

ANALÝZA ZMIEN PRIEMERNÝCH MESAČNÝCH PRIETOKOV DO ROKU 2100 NA VYBRANÝCH POVODIACH SLOVENSKA

ANALYSIS OF CHANGES IN AVERAGE MONTHLY DISCHARGED UNTIL 2100 IN SELECTED RIVER BASINS OF SLOVAKIA

Zuzana Sabová^{*1}, Silvia Kohnová¹

^{*}zuzana.sabova@stuba.sk

¹Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 81107 Bratislava, Slovensko

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá analýzami zmien priemerných mesačných prietokov využitím klimatických scenárov MPI a KNMI vo vodomernej stanici Liptovský Mikuláš (5550) v povodí rieky Váh a vodomernej stanici Chmelnica (8320) v povodí rieky Poprad. Na dosiahnutie výsledkov sa použil program The Indicators of Hydrologic Alteration (IHA). K dispozícii boli pozorované dáta, modelované dáta pomocou modelu HBV a dáta klimatických scenárov MPI a KNMI, ktoré boli použité na modelovanie denných prietokov pomocou HBV modelu do roku 2100. Dostupné dáta boli rozdelené do štyroch časových období: 1981-2010, 2011-2040, 2041-2070 a 2071-2100. Výsledky poukázali na znižovanie priemerných mesačných prietokov v letných mesiacoch a ich zvyšovanie v zimných mesiacoch do roku 2100.

Kľúčová slová

priemerné mesačné prietoky, klimatická zmena, klimatický scenár MPI, klimatický scenár KNMI

Abstract

The paper is focused on the analysis of changes in average monthly discharges using MPI and KNMI climate scenario in the gauging station Liptovský Mikuláš (5550) in the Váh River Basin and in the gauging station Chmelnica (8320) in the Poprad River Basin. To achieve the results, the program Indicators of Hydrologic Alteration was used. Available data were, i.e., the observed daily discharge data, the modelled data from the rainfall-runoff HBV model, and the MPI and KNMI climate scenarios data were used to model daily discharges using the HBV model until 2100. Data were divided into four time periods, i.e., 1981-2010, 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2100. The results showed a decrease in average monthly discharges in the summer months and an increase in the winter months until 2100.

Key words

average monthly discharges, climate change, MPI climate scenario, KNMI climate scenario

1 ÚVOD

Cieľom príspevku je vyhodnotenie analýz priemerných mesačných prietokov vo vybraných vodomerných staniach Váh – Liptovský Mikuláš (5550) a Poprad – Chmelnica (8320) do roku 2100 pomocou klimatických scenárov MPI a KNMI pomocou programu Indicators of Hydrologic Alteration. Na analýzy sa použili pozorované dáta, dáta modelované HBV modelom a simulované dáta klimatických scenárov MPI a KNMI pomocou HBV modelu.

Skúmaná problematika je dôležitá na preukázanie budúcich zmien v hydrologickom režime riek. Pomocou programu IHA je možné vykonať veľký počet analýz, ktoré svojimi výsledkami sú možné predpokladať extrémne javy alebo vytvoriť historické štatistiky (veľké povodne, extrémne nízke prietoky apod.). Je potreba, aby sa zvyšoval počet vykonaných podobných analýz, aby boli dostatočne vytvorené opatrenia na ochranu ekosystémov.

2 LITERÁRNY PREHĽAD/POPIS SÚČASNÉHO STAVU

Klimatická zmena má vplyv do budúcnosti na zvyšovanie priemernej teploty vzduchu a oceánov, rozsiahleho topenia snehu a ľadu, čo zapríčiňuje stúpanie hladiny morí a oceánov [1]. Extrémne hydrologické javy (najmä záplavy a obdobia sucha) sú jedny z príčin prírodných katastrof. Klimatická zmena urýchli hydrologickú cirkuláciu, takže sa predpokladá, že výskyt extrémnych udalostí bude frekventovanejší [2]. Záplavy môžu spôsobiť škody či už v krajine alebo ľudskými stratami. Napriek investíciám do protipovodňovej infraštruktúry (hrádze, priehrady), povodňové straty zostali v priebehu rokov veľké [3]. Obdobie sucha sa radí momentálne medzi závažnú problematiku, keďže jeho výskyt a intenzita sa čoraz zvyšujú [4]. Ľudstvo vníma sucho najmä z dôvodu nedostatku pitnej vody, narastajúcej hrozby požiarov, zvyšovaním teploty ohrozujúcej organizmy, degradáciou vodných ekosystémov apod. [5].

