ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 53 - 58

DETEKCIA ZMIEN V ČASOVOM RADE KULMINAČNÝCH PRIETOKOV V OBLASTI JUŽNÉHO SLOVENSKA

Katarína Jeneiová; Silvia Kohnová; Juraj Parajka, Ján Szolgay

Rastúci počet extrémnych hydrologických udalostí v posledných desaťročiach spôsobil zvýšený záujem o detekovanie zmien v dlhých časových radoch hydrologických údajov. Cieľom príspevku bolo poukázať na zmeny v detekovanom trende počas rôzne dlhých časových intervalov. Na analýzu boli použité rady kulminačných prietokov nachádzajúcich sa na juhu Slovenska, so zameraním na stanicu 7885-Rimavská Seč. Pozorovania v tejto stanici boli dostupné od roku 1926 po rok 2010. Testovaná bola homogenita časového radu. Veľkosť trendu bola určená pomocou Theil-Senovho sklonu a významnosť trendu pomocou modifikovaného Mann-Kendallovho testu s odstránením autokorelácie údajov. Z výsledkov je zrejmé, že s každým pridaným rokom sa mení štatistická významnosť a veľkosť detekovaného trendu. Detekcia zmien by sa preto nemala zameriavať iba na štatistické vyhodnocovanie trendovej analýzy, ale mala by zahŕňať i snahu o určenie príčin vzniku detekovaných zmien.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: detekcia zmien, kulminačné prietoky, trend

DETECTION OF CHANGES IN THE ANNUAL MAXIMUM DISCHARGE SERIES IN SOUTH SLOVAKIA. A rising number of extreme hydrological events created a renewed interests in the detection of changes in the long term hydrological series. The purpose of this article was to point out the changes in the trend detected in different length of the time series. Flood peak time series from the area of South Slovakia were used for the analysis. The focus was on the station 7885 Rimavska Sec. The observations in this station were available from 1921 to 2010. Homogeneity of the time series was tested. Trend was detected by modified Mann-Kendall trend test and Theil-Sen slope for moving time windows. From the results it is clear that the significance and magnitude of the detected trend changes with the length of the observation. Detection of changes therefore should not focus only on the statistical analysis of the time series but also in the identification of drivers behind the detected changes.

KEY WORDS: change detection, peak discharges, trend

Úvod

Sledovanie a odhaľovanie zmien v dlhých časových radoch údajov je dôležité z vedeckého i praktického hľadiska. Hydrologické štúdie sú potrebné z hľadiska odhadnutia dosahu ľudskej činnosti na prirodzené procesy. Zmeny v časových radoch môžu mať rôzne podoby: môžu byť krátkodobé či dlhodobé, postupné alebo náhle, periodické či jednorazové. Pre pochopenie zmien je nutná nie len detekcia zmeny, ale hlavne pochopenie faktorov ovplyvňujúcich vznik zmien (Merz *et al*., 2012). Skúmanie štatistických vlastností hydrologických časových radov nám môže poskytnúť dôkazy o týchto zmenách.

Vo svete i na Slovensku bolo publikovaných množstvo prác zaoberajúcich sa skúmaním trendu v časových radoch hydrologických veličín v snahe o priradenie zmien k faktorom, ktoré majú vplyv na ich vznik (napr. Bormann *et al*., 2011, Kundzewic *et al.*, 2013, Carmona a Poveda, 2014). Štúdie sa zvyčajne zaoberajú trendovou analýzou pri fixnej dĺžke časového radu. Mediero *et al.* (2014) skúmali trendy na povodiach v Španielsku pomocou indikátorov povodní v rôznom časovom kroku. Pomocou Mann-Kendallovho testu odhalili klesajúci trend vo veľkosti a frekvencii výskytu povodní a rastúci trend v časovom nástupe povodní. Taktiež sa im podarilo identifikovať faktory ovplyvňujúce výskyt detekovaných trendov.

V článku sa zaoberáme detekciou zmien v dlhých časových radoch prietokov, s dôrazom na detekciu zmien vo výskyte trendu v časových radoch prietokov pri pohyblivej dĺžke skúmaného časového radu. Výsledky štúdie môžu prispieť k doplneniu, potvrdeniu či vyvráteniu poznatkov získaných z doterajších štúdií na Slovensku i vo svete.

