

**ANALÝZA SEZÓNNOСТИ A DEKADICKÝCH ZMIEN ROČNÝCH KULMINAČNÝCH  
PRIETOKOV PRE VODOMERNÉ STANICE NACHÁDZAJÚCE SA V SLOVENSKO-  
POĽSKEJ OBLASTI KARPATSKÉHO OBLÚKA**

Romana Marková, Silvia Kohnová, Gabriel Földes

Cieľom štúdie bola analýza sezónnosti povodní v rámci slovensko-poľskej časti karpatského oblúka s použitím smerovej štatistiky. Povodne v karpatskom oblúku majú závažný dopad na sídla, dopravu a poľnohospodárstvo. Povodne vznikajú po dlhodobých výdatných dažďoch, topení snehu alebo pôsobení obidvoch faktorov. Skúmané vodomerné stanice sa nachádzajú v slovensko-poľskej časti karpatského oblúka. Spolu bolo spracovaných 169 vodomerných staníc konkrétne 41 slovenských vodomerných staníc a 128 poľských vodomerných staníc. V rámci sezónnosti bolo analyzované celé pozorované obdobie, ktoré má pre jednotlivé vodomerné stanice rozdielnu dĺžku radu pozorovania pričom pre slovenské vodomerné stanice sa dĺžka časového radu kulminačných prietokov pohybuje od 34 do 88 rokov a pre poľské vodomerné stanice sa dĺžka radu kulminačných prietokov pohybuje od 10 do 59 rokov. Analýza bola spracovaná taktiež pre tri, päť a desať najväčších kulminačných prietokov. Výsledky sezónnosti boli priestorovo zobrazené pre lepšie pochopenie príčin ich vzniku a výsledky sezónnosti rôznych dekád boli tabuľkovo spracované pre presnejšiu analýzu povodňového výskytu. Výsledky ukázali, že povodne v slovensko-poľskej oblasti Karpatských hôr sa vyskytujú najčastejšie v letných mesiacoch máji, júni a júli, pričom môžu byť spôsobené hlavne konvektívnymi zrážkami, ktoré spôsobujú privalové dažde prípadne topením snehu v oblasti Tatier.

KEĽÚČOVÉ SLOVÁ: smerová štatistika, Karpaty, povodne

**SEASONALITY AND DECADEAL CHANGES ANALYSIS OF THE MAXIMUM ANNUAL PEAK-DISCHARGE SERIES IN GAUGING STATIONS LOCATED IN THE SLOVAK-POLISH AREA OF THE CARPATHIAN MOUNTAINS.** The aim of the study was the examination of the seasonality of flooding across Slovak-Polish part of the Carpathian Mountain using directional statistics. Flooding in the Carpathian Mountains has some of its most serious impacts on settlement, transportation and agriculture. Floods are generated by prolonged heavy rainfall, snowmelt or both. Processed gauging stations are located in Slovak-Polish area of the Carpathian Mountains. Together there were processed 169 stream gauging stations, specifically 41 Slovakian stations and 128 Polish gauging stations. Within the seasonality there was analyzed the whole observed period with different length of maximum annual peak-discharge series for each stream gauging station, with the length of maximum annual peak-discharge series from 34 to 88 years for Slovakian stream gauging stations and with the length of maximum annual peak-discharge series from 10 to 59 years for Polish stream gauging stations. The analysis was also processed for three, five and ten largest annual maximum discharges. Seasonality results were spatially displayed for better understanding of their causes and seasonality analysis for different decades were processed tabular for more accurate analysis of flood occurrence. The results showed that the floods in the Slovak-Polish area of the Carpathian Mountains occur mostly in the summer months of May, June and July and they may be due to convective rainfall, causing torrential rains, or by snowmelt in the High Tatras.

KEY WORDS: directional statistics, Carpathian Mountains, floods

**Úvod**

Analýza sezónnosti patrí medzi základné štatistické spôsoby pomocou ktorých je možné lepšie ozrejmiť

a identifikovať príčiny vzniku povodní. Je taktiež dôležitá pri ozrejmovaní vzťahov týkajúcich sa frekvencie a veľkosti povodní a charakteristík konkrétneho povodia. Sezónnosť sa určuje na základe smerovej štatistiky

