

Porovnanie dvoch regionálnych prístupov na určenie indexovej povodne pre regionálnu frekvenčnú analýzu prietokov

Romana Marková, Zuzana Némětová

1 Abstract

The water resources management plays an important role from various perspectives, i.e. the assessment of surface water availability for optimal allocation and utilization of the resource for future use, the protection of available water bodies from pollution, designing drainage systems, designing flood control measures or managing of integrated river basin management and for the production of renewable energy sources such as hydropower. For this purpose it is necessary to know complete characterization of the streamflow-regime and extensive hydrological characteristics. It's not big deal to obtain those characteristics where the observations are available. But what is much more important issue to solve is how to get the characteristic at locations where no measurements are available?

The capability to predict hydrological variables for ungauged basins represents an even more important factor than the characterization of the streamflow regime for gauged basins (Loucks D.P., 2005). Estimation of hydrological characteristics in river basins where hydrological measurements are not available is one of the fundamental tasks of engineering hydrology.

The Problem of Ungauged Basins (PUB) represent one of the most crucial problems in hydrology and related sciences (Sivapalan et al., 2003). That's why is really important to pay attention to this issue.

Estimates can be obtained by a range of methods (Blöschl et al., 2013).

The following methods are used in the paper: regional frequency analysis and top-kriging.

Regional frequency analysis was developed by Hosking and Wallis (1997) and represent an important and popular method for estimating different hydrological variables at ungauged sites or estimation at gauged sites where historical records are available. The crucial part of regional frequency analysis includes the pooling of catchments into homogeneous pooling groups. Top-kriging method is an interpolation geostatistical tool based on the traditional kriging techniques used for spatially interpolating a range of different hydrological variables (Skøien et al., 2006).

The aim of the study is to perform both methods for simulation of annual maximum flood for periods 1985-2010 and 1961-2010. Annual maximum instantaneous peaks are available for each station. Input data consists of 104 river basins situated in Slovakia. The area of river basin is in the range of 8.4 km² to 3821 km². Because one of the most important part of regional frequency analyses is to determine the optimal number of homogeneous regions for selected stations, for this purpose was used K-means method. According the method, eight homogenous pooling groups' clusters were determined. For each cluster, the homogeneity analysis was performed using a discordance rate and the Hosking and Wallis method.

Finally the results of estimated mean annual floods by pooling methods were compared with the observed data. Top-kriging provides better results by estimation of mean annual flood than classical index flood method.

Keywords: mean annual flood, cluster analysis, regional flood frequency analysis, top-kriging

1 Introduction

Odhad prietokov v povodiach kde sa neuskutočňujú hydrologické merania patrí k základným úlohám inžinierskej hydrologie. Je to dôležité hlavne pre praktické hydrologické úlohy ako napr. navrhovanie drenážnych systémov, navrhovanie protipovodňových opatrení alebo úlohy integrovaného manažmentu povodí. Na nepriamy odhad týchto prietokov je možné použiť viacero metód. V príspevku sú použité metódy regionálnej frekvenčnej analýzy a metóda top-kriging. Regionálna frekvenčná analýza bola pre aplikáciu v hydrologii navrhnutá autormi Hoskingom a Wallisom (1997) a uplatnila sa celosvetovo. Táto metóda sa používa hlavne na určovanie hydrologických návrhových veličín (N-ročné maximálne prietoky, k-denné úhrny zrážok). Regionálnou frekvenčnou analýzou sa v svetovej aj slovenskej literatúre zaoberalo viacero autorov. Zabret a Brilly (2014) aplikovali regionálnu frekvenčnú analýzu v rámci regionalizácie pre vybrané povodia v Slovinsku pričom použili metódu podľa Hoskinga a Wallisa (1997) a v rámci zhlukovej analýzy použili nehierarchickú metódu k-priemerov (K-means) a hierarchickú Wardovu metódu. Hailegeorgis a Alfreksen (2017) aplikovali regionálnu frekvenčnú analýzu na 26 nórske povodia za použitia rôznych metód na identifikáciu homogénnych regiónov. V príspevkoch od autorov Szolgay a Kohnová (1999) a Kohnová a Szolgay (2000) je použitá zhluková analýza na regionálnu frekvenčnú analýzu ročných a sezónnych maximálnych prietokov pričom ako typizačné premenné boli volené fyzickogeografické charakteristiky povodí, štatistické parametre čiar prekročenia maximálnych prietokov, ako aj charakteristiky sezónnosti výskytu maximálnych prietokov. Solín (2005) sa zaoberal odhadom Q_{100} pre malé slovenské povodia pričom vyčlenil štyri fyzickogeografické regionálne typy pomocou hierarchickej, nehierarchickej zhlukovej analýzy a aplikáciou logických princípov. Gaál a kol. (2009) sa zaoberal regionálnou frekvenčnou analýzou mimoriadnych úhrnov zrážok, ktorá je založená na odhade parametrov regionálneho rozdelenia pravdepodobnosti pomocou L-momentov a ktorú aplikoval v špecifických geograficko-klimatických podmienkach Slovenska. Metóda top-kriging je geoštatistická metóda, ktorá bola vyvinutá autormi Skøien a kol. (2006) pre predikciu hydrologických veličín (napr. prietok), ktoré sa vzťahujú na hydrografickú sieť. Je to interpolačná metóda založená na tradičných krigingových technikách. Autori Skøien a kol. (2006) aplikovali metódu top-kriging na 7000 rakúskych povodí na interpoláciu Q_{100} pričom krížovou validáciou sa potvrdilo, že interpolačné chyby pri top-krigingu sú menšie než pri bežnom krigingu. Autori Parajka a kol. (2015) sa zaoberali úlohou priestorovej hustoty staníc na predikciu denného odtoku pomocou metódy top-krigingu pre rakúske stanice pričom výsledky ukázali, že interpolácia pomocou top-krigingu vykazuje lepšie výsledky než regionalizácia pomocou hydrologického modelu ak hustota staníc presiahne 2 stanice na 1000 km^2 . Autori Laaha a kol. (2014) použili top-kriging pre predikciu nízkych prietokov pre rakúske povodia pričom túto metódu porovnávali s regionálnou regresnou metódou. V rámci výsledkov bol koeficient determinancie špecifických nízkych prietokov 0.75 pre top-kriging a 0.68 pre regionálnu regresnú metódu. Cieľom príspevku bolo odhad priemerného ročného maximálneho prietoku pre dve vybrané obdobia 1961-2010 a 1985-2010 na základe dvoch regionalizačných metód.

