ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 217 - 226

REAKCIA DENNÝCH PRIETOKOV V STANICI BELÁ-PODBANSKÉ NA TOPENIE SNEHU V POVODÍ

Dana Halmová, Pavla Pekárová, Pavol Miklánek, Veronika Bačová Mitková

Takmer vo všetkých meteorologických staniciach na svete sú zaznamenávané v posledných desaťročiach nárasty teploty vzduchu. Viaceré meteorologické stanice s dlhými radmi pozorovaní sú ovplyvnené zástavbou a zmenou podmienok merania teploty vzduchu. Preto pri analýze a predpovedi budúceho možného vývoja hydrosféry je potrebné analyzovať dlhodobý vývoj teploty vzduchu v konkrétnom regióne v staniciach neovplyvnených zmenou podmienok, alebo nájsť iné metódy hodnotenia. V príspevku sme v prvej časti analyzovali vývoj teploty vzduchu v staniciach Podbanské a Kasprowy Wierch s využitím neparametrického Mann-Kendallovho testu. V druhej časti sme navrhli novú metódu hodnotenia, založenú na identifikovaní poradového čísla kalendárneho dňa, kedy stúpanie prietoku vo vodomernej stanici Belá-Podbanské môže byť spôsobené topením snehu v povodí. Touto metódou sme sa pokúsili potvrdiť, alebo vyvrátiť hypotézu o náraste teploty vzduchu v jarnom období vo vysokohorskom povodí rieky Belá po vodomernú stanicu Podbanské. K dispozícii sme mali priemerné denné prietoky Belej v stanici Podbanské za obdobie 1928–2014. Vychádzame z predpokladu, že ak dochádza v povodí Belej v jarnom období k otepľovaniu, malo by sa to preukázať na skoršom nástupe topenia sa snehu v povodí. Tým by malo dochádzať k skoršiemu nárastu prietokov. Obdobie sme rozdelili na ďalšie podobdobia: 44- a 43-ročné (1928–1971, 1972–2014), a tri 22-ročné a jedno 21-ročné (1928–1949, 1950–1971, 1972–1993 a 1994–2014), s cieľom zistiť, či v priebehu rokov došlo k významnejším zmenám dňa, kedy denné prietoky začínajú reagovať na topenie snehu.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: topenie snehu, teplota vzduchu, trendová analýza

REACTION OF THE DAILY DISCHARGE AT BELÁ - PODBANSKÉ TO SNOW MELT IN THE BASIN. The increase of air temperature has been observed at majority of the meteorological stations all over the world during the last decades. Some of the meteorological stations with long observation series are influenced by urbanization and changing conditions of the air temperature monitoring. In the paper we analysed the air temperature development in stations Podbanské and Kasprowy Wierch using the non-parametric Mann-Kendall test. In the second part we tried to confirm or reject the hypothesis about the increase of air temperature during the spring season in the high mountain river basin of the river Belá station Podbanské by the new method. The method is simple and it is based on identification of the Julian day at which the discharge increase at the station can be assigned to snow melt in the river basin upstream. We were analyzing the mean daily discharge series at Belá – Podbanské for the period 1928–2014. We are assuming that the supposed increase of the spring air temperature in the Belá basin should be proven by earlier arrival of the snow melt in the basin. Therefore the discharge increase due to snow melt should occur earlier. The series were divided into sub-periods: 44- and 43-years (1928–1971, 1972–2014), and three of 22-years plus one of 21-years (1928–1949, 1950–1971, 1972–1993 and 1994–2014), in order to prove if there did occur significant shift of the Julian day when the discharge starts to react to the basin snow melt.

KEY WORDS: snow melting, air temperature, trend analysis

Úvod

Na dlhodobý vývoj odtoku z povodí má - okrem zrážok ako najvýznamnejšieho činiteľa - vplyv aj dlhodobý vývoj teploty vzduchu v povodiach. Preto pri analýze a predpovedi budúceho možného vývoja hydrosféry je potrebné analyzovať a zohľadňovať i dlhodobý vývoj teploty vzduchu v regióne. Následky globálneho otepľo-

