MALÉ PRŮTOKY A NEDOSTATKOVÉ OBJEMY NA ČESKÝCH TOCÍCH

Theodor Fiala[1]

Abstrakt

Práce se zabývá vývojem minimálních průtoků a nedostatkových objemů na 144 vodoměrných stanicích v České republice za období 1961-2005. K detekci trendů byl použit modifikovaný Mann-Kendallův test trendu. Analyzovanými proměnnými jsou sedmidenní roční, letní a zimní minimální průtoky, počty dní s průtoky pod hranicí M-denních průtoků Q_{330} a Q_{355}, nedostatkové objemy vymezené pod hranicí průtoků Q_{330} a Q_{355}. Na většině stanic nejsou trendy signifikantní. Mezi signifikantními trendy převažuje zmenšování letních a nárůst zimních minim, což koreluje s trendy průměrných průtoků. Zmenšující se malé průtoky, zvětšující se nedostatkové objemy a prodlužující se období s malými průtoky se vyskytují v oblasti horního povodí Moravy a levobřežních přítoků horního Labe. Dále byly zkoumány datumy, ve kterých se roční minima vyskytla. U většiny stanic nedochází k posunu ročního výskytu minima a pokud byl signifikantní posun zjištěn, pak směrem k časnějšímu výskytu (od začátku podzimu směrem k pozdnímu létu

Klíčová slova: hydrologické sucho, nedostatkové objemy, M-denní průtoky, test trendu.

1. Úvod

Klima ovlivňuje řadu složek přírodního prostředí. Jedna z nejtěsnějších vazeb je mezi klimatem a hydrologií. Změna podnebí určitého území proto může způsobit i změnu v jeho hydrologickém cyklu. S přicházejícími důkazy o změně teploty vzduchu a srážkových úhrnů hydrologové zkoumají, zda dochází ke změnám také v odtoku vody.

V Evropě lze rozdíly pozorovat mezi severem a jihem. V oblasti Středozemního moře se množství srážek snižuje a dochází i k úbytku zásob povrchových a podpovrchových vod (např. [1], [2] apod.). Naopak na severu Evropy se srážkové úhrny v posledních letech zvětšují. Zároveň se zde, stejně jako jinde v Evropě, zvyšuje i teplota vzduchu,. Kombinace vyšší teploty a větších srážek přináší změny v odtokových režimech. V zimě odtok vzrůstá především u stanic v nižších nadmořských výškách, na jaře se zvětšuje na horách, v létě a na podzim jsou trendy statisticky nevýznamné. Větší množství srážek totiž kompenzuje vyšší teplota vzduchu a tím pádem vyšší evapotranspirace [3].

Střední Evropa, ležící mezi vysychajícím jihem a na srážky bohatnoucím severem, je oblastí s nevýrazným vývojem srážek. Statisticky nevýznamně se vyvíjejí trendy v Polsku [4] i v Čechách [5], pouze v Maďarsku srážek ubývá, nejvíce v březnu, dubnu, září a říjnu [6]. Co se týče odtoku, byl zjištěn pokles na slovenských řekách [7, 8]. Nejvíce ubývá vody na podzim a v zimě v jihozápadní části území. V České republice se roční odtoky signifikantně nemění. Změny ovšem nastávají v jednotlivých měsících. Průtoky se zvětšují v zimních měsících a snižují v květnu a červnu [9]. Predikce vývoje vodnosti nejsou příliš optimistické, očekává se zmenšení odtoku. Příkladem je studie zabývající se německou částí povodí Labe, která předpovídá zmenšení průměrného ročního, maximálního i minimálního průtoku a zásob podzemní vody [10]. Na Slovensku by se měla zimní minima zvětšovat, ale letní naopak zmenšovat [11, 12]. Podobně vychází predikce s využitím modelu Sacramento pro Českou republiku [13].