a spočíva v identifikácii priemerného dátumu výskytu povodňových situácií a indexu variability povodne ( $r$ ). Autori Bayliss a Jones (1993) vo svojej publikácii týkajúcej sa sezonality extrémnych hydrologických situácií vybraných metódou POT (Peak Over Threshold) vo Veľkej Británii definovali priemerný deň povodne a index variability povodne. Burn (1997) použil Burnov vektor na identifikáciu homogénnych regiónov v južných provinciách Kanady na základe ročných maxim prietokov v súvislosti s metódou vplyvného regiónu. De Michele a Rosso (2002) využili Burnov vektor na vyčlenenie homogénnych geografických regiónov v severozápadnej časti Talianska tak na základe zrážkomerných, ako aj na základe hydrometrických údajov. Čekal a Hladný (2008) sa zaoberali analýzou povodňového výskytu v Českej republike pomocou smerovej štatistiky podľa Burna pre 181 vybraných vodomerných staníc na tokoch Labe, Odra, Morava a Dyje za pozorované obdobie 1975 – 2000, pričom cieľom bolo nájsť a identifikovať periódy a regióny kde je vyššia frekvencia povodňového výskytu. Vstupnými veličinami boli povodňové prietoky reprezentované ich dennými priemerami v jednotnom referenčnom období 1975 – 2000. Zistili, že priemerný povodňový deň v rámci obdobia 1975 – 2000 v Českej republike je 24. apríl. Na základe smerových charakteristík, ako je priemerný deň výskytu povodní v priebehu roka vo vyšetrovanom povodí a index variability povodne ( $r$ ), je možné územie Českej republiky rozdeliť na oblasti podľa početnosti výskytu povodní v konkrétnom období roka. Autori Barbalić a Petras. (2012) použili na analýzu povodňovej sezonality 95 vodomerných staníc v Chorvátsku metódu Burnovho vektora a RVA (Range of Variability Approach) metódu pričom v rámci výsledkov sa zistilo, že podobná situácia ako v Chorvátsku je v rovinných územiach Rakúska, Švajčiarska, Slovenska a Rumunska, pretože index variability povodne nedosahuje hodnoty 0.8 ako je to napr. v vysokohorských častiach Rakúska a Švajčiarska (Alpy). Koutroulis et al. (2010) sa zaoberali sezónnosťou povodní a ich hydrometeorologických charakteristík na ostrove Kréta pre obdobie 1990 – 2007. Čunderlík a Burn (2001) rozvinuli teóriu indexov sezónnosti a zaviedli tzv. index podobnosti povodňového režimu, ktorý zahŕňa nielen charakteristiky sezónnosti, ale aj ďalšie informácie o režime kulminačných prietokov a podľa autorov je efektívnym nástrojom vo vyčlenení homogénnych hydrologických regionálnych typov. Parajka et al. (2009) sa zaoberali porovnaním sezonality zrážok a odtoku v Rakúsku a na Slovensku v rámci výskytu povodní, pričom zistili, že sezonalita vybraných hydrologických charakteristík (zrážky, odtok) je dôležitým indikátorom povodňových procesov, ale priestorovo sa značne líši. Taktiež zistili, že sezonalita extrémnych povodňových udalostí má tendenciu sa meniť s veľkosťou povodní. Parajka et al. (2010) použili index sezónnosti na identifikáciu hlavných klimatických a fyzikogeografických činiteľov ovplyvňujúcich tvorbu povodní pre oblasť Alpsko-Karpatského regiónu, ktorý zahŕňa Rakúsko, Francúzsko, Nemecko, Maďarsko,

Taliansko, Rumunsko, Slovensko, Švajčiarsko a Ukrajinu. Na Slovensku sa sezonalite venovali viacerí autori, pričom hlavným cieľom bolo vyčlenenie homogénnych regiónov pre potreby manažmentu povodňovej ochrany, regionálna frekvenčná povodňová analýza alebo lokalizácia povodí potencionálne ohrozených povodňovým rizikom. Chalušová (2004) skúmala spojenie medzi sezónnosťou povodňového výskytu a synoptickými situáciami. Čunderlík (1999) ako prvý aplikoval sezonalitu na ročné maximálne prietoky pre slovenské povodia do roku 1997 s cieľom regionalizácie. Kriegerová a Kohnová (2005) sa zaoberali sezónnosťou výskytu maximálnych ročných a sezónnych (letných a zimných) prietokov pre vyčlenenie regiónov ohrozených povodňami. Jeneiová (2015) sa venovala analýze sezónnosti výskytu kulminačných prietokov pre 138 vodomerných staníc na Slovensku pričom bol využitý fixný časový interval (1971 – 2010) a taktiež boli skúmané dekadne zmeny výskytu sezónnosti kulminačných prietokov. V tomto príspevku sme sa zamerali na analýzu sezónnosti a dekadických zmien sezónnosti pre maximálne ročné kulminačné prietoky s cieľom lepšieho pochopenia príčin ich vzniku a výskytu.

### Metodické postupy

Sezónnosť povodní je možné efektívne popísať viacerými spôsobmi, ako napr. metódou smerovej štatistiky, metódou čiar kumulatívnych početností výskytu povodní alebo metódou povodňového indexu (Čekal a Hladný, 2009). V príspevku bola na analýzu povodňovej sezónnosti využitá metóda smerovej štatistiky (Mardia, 1972; Fisher, 1993; Bayliss a Jones, 1993; Burn, 1997). Základnými charakteristikami sú 2 parametre:  $\theta$  – priemerný dátum výskytu povodňových udalostí a  $r$  – index sezónnej koncentrácie prietokov. Hodnota  $\theta$  je určená v radiánoch a nadobúda hodnoty od 0 do  $2\pi$ . Hodnota  $r$  je bezrozmerné číslo, nadobúda hodnoty od 0 po 1 (ak  $r = 0$  prietoky sú rozložené rovnomerne počas celého roka a ukazujú na veľký rozptyl výskytu povodňových prípadov behom roka,  $r = 1$  prietoky sa vyskytli v ten istý deň roka a vykazujú vysokú mieru sezónnosti). Základný vzťah na výpočet priemerného dátumu výskytu povodňových udalostí je nasledovný:

$$\theta = D_i * \frac{2\pi}{365}, \quad (1)$$

kde:

$D_i$  – dátum výskytu prietokov transformovaný na uhly.