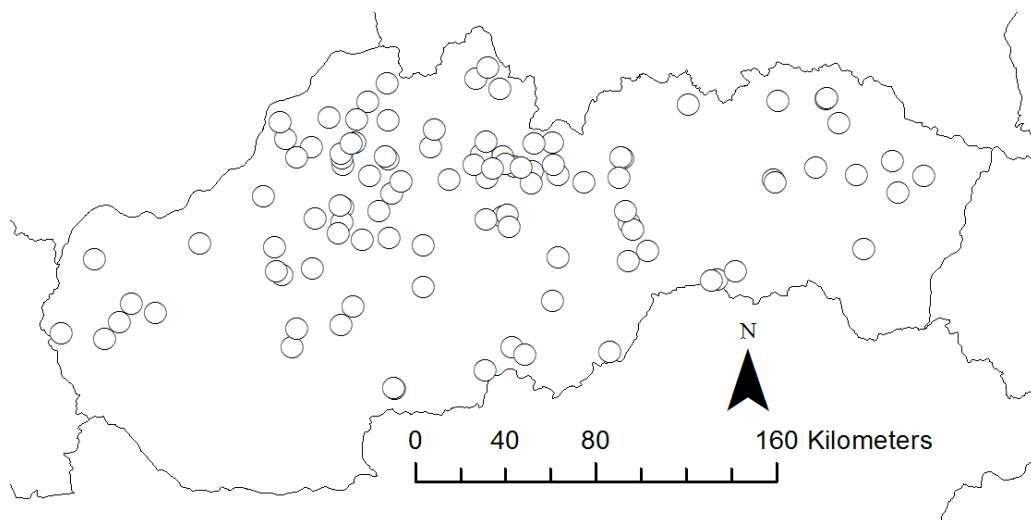
2 Layout

Vstupné údaje

Vstupné údaje tvorí 104 povodí nachádzajúcich sa na území Slovenska (Obr. 1). Pre každú vodomernú stanicu boli k dispozícii maximálne ročné kulminačné prietoky. Spracovávané obdobia sú 1961-2010 a 1985-2010 pričom ale jednotlivé stanice v rámci tohto obdobia nemajú konštantnú dĺžku pozorovania.

Plocha povodí sa pohybuje v rozmedzí 8.4 km^2 (vodomerná stanica Vydrná, tok Petrinovec) až 3821 km^2 (vodomerná stanica Banská Bystrica, tok Hron). Priemerná nadmorská výška pre jednotlivé povodia sa pohybuje v rozmedzí 259.4 m n.m. (vodomerná stanica Zohor, tok Suchý potok) až po 1571.9 m n.m. (stanica Račková dolina, tok Račková). Minimálna nadmorská výška pre jednotlivé

povodia sa pohybuje v rozmedzí 106.01 m n.m. (vodomerná stanica Horovce, tok Ondava) až po 922.4 m n.m. (vodomerná stanica Podbanské, tok Belá). Maximálna nadmorská výška pre jednotlivé povodia sa pohybuje v rozmedzí 529.4 m n.m. (vodomerná stanica Zohor, tok Suchý potok) až po 2606.4 m n.m. (stanica Chmelnica a Poprad-Matejovce, rieka Poprad). Priemerná, maximálna a minimálna nadmorská výška bola vypočítaná pomocou programu ArcGIS na základe digitálneho výškového modelu (grid 25x25m). Plochy jednotlivých krajinných prvkov (plocha ornej pôdy, plocha lesa, plocha urbanizovaných plôch) boli počítané v programe R studio na základe podkladovej mapy Corine Land Cover. Klimatické charakteristiky (dlhodobé priemerné denné teploty vzduchu (°C) za obdobie 1961-2010, dlhodobý priemerný denný úhrn zrážok (mm/deň) za obdobie 1961-2010) boli odvodené na základe mapových podkladov z databázy ECAD-EOBs.



Obrázok 1: Lokalizácia vybraných vodomerných staníc na území Slovenska.

