola v povodiach na severe Slovenska a juho-východnom, a severo-východnom Rakúska. V rámci dizertačnej práce bola navrhnutá metóda, zaraďovania nových vodomerých staníc a povodí do už vytvorených regionálnych typov, použitím hraničných hodnôt prietokov v dominantných mesiacoch.

6 Vedecký a praktický prínos dizertačnej práce

Vedecký prínos dizertačnej práce spočíva v detekcii zmien hydrologických charakteristík prostredníctvom modelovaných prietokov podľa klimatických scenárov do budúcnosti. V rámci analýz. Významným prínosom dizertačnej práce je vyvinutá metóda regionalizácie režimu dlhodobých priemerných mesačných prietokov, ktorá umožňuje klasifikáciu ďalších povodí do vytvorených regionálnych typov. V rámci metodiky bola aplikovaná analýza hlavných komponentov (PCA) na odstránenie korelácie a redukciu dimenzionality dát. Následne boli vylúčené povodia, ktoré sa odlišovali od ostatných skúmaných povodí, čím sa zabezpečila väčšia stabilita analýz. Regionalizácia bola založená na zhlukovaní povodí podľa dlhodobých priemerných mesačných prietokov, charakterizácii regionálnych typov pomocou klasifikačnej metódy podporných vektorov (SVM) a opise charakteristických čít na základe dvoch najvýznamnejších mesiacov, podľa ktorých boli jednotlivé povodia zaradené do regionálnych typov.

Praktický prínos dizertačnej práce spočíva vo vyhodnotení a prognóze zmien hydrologických charakteristík, akými sú napr. priemerné mesačné prietoky, výskyt minimálneho a maximálneho prietoku, M-denných minimálnych a maximálnych prietokov, a indexu základného odtoku až do roku 2100, čo môže poslúžiť na lepšie pochopenie reakcie povodí na meniacu sa klímu. V praxi nám tieto výsledky umožňujú lepšiu prípravu na zlepšenie vodnej bilancie povodí, na implementáciu opatrení na zadržanie vody v krajine alebo jej odvádzanie v prípade povodňových extrémnych prietokov. Analýza prietokových charakteristík s využitím ľubovoľných analyzovaných období je obzvlášť užitočná pri posudzovaní zmien hydrologického režimu vodných tokov pred a po výstavbe vodohospodárskych stavieb. Ďalším krokom v tejto oblasti môže byť použitie širšieho spektra modelovaných prietokov z klimatických scenárov, ktoré neboli zahrnuté v tejto práci. Dôležité je tiež použitie referenčného obdobia, ktoré

Svetová meteorologická organizácia aktualizovala na roky 1991 – 2020. Porovnaním starého a nového referenčného obdobia sa podarilo zachytiť zmeny v režime dlhodobých priemerných mesačných prietokov na Slovensku a v Rakúsku, kde sa vieme inšpirovať v použití rôznych typov vodohospodárskych opatrení v krajine.

Zoznam použitých zdrojov

BERGHUIJS, W.R. – WOODS, R.A. – HRACHOWITZ, M.: A precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow. *Nature Climate Change*. 2014, roč. 4, s. 583 – 586. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2246>.

DUETHMANN, D. – BLÖSCHL, G.: Why has catchment evaporation increased in the past 40 years? A data-based study in Austria. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018, roč. 22, s. 5143 – 5158. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-22-5143-2018>.

HARTIGAN, J.A. – WONG, M.A.: Algorithm AS 136: A K-means clustering algorithm, *Applied Statistics*. 1979, roč. 28, s. 100 – 108.

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

JACKSON, J.E.: *A User's Guide to Principal Components*. New York: Wiley, 1991, s. 569. ISBN 9780471622673.

JOLLIFFE, I.T.: *Principal Component Analysis*. New York: Springer, 2002 (2nd ed.). 2002, s. 487. ISBN 978-0-387-95442-4.

KOHNŇOVÁ, S. – SZOLGAY, J. – PARAJKA, J. – GAÁL, L.: *Regionálne metódy výpočtu návrhových prietokov a zrážok pre dimenzovanie vodohospodárskych stavieb*. Projekt celoživotného vzdelávania v stavebníctve a geodézii. Bratislava. 2006, s. 123.

