ANALÝZA TRENDŮ SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO REŽIMU VE VYBRANÝCH PRAMENNÝCH OBLASTECH ČESKÉ REPUBLIKY

Zdeněk Kliment[1], Milada Matoušková[1], Ondřej Ledvinka[2], Václav Královec[1]

Abstrakt

Hlavním cílem předložené studie je zhodnotit vývoj srážko-odtokového režimu ve vybraných povodích v oblasti Šumavy, Jeseníků a Krušných hor za posledních 50 let. Vedle zjišťování nehomogenit v časových řadách průměrných průtokových, srážkových, ale i teplotních a sněhových dat se práce zabývá analýzou trendů na úrovni ročních hodnot a jednotlivých měsíců. Výsledky jsou porovnány nejen z hlediska použitých metod, ale i geografické rozdílnosti sledovaných území.

Klíčová slova: statistika, trendy, srážko-odtokový režim, teplota vzduchu, sněhové charakteristiky, pramenné oblasti.

1. Úvod

Analýzy trendu v dlouhodobých řadách hydrologických a meteorologických dat jsou důležitým nástrojem pro detekci a pochopení změn ve vývoji srážko-odtokového procesu. Výsledky vhodně doplňují poznatky prognostických modelů a jsou využitelné ve vodohospodářském plánování i protipovodňové ochraně. Za hlavní příčiny změn odtokového režimu jsou považovány globální klimatické změny v kombinaci s různým typem a stupněm lidských aktivit. Pro území České republiky se v souvislosti s globálním oteplováním nepředpokládají významné změny v celkovém objemu srážek, podstatnější změny se očekávají v časovém rozložení srážek: úbytek srážek v dubnu, srpnu a září a nárůst srážek v říjnu a zimních měsících (Kalvová a kol. 2002). Podle Kubáta (2007) dojde k poklesu celoročního odtoku. V zimních měsících se předpokládá spíše nárůst odtoku, i vzhledem k tomu, že se srážky nebudou ukládat ve sněhu a rovnou odtečou. V ostatních měsících bude pokles odtoku výrazný. Některé předpovídané jevy je možné sledovat již v současné době (Kliment, Matoušková 2008, Fiala 2008). Pro analýzu trendu odtoku jsou používány různé metody. Obecné způsoby detekce změn v hydrologických záznamech přehledně popsali Kundzewicz a Robson (2004). Metodickým nástrojem z pohledu detekce změn odtoku vlivem antropogenního ovlivnění může být práce Kaňoka (1997). Konkrétní příklady analýz trendů v srážko-odtokových časových řadách přináší současné studie z různých částí světa (Domonokos, Piotrowicz 1998, Pekárová 2003, Burn a kol. 2004, Falarz, M. 2004, Fu a kol. 2004, Franke a kol. 2004, Birsan a kol. 2005, Majerčáková a kol. 2007, Chen a kol. 2007, Bae a kol. 2008, Pekárová a kol. 2008, Trömel, Schönwiese, 2008, Ma a kol. 2009, Schöner a kol. 2009 aj.).

Předložená studie se zabývá zjišťováním nehomogenit v časových řadách a analýzou trendů srážko-odtokového režimu ve vybraných pramenných povodích České republiky v oblasti Šumavy, Jeseníků a Krušných hor. Hlavním cílem je představit různé metodické nástroje ke sledování trendů a změn ve vývoji srážko-odtokových vztahů, vzájemně porovnat výsledky z hlediska použitých metod i geografické rozdílnosti zájmových oblastí a pokusit se objasnit zjištěné změny.

2. Metodická část a zdrojová data

Metodická část zahrnuje analytické a syntetické postupy. Analytické postupy jsou zaměřeny na analýzu trendů srážko-odtokovového režimu doplněnou o analýzu teplotních a sněhových poměrů. Jedná se o použití metod jednoduchých a dvojných součtových čar srážkových a

odtokových charakteristik (Kliment, Matoušková 2005) a zejména testovací metody, zahrnující testování homogenity časových řad a statistické nástroje pro analýzu trendu.

