

ZMENY VO VÝSKYTE MAXIMÁLNYCH ROČNÝCH PRIETOKOV NAPRIEČ ÚZEMÍM SLOVENSKA

Katarína Jeneiová

Anotácia

Analýza dlhých časových radov hydrologických údajov sa stáva čoraz dôležitejšou a častejšou, i z hľadiska celosvetovo pozorovaného narastajúceho počtu extrémnych povodňových udalostí. Práca sa zaoberá analýzou sezonality výskytu maximálnych ročných prietokov na povodiach naprieč územím Slovenska pomocou indexu sezonality, analýzy priemerného dňa a variability výskytu v priestorovom a časovom kontexte. Pri analýze pomeru veľkosti zmeny v dňoch k veľkosti povodia bol zistený vzťah medzi narastajúcou veľkosťou povodia a veľkosťou zmeny v dňoch.

Kľúčové slová: maximálne ročné prietoky, sezonalita

Katarína Jeneiová: CHANGES IN THE SEASONALITY OF ANNUAL MAXIMUM DISCHARGES ACROSS SLOVAKIA

Annotation

Analysis of long term hydrological data is becoming more and more important and frequent in the world, thanks to observed increased extreme floods worldwide. The work is focused on seasonality analysis of occurrence of annual maximum discharge series across Slovakia with help of seasonality index, mean day of occurrence and variability of occurrence in spatial and temporal context. While analysing change in days to catchments size a relationship between the two was discovered.

Key words: maximum annual discharges, seasonality

1. ÚVOD

Analýza dlhých časových radov hydrologických údajov sa stáva čoraz dôležitejšou a častejšou z hľadiska celosvetovo pozorovaného narastajúceho počtu extrémnych povodňových udalostí v posledných dekádach, potrieb vodohospodárstva, vodohospodárskych stavieb či štúdií klimatických zmien. Sezonalita výskytu hydrologických charakteristík je jedným z dôležitých ukazateľov, ktoré určujú rozvoj a stabilitu ekosystémov (Parajka et al., 2009).

Štúdie zaoberajúce sa sezonalitou hydrologických údajov, boli publikované v snahe dešifrovať zmeny v procesoch vedúcich k tvorbe odtoku (Hall et al., 2013). Black a Werritty (1997) analyzovali sezonalitu povodní v Severnej Británii a identifikovali geografické vzory výskytu povodní. Petrow a Merz (2009) vo svojej analýze maximálnych ročných prietokov a prietokov presahujúcich stanovenú hranicu (peak over threshold) v Nemecku zistili, že zmeny v zimnej sezóne sú väčšie v porovnaní s letnou sezónou. Autori v článku naznačujú, že zmeny v povodňovom režime by mohli byť spôsobované klímou. Parajka et al. (2010) študovali zmenu vo výskyte zrážok a povodní na Alpsko-Karpatskom transekte s cieľom identifikovať hlavné procesy pri tvorbe povodní. Identifikovali zmenu výskytu povodní z letných na jesenné. Sezonalitu hydrologických charakteristík pomocou rôznych indexov sezonality na Kréte skúmali Koutroulis et al. (2010). Pri analýze maximálnych ročných prietokov zistili, že sú pozadu o jeden mesiac v pomere k maximálnym ročným denným zrážkam. Petersen et al. (2012) analyzovali sezonalitu výskytu prietokov v USA a snažili sa pochopiť a identifikovať procesy, ktoré ich

ovládajú. V Novom Anglicku (USA) a Atlantickej Kanade podrobili trendovej a sezónnej analýze dlhé rady ročných povodňových údajov z hľadiska snahy o identifikáciu mechanizmov generujúcich ročné povodne Collins et al. (2014). Pre kompletnejšie posúdenie navrhli analýzu nie len ročných povodní, ale zahrnúť aj detailné analýzy povodní presahujúcich určenú hranicu.

Príspevok sa zaoberá analýzou sezonality výskytu maximálnych ročných prietokov na povodiach Slovenska pomocou indexu sezonality, analýzy priemerného dňa a variability výskytu v priestorovom a časovom kontexte.

2. METODIKA

Zmeny v sezonalite výskytu maximálnych ročných prietokov je možné identifikovať rôznymi spôsobmi. V práci bol použitý upravený index sezonality, založený na indexe uvedenom v článku Vormoora et al. (2014). Vzorec upraveného indexu je nasledujúci:

$$SI = \frac{MRP_{(apríl-august)}}{MRP_{vš}} - \frac{MRP_{(sep-marec)}}{MRP_{vš}} \quad 2.1$$

SI – index sezonality, MRP – počet maximálnych ročných prietokov.