2. Data a metodika

Pro testování trendů bylo vybráno období 1961-2005, tj. nové období, z kterého ČHMÚ počítá hydrologické charakteristiky. Celkem bylo testováno 144 stanic, které měly ve sledovaném období nepřerušené pozorování a které nebyly, nebo jen velmi málo, ovlivněné lidskou činností. Za začátek hydrologického roku byl zvolen 1. duben. Takové vymezení se jeví jako vhodnější než obvyklý hydrologický rok, neboť období zvýšené jarní vodnosti zaručuje, že se jedno období sucha nerozdělí do dvou roků. K hodnocení byly odvozeny časové řady pěti proměnných:

– Roční sedmidenní minimální průtoky ("*Q7min*")

– Roční počty dnů s průměrným denním průtokem pod Q_{330} ("D_{330}")

– Roční počty dnů s průměrným denním průtokem pod Q_{355} ("D_{355}")

– Roční nedostatkové objemy vymezené prahovým průtokem Q_{330} ("V_{330}")

– Roční nedostatkové objemy vymezené prahovým průtokem Q_{355} ("V_{355}")

Q7min je nejmenší průměrný denní průtok v roce vybraný z řady sedmidenních klouzavých průměrů denních průtoků. D_{330} *a* D_{355} vyjadřují celkový roční počet dnů s podprahovým průtokem bez ohledu na to, kolikrát za rok průtok tyto prahy podkročil (tj. kolik období sucha nastalo). Nedostatkové objemy V_{330} *a* V_{355} byly odvozeny podobně s tím, že hodnoty byly vyděleny plochou povodí, aby bylo možné srovnávat různě velká povodí. Pro identifikaci sezónních minim byly vyšetřeny datumy výskytu *Q7min* u každé stanice a tato minima byla rozdělena na letní a zimní. Testy trendu následně proběhly zvlášť na zimních a letních minimech, aby se nemíchaly dva fenomény s odlišným principem vzniku.

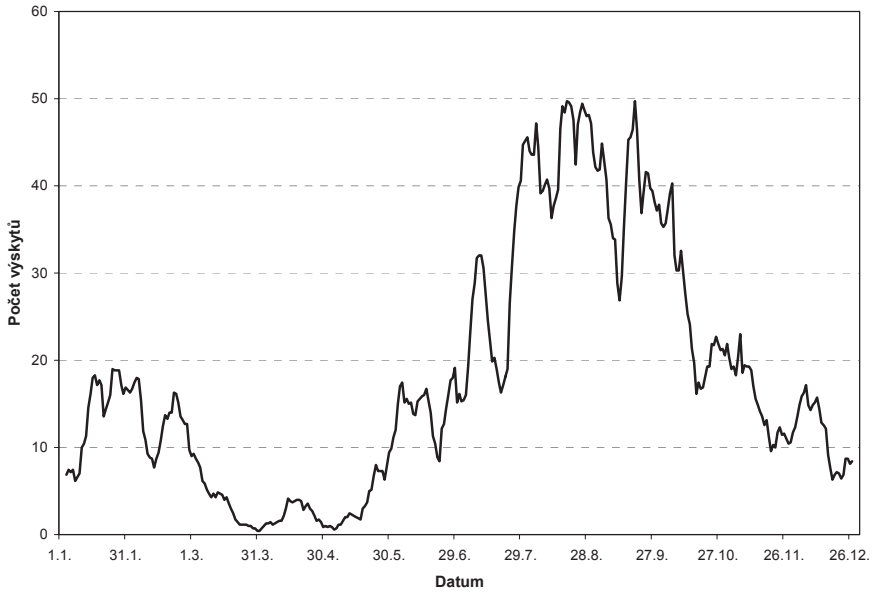
Trendy byly testovány standardním a modifikovaným Mann-Kendallovým testem trendu. Tento test je široce využíván při zpracování hydrologických a meteorologických dat. Jeho výhodou je, že se jedná o neparametrický test a tudíž histogram dat nemusí odpovídat některému ze statistických rozdělení. Oproti základnímu Mann-Kendallovu testu nabízí jeho modifikovaná verze nejprve test autokorelace prvního řádu. Pokud je v časové řadě dat autokorelace nalezena, je nejprve odstraněna a test proběhne následně na upravených datech. Testy proběhly na dvou hladinách pravděpodobnosti 90 a 95 %.

3. Výsledky

3.1 Sezonalita malých průtoků

Analýza datumů výskytu *Q7min* ukázala, že se vyskytují nejčastěji v létě, konkrétně v srpnu a na začátku září (obr. 1). Druhé maximum přichází v zimě na přelomu ledna a února. Letní minima jsou způsobena absencí srážek a vysokými teplotami. V zimě ke snížení průtoku dojde, když se srážky uloží ve formě sněhu a vodní toky zamrznou. Klima povodí je do značné míry determinováno jeho nadmořskou výškou: obecně čím výše se povodí nachází, tím chladnější je jeho klima a tím častěji se roční minimum vyskytne v zimě. Nejméně se minima vyskytují na jaře od poloviny března do poloviny května. Tím se potvrdilo použití specifického hydrologického roku začínajícího 1. dubnem jako vhodné pro analýzu sucha.