Metodika

1.1 Regionálna frekvenčná analýza

Metóda indexovej povodne bola vyvinutá pre regionálnu frekvenčnú analýzu kulminačných prietokov autormi Dalrymple (1960) a Hoskingom a Wallisom (1997).

Pre správne použitie metódy indexovej povodne sú potrebné viaceré čiastkové postupy. Podstatným krokom je identifikácia homogénnych regiónov alebo regionálnych typov a testovanie ich vnútroregionálnej homogenity. Regionalizácia znamená proces vyčleňovania priestorových jednotiek, pre ktoré platí nejaký spoločný znak a ich oddeľovanie od jednotiek, pre ktoré spoločný znak neplatí. Regionalizácia a regionálna typizácia patrí medzi základné hydrologické nástroje. Sú používané na interpoláciu hydrologickej informácie medzi miestami s priamymi pozorovaniami hydrologických procesov do oblastí, kde tieto chýbajú.

Na identifikáciu regionálnych typov bola použitá jedna z najčastejšie používaných metód identifikácie regionálnych typov, t.j. zhluková analýza. Zhluková analýza patrí medzi numerické metódy zoskupovania povodí do skupín, pri ktorých sa do úvahy berú množiny hodnôt fyzicko-geografických charakteristík povodí, ktoré majú významný vplyv na priestorovú variabilitu hydrologických vlastností. Základom metódy je zlučovanie objektov do skupín (zhlukov) podľa ich podobných a rozdielných vlastností. Zhluková analýza sa člení na viacero typov a v príspevku bola použitá metóda patriaca do nehierarchického zhlukovania, tzv. metóda K-means.

Metóda K-priemerov (K-means) (Macqueen, 1967) patrí medzi najjednoduchšie, najpoužívanejšie a najstaršie zhlukovacie algoritmy. Pri tejto metóde je potrebné sa rozhodnúť o počte zhlukov pred

začatím analýzy. Keďže je to metóda je iteračná a nemusí konvergovať k tomu istému riešeniu. Každý objekt priradený k tomu zhluk, ku ktorému centru je najbližšie. Následne sa vypočítajú nové centrá zhlukov podľa nasledovného vzťahu:

$$C_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{x_k \in S_i} x_k, \quad (1)$$

kde S_i označuje i -ty zhluk, C_i centrum i -teho zhluk a x_k sú všetky objekty, ktoré patria do zhluk S_i . Symbol $|S_i|$ označuje počet prvkov zhluk S_i . Postup sa opakuje až dovtedy, pokiaľ sa ešte mení rozdelenie objektov do zhlukov.

Optimálny počet zhlukov bol určený pomocou metódy Siluet. Ide o štatistické kritérium, ktoré poskytuje informácie o optimálnom počte zhlukov (Meloun a kol., 2005).

Hodnotu siluety pre každú typizačnú premennú (S_i) sa vypočíta podľa vzorca:

$$S_i = \frac{(b_i - a_i)}{\max\{a_i, b_i\}}, \quad (2)$$

kde a_i je priemerná vzdialenosť i -teho bodu od ostatných bodov v zhluk, b_i je priemerná vzdialenosť od i -teho bodu k bodu v inom zhluk.

Priemerná šírka siluety sa vypočíta ako priemer všetkých hodnôt Siluety v zhluk

$$S_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s(i), \quad (3)$$

kde $s(i)$ je silueta, m je počet Siluet a S_j je priemerná silueta.

K identifikácii regionálneho rozdelenia pravdepodobnosti, aplikácii postupov regionálneho odhadu parametrov rozdelenia pravdepodobnosti je potrebné vyčleniť taký región alebo regionálny typ, ktorý spĺňa podmienku vnútornej homogenity. Existuje niekoľko spôsobov testovania vnútroregionálnej homogenity. V príspevku boli použité miera diskordancie a testovanie vnútroregionálnej homogenity metódou Hoskinga a Wallisa (1997) pomocou mier heterogenity.

Miera diskordancie podľa Hoskinga a Wallisa (1995) je často používanou štatistikou ukazujúcou na stupeň regionálnej homogenity. Používa sa na identifikáciu objektov, ktorých hodnoty L-momentových pomerov $L-C_v$, $L-C_s$ a $L-C_k$ sú diskordantné s ostatnými hodnotami v rámci daného vyčleneného regionálneho typu.

Nech máme N objektov v regionálnom type. Nech $u_i = [t^1, t^3, t^4]$ je vektor obsahujúci L-momentové pomery t , t_3 , t_4 pre objekt i , pričom T označuje transpozíciu. Nech

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i, \quad (4)$$

je aritmetický priemer vektorov u_i v danom regionálnom type. Maticu súčtov štvorcov odchýliek od regionálneho priemeru definujeme ako

$$A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T, \quad (5)$$

Pre objekt i sa potom definuje miera diskordancie podľa Hoskinga a Wallisa (1995):

$$D_i = \frac{1}{3} N (u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u}), \quad (6)$$

Objekt i je diskordantný, ak je jeho hodnota D_i veľká. Hraničné hodnoty D_i závisia od počtu objektov N v danom regionálnom type.