Maximálne ročné prietoky boli rozdelené do dvoch skupín, podľa povodňového režimu na letné - od apríla do augusta a zimné - od septembra do marca. Prvý pomer reprezentuje počet maximálnych ročných prietokov (MPR) v letnej sezóne v pomere ku všetkým udalostiam a druhý pomer počet maximálnych ročných prietokov v zimnej sezóne k počtu všetkých udalostí. SI sa pohybuje v rozmedzí od 1 do -1, pričom 1 znamená, že všetky maximálne ročné prietoky sa vyskytli v letnej sezóne a -1 v zimnej.

Burnov index (1990) využíva to, že ako miera podobnosti hydrologickej odozvy v povodí sa môže použiť časový nástup a pravidelnosť výskytu extrémov v prípade, ak je sezónnosť zapríčinená podobnosťou fyzicko-geografických a meteorologických vplyvov. Burnov index je definovaný dvoma parametrami: θ – priemerný deň výskytu a r – variabilita výskytu. Parameter θ je určený v radiánoch a charakterizuje myslené ťažisko výskytu prietokov v roku. Veličina r je bezrozmerné číslo, ktorého veľkosť sa pohybuje od nuly po jedna ($r = 1$ – všetky prietoky sa vyskytli v ten istý deň roka, $r = 0$ – prietoky sa vyskytujú rovnomerne počas celého roka).

θ je určená vzťahom:

$$\theta = \frac{Dj \cdot 2\pi}{365} \quad 2.2$$

Dj – dátum výskytu prietokov transformovaný na Juliánsky dátum.

Súradnice x_θ a y_θ n dní j sú vyjadrené ako:

$$x_\theta = \frac{1}{n} \sum_j \cos(\theta_j) \quad 2.3$$

$$y_\theta = \frac{1}{n} \sum_j \sin(\theta_j) \quad 2.4$$

Priemerný uhol je daný pre 1. a 4. kvadrant, $x > 0$:

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_{\theta}}{x_{\theta}}\right) \quad 2.5$$

pre 2. a 3. kvadrant, $x < 0$:

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_{\theta}}{x_{\theta}}\right) + \pi \quad 2.6$$

Priemerný deň výskytu sa určí transformovaním uhla na dátum:

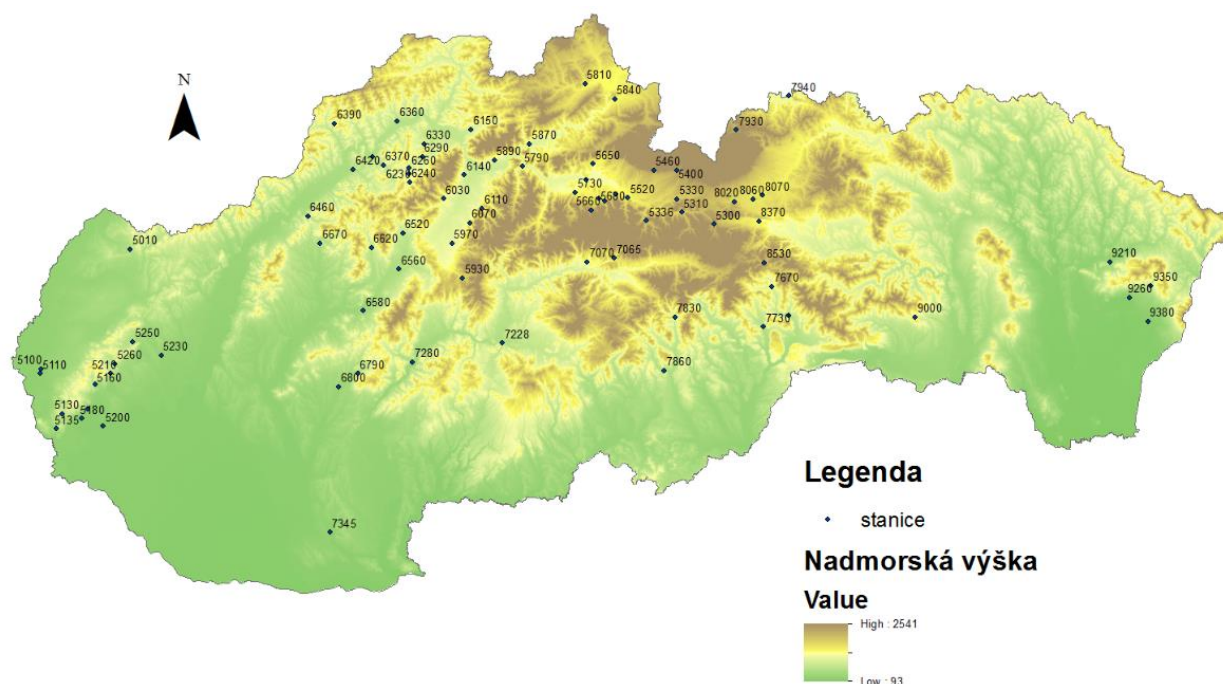
$$D = \theta \cdot \frac{365}{2\pi} \quad 2.7$$