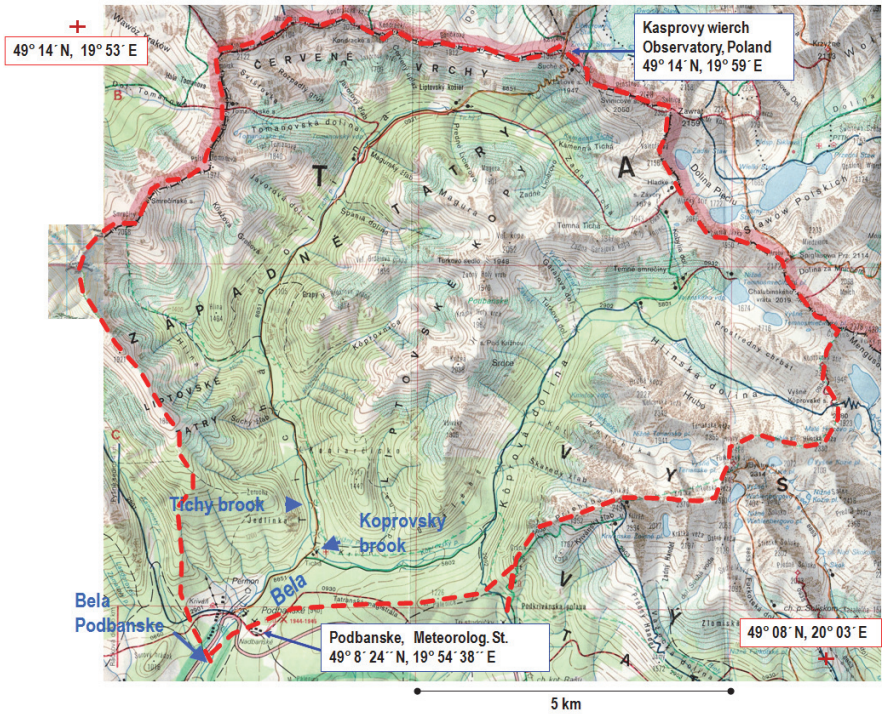
vania na horské ekosystémy sa prejavujú zmenami vo vertikálnej klimatickej stratifikácii. Ak tieto zmeny nastanú rýchlo, horské ekosystémy sa nemusia zmenám prostredia prispôsobiť a niektoré zaniknú. Zmeny v dĺžke trvania vegetačného obdobia, posun výskytu organizmov do vyšších nadmorských výšok a posun hornej hranice lesa predstavujú najzávažnejšie dôsledky globálneho oteplenia v horskom prostredí. Teplota s vlhkosťou vzduchu a zrážkami patria medzi základné klimatické charakteristiky. Trendy vývoja týchto klimatických prvkov majú často lokálny charakter. Za obdobie 1979–2005 boli v Európe vypočítané lineárne trendy teploty vzduchu v rozsahu 0,294–0,344 °C/10 rokov na hladine významnosti $\alpha<0,01$. Zároveň sa zistilo, že najvýraznejší vzostup teploty vzduchu je pozorovaný v zimných (hlavne v severnej Európe), v letných a jarných mesiacoch, menší vzostup teploty je zaznamenaný v jesenných mesiacoch (IPCC, 2007). Analýzou klimatických podmienok v oblasti Tatier sa zaoberali Konček a kol. (1974), Niedźwiedź (1992), Niedźwiedź a kol. (2014), alebo Pribullová a kol. (2011), ktorá analyzovala mesačné teploty a ročnú teplotu vzduchu (zmeny oproti klimatickému normálu, lineárne trendy a periodicity) na ôsmich klimatických staniciach v oblasti Tatier za obdobie 1961–2007.

Vysokohorské povodia a povodia vo vysokých zemepisných šírkach sú typické jednoznačným jarným nárastom prietokov v dôsledku jarného topenia sa snehu. Dátum nárastu prietokov predstavuje jednoznačnú charakteristiku zodpovedajúcu takému otepleniu sa v celom povodí, pri ktorom dôjde k topeniu sa snehovej pokrývky.

Cieľom predloženej štúdie je porovnanie vyhodnotenia dlhodobého vývoja teploty vzduchu v povodí Belej na základe meraných mesačných údajov teploty vzduchu v meteorologických staniciach Podbanské a Kasprowy Wierch a na základe určenia dátumu nástupu topenia sa snehu v povodí.

Vstupné údaje a metodika

Rieka Belá vzniká sútokom Tichého a Kôprového potoka v nadmorskej výške 976,8 m n.m (obr. 1). Belá odvodňuje jednak vysokohorský reliéf povodím Kôprového potoka, jednak hôľny reliéf povodím Tichého potoka (Pacl, 1988). Od sútoku tečie juhozápadným smerom popri Podbanskom a prijíma 7 pravostranných prítokov a jeden ľavostranný prítok. Významnými prítokmi sú Kamenistý a Račkový potok, ktoré majú podobne ako rieka Belá vysokohorský charakter. Belá sa vlieva do rieky Váh a je jej významným pravostranným prítokom. Ústie rieky Belá sa nachádza pri Liptovskom Hrádku v nadmorskej výške 629 m n.m. Celková dĺžka toku je 23,6 km (Hlubocký, 1974). Povodie Belej po Podbanské má plochu 93,46 km^2 a po Liptovský Hrádok má plochu 244,26 km^2. Rieka Belá je najväčšou bystrinou slovenskej časti Tatier a považuje sa za typickú rieku najvyššej časti Karpát.