Tabuľka 1: Hraničné hodnoty D v závislosti od počtu objektov N v regionálnom type

N	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	≥ 15
D	1,33	1,65	1,92	2,14	2,33	2,49	2,63	2,76	2,87	2,97	3

V rámci testovania vnútroregionálnej homogenity Hosking a Wallis (1997) navrhli testy, ktoré sú založené na porovnávaní regionálneho rozptylu L-momentových pomerov v danom type s priemerným rozptylom L-momentových pomerov v homogénom regionálnom type. L-momentové pomery homogénneho regionálneho typu, ktoré sú ovplyvnené iba výberovou variabilitou sa získavajú mnohonásobnými Monte Carlo simuláciami. Miera heterogenity H_1 je definovaná ako:

$$H_1 = \frac{V_1 - \mu_V}{\sigma_V}, \quad (7)$$

kde μ_V je aritmetický priemer a σ_V je smerodajnou odchýlkou simulovaných hodnôt V_1 . V_1 je smerodajná odchýlka výberových L-Cv, vážená počtom rokov pozorovaní n_i na jednotlivých zrážkomerných staniách/ povodiach čiže:

$$V_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N n_i (r^{(i)} - r^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i}}, \quad (8)$$

Platí, že ak $H_i < 1$ ide o autormi označovaný homogénny typ, Ak je $1 \leq H_i \leq 2$ potom sa jedná o možnú heterogenitu a ak $H_i > 2$, typ je heterogénny.

Ak sú regióny už vyčlenené, hodnoty priemerného ročného maximálneho prietoku pre obdobie 1961-2010 a 1985-2010 je možné stanoviť v ľubovoľnom bode regiónu, ak je známy vzťah na určenie indexovej hodnoty a ak je zadefinovaná regionálna distribučná funkcia. Všeobecne sa na odhad indexovej hodnoty odporúčajú regresné metódy, pričom sa hľadá závislosť indexovej hodnoty od fyzicko-geograficko-klimatických charakteristík regiónu.

Pri odvodení regresných regionálnych vzťahov sa používa niekoľko modelov viacnásobnej regresie:

-lineárny model (aditívny tvar):

$$Z = a + b * Ch_1 + c * Ch_2 + d * Ch_3 \quad (9)$$

-nelineárny model (multipikatívny tvar):

$$Z = a * Ch_1^b * Ch_2^c * Ch_3^d, \quad (10)$$

kde Ch_n sú vybrané fyzicko-geografické a klimatické charakteristiky, ďalej a,b,c,d sú parametre regresného modelu.

1.2 Top-kriging

Metóda top-kriging je založená na klasickej metóde kriging. Kriging metóda patrí medzi interpolačné metódy, kde je hodnota určeného odhadu v bode x_0 vypočítaná podľa vzťahu:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i), \quad (11)$$

kde

n -počet bodov s priamym pozorovaním

$z(x_i)$ -pozorovania zvolené z okolia x_0

$z^*(x_0)$ -odhad skúmanej premennej v bode x_0

w_i -váhy určené na základe zvoleného modelu semivariogramu,

Metóda top-kriging na rozdiel od krigingu sa vyznačuje tým, že zohľadňuje topológiu riečnej siete a veľkosť prispievajúcich plôch na rozdiel od krigingu kde je zohľadnená len vzdialenosť medzi jednotlivými meraniami.

Pri použití metódy top-kriging sú merania definované na nenulovej ploche povodia označovanej ako A. Generovaný odtok ($z(A_1)$, $z(A_2)$, ..., $z(A_n)$) nemôže byť pozorovaný nepretržite v priestore ale je pozorovaný v konkrétnych bodoch (vodomerných staniách) pričom platí nasledovný vzťah podľa Skøien a kol. (2006) :

$$\bar{z}(A) = \frac{1}{A} \int_A w(x)z(x)dx, \quad (12)$$

kde:

$\bar{z}(A)$ - priestorovo spriemerovaná premenná

A-plocha povodia (km²)

w(x)-váhová funkcia, pričom sa uvažuje w(x) = 1

z(x)-meranie v bode x

Pri uvažovaní nenulovej plochy povodia systém rovníc krigingu zostáva rovnaký ale semivariacie γ medzi meraniami sa získavajú tzv. regularizáciou (Cressie, 1991) čo znamená vyhladenie bodového variogramu pomocou plochy A. Pri predpoklade existencie bodového variogramu γ_P sa semivariacie medzi dvoma meraniami s plochami povodí A_1 a A_2 pomocou regularizácie vypočítajú nasledovne [1]:

$$\gamma_{12} = 0.5 * \text{var}(z(A_1) - z(A_2)) = \frac{1}{A_1 A_2} \int_{A_1} \int_{A_2} \gamma_P(|x_1 - x_2|) dx_1 dx_2 - 0.5 * \left[\frac{1}{A_1^2} \int_{A_1} \int_{A_1} \gamma_P(|x_1 - x_2|) dx_1 dx_2 + \frac{1}{A_2^2} \int_{A_2} \int_{A_2} \gamma_P(|x_1 - x_2|) dx_1 dx_2 \right], \quad (13)$$

kde:

γ_P - bodový variogram

A_1, A_2 - plochy povodia (km²)

x_1, x_2 -polohové vektory v rámci každého povodia použitého na integrovanie

Bodový variogram γ_P je podľa autorov Skøien a kol. (2003) definovaný na základe kombinovaného exponenciálneho typu variogramu:

$$\gamma_P(h) = ah^b \left(1 - e^{-\left(\frac{h}{c}\right)^d} \right) + C_0, \quad (14)$$

kde:

a-variancia náhodnej premennej označovaná ako sill

C_0 - nugget efekt

h-(lag) vzdialenosť danej dvojice bodov

b, d- sklony variogramu pri malých a veľkých vzdialenostiach

c-korelačná dĺžka

Výsledky

V rámci výsledkov regionálnej frekvenčnej analýzy bola jedna z najdôležitejších úloh určenie optimálneho počtu homogénnych regiónov pre vybrané stanice. Optimálny počet homogénnych regiónov bol určený pomocou metódy k-means pričom ako vstupné charakteristiky boli použité priemerný sklon povodia (stupne), dlhodobý priemerný denný úhrn zrážok (mm/deň) za obdobie 1961-2010, index sezónnej koncentrácie prietokov r (index variability povodne), plocha lesa (% celkovej plochy povodia)

Ako optimálny počet zhlukov bolo zvolených 8 zhlukov pomocou metódy k-means. Počet zhlukov 8 bol zvolený preto aby bolo v každom zhluku dostatočný počet staníc.

Tabuľka 1: Optimálny počet zhlukov podľa metódy k-means

Počet zhlukov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Hodnota silhouete	0.00	0.28	0.29	0.27	0.27	0.23	0.28	0.31	0.29	0.32
-------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

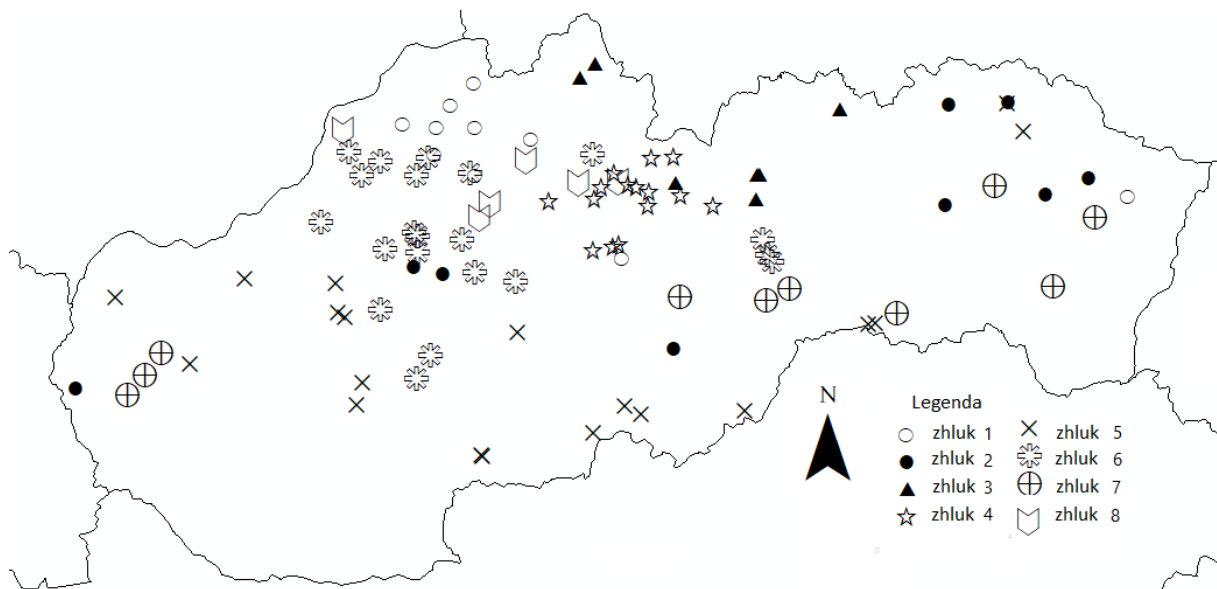
Na obrázku 2 sú priestorovo znázornené regióny, ktoré boli určené podľa k-means zhľukovania a na obrázku 3 je znázornený len daný vybraný región 1. V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty mier heterogenity pre región 1. Všetky stanice v regióne 1 mali hodnoty diskordancie menšie než hraničná hodnota (viď Tabuľka 3) preto je možné všetky použiť na regionálnu frekvenčnú analýzu.

