VYUŽITIE METÓDY JEDNODUCHÉHO ŠKÁLOVANIA NA ODHAD NÁVRHOVÝCH KRÁTKODOBÝCH ÚHRNOV ZRÁŽOK VO VYSOKOHORSKEJ OBLASTI SLOVENSKA

Márta Bara[1], Jana Látečková[1], Silvia Kohnová[1], Ladislav Gaál[1], Ján Szolgay[1], Kamila Hlavčová[1]

Abstrakt

V rámci tejto štúdie bola testovaná možnosť využitia metódy jednoduchého škálovania zrážok pre odhad návrhových hodnôt zrážkových intenzít vo vysokohorskom prostredí na Slovensku. Pre analýzu bolo vybraných 9 zrážkomerných staníc v širšej oblasti na severe Slovenska, z ktorých tri stanice boli označené za verifikačné. Pre analyzovaný región sa určil priemerný regionálny škálovací koeficient a odvodila sa bezrozmerná regionálna čiara prekročenia jednodenných maximálnych úhrnov zrážok v teplom polroku. Následne sa pre verifikačné stanice metódou indexovej hodnoty odhadli lokálne jednodenné návrhové hodnoty pre rôzne významné doby opakovania *T*. Návrhové zrážkové intenzity pre vybrané trvania zrážkových oddielov pre tri verifikačné stanice sa stanovili zoškálovaním T-ročných kvantilov jednodenných maximálnych zrážok pomocou regionálneho škálovacieho koeficientu. Určené návrhové hodnoty sa porovnali s výsledkami používanými doteraz v inžinierskej praxi. Štúdia potvrdila možnosť využitia metódy jednoduchého škálovania na odhad návrhových hodnôt zrážkových intenzít vo vysokohorských podmienkach na Slovensku.

Kľúčové slová: jednoduché škálovanie zrážok, návrhové hodnoty zrážkových intenzít, jednodenné maximálne úhrny zrážok

1. Úvod

Vzťah medzi intenzitou zrážok, trvaním a periodicitou (intensity-duration-frequency, skr. IDF) je dôležitý vo vodnom hospodárstve i vo vodohospodárskej praxi. Prvé IDF čiary boli vytvorené v 30. rokoch 19. storočia [2]. Od tej doby bolo odvodených množstvo rozdielnych regionálnych IDF vzťahov a máp po celom svete.

Na Slovensku boli prvé IDF krivky zkonštruované zkonštruované v roku 1950 [4]. V sedemdesiatych rokoch Šamaj a Valovič [15] odvodili IDF čiary pre 68 ombrografických staníc na celom území Slovenska.

Koutsoyiannis a kol. [7] urobili pokrok vo formulácii a konštrukcii IDF čiar s efektívnou parametrizáciou, ktorá dovoľuje aplikovať teóriu jednoduchého škálovania pre rôzne IDF charakteristiky zrážok. Použitím metódy jednoduchého škálovania je možné odhadovať kvantily zrážok pre vybrané významné doby opakovania a trvania kratšie ako jeden deň použitím kvantilov maximálnych denných úhrnov zrážok, ktoré sú dostupné zo širokej siete zrážkomerných staníc [9, 10, 18, 19]. V posledných rokoch boli navrhované rôzne modely pre jednoduché i viacnásobné škálovanie [8, 13, 16, 17] a tiež bolo vytvorených množstvo štúdií venovaných extrémnym úhrnom zrážok a ich škálovacím vlastnostiam [3, 11, 12, 14].

V tejto štúdii bol vytvorený a použitý regionálny prístup pre nepriamy odhad IDF čiar na miestach bez priamych pozorovaní. Na overenie použitej metódy v širšej oblasti Vysokých Tatier (odteraz: „tatranský región“) boli vybrané tri stanice za verifikačné, kde sa metódou indexovej hodnoty odhadli lokálne návrhové hodnoty jednodenných úhrnov zrážok v teplom polroku pre rôzne doby opakovania *T*. Použitím regionálneho škálovacieho koeficienta pre

IDF krivky boli pomocou škálovania odhadnuté kvantily úhrnov zrážok.odpovedajúce trvaniam kratších než jeden deň. Získané kvantily IDF čiar sa potom porovnávali s tými, ktoré vytvorili Šamaj a Valovič [15].

