VPLYV RÔZNYCH FAKTOROV NA ODHAD N-ROČNÝCH PRIETOKOV METÓDOU POT

Veronika Bačová Mitková [1]

Abstrakt

Cieľom tohto príspevku je prezentovať alternatívny prístup analýzy extrémnych hydrologických udalostí pri odhade prietokov s rôznou dobou opakovania a vplyvu rôznych faktorov na presnosť resp. rozkolísanosť odhadu týchto prietokov. Na odhad N-ročných prietokov bola vybraná metóda Peak Over Threshold (POT), ktorá sa používa ako alternatíva určovania N-ročných prietokov k metóde ročných maxím pri analýzach extrémnych hydrologických udalostí. Vstupné údaje pre odhad N-ročných prietokov tvoril súbor denných prietokov Dunaja v stanici Bratislava za obdobie 1917–2002.

Kľúčová slova: metóda Peak Over Threshold, povodeň, N-ročný prietok, rozdelenie pravdepodobnosti.

1. Úvod

Pri analýzach extrémnych javov sa, vzhľadom na neistoty vo vedomostiach o fyzikálnych procesoch vzniku týchto javov využívajú metódy matematickej štatistiky a počty pravdepodobnosti. Vo svetovej hydrológii bol výskum v sedemdesiatych a osemdesiatych rokoch zameraný najmä na odvodenie efektívnejších štatistických procedúr. Boli vyvinuté nové typy rozdelenia pravdepodobnosti a metódy odhadu ich parametrov. V deväťdesiatych rokoch boli práce zamerané hlavne na porovnávanie už existujúcich metód. Na Slovensku v posledných rokoch taktiež prebieha prehodnocovanie tradičných metód výpočtu návrhových maximálnych prietokov (Q_N) v povodiach [15, 10, 8]. Rady ročných maxím sú veľmi často využívané pri pravdepodobnostnom odhade veličín v hydrológii, ale tieto rady neodrážajú skutočné informácie o režime rieky. Rady ročných maxím obsahujú iba jednu hodnotu za rok a preto sa v tomto rade môže stratiť informácia o vrcholovom prietoku, ktorý je vyšší ako maximum v inom roku [9, 1]. Neistotou určovania N-ročných maximálnych prietokov Dunaja v Bratislave sa zaoberali napríklad na STU SvF [14], kde okrem iných vplyvov uvažovali pri analýze aj s vplyvom rozsahu analyzovaného obdobia na presnosť určenia N-ročných prietokov. Ďalším nedostatkom pri analýzach metód výpočtu Q_N z radov ročných maxím je hlavne nedostatok dostatočne dlhých pozorovaní, nakoľko sa pri odhadoch dosiahnutia možných prietokov vychádza z minulosti. Tieto obmedzenia vedú k využitiu metódy POT – Peak Over Threshold. Rady údajov pri metóde POT obsahujú všetky hodnoty prietokov nad zvolenou prahovou hodnotou [2, 13]. Metóda POT sa používa preto ako alternatíva k metóde využitia ročných maxím na odhad N-ročných prietokov pri štatistických analýzach extrémnych hydrologických situácií [3, 5, 6, 11]. Cieľom daného príspevku je:spracovanie dostupných údajov o prietokoch na Dunaji v stanici, voľba prahovej hladiny POT, rozdelenie súboru prietokov na: sezóny a rôzne dĺžky časových radov za účelom určenia vplyvu týchto faktorov na odhad N-ročných prietokov metódou POT a porovnanie a zhodnotenie výsledkov odhadu N-ročných prietokov na Dunaji v stanici Bratislava: metódou POT [16].

2. Vstupné údaje a metóda POT

2.1 Vstupné údaje

Vstupné údaje pre odhad návrhových maximálnych prietokov tvoril súbor denných prietokov Dunaja v stanici Bratislava za obdobie 1917–2002. Údaje o prietokoch pre dané obdobie poskytol SHMÚ Bratislava. Na základe denných prietokov boli vybrané prietokové vlny, ktoré

by mohli byť zaradené do súboru potrebného k štatistickému spracovaniu. K týmto vlnám boli vybraté maximálne prietoky z archívu SHMU. Vzhľadom na skutočnosť, že vrcholové prietoky vĺn v archíve SHMU sú zaznamenané od roku 1930, boli pre roky 1917–1929 maximálne prietoky dopočítané pomocou koeficientov, určených z regresných vzťahov pre jednotlivé mesiace roka.

