

VYUŽITIE METÓDY RADIÁLNYCH BÁZICKÝCH FUNKCIÍ NA INTERPOLÁCIU ŠKÁLOVACÍCH EXPONENTOV KRÁTKODOBÝCH DAŽĎOV NA SLOVENSKU

Silvia Kohnová, Mária Bohdalová, Róbert Bohdal, Karolína Ochabová

V praxi často nie sú dostupné pozorovania, resp. dostatočne dlhé rady pozorovaní pre spoľahlivý odhad návrhových hodnôt najmä krátkodobých úhrnov zrážok. Uvedený problém sa dá riešiť napr. metódami regionalizácie, ktoré umožňujú využiť dostupné priestorové informácie a tak na miestach bez priamych pozorovaní dosiahnuť spoľahlivé odhady návrhových hodnôt. V tejto štúdii sme navrhli alternatívnu metódu odhadu návrhových krátkodobých intenzít dažďov na miestach bez priamych pozorovaní. Využili sme pritom nepriamy spôsob odhadu na základe škálovacích exponentov. Škálovacie exponenty sme priestorovo interpretovali pomocou interpolačnej metódy založenej na radiálnych bázických funkciách, ktorá nebola doposiaľ na takéto úlohy aplikovaná. Cieľom predloženej štúdie bolo testovanie vhodnosti použitia uvedenej metódy na území Slovenska. Na analýzy sme použili údaje z 91 zrážkomerných staníc z celého územia Slovenska, v ktorých boli odvodené škálovacie koeficienty krátkodobých úhrnov dažďov za obdobie teplého polroka. Škálovacie koeficienty boli následne interpolované metodou Hardyho multikvadrík pre celé územie Slovenska. Výsledky interpolovaných odhadov boli porovnané s odhadmi v stanicach, pričom vykázali výbornú zhodu s odhadmi v stanicach.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: interpolačné metódy, radiálne bázické funkcie, špecifické výdatnosti dažďa, škálovacie koeficienty

TO THE APPLICABILITY OF RADIAL BASICS FUNCTIONS FOR THE INTERPOLATION OF SHORT TERM RAINFALL SCALING EXPONENTS IN SLOVAKIA. In practice, we are often faced with the problem of reliable estimation of design short term rainfall intensities on places without observations, respectively with insufficiently long time series of observations, for engineering design. This problem can be solved for example using regionalization methods that allow the use of available spatial information and thus, out of direct observation to achieve reliable estimates of design values. In this study, we propose an alternative method to estimate the design short-term rainfall intensities on places without direct observation. We applied an indirect estimation method based on scaling exponents which were interpolated using method based on radial basis functions. This approach has not yet been applied to such tasks. The aim of the present study was therefore to test the suitability of this method in condition of Slovakia. We selected 91 precipitation stations from all over Slovakia, where we derived scaling exponents of short-term rainfall for the warm period of the year. The scaling exponents were then interpolated by using the Hardy Multiquadratic Method throughout Slovakia. The results of interpolated estimates were compared with the statistical estimates at the stations, and showed great consistency with them.

KEY WORDS: interpolation methods, radial basis functions, rainfall intensities, scaling exponents

Úvod

V praxi často nie sú dostupné dostatočne dlhé rady pozorovaní na odhad návrhových zrážok, avšak pomocou regionalizácie je možné pomocou využitia dostupných priestorových informácií na miestach bez

priamych pozorovaní dosiahnuť spoľahlivé odhady návrhových hodnôt. Regionalizáciu a regionálnej typizácií sa vo svete venujú viacerí autori, pričom sa zameriavajú prevažne na spracovanie jednodňových úhrnov zrážok. V nasledujúcom uvádzame krátke prehľad vybraných štúdií zameraných na regionalizáciu jedno

a viacdenných úhrnov zrážok vo svete a na Slovensku. Nguyen (2002) vo svojej štúdii uviedol, že pre stanice bez pozorovaní je regionálna frekvenčná analýza, ktorá používa dátu z viacerých staníc s pozorovaním, jednou z najlepších dostupných metód za účelom odhadu návrhových hodnôt zrážok. Cieľom štúdie bolo odhadnúť rozdelenie jednodenných maximálnych úhrnov zrážok pre miesta bez priamych meteorologických pozorovaní. Hypotézy boli testované na dátach z 10 staníc v Quebecu (Kanada). Výsledky dokázali, že pomocou regionálnej frekvenčnej analýzy je možné získať návrhové hodnoty zrážok, ktoré sú porovnateľné s úhrnnimi zrážkami získanými meraním priamo na stanici.

Smithers a Schulze (2001) navrhli metodológiu pre odhad návrhových zrážok s krátkym trvaním v Južnej Afrike použitím regionalizácie založenej na teórii L-momentov. Na analýzu boli použité dátá zo 172 zrážkomerných staníc, k dispozícii mali úhrny zrážok za obdobie 10 rokov. Zo staníc bolo vytvorených 15 homogénnych klastrov. Regióny identifikované pomocou zhľukovej analýzy na základe lokálnych charakteristik boli testované za účelom zistenia homogenity použitím testu heterogenity navrhnutým Hoskingom a Wallisom (1993).