2. Metodika

Súčasťou tejto kapitoly je popis regionálnej frekvenčnej analýzy, založenej na metóde indexovej hodnoty [6] a opis metódy jednoduchého škálovania [9]. Regionálna frekvenčná analýza bola založená na regionalizácii maximálnych úhrnov zrážok v teplom polroku [5]. Táto štúdia vychádza z algoritmu regionalizácie navrhnutého Hoskingom a Wallisom [6], ktorý pozostáva zo štyroch krokov: kontrola kvality údajov, identifikácia homogénneho regiónu, výber funkcie rozdelenia pravdepodobnosti a odhad regionálnych bezrozmerných kvantilov, resp. skutočných lokálnych kvantilov. Nutnou podmienkou možnosti aplikácie algoritmu je regionálna homogenita, ktorá predpokladá, že distribučné funkcie na jednotlivých staniciach v regióne sú totožné až na škálovací faktor (indexovú hodnotu), ktorý je špecifický pre danú stanicu.

Gaál [5] vyčlenil tri homogénne regióny ako výsledok kombinácie klastrovej analýzy (objektívna metóda) a regionalizácie založenej na poznatkoch orografických a cirkulačných pomerov krajiny (subjektívna metóda). Homogenita vytvorených regiónov bola kvantifikovaná mierou homogenity H_1 [6] ktorá naznačovala homogenitu všetkých troch regiónov. Hoskingov a Wallisov [6] *Z*-test bol použitý na výber vhodnej funkcie rozdelenia pravdepodobnosti v regiónoch. Výsledky *Z*-testu [5] ukázali, že zovšeobecnené extremálne rozdelenie (generalized extreme value, skr. GEV) je vhodné pre modelovanie rozdelenia pravdepodobnosti maximálnych úhrnov zrážok v teplom polroku, a preto bolo použité pre regionálny odhad kvantilov v tejto štúdii.

Metóda jednoduchého škálovania [9] je vo všeobecnosti používaná na odvodenie IDF čiar, t.j. na odhad kvantilov úhrnov zrážok pre trvania kratšie ako jeden deň. Metodológia použitá v tomto príspevku nasleduje metodiku použitú v [9] a [19].

Nech I^T_d a $I^T_{\lambda d}$ označujú ročné maximálne intenzity zrážok pre trvania d respektíve λd, s rovnakou dobou opakovania T. Dve náhodné premenné I^T_d a $I^T_{\lambda d}$ majú škálovaciu vlastnosť [9, 19] ak platí

$$I_{\lambda d}{}^T = \lambda^\beta I_d{}^T, \tag{1}$$

kde rovnosť je chápaná v zmysle zhodnosti pravdepodobnostného rozdelenia oboch premenných a β reprezentuje škálovací koeficient. Vzťah (1) umožňuje odhad návrhových zrážok pre vybrané trvania a doby opakovania.

3. Vstupné údaje

V tejto štúdii sme pracovali s dvoma súbormi staníc, resp. zrážkových údajov. Prvý súbor pozostával zo 16 klimatologických staníc (s radom pozorovania denných úhrnov zrážok väčšinou z obdobia 1961-2003), na základe ktorých sa vyčlenil severný región Slovenska [5] a na základe ktorých (s výnimkou troch verifikačných staníc) sa určovala regionálna bezrozmerná čiara prekročenia maximálnych jednodenných úhrnov zrážok.

Druhý súbor tvorili stanice severu Slovenska, z ktorých sú k dispozícii kvantily intenzít zrážok rôznych trvaní v rozpätí od 5 minút do 180 minút a údaje odhadnuté empiricky Šamajom a Valovičom [15]. Je ich deväť a sú uvedené v tabuľke 1. Pri výbere týchto staníc sme si kládli dôraz na to, aby buď išlo o tie isté stanice ako v prípade regionalizácie Gaála [5] alebo aby sme našli ekvivalentné stanice nachádzajúce sa čo najbližšie k sebe (tolerovali sme vzájomnú vzdialenosť max. 20 km v rámci rovnakých klimatických podmienok).

Údaje Šamaja a Valoviča [15] boli prepočítané podľa metodiky Bara [1]. Jeden z najdôležitejších krokov tejto metódy bolo rozšírenie dát o denné úhrny zrážok o trvaní 1440 minút (čiže 1 deň), pričom tieto kvantily boli odhadnuté pomocou distribučnej funkcie GEV. Údaje k tomuto kroku boli poskytnuté z archívu Slovenského hydrometeorologického ústavu.

Na verifikáciu boli vybrané tri stanice – Liptovský Hrádok, Štrbské Pleso a Gelnica. Tieto stanice boli vybrané podľa nasledovných kritérií: i) charakterizujú rozličné geografické polohy vo vyčlenenom regióne a ii) reprezentujú priemer, minimum a maximum škálovacích koeficientov v regióne.