Očakáva sa, že globálne otepľovanie spôsobí rozsiahle zmeny zemského vodného cyklu, ktoré ovplyvnia dostupnosť vody pre mestá, poľnohospodárstvo, splavnosť riek a výrobu energie [6]. Aby sa zmiernilo riziko vplyvu klimatickej zmeny, je potreba vytvoriť možnosti adaptácie a mitigácie medzi klimatickou zmenou a sektorom, na ktoré môže vplyvať. Pre vodu v krajine je možnosť prispôbenia v rozlíšení využívania dažďovej vody, technike skladovania a ochrany vody, recyklovanie vody, efektívnosť zavlažovania a využívania vody [7]. Každé opatrenie môže mať popri pozitívnom dopade aj negatívny dopad na ekosystém, preto je nevyhnutné vyhodnotiť charakteristiky riečného toku pred a po zmene režimu toku rieky [8].

Pomocou programu IHA sa v minulosti vo svete riešili nasledovné problematiky: hodnotenie prúdenia ekologického toku s ohľadom na reakcie ekosystémov na hydrologické variácie v povorí rieky Honghui, Čína [9]; výber minimálnych indikátorov hydrologických zmien pomocou analýzy hlavných komponentov rieky Gorai, Bangladéš [10]; optimalizácia prevádzky nádrže s ohľadom na následky ekologických požiadaviek na množstvo a kolísanie vody na základe IHA parametrov [11].

Na Slovensku boli vykonané nasledovné analýzy zmien hydrologických režimov: identifikácia zmien režimu denných prietokov pre rieky Váh, Belá, Kysuca, Nitra, Hron, Topľa, Ipel' a Krupinica [12]; vyhodnotenia trvania a frekvencie vysokých prietokov so zameraním na povodie rieky Dunaj [13]; vyhodnotenie zmien minimálnych denných prietokov vo vybraných staniách na rieke Dunaj [14].

3 METODIKA

The Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) je program na vykonanie štatistík, ktoré slúžia na posúdenie stupňa hydrologických zmien. Pozostáva zo 67 parametrov (33 IHA parametrov a 34 Environmental Flow Component – EFC parametrov). Dané parametre boli vyvinuté na základe ich ekologického významu a ich schopnosti poukázvať aj na vplyv antropogénnej činnosti v režimoch prúdenia [15]. Svojou jednoduchosťou, silnému teoretickému základu a zapojeniu biologicky relevantných hydrologických ukazovateľov si získal pozornosť hydroológov a environmentalistov na študovanie zmien režimov prirodzeného prúdenia, či zmeny hydrologických charakteristík po vplyve antropogénnej činnosti [8].

Program IHA pracuje s dennými hydrologickými radmi. Je vhodný na vyhodnotenie minimálnych aj maximálnych prietokov, dlhšie hydrologické rady sú potrebné k dosiahnutiu vyhodnocovania extrémnych udalostí, akými sú povodne či extrémne suchá, a ich dĺžka môže byť rozdielna v závislosti od variability klímy alebo závažnosti hydrologických zmien [12].

Vstupné údaje

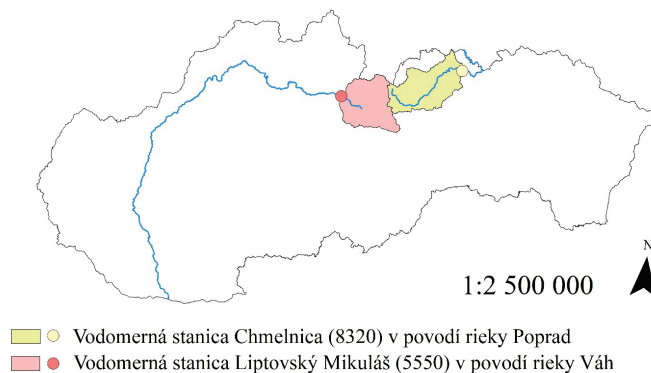
V roku 2011 boli na území Slovenska spracované nové klimatické scenáre podľa najnovších modelov GCMs a výstupov regionálnych cirkulačných modelov RCMs. V práci boli použité dva klimatické scenáre: nemecký klimatický scenár MPI a holandský klimatický scenár KNMI. Dané klimatické scenáre predstavujú integráciou atmosférických a oceánskych dynamických rovníc. Ich okrajové podmienky sú výstupy globálneho modelu ECHAM5 a stredného emisného scenára SRES A1B, ktorý je stredne pesimistický scenár s globálnym oteplením o 2,9°C do roku 2100 v porovnaní s rokom 1990. Modely a výstupy klimatických scenárov MPI a KNMI boli vytvorené na základe podrobnej analýzy dvadsiatich modelov (z nich bolo 15 RCMs a 5 GCMs) [16], [17], [18]. Výstupy scenárov sú dostupné od roku 1951 do roku 2100 a vznikli kolektívom Katedry vodného hospodárstva krajiny Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Pri ich modelovaní sa použil modifikovaný zrážkovo-odtokový model HBV verzie TUW. Výstupmi klimatických modelov (zrážky a teploty vzduchu), boli k dispozícii downscalované do klimatických staníc jednotlivých povodí v dennom kroku do roku 2100 [19].