Adamowski a kol. (1996) a Pilon a kol. (1991) prezentovali regionálnu frekvenčnú analýzu mimoriadnych prívalových dažďov na základe L-momentov na území Kanady. Adamowski a kol. (1996) hodnotili dovtedy používané metódy analýzy početnosti výskytu úhrnov zrážok v krajine (provincia Ontario) a vyjadrili presvedčenie, že regionálna frekvenčná analýza mimoriadnych úhrnov zrážok na základe L-momentov je vhodnou alternatívou dovtedy používaných tradičných metód, nakoľko znížuje neistoty v odhadoch kvantilov.

Loukas a kol. (2001) spracovali frekvenčnú analýzu mimoriadnych k -denných úhrnov zrážok ($k=1-7$) v Grécku. Napriek tomu, že sa na základe faktorovej analýzy vymedzilo niekoľko homogénnych zrážkových oblastí v krajine, grafické vzťahy úhrn-trvanie-periodicitu sa získali klasickou metódou lokálnej analýzy, bez regionálneho prístupu. Výsledkom frekvenčnej analýzy bola konštrukcia máp izohyet extrémnych úhrnov zrážok rôznych trvaní a períod opakovania pre krajinu. Regionálna frekvenčná analýza založená na L-momentoch (Hosking a Wallis, 1997) bola úspešne implementovaná v práci Smithersa a Shulza, (2001) ktorí odhadovali návrhové dažďe s krátkym trvaním v Afrike.

Kyselý a Picek (2007) použili regionálnu frekvenčnú analýzu založenú na teórii L-momentov na získanie odhadov extrémnych zrážkových udalostí a na konštrukciu regionálnych distribučných funkcií v Českej Republike. Na základe klastrovej analýzy miestnych charakteristik autori vyčlenili 4 homogénne regióny a následne testovali homogenitu vyčlenených regiónov. Stabilita výsledkov testov homogenity bola overovaná pomocou simulácií Monte Carlo, pričom tieto experimenty plne dokázali homogenitu zvolených regiónov.

Analýze mimoriadnych zrážkových udalostí sa na Slovensku venovali viacerí autori: napr. Faško a Lapin

(1998), Faško a kol., (2000), Gaál a Lapin (2002). Regionálne frekvenčné analýzy k -denných úhrnov zrážok na povodí Hrona boli publikované napr. v prácach Jurčová a kol., (2002); Parajka a kol., (2004); Kohnová a kol., (2004, 2005).

Gaál (2009) sa vo svojej práci venoval regionálnym odhadom návrhov mimoriadnych úhrnov zrážok vo fyzickogeograficko – klimatických podmienkach Slovenska rôznymi spôsobmi, pričom porovnával napr. 6 matematických modelov vplyvného regiónu, ktoré sa líšili spôsobom určovania blízkosti staníc v priestore.

Priestorovej regionalizácii návrhových zrážok na Slovensku sa venovali tiež autori Remiášová a kol. (2011), ktorí priniesli návrh metodiky a výsledky spracovania maximálnych ročných jednodenných zrážok s využitím moderných prístupov pre odhad ich kvantilov. Z uvedeného prehľadu je zrejmé, že pre odhad návrhových denných úhrnov zrážok na Slovensku boli overené a vypracované viaceré typizačné regionálne metódy a boli aplikované i mapovacie metódy založené na interpolačných technikách.

Výsledky nepriamych odhadov návrhových denných úhrnov zrážok sa dajú využiť aj pri odhade návrhových hodnôt krátkodobých intenzít dažďov založených na metóde škálovania, ktorá je predmetom tejto štúdie. Ostáva ešte určiť regionálnu hodnotu škálovacieho koeficienta, resp. použiť interpolačné metódy na mapovanie hodnôt škálovacích koeficientov na miestach bez priamych pozorovaní. Čo sa týka regionalizácie škálovacích koeficientov, testovala sa vhodnosť určenia priemerného regionálneho škálovacieho koeficientu postupom, ktorý uvádzajú napríklad kolektív autorov v práci Bara a kol. (2010), kde autori na základe regionalizácie denných úhrnov zrážok rozdelili územie Slovenska do troch regiónov, odvodili bezrozmerné regionálne čiary prekročenia jednodenných maximálnych úhrnov zrážok v teplom polroku a odhadli lokálne návrhové hodnoty pre rôzne významné doby opakovania. Následne v každom z regiónov na základe aritmetického priemeru odvodili regionálny škálovací koeficient (bez testovacej stanice).

V tejto štúdii sme navrhli alternatívnu metódu odhadu škálovacích koeficientov na miestach bez priamych pozorovaní, pričom sme využili interpolačnú metódu založenú na radiálnych bázických funkciách, ktorá doposiaľ na tieto úlohy nebola aplikovaná.

Metódy radiálnych bázických funkcií

Interpolačné metódy využívajúce radiálne bázické funkcie (RBF metódy) patria v súčasnosti k základným technikám určeným pre interpolovanie viacozmerných nerovnomerne rozmiestnených údajov (Dyn, 1987, 1989), (Buhmann, 2000), (Iske, 2003), (Powell, 1992). Prvotná motívacia pre vznik RBF metód pochádza z geodézie, kartografie a metrológie. V súčasnosti RBF metódy nachádzajú svoje uplatnenie aj v iných oblastiach, napr. v štatistikе, strojovom učení a pod., pretože sú jednoduché na implementáciu a vytvárajú interpolačné

lačného plochu s dostatočnou hladkosťou. Tieto interpolačné funkcie zaviedol Hardy (Hardy, 1971) pričom po prvý raz použil metódu multikvadrík pre účely kartografie.