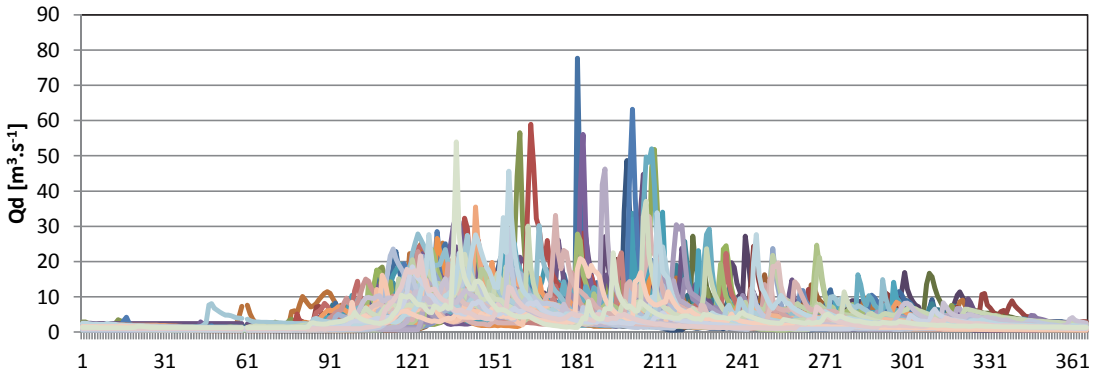
Obr. 1. Mapa povodia rieky Belá po vodomernú stanicu Podbanské, meteorologické stanice Podbanské a Kasprowy Wierch.
Fig. 1. Map of the Belá basin to station Podbanské, meteorological stations Podbanské and Kasprowy Wierch.

V povodí rieky Belá sa vyskytujú významné hydrologické lokality ako plesá, vodopády a pod. Povodie Belej bolo Slovenským hydrometeorologickým ústavom začlenené do medzinárodnej kategórie „reprezentatívne povodie“ a je evidované v rámci Medzinárodného hydrologického programu UNESCO. Povodie Belej po Podbanské patrí medzi pomerne vzácne územia, t.j. málo dotknuté ľudskou činnosťou. Najväčšie antropogénne zásahy, pastvinárstvo a s ním spojené klčovanie lesov, sa vyskytovali najmä v 19. storočí. Po založení Tatranského národného parku (TANAPu) v roku 1948 bolo pastierstvo zakázané a lesy sa začali považovať za prvok prospešný pri ochrane pred povodňami (Pekárová a kol., 2009). Horná časť povodia Belej po profil Podbanské je z 40% tvorená kosodrevinou, 13% pokrývajú ihličnaté lesy, 30% predstavujú prechodné lesokroviny, 16% sú prirodzené lúky a zvyšok tvoria vodné plochy a zastavané územia. Dolná časť povodia je tvorená prevažne poľnohospodárskou pôdou.

Pri štatistickej analýze určenia začiatku topenia sa snehu v povodí Belej sme použili rad priemerných denných prietokov zo stanice Belá: Podbanské za obdobie 1928–2014. Tento rad sme podrobne analyzovali vo viacerých prácach, napr. Halmová, Pekárová (2013), Halmová a kol. (2014). Tu uvedieme len niektoré základné štatistické charakteristiky (tabuľka 1). Priebeh priemerných denných prietokov je vykreslený na obr. 3. Najvyšší priemerný denný prietok bol nameraný za katastrofickej povodne 29. 6. 1958 a presiahol 20 násobok priemerného ročného prietoku.

Z dlhodobého hľadiska sa priemerný ročný prietok rieky Belá nemení, ako vidno na obr. 3a, štvorročné kĺzavé priemery denných prietokov kolíšu od 3 do 4 m^3s^{-1}. Variabilita radu priemerných denných prietokov sa po roku 1956 nemení (obr. 3b).

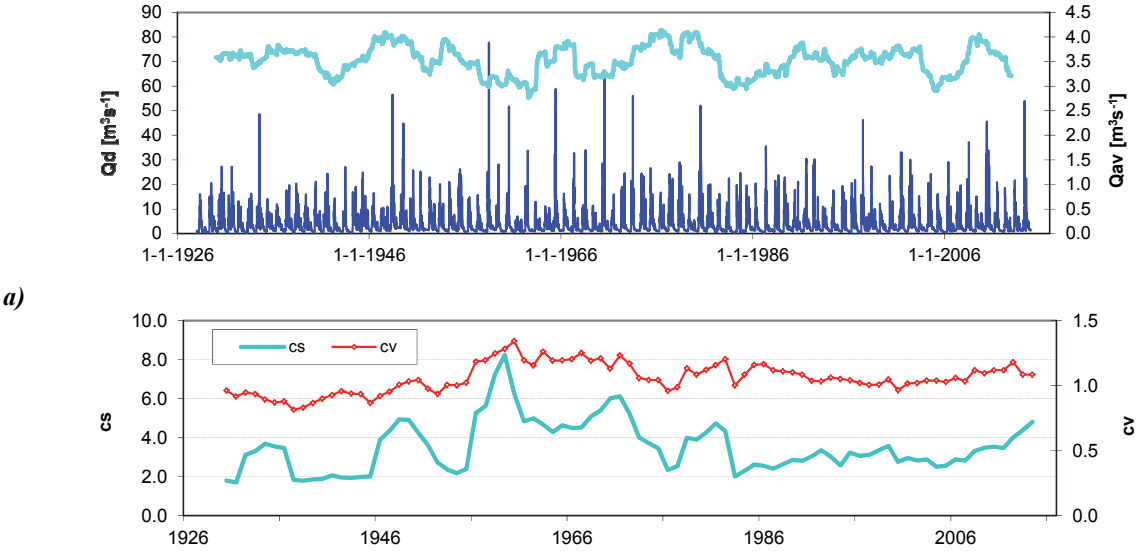
Pri určení dlhodobých trendov teploty vzduchu v povodí Belej sme použili rady priemernej mesačnej teploty vzduchu z meteorologických staníc Liptovský Hrádok a Podbanské a z observatória Kasprowy Wierch (Poľsko) (obr. 4). Meteorologická stanica Liptovský Hrádok sa nachádza neďaleko ústia Belej do Váhu a údaje sú k dispozícii už od roku 1871. Stanica Podbanské je situovaná v nadmorskej výške 972 m n.m (obr. 1). Údaje sú k dispozícii od roku 1931. Observatórium Kasprowy Wierch je v prevádzke od roku 1938, meteorologická stanica je vo výške 1991 m n.m.