Metodické postupy

Homogenita vstupných údajov je dôležitá obzvlášť pri trendovej analýze súvisiacej so zmenou klímy, keďže zmeny klimatologických prvkov sú zvyčajne malé a teda pri nehomogénnych časových radoch neodhaliteľné. Homogenita časových radov v skúmaných staniciach bola testovaná pomocou Alexanderssonovho testu (SNHT, Alexandersson a Moberg, 1997). Kritické hladiny v SNHT (Haenggi, 2010) teste, po ich prekročení považujeme časový rad za nehomogénny, boli upravené podľa spresnených výsledkov Khaliqa a Quardu (2006).
Mann-Kendallov test (Kendall, 1975) skúma významnosť trendu. Test je založený na poradí prvkov. Vstupné údaje sa nemusia riadiť žiadnou konkrétnou pravdepodobnosťou. V prípade, ak by boli uvažované iba homogénne stanice, na detekciu trendu by postačovala lineárna regresia. Ak sa štandardizovaná Mann-Kendall štatistická charakteristika Z rovná nule, dáta sú distribuované normálnym rozdelením so strednou hodnotou nula a rozptylom určeným nulovou hypotézou (neexistuje trend). Pozitívne hodnoty Z naznačujú vzrastajúci trend, negatívne hodnoty Z určujú klesajúci trend. Pri nízkych hodnotách pravdepodobnosti výskytu *p-value* sa predpokladá, že trend sa nevyskytuje iba vďaka náhodnému výberu hodnôt. Von Storch (1995) vo svojom výskume poukázal na to, že existencia pozitívnej autokorelácie zvyšuje pravdepodobnosť zistenia významného trendu pomocou Mann-Kendallovho testu, a teda výskytu chyby I. druhu. Yue *et al.* (2002) vo svojej práci dokázali, že korelácia dát ovplyvňuje výsledky Mann-Kendallovho testu. Po odstránení korelácie klesla významnosť existujúceho trendu. Medzi populárne korekcie Mann-Kendallovho testu patrí i korekcia zavedená autormi Hamed a Rao (1998). Táto korekcia sa zameriava na upravenie variancie Mann-Kendallovho testu. Hamed a Rao (1998) uvažovali vplyv autokorelácie (kladnej alebo zápornej). Dáta však môžu byť závislé aj bez vypočítanej autokorelácie, preto by vybrané štatistické testy mali zahŕňať aj odchýlku spôsobenú kladnou autokoreláciou v čase a priestore (Kundzewicz a Robson, 2004). Záporná autokorelácia nemusí byť významná a jej výskyt môže byť spojený s problémami odchýlok merania (Ehsanzadeh a Adamowski, 2010; Hall, 2013). Test použitý v práci bol naprogramovaný v softvéri R (Santander Meteorology Group, 2012) a obsahuje korekciu podľa Hameda a Raa (1998).
Veľkosť trendu vyskytujúceho sa v časovom rade je možno odhadnúť pomocou Theil- Senovho sklonu (Theil, 1950; Sen 1968):

$$\beta = Median\left(\frac{X_j - X_l}{j-l}\right) \forall\, l < j \qquad (1)$$

kde β je odhad sklonu trendu a X_j je hodnota z radu pozorovaní j= 1...l. Sklon získaný týmto prístupom je priamočiarym odhadom významnosti monotónneho trendu. Ak sa Theil-Senov sklon blíži k nule, nie je podľa autora Yue *et al.* (2002) potrebné pokračovať v trendovej analýze. Ak je jeho veľkosť rozličná od nuly, potom predpokladáme výskyt lineárneho trendu.