2.2 Metóda Peak Over Threshold

Metóda POT spočíva vo zvolení kulminačných prietokov nad vopred zvolenú hranicu tak, aby bol počet prvkov štatistického súboru $n > N$, kde N je počet rokov pozorovania. Pre prvý výber dát sa ako prahová hodnota volí hodnota okolo Q_a (dlhodobý ročný prietok). Táto hodnota je pomerne nízka a súbor vrcholových prietokov vĺn môže mať príliš veľký rozptyl, môže teda obsahovať vlny, ktoré nemusia byť vrcholmi významných povodní. Postupným zvyšovaním prahovej hodnoty sa dosiahne požadovaný počet udalosti za dane obdobie (rok), ktoré sú nad touto prahovou hodnotou. Prahová hodnota sa potom zvyčajne volí tak, aby súbor hodnôt zaradených do štatistického spracovania obsahoval v priemere okolo päť vrcholových hodnôt za rok. Pri výbere povodňových udalostí musí byť zabezpečená aj ich nezávislosť [2]. Podrobný opis metódy POT ako aj postup pri výbere vĺn do súboru POT dát je uvedený v predchádzajúcich prácach Mitková et al. [12, 7]). Pri metóde POT vstupný súbor údajov pozostáva zo všetkých kulminačných prietokov povodní za obdobie N rokov, ktoré presahujú prahovú hodnotu x_B (nižšie značné ako Q_{POT}). Pri POT metóde máme dve premenné: počet kulminácií (vrcholov) v každom roku ν a prietoky nad prahovou hodnotou $Z = X - x_B$. Distribučnú funkciu ročných maximálnych prietokov dostaneme kombináciou distribučných funkcií počtu vrcholov a prietokov nad prahovou hodnotou Q_{POT} [5].

3. Vplyv voľby prahovej hodnoty POT na odhad N-ročných prietokov

Napríklad Lang a kol. [4] študovali problém výberu prahovej hodnoty a využili pri tom súbor porovnávacích testov v určitom intervale akceptovateľných prahov. Interval akceptovateľných prahov bol nájdený na základe testov stability distribučných parametrov a verifikáciou pomocou Poisonovej distribúcie. Ako druhé zobrali takú hodnotu z tohto intervalu, aby počet prekročení bol 2-3 v roku. Pre prvý výber dát sa ako prahová hodnota volí hodnota okolo Q_a (dlhodobý ročný prietok). Táto hodnota je pomerne nízka a súbor vrcholových prietokov vĺn môže mať príliš veľký rozptyl, môže teda obsahovať vlny, ktoré nemusia byť vrcholmi významných povodní. Postupným zvyšovaním prahovej hodnoty sa dosiahne požadovaný počet udalosti za dane obdobie (rok), ktoré sú nad touto prahovou hodnotou. Prahová hodnota sa potom zvyčajne volí tak, aby súbor hodnôt zaradených do štatistického spracovania obsahoval v priemere daný počet vrcholových hodnôt za rok.

V našej práci bola prahová hodnota POT volená na hraniciach 0,7 - 0,95 percentilu (Tab.1). V tabuľke 1 sú vypísané hodnoty 100 a 1000ročných prietokov odhadnuté metódou POT pri rôznych hladinách prahovej hodnoty. Najvyššia hodnota odhadnutého N-ročného prietoku bola na hladine prahovej hodnoty 2750 $m^3 \cdot s^{-1}$ (0,8 percentilu) s priemerným počtom vrcholov v roku 3,25 a Poissonovou distribúciou.