Pomocou Pytagorovej vety vieme určiť r výskytov minimálnych prietokov:

$$r = \sqrt{x_{\theta}^2 + y_{\theta}^2} \quad 2.8$$

3. VSTUPNÉ ÚDAJE

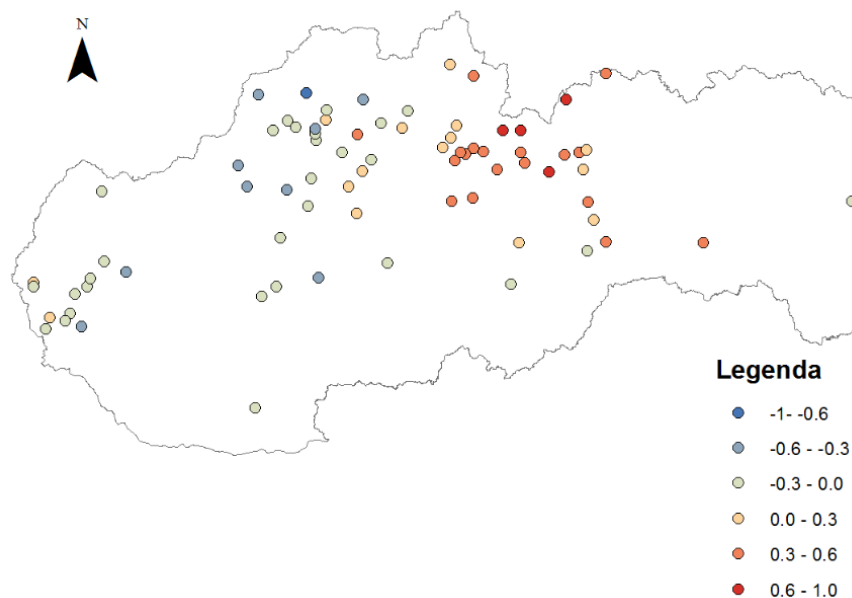
Vstupné údaje tvorili rady maximálnych ročných prietokov zo 79 vodomerných staníc na území Slovenska, zobrazených na obrázku 1. Údaje boli poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom. Stanice boli vyberané na základe dĺžky pozorovaného časového radu, s minimálnou dĺžkou pozorovania 40 rokov, a veľkosti príslušného povodia do 150 km². V časových radoch neboli žiadne chýbajúce údaje. Najmenšie povodie má veľkosť 2,86 km² a najväčšie 148,95 km², medián 57,5 km² a modus 47,1 km². Z hľadiska dĺžky časového radu najkratší rad mal 40 rokov, najdlhší 88, medián je 47 rokov a modus 49 rokov.



Obrázok 1 – Mapa Slovenskej republiky so zobrazením vybraných vodomerných staníc

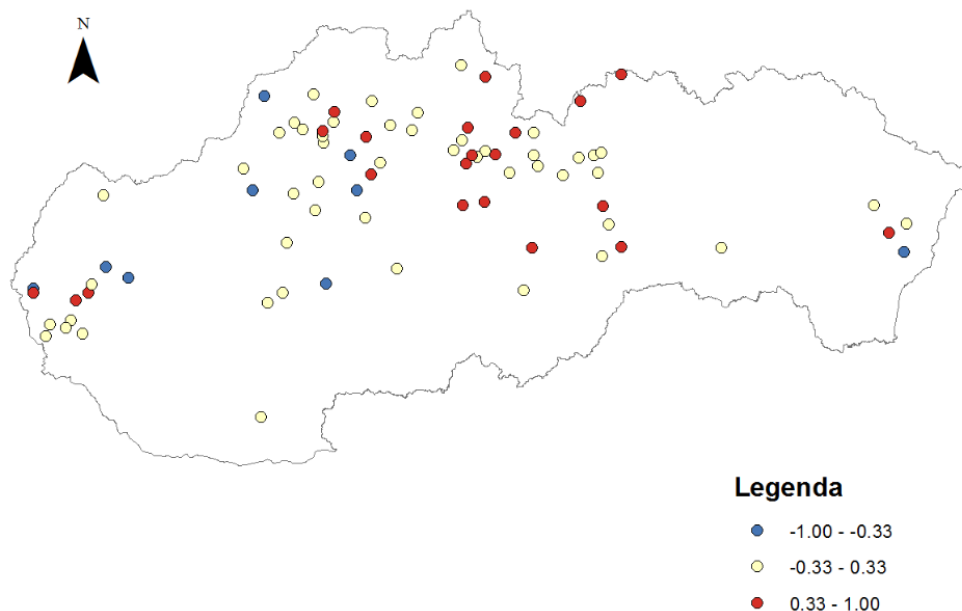
4. VÝSLEDKY

V prvom kroku bol vypočítaný index sezonality pre celé pozorované obdobia (Obr. 2). Z obrázka je zrejmé, že maximálne ročné prietoky v letnej sezóne prevažovali najmä v oblasti Vysokých a Nízkych Tatier, zatiaľ, čo dominujúce zimné prietoky mohli byť pozorované na zvyšku územia.