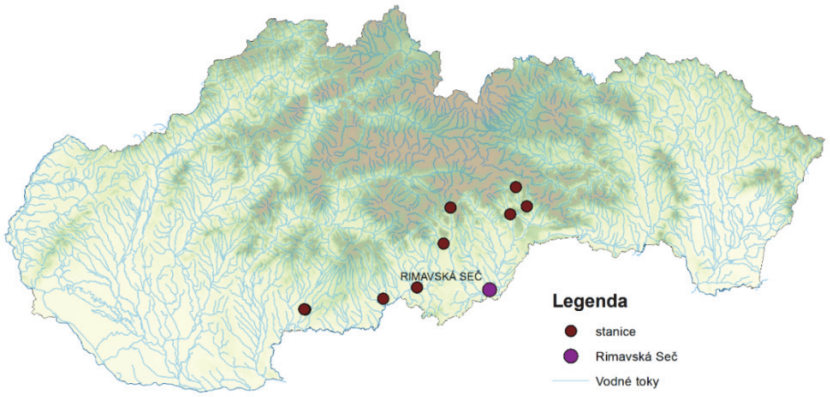
Pre výpočet veľkosti Theil-Senovho sklonu boli vstupné údaje X_t štandardizované podľa:

$$X_t^u = \frac{X_t}{E(X_t)}, \qquad (2)$$

kde E je priemer zo vstupných údajov. Následne bol vypočítaný percentuálny nárast alebo pokles Theil-Senovho sklonu.

Vstupné údaje

Vstupné údaje tvorilo deväť radov ročných kulminačných prietokov nachádzajúcich sa na povodiach na južnom Slovensku poskytnutých Slovenským hydrometeorologickým ústavom (Obr.1, Tab.1).



Obr. 1. Stanice na juhu Slovenskej republiky.
Fig. 1. Stations in South Slovakia.

Tabuľka 1. Popis staníc použitých v analýze nachádzajúcich sa na južnom Slovensku
Table 1. Stations characteristics in South Slovakia

Evidenčné číslo	Vodomerná stanica	Tok	Začiatok pozorovania (rok)	Veľkosť povodia (km²)	Nadmorská výška vodomernej stanice (m n.m.)	Priemerná nadmorská výška povodia (m n.m.)
7440	Holiša	Ipeľ	1931	685.67	172.4	378.582
7500	Dolná Strehová	Tisovník	1962	275.59	166.25	463.79
7580	Plášťovce	Krupinica	1931	302.79	139.47	455.936
7670	Vlachovo	Slaná	1922	123.16	411.97	787.5
7680	Gemerská Poloma	Súľovský potok	1960	57.38	324.04	710.311
7730	Štítnik	Štítnik	1925	129.63	284.95	620.981
7830	Tisovec	Rimava	1922	82.34	411	770.892
7860	Lehota N/Rimavicou	Rimavica	1926	148.95	263.65	661.247
7885	Rimavská Seč	Blh	1926	270.18	157.98	337.14

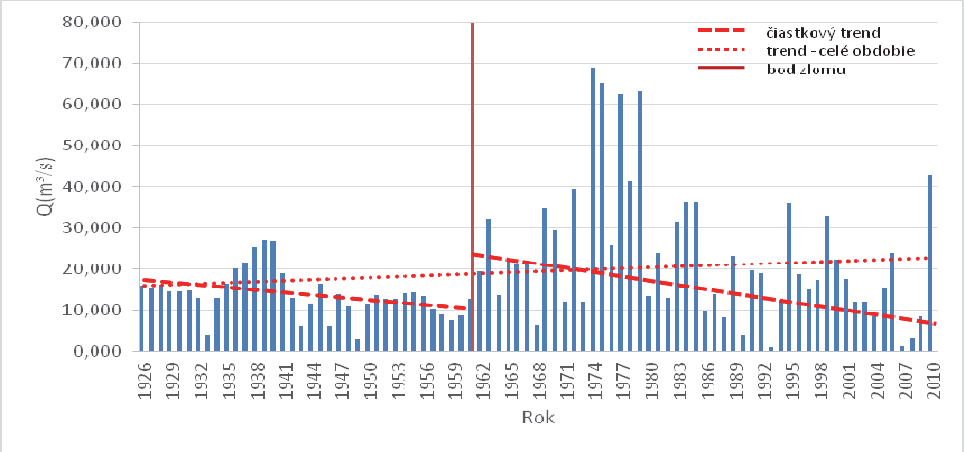
Vstupné údaje boli v nasledujúcich častiach práce podrobené analýze homogenity a trendovej analýze v snahe detekovať výskyt zmien vo veľkosti kulminačných prietokov. S vybraných povodí sa analýza v tomto článku bližšie zameriavala na stanicu 7885 Rimavská Seč v rokoch 1926 až 2010, na ktorej je ukázaný postup použitý pri analýze všetkých vstupných údajov. Stanica leží v povodí rieky Blh, ktorá sa vlieva do Rimavy.