Pro hodnocení absolutní homogenity byly vybrány následující testy: neparametrický Pettittův test (Pettitt-Mann-Whitney test), parametrický SNHT (Standard Normal Homogenity Test), dále byly aplikovány jednovýběrový a dvouvýběrový Wilcoxonův test, Kruskal-Wallisův test, pro srážky rovněž von Neumannův test (Kaňok 1997). Pro všechny aplikované testy byla zvolena shodná hladina významnosti 0,05. Pro hodnocení trendu v časových řadách hydroklimatických jevů byl použit sezónní neparametrický Mann-Kendallův test (Helsel, Frans 2006, Libiseller 2004). Trendy v časových řadách byly doplněny výpočtem Kendallova koeficientu pořadové korelace τ (Mann 1945, Kendall 1975, Fu a kol. 2004). Pro výpočet plošných srážek na povodí byla použita metoda orografické interpolace (Šercl, Lett 2004). Pro všechny výše uvedené analýzy byla použita data ČHMÚ pro období 1961-2008. V případě povodí Rolavy byla využita i data Deutsche Wetterdienst a Technické Univerzity v Drážďanech. V závěrečné syntéze byly poznatky o zjištěných trendech ve srážko-odtokovém režimu porovnány se změnami ve využití krajiny a krajinném pokryvu a s intenzitou melioračních opatření ve sledovaných povodích. Jako podkladové materiály posloužily: databáze dlouhodobých změn využití podle katastrů (Bičík a kol. 2003), databáze CORINE Land cover pro roky 1990 a 2000, popř. interpretace satelitních leteckých snímků (Hais 2003, Hintnaus 2008). Databázi úprav toků a plošného odvodnění poskytla v měřítku 1:10000 ZVHS.

2.1 Vymezení a základní charakteristika modelových povodí

Ve studii je zahrnuto celkem šest povodí. V pramenné oblasti Šumavy se nacházejí povodí Vydry, Ostružné a horního toku Blanice, v Jeseníkách horní tok Opavy a Opavice, v Krušných horách povodí Rolavy. Základní charakteristiky jsou uvedeny v Tab.1. Povodí byla vybrána s ohledem na jejich polohu, úplnost hydrometeorologických řad a výsledky předchozích výzkumů (Kliment, Matoušková 2006, Ledvinka 2008, Královec 2009).

Tab. 1: Základní charakteristiky modelových povodí.

Číslo	Profil	Řeka	Od	P [km^2]	H [mm]	Q_a [m^3s^{-1}]	φ [%]	R_{max} [m]	R_{min} [m]	Les [%]	OP [%]	Odv [%]
1350	Modrava	Vydra	1931	93,41	1357	3,4	84,6	1373	935	59,1	0	0
1390	Kolinec	Ostružná	1949	92,42	919	1,2	44,6	1177	528	49,3	17,2	8,3
1450	Blanický Mlýn	Blanice	1953	85,21	837	0,93	41,1	1228	743	64,3	0,3	5,3
2101	Stará Role	Rolava	1968	125,34	950	2,39	63,3	1008	390	34,2	21,1	-
2630	Krnov	Opava	1953	370,5	850	4,06	40,7	1492	311	61,3	6,3	4,5
2650	Krnov	Opavice	1953	175,52	776	1,37	31,7	974	311	41,8	17,2	4,2

P – plocha povodí, H – průměrné roční srážky na povodí za hydrologické období 1962-2008, Q_a – průměrný dlouhodobý průtok od počátku měření do r. 2008, φ – průměrný odtokový součinitel pro období 1962-2008, R_{max} a R_{min} – maximální a minimální nadmořská výška, Les – zalesněná plocha, OP – plocha orné půdy (CORINE, 2000), Odv – odvodněná plocha (ZVHS).

3. Výsledky

3.1 Analýza srážko-odtokových vztahů metodou součtových čar

Metody součtových čar bylo použito k prvotní identifikaci změn v časových řadách průtokových a srážkových charakteristik. Za základní lze považovat vykreslení jednoduchých součtových čar srážek a odtoku. Pro zpřehlednění situace byly pro všechny sledované profily se stejným výsledkem sestrojeny dvojné součtové čáry ročních průtoků vody a ročních úhrnů srážek. Z průběhu součtových čar je patrné delší období nárůstu odtoku v letech 1974-1982, které se projevuje shodně na všech sledovaných tocích s výjimkou Vydry, nejvýrazněji v povodí Ostružné a Opavice. Od počátku 80. let 20. století do současnosti je zřetelný poklesový trend v odtoku. Odchylky v průtokových řadách potvrdil i Wilcoxonův jednovýběrový párový neparametrický test.