KRÁL, P. – KANDEROVA, M. – KAŠČÁKOVÁ, A. – NEDELOVÁ, G.: *Viacrozmerné štatistické metódy so zameraním na riešenie problémov ekonomickej praxe*. Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Ekonomická fakulta. 2009, 179 s. ISBN 978- 80- 8083- 840- 9.

MELOUN, M. – MILICKÝ, J. – JILL, M.: *Počítačová analýza vícerozmerných dat v príkladoch*. Academia Praha. 2005, s. 450.

PEARSON, K.: On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. *Philosophical Magazine*, 1901, roč. 2, č. 6, s. 559 – 572.

PISNER, D.A. – SCHNEYER, D.M.: *Support vector machine*. 2020, s. 101 – 121. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815739-8.00006-7>.

PULLIAINEN, J. – LUOJUS, K. – DERKSEN, CH. – MUDRYK, L. – LEMMETYINEN, J. – SALMINEN, M. – IKONEN, J. – TAKALA, M. –

COHEN, J. – SMOLANDER, T. – NORBERG, J.: Patterns and trends of Northern Hemisphere snow mass from 1980 to 2018. *Nature*. 2020, roč. 581, s. 294 – 298. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2258-0>.

ROUSSEEUW, P.J.: Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computation and Applied Mathematics*. 1987, roč. 20, s. 53 – 65.

SLEZIAK, P. – SZOLGAY, J. – HLAVČOVÁ, K. – DUETHMANN, D. – PARAJKA, J. – DANKO, M.: Factors controlling alterations in the performance of a runoff model in changing climate conditions. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2018, roč. 66, s. 381 – 392. DOI: 10.2478/johh-2018-0031.

SLEZIAK, P. – HLAVČOVÁ, K. – SZOLGAY, J. – PARAJKA, J.: Dependence of the quality of runoff-simulation by a rainfall-runoff model on the differences in hydroclimatic conditions of calibration and validation period. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2017, roč. 18, č. 1, s. 23 – 30.

ŠTEFUNKOVÁ, Z. – HLAVČOVÁ, K. – LAPIN, M.: Runoff change scenarios based on regional climate change projections in mountainous basins in Slovakia. *Contributions to Geophysics and Geodesy*. 2013, roč. 43, č. 4., s. 327 – 350. ISSN 1335-2806.

THE NATURE CONSERVANCY: Indicators of Hydrologic Alteration Version 7 User's Manual. 2009, 81 s.

THOMAS, B. – BEHRANGI, A. – FAMIGLIETTI, J.: Precipitation intensity effects on groundwater recharge in the southwestern United States. *Water*. 2016, roč. 8, č. 3, s. 90. DOI: <https://doi.org/10.3390/w8030090>.

VÝLETA, R. – HLAVČOVÁ, K. – SZOLGAY, J. – KOHNOVÁ, S. – VALENT, P. – DANÁČOVÁ, M. – KANDERA, M. – ALEKSIĆ, M.: *Reevaluation of the structure and methodology of the quantitative water management balance of surface waters*. Scientific research analytical study, Bratislava. 2020, 282 s.

Zoznam publikačnej činnosti a ohlasov autora

SABOVÁ, Zuzana - NÉMETOVÁ, Zuzana - KALETOVÁ, Tatiana - KOHNOVÁ, Silvia. Evaluation of the current state of small water reservoir from a landscape and ecological side. In *Abstract book for the 16th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Hungary, Pécs, 26-27 October 2020*. Pécs : Pollack Press, 2020, online, [1] s., paper no. 96. ISBN 978-963-429-578-5.

SABOVÁ, Zuzana - NÉMETOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia - KALETOVÁ, Tatiana. Quality of surface water in a small water reservoir Ratka. In *Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system in conditions of the climate variability [elektronický zdroj] : book of Abstracts and Posters. Via the WEB Portal, November, 11–13 2020*. 1. vyd. Bratislava : Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, 2020, CD-ROM, s. 85. ISBN 978-80-89139-48-4.