Detekcia zmien pre stanicu 7885 Rimavská Seč

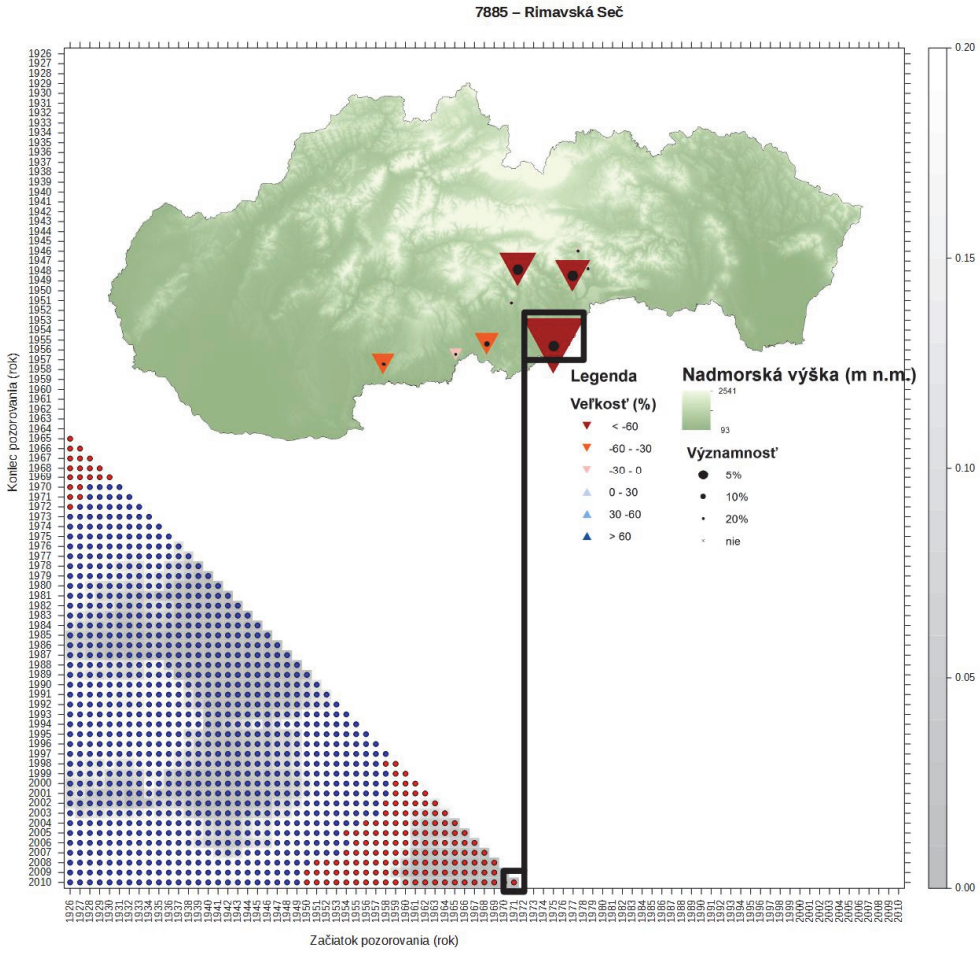
Analýza homogenity podľa SNHT testu odhalila nehomogénnosť časového radu. Vypočítaná hodnota 9,85 v roku 1961 (bod zlomu) presahovala kritickú hodnotu 9,001 na hladine významnosti 95%. Na Obr. 2 je znázornený časový rad s označením bodu zlomu. Bodkovaná čiara znázorňuje rastúci sklon vypočítaného linearneho trendu pre celé pozorované obdobie. Čiarkované čiary znázorňujú sklony klesajúcich lineárnych trendov pred a po bode zlomu. Z obrázka č.2 je zrejmé, že pred bodom zlomu bol v časovom rade prítomný klesajúci trend. Po roku 1961 sa štatistické vlastnosti časového radu zmenili, ale pri samostatnej analýze je v období 1961-2010 prítomný klesajúci trend.
V ďalšom kroku sme na analýzu časového radu zvolili pohyblivú hranicu určenia Theil-Senovho sklonu a významnosti trendu modifikovaným Mann-Kendallovým testom s odstránením autokorelácie. Na Obr. 3 je znázornená významnosť detekovaného trendu pomocou šedej farby v grafe xy na hladine významnosti 95%, modrá farba bodu znázorňuje rastúci trend a červená farba klesajúci trend. Na osi x je znázornený rok začiatku pozorovania a na y osi koniec pozorovania, minimálna dĺžka pozorovania bola 40 rokov, napr. pre interval v rokoch 1971-2010 bol detekovaný významný klesajúci trend na hladine významnosti 95% s veľkosťou Theil-Senovho sklonu 122%. Na mape v Obr. 3 sú zobrazené výsledky trendovej analýzy pre fixný časový krok 40 rokov (1971-2010) pre stanice na južnom Slovensku, s lokalizovanou stanicou Rimavská Seč. Veľkosť trojuholníka znázorňuje veľkosť trendu v percentách, hladina významnosti je určená pomocou veľkosti čierneho bodu podľa legendy. Na Obr. 3 môžeme pozorovať, ako sa pri predlžovaní pozorovaného obdobia zmenila významnosť i sklon trendovej čiary a pre celé dostupné pozorované obdobie 1926 až 2010 sklon trendovej čiary poukazuje na rastúci trend bez detekovanej významnosti na žiadnej z pozorovaných hladín významnosti. Z uvedenej analýzy je zrejmé, že s každým pridaným rokom sa mení štatistická významnosť a veľkosť odhaleného trendu. Pre ostatné analyzované stanice (Tab.1) boli dosiahnuté podobné výsledky pri zobrazení zmeny Theil-Senovho sklonu a významnosti trendu podľa modifikovaného Mann-Kendallovho testu. Toto poukazuje na závislosť a nevýhody použitia analýzy na určenie významnosti trendu pri extrapolácii budúcich výskytov extrémnych udalostí a snahe o zovšeobecnenie výsledkov a ich použitie pri predpovediach, ako napríklad extrapolácia rastúcich alebo klesajúcich trendov pri návrhoch protipovodňových opatrení v miestach bez priamych pozorovaní.