Obrázok 2 – Index sezonality pre celé pozorované obdobia

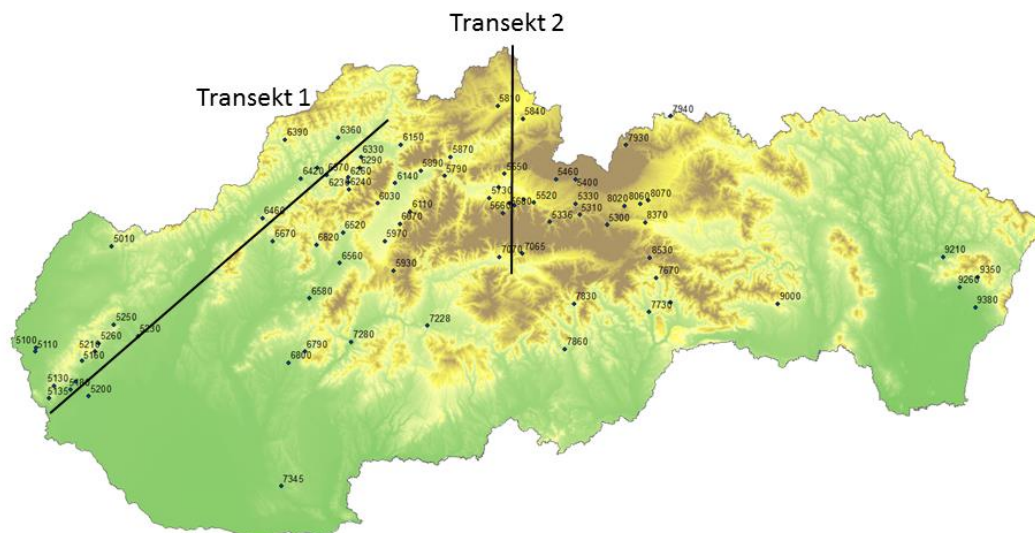
Pre ďalšiu analýzu boli vybrané iba tri najvyššie prietoky v každej stanici a znovu bol vypočítaný index sezonality (Obr. 3). Červená farba, znázorňujúca prietoky v letnej sezóne, sa v tomto prípade neobjavila iba v oblasti Vysokých a Nízkych Tatier, ale aj v oblasti Malých Karpát a Východoslovenskej nížiny. Prietoky v zimnej sezóne sa vyskytli v Malých Karpatoch, Veľkej Fatre, Javorníkoch a Východoslovenskej nížine.



Obrázok 3 – Index sezonality pre 3 pozorované maximálne ročné prietoky s najvyšším prietokom

Po analýze rozloženia maximálnych ročných prietokov prevládajúcich v letnej a zimnej sezóne, boli vybraté na podrobnejšiu analýzu sezonality dva transekty (Obr. 4). Transekt 1, ktorý prechádza oblasťou

s maximálnymi ročnými prietokmi, vyskytujúcimi sa prevažne v zimnom období, a transekt 2, v oblasti letnej sezóny (Tabuľka 1). Na týchto dvoch transektoch bol aplikovaný Burnov index, ktorý bol vypočítaný pre 4 dekády (1971 – 1980, 1981 – 1990, 1991 – 2000 a 2001 – 2010) a celé pozorované obdobie, v snahe odhaliť možné zmeny, ktoré nastali vo výskyte maximálnych ročných prietokov za posledných 40 rokov.



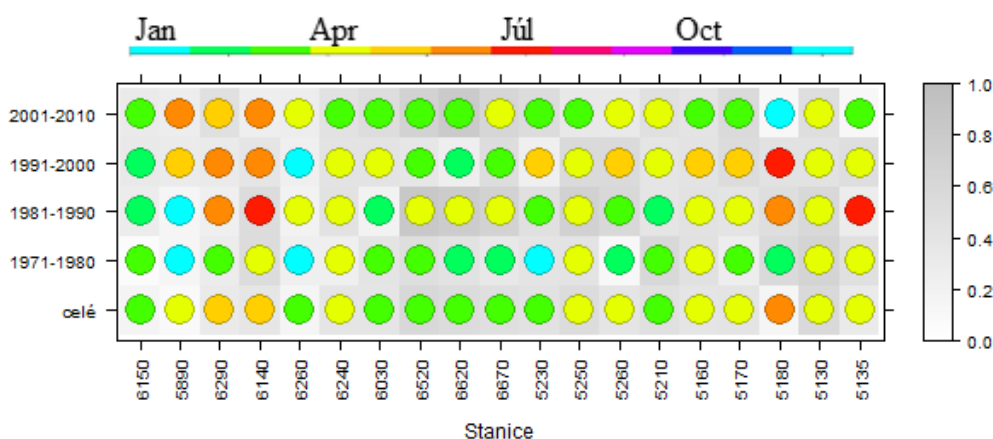
Obrázok 4 – Výber transektov územím Slovenskej republiky