Tabuľka 2: Miery homogeneity pre region 1

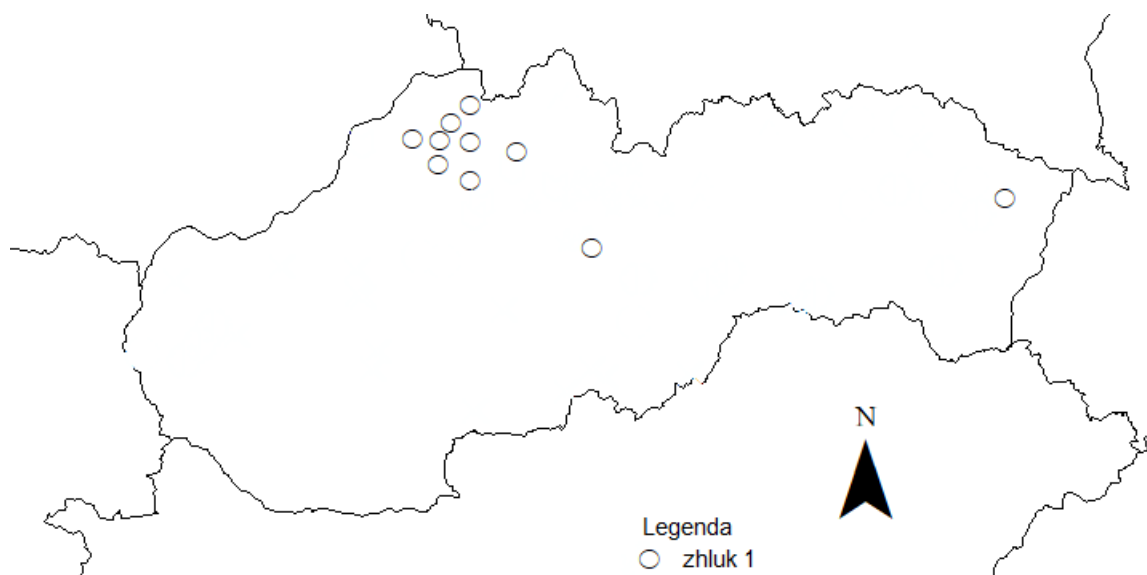
	počet staníc	H ₁	H ₂	H ₃	Hraničná hodnota diskordancie v závislosti od počtu objektov N v zhľuku
Región 1	10	0.29	-1.16	0.38	2.49

Tabuľka 3: Miery diskordancie pre region 1

	Miery diskordancie									
Región 1	1.48	0.17	1.03	0.25	0.96	1.07	1.28	0.57	2.32	0.87

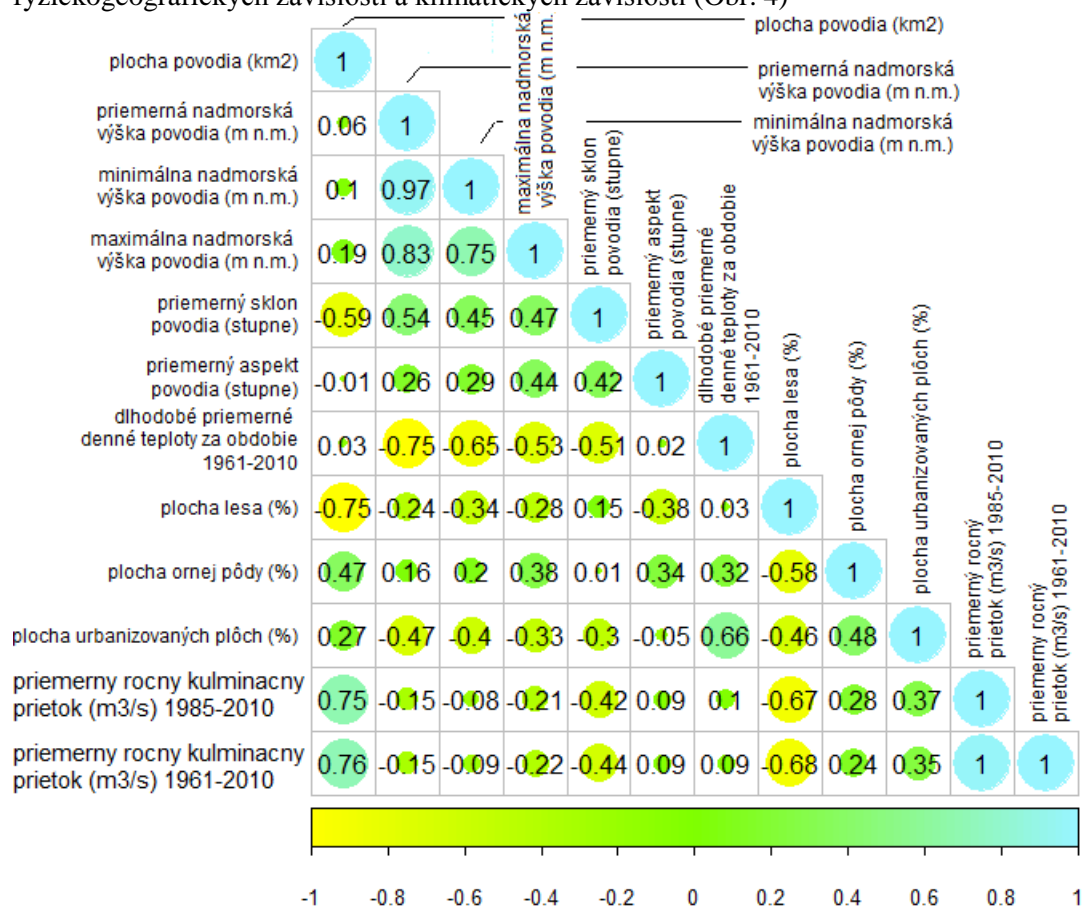


Obrázok 2: Zobrazenie zhľukov v rámci Slovenska.



Obrázok 3: Zobrazenie zhuku 1 v rámci Slovenska

V ďalšej časti sme sa zamerali na region č. 1 pre ktorý bola vytvorená korelačná matica závislosti priemerného ročného kulminačného prietoku (obdobie 1961-2010 a 1985-2010), fyzickogeografických závislostí a klimatických závislostí (Obr. 4)



Obrázok 4: Korelačná matica závislosti priemerného ročného kulminačného prietoku pre dve vybrané obdobia 1985-2010 a 1961-2010, fyzickogeografických charakteristík a klimatických charakteristík.