Diskusia a záver

V článku sme sa zaoberali detekciou zmien v dlhých časových radoch kulminačných prietokov, s dôrazom na výskyt a zmenu v trende. Pre stanice na južnom Slovensku bola vykonaná analýza homogenity časového radu, detekovaný trend a jeho významnosť pre meniacu sa dĺžku časového radu. V tejto štúdii sme na príklade



Obr. 2. Analýza homogenity, trendu a bodu zlomu v stanici 7885 Rimavská Seč.
Fig. 2. Homogeinity, trend and break point analysis in station 7885 Rimavská Seč.



Obr. 3. Zobrazenie zmeny Theil-Senovho sklonu a významnosti trendu podľa modifikovaného Mann-Kendallovho testu pre pohyblivý začiatok a koniec pozorovaného obdobia v stanici 7885 – Rimavská Seč (Legenda grafu xy: Modrá – rastúci trend, Červená- klesajúci trend, Šedá – hladina významnosti 95%).
Fig. 3. Change of Theil – Sen slope calculation and detection of trend significance according to modified Mann-Kendall test for moving window for station 7885 – Rimavská Seč (Legend of xy graph:Blue- rising trend, Red- decreasing trend, Grey – 95% level of significance).

stanice 7885 – Rimavská Seč chceli demonštrovať, že fixný časový interval nie je vhodný pre trendové analýzy a následnú extrapoláciu a regionalizáciu výskytov extrémnych udalostí vzhľadom na to, že analýza s pohyblivým začiatkom a koncom pozorovaného obdobia odhalila výrazné odchýlky v schopnosti detekovania štatisticky významného trendu.