Na základě tohoto výzkumu byla u každé stanice roční minima rozdělena na letní a zimní. Za letní minima byla označena ta, která se vyskytla v období duben až listopad, zimní v prosinci až březnu. U několika horských stanic byla po prověření hydrogramů některá listopadová a dubnová minima přiřazena k zimním. Naopak u několika nížinných stanic se vyskytla prosincová minima, která byla evidentně důsledkem předchozího suchého léta, a tato byla přiřazena k letním minimům. V horských povodích se roční minima vyskytly v zimě ve třetině případů, i na horách tedy převažují letní minima. V nížinách dominují letní minima, v zimě se minimum vyskytne asi jednou za osm let.



Obr. 1: Chod četností výskytu sedmidenního ročního minimálního průtoku

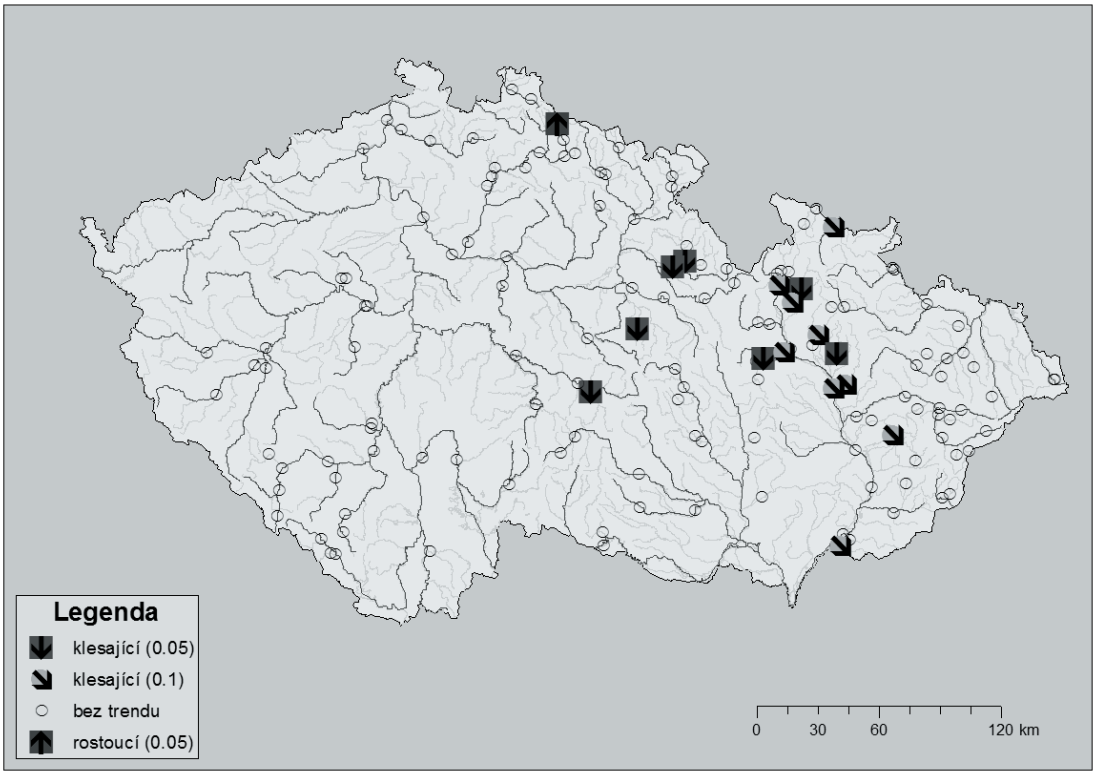
3.2 Trendy charakteristik minimálních průtoků

Po rozdělení ročních minim na letní a zimní byla tato testována zvlášť. Procentuální podíly stanic s vyznačeným trendem jsou v tabulce 1. U všech charakteristik převažují stanice bez výrazného trendu. Mezi signifikantními trendy převládají poklesy letních a vzrůsty zimních minim. Zimní minima byla testována pouze na horských stanicích, kde jejich dostatečný počet umožnil testovat trend. Z tabulky také vyplývá, že se u většiny stanic neposouvají datumy výskytu letních ani zimních minim. Nicméně ze souboru signifikantních posunů se v drtivé většině jedná o posun k dřívějšímu datumu výskytu (viz klesající trend datumů).