Radiálne bázické funkcie (RBF) sú definované pre danú množinu bodov $\mathbf{P} = \mathbf{p}_i[x_i, y_i] \in E^2$, pre ktoré poznáme hodnoty $z_i \in R$, $i = 1, \dots, n$. Potrebujeme nájsť takú interpolačnú funkciu $f: E^2 \rightarrow R$, pre ktorú platí

$$f(\mathbf{p}_i) = z_i, \text{ pre } i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Interpolačnú funkciu $f(x, y) = f(\mathbf{x})$ môžeme pomocou metód radiálnych bázických funkcií zapísat' v nasledujúcim tvaru (Hoschek, Lasser, 1993):

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n \lambda_i R(\|\mathbf{x} - \mathbf{p}_i\|) + \Phi_m(\mathbf{x}), \quad (2)$$

$$\text{kde } \Phi_m(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^l c_k \Phi_k(\mathbf{x}), \quad (3)$$

je tzv. polynomiálny člen a

$$\Phi_k(\mathbf{x}) \in \pi_m^2, l = \dim(\pi_m^2) = \binom{m-1+2}{2}. \quad (4)$$

Symbolom π_m^d označujeme lineárny priestor obsahujúci všetky polynomy nad poľom R s d premennými a stupňa nanajvýš $m-1$, pričom m sa zvolí podľa predpisu uvedenom v Tabuľke 1. V praxi sa polynomiálny člen používa podľa potreby. Ak potrebujeme obmedziť globálny vplyv transformačnej funkcie zvolíme také RBF, ktoré nepoužívajú polynomický člen $\Phi_m(x)$ a ktorých vplyv v danom bode \mathbf{p}_i klesá s rastúcou vzdialenosťou (napr. gaussovské funkcie resp. recipročné multikvadriky (Iske, 2003)).

Funkcie $R(r_i) = R(\|\mathbf{x} - \mathbf{p}_i\|)$, $r_i \geq 0$ vyjadrujú euklidovskú vzdialenosť bodov \mathbf{x}, \mathbf{p}_i a v literatúre (Hardy, 1971), (Iske, 2003), (Hoschek, Lasser, 1993), (Fogel, Tinney, 1996) sú známe pod názvom radiálne bázické funkcie. K najpoužívanejším RBF patria tzv. polyharmonické

splajny. Do triedy polyharmonických splajnov patria napr. veľmi známe tenkostenné splajny.

Veľkosť vplyvu RB funkcií môžeme pri niektorých typoch riadiť pomocou parametrov σ alebo c a prípadne aj μ (pozri tabuľku 1), avšak žiadna voľba týchto parametrov nezabezpečí lokálny vplyv. Nevhodný výber parametra c môže v konkrétnom prípade viest' k riešeniu sústavy so zle podmienenou maticou vo vzťahu (4) (Bohdal, Bohdalová, 2013).

Hľadanú interpolačnú funkciu $f(\mathbf{x})$ nájdeme tak, že vypočítame neznáme koeficienty λ_i jednotlivých radiálnych bázických funkcií $R(r_i)$, a v prípade použitia polynomického členu vypočítame aj neznáme koeficienty c_k . Neznáme hodnoty $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$ vo vzťahu (2) a $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_l)^T$ vo vzťahu (3) určíme riešením nasledujúcej sústavy rovníc:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{P} \\ \mathbf{P}^T & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda \\ \mathbf{c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{z} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} \quad (5)$$

kde $\mathbf{A}_{i,j} = R(\|\mathbf{p}_j - \mathbf{p}_i\|)$, pre $i, j = 1, \dots, n$ a $\mathbf{P}_{i,k} = \Phi_k(\mathbf{p}_i)$, pre $i = 1, \dots, n$ a $k = 1, \dots, l$, kde l je hodnota určená predpisom (4).

Sústava rovníc (5) je riešiteľná, iba ak sú body \mathbf{p}_i nekolineárne.

Metóda Hardyho multikvadrík

Metóda Hardyho multikvadrík je podobná metóde tenkostenných splajnov (Bohdal, Bohdalová, 2013), pričom RBF má nasledujúci tvar:

$$f(\mathbf{x}) = f(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \sqrt{r_i^2 + c^2}, \quad (6)$$

$$\text{kde } r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2.$$

Hodnota c ovplyvňuje tvar výslednej funkcie. Vo všeobecnosti platí, že menšia hodnota parametra c vytvára v grafe funkcie tzv. „ostré extrémy“, zatiaľ čo jeho väčšia hodnota „vyhľadzuje“ funkciu.