K dispozícii boli nasledovné typy dát (Tab 1.): pozorované dáta denných prietokov, ktoré nám poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav; modelované dáta pomocou HBV modelu, simulované dáta klimatických scenárov MPI a KNMI pomocou HBV modelu.

Tab. 1 Rozdelenie použitých dát do jednotlivých časových období.

Použité dáta	Časová perióda
Pozorované dáta (OBS), MODEL HBV, MPI a KNMI dáta	1.1.1981 – 31.10.2010
	1.11.2010 – 31.10.2040
KNMI a MPI dáta	1.11.2040 – 31.10.2070
	1.11.2070 – 31.10.2100

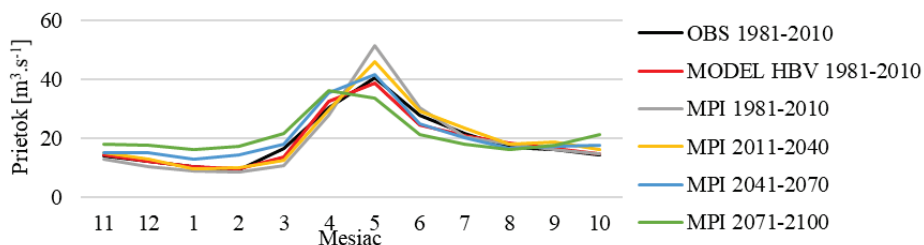
Vybranými vodomernými stanicami boli vodomerná stanica Liptovský Mikuláš (5550) v povodí rieky Váh a vodomerná stanica Chmelnica (8320) v povodí rieky Poprad (Obr. 1). Analýzy sa v programe IHA vykonali parametrickou štatistikou pre časové rozhranie hydrologického roka.



Obr. 1 Lokalizácia vybraných vodomerných staníc.

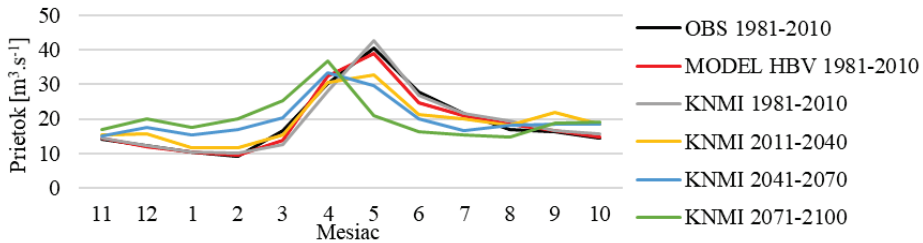
4 VÝSLEDKY

Vodomerná stanica Váh – Liptovský Mikuláš (5550) preukazuje v prvej skúmanej časovej perióde (1981-2010) najvyššie priemerné mesačné prietoky v mesiaci máj pri všetkých riešených dátach. Najmenšie priemerné mesačné prietoky sa vyskytujú v mesiaci február. Vzhľadom na klimatické scenáre, dáta pre scenár MPI majú vyššie výsledné hodnoty priemerných mesačných prietokov v mesiaci máj, jún a október. Pre výsledné hodnoty priemerných mesačných prietokov podľa klimatického scenára MPI je viditeľný ich nárast v jesenných a zimných mesiacoch do roku 2100 (Obr. 2). Naopak, na jar a v lete sa predpokladá pokles priemerných mesačných prietokov (najvyšší pokles priemerného mesačného prietoku v mesiaci máj).