Tabuľka 1 – Prehľad vybraných vodomerných staníc na transekte 1 a transekte 2

TRANSEKT	POVODIE	EVID. Č.	VODOMERNÁ STANICA	TOK	ZAČIATOK POZOROVANIA	VEĽKOSŤ POVODIA
Transekt 1	Dunaj	5130	Spariská	Vydrica	1961	7,25
	Dunaj	5135	Červený Most	Vydrica	1965	22,6
	Dunaj	5160	Pezinok	Blatina	1961	19,09
	Dunaj	5170	Svätý Jur	Šurský kanál	1968	106,1
	Dunaj	5180	Vajnory	Račiansky p.	1968	21
	Dunaj	5210	Modra	Vištucký p.	1963	9,88
	Dunaj	5230	Bohdanovce n/Trnavou	Trnávka	1961	115,02
	Dunaj	5250	Horné Orešany	Parná	1961	37,86
	Dunaj	5260	Píla	Gidra	1961	32,95
	Váh	5890	Turany	Čiernik	1970	2,86
	Váh	6030	Brčna	Sloviansky p.	1969	11,9
	Váh	6140	Martin	Pivovarský p.	1969	8,83
	Váh	6150	Stráža	Varínka	1957	139,7
	Váh	6230	Rajecká Lesná	Lesňanka	1968	23,34
	Váh	6240	Šuja	Rajčanka	1968	108,59
	Váh	6260	Rajec	Čiernanka	1968	19,72
	Váh	6290	Rajecké Teplice	Kunerádsky p.	1969	26,37
	Nitra	6520	Tužina	Tužina	1970	35,6
	Nitra	6620	Liešťany	Nitrica	1957	136,08
	Nitra	6670	Krásna Ves	Bebrava	1968	63,07
Transekt 2	Váh	5336	Malužiná	Boca	1970	82,88

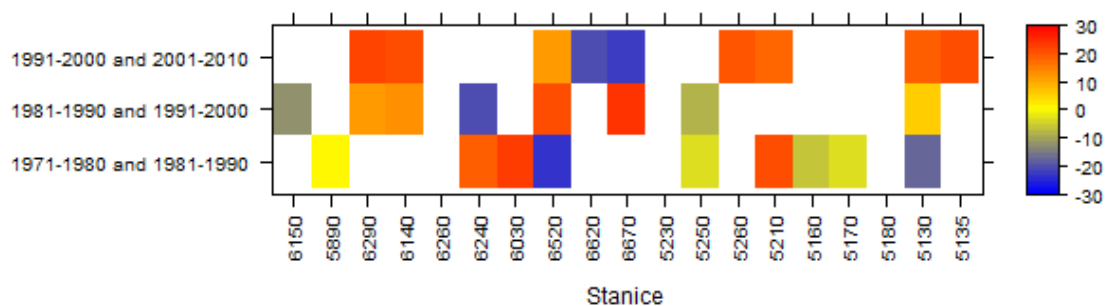
Váh	5460	Račkova Dolina	Račkový p.	1963	35,51
Váh	5520	Liptovský Ján	Štiavnica	1963	61,79
Váh	5540	Iľanovo	Iľanovianka	1969	14,73
Váh	5590	Demänová	Demänovka	1969	49,63
Váh	5650	Prosiek	Prosiečanka	1969	13,4
Váh	5660	Horáreň Hluché	Palúdzanka	1970	21,5
Váh	5680	Liptovský Sv. Kríž	Palúdzanka	1969	41,82
Váh	5720	Liptovské Vlchy	Kľačianka	1962	27,17
Váh	5840	Trstená	Oravica	1961	129,95
Hron	7065	Mýto p/Ďumbierom	Štiavnička	1923	47,1
Hron	7070	Dolná Lehota	Vajskovský p.	1924	53,02

Na obrázku 5 sú znázornené výsledky analýzy Burnovho indexu pre transekt 1, ktorý prechádzal stanicami s maximálnymi ročnými prietokmi, vyskytujúcimi sa prevažne v zimnej sezóne. Priemerný dátum výskytu maximálnych ročných prietokov je znázornený bodmi podľa priloženej farebnej škály a variabilita výskytu je znázornená v odtieňoch šedej pre prehľadnejšie sledovanie potenciálnej zmeny vo výskyte maximálnych ročných prietokov. Variabilita výskytu maximálnych ročných prietokov bola nízka (menej ako 0,5) vo väčšine zobrazených prípadov (Obr. 5), a preto je pravdepodobné, že maximálne ročné prietoky sa vyskytovali pomerne rovnomerne počas celého roka, a ich výskyt sa riadi podľa iného rozdelenia. Najčastejšími mesiacmi výskytu maximálnych ročných prietokov na transekte 1 sú podľa obrázka 5 mesiace február, marec a apríl.