3.2 Testování homogenity (nehomogenity) časových řad průtoků a srážek

V řadách průměrných ročních průtoků byla Pettitovým testem zaregistrována shodně při dané hladině významnosti 0,05 na většině sledovaných povodí významnější nehomogenita v r. 1983, tedy v roce, který dle předchozích zjištění reprezentuje určitý zlom mezi vodným a následným méně vodným obdobím. Změny v měsíčních řadách průtoků byly detekovány na více tocích zejména v jarních a letních měsících (Q_5 – 1988, 1985, Q_6 – 1988, 1981) a částečně v zimě (Q_1 – 1974). Srážkové řady vykázaly obecně vysokou homogenitu a nepotvrdily se souvislosti s nehomogenitami v ročních a měsíčních odtokových řadách (s výjimkou povodí Opavice v r. 1982). Zjištěné roky změny byly potvrzeny Wilcoxonovým dvouvýběrovýn testem, popř. Kruskal-Wallisovým testem. U řad teploty vzduchu byla interpretace testů homogenity (test SNHT) složitější, a to i vzhledem k tomu, že homogenita byla sledována pouze pro jednotlivé stanice, podobně u sněhové pokrývky. Na některých stanicích byl opakovaně potvrzen rok změny 1988, od kterého se výrazněji začíná projevovat oteplování. U sněhové pokrývky se vedle roku 1988 (podružné maximum) častěji objevoval i rok 2005, ovlivněný pozicí na konci hodnocené řady.

3.3 Analýza teplotních a sněhových poměrů

Teplotní a sněhové parametry byly vyhodnoceny pro vybrané klimatologické stanice vztažené k zájmovým povodím. Hlavní kritériem výběru byla dostatečně dlouhá úplná řada měření. Celkem se jednalo o 3 stanice v oblasti Šumavy (Klatovy, Kašperské Hory a Churáňov), 4 stanice v oblasti Jeseníků (Krnov, Město Albrechtice-Žáry, Červená a Praděd) a 2 stanice v oblasti Krušných hor (Karlovy Vary-lázně a Fichtelberg). Sledujeme-li vývoj průměrné teploty vzduchu zhruba za posledních 50 let, je zřejmý postupný nárůst teploty na všech sledovaných stanicích bez ohledu na jejich nadmořskou výšku a geografickou polohu. Z Obr. 1 je zřetelný výraznější vzestup průměrné roční teploty vzduchu od poloviny 80. let 20. století.



Obr. 1: Vývoj ročních průměrných teplot vzduchu pro vybrané klimatické stanice, 5leté klouzavé průměry (1942-2008)

Porovnáme-li průměrnou teplotu za období 1961-2006 s průměrnou teplotou za období 1901-1950 uvedenou pro některé stanice v tabulkách Podnebí ČSSR (Vesecký a kol. 1961), rozdíl se pohybuje v rozmezí 0,3-0,5 °C (Klatovy: +0,5 °C (7,6/8,1 °C), Opava: +0,3 °C (8,0/8,3 °C), Krnov: +0,3 °C (7,8/8,1 °C), Praděd: + 0,4 °C (0,9/1,3 °C)). Největší vzestupy teplot jsou pozorovány v jarních a letních měsících, ale také v zimě. Zatímco v chladném půlroce je oteplování v horních a dolních částech povodí srovnatelné, v teplém půlroce je oteplování v nižších polohách intenzivnější. Současně dochází ke změnám ve sněhové

pokrývce. Úbytek počtu dní se sněhovou pokrývkou, zejména v níže položených stanicích je patrný rovněž od poloviny 80. let 20. století. Současně se výrazně snížila výška sněhové pokrývky. Nejintenzivnější pokles je přitom možné pozorovat v nejvyšších polohách, v průměru téměř o 1 cm za rok.