Tabuľka 1. Prehľad radiálnych bázických funkcií $R(r)$ (Iske, 2003)
Table 1. List of selected radial basis functions $R(r)$ (Iske, 2003)

Radiálna bázická funkcia	$R(r)$	Hodnoty parametrov	m
Polyharmonické splajny v priestore R^d	r^{2k-d} $r^{2k-d} \log(r)$	d je nepárne, $2k > d$ ($k = 3, d = 3$) d je párné, $2k > d$ ($k = 2, d = 2$)	$m = k - \left\lceil \frac{d}{2} \right\rceil + 1$
Gaussovské funkcie	$\exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right)$	$\sigma > 0, \left(\sigma = \sqrt{\frac{1}{2}} \right)$	$m = 0$
Multikvadriky	$(c^2 + r^2)^\mu$	$c, \mu > 0$ ($c = 1, \mu = 1/2$)	$m = \lceil \mu \rceil$

Z literatúry poznáme viaceré možnosti ako ho vhodne zvolit' (Hoschek, Lasser, 1993), (Fogel, Tinney, 1996). Tu uvedieme štyri z nich:

$$c = 0.815d, \quad (8)$$

kde d je priemerná vzdialenosť bodov p_i množiny P k ich najbližším susedom,

$$c = 1.25D/n, \quad (9)$$

kde D je priemer najmenšej kružnice, ktorá obsahuje všetky body množiny P ,

$$c = \sqrt{\frac{1}{10} \max_{i,j} \|x_i - x_j\|} \quad (10)$$

$$c = \sqrt{\frac{3}{5} \min_{i,j} \|x_i - x_j\|}. \quad (11)$$

V praxi sa ukázalo, že hodnotu c je možné určiť aj heuristickým prístupom, pričom môžeme získať ešte lepšie výsledky.

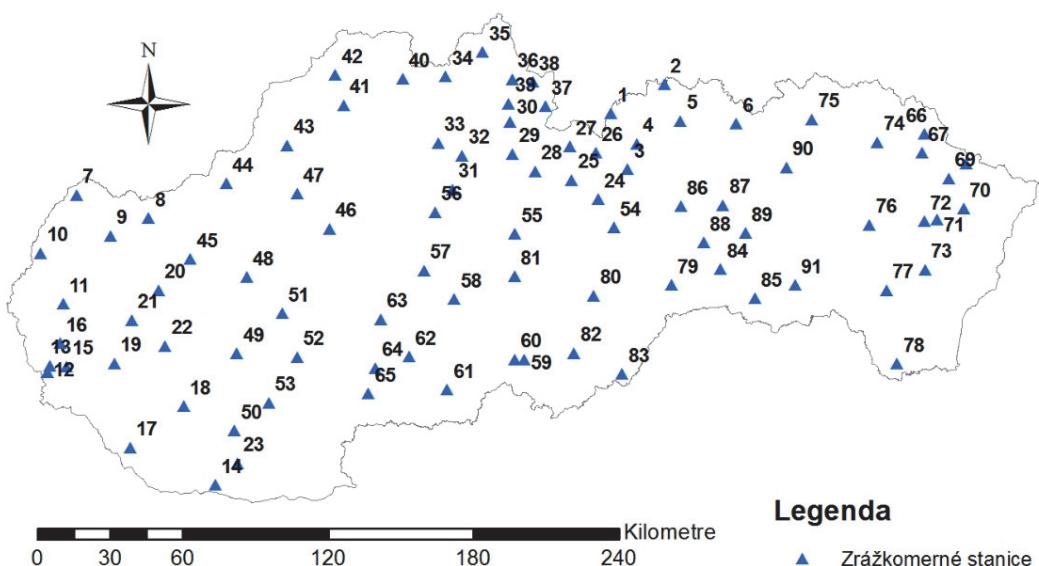
Vstupné údaje

Pre účely tejto štúdie boli Slovenským hydrometeorologickým ústavom v Bratislave poskytnuté rady pozoro-

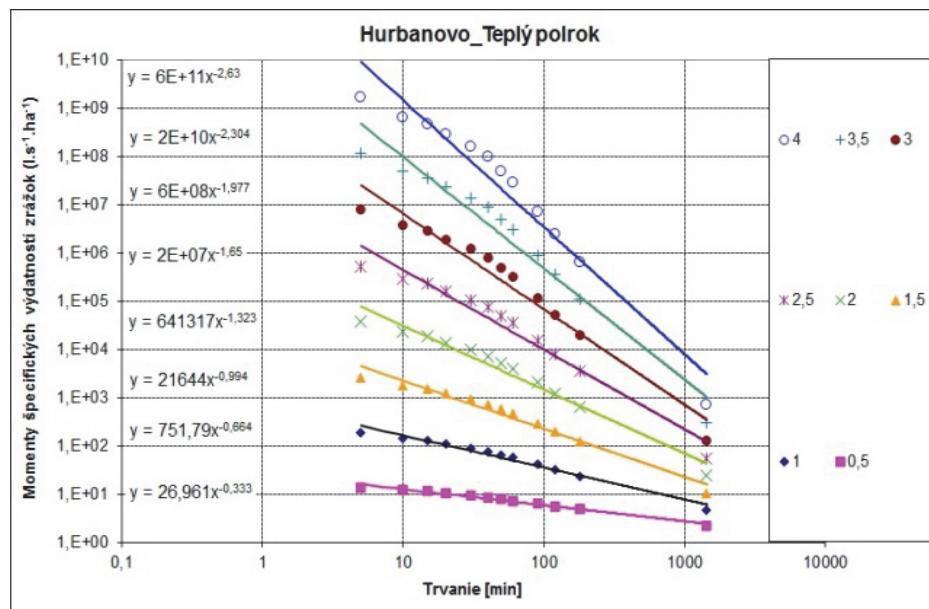
vania maximálnych ročných úhrnov zrážok pre trvania 5 minút až jeden deň, v mesiacoch pre obdobie celej teplej sezóny t.j. apríl až október.