Odhad indexovej povodne (priemerný ročný kulminačný prietok pre 1985-2010 a priemerný ročný kulminačný prietok pre 1961-2010) bol spracovaný pomocou viacnásobnej regresie:

$$Q_{1985-2010} = e^{30.2930} \cdot \text{SKLON}^{-1.6010} \cdot \text{LES}^{-5.3069} \quad (15)$$

$$Q_{1961-2010} = e^{32.1365} \cdot \text{SKLON}^{-1.8719} \cdot \text{LES}^{-5.5740} \quad (16)$$

Tabuľka 4: Porovnanie výsledkov pozorovaného a odhadovaného priemerného ročného kulminačného prietoku pre zhluk č. 1 pre obdobie 1985-2010

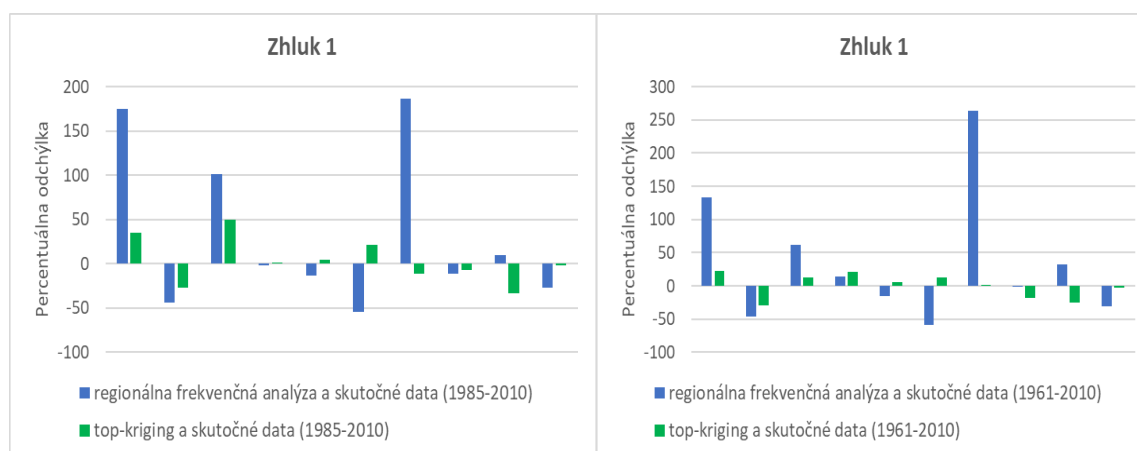
stanica	rieka	profil	pozorovaný priemerný ročný kulminačný prietok (m ³ /s) 1985-2010	odhad priemerného ročného kulminačného prietoku podľa indexovej povodne	odhad priemerného ročného kulminačného prietoku pre obdobie 1985-2010 metódou top-krigingu
6200	Kysuca	Kysucké Nové Mesto	303.1	110.4	223.7
6130	Turiec	Martin	76.4	135.0	104.4
5870	Zázrivka	Pámica	40.5	20.2	27.0
6190	Bystrica	Zborov nad Bystricou	71.2	72.7	70.6
6300	Rajčianka	Poluvsie	44.8	51.7	43.0
6360	Petrovička	Bytča	17.1	37.0	14.1
9170	Snina	Cirocha	56.3	19.6	63.5
7015	Brezno	Hron	53.5	60.2	57.7
6150	Stráža	Varínka	41.7	38.1	62.8
6340	Závodie	Rajčianka	61.1	84.0	62.3

Tabuľka 5: Porovnanie výsledkov pozorovaného a odhadovaného priemerného ročného kulminačného prietoku pre zhluk č. 1 pre obdobie 1961-2010

stanica	rieka	profil	Pozorovaný priemerný ročný kulminačný prietok (m ³ /s) 1961-2010	odhad priemerného ročného kulminačného prietoku podľa indexovej povodne	odhad priemerného ročného kulminačného prietoku pre obdobie 1961-2010 metódou top-krigingu
6200	Kysuca	Kysucké Nové Mesto	306.8	131.4	249.9
6130	Turiec	Martin	79.6	148.4	112.4
5870	Zázrivka	Pámica	32.8	20.3	29.0
6190	Bystrica	Zborov nad Bystricou	83.6	73.2	68.7

6300	Rajčianka	Poluvsie	44.0	51.8	41.6
6360	Petrovička	Bytča	15.3	37.5	13.6
9170	Snina	Cirocha	63.4	17.4	62.7
7015	Brezno	Hron	59.7	59.7	73.1
6150	Stráža	Varínka	42.6	32.3	57.1
6340	Závodie	Rajčianka	59.5	86.8	61.5

V tabuľke 4 a 5 sú uvedené číselné hodnoty výsledkov pozorovaného a odhadovaného priemerného ročného kulminačného prietoku pre dané zvolené obdobia 1985-2010 a 1961-2010. Z tabuľkových výsledkov je vidieť, že hodnoty vypočítané pomocou top-krigingu sa viacej približujú k reálnej hodnote pozorovaného ročného kulminačného prietoku pre obdobia 1985-2010 a 1961-2010. Na obrázku 5 sú zobrazené percentuálne odchýlky pozorovaného priemerného ročného kulminačného prietoku (m^3/s) a modelovaného priemerného ročného kulminačného prietoku (m^3/s) pomocou indexovej povodne a metódy top-kriging.