3.4 Analýza trendu s využitím statistických testovacích metod

Sezónnímu Mann-Kendallovu testu jako základní použité metodě byly postupně podrobeny měsíční a roční časové řady průtoků a plošných srážek pro sledovaná povodí a řady srážkových úhrnů, teploty vzduchu a sněhové parametry pro srážkoměrné a klimatologické stanice vztažené k daným povodím pro hydrologické období 1962-2008. Významnost trendu byla testována při hladině 0,05. Testem byly zjištěny významné trendy úbytku odtoku v jarních a letních měsících. Zatímco na Vydře byl zaznamenán signifikantní úbytek pouze v červnu. Naproti tomu se prokázal signifikantní nárůst odtoku v zimních měsících (únor a hlavně březen), a to zejména na šumavských povodích (Blanice i Vydra) a v povodí Rolavy tab 2). V řadách průměrných ročních průtoků nebyly trendy prokázány. V případě měsíčních plošných srážkových úhrnů nebyly identifikovány tak prokazatelné trendy jako u odtoku. Statisticky nejvýznamnější trendy v období posledních 50 let byly prokázány v řadách průměrných teplot vzduchu, a to jak v měsíčních, tak ročních hodnotách. Na všech analyzovaných stanicích bez ohledu na nadmořskou výšku a geografickou polohu můžeme sledovat signifikantní nárůst průměrné roční teploty vzduchu. Nejvíce patrný je v období duben až srpen a také v zimním období, nejvíce v prosinci a lednu. V hodnocených řadách je možné vysledovat spíše úbytek sněhové pokrývky, který se projevil snížením průměrné výšky sněhové pokrývky (u výše položených stanic) a snižováním počtu dnů se sněhovou pokrývkou (u níže položených stanic).

S pomocí Kendallova koeficientu pořadové korelace τ byly prokázány významné pozitivní korelace mezi srážkami a odtokem, především v teplém půlroce, mezi výškou sněhové pokrývky a odtokem v chladném půlroce, mezi výškou sněhové pokrývky a srážkami zejména u výše položených stanic, negativní korelace mezi délkou trvání sněhové pokrývky a teplotou vzduchu.

Tab. 2: Dlouhodobé trendy v měsíčních a ročních řadách průměrných průtoků a srážek pro modelová povodí (1962-2008).