SABOVÁ, Zuzana. Vyhodnotenie kvality povrchovej vody v okolí malej vodnej nádrže Ratka. In *Zborník súťažných prác mladých odborníkov 2020 [elektronický zdroj] : Bratislava, online, 12. november 2020*. 1. vyd. Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav, 2020, CD-ROM, [14] s. ISBN 978-80-99929-11-2.

SABOVÁ, Zuzana - NÉMETOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia - KALETOVÁ, Tatiana. Assessment of the landscape of a small water reservoir with an evaluation of water quality indicators. In *HydroCarpath 2020. Processes, patterns and regimes in the hydrology of the Carpathians: coupling experiments, remote sensing, citizen science and modelling [elektronický zdroj] : abstracts of the conference. Vienna/Bratislava/Sopron, 3. 12. 2020*. 1. vyd. Sopron : University of Sopron Press, 2020, USB kľúč, s. 24. ISBN 978-963-334-375-3.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Evaluation of the Hydrological Alteration with RVA Analysis of the Hron River Basin. In *Abstract book for the 17th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Online, 25-26 October 2021*. Pécs : Pollack Press, 2021, online, [1] s., paper no. 83. ISBN 978-963-429-811-3.

SABOVÁ, Zuzana - SKONCOVÁ, Dagmara. Analýza scenárových zmien charakteristík priemerných mesačných a minimálnych prietokov do roku 2100 na povodí horného Hrona. In *Zborník príspevkov z 33. konferencie mladých hydroológov, 20. konferencie mladých vodohospodárov, 22. konferencie mladých meteorológov, klimatológov a odborníkov na kvalitu ovzdušia [elektronický zdroj]*

zdroj] : Bratislava, online, 11. november 2021. 1. vyd. Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav, 2021, USB kľúč, [13] s. ISBN 978-80-99929-30-3.

SABOVÁ, Zuzana. Analýza zmien charakteristík priemerných mesačných a minimálnych prietokov pomocou klimatických scenárov MPI a KNMI na povodí Myjavy. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 31st Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 13th 2021, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 593-598. ISBN 978-80-227-5150-6.

SABOVÁ, Zuzana. Quality of the Surface Water in the Ratka Small Water Reservoir. In *7th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium - WMESS 2021 [proceedings. 6th-10th September 2021, Prague, Czech Republic].* 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2021, online, [10] s., art. no. 012097. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85121431938 ; DOI: 10.1088/1755-1315/906/1/012097.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Analýza zmien priemerných mesačných prietokov do roku 2100 na vybraných povodiach Slovenska. In *Juniorstav 2022 [elektronický zdroj] : zborník príspevků. 24. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, ČR, 27. 1. 2022 = Juniorstav 2022, proceedings of the 24th International Conference of doctoral Students.* 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2022, online, s. 381-386. ISBN 978-80-86433-76-9. V databáze: DOI: 10.13164/juniorstav.2022.381.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia - NÉMETOVÁ, Zuzana. Future change in low flow characteristics in selected gauging stations of Slovakia. In *WMHE 2022 [elektronický zdroj] : 17th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering. 14-18 September 2022, Sopot, Poland.* 1. vyd. Gdańsk : Gdańsk University of Technology Publishers, 2022, USB kľúč, s. 61-63. ISSN 2410-5910. ISBN 978-83-7348-874-8.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Seasonal and spatial changes in mean monthly discharges in selected gauging stations of Slovakia. In *HydroCarpath 2022. Hydrology of the Carpathian Basin: synthesis of data, driving factors and processes across scales [elektronický zdroj] : proceedings of the conference. Vienna/Bratislava/Sopron, 24. 11. 2022.* 1. vyd. Sopron : University of Sopron Press, 2022, USB kľúč, s. 104, art. ID: P14. ISBN 978-963-334-452-1.

SABOVÁ, Zuzana. Vyhodnotenie zmien vybraných charakteristík minimálnych priemerných denných prietokov do budúcnosti vo vybraných povodiach na Slovensku. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 32nd Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 26th 2022, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 592-598. ISBN 978-80-227-5251-0.