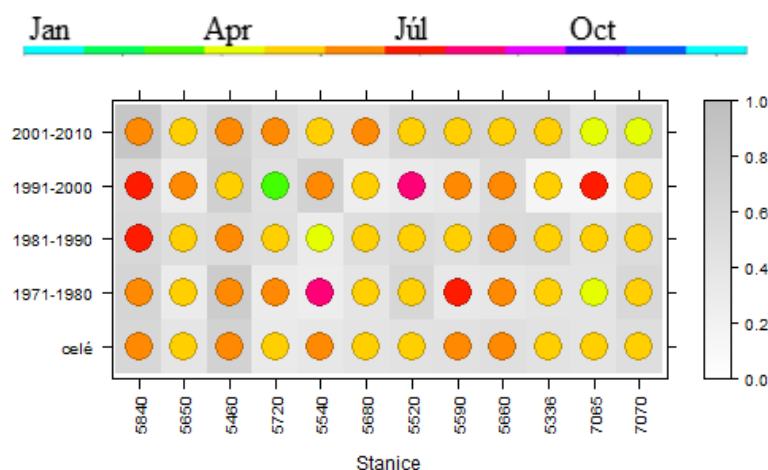
Obrázok 5 - Výsledky analýzy sezonality na transekte 1 v rôznych časových obdobiach, priemerný deň výskytu – farebná legenda, variabilita výskytu – šedá legenda

Ďalej sme skúmali počet dní, o koľko nastal posun vo výskyte prietokov medzi jednotlivými desaťročiami. Obrázok 6 znázorňuje zmenu v počte dní roku, ktorá nastala za ± 30 dní od pôvodného priemerného dátumu výskytu. Tento počet dní, bol vybraný z dôvodu detailnejšieho zobrazenia zmeny v menšom časovom období, keďže bol testovaný aj predpoklad, že keď nastane potenciálna zmena, jej veľkosť sa bude pohybovať v dňoch a týždňoch a nie mesiacoch. Z grafu je viditeľný posun vo výskyte maximálnych ročných prietokov k neskoršiemu dátumu výskytu maximálnych ročných prietokov v sezóne vo všetkých staniaciach okrem staníc 6620 a 5230.



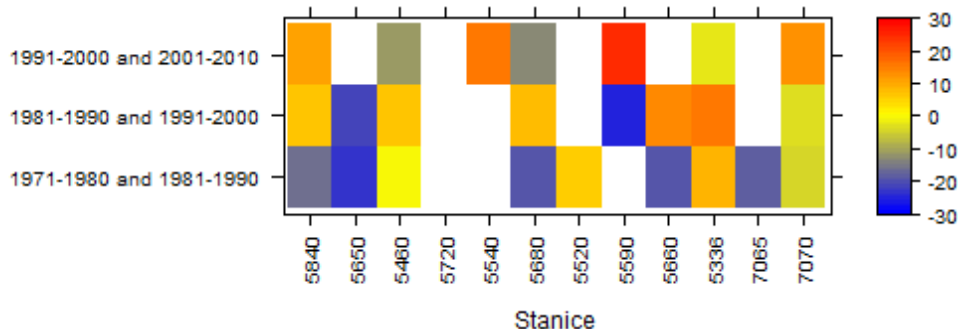
Obrázok 6 - Porovnanie zmeny v sezonalite na transekte 1 počas 30 dní. Červená – skorší dátum výskytu, modrá – neskorší dátum výskytu, biela – zmena viac ako 30 dní

Výsledky analýzy Burnovho indexu pre transekt 2 sú zobrazené na obrázku 7. Transekt 2 prechádzal stanicami s maximálnymi ročnými prietokmi, vyskytujúci sa prevažne v letnej sezóne. Variabilita výskytu maximálnych ročných prietokov bola vyššia ako pre transekt 1, vo väčšine prípadov (Obr. 7) presahovala hodnotu 0,5, teda výskyt väčšiny pozorovaných maximálnych ročných prietokov spadol prevažne do rovnakého obdobia. Mesiacmi s najčastejším výskytom maximálnych ročných prietokov boli v tomto prípade máj a jún.