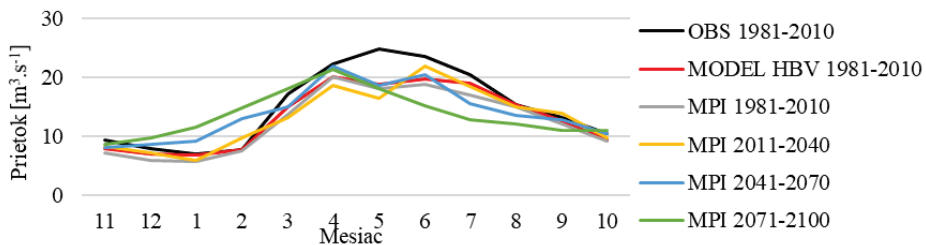
Obr. 2 Priebeh priemerných mesačných prietokov pre vodomernú stanicu Váh – Liptovský Mikuláš (5550) podľa klimatického scenára MPI do roku 2100.

Podľa klimatického scenára KNMI (Obr. 3) platí podobný priebeh ako pri scenári MPI, kde sa predpokladá pokles priemerných mesačných prietokov do roku 2100. Hodnoty najvyšších priemerných mesačných prietokov podľa oboch klimatických scenárov sa oproti minulosti s výskytom v máji, budú objavovať v mesiaci apríl do roku 2100.

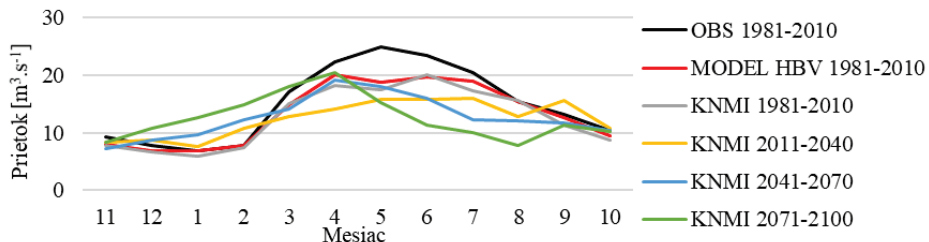


Obr. 3 Priebeh priemerných mesačných prietokov pre vodomernú stanicu Váh – Liptovský Mikuláš (5550) podľa klimatického scenára KNMI do roku 2100.

Najvyššie priemerné mesačné prietoky pre pozorované dáta a dáta podľa klimatického scenára vo vodomernej stanici Poprad – Chmelnica (8320) sa zaznamenali v mesiaci máj. Modelované dáta podľa HBV modelu a simulované dáta klimatického scenára MPI evidujú najväčšie priemerné mesačné prietoky v mesiaci apríl. Najnižšie priemerné mesačné prietoky sa vo všetkých prípadoch skúmaných typoch dát vyskytujú v mesiaci január. Pre mesiace november, december, január, február a marec platí vyšší nárast v hodnotách priemerných mesačných prietokov podľa oboch klimatických scenárov do roku 2100. Mesiace máj, jún, júl, august do roku 2100 predstavujú pokles v priemerných mesačných prietokoch pre dáta klimatických scenárov MPI a KNMI (Obr. 4 a Obr. 5).



Obr. 4 Priebeh priemerných mesačných prietokov pre vodomernú stanicu Poprad – Chmelnica (8320) podľa klimatického scenára MPI do roku 2100.



Obr. 5 Priebeh priemerných mesačných prietokov pre vodomernú stanicu Poprad – Chmelnica (8320) podľa klimatického scenára KNMI do roku 2100.

5 DISKUSIA

Mnohé modely všeobecnej cirkulácie (GCM) predpovedajú zvýšenie frekvencie a rozsahu extrémnych klimatických udalostí a premenlivosti zrážok, čo môže závažne ovplyvniť zdroje povrchovej vody [19]. Pre Európu simulácie s globálnymi klimatickými modelmi predpovedajú nárast ročných zrážok na severe a ich pokles v Stredomorí. Pre strednú Európu sa predpokladá, že zrážok budú vyššie v zime a nižšie v lete [20]. Pramuk [21] vo svojej dizertačnej práci analyzoval priemerné mesačné prietoky vo vodomernej stanici Váh – Liptovský Mikuláš (5550) v časovom období 1931-2014. Svojou analýzou poukázal na pokles priemerných mesačných prietokov v mesiacoch apríl a november. Podľa predkladaného príspevku do roku 2100 nastane v mesiacoch apríl a november nárast hodnôt priemerných mesačných prietokov podľa oboch analyzovaných klimatických scenárov.