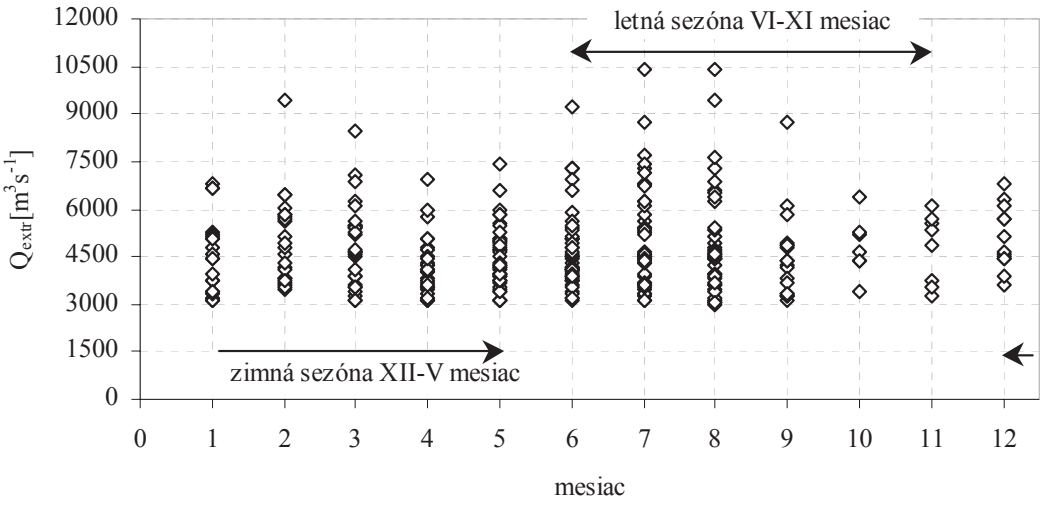
Tab. 1: Hodnoty N-ročných prietokov s dobou opakovanie 100 a 1000 rokov pre rôzne hladiny prahovej hodnoty Q_{POT} (Q [$m^3.s^{-1}$]).

Percentil	Q_{POT}	Q_{100POT}	$Q_{1000POT}$	N	n	Q_{100LN}	Q_{1000LN}	Q_{100LP3}	$Q_{1000LP3}$
0,7	2200	10100	12200	3,72					
0,75	2500	10300	12500	3,49					
0,8	2750	10410	12520	3,245	86	10018	12119	10303	12806
0,85	3000	10300	12500	2,93					
0,9	3400	9810	11900	2,43					
0,95	3800	10000	12100	2,03					

4. Vplyv sezónnosti na odhad N-ročných prietokov

Pri rozdelení roka na sezóny sme vychádzali z analýzy výskytu povodní na Dunaji v jednotlivých mesiacoch a z hodnotenia odtokového režim Dunaja počas roka. Najvodnejším mesiacom (obdobie 1901–2000) bol mesiac jún, s dlhodobým priemerným mesačným prietokom 2789 $m^3.s^{-1}$, najsuchší bol mesiac október, s dlhodobým priemerným mesačným prietokom 1527 $m^3.s^{-1}$ [7]. Z hľadiska odtokového režimu Dunaja sme namerané údaje rozdelili do dvoch sezón (Obr. 1):

- letná sezóna zahrňuje VI-XI mesiac, kedy k výskytu kulminačných prietokov dochádza len z výdatných zrážok na celom danom úseku Dunaja;
- zimná sezóna zahrňuje XII-V mesiac, kedy k výskytu kulminačných prietokov dochádza kombináciou výdatných zrážok vo forme snehu a dažďa ako aj topením snehu v oblasti alpských prítokov Dunaja na jeho hornom úseku.



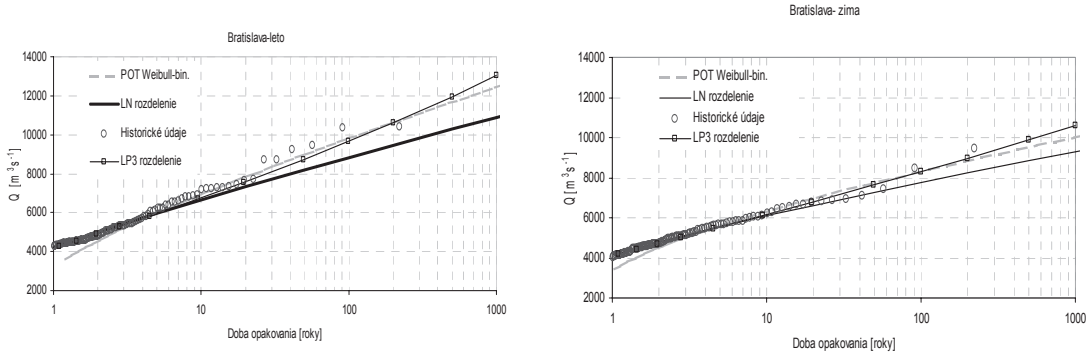
Obr. 1: Extrémne prietoky v jednotlivých mesiacoch počas rokov 1917-2002 v stanici Dunaj: Bratislava.