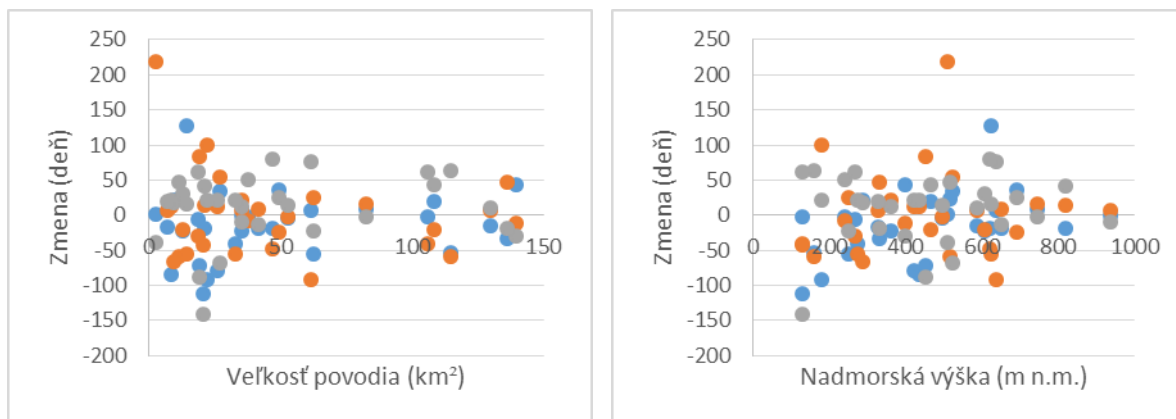
Obrázok 7 - Výsledky analýzy sezonality na transekte 2 v rôznych časových obdobiach, priemerný deň výskytu – farebná legenda, variabilita výskytu – šedá legenda

Obrázok 8 znázorňuje zmenu v počte dní roku, ktorá nastala za ± 30 dní od pôvodného dátumu výskytu. Z grafu je viditeľný posun vo výskyte maximálnych ročných prietokov k neskoršiemu dátumu výskytu maximálnych ročných prietokov v sezóne v staniach 5840, 5590 a 7070. V staniach 5460, 5680, a 5336 môžeme pozorovať posun k skoršiemu dátumu výskytu maximálnych ročných prietokov.



Obrázok 8 - Porovnanie zmeny v sezonalite na transekte 2 počas 30 dní. Červená – skorší dátum výskytu, modrá – neskorší dátum výskytu, biela – zmena viac ako 30 dní

Obrázok 9 znázorňuje pomer zmeny dátumu výskytu maximálnych ročných prietokov k veľkosti povodia (vľavo) a k nadmorskej výške (vpravo). Z grafu je zrejmé, že so zväčšujúcou sa veľkosťou povodia sa znižuje veľkosť zmeny v dňoch, zatiaľ čo pri nadmorskej výške sa zdá, že nemá vplyv na veľkosť zmeny v dňoch.



Obrázok 9 - Porovnanie veľkosti zmeny priemerného dňa výskytu maximálnych ročných prietokov k veľkosti povodia (vľavo) a nadmorskej výške (vpravo), modrá obdobia: 1971 – 1980 a 1981 – 1990, oranžová: 1981 – 1990 a 1991 – 2000, šedá: 1991 – 2000 a 2001 – 2010

5. ZÁVER

V článku bola analyzovaná sezonalita výskytu maximálnych ročných prietokov pre celé Slovensko s dôrazom na vybrané dva transekty. Pozorovania vo všetkých staniách boli dlhšie ako 40 rokov a veľkosť povodí nepresahovala 150 km².

Analýza sezonality indexom sezonality odhalila prevahu výskytu maximálnych ročných prietokov v letnej sezóne v oblasti Vysokých a Nízkych Tatier, zimné prietoky boli pozorované na zvyšku územia. Pri analýze troch najvyšších prietokov tým istým indexom sezonality bolo odhalené výraznejšie zastúpenie maximálnych ročných prietokov v letnej sezóne, a taktiež, že pre značnú časť územia sa tieto tri maximálne ročné prietoky nevyskytli iba v jednej sezóne.

Ďalej bolo pristúpené k analýze sezonality pomocou Burnovho indexu pozdĺž dvoch transektov, ktoré boli vybrané na základe predchádzajúcich analýz. Transekt 1 prechádzal územím s prevahou maximálnych ročných prietokov v zimnom období a transekt 2 cez oblasť letnej sezóny. Burnov index bol rátný pre 40 rokov v desaťročiach a pre celé pozorované obdobia. Analýza sezonality odhalila prítomnosť slabej variability výskytu maximálnych ročných prietokov na transekte 1 a možnosť iného ako unimodálneho rozdelenia týchto prietokov. Pre transekt 2 bola variabilita výskytu prietokov vyššia a mesiacmi s najčastejším výskytom maximálnych ročných prietokov boli máj a jún. Výsledky analýzy variability výskytu sa pomerne dobre zhodujú so silou určenou predchádzajúcou analýzou indexu sezonality, kde v prípade pre celé pozorované obdobie, a zvlášť pre tri najvyššie prietoky, bola na staniách transektu 2 určená letná sezóna výskytu maximálnych ročných prietokov. Pri analýze pomeru veľkosti zmeny v dňoch k veľkosti povodia bol zistený vzťah medzi narastajúcou veľkosťou povodia a veľkosťou zmeny v dňoch.