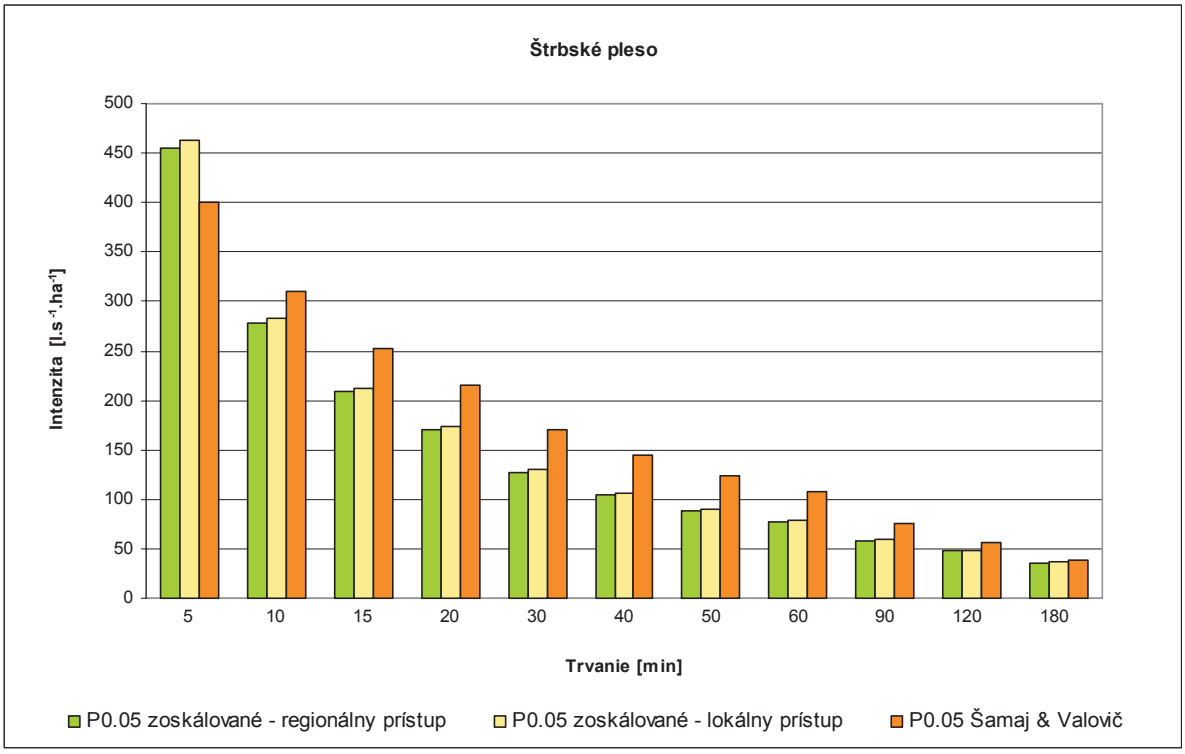
Tab. 1: Zoznam použitých zrážkomerných staníc pre odhad kvantilov intenzít zrážok

Stanica	Dĺžka pozorovania	Roky pozorovania
Gelnica	29	1935-1944, 1947-1965
Liptovský Hrádok	32	1931-1944, 1948-1965
Liptovská Teplička	19	1925-1930, 1932-1944
Papín	13	1923-1929, 1933-1938
Poprad – letisko	20	1946-1965
Prešov – letisko	18	1946-1956, 1959-1965
Skalnaté Pleso	17	1944-1960
Starý Smokovec	43	1923-1965
Štrbské Pleso	42	1922-1944, 1948-1965

4. Výsledky

Návrhové hodnoty maximálnych denných úhrnov zrážok boli odhadnuté pre tri stanice použitím indexovej metódy [6]. Podľa tejto metódy, sú návrhové hodnoty na danej stanici odhadnuté ako súčin bezrozmernej regionálnej čiary prekročenia a lokálnej indexovej hodnoty. Regionálne čiary prekročenia maximálnych denných úhrnov zrážok v teplom polroku boli odvodené použitím distribučnej funkcie GEV. Indexová hodnota bola odhadnutá ako aritmetický priemer výberového súboru.