Tieto výsledky boli potvrdené analýzou všetkých staníc na južnom Slovensku. Testy nie sú schopné identifikovať slabé alebo krátko trvajúce zmeny. Tento fakt však nie je možné považovať za absenciu zmeny (Radziejewski a Kundzewicz, 2009; Kundzewicz a Robson, 2004). Pre dlhé časové rady (viac ako 50 rokov) je nemožné určiť, či detekovaný trend nie je spôsobený osciláciami, posunmi v režime výskytu alebo prirodzenými zmenami, keďže ich dĺžka je stále relatívne krátka v pomere k dĺžke obdobia, v ktorom sa prejavia prírodné zmeny (Hall *et al*., 2014). Pre prietoky je odhadované, že nie je možné s presnosťou určiť výskyt signifikantného trendu pred koncom 21. storočia, aj v prípade ak by sa ich veľkosť zvýšila dvakrát ako bolo modelované s použitím klimatického scenára IPCC A2. S každým pridaným rokom pozorovania sa čas potrebný na odhalenie významného trendu zníži alebo zvýši (Ziegler *et al*., 2005).

Hall *et al.* (2014) odporúčajú identifikáciu mokrých a suchých období pred čisto trendovou analýzou. Bližšie skúmanie vlhkých a suchých období, lineárnych a nelineárnych metód ich určenia a identifikovanie prvkov, ktoré ovplyvňujú ich výskyt, by mohlo viesť k vysvetleniu ich vzniku a trvania. Detekcia zmien by sa nemala zameriavať iba na štatistické vyhodnocovanie trendovej analýzy, ale mala by zahŕňať i snahu o určenie príčin vzniku detekovaných zmien (Merz *et al.*, 2014; Bloeschl *et al.*, 2015; Hall *et al.,* 2014). Na detekciu zmien v hydrologických časových radoch teda nie je možné použiť iba štatistické metódy ako je trendová analýza, ale je hlavne nutné skúmať a hľadať potenciálne príčiny a faktory pôsobiace na tieto zmeny ako sú napr. genézy vzniku zrážok, či tvorby odtoku.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV- 0303-11 a Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR v rámci projektu č. VEGA 1/0776/13 a VEGA 1/0710/15.

Literatúra

Alexandersson, H., Moberg, A. (1997): Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. Int. J. Climatol., 1997, 17, 25–34.

Blöschl, G., Gaál, L., Hall, J., Kiss, A., Komma J., Nester, T., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Plavcová, L., Rogger, M., Salinas, J. L., Viglione, A. (2015): Increasing river floods: fiction or reality?. WIREs Water, 2015. doi: 10.1002/wat2.1079.

Bormann, H., Pinter, N., and Elfert, S. (2011): Hydrological signatures of flood trends in German rivers: flood frequencies flood heights and specific stages, J. Hydrol., 2011, 404, 50–66.

Carmona, A.M. (2014): Poveda, G. Detection of long-term trends in monthly hydro-climatic series of Colombia through Empirical Mode Decomposition, Climatic Change, 123 (2), 2014 pp. 301-313.

Ehsanzadeh, E., Adamowski, K. (2010): Trends in timing of low stream flows in Canada: impact of autocorrelation and long-term persistence. Hydrological Processes, 2010, 24(8), 970–980.

Haenggi, P. R (2010): scripts, Dostupné na: https://sites.google.com/site/phaenggi23/rscripts, Navštívené: 5.1.2014. 2010

Hall J. (2013): Information And Decision-Support For Robust Adaptation Of Irish Water Resources To Climate Change, Dizertačná práca, Irish Climate Analysis and Research Unit Department of Geography National University of Ireland, Maynooth, 2013.

Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kriauciuniene, J., Kundzewicz, Z. W., Lang, M., Llasat, M. C., Macdonald, N., Mcintyre, N., Mediero, L., Merz, B., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Neuhold, C., Parajka, J., Perdigão, R.A. P., Plavcová, L., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Schär, C., Szolgay, J., Viglione, A., Blöschl, G. (2014): Understanding flood regime changes in Europe: A state of the art assessment. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2014. 18, 2735-2772, doi:10.5194/hess-18-2735-2014, 2.

Hamed, K.H., Rao, A.R. (1998): A modifed Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. J. of Hydrology, 1998, 204, 182-196.

Kendall, M.G. (1975): Rank Correlation Methods. London: Griffin. 1975.

Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J. (2007): On the critical values of the standard normal homogeeity test (SNHT). J. Climatol., 2007, 27, 5, 681-687.

Kundzewicz Z.W., Pinskwar I., Brakenridge G.R. (2013): Large floods in Europe, 1985–2009, Hydrological Sciences J., 2013, 58 (1), 1-7.