V prípade Dunaja sme zvolili prahovú hodnotu na úrovni 0,8 percentilu. Počty vĺn v jednotlivých sezónach majú Poissonovo rozdelenie. Na zachovanie podmienok nezávislosti vybraných maximálnych prietokov vĺn, boli použité tri filtre s nasledujúcou podmienkou

Q_{n-1}< Qn > Q_{n+1}. Pri odhade N-ročných maximálnych prietokov metódou POT bolo aplikované teoretické rozdelenie Weibull. Distribučná funkciu ročných maximálnych prietokov sme dostali kombináciou distribučných funkcií počtu vrcholov a prietokov nad prahovou hodnotou Q_{POT} [6]. Hodnoty N-ročných prietokov metódou POT boli následne porovnané s hodnotami N-ročných prietokov určených z radu ročných maxím nami zvolenými štatistickými odhadmi: LN - Lognormalne rozdelenie, LP III- Log-Pearsonovo III typu. Lognormálne rozdelenie pravdepodobnosti a Log-Pearsonovo III typu rozdelenie pravdepodobnosti sú jedny z najpoužívanejších distribúcií v hydrológii. Podľa výsledkov testov zhody (Kolmogorov-Smirnov a χ2) nemôžme zamietnuť hypotézu, že dané dáta majú distribúciu LN a LP III na hladine významnosti 95 %. Na Obr. 2 sú znázornené čiary opakovania maximálnych prietokov určené metódou POT porovnané nami zvolenými štatistickými odhadmi LN rozdelenie a LP III rozdelenie pre dané sezóny. Pri odhade N-ročných maximálnych sezónnych prietokov metódou POT bolo aplikované teoretické Weibullovo rozdelenie. Na porovnanie výsledkov odhadu N-ročných prietokov metódou POT boli prevedené aj odhady z ročných maxím za dané obdobia. Z výsledkov analýzy vyplýva, že pre letnú sezónu, LP III teoretické rozdelenie pravdepodobnosti dávalo najvyššie hodnoty pre Q_{1000} a metóda POT pre Q_{100} (Obr. 2 a, Tab. 2). Pri zimnej sezóne najvyššiu hodnoty v Q_{1000} a Q_{100} dosiahlo LP III teoretické rozdelenie pravdepodobnosti. Rozdiel v odhadoch Q_{1000} medzi týmito metódami (LN, LP III a POT) predstavuje v profile Dunaja v Bratislave pre N-ročné maximálne prietoky max 5,36 % , pre kratšie doby opakovania je rozdiel v odhadoch menší. Napríklad pre Q100, medzi metódami predstavuje rozdiel v Q_N max 3,6 %. V letnej sezóne je rozdiel Q_{1000} 16 % a Q_{100} 9 % (POT metóda dáva vyššiu hodnotu odhadu), pre zimnú sezónu je rozdiel Q_{1000} 12 % a Q_{100} 7,5 %.

Tab. 2: Porovnanie odhadnutých hodnôt Q_{100} a Q_{1000} vo zvolených sezónach

Metóda	Q100 [m^3s^{-1}]	Q1000 [m^3s^{-1}]
POT-rok	10410	12520
POT-leto	9800	12460
POT-zima	8390	10050
LN-leto	8829	10901
LN-zima	7762	9284
LP III-leto	9653	13030
LP III-zima	8293	10592



letná sezóna zimná sezóna

Obr. 2: Odhady N-ročných maximálnych sezónnych prietokov podľa zvolených metód odhadu v stanici Dunaja v Bratislave: a) letná sezóna; b) zimná sezóna.