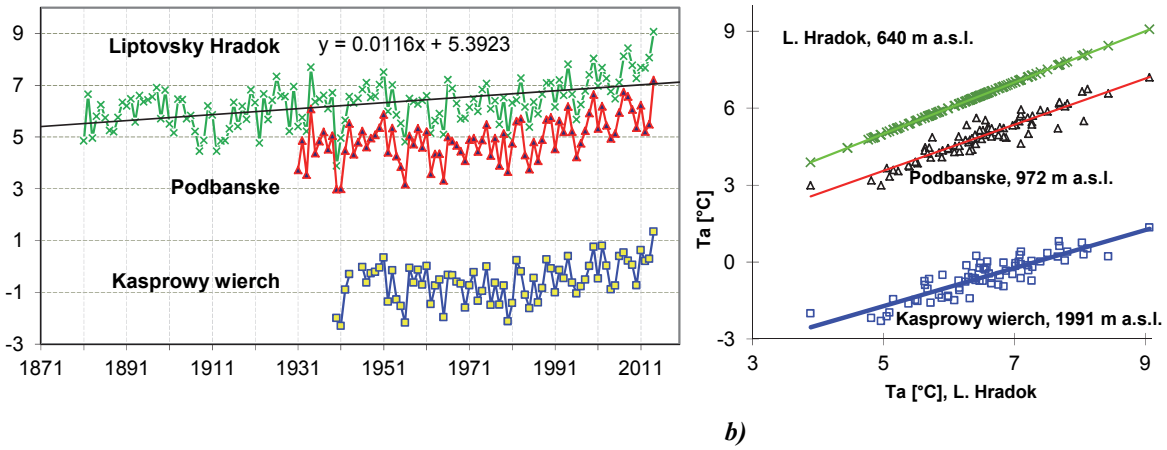
Obr. 2. Ročné hydrogramy priemerných denných prietokov, Belá: Podbanské, 1928–2014.
Fig. 2. Annual hydrograms of the mean daily discharges, Belá: Podbanské, 1928–2014.

Tabuľka 1. Základné štatistické charakteristiky priemerných denných prietokov Belej v stanici Podbanské za obdobie 1928–2014
Table 1. Basic statistical characteristics of the mean daily discharges of the Belá River at station Podbanské during the period 1928–2014

	Priemer/mean	min	max	330-denný/-day	30-denný/-day	cs	cv
Q [m^3s^{-1}]	3.51	0.40	77.68	0.87	8.42	3.80	1.06
q [$l.s^{-1}km^{-2}$]	37.56	4.28	830.89	9.32	90.11		
R [mm]	1184.3						



Obr. 3. a) Priebeh priemerných denných prietokov Belej v stanici Podbanské 1928–2014 (Qd). Svetlá čiara – 4-ročné kĺzavé priebehy denných prietokov Belej (Qav). b) Priebeh koeficientov variácie a symetrie za jednotlivé roky Belej v stanici Podbanské 1928–2014.
Fig. 3. a) Mean daily discharge of the Belá river at Podbanské 1928–2014 (Qd).The pale line are 4-years moving averages of the Belá daily discharge (Qav). b) Coefficients of variability and assymetry of the individual years, Belá at Podbanské, 1928–2014.



Obr. 4. Priemerná ročná teplota vzduchu v staniciach Liptovský Hrádok, Podbanské a Kasprowy Wierch za obdobie pozorovaní (obr. 4a), závislosť teploty vzduchu v staniciach Podbanské a Kasprowy Wierch na teplote vzduchu v stanici Liptovský Hrádok (obr. 4b).
Fig. 4. Mean annual air temperature at stations Liptovský Hrádok, Podbanské and Kasprowy Wierch (Fig. 4a), relation between air temperature at Podbanské and Kasprowy Wierch and air temparature at Liptovský Hrádok (Fig. 4b).