Najväčšia mesačná vodnosť sa do roku 2000 vyskytovala v apríli v povodiach Váhu a Popradu v mesiaci máj. Najmenšie priemerné mesačné prietoky sa v skúmaných povodiach do roku 2000 evidujú v mesiaci január [22]. Výsledky predloženej štúdie poukazujú na zmenu v priemerných mesačných prietokov v mesiaci apríl (nárast hodnoty priemerného mesačného prietoku z obdobia 1981-2010 do roku 2100 o 20%) vo vodomernej stanici Váh – Liptovský Mikuláš (5550) podľa modelovaných dát pre klimatické scenáre MPI a KNMI. Pre vodomernú stanicu Poprad – Chmelnica (8320) sa výskyt najvyšších priemerných mesačných prietokov presunie z mesiaca máj na mesiac apríl.

6 ZÁVER

Príspevok sa zaoberal analýzou zmien priemerných mesačných prietokov vo vodomernej stanici Váh – Liptovský Mikuláš (5550) a Poprad – Chmelnica (8320). Výsledné hodnoty preukázali presun výskytu najvyšších priemerných mesačných prietokov z mesiaca máj na mesiac apríl do roku 2100. Táto skutočnosť predstavuje, že sa snehová pokrývka v severných skúmaných lokalitách na Slovensku neudrží dlho. Pokles priemerných mesačných prietokov v letných mesiacoch môže znamenať zvýšený výskyt období sucha.

Už v súčasnosti je vidieť prejavy klimatickej zmeny. V letných mesiacoch sa čoraz viac objavujú extrémne búrky a obdobia sucha. Zima sa prejavuje vyššími teplotami a čoraz menšou vrstvou snehovej pokrývky. Je dôležité študovať nastávajúcu zmenu v hydrologickom režime vodných tokov, aby sa mohli v dostatočnom predstihu vybudovať opatrenia, ktoré dokážu chrániť pred vodou, ale aj pomáhať pri nedostatku vody.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu, výskum a vývoj na základe zmluvy č. APVV-20-0374 a projektom VEGA 1/0632/19.

Použitá zdroje

- [1] SCHNEIDER, C., C. L. R. LAIZÉ, M. C. ACREMAN a M. FLÖRKE. How will climate change modify river flow regimes in Europe? *Hydrology and Earth System Sciences*. 2013, 17, 325-339. Dostupné z: doi:5194/hess-17-325-2013.
- [2] KIM, B.-S., B.-K. KIM a H.-H. KWON. Assessment of the impact of climate change on the flow regime of the Han River basin using indicators of hydrologic alteration. *Hydrological processes*. 2011, 25, 691-704. Dostupné z: doi:10.1002/hyp.7856.
- [3] KOZŁOWSKI, T. T. Flooding and Plant Growth. Chapter 1 – Extent, Causes, and Impacts of Flooding. *Physiological Ecology*. 1984, 1-6. Dostupné z: doi.org/10.1016/B978-0-12-424120-6.50006-7.
- [4] JANÁČOVÁ, T., L. LABUDOVÁ a M. LABUDA. Meteorologické sucho v oblastiach Slovenska s nižším charakterom v rokoch 1981-2010. *Geographia Cassoviensis XII*. 2018, 1, 53-64.
- [5] FENDEKOVÁ, M., T. GAUSTER, L. LABUDOVÁ, D. VRÁBLIKOVÁ, Z. DANÁČOVÁ, M. FENDEK a P. PEKÁROVÁ. Analysing 21st century meteorological and hydrological drought events in Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2018, 66, 4, 393-403. Dostupné z: doi:10.2478/johh-2018-0026.
- [6] MINVILLE, M., F. BRISSETTE a R. LECONTE. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. *Journal of Hydrology*. 2008, 358, 70-83. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhydrol.2008.05.033.
- [7] NOVICKÝ, O., P. VYSKOČ, A. VIZINA, L. KAŠPÁREK a J. PICEK. Klimatická zmena a vodní zdroje v povodí Vltavy. *Výskumné ústav vodohospodářsky T. G. Masaryka*. 2008, s. 30, ISBN 978-80-