Sieť analyzovaných zrážkomerných staníc bola zvolená tak, aby pokrývala celé územie Slovenska. Pozorovacie rady zrážkomerných staníc sú v rozsahu od 10 – 33 rokov v závislosti od zrážkomernej stanice. Na obrázku 1 je znázornená schematická mapa analyzovaných zrážkomerných staníc na Slovensku.

Cieľom štúdie bolo v prvom kroku odvodiť škálovacie koeficienty na vybraných zrážkomerných staniciach z celého územia Slovenska. Použili sme metódu jednoduchého škálovania zrážok, ktorú uviedli do oblasti inžinierskej hydrológie autori Menabde et al. (1999) a Yu et al. (2004). Škálovací koeficient bol na všetkých zrážkomerných staniciach odvodený použitím škálovania momentov krátkodobých úhrnov dažďov pre obdobie teplej sezóny. Vstupné maximálne úhrny zrážok pre zvolené trvania boli transformované na intenzity, resp. špecifické výdatnosti dažďov ($\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$) pre trvania od 5 do 1440 min., ktoré sú používané bežne vo vodohospodárskej praxi. Podľa metodiky, detailne popísanej v práci Bara a kol. (2010), boli odhadnuté škálovacie koeficienty. Na príklade zrážkomernej stanice Hurbanova obr. 2 uvádzame grafické závislosti momentov maximálnych špecifických výdatností dažďov od ich trvania. Výsledný škálovací koeficient bol odvodený ako sklon regresnej čiary medzi exponentom K_q a rádom momentov q , obr. 3.

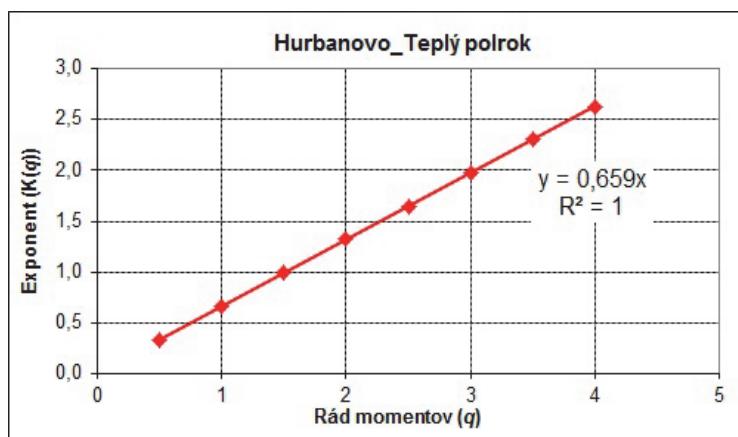


Obr. 1. Mapa analyzovaných zrážkomerných staníc na Slovensku.
Fig. 1. Location map of analysed precipitation stations in Slovakia.



Obr. 2. Závislosť momentov maximálnych špecifických výdatností dažďov od ich trvania v teplej sezóne na stanici Hurbanovo.

Fig. 2. Relationship between moments and duration of rainfall intensities for the warm season in the Hurbanovo station.



Obr. 3. Závislosť medzi exponentmi regresných priamok a rádom momentov q za celú teplú sezónu na stanici Hurbanovo.

Fig. 3. Relationship between the slope of the regression lines and moments for warm season at the Hurbanovo station.

Výsledky interpolácie škálovacích exponentov

Pre interpolovanie škálovacích koeficientov sme použili metódu Hardyho multkvadrík. Ide o interpolačnú plochu založenú na radiálnych bázických funkciách RBF (pozri kapitolu 2), ktorá používa vstupný parameter c . Hodnotu parametra $c = 3$ sme určili pomocou vzťahu (6). Ostatné vzťahy viedli k vysokej hodnote parametra c , preto sme ich nezahrnuli do testovania.

Bližší popis metódy pre odhad koeficientu je uvedený v článku (Bohdal, Bohdalová, 2013).

Na overenie modelov sa zvyčajne používa metodika Jack knife, známa tiež ako bumerangový test, v ktorej sa zo vzorky systematicky vylučuje vždy len jeden bod a preto je možné získať v našom prípade len 91 testovacích vzoriek. Túto techniku sme v tejto štúdiu zamenili za nasledovný prístup. Z 91 zadaných zrážkomerných staníc sme vytvorili 200 testovacích vzoriek. V každej

testovacej vzorky sme náhodne vylúčovali merania, pričom ich počet bol určený náhodným celým číslom z intervalu od 1 do 5. Prehľad počtu vylúčení jednotlivých zrážkomerných staníc je dokumentovaný v tabuľke 2.

Na základe tejto metódy boli odvodené škálovacie koeficienty interpolované na celé územie Slovenska. Vizualizácia interpolovanej mapy škálovacích koeficientov na území Slovenska (teplý polrok), v rastri 1x1 km je na obr. 4.