Pri štatistickej analýze významnosti dlhodobých trendov sme použili neparametrický Mann-Kendallov (MK) test, ktorý nie je ovplyvnený aktuálnym rozdelením dát a je menej citlivý na extrémne - odľahlé hodnoty. Existujú rôzne úpravy MK testu, napr. Kendallov sezonálny test dovoľuje prítomnosť sezónnej zložky v dátach. Modifikovaný Kendallov sezonálny test pripúšťa i autokoreláciu vo vstupných údajoch. MK test ako aj iné neparametrické testovania sú vhodnejšie na detekciu trendov pre hydrologické časové rady, ktoré zvyčajne nemajú normálne rozdelenie, a vyznačujú sa viacerými extrémami (Yue a kol. 2012).

V príspevku sme najprv testovali rastúci alebo klesajúci trend a následne sklon lineárneho trendu neparamet-

rickou Sens metódou. Tieto metódy sú použité v ich základnej forme; MK test je vhodný v prípadoch, v ktorých sa predpokladá monotónny trend a teda žiadny sezónny alebo iný cyklus nie je v údajoch prítomný.
Testovali sme nulovú hypotézu H0 neexistencie trendu, t.j. že merania x_i sú náhodne usporiadané v čase, proti alternatívnej hypotéze H1, ktorá predpokladá rastúci alebo klesajúci monotónny (lineárny) trend.
Výpočet tohto štatistického testu využíva štatistické charakteristiky: „S“ (pre časové rady s menej než 10 dátovými záznamami) a „Z“ (charakteristika normálneho rozdelenia pre časové rady s 10 alebo viac dátovými záznamami). Odchýlka S sa počíta podľa nasledujúcej rovnice, ktorá berie do úvahy možnosť väzby údajov:

$$VAR(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(n-2) - \sum_{p=1}^{q} t_p (t_p - 1)(2t_p + 5) \right] \quad (1)$$

kde:
n - počet testovaných ročných hodnôt,
q - počet zviazaných skupín,
t_p - počet údajov v p skupine.

Hodnoty S a VAR(S) sú použité pri výpočte Z nasledovným spôsobom:

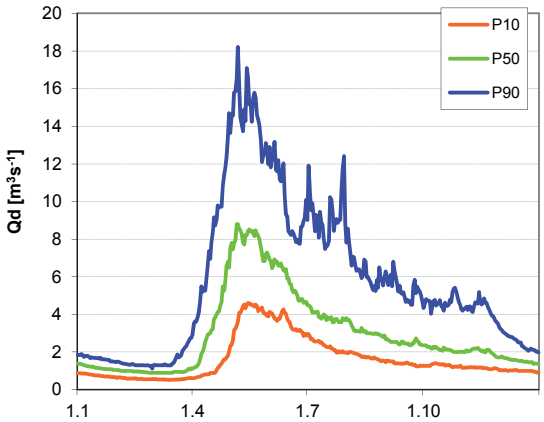
$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & if \quad S\rangle 0 \\ 0 & if \quad S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & if \quad S\langle 0 \end{cases} \quad (2)$$

Prítomnosť štatisticky významného trendu je daná hodnotou *„Z“*. Ak sa štandardizovaná Mann-Kendall štatistika rovná nule, dáta majú normálne rozdelenie so strednou hodnotou nula a rozptylom určeným nulovou hypotézou (neexistuje trend). Pozitívna (resp. negatívna) hodnota charakteristiky indikuje rastúci (resp. klesajúci) trend.
Hypotéza H0 - žiadny trend, je prijatá, ak platí: $Z < Z_{1-\alpha/2}$ alebo zamietnutá, ak platí, že $Z > Z_{1-\alpha/2}$, tzn. existuje významný trend v rade prietokov. Hladiny významnosti α testované MK testom sú 0.001, 0.01, 0.05 a 0.1. Pri nízkych hodnotách pravdepodobnosti sa predpokladá, že trend sa nevyskytuje iba vďaka náhodnému výberu hodnôt. Hladina významnosti 0.001 znamená, že existuje 0.1% pravdepodobnosť že hodnota x_i má náhodné rozdelenie a pravdepodobne urobíme chybu ak zamietneme hypotézu H0 (trend neexistuje). Hladina významnosti 0.1 znamená, že existuje 10% pravdepodobnosť že urobíme chybu ak zamietneme hypotézu H0.
Pre štyri testované hladiny významnosti sú použité nasledovné symboly:
*** ak existuje trend na hladine významnosti α = 0.001
** ak existuje trend na hladine významnosti α = 0.01
* ak existuje trend na hladine významnosti α = 0.05
+ ak existuje trend na hladine významnosti α = 0.1.