Qm, Hm	Vydra - Modrava			Ostružná - Kolinec			Blanice - Blanický Mlýn			Opava - Krnov			Opavice - Krnov			Rolava - Stará Role		
	MK-S	p	Trend	MK-S	p	Trend	MK-S	p	Trend	MK-S	p	Trend	MK-S	p	Trend	MK-S	p	Trend
Q_{11}	0,798	0,4250		-0,779	0,4357		0,138	0,8906		-0,523	0,6012		-0,1742	0,8617		0,9798	0,327	
Q_{12}	0,981	0,3265		0,284	0,7762		0,101	0,9196		-1,513	0,1302		-0,8529	0,3937		1,8508	0,0642	
Q_1	1,403	0,1606		-0,009	0,9927		1,311	0,1897		1,2472	0,2123		0,6144	0,5389		1,8508	0,0642	
Q_2	1,550	0,1212		0,339	0,7344		2,137	0,0326	^	0,8345	0,404		0,2201	0,8258		2,7944	0,0052	^
Q_3	3,366	0,0008	^	0,743	0,4576		3,402	0,0007	^	0,2843	0,7762		0,1192	0,9051		2,5282	0,01146	^
Q_4	1,953	0,0508		-0,532	0,5948		-1,000	0,3175		-1,513	0,1302		-1,7149	0,0864		-1,222	0,22179	
Q_5	-0,963	0,3356		-2,265	0,0235	ˇ	-2,632	0,0085	ˇ	-2,21	0,0271	ˇ	-2,3018	0,0213	ˇ	-2,94	0,00329	ˇ
Q_6	-3,109	0,0019	ˇ	-2,889	0,0039	ˇ	-2,449	0,0143	ˇ	-3,347	0,0008	ˇ	-2,6686	0,0076	ˇ	-1,899	0,05754	
Q_7	-0,908	0,3639		-2,357	0,0184	ˇ	-0,761	0,4466		-2,265	0,0235	ˇ	-1,8249	0,068		0,5202	0,60295	
Q_8	-0,835	0,4040		-2,155	0,0312	ˇ	-0,431	0,6665		-1,018	0,3087		-0,6144	0,5389		0,6412	0,52141	
Q_9	0,596	0,5511		-2,173	0,0298	ˇ	-0,835	0,4040		-0,046	0,9634		0,2476	0,8044		1,7978	0,07221	
Q_{10}	0,770	0,4411		-1,293	0,1960		-0,193	0,8473		-0,248	0,8044		-0,5686	0,5696		1,4709	0,14131	
Q_r	0,779	0,4357		-1,146	0,2517		-0,009	0,9927		-2,21	0,0271	ˇ	-1,3114	0,1897		1,6218	0,10485	
H_{11}	0,101	0,9196		0,908	0,3639		0,468	0,6400		-0,779	0,436		-0,138	0,891		1,6183	0,1056	
H_{12}	0,890	0,3737		0,816	0,4144		0,119	0,9051		0,156	0,876		0,266	0,790		1,0519	0,29285	
H_1	1,843	0,0653		1,403	0,1606		1,550	0,1212		0,614	0,539		-0,303	0,762		1,2663	0,2054	
H_2	2,008	0,0446	^	1,366	0,1718		1,623	0,1046		-0,119	0,905		-0,835	0,404		0,7221	0,47022	
H_3	1,458	0,1448		1,697	0,0898		1,697	0,0898		1,091	0,275		0,688	0,492		0,5756	0,56489	
H_4	-0,963	0,3356		-1,421	0,1552		-0,926	0,3543		-0,211	0,833		-0,431	0,666		-1,266	0,2054	
H_5	-1,513	0,1302		-0,761	0,4466		0,138	0,8906		-1,531	0,126		-1,293	0,196		-1,79	0,07352	
H_6	-2,559	0,0105	ˇ	-0,578	0,5634		-1,348	0,1776		-1,036	0,300		-1,183	0,237		-0,45	0,6527	
H_7	1,146	0,2517		1,586	0,1126		0,816	0,4144		-0,963	0,336		-0,724	0,469		1,1826	0,23697	
H_8	-0,468	0,6400		0,559	0,5759		0,064	0,9488		-0,596	0,551		-0,688	0,492		0,4082	0,68316	
H_9	0,853	0,3937		0,596	0,5511		0,266	0,7903		1,165	0,244		1,348	0,178		1,2663	0,2054	
H_{10}	1,036	0,3001		1,440	0,1499		1,091	0,2751		0,028	0,978		-0,156	0,876		1,9361	0,05286	
H_r	1,862	0,0627		1,880	0,0601		1,568	0,1168		-0,798	0,425		-0,945	0,345		2,0198	0,0434	^

Q – průtok, H – úhrn srážek na povodí, MK-S – Mann-Kendallova statistika, p – míra signifikace, ↑ – vzestupný trend, ↓– sestupný trend.

4. Závěr

V závěrech, jež jsou ovlivněny především kvalitou a délkou časových řad, se projevují i zjištění, daná patrně rozdílnými poměry sledovaných povodí, zejména geografickou polohou, nadmořskou výškou a odlišnostmi ve využití území a v krajinném pokryvu. Přesto je možné prokázat určité odchylky a trendy, které jsou pro sledované oblasti podobné. V tomto smyslu se na prvním místě jedná o zjištění období nárůstu průměrných průtoků v letech 1974-1982, které se různou měrou uplatnilo s výjimkou Vydry u všech sledovaných toků. Hlavní souvislosti je třeba hledat ve vývoji klimatu, zejména v bohatších, po celé období poměrně vyrovnaných srážkách, ve vyšší sněhové pokrývce spolu s teplotně mírnějším průběhem zim a také v poměrně nízké teplotě vzduchu v letních obdobích. Spojení s provedenými melioračními zásahy v 70. a 80. letech 20. století může být spíše náhodné. Zjištěné období nárůstu průtoku nelze vysvětlit výskytem větších povodní.

V následném období po r. 1982 do současnosti, s výjimkou katastrofálních povodní v letech 1997 a 2002, se prokázalo postupné snižování odtoku, opět výraznější u povodí v níže ležících méně zalesněných polohách. Odchylky v odtoku, které se projevily v součtových čarách, byly do určité míry statisticky ověřeny různými testy homogenity, zejména Pettittovým testem, Wilcoxonovým dvouvýběrový testem a také Kruskal-Wallisovým testem. V řadách průměrných ročních průtoků se na většině sledovaných toků projevila významná nehomogenita v r. 1983, který představuje dle předchozích zjištění určitý zlom mezi vodným a následným méně vodným obdobím. V měsíčních průtokových řadách byly na více tocích detekovány změny v letech 1988 a 1985 pro květnové a červnové průtoky, a částečně i v roce 1974 pro lednové průtoky. V řadách plošných srážkových úhrnů spadlých na jednotlivá povodí se významné nehomogenity neprokázaly a nepotvrdily se přímé souvislosti s nehomogenitami v odtokových řadách.