Súradnice  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$  pre  $n$  dní  $i$  sú vyjadrené ako (Burn, 1997):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i \cos(\theta_i) \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_i \sin(\theta_i) \quad (3)$$

Priemerný uhol je potom určený pre 1. a 4. kvadrant,  $x > 0$

$$\theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right). \quad (4)$$

Priemerný uhol pre 2. a 3. kvadrant,  $x < 0$

$$\theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi. \quad (5)$$

Pre index sezónnej koncentrácie prietokov  $r$  (index variability povodne) platí (Burn, 1997):

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}. \quad (6)$$

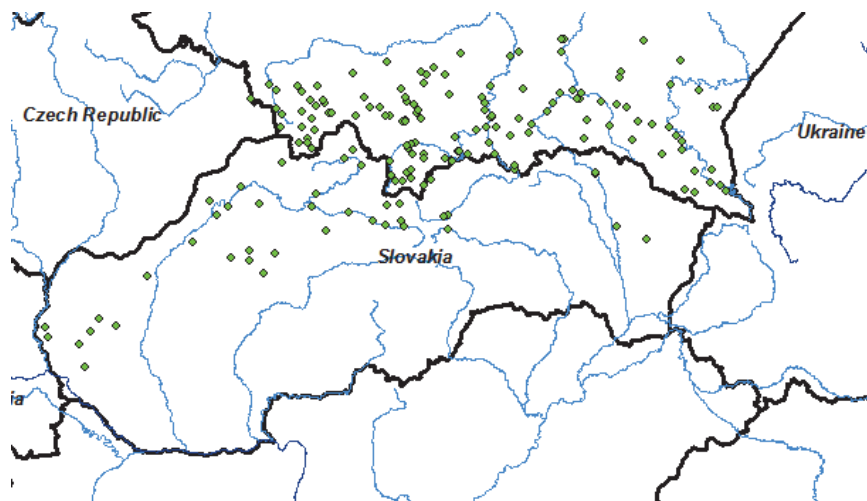
### Vstupné údaje

Vstupné údaje pri analýze sezónnosti tvorí 169 vodomerných staníc, ktoré sú lokalizované v rámci územia Karpatského oblúka. Použité vodomerné stanice sa nachádzajú na Slovensku a v Poľsku. Pre každú vodomernú stanicu boli k dispozícii rady maximálnych ročných kulminačných prietokov rôznych časových období, plocha povodia, zemepisná šírka a zemepisná dĺžka (obr.1, tab.1). Vstupné údaje boli použité na analýzu sezónnosti pomocou programu R (Ihaka and Gentleman, 1996).

Analyzovaná oblasť karpatského systému predstavuje horský európsky systém s dĺžkou 1500 km a pokrývajú-

ci plochu 200 000 km<sup>2</sup> (Kubijovič, 1984) s priemernou nadmorskou výškou 850 m. Severozápadné a južné časti s výškou nad 2000 m sú najvyššie a najmohutnejšie, s najvyšším bodom Gerlachovským štítom s výškou 2655 m n .m. Karpatský horský masív funguje ako prekážka cirkulácie vzduchových hmôt v celej Európe. Kvôli svojmu umiestneniu tvoria Karpaty bariéru medzi drsnejším kontinentálnym podnebím z východu, miernejším oceánskym podnebím zo západu, boreálnou klímou zo severu a stredomorskou klímou z juhu. Klíma celého Karpatského oblúka je mierne-kontinentálna s viacej extrémnymi podmienkami kontinentálnej klímy, ktoré sa zvyšuje smerom zo západu na východ. Vysokohorské klimatické pásmo Karpát sa vyznačuje chladnou a vlhkou klímou s hodnotami zrážok medzi 1800 – 2000 mm/rok pre oblasť severozápadných Karpát. Vo východných, južných a juhovýchodných Karpatoch sa zrážkový úhrn pohybuje medzi 1400 – 1600 mm/rok. Najvyššie množstvo zrážok v Karpatoch je zaznamenané v oblasti Vysokých Tatier a pohybuje sa od 2000 – 2400 mm/rok. Snehová pokrývka je prítomná 150 až 220 dní v roku. (UNEP, 2007)

Rieky v Karpatskej oblasti sú charakterizované dažďovo-snehovým režimom, pričom obdobia so zvýšenými vodnými stavmi sa vyskytujú na jar (marec – apríl) a v letnom období (jún – júl), pričom v letnom období sú zvyčajne silnejšie (Kondracki, 2009). Tieto povodne často nadobúdajú katastrofické rozmery hlavne kvôli nedostatočnej retencii povodia (Kondracki, 2009).



Obr. 1. Lokalizácia vybraných vodomerných staníc v rámci karpatského oblúka.  
Fig. 1. The location of selected gauging stations within the Carpathian Mountain.