SABOVÁ, Zuzana. Analýza zmien charakteristík priemerných denných prietokov vo vybraných vodomerných staniách na Slovensku. In *Zborník súťažných prác mladých odborníkov 2022 [elektronický zdroj] : Bratislava, 10. november 2022.* 1. vyd. Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav, 2022, CD-ROM, [14] s. ISBN 978-80-99929-38-9.

SABOVÁ, Zuzana - LIOVÁ, Anna - NÉMETOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Future space-temporal and seasonal changes of mean monthly discharges in selected basins of Slovakia. In *Managing Water-Energy-Land-Food under Climatic, Environmental and Social Instability [elektronický zdroj] : proceedings of the 12th World Congress of EWRA on Water Resources and Environment (EWRA 2023). 27 June - 1 July 2023, Thessaloniki, Greece.* 1. vyd. Athens : European Water Resources Association, 2023, USB kľúč, s. 147-148. ISBN 978-618-84419-1-0.

SABOVÁ, Zuzana. Regionálna typizácia režimu dlhodobého priemerného mesačného odtoku na Slovensku. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering (ACEE 2023) [elektronický zdroj] : 33rd Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 25th 2023, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2023, CD-ROM, s. 498-503. ISBN 978-80-227-5378-4.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Pooling of the long-term average monthly runoff using the PCA method and K-means clustering in Slovakia. In *HydroCarpath 2023. Hydrology of the Carpathian Basin: Catchment Experiments and Modeling for Improved Description and Prediction of Hydrological Processes [elektronický zdroj] : proceedings of the conference.*

Vienna/Bratislava/Sopron, 9. 11. 2023. 1. vyd. Sopron : University of Sopron Press, 2023, USB klíč, s. 44, art. ID P10. ISBN 978-963-334-505-4.

SABOVÁ, Zuzana - LIOVÁ, Anna - KOHNOVÁ, Silvia. Clustering of a runoff regime in Slovakia using the PCA method. In *Juniorstav 2024 [elektronický zdroj] : proceedings of the 26th International Scientific Conference of Civil Engineering. Brno, ČR, 25. 1. 2024*. 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2024, online, [8] s. ISBN 978-80-86433-83-7. V databáze: DOI: 10.13164/juniorstav.2024.24100.

NĚMETOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia - **SABOVÁ, Zuzana**. Determining the Dependence of a Landscape's Ecological Stability and the Intensity of Erosion during 1990–2018. In *Water [elektronický zdroj]*. Vol. 16, iss. 3 (2024), online, [16] s., art. no. 378. ISSN 2073-4441 (2022: 3.400 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.723 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/w16030378 ; SCOPUS: 2-s2.0-85184677467 ; CC: 001160237100001.

PEKÁROVÁ, Pavla - HALMOVÁ, Dana - **SABOVÁ, Zuzana** - PEKÁR, Ján - MIKLÁNEK, Pavol - BAČOVÁ-MITKOVÁ, Veronika - PROHASKA, Stevan - KOHNOVÁ, Silvia - GARAJ, Marcel. Sensitivity of runoff due to changes in the characteristics of the water balance in the Danube River region. In *Journal of hydrology and hydromechanics = Vodohospodársky časopis*. Vol. 71, no. 4 (2023), s. 399-412. ISSN 0042-790X (2022: 1.900 - IF, Q4 - JCR Best Q, 0.510 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.2478/johh-2023-0033 ; SCOPUS: 2-s2.0-85178436248 ; CC: 001104569900003.