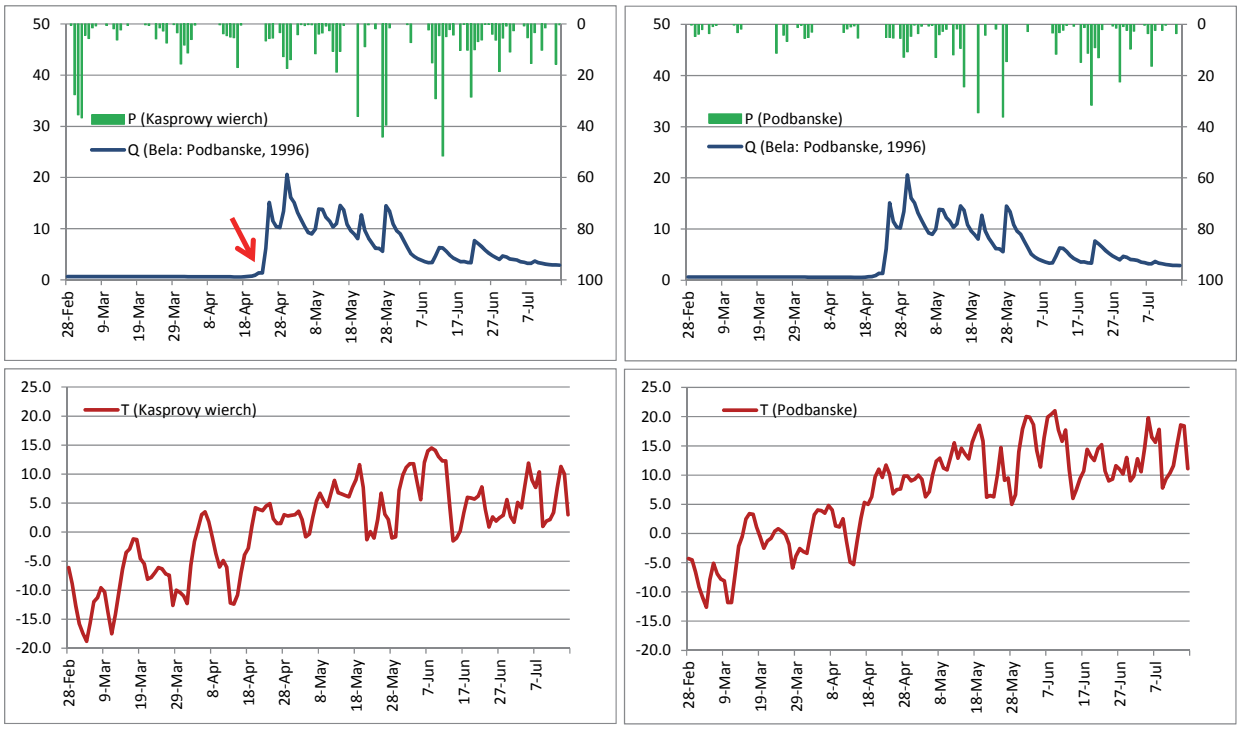
Ak je miesto v tabuľke prázdne, hladina významnosti je väčšia ako 0.1.

Metóda určenia začiatku topenia sa snehu v povodí

Začiatok jarného topenia snehu sme zadefinovali ako deň, kedy priemerný denný prietok Belej v Podbanskom dosiahne 2 $m^3.s^{-1}$. Takto zadefinované topenie nastávalo v povodí rieky Belá od 73-ho dňa (13. marca) do 125-ho dňa (4. mája). V priemere topenie nastáva 7. apríla (98-my deň), ako môžeme vidieť na obrázku 5, kde sú vykreslené priebehy dlhodobých priemerných denných prietokov (P50) za obdobie 1928–2014 a horný a dolný decil (P90, P10).
Na obrázku 6 je šípkou znázornený začiatok topenia sa snehu – nárast prietokov v roku 1996. Z obrázku je zrejmé, že k výraznejšiemu nárastu prietokov z topiaceho sa snehu v povodí dochádza až pri priemernej dennej teplote vzduchu nad 10°C v stanici Podbanské.



Obr. 5. Priebeh dlhodobých priemerných denných prietokov (P50) a horný a dolný decil (P90, P10) Belej v stanici Podbanské za obdobie 1928–2014.
Fig. 5. Long-term mean daily discharge (P50) and upper and lower decils (P90, P10), Belá at Podbanské, period 1928–2014.



Obr. 6. Priebeh priemerných denných prietokov rieky Belej v stanici Podbanské v roku 1996, šípka znázorňuje začiatok topenia sa snehu – prekročenie prietokov o určenú hodnotu. Denné úhrny zrážok (horný obrázok) a priemerná denná teplota vzduchu v staniciach Kasprowy Wierch a Podbanské (dolný obrázok).
Fig. 6. Mean daily discharge of Belá at Podbanské in 1996, the arrow indicates start of the snow melt – exceeding of the discharge threshold. Daily precipitation depths (upper plots) and mean daily air temperature at Kasprowy Wierch and Podbanské (bottom plots).