Tabuľka 1. Základné charakteristiky vybraných vodomerných staníc  
Table 1. Main characteristics of selected gauging stations

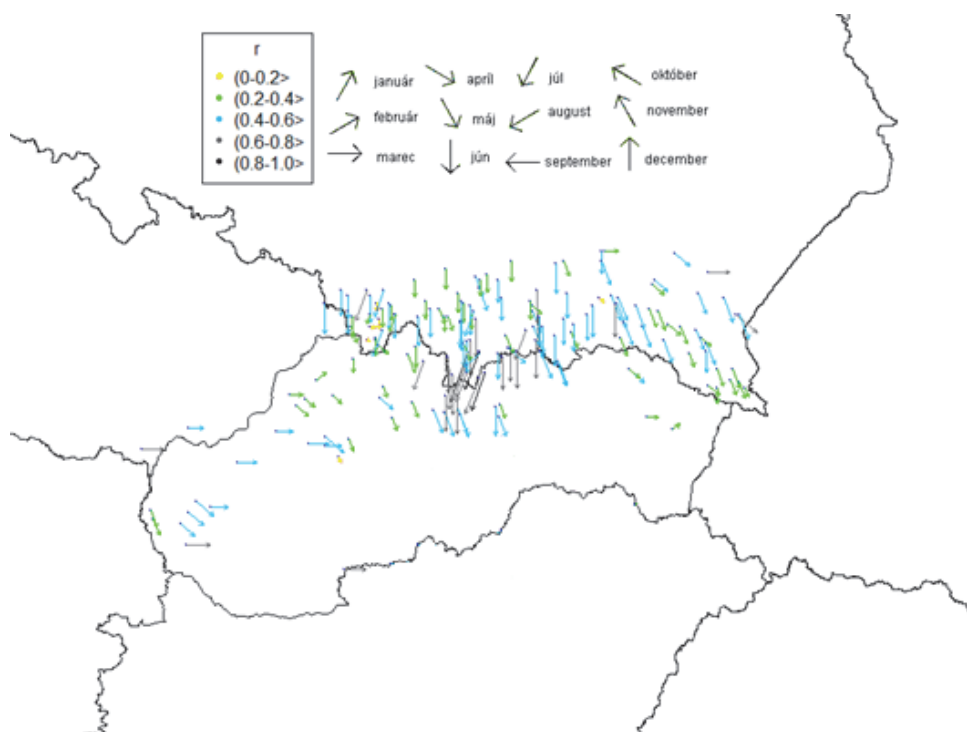
Analyzované krajiny	Počet spracovaných vodomerných staníc	Minimálna dĺžka časového radu (roky)	Maximálna dĺžka časového radu (roky)	Priemerná plocha povodia (km <sup>2</sup> )	Najdlhšie analyzované časové obdobie	Najkratšie časové obdobie
Slovensko	41	34	88	103,9	1923 – 2010	1962 – 1995
Poľsko	128	10	59	539,2	1951 – 2009	2000 – 2009

## Výsledky analýz

Analýza sezónnosti bola spracovávaná pre kulminačné prietoky pre vybrané stanice Karpatského oblúka na území Slovenska a Poľska. V rámci spracovania a vyhodnotenia sezónnosti vodomerných staníc bolo uvažované s celým pozorovaným obdobím, ktoré je premenlivé pre analyzované stanice, čo znamená, že dĺžka časového radu jednotlivých staníc je rozdielna (viď. Tab. 1), ale taktiež bola spracovaná analýza pre najväčšie tri, päť a desať kulminačných prietokov v rámci časového radu vodomerných staníc. Na obrázku 2 je vidieť priestorové zobrazenie sezónnosti pre vodomerné stanice za celé sledované obdobie. Hodnota  $r$  predstavuje index sezónnej koncentrácie prietokov (index variability povodní). Na obrázku 2 je zobrazená sezónnosť kulminačných prietokov pre jednotlivé vodomerné stanice nachádzajúce sa v v poľskej a slovenskej časti karpatského oblúka, pričom sme uvažovali s celým pozorovaným obdobím, ktoré má pre každú vodomernú stanicu inú dĺžku pozorovania. Východná časť poľských Karpát s nižšími nadmorskými výškami a väčším vplyvom kontinentálneho podnebia je charakteristická častým výskytom miernych povodní spôsobenými jarným topením snehu,