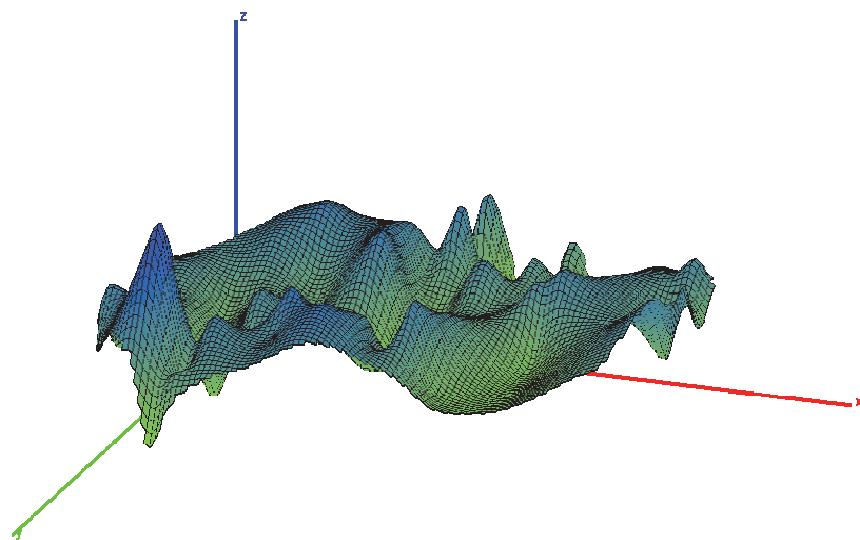
Na nasledujúcom obrázku č. 5 je zobrazené porovnanie rozdielov lokálne odhadnutých a interpolovaných hodnôt škálovacích koeficientov metódou Hardyho multi-

kvadrík vo vybraných staniciach pre obdobie teplej sezóny.

Pri porovnaní odhadov škálovacích exponentov lokálne a pomocou interpolačnej metódy možno konštatovať, že priemerné rozdiely medzi interpolovanými a odhadnutými škálovacími koeficientami sú radovo v tisícinách. Najvyšší rozdiel medzi lokálne odhadnutými a interpolovanými škálovacími koeficientami bol určený na zrážkomernej stanici Oravské Veselé. Naopak najnižší rozdiel medzi lokálne odhadnutými a interpolovanými škálovacími koeficientami bol určený na zrážkomernej stanici Žihárec. Maximálne rozdiely pre analyzované stanice nedosahujú vyššiu hodnotu ako 0,15.

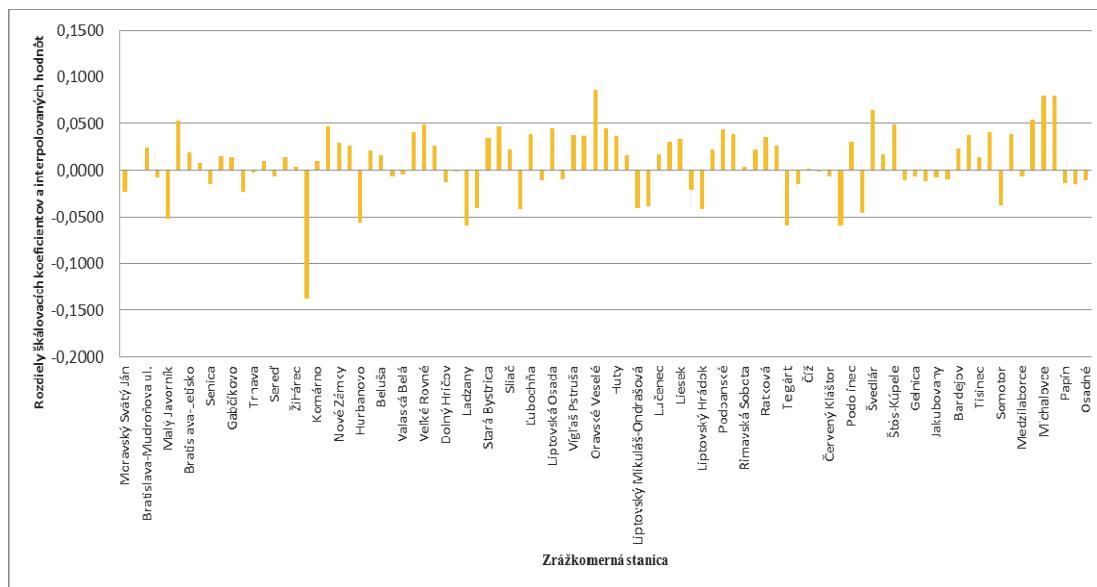
Tabuľka 2. Prehľad počtu vylúčení jednotlivých zrážkomerných staníc pri testovaní
Table 2. Number of excluded stations by the testing of interpolation quality

Číslo stanice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Počet vylúčení	7	39	52	48	50	44	7	10	4	8	3	5	10	7	4	15	6	4	6	6	3
Číslo stanice	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Počet vylúčení	5	4	3	4	11	8	4	7	5	7	10	7	5	12	10	8	3	9	7	8	4
Číslo stanice	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
Počet vylúčení	8	8	8	6	3	7	5	10	5	10	3	2	5	6	6	6	3	7	9	9	7
Číslo stanice	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Počet vylúčení	7	12	12	6	8	5	6	9	6	8	2	6	7	7	6	7	8	9	6	9	6
Číslo stanice	85	86	87	88	89	90	91														
Počet vylúčení	7	9	3	5	7	6	4														



Obr. 4. Vizualizácia interpolovanej mapy škálovacích koeficientov na území Slovenska (teplý polrok), v rastri 1x1km.

Fig. 4. Visualisation of interpolated maps of scaling exponents in Slovakia (warm period) in 1x1km grid.



Obr. 5. Porovnanie rozdielov interpolovaných a vypočítaných hodnôt škálovacích koeficientov metódou Hardyho multikvadrík v teplej sezóne.