SABOVÁ, Zuzana - NĚMETOVÁ, Zuzana - KALETOVÁ, Tatiana - KOHNOVÁ, Silvia. Current state of small water reservoir from technical and ecological viewpoint. In *Pollack Periodica*. Vol. 16, no. 3 (2021), s. 58-63. ISSN 1788-1994 (2021: 0.260 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1556/606.2021.00313 ; SCOPUS: 2-s2.0-85129867853.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia - HLAVČOVÁ, Kamila. Analysis of changes in monthly and m-daily maximum discharges using the MPI and KNMI climate scenarios in the Myjava and Hron river basins in Slovakia. In *Acta hydrologica Slovaca*. Roč. 22, č. 2 (2021), online, s. 167-176. ISSN 2644-4690 (2021: 0.188 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.31577/ahs-2021-0022.02.0020 ; SCOPUS: 2-s2.0-85124319279.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Evaluation of hydrological alterations of the Hron River basin. In *Pollack Periodica*. Vol. 17, no. 3 (2022), s. 100-105. ISSN 1788-1994 (2022: 0.298 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1556/606.2022.00604 ; SCOPUS: 2-s2.0-85141391849.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. On future changes in the long-term seasonal discharges in selected basins of Slovakia. In *Acta hydrologica Slovaca*. Roč. 24, č. 1 (2023), online, s. 73-81. ISSN 2644-4690 (2022: 0.159 - SJR, Q4 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.31577/ahs-2023-0024.01.0009 ; SCOPUS: 2-s2.0-85162793960.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Future changes in M-day minimum and maximum discharges in basins of Slovakia. In *Pollack Periodica*. Vol. 18, no. 3 (2023), s. 69-74. ISSN 1788-1994 (2022: 0.298 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1556/606.2023.00792 ; SCOPUS: 2-s2.0-85162270277.

SABOVÁ, Zuzana - TOMAŠČÍK, Matúš - NÉMETOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia - KRAJEWSKI, Adam - BANASIK, Kazimierz. The role of intense rainfall events on the land degradation processes in the Slovak and Polish catchments. In *Abstracts and Presentation EGU General Assembly 2022 (EGU22) [elektronický zdroj] : EGUsphere - The EGU interactive community platform*. 1. vyd. Göttingen : Copernicus Publications, 2022, online, [1] s., art. no. EGU22-2306. Dostupné na internete: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU22/EGU22-2306.html>>. V databáze: DOI: 10.5194/egusphere-egu22-2306.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Future changes in daily minimum and maximum discharges in selected basins of Slovakia. In *Abstract book for the 18th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium [elektronický zdroj] : Architectural, Engineering and Information Sciences. Hungary, Pécs, 3-4 November 2022*. Pécs : Pollack Press, 2022, online, [1] s., paper no. 58. ISBN 978-963-626-040-8.

SABOVÁ, Zuzana - NÉMETOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Comparison of spatial and temporal future changes of hydrological regime in selected river basins of Slovakia. In *Abstracts and Presentation EGU General Assembly 2023 (EGU23) [elektronický zdroj] : EGUsphere - The EGU interactive community platform*. 1. vyd. Göttingen : Copernicus Publications, 2023, online, [2] s., art. no. EGU23-6181. V databáze: DOI: 10.5194/egusphere-egu23-6181.

KOHNOVÁ, Silvia - NÉMETOVÁ, Zuzana - **SABOVÁ, Zuzana**. Prediction of future development of soil water erosion in small agricultural catchment. In *Abstracts and Presentation EGU General Assembly 2021 [elektronický zdroj] : EGUsphere - The EGU interactive community platform*. 1. vyd. Göttingen : Copernicus Publications, 2021, online, [1] s., art. no. EGU21-4990. Dostupné na internete:

<<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-4990.html>>. V
 databáze: DOI: 10.5194/egusphere-egu21-4990.

SABOVÁ, Zuzana - KOHNOVÁ, Silvia. Analysis of changes in daily discharge characteristics using the MPI and KNMI climate scenarios until 2100 in selected river basins in Slovakia. In *HydroCarpath 2021. Catchment and River Processes in Regional Hydrology: Coupling Field Experiments and Data Assimilation into Process Understanding and Modeling in Carpathian Basins [elektronický zdroj] : abstracts and posters of the conference. Vienna/Bratislava/Sopron, 26. 11. 2021. 1. vyd. Sopron : University of Sopron Press, 2021, USB kľúč, s. 16, article ID : P4. ISBN 978-963-334-414-9.*

Štatistika: kategória publikačnej činnosti od 2022

V2	Vedecký výstup publikačnej činnosti ako časť editovanej knihy alebo zborníka	17
V3	Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu	7
O2	Odborný výstup publikačnej činnosti ako časť knižnej publikácie alebo zborníka	3
XXX	Nezaradené	2
Súčet		29

Štatistika: kategória ohlasov od 2022

1 Citácia v publikácii registrovaná v citačných indexoch		1
	Domáce	1
Súčet		1