6. POĎAKOVANIE

Spracovanie článku bolo podporené projektom APVV č.0015-10. Autorka týmto ďakuje za podporu projektu. Poďakovanie patrí aj štipendiu Ernsta-Macha udeľovaným OeAD – Austrian Agency for International Cooperation in Education & Research, financované BMWF.

7. POUŽITÁ LITERATÚRA

BLACK, A.R., WERRITTY, A. Seasonality of flooding: A case study of North Britain, *Journal of Hydrology*. 1997, roč.195, s.1-25.

BURN, D.H. Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach, *Water Resources Research*. 1990, roč.26, č.10, s. 2257-2265.

COLLINS, M. J. , KIRK, J. P., PETTIT, J., DEGAETANO, A. T. , MCCOWN, M.S., PETERSON, T. C., MEANS, T. N., ZHANG, X. Annual floods in New England (USA) and Atlantic Canada: Synoptic climatology and generating mechanisms, *Physical Geography*, 2014, roč. 35, č.3, s.195-219.

J. HALL, B., ARHEIMER, M., BORGA, R., BRÁZDIL, P., CLAPS, A., KISS, T. R. KJELDSSEN, J., KRIAUCIUNIENE, Z. W., KUNDZEWICZ, M., LANG, M. C., LLASAT, N., MACDONALD, N., MCINTYRE, L., MEDIERO, B., MERZ, R., MERZ, P., MOLNAR, A., MONTANARI, C., NEUHOLD, J., PARAJKA, R., A. P., PERDIGÃO, L., PLAVCOVÁ, M., ROGGER, J. L., SALINAS, E., SAUQUET, C., SCHÄR, J., SZOLGAY, A., VIGLIONE, G., BLÖSCHL Understanding flood regime changes in Europe: A state of the art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2013, roč.10, č.12, s.15525-15624.

KOUTROULIS, A.G., TSANIS, I.K., DALIAKOPOULOS, I.N Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete, *Journal of Hydrology*, 2010, roč. 394, s. 90-100.

PARAJKA, J., KOHNOVÁ, S., BÁLINT, G., BARBUC, M., BORGA, M., CLAPS, P., CHEVAL, S., DUMITRESCU, A., GAUME, E., HLAVČOVÁ, K., MERZ, R., PFAUNDLER, M., STANCALIE, G., SZOLGAY, J., BLÖSCHL, G. Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine – Carpathian range. *Journal of Hydrology*. 2010, roč. 394, s. 78-89.

PETERSEN, T., DEVINENI, N., SANKARASUBRAMANIAN, A. Seasonality of monthly runoff over the continental United States: Causality and relations to mean annual and mean monthly distributions of moisture and energy. *Journal of Hydrology*. 2012, roč. 468-469 ,s.139-150.

PETROW, T., MERZ, B. Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002. *Journal of Hydrology*, 2009, roč. 371, s. 129-141.

VORMOOR, K., LAWRENCE, D., HEISTERMANN, M., BRONSTERT, A. Climate change impacts on the seasonality and generation processes of floods in catchments with mixed snowmelt/rainfall regimes: projection and uncertainties. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 2014 , roč. 11, s. 6273-6309.

Ing. Katarína Jeneiová, MSc.

Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

E-mail: dagmar.stojkovova@gmail.com

Abstract

Analysis of long term hydrological data is becoming more and more important and frequent in the world thanks to observed increased extreme floods worldwide. In the article seasonality analysis of occurrence of annual maximum discharge series across Slovakia with accent on two chosen transects with help of seasonality index, mean day of occurrence and variability of occurrence in spatial and temporal context was concluded. The observations in the gauges were longer than 40 years and catchment size was of maximum 150 km².

Seasonality analysis by seasonality index revealed occurrence of summer season maximum annual discharges in the area of Vysoké and Nízke Tatry, winter season was observed on the rest of the area. While analysing 3 highest peaks observed in each gauge by the same seasonality index it was found out, that there is more profound appearance of summer season annual maximum discharges, and the fact that for a large part of Slovakia these peaks have not a clearly defined seasonality.

Further analysis by Burn index along 2 transects was concluded. Transect 1 was chosen across the area with predominance of winter season flows and transect 2 with summer season flows. Burn's index was calculated for 40 year long time period divided into decades and for the whole observed time period. Seasonality analysis found out weak presence of variability of occurrence of maximum annual flows at transect 1 and therefore the possibility of other than just unimodal flow division. For transect 2 variability of occurrence was more defined and the mean months of occurrence were May and June. Results of these analysis are in consensus with the previous seasonal index analysis, where for the whole observed time period and more visibly for 3 chosen peaks was at transect 2 found summer season of occurrence of annual maximum discharges. While analysing change in days to catchments size a relationship between the two was discovered.