Fig. 5. Comparison of relative differences between interpolated and estimated values of scaling exponents.

Záver

Cieľom tejto štúdie bolo testovanie vhodnosti interpolánej metódy Hardyho multikvadrík na interpoláciu škálovacích exponentov krátkodobých úhrnov dažďov na území Slovenska. Na analýzy sme použili 91 zrážkomerných staníc z celého územia Slovenska, v ktorých boli odvodene škálovacie koeficienty krátkodobých úhrnov dažďov za obdobie teplého polroka. Škálovacie koeficienty boli následne interpolované metódou Hardyho multikvadrík pre celé územie Slovenska. Výsledky interpolovaných odhadov boli porovnané s odhadmi v stanicach s pozorovaniami, pričom vykázali s nimi dobrú zhodu; priemerné rozdiely medzi interpolovanými a odhadnutými škálovacími koeficientami sú radovo v tisícinách. Maximálne rozdiely pre analyzované stanice nedosahujú vyššiu hodnotu ako 0,15. Záverom možno konštatovať, že testovaná metóda môže byť následne využitá pri odhade návrhových intenzít krátkodobých úhrnov dažďov na Slovensku najmä v oblastiach bez priamych pozorovaní.

Podrakovanie

Článok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti protipovodňovej ochrany územia ITMS 26240120004 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Štúdia bola tiež podporená projektom VEGA 1/0710/15. Autori dakujú za podporu pri tvorbe tohto príspevku.

Literatúra

- Adamowski, K., Alila, Y., Pilon, P.J. (1996): Regional rainfall distribution for Canada. In Atmospheric Research, 1996, vol. 42, no. 1-4, p. 75 – 88.
- Amidror, I. (2002): Scattered data interpolation methods for electronic imaging systems. Journal of Electronic Imaging 2(11), str. 157–176.
- Bara, M., Gaál, L., Kohnová, S., Szolgay, J., Hlavčová, K. (2008): Simple scaling of extreme rainfall in Slovakia: a case study. In: Meteorological Journal. 4(11), 153 – 157.
- Bara, M., Kohnová, S., Gaál, L., Szolgay, J., Hlavčová, K. (2010): Škálovanie intenzít krátkodobých dažďov na Slovensku. 1. vyd. Ostrava: KEY Publishing, 2010. ISBN 978-80-7418-083-5. 74 s.
- Bohdal, R., Bohdalová, M. (2009): Scaling exponent of rainfall modeling by interpolation methods. In: Forum Statisticum Slovacum 3, 1 – 6, <http://www.ssds.sk/casopis/archiv/2009/fss0309.pdf>
- Bohdal, R., Bohdalová, M. (2013): Využitie radiálnych bázických funkcií pre modelovanie interpolačných plôch zrážkových intenzít. In: Forum Statisticum Slovacum 7, 21 – 26, <http://www.ssds.sk/casopis/archiv/2013/fss0713.pdf>.
- Bookstein, F. (1989): Principal Warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine 6(11), 1989, 567 – 585.
- Buhmann, M.D. (2000): Radial basis functions. Acta Numerica, 1 – 38.
- Duchon, J. (1977): Lecture Notes in Mathematics 571. Springer-Verlag, Berlin, 85 – 100.
- Dyn, N. (1987): Interpolation of scattered data by radial