Návrhové hodnoty zrážok pre zvolenú dobu opakovania a trvania kratšie ako jeden deň boli vypočítané z denných maximálnych úhrnov zrážok použitím metódy jednoduchého škálovania. Škálovací koeficient sa určil ako priemer 6 lokálnych škálovacích koeficientov vo zvolenom regióne (t.j. zo všetkých staníc, s výnimkou troch verifikačných). Následne boli odvodené kvantily IDF kriviek pre tri zvolené verifikačné stanice použitím návrhových hodnôt maximálnych denných úhrnov zrážok (odvodené regionálne a lokálne), v kombinácii s regionálne odvodenýn škálovacím koeficientom. Návrhové zrážky pre stanicu Štrbské Pleso sú znázornené na Obr. 1, kde sú porovnané výsledky na základe troch rôznych prístupov: i) regionálne odhadnuté návrhové hodnoty denných úhrnov zrážok ii) lokálne odhadnuté návrhové hodnoty denných úhrnov zrážok iii) návrhové zrážky odhadnuté Šamajom a Valovičom [15].



Obr. 2: Porovnanie návrhových hodnôt zrážok pre peridiodicitu *P* = 0,05 odhadnutých tromi rozdielnymi spôsobmi v stanici Štrbské Pleso

Kvantily IDF kriviek sme následne porovnali pomocou relatívnych odchýliek *RD*:

$$RD = \frac{X - Y}{Y} 100 \quad (\%), \qquad (2)$$

kde:

X – návrhové hodnoty zrážok odhadnuté pomocou škálovania a

Y – návrhové hodnoty odhadnuté Šamajom a Valovičom [15].

V tabuľke č. 2 sú uvedené relatívne odchýlky *RD* pre stanicu Štrbské Pleso. Pri zvyšných dvoch verifikačných staniciach bola štatistika *RD* podobná ako pri stanici Štrbské Pleso.

Môžeme konštatovať, že verifikačné stanice dosahujú relatívne odchýlky okolo 34 % (v absolútnej hodnote) a ich priemer je okolo 25 %. Z výsledkov je možné vidieť, že návrhové hodnoty zrážok získané škálovaním maximálnych denných úhrnov zrážok sú značne podhodnotené v porovnaní s hodnotami odvodenými Šamajom a Valovičom [15]. Neistota v rámci relatívnych odchýliek (25 %) môže vyplývať zo značných rozdielov nadmorských výšok medzi jednotlivými zrážkomernými stanicami. Najmenšie rozdiely v odhadoch boli pozorované pre zrážky s dlhšími trvaniami (60 min, 120 min, 180 min). Výsledky všetkých skúmaných metód veľmi podobné od trvania okolo 60 minút.

Tab. 2: Relatívne odchýlky (v %) medzi návrhovými hodnotami zrážok odhadnutými škálovaním maximálnych denných úhrnov zrážok a hodnotami odhadnutými Šamajom a Valovičom [15] v stanici Štrbské Pleso

Periodicita (POT)	Trvanie zrážkových oddielov [min] - Štrbské Pleso										
	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120	180
0.50	2.2	-10.5	-13.5	-14.6	-16.2	-15.5	-14.4	-12.5	-7.4	-1.9	5.1
0.20	5.6	-10.1	-13.7	-16.0	-18.6	-18.8	-19.1	-17.1	-10.5	-6.5	1.3
0.10	10.4	-9.2	-15.3	-18.1	-21.5	-23.7	-23.4	-22.8	-18.3	-12.6	-7.4
0.05	13.7	-10.3	-17.6	-21.0	-25.1	-27.9	-27.9	-27.2	-22.1	-16.5	-8.5
0.02	14.0	-10.8	-19.9	-24.7	-27.8	-29.1	-29.5	-28.8	-27.1	-24.3	-15.4

5. Záver

Cieľom štúdie bolo testovať použiteľnosť jednoduchého škálovania pre regionálny odhad IDF kriviek vo zvolenom homogénnom regióne Slovenska. Zvolený región zahŕňal 9 zrážkomerných staníc, pričom tri z nich boli vybrané za verifikačné. V regiónoch bola odvodená bezrozmerná regionálna čiara prekročenia maximálnych denných úhrnov zrážok v teplom polroku a tiež bol odvodený regionálny škálovací koeficient použitím údajov zo všetkých zrážkomerných staníc, okrem verifikačných staníc. Na základe vypočítaného regionálneho škálovacieho koeficienta boli odvodené lokálne IDF krivky pre tri verifikačné stanice, získané škálovaním momentov maximálnych denných úhrnov zrážok a to lokálne i regionálne. Z výsledkov je vidieť, že návrhové hodnoty zrážok získané škálovaním maximálnych denných úhrnov zrážok sú značne podhodnotené v porovnaní s hodnotami odvodenými Šamajom a Valovičom [15]. Výsledky tejto štúdie overili hodnotenie použiteľnosti teórie jednoduchého škálovania pri regionálnom odhade IDF kriviek na Slovensku.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0443-07 a VEGA 1/0103/10. Článok vznikol tiež vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti protipovodňovej ochrany územia ITMS 26240120004 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] BARA, M. – GAÁL, L. – KOHNOVÁ, S. – SZOLGAY, J. – HLAVČOVÁ, K., 2008. Simple scaling of extreme rainfall in Slovakia: a case study. Meteorological Journal, Vol. 11, No. 4, pp.153-157.