Problematike tvorby zásob snehu v povodiach v SR a odtoku z vysokohorských povodí sa venovali napr.: Babiaková (1978), Turčan (1978), Holko a kol. (2001, 2006, 2010, 2011), Hríbik a kol. (2007), Parajka a kol. (2005), Němec, L., Zusková, I. (2005) a iní.

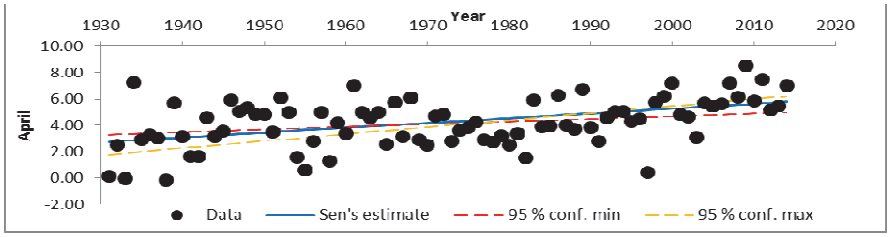
Výsledky a diskusia

V prvej časti príspevku sme analyzovali vývoj teploty vzduchu v staniciach Podbanské a Kasprowy Wierch.
Vyhodnotenie mesačných trendov teploty vzduchu pre dané stanice sú uvedené v tabuľke 2. Z výsledkov je zrejmé, že pri hodnotení obdobia 1931–2014 v stanici Podbanské bol preukázaný trend vývoja teploty vzduchu na hladine významnosti α=0.001 v mesiacoch apríl až jún a pre ročnú priemernú teplotu; trend na hladine významnosti α=0.01 v mesiacoch júl a august a trend na hladine významnosti α=0.1 v mesiacoch január a marec. Pri hodnotení obdobia 1946–2014 v stanici Kasprowy Wierch bol preukázaný trend vývoja teploty vzduchu na hladine významnosti α=0.01 v auguste a pre ročnú priemernú teplotu; trend na hladine významnosti α=0.1 v mesiacoch január a máj. Na obr. 7 je vykreslená trendová analýza aprílovej teploty vzduchu pre stanice Podbanské (obr. 7a) a Kasprowy Wierch (obr. 7b). Z porovnania grafov je zrejmý rozdiel vo vývoji aprílovej teploty vzduchu v staniciach. V stanici Podbanské zaznamenávame výrazný rast teploty vzduchu (trend na hladine významnosti α = 0.001), na rozdiel od teploty vzduchu v stanici Kasprowy Wierch.
V druhej časti sme analyzovali začiatok topenia sa snehu v povodí Belej. Analýza dlhodobého lineárneho trendu začiatku topenia sa snehu v povodí Belej za pozorované obdobie 1928–2014 je prezentovaná na obr. 8. Dlhodobý lineárny trend radu dňa začiatku topenia snehu je nulový.
Porovnanie začiatku topenia sa snehu v povodí vo vybraných časových obdobiach je zhrnuté v tabuľke 3, kde je uvedený priemerný deň začiatku topenia sa snehu v povodí rieky Belá pre jednotlivé časové obdobia. Z výsledkov je zrejmé, že v posledných desaťročiach nedochádza k významnému skoršiemu topeniu snehu než v minulosti, aj keď priemerný deň začiatku topenia snehu v období 1993–2014 dosiahol najnižšiu hodnotu

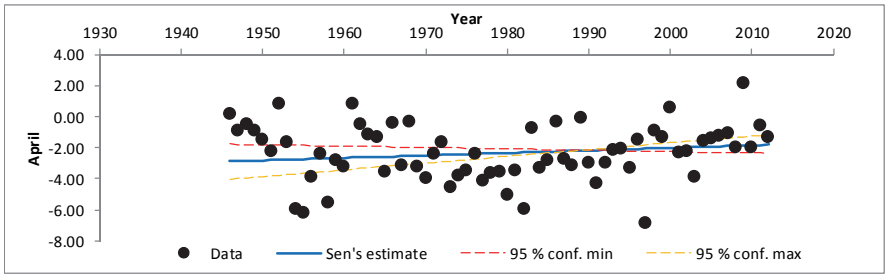
Tabuľka 2. Mesačné trendy teploty vzduchu pre stanice Kasprowy Wierch a Podbanské
Table 2. Monthly air temperature trends in stations Kasprowy Wierch and Podbanské