Obrázok 5: Percentuálne odchýlky pozorovaného priemerného ročného kulminačného prietoku (m^3/s) a modelovaného priemerného ročného kulminačného prietoku (m^3/s) pomocou indexovej povodne (regionálnej frekvenčnej analýzy) a metódy top-kriging

Záver

Cieľom predkladaného príspevku bolo porovnanie dvoch metód na odhad priemerného ročného kulminačného prietoku (m^3/s) pre dve zvolené obdobia 1985-2010 a 1961-2010. Na odhad boli použité metóda regionálnej frekvenčnej analýzy a metóda top-kriging. V rámci regionálnej frekvenčnej analýzy boli použité čiastkové postupy: zhuková analýza, analýza vnútroregionálnej homogenity pomocou miery diskordancie a pomocou metódy Hoskinga a Wallisa (1997) a odhad indexovej hodnoty vo vyčlenených regiónoch. Výsledky ukázali, že metóda top-kriging lepšie odhaduje priemerný ročný kulminačný prietok pre obidve zvolené obdobia. Percentuálne odchýlky top-kriging metódy od pozorovaného priemerného ročného kulminačného prietoku sa pohybujú v rozmedzii 0-50 % a percentuálne odchýlky indexovej povodne od pozorovaného priemerného ročného kulminačného prietoku sa pohybujú v rozmedzii 0-174 %.

Podakovanie

Táto práca vznikla vďaka podpore projektu VEGA 1/0710/15 a APVV 15-0425. Autorka by chcela taktiež poďakovať finančnej podpore poskytnutej úradom OeAD-GmbH v rámci štipendia Ernsta Macha Akcie Rakúsko-Slovensko pre doktorandov.

3 Referencie

Blöschl, G. (Ed.). (2013). *Runoff prediction in ungauged basins: synthesis across processes, places and scales*. Cambridge University Press.

Cressie, N. (1991): *Statistics for spatial data*. Wiley, New York, NY, 1991. A Wiley-Interscience Publication.

Dalrymple, T. (1960) *Flood Frequency Analysis*. Water Supply Paper

Gaál, L., Szolgay, J., Lapin, M., Faško, P. Hybrid approach to delineation of homogeneous regions for regional precipitation frequency analysis. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2009, 57, 4. ISSN 0042-790X, s. 226-249.

Hailegeorgis, T.T., Alfredsen, K. (2017) Regional flood frequency analysis and prediction in ungauged basins including estimation of major uncertainties for mid-Norway. In *Journal of Hydrology Regional Studies*. Vol. 9, 104-126

Hosking, J. R.M., Wallis, J.R., 1997: *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press, 1997, 224 p. ISBN 0-521-43045-3

Hosking, J. R.M., Wallis, J.R., 1995: A comparison of unbiased and plotting position estimators of L moments . *Water Resources Research* , 31(8), 2019-25.

Kohnová, S., Szolgay, J.: Regional Estimation of Design Flood Discharges for River Restoration in Mountainous Basins of Northern Slovakia. In: Marsalek et al. (eds.): *Flood Issues in Contemporary Water Management*. Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 41-47.

Laaha, G., Skøien, J. O., Blöschl, G. (2014): Spatial prediction on river networks: comparison of top-kriging with regional regression. *Hydrol. Processes.*, 28, 315-324 (2014).

Loucks, D. P., Van Beek, E., Stedinger, J. R., Dijkman, J. P., & Villars, M. T. (2005). *Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications*. Paris: Unesco.

Meloun, M., Militký, J., Hill, M. (2005): *Computer analysis of multivariate data in examples (Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech)*, [in Czech] Prague: Academia. 2005. ISBN 80-200-1335-0, 449.

Parajka, J., Merz, R., Skøien, J. O. and Viglione, A. (2015), "The role of station density for predicting daily runoff by Top-Kriging interpolation in Austria", *J. Hydrol. Hydromech.* 63, doi:10.1515/johh-2015-0024.

Skøien, J. O., Blöschl, G., Western, A.W.: Characteristic space-time scales in hydrology, *Water Resour. Res.*, 39, 1304, 2003.

Skøien, J. O., Merz, R., Blöschl, G. (2006): Top-kriging: Geostatistics on stream networks. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10, 277-287.

Solín, E.: Povodne-odhad ich veľkostí pre malé povodia Slovenska metódou regionálnej frekvenčnej analýzy. *Geografický časopis*, 57, 4, 2005.

Szolgay, J., Kohnová, S.: Vergleich der Methoden fuer die Abschaetzung von Bemessungsabflüssen in kleinen und mittleren Flussgebieten der Slovakei. In: Koehler, G.: *Bemessungsabflüsse fur kleine Eizugsgebiete*. Berichte No. 9. Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft TU Kaiserlautern, 1999, p. 93-105.

Zabret, K., Brilly, M. 2014. Hydrological regionalisation of flood frequency analyses in Slovenia. In *Acta hydrotechnica*, vol. 27, no.47, pp. 139-156