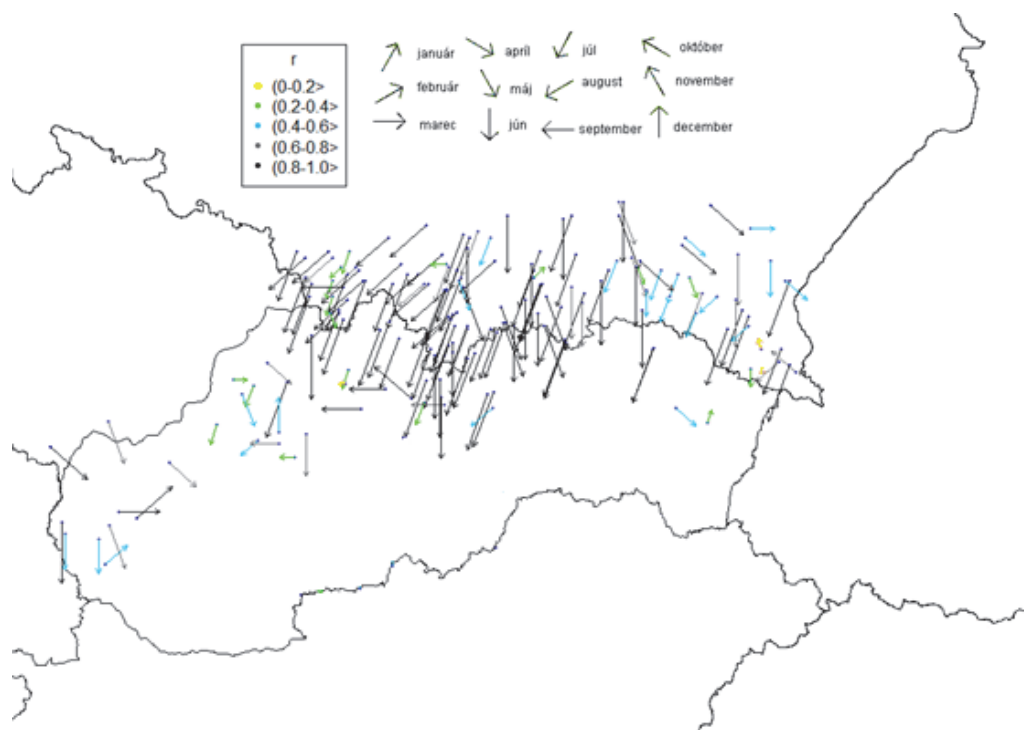
pričom menej časté sú veľké povodne spôsobené letnými zrážkami (Kundzewicz et al., 2016) a táto oblasť sa vyznačuje slabou až strednou sezónnosťou 0.2 – 0.6. V západnej časti poľských Karpát s vyššou nadmorskou výškou a s väčším vplyvom oceánskej klímy sú povodne spôsobené hlavne zrážkami v letnom období (Kundzewicz et al., 2016) a taktiež sa vyznačuje slabou až strednou sezónnosťou 0.2 – 0.6. V oblastiach s vyššou nadmorskou výškou, ako napr. v oblasti Vysokých Tatier nastáva topenie snehu v júni (Kundzewicz et al., 2016) a vyznačuje sa silnou sezónnosťou s hodnotami 0.8 – 1.0.

Z analýz sezónnosti pre tri najväčšie kulminačné prietoky, päť najväčších kulminačných prietokov a desať najväčších kulminačných prietokov pre skúmané vodomerné stanice je vidieť, že stanice v severnej časti Slovenska a na území Poľska sa vyznačujú veľmi silným indexom sezónnej koncentrácie prietokov (indexom variability povodne) v hodnotách 0.8 – 1.0. Priemerný dátum výskytu kulminačných prietokov sa v najväčšom množstve vyskytuje v mesiaci júl. Júlové extrémne povodne môžu byť v tejto oblasti spôsobené hlavne konvektívnymi zrážkami, ktoré spôsobujú prívalové dažde.



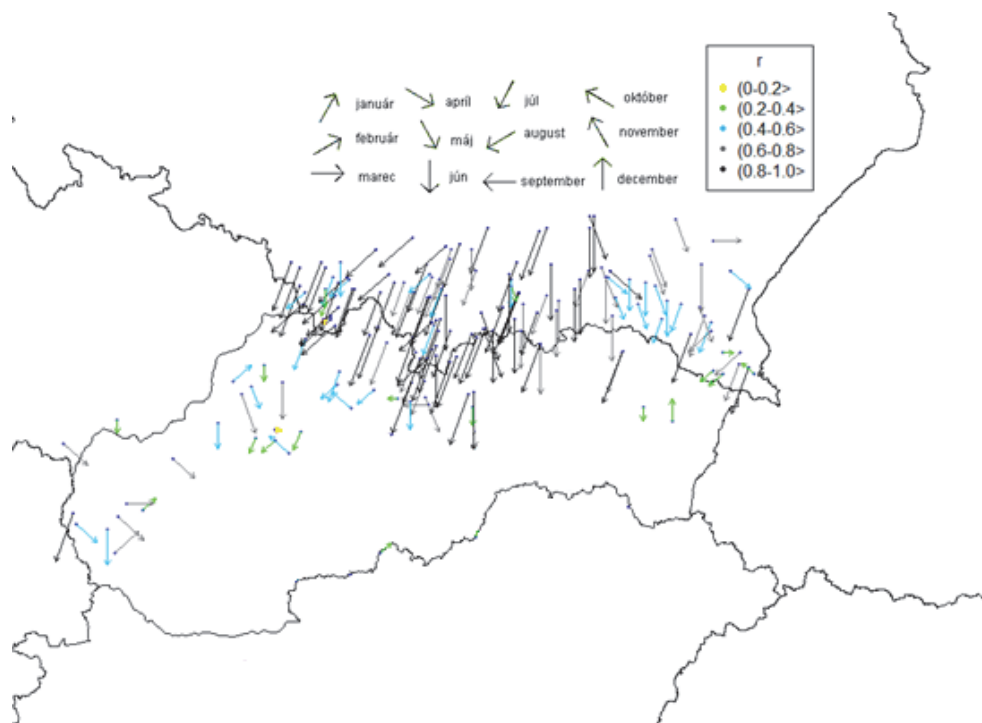
Obr. 2. Zobrazenie sezónnosti maximálnych ročných prietokov pre karpatský oblúk pre celé pozorované obdobie.