- functions, In: Topics in Multivariate Approximation, (Eds. Chui C.K., Schumaker L.L. and Utreras F.I.), Academic Press, New York, 47 – 61.
- Dyn, N. (1989): Interpolation and approximation by radial and related functions, (Eds. Chui C.K., Schumaker L.L. and Ward J.D.), Academic Press, New York, 211 – 234.
- Faško, P., Lapin, M., Šťastný, P. (2000): Maximum daily sums of precipitation in Slovakia in the second half of the 20th century. In Images of Weather and Climate, Cracow: Institute of Geography of the Jagellonian University, 2000, 131 – 138.
- Faško, P., Lapin, M. (1998): Hodnotenie výskytu mimoriadnych úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku. In Bulletin SMS pri SAV, 1998, roč. 9, č. 3, 20 – 24.
- Fogel, D., Tinney, L. (1996): Image Registration using Multi-quadric Functions, the Finite Element Method, Bivariate Mapping Polynomials and the Thin Plate Spline. National Center for Geographic Information and Analysis, 1 – 63.
- Franke, R., Nielson, G. (1980): Smooth interpolation of large sets of scattered data. Intern. Journal for Numerical Methods in Engineering (15), 1691 – 1704.
- Franke, R. (1982): Scattered data interpolation: Test of some methods. Mathematics of Computation 38(157), 181 – 200.
- Gaál, L. (2009): Metódy výpočtu štatistických charakteristik návrhových hodnôt úhrnov zrážok na Slovensku. Ostrava : KEY Publishing s.r.o., 2009. 224 s. ISBN 978-80-7418-047-7.
- Gaál, L., Lapin, M. (2002) Extreme several day precipitation totals at the Hurbanovo observatory (Slovakia) during the 20th century. In Contributions to Geophysics and Geodesy, 2002, vol. 32, no. 3, p. 197 – 213.
- Hardy, R. (1971): Multi-quadric equations of topography and other irregular surfaces. In: Journal Geophysical Research U(76), 1905 – 1915.
- Hoschek, J., Lasser, D. (1993): Fundamentals of Computer Aided Geometric Design. A K Peters, Wellesley, MA, 388 – 421.
- Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. (1997): Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge University Press, Cambridge; New York; Oakleigh. 224 p.
- Iske, A. (2003): Radial basis functions: basics, advanced topics and meshfree methods for Transport Problem. Seminar of Mathematics, 247 – 274.
- Jurčová, S., Kohnová, S., Szolgay, J. (2002): K výberu vhodnej distribučnej funkcie maximálnych 5-denných úhrnov zrážok. In Acta Hydrologica Slovaca. ISSN 1335-6215, 2002, roč. 3, č. 2, 165 – 174.
- Kohnová, S., Szolgay, J., Gaál, L. (2004): Estimation of design 5-day maximum precipitation totals in the Upper Hron region. In Meteorological Journal. ISSN 1335-339X, vol.7, no. 2, 79 – 86.
- Kohnová, S., Gaál, L., Szolgay, J., Hlavčová, K. (2005): Analýza maximálnych úhrnov zrážok v povodí horného Hrona. STU Bratislava, 2005. ISBN 80-227-2339-8. 162 s.
- Kyselý, J., Picek, J. (2007): Regional growth curves and improved design values estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. In Climate Research, 2007, vol. 33, 243 – 255.
- Látečková, J. (2013): Škálovanie intenzít krátkodobých dažďov v jednotlivých mesiacoch a sezónach na Slovensku. Dizertačná práca, SvF STU v Bratislave, 126 s.
- Látečková, J., Kohnová, S., Gaál, L., Szolgay, J. (2011): Odvodenie škálovacích exponentov intenzít dažďov pre jednotlivé mesiace teplého polroku vo vybraných staniciach oblasti severovýchodného Slovenska. In: Acta Hydrologica Slovaca, špeciál. číslo, 12, 47 – 54.
- Loukas, A., Vasiliades, L., Dalezios, N.R., Domenikotis, C. (2001): Rainfall frequency mapping for Greece. In Physics and Chemistry of the Earth, Part B, vol. 26, no. 9, 669 – 674.
- Menabde, M., Seed, A., Pegram, G. (1999): A simple scaling model for extreme rainfall. Water Resour. Res., 35 (1), 1999, 335 – 339.
- Nguyen, V.T.V., Nguyen, T.-D. (2008): A spatial-temporal statistical downscaling approach to estimation of extreme precipitations for climate – related impact studies at a local site. In ASCE Publications[online]. World Environmental and Water Resources Congress 2008: Ahupua'a Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress 2008. [cit. 2010.01.12]. Dostupné na internete: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?rog=normal&id=ASCECP00031604097600040100001&idtype=cvips&gifs=yes>.
- Parajka, J., Kohnová, S., Szolgay, J. (2004): Mapping the maximum daily precipitation totals in the upper Hron region using stochastic interpolation methods. In Acta Hydrologica Slovaca, vol. 5, no. 1, 78 – 87.
- Pilon, P. J., Adamowski, K., Alila, Y. (1991): Regional analysis of annual maxima precipitation using L-moments. In Atmospheric Research, 1991, vol. 27, 81 – 92.
- Powell, M.J.D. (1992): The theory of radial basis function approximation in 1990. In: Advances in numerical analysis II: wavelets, subdivision and radial basis functions, (Ed. Light W.A.), Clarendon Press, Oxford, 105 – 210.
- Smithers, J.C., Schulze, R.E. (2001): A methodology for estimation of short duration design storms in South Africa using a regional approach based on L-moments. In Journal of Hydrology, vol. 241, 42 – 52.

TO THE APPLICABILITY OF RADIAL BASICS FUNCTIONS FOR THE INTERPOLATION OF SHORT TERM RAINFALL SCALING EXPONENTS IN SLOVAKIA

In the practice, the hydrologists are often faced with the problem of reliable estimation of design short term rainfall intensities on places without observations;

respectively with insufficiently long time series of observations, for engineering design. This problem can be solved for example using regionalization methods

that allow the use of available spatial information and thus, out of direct observation to achieve reliable estimates of design values. In this study, we propose an alternative method to estimate the design short-term rainfall intensities on places without direct observation. We applied an indirect estimation method based on scaling exponents which were than interpolated using a method based on the radial basis functions. This approach has not yet been applied to such tasks. We have selected 91 precipitation stations from all over Slovakia. Using the short term rainfall data in one minute time step, we derived in each station the scaling

exponents of short-term rainfall for the warm period of the year (April-September). The scaling exponents were then interpolated by using the Hardy Multiquadratic Method throughout Slovakia.

The interpolated values of scaling exponents were compared with the direct estimates in the stations, and showed good agreement with them. The maximum difference for the analysed stations do not reach higher value than 0,15. In conclusion, the test method proved to be used by estimating the design short-term rainfall intensities in Slovakia, especially in areas without direct observation.

Prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.
Ing. Karolína Ochabová
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave
Radlinského 11
813 68 Bratislava
E-mail: silvia.kohnova@stuba.sk

RNDr. Róbert Bohdal, PhD.
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Univerzity Komenského
Mlynská Dolina
842 48 Bratislava
E-mail: Robert.bohdal@fmph.uniba.sk

doc. RNDr. Mária Bohdalová, PhD.
Fakulta managementu
Univerzity Komenského
Odbojárov 10
820 05 Bratislava
E-mail: maria.bohdalova@fm.uniba.sk