Tab. 1: Procentuální podíly stanic s určitým trendem. Q7min (léto) = letní minima, Q7min (léto) – datum = datumy letních minim, Q7min (zima) = zimní minima, Q7min (zima) – datum = datumy zimních minim. Rostoucí (0,05) = trend rostoucí na hladině p=0,05, atd.

Trend	Q7min (léto)	Q7min (léto) - datum	Q7min (zima)	Q7min (zima) - datum
	Horská povodí			
Rostoucí (0.05)	2,7	0,0	8,1	0,0
Rostoucí (0.1)	0,0	0,0	2,7	0,0
Bez trendu	81,1	91,9	86,5	94,6
Klesající (0.1)	10,8	0,0	0,0	2,7
Klesající (0.05)	5,4	8,1	2,7	2,7
	Nížinná povodí			
Rostoucí (0.05)	0,0	0,0		
Rostoucí (0.1)	0,0	0,9		
Bez trendu	90,7	89,7		
Klesající (0.1)	4,7	4,7		
Klesající (0.05)	4,7	4,7		

Prostorové rozložení trendů letních minim je na obrázku 2. Je patrné, že se signifikantně klesající trendy koncentrují v povodí horní Moravy a levostranných přítoků Labe. Toto prostorové uspořádání se projevuje také u trendů nedostatkových objemů V_{330} a V_{355} a rovněž u trendů suchých dnů D_{330} a D_{355}. U těchto proměnných se ovšem vyskytují trendy opačné. Tam, kde klesají minimální průtoky, rostou nedostatkové objemy a počty suchých dnů. Podobný je i podíl signifikantních trendů – 10 až 15 %.



Obr. 2: Trendy letních minimálních průtoků v období 1961-2005

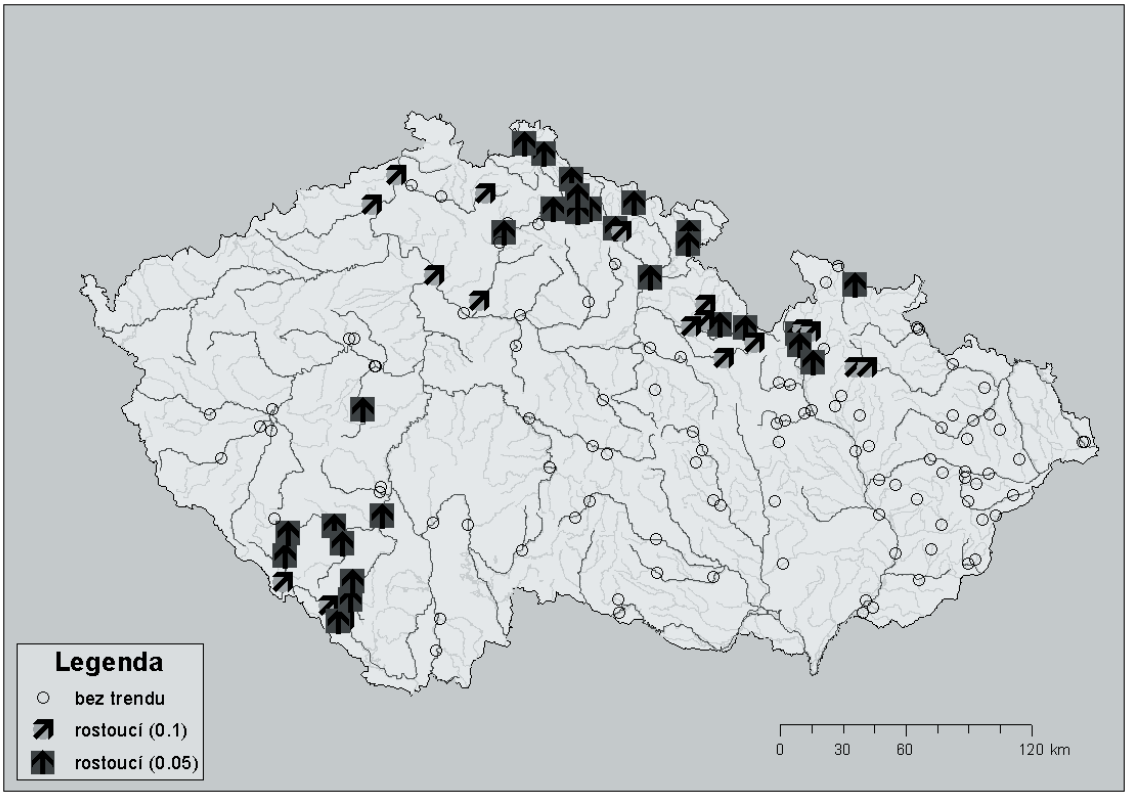
Ze srovnání výsledků obdržených standardním a modifikovaným testem vyplynul očekávaný závěr: modifikovaný test identifikoval menší počet signifikantních trendů. Největší redukce nastala u suchých dnů D_{330}, kde modifikovaná verze nalezla méně než polovinu případů oproti standardní verzi. Z testovaných proměnných se obě verze testu přesně shodly na výsledcích pouze u nedostatkových objemů V_{330}.