5. Vplyv dĺžky časového radu na odhad N-ročných prietokov

V ďalšej časti bol rad údajov rozdelený na menšie časové rady 60, 40 a 20 ročné rady údajov, pre analýzu vplyvu dĺžky časového radu na odhad N-ročných prietokov. Hodnoty N-ročných prietokov metódou POT boli následne porovnané s hodnotami N-ročných prietokov určených z radu ročných maxím nami zvolenými teoretickými rozdeleniami pravdepodobnosti (LN rozdelenia a LP rozdelenia III typu). Pri časovom rade 60 rokov bol pri Q_{100} rozdiel medzi metódou POT a Lognormálnom rozdelením 2,5 %, pričom POT dávala vyššiu hodnotu odhadnutého prietoku. Prietok s dobou opakovania 1000 rokov bol vyšší podľa Log-Pearsonového rozdelenia III typu o 1,4 % (179 $m^3.s^{-1}$) ako pri metóde POT. Najvyššie hodnoty odhadu N-ročných prietokov dávalo Lognormálne rozdelenie pri 40 ročnom časovom rade. Pri skrátení dĺžky časového radu na 20 rokov dávala metóda POT najvyšší odhad N-ročných prietokov v porovnaní s hodnotami podľa Log-Pearson III a Lognormalneho rozdelenia. Rozdiely medzi odhadmi hodnôt N-ročných prietokov podľa zvolených metód sú vypísane v tabuľkách 3 až 5.

Tab. 3: Hodnoty prietokov s rôznou dobou opakovania podľa vybraných metód štatistického odhadu pre časový rad 60 rokov (Q [$m^3.s^{-1}$])

N [roky]	1000	100	50	20	10	5	2	1
P [%]	0,1	1	2	5	9,5	18	39	63
Q_{LN}	12263	10130	9462	8542	7799	7171	6291	5336
Q_{LP3}	12570	10357	9547	8629	7828	6973	5999	5283
Q_{POT}	12500	10350	9700	8800	8000	7250	6200	5350

Tab. 4: Hodnoty prietokov s rôznou dobou opakovania podľa vybraných metód štatistického odhadu pre časový rad 40 rokov (Q [$m^3.s^{-1}$])

N [roky]	1000	100	50	20	10	5	2	1
P [%]	0,1	1	2	5	9,5	18	39	63
Q_{LN}	12567	10350	9657	8704	7994	7223	9136	5257
Q_{LP3}	11815	10020	9431	8686	7898	7100	9116	5380
Q_{POT}	11700	9900	9300	8500	7900	7200	6200	5400

Tab. 5: Hodnoty prietokov s rôznou dobou opakovania podľa vybraných metód štatistického odhadu pre časový rad 20 rokov (Q [$m^3.s^{-1}$])

N [roky]	1000	100	50	20	10	5	2	1
P [%]	0,1	1	2	5	9,5	18	39	63
Q_{LN}	13102	10615	9847	8798	8018	7186	6021	5094
Q_{LP3}	12900	10568	9815	8782	7954	7052	6001	5219
Q_{POT}	13550	11100	10100	9000	8200	7300	6200	5200

6. Záver

V príspevku boli porovnané tri vplyvy na odhad N-ročných prietokov metódou POT a nami zvolenými teoretickými rozdeleniami pravdepodobnosti (LN rozdelenie a LP rozdelenie III typu). Ako vstupné údaje pre analýzu metódy POT sme použili priemerné denné prietoky na Dunaji v stanici Bratislava za obdobie 1917–2002. Ako prvé sme vybrali prietokové vlny tak aby boli splnené podmienky nezávislosti jednotlivých hydrologických udalostí. Potom sme testovali vplyv voľby hladiny prahovej hodnoty na odhad N-ročných prietokov. Aby bolo zachované kritérium počtu vrcholov v roku a zaradené do výberu významné udalosti, volili sme veľkosti prahovej hodnoty na hladine 0,7-0,95 percentilu. Výsledky ukázali, že najvhodnejšia prahová hodnota bola na hladine 0,8 percentilu. V druhej časti príspevku boli porovnané odhady maximálnych sezónnych prietokov v profile Dunaj-Bratislava. Z výsledkov porovnania odhadovaných N-ročných prietokov môžeme povedať, že rozdiely v odhadoch metódou POT a LPIII neboli veľké. Pri Q_{100} a Q_{1000}, sa rozdiely pohybovali okolo 1,35 %. Odhady N-ročných prietokov pri LN rozdelení vyšli v oboch sezónach pomerne nízke. V poslednej časti príspevku bol analyzovaný vplyv dĺžky časového radu na odhad N-ročných prietokov. Ako vyplýva z daných výpočtov, výber metódy na zostavenie radu maximálnych sezónnych prietokov a jeho následná štatistická analýza má vplyv na výsledné hodnoty odhadov N-ročných prietokov. Z výsledkov vyplynulo, že dĺžka spracovávaného radu má tiež, okrem výberu teoretického rozdelenia pravdepodobnosti, významný vplyv na odhad N-ročných prietokov. Metóda POT dáva pomerne dobré odhady N-ročných prietokov aj pre krátke časové rady údajov. Výsledky analýzy celkovo ukazujú, že metóda POT je vhodná metóda na odhad N-ročných prietokov a zahrňuje do výpočtu aj vynechané významné povodne pri súboroch zostavených z ročných maxím [9, 1]. Avšak v prípade, že povodie (tok) má pomerne vyrovnaný hydrogram a hodnoty danej veličiny (prietok, vodný stav) sú nad prahovou hodnotou dlhší čas (čím nemožno určiť POT hodnotu), je výhodnejšie použiť na štatistickú analýzu extrémov ročné maximum [2, 13].