Fig. 2. Representation of seasonality for maximum annual flows in the Carpathian Mountains for whole observation period.



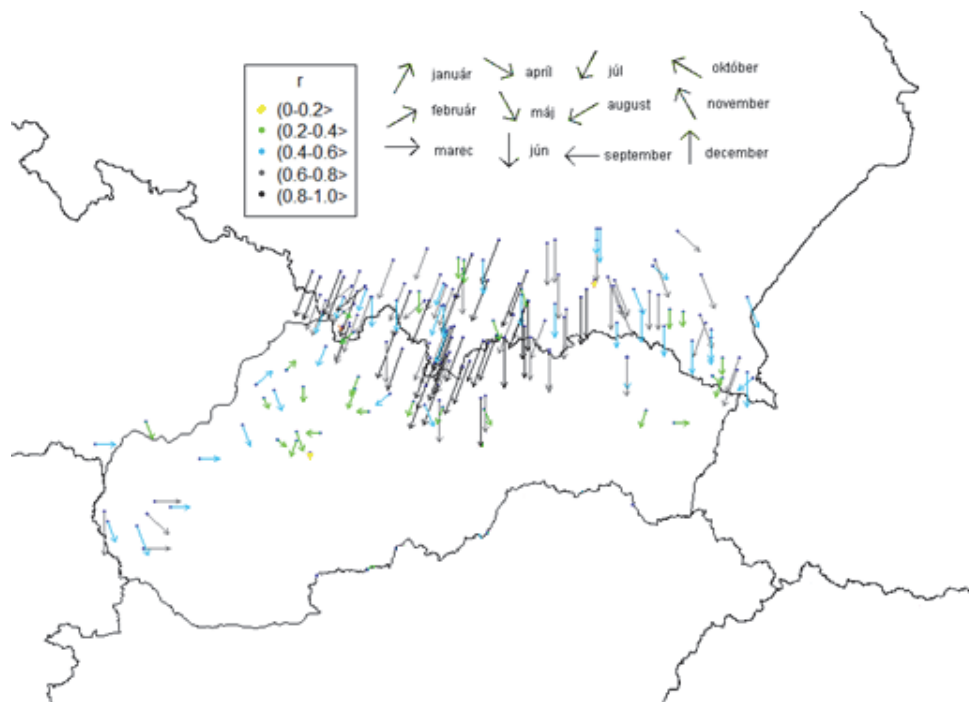
Obr. 3. Zobrazenie sezónnosti pre 3 najväčšie maximálne ročné prietoky pre karpatský oblúk.

Fig. 3. Representation of seasonality for 3 largest maximum annual flows in the Carpathian Mountains.



Obr. 4. Zobrazenie sezónnosti pre 5 najväčších maximálnych ročných prietokov pre karpatský oblúk.

Fig. 4. Representation of seasonality for 5 largest maximum annual flows in the Carpathian Mountains.



Obr. 5. Zobrazenie sezónnosti pre 10 najväčších maximálnych ročných prietokov pre karpatský oblúk.

Fig. 5. Representation of seasonality for 10 largest maximum annual flows in the Carpathian Mountains.

**Tabuľka 2. Analýza zmien sezónnosti pre celé analyzované obdobie, prvé tri, päť a desať najväčších prietokov**

**Table 2. Analysis of seasonal changes for whole analyzed period, three, five and ten largest annual maximum discharges**

Časové obdobie	najpočetnejší povodňový mesiac podľa Burna (1997)	priemerný index sezónnej koncentrácie $r$	druhý najpočetnejší povodňový mesiac podľa Burna (1997)	priemerný index sezónnej koncentrácie $r$
celé analyzované obdobie	jún	0,5	máj	0,4
prvé tri najväčšie prietoky	júl	0,8	jún	0,8
prvých päť najväčších prietokov		0,8		0,7
prvých desať najväčších prietokov		0,7		0,6

**Tabuľka 3. Analýza dekadických zmien sezónnosti pre vybrané vodomerné stanice**

**Table 3. Analysis of decadal seasonal changes for selected stream gauging stations**

časové obdobie	najpočetnejší povodňový mesiac podľa Burna (1997)	druhý najpočetnejší povodňový mesiac podľa Burna (1997)
obdobie 1960 – 1970	jún	júl
obdobie 1970 – 1980	júl	jún
obdobie 1980 – 1990	jún	máj
obdobie 1990 – 2000		
obdobie 2000 – 2010	jún	jún
obdobie 1960 – 1980		
obdobie 1960 – 1990		
obdobie 1960 – 2000		
obdobie 1960 – 2010	jún	máj

V rámci výsledkov bola spracovaná taktiež analýza dekadických zmien sezónnosti pre nasledovné obdobia 1960 – 1970, 1970 – 1980, 1980 – 1990, 1990 – 2000, 2000 – 2010, 1960 – 1980, 1960 – 1990, 1960 – 2000 a 1960 – 2010. Najpočetnejší povodňový mesiac podľa výpočtu podľa Burna (1997) je pre všetky analyzované dekády jún, pričom hlavná príčina sú konvektívne zrážky vo forme letných privalových dažďov, pričom vo vyšších nadmorských výškach môže ísť o topenie snehu.