Podstatným výsledkem je zjištění trendů v hydroklimatologických časových řadách s využitím sezónního Mann-Kendallova testu. Testem byly na všech sledovaných tocích potvrzeny významné úbytky odtoku v květnu a červnu. Neprokázala se, s výjimkou Vydry, statisticky významná přímá vazba na úbytek srážek v těchto měsících. Na šumavských tocích a na Rolavě se projevil významný nárůst odtoku v zimních měsících. Tento trend může být dán do souvislosti nejen s celkově se zvyšující teplotou vzduchu, ale i se zvyšujícím se úhrnem zimních srážek v těchto oblastech. V povodích Opavy a Opavice se podobný jev neprokázal. V ročních i měsíčních řadách plošných srážek na povodí nebyly obecně významné trendy potvrzeny. Statisticky významné trendy u všech sledovaných povodí bez ohledu na nadmořskou výšku a geografickou polohu se prokázaly v řadách teplot vzduchu, a to jak pro celé roky, tak i jednotlivé měsíce. Oteplování se nejvýrazněji projevuje v období duben až srpen a v prosinci až lednu. Zejména v letních měsících může vyšší teplota vzduchu zesilovat proces evapotranspirace a podílet se tak výraznou měrou na snižování odtoku. S poklesem odtoku a nedostatečnými zásobami podzemní vody souvisí i zjištěné trendy ve sněhové pokrývce, které se projevují snižováním průměrné výšky sněhové pokrývky a počtu dní se sněhovou pokrývkou, v druhém případě zejména u níže položených stanic.

Poděkování
Dovolujeme si poděkovat za finanční podporu řešených projektů, zejména VaV SM/2/57/05 “Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ a VZ MSM 0021620831 “Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

Literatura

[1] BIČÍK I. a kol., 2003. Vývoj struktury ploch v povodí Otavy. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní (ed. Langhammer). PřF UK, Praha.

[2] BIRSAN M. V. a kol., 2005. Streamflow trends in Switzerland. J. Hydrol., 314, 1-4, pp 312-329.

[3] BURN D. H. a kol., 2004: Hydrological trends and variability in the Liard River basin. Hydrol. Sci. J., 49, 1, pp 53-68.

[4] CORINE, 2000. Databáze Corine Land cover, MŽP.

[5] DOMONOKOS, P. - PIOTROWICZ, K., 1998. Winter temperature characteristics in Central Europe. Int. J. Climatol. 18, pp 1405-1417.

[6] HELSEL D. R. - FRANS L. M, 2006. Regional Kendall Test for Trend. Environ. Sci. Technol., 40, 13 pp.

[7] FALARZ, M., 2004. Variability and trends in duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century. Int. J. Climatol., 24, pp 1713-1727.

[8] FIALA T., 2008. Statistical characteristics and trends of mean annual and monthly discharges of Czech rivers in the period 1961-2005. J. Hydrol. Hydromech., 56, 2, s. 133-140.

[9] FRANKE, J. - GOLDBERG, V.- EICHELMANN, U. - FREYDANK, E. - BERNHOFER, C., 2004. Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany. Clim. Res., 27, pp 145-150.

[10] FU, G. a kol., 2004. Hydro-climatic trends of the Yellow River basin for the last 50 years. Clim. Change, 65, pp 149-178.

[11] HAIS M., 2003. Vývoj a změny land coveru v povodí Otavy za posledních 15 let. In: *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní (ed. Langhammer).* PřF UK, Praha.

[12] HINTNAUS, I., 2008. Změny ve vývoji krajiny v pramenné oblasti Blanice. Bakalářská práce. PřF UK, Praha.

[13] CHEN, H., 2007. Historical temporal trend sof hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. J. Hydrol., 344, 3-4, pp 171-184.

[14] KALVOVÁ, J. a kol., 2002. Globální klimatické modely a scénáře změny klimatu pro Českou republiku. In: Národní klimatický program České republiky, 32, Praha, s. 1-58.