- 85900-79-8.
- [8] ALI, R., A. KURIQI, S. ABUBAKER a O. KISI. Hydrologic Alteration at the Upper and Middle Part of the Yangtze River, China: Towards Sustainable Water Resource Management Under Increasing Water Exploitation. *Sustainability*. 2019, 11, 5176. Dostupné z: doi:10.3390/su11195176.
- [9] TANG, Y., L. CHEN a Z. SHE. Evaluation of instream ecological flow with consideration of ecological responses to hydrological variations in the downstream Honghui River Basin, China. *Ecological Indicators*. 2021, 130, 108104. Dostupné z: doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108104.
- [10] RAHMAN, M. A.T. M. T., S. HOQUE a A. H. M. SAADAT. Selection of minimum indicators of hydrologic alteration of the Gorai river, Bangladesh using principal component analysis. *Sustainable Water Resources Management*. 2017, 3, 13-23. Dostupné z: doi:10.1007/s40899-017-0079-6.
- [11] YAN, M., G.-H. FANG, L.-H. DAI, Q.-F. TAN a X.-F. HUANG. Optimizing reservoir operation considering downstream ecological demands of water quantity and fluctuation based on IHA parameters. *Journal of Hydrology*. 2021, 600, 126647, s. 12. Dostupné z: doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126647.
- [12] PRAMUK, B., P. PEKÁROVÁ, P. ŠKODA, D. HALMOVÁ, V. B. MITKOVÁ. Identifikácia zmien režimu denných prietokov slovenských riek. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2016, 17, 1, 65-77.
- [13] PEKÁROVÁ, P., B. PRAMUK, D. HALMOVÁ, P. MIKLÁNEK, S. PROHASKA a J. PEKÁR. Identification of long-term high-flow regime changes in selected stations along the Danube River. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2016, 64, 4, 393-403. Dostupné z: doi:10.1515/johh-2016-0045.
- [14] HALMOVÁ, D, P. PEKÁROVÁ a I. MESZÁROŠ. Low flow change analysis in selected gauging stations on the Danube River. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2011, 12, 2, 286-295.
- [15] GAO, Y., R. M. VOGEL, CH. N. KROLL, N. L. POFF a J. D. OLDEN. Development of representative indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrology*. 2009, 374, 136-147. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhydrol.2009.06.009.
- [16] LAPIN M., et al., 3. Scenáre klimatickej zmeny na Slovensku. In: MINĐAŠ, J., PÁLENÍK, . M.LAPIN a kol., NKP, 2011 76. MAJERČÁKOVÁ, O., ŠEDÍ, NEJEDLÍK, P. Dôsledky klimatickej zmeny a možné adaptačné opatrenia v jednotlivých sektoroch. Záverečná správa projektu. Zvolen: EFRA - Vedecká agentúra pre ekológiu a lesníctvo, 2011, 25-32.
- [17] MINĐAŠ, J., HOLÉCY, J., ŠKVARENINA, J. Modelovanie dopadu globálnych zmien klímy na neurčitosti vývoja biodiverzity a štruktúry ekosystémových služieb lesa. *Životné prostredie*. 2017, 51, 1, 14-20.
- [18] SKONCOVÁ, D. Analýza zmien charakteristik prietokov na vybraných povodiach Slovenska. Diplomová práca. Bratislava. 2021,s. 76.
- [19] VÝLETA, R., HLAVČOVÁ, K., SZOLGAY, J., KOHNOVÁ, S., VALENT, P., DANÁČOVÁ, M., KANDERA, M., ALEXIČ, M. Prehodnotenie štruktúry a metodiky kvantitatívna vodohospodárska bilancia povrchových vôd, 1. časť. Vedecko-výskumná rozborová štúdia. Bratislava, 2020, s. 282.
- [20] CHEN, J., F. P. BRISSETTE a R. LECONTE. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. *Journal of Hydrology*. 2011, 401, 190-202. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhydrol.2011.02.020.
- [21] DANKERS, R. a L. FEYEN. Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high-resolution climate simulations. *Journal of Geophysical Research*. 2008, 113, D19105, s. 17. Dostupné z: doi:10.1029/2007JD009719.
- [22] PRAMUK, B. Identifikácia zmien hydrologického režimu riek v povodí Dunaja. Dizertačná práca. 2016, s. 130.
- [23] POÓROVÁ, J., P. ŠKODA, Z. DANÁČOVÁ a V. ŠIMOR. Vývoj hydrologického režimu slovenských riek. *Životné prostredie*. 2013, 47, 3, 144-147.