## Diskusia a záver

Cieľom príspevku bola analýza zmien sezónnosti povodní pre slovensko-poľskú oblasť Karpát. Povodne v karpatskej oblasti majú závažný dopad na sídla, dopravu a poľnohospodárstvo. Povodne a povodňové riziko je čoraz častejšie skloňovaným pojmom a patrí medzi najčastejšie prírodné katastrofy v Európe (EEA, 2008). Ekonomické straty spôsobené povodňovým nebezpečenstvom sa v posledných desaťročiach podstatne zvýšili (Lugeri et al., 2010). Povodne je možné analyzovať podľa rôznych štatistických metód, pričom v príspevku bola použitá analýza sezónnosti pomocou metódy smerovej štatistiky (Mardia, 1972; Fisher, 1993; Bayliss a Jones, 1993; Burn, 1997). V rámci príspevku boli analyzované vodomerné stanice nachádzajúce sa v slovensko-poľskej časti karpatského oblúka, pričom spolu bolo analyzovaných 169 vodomerných staníc, konkrétne 41 slovenských a 128 poľských staníc. Pre každú vodomernú stanicu boli k dispozícii kulminačné prietoky a dátum kedy sa kulminačný prietok vyskytol. Následne boli dátumy maximálnych ročných prietokov pre vodomernú stanicu transformované do priemerného povodňového dňa a indexu sezónnej koncentrácie prietokov podľa Burna (1997). Analyzované bolo celé obdobie pozorovania ako aj najväčšie tri, päť a desať kulminačných povodňových prietokov v rámci časových radov. V príspevku boli tiež spracované dekadické zmeny sezónnosti pre obdobia 1960 – 1970, 1970 – 1980, 1980 – 1990, 1990 – 2000, 2000 – 2010, 1960 – 1980, 1960 – 1990, 1960 – 2000 a 1960 – 2010. Z výsledkov vyplýva, že povodne v karpatskej oblasti sa vyskytujú najmä v letnom období, čo môže byť spôsobené hlavne konvektívnymi zrážkami vo forme privalových dažďov. Výsledky príspevku môžu prispieť k lepšiemu porozumeniu vzniku povodní v karpatskej oblasti a prípadne ako podklady pri tvorbe plánov protipovodňovej ochrany pre povodia v tejto oblasti.

## Podakovanie

Článok vznikol vďaka podpore projektu VEGA 1/0710/15 a VEGA 1/0891/17.

## Literatúra

Barbalic, D., Petras, J. (2012): Seasonal occurrence of maxi-

mum annual flows in the Danube river basin in Croatia. *Gravenidar*, 64, (1), 33 – 38.

Bayliss, A.C., Jones, R.C. (1993): Peaks-over-threshold flood database: summary statistics and previous seasonality. Report No. 121, Institute of Hydrology, Wallingford, 61 p.

Burn, D.H. (1997): Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *J. Hydrol.*, 202(2): 212 – 230.

Čekal, R., Hladný, J. (2008): Analysis of flood occurrence seasonality on the Czech Republic territory with directional characteristics method. In *Acta Universitatis Carolinae 2008 Geographica*. ISSN 2336-1980, 2008, č. 1 – 2, s. 3 – 14

Čekal, R., Hladný, J. (2009): Povodne v krajine: Regionalizace povodí České republiky na základe sezónalnej analýzy výskytu povodní. Prednáška Univerzity Karlova v Prahe, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekologie.

Čunderlík, J. (1999): Regionálny odhad N-ročných prietokov vo vybraných povodiach Slovenska. [Doktorská dizertačná práca.] SvF STU Bratislava, 144 s.

Čunderlík, J.M., Burn, D.H. (2001): The use of flood regime information in regional flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal* 47(1): 77 – 92.

Čunderlík, J. M., Ouarda T. B. M. J., Bobée, B. (2004): Determination of flood seasonality from hydrological records. *Hydrological Sciences Journal*. 49(3): 511 – 526.

De Michele, C., Rosso, R. (2002): A multi-level approach to flood frequency regionalisation. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(2): 185 – 194.

EEA, (2008): Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. EEA Report No 4/2008, European Environment Agency, Copenhagen. ISBN 978-92-9167-372-8. 246 pp. doi:10.2800/48117.

Fisher, N.I. (1993): *Statistical Analysis of Circular Data*. Cambridge University Press, Cambridge. P. 277.

Chalušová, J., 2004: Príčinné atmosférické cirkulačné podmienky povodní v povodí Labe. 16. Konferencia mladých hydroológov. Zborník abstraktov. CD, SHMÚ, Bratislava.