4. Diskuze

V prvé řadě bylo prokázáno, že se minima na českých řekách vyskytují v létě, resp. na přelomu léta a podzimu. Na horách ovšem panuje chladnější a vlhčí klima. V létě proto nemusí průtoky tolik poklesnout a minimum se dostaví v zimě, kdy se vody v kapalném stavu nedostává. V souboru studovaných stanic je několik nížinných, na kterých se roční minimum v zimě nevyskytlo ani jednou a naopak u několika horských stanic jsou zimní minima podobně četná jako letní.

V nepočetné skupině signifikantních trendů převažuje zmenšování malých průtoků a zvětšování nedostatkových objemů a počtů dnů s malými průtoky. Stanice s těmito trendy se koncentrují na horním povodí Moravy a na levostranných přítocích Labe ve východních Čechách. Trendy charakteristik malých vod korespondují s trendy průměrných průtoků, které se v letním období snižují. To by mohlo být vysvětleno zvyšujícími se průměrnými a maximálními letními teplotami vzduchu a neměnícími se srážkovými úhrny, které byly v Čechách v období 1961-2005 zjištěny [5].

V malé skupině stanic se signifikantními trendy zimních minim dominují rostoucí trendy. Všechny stanice s významným trendem leží v nadmořské výšce nad 700 m n.m. Jedním z možných vysvětlení zvětšujících se zimních minim by mohla být zvyšující se teplota vzduchu, při které méně srážek padá ve formě sněhu, více ve formě deště a více vody tedy přímo odtéká. Tuto teorii podporují také trendy průměrných měsíčních průtoků v zimním období. Od ledna do března se průměrné měsíční průtoky zvětšují a většina stanic leží v horských nebo podhorských oblastech (obr. 3).



Obr. 3: Trendy průměrných březnových průtoků v období 1961-2005

Ze stanic a období vybraných pro tuto studii vychází jako průměrné datum letního minima 28. srpen. Jako první se minima vyskytnou v červenci na nížinných povodích v Polabí. Nejvíce minim nastává v srpnu a září. Podobné načasování bylo zjištěno na vodních tocích v Litvě [14]. Jako poslední proběhnou minima v druhé polovině září na horských tocích, kde také jarní kulminace a následný pokles odtoku nastávají později než v nížinách. Zimní minimum nastává průměrně 25. ledna. Rozpětí výskytu je od 4. ledna do 20. února a odpovídá tak nejchladnějšímu období v roce.

Testování datumů letních minim ukázalo, že u většiny stanic nedochází k posunu data výskytu minimálního průtoku. Mezi signifikantními trendy ovšem drtivě převládají tendence k posunu na dřívější datum, což by mohlo souviset s pravděpodobným dřívějším nástupem jarní kulminace, případně s nevýrazným trendem nárůstu podzimních srážkových úhrnů [5]. U datumů zimních minim nedochází k žádným posunům.

Srovnání výsledků modifikovaného a standardního Mann Kendallova testu trendu přineslo výsledky potvrzující závěry jiných studií [např. 15]. Modifikovaná verze detekovala v některých řadách autokorelace, odstranila je a poté teprve vyhodnotila trend. Výsledkem je snížení počtu stanic se signifikantními trendy až o 50 %. Použití modifikované verze testu je ze statistického hlediska správnější, neboť autokorelace ovlivňuje výsledek standardního testu.