[15] KAŇOK, J., 1997. Antropogenní ovlivnění velikosti průtoků řek povodí Odry po profil Koźle. Spisy prací Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity, 103, Ostravská univerzita, Ostrava.

[16] KENDALL, M. G., 1975. Rank correlation methods. Charles Griffin, London.

[17] KLIMENT, Z. – MATOUŠKOVÁ, M., 2005. Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. Geografie, 110, 1, s, 32-45.

[18] KLIMENT, Z. – MATOUŠKOVÁ, M., 2006. Changes of runoff regime according to human impact on the landscape. Geografie, 111, 3, pp 292-304.

[19] KLIMENT, Z. – MATOUŠKOVÁ, M., 2008. Long-term Trends of Rainfall and Runoff Regime in Upper Otava River Basin. Soil and Water Research, 3, 3, pp 155-167.

[20] KLIMENT, Z. – MATOUŠKOVÁ, M., 2009. Runoff changes in the Šumava Mountains (Bohemian Forest) and the foothill regions: Extent of influence by human impact and climate changes. Water Resour. Manage., 23, pp 1813-1834.

[21] KRÁLOVEC, V., 2009. Změny srážkoodtokových poměrů v povodí horní Opavy. Diplomová práce. PřF UK, Praha.

[22] KUBÁT, J., 2007. Dopady klimatických změn na hydrologický režim v České republice [online, cit.2009-03-06]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/katastrofy/kubat1607.pdf

[23] KUNDZEWICZ, Z. – ROBSON, A., 2004. Change detection in hydrological records – a review of the methodology. Hydrol. Sci. J., 49, 1, pp 7-20.

[24] LEDVINKA, O., 2008. Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy. Diplomová práce. PřF UK, Praha.

[25] LIBISELLER, C., 2004. MULTMK/PARTMK. A program for computation of multivariate and partial Mann-Kendall test. LIU. Linköping.

[26] MAJERČÁKOVÁ, O. – ŠKODA, P. – DANÁČOVÁ, Z., 2007. Vývoj vybraných hydrologických a zrážkových charakteristík za obdobia 1961-2000 a 2001-2006 v oblasti Vysokých Tatier. Meteorol. časopis, 10, 4, s. 205-210.

[27] MANN, H. B., 1945. Nonparametric test against trend. Econometrica, 13, pp 245-259.

[28] MEYER, W. B., 2001. Human impact on the Earth. Cambridge University Press, Cambridge.

[29] PEKÁROVÁ, P., 2003. Identifikácia dlhodobých trendov a fluktuácií hydrologických radov. Časť II. Výsledky. J. Hydrol. Hydromech., 51, 2, s. 97-108.

[30] PEKÁROVÁ, P. – MIKLÁNEK, P. – PEKÁR, J. –OLBŘÍMEK, J., 2008. Analýza zmien štatistických charakteristík denných úhrnov zrážok na stanici Hurbanovo v rôznych obdobiach. Časť I. Viacročná variabilita a spektrálna analýza. Acta Hydrol. Slovaca, 9, 1, s. 64-76.

[31] SCHÖNER, W. – AUER, I. – BÖHM, R., 2009. Long term trends of snow depth at Sonnblick (Austrial Alps) and its relation to climate change. Hydrol. Process., 23, pp 1052-1063.

[32] ŠTĚPÁNEK, P., 2004. Homogenizace teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových pozorování. Práce a studie, 32, ČHMÚ, Praha.

[33] ŠERCL, P. – LETT, P., 2004. Výpočet rastru srážek v prostředí GIS. Uživatelská příručka. ČHMÚ, Praha.

[34] TRÖMEL, S. - SCHÖNWIESE, C. D., 2008. Robust trend estimation of observed German precipitation. Theor. Appl. Climatol., 93, pp 107-115.

[35] VESECKÝ, A. a kol., 1961. Podnebí Československé socialistické republiky. Tabulky. ČHMÚ, Praha.

Kontakty na autora

1 Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK v Praze, e-mail: matouskova@natur.cuni.cz

2 Český hydrometeorologický ústav a Ústav aplikací matematiky a výpočetní techniky PřF UK v Praze, e-mail: ledvinka@natur.cuni.cz