Poďakovanie: Výsledky výskumu vznikli v rámci riešenia grantových projektov VEGA 0096 a MVTS projekt „Flood regime of rivers in the Danube River basin“.

Literatúra

[1] CHOW, V. T. – MAIDMENT, D. R. – MAYS, L. W., 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill, New York, NY.

[2] BAYLISS, A. C., 1999. Deriving flood peak data. Flood estimation Handbook. Vol.3, pp 273–283.

[3] CUNNANE, C., 1979. A note on Poisson assumption in partial duration series model. Water Resour. Res., 15 (2), pp. 489–494.

[4] LANG, M. – OUARDA, T.B.M.J. – BOBEE, B., 1999. Towards operational quid lines for over threshold modelling. J. Hydrol., 225, pp 103–117.

[5] ROSBJERG, D., 1977. Returns periods of hydrological events. Nordic Hydrol., 8, pp 57–61.

[6] TODAROVIČ, P., 1970. On some problems involving random number of random variables. Ann. Math. Statistics, Vol. 41 (No. 3), pp 1059–1063.

[7] MITKOVÁ, V. – PEKÁROVÁ, P. – KOHNOVÁ, S., 2004. Porovnanie odhadov maximálnych sezónnych prietokov v profile Dunaj - Bratislava. Acta Hydrologica Slovaca. No. 1, pp 34–40.

[8] HALMOVÁ, D., 2003. Vplyv výberu teoretickej čiary prekročenia na dobu opakovania extrémnych prietokov. 11. Posterový deň, CD-ROM, ÚH SAV-GFÚ SAV, Bratislava.

[9] KITE G. W., 1977. Frequency and risk analysis in hydrology. Water Res. Publications, Fort Collins, CO.

[10] KOHNOVÁ, S. – SZOLGAY, J., 2000. 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.* NATO Science Series, Vol. 71. Kluwer Academic Publishers, pp 41–47.

[11] LANGBEIN, W. B., 1949. Annual floods and the partial-duration flood series. Transactions, AGU 30 (6), pp 879–881.

[12] MITKOVÁ, V. – PEKAROVÁ, P. – KOHNOVÁ, S. – SZOLGAY, J., 2003. Porovnanie odhadov návrhových maximálnych prietokov pri rôznom spôsobe zostavenia štatistického radu kulminačných prietokov v profile Dunaj Bratislava. Sborník příspěvku z Workshopu „Extrémní hydrologcké jevy v povodích“, Praha, s. 61–70.

[13] RAO, A. R. – HAMED, K. H., 2000. Flood frequency analysis. CRC Press LLC, N. W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida.

[14] SZOLGAY, J. – KOHNOVÁ, S. – HLAVČOVÁ, K., 2003. Ilustrácia neistoty určovania N-ročných maximálnych prietokov Dunaja v Bratislave. Konferencia s medzinárodnou účasťou „Ochrana pred povodňami a bezpečnosť vodných stavieb.“ Bratislava, s. 7–12.

[15] SZOLGAY, J. – KOHNOVÁ, S. – ČUNDERLÍK, J., 1998. Niektoré metodické otázky určovania návrhových maximálnych prietokov metódami regionálnej analýzy. Konferencia, „Povodne a protipovodňová ochrana“. Banská Štiavnica, s. 143–148.

[16] VUKMIROVIČ, V. – PETROVIČ, J., 1995. Flood flow analysis using renewal processes. Grupe AMHY, Seminar annual.

Kontakty na autora

1 Ústav hydrológie SAV Bratislava, e-mail: mitkova@uh.savba.sk