Kundzewicz, Z. W., Robson, A. J. (2004): Change detection in hydrological records - a review of the methodology. Hydrological Sciences J., 2004, 49 (1), 7–19.;

Mediero, L., Santillan, D., Garrote, L., Granados, A. (2014): Detection and attribution of trends in magnitude and frequency and timing of floods in Spain, J. of Hydrology, 2014, 517, 1072-1088.

Merz, B., Aerts, J., Arnbjerg-Nielsen, K., Baldi, M., Becker, A., Bichet, A., Blöschl, G., Bouwer, L.M., Brauer, A., Cioffi, F., Delgado, J.M., Gocht, M., Guzzetti, F., Harrigan, S., Hirschboeck, K., Kilsby, C., Kron, W., Kwon, H.-H., Lall, U., Merz, R., Nissen, K., Salvatti, P., Swierczynski, T., Ulbrich, U., Viglione, A., Ward, P.J., Weiler, M., Wilhelm, B., Nied, M. (2014): Floods and climate: Emerging perspectives for flood risk assessment and management, Natural Hazards and Earth System Sciences, 2014, 14 (7), 1921-1942.

Merz, B., Vorogushyn, S., Uhlemann, S., Delgado, J., Hundecha, Y. (2012): Hess Opinions: "More efforts and scientific rigour are needed to attribute trends in flood time series", Hydrol. Earth Syst. Sci., 2012, 16 (5), 1379-1387.

Radziejewski, M., Kundzewicz Z. W. (2009): Detectability of changes in hydrological records. Hydrological Sciences J., 2009, 49 (1), 1–51.

Santander Meteorology Group fume (2012): FUME package. R package version 1.0. http://CRAN.R-project.org/package=fume, 2012.

Sen, P.K. (1968): Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. J. Am. Statist.Assoc. 1968, 63, 1379-1389.

Theil, H. (1950): A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I, II, III. Nederl. Akad. Wetensch. Proc., 1950 53, 386-392, 512-525, 1397-1412.

Von Storch V.H. (1995): Misuses of statistical analysis in climate research. Analysis of Climate Variability: Applications of statistical Techniques, von Storch, H., Navarra, A., Springer-Verlag, Berlin, Nemecko, 1995, 11-26.

Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., Cavadias, G. (2002): The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological processes. 2002, 16 (9), 1807- 1829.

Ziegler, A. D., Maurer, E. P., Sheffield, J., Nijssen, B., Wood, E. F., Lettenmaier, D. P. (2005): Detection time for plausible changes in annual precipitation, evapotranspiration, and streamflow in three Mississippi River sub-basins. Climatic Change, 2005, 72 (1), 17–36.

DETECTION OF CHANGES IN THE ANNUAL MAXIMUM DISCHARGE SERIES IN SOUTH SLOVAKIA

A rising number of extreme events created a renewed interests in the detection of changes in the long term hydrological series. The main focus of the article was on the detection of the change of trends in the annual maximum discharges in the South Slovakia river basins. A flood peak time series from station 7885 Rimavska Sec located in the south Slovakia was used as the main example in this study. The observations were available from 1921 to 2010. Homogeneity of the time series was tested by the Alexandersson Standard Homogeneity test. The series was found to be non-homogeneous. Trend was detected by modified Mann-Kendall trend test and Theil-Sen slope for moving time windows. The change of the magnitude, slope and significance of the detected trend was observed with the change in the length of the time series used for calculations. The same results were achieved with this method on the rest of the observed river basins.

The purpose of this article was to point out the changes in the trend detected in different length of the time series. The results suggest that the trend tests are not able to detect weak or short term changes and therefore are not useful for further extrapolation and regional typisation. Also it is not possible to address, if the changes are not results of i.e. oscillations. Detection of changes therefore should not focus only on the statistical analysis of the time series but also in the identification of drivers behind the detected changes.

Ing. Katarína Jeneiová, MSc.
Prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.
Prof. Ing. Ján Szolgay, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave
Radlinského 11
813 68 Bratislava
E-mail: katarina.jeneiova@stuba.sk
silvia.kohnova@stuba.sk

Dr. Juraj Parajka
Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management
Vienna University of Technology
Karlsplatz 13/222
A-1040 Vienna, Austria
E-mail: parajka@hydro.tuwien.ac.at