Ihaka, R., Gentleman, R. (1996): R: a language for data analysis and graphic *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5: 299 – 314.

Jeneiová, K. (2015): Detekcia zmien v časových radoch maximálnych prietokov, Dizertačná práca, SvF STU v Bratislave.

Kondracki, J. (2009) Carpathian Mountains. *Encyclopædia Britannica*, [cit. 19. marec.2017]. Dostupné na web. stránke, world wide web: <http://www.britannica.com/place/Carpathian-Mountains>.

Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K., Daliakopoulos, I. N. (2010): Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *J. Hydrol.*, doi:10.1016/j.hydrol.2010.04.025.

Kriegerová, I., Kohnová, S. (2005): Seasonality analysis of flood occurrence in mid-sized catchments in Slovakia. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. ISSN 0042-790X, vol. 53, no.3, p. 154 – 163.

Kubijovyč, V. (1984): Carpathian Mountains. *Encyclopedia of Ukraine*. <http://www.encyclopediaofukraine.com/pages/C/A/CarpathianMountains.htm>.

Kundzewicz, Z.W., Stoffel, M., Niedzwiedz, T., Wyzga,

- B.(Eds.) (2016): Flood Risk in the Upper Vistula Basin, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, 2016. 418 s. ISBN 978-3-319-41922-0.
- Lugeri, N., Kundzewicz, Z.W., Genovese, E., Hochrainer, S., Radziejewski, M. (2010): River flood risk and adaptation in Europe-assessment of the present status. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(7), 621 – 639, doi:10.1007/s11027-009-9211-8.
- Mardia, K.V. (1972): *Statistics of Directional Data*. Academic Press, New York.
- Parajka, J., Kohnová, S., Merz, R., Szolgay, J., Hlavčová, K., Blöschl, G. (2009): Comparative analysis of the seasonality of hydrological characteristics in Slovakia and Austria, *Hydrological Sciences Journal*, 54, 3, 456 – 473.
- Parajka, J., Kohnová, S., Bálint, G., Barbuc, M., Borga, M., Claps, P., Cheval, S., Dumitrescu, A., Gaume, E., Hlavčová, K., Merz, R., Pfaundler, M., Stanalie, G., Szolgay, J., Blöschl, G. (2010): Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine-Carpathian range. *Journal of Hydrology*. roč. 394, s. 78 – 89.
- UNEP. (2007): *Carpathians Environment Outlook 2007*. 233s., ISBN 978-92-807-2870-5.

### SEASONALITY AND DECADAL CHANGES ANALYSIS OF THE MAXIMUM ANNUAL PEAK-DISCHARGE SERIES IN GAUGING STATIONS LOCATED IN THE SLOVAK-POLISH AREA OF THE CARPATHIAN MOUNTAINS

Hydrological extreme events like floods have devastating consequences on societal livelihood and welfare. In the last decades floods seems to have lashed more and more European population, so that more accurate studies concerning flood events tendencies are needed. The main aim of the article is seasonality analysis of the maximum annual peak-discharges in stream gauging stations located in the Slovak-Polish area of the Carpathian Mountains. The Carpathian Mountains represent the longest and most fragmented mountain chain in Europe. They include parts of the territory of the Czech Republic, Slovakia, Poland, Hungary, Ukraine, Romania and Serbia (UNEP, 2007). The identification of flood seasonality is a procedure with many practical applications in hydrology and water resources management (Čunderlik et al., 2004). Seasonality of the maximum annual peak-discharges was processed by directional statistics (Mardia, 1972; Fisher, 1993; Bayliss and Jones, 1993; Burn, 1997). In this study we processed 41 stream gauging stations located in Slovakia and 128 stream gauging stations located in Poland which are situated in the area of the Carpathian

Mountains. For each stream gauging station following information was available: series of maximum annual peak-discharges, the catchment area, latitude and longitude. The average basin area was 103.9 km<sup>2</sup> for stream gauging stations in Slovakia and 539.2 km<sup>2</sup> for stream gauging stations in Poland. In the western part of the Polish Carpathians, with higher elevations and more oceanic climate, floods are caused by summer rainfall (Kundzewicz et al., 2016). The eastern part of the Polish Carpathians, with lower elevations and more continental climate, is characterized by frequent occurrence of moderate, snow-melt floods in early spring and rare occurrence of large floods caused by summer rainfall (Kundzewicz et al., 2016). In higher parts of the Carpathians like the High Tatras, snowmelt is typical for June. Seasonality analysis was processed for whole observed period and for three, five and ten largest annual maximum discharges. The results showed that the floods in the Carpathian Mountains occur mostly in the summer months of May, June and July and may be due to convective rainfall, causing by torrential rains or snowmelt in the High Tatras.

Ing. Romana Marková  
Prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.  
Bc. Gabriel Földes  
Katedra vodného hospodárstva krajiny  
Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave  
Radlinského 11  
813 68 Bratislava  
Tel.: 0915 135 067  
E-mail: romana.markova@stuba.sk  
silvia.kohnova@stuba.sk  
xfoldes@is.stuba.sk