[2] BERNARD, M. M., 1932. Formulas for rainfall intensities of long durations. Trans. ASCE, 96: pp. 592–624 .

[3] DE MICHELE, C. – KOTTEGODA, N. T. – ROSSO, R., 2002. IDAF (intensity-duration-area-frequency) curves of extreme storm rainfall: a scaling approach. Water Science and Technology, Vol. 25, No. 2, pp. 83–90 .

[4] DUB, O., 1950. Hydrological data for the sewage system design. Voda, 5-6.

[5] GAÁL, L., 2006. Estimation methods of statistical properties of short-term to several-day design precipitation in Slovakia. [Ph.D. thesis]. Univerzita Komenského, Bratislava. 228 s. [in Slovak]

[6] HOSKING, J. R. M. – WALLIS, J. R., 1997. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge University Press, Cambridge. 224 p.

[7] KOUTSOYIANNIS, D. – KOZONIS, D. – MANETAS, A., 1998. A mathematical framework for studying rainfall intensityduration-frequency relationships. Journal of Hydrology, Vol. 206, pp.118-135.

[8] MARIEN, J. L. – VANDEWIELE, G. L., 1986. A point rainfall generator with internal storm structure. Water Resources Research, Vol. 22, No.4, pp. 5231-5238.

[9] MENABDE, M. – SEED, A. – PEGRAM, G., 1999. A simple scaling model for extreme rainfall. Water Resources Research, Vol. 35, No. 1, pp. 335-339 .

[10] MINH NHAT, L. – TACHIKAWA, Y. – SAYAMA T. – TAKARA, K., 2007. Regional rainfall intensity-duration-frequency relationships for ungauged catchments based on scaling properties. Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.,No 50B. theory, pp. 33 - 43

[11] MOLNAR, P. – BURLANDO, P., 2005. Preservation of rainfall properties in stochastic disaggregation by a simple random cascade model. Atmospheric Research, Vol. 77, pp.137-151 .

[12] RODRIGUEZ-ITURBE, I. – GUPTA, V. K. – WAYMIRE, E. C., 1984. Scale considerations in the modeling of temporal rainfall. Water Resources Research, Vol. 20, No. 11, pp. 1611-1619

[14] ROSSO, R. – BURLANDO, P., 1990. Scale invariance in temporal and spatial rainfall. In: Proceedings of the 15th General Assembly of the European Geophysical Society, 23-27 April, 1990, Copenhagen. Annales Geophysicae, 145 p.

[15] ŠAMAJ, F. – VALOVIČ, Š., 1973. Intenzity krátkodobých dažďov na Slovensku. Zborník prác HMÚ č. 5, SPN Bratislava

[16] VENEZIANO, D. – LEPORE, CH. – LANGOUSIS, A. – FURCOLO, P., 2007. Marginal methods of IDF estimation in scaling and non-scaling rainfall. Water Resources Research. Vol. 43, No. 10. W10418.

[17] WAYMIRE, E. C. – GUPTA, V. K., 1981. The mathematical structure of rainfall representation. 1. A review of stochastic rainfall models, 2. A review of the point processes.

[18] WILLEMS, P., 2000. Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two seasons and two storm types. Journal of Hydrology, Vol. 233, No. 1-4, pp. 189-205 .

[19] YU, P. SH. – YANG, T. CH. – LIN, CH. S., 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. Journal of Hydrology, Vol. 295, No. 1-4, pp. 108-123.

Kontakty na autora

1 Katedra vodného hospodárstva krajiny STU v Bratislave,
e-mail: marta.bara@stuba.sk, jana.lateckova@stuba.sk, silvia.kohnova@stuba.sk, jan.szolgay@stuba.sk, kamila.hlavcova@stuba.sk