Poděkování

Autor děkuje Přírodovědecké fakultě UK za finanční podporu, ČHMÚ za poskytnutí hydrologických dat a University du Québec za programový kód Mann-Kendallova testu trendu.

Literatura

[1] TODOROVIC, M., 2007. Mothly climatic water balance of the Apulia region (Southern Italy): analysis of historical weather data and projections for the 21st century. Proceedings of the Third international conference on climate and water. Helsinki, pp. 463–469, ISBN 978-952-11-2790-8.
[2] PICCARRETA et al., 2004. Trend Analysis of Precipitation and Drought in Basilicata from 1923 to 2000 within a Southern Italy Context. International Journal of Climatology, roč. 24, pp. 907–922.
[3] HISDAL, H. et al., 2007. Climate change signals in streamflow data in the Nordic and Baltic region. Proceedings of the Third international conference on climate and water. Helsinki, pp. 182-187, ISBN 978-952-11-2790-8.
[4] DEGIRMENDŽIC et al., 2004. Changes of Air Temperature and Precipitation in Poland in the Period 1951-2000 and Their Relationship to Atmospheric Circulation. International Journal of Climatology, roč. 24, pp. 291-310.
[5] BRÁZDIL, R. – CHROMÁ, K. – DOBROVOLNÝ, P. – TOLASZ, R., 2008. Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005. International Journal of Climatology, roč. 29, pp. 223-242.
[6] DOMONKOS, P., 2003. Recent Precipitation Trends in Hungary in the Context of Larger Scale Climatic Changes. Natural Hazards, roč. 29, pp. 255–271.
[7] MAJERČÁKOVÁ, O. et al., 1997. The variability of hydrological series due to extreme climatic conditions and the possible change of the hydrological characteristics with respect to potential climate change. In: *GUSTARD, A. et al. ed., 1997. FRIEND'97 - Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management.* IAHS Publ. No. 246, pp. 59–66.
[8] MIKLÁNEK, P. et al., 2007. Regionalisation of Slovak rivers with respect to climate change in 1930–2005 and their sensitivity to QBO and NAO phenomena. Proceedings of the Third international conference on climate and water. Helsinki, pp. 326–331, ISBN 978-952-11-2790-8.
[9] FIALA, T., 2008. Statistical characteristics and trends of mean discharges of period 1961-2005. Journal of Hydrology and Hydromechanics, roč. 56, č. 2, SAV, Bratislava, pp. 133–140.
[10] KRYSANOVA et al., 2008. Detection of change in drought frequency in the Elbe basin: comparison of three methods. Hydrological Sciences Journal, roč. 53, pp. 518–537.
[11] ČUNDERLÍK, J. – HLAVČOVÁ, K. – SZOLGAY, J., 1998. Vplyv klimatickej zmeny na vnútroročné rozdelenie odtoku vo vybraných povodiach Slovenska. Journal of Hydrology and Hydromechanics, roč. 45, č. 2, Polygrafia SAV, Bratislava, pp. 114–143.
[12] DANIHILIK, R. et al., 2004. Scenarios of the change in the mean annual and monthly runoff in the Hron Basin. Journal of Hydrology and Hydromechanics, roč. 52**,** č. 4, Polygrafia SAV, Bratislava, pp. 291–302.
[13] BUCHTELE, J. et al., 1999. Runoff changes in Czech river basins – the outputs of rainfall-runoff simulations using different climate change scenarios. Journal of Hydrology and Hydromechanics, roč. 47, č. 3, Polygrafia SAV, Bratislava, pp. 180–194.
[14] KRIAUCIUNIENE, J. – KOVANEKOVIENE, M. – MEILUTYTE-BARAUSKIENE, D., 2007. Changes of the dry period runoff in Lithuania. Proceedings of the Third international conference on climate and water, Helsinki, Finland, pp. 314–319, ISBN 978-952-11-2790-8.
[15] KHALIQ, M.N. – OUARDA, T.B.M.J. – GACHON, P. – SUSHAMA, L., 2008. Temporal evolution of low-flow regimes in Canadian rivers. Water Resources Research, roč. 44, 19 p., W08436, doi:10.1029/2007WR006132.

Kontakty na autora

1 AON Benfield, e-mail: theodor.fiala@aonbenfield.com