Kasprowy Wierch 1946–2014	A	B	Test Z	Signif.	Podbanské 1931–2014	A	B	Test Z	Signif.
Január	0.024	-8.27	1.70	+	Január	0.019	-5.90	1.72	+
Február	0.009	-8.61	0.74		Február	0.019	-4.62	1.56	
Marec	0.005	-6.40	0.38		Marec	0.023	-1.78	1.93	+
Apríl	0.016	-2.89	1.30		**Apríl**	**0.036**	**2.77**	**4.11**	***
Máj	0.018	1.73	1.70	+	**Máj**	**0.030**	**8.31**	**3.68**	***
Jún	0.015	5.16	1.56		**Jún**	**0.023**	**11.82**	**3.50**	***
Júl	0.025	6.84	2.30	*	**Júl**	***0.019***	***13.74***	***2.75***	**
August	***0.026***	***6.78***	***3.02***	**	***August***	***0.019***	***13.19***	***3.03***	**
September	-0.013	4.89	-0.92		September	-0.003	10.35	-0.34	
Október	0.010	0.62	0.65		Október	0.008	5.18	0.90	
November	0.017	-4.034	1.25		November	0.011	0.403	1.27	
December	0.001	-6.444	0.16		December	-0.001	-3.157	-0.07	
Rok / year	***0.013***	***-0.867***	***2.65***	**	***Rok / year***	**0.016**	**4.251**	**4.42**	***

(A, B sú parametre lineárnej trendovej čiary y = A*x+B, A charakterizuje sklon trendovej čiary)
(A, B are parameters of the linear trendline y = A*x+B, A is slope of the trend line)

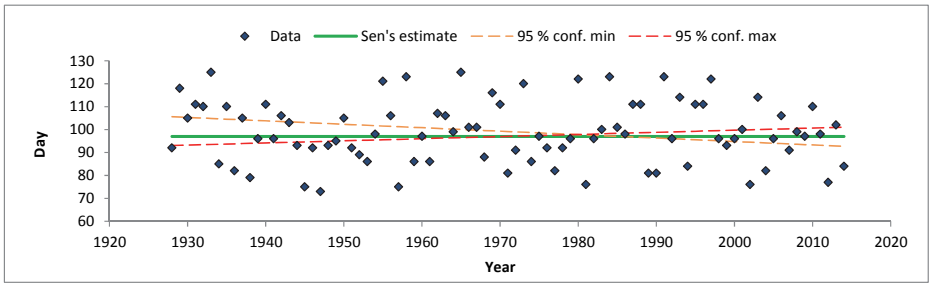


a)



b)

Obr. 7. Trendová analýza aprílovej teploty vzduchu pre stanice Podbanské (obr. 7a) a Kasprowy Wierch (obr. 7b).
Fig. 7. Trend analysis of the air temperature in Podbanské (Fig. 7a) and Kasprowy Wierch (Fig. 7b) stations.



Obr. 8. Začiatok topenia sa snehu v povodí Belej za obdobie 1928–2014, dlhodobý lineárny trend.
Fig. 8. Start of the snow melt in the Belá basin in the period 1928–2014, long-term linear trend.

Tabuľka 3. Priemerný juliánsky deň začiatku topenia sa snehu v povodí rieky Belá, za rôzne podobdobia obdobia 1928–2014.

Table 3. Mean Julian day of the snow melt start in the Belá river basin, different subperiods of the whole period 1928–2014.

počet rokov number of years	obdobie period	priemer mean	počet rokov number of years	obdobie period	priemer mean
87	**1928–2014**	98.7	22	**1928–1949**	98.0
			22	**1950–1971**	100.0
44	**1928–1971**	99.0	22	**1972–1993**	99.5
43	**1972–2014**	98.5	21	**1994–2014**	97.4

Záver

Takmer vo všetkých meteorologických staniciach na svete sú zaznamenávané v posledných desaťročiach nárasty teploty vzduchu. Na dlhodobý vývoj odtoku z povodí má - okrem zrážok ako najvýznamnejšieho činiteľa - vplyv aj dlhodobý vývoj teploty vzduchu v povodiach. V príspevku sme analyzovali vývoj teploty vzduchu v staniciach Podbanské a Kasprowy Wierch s využitím neparametrického Mann-Kendallovho testu. Z výsledkov je zrejmé, že pri hodnotení obdobia 1931–2014 v stanici Podbanské bol preukázaný významný rastúci trend teploty vzduchu na hladine významnosti α=0.001 v mesiacoch apríl až jún a pre ročnú priemernú teplotu; trend na hladine významnosti α=0.01 v mesiacoch júl a august a trend na hladine významnosti α=0.1 v mesiacoch január a marec. Pri hodnotení obdobia 1946–2014 v stanici Kasprowy Wierch bol preukázaný rastúci trend vývoja teploty vzduchu na hladine významnosti α=0.01 v auguste a pre ročnú priemernú teplotu; trend na hladine významnosti α=0.1 v mesiacoch január a máj. Môžeme konštatovať, že vo vysokohorskej meteorologickej stanici Kasprowy Wierch dochádza k menším zmenám ako v nižšie položenej stanici Podbanské. V budúcnosti by bolo vhodné analyzovať aj kratšie časové obdobia, pretože k zmene trendu mohlo dôjsť aj v priebehu dlhého časového obdobia 1931–2014 v Podbanskom, alebo 1946–2014 v stanici Kasprowy Wierch.

V druhej časti príspevku sme sa pokúsili potvrdiť, alebo vyvrátiť hypotézu o skoršom nástupe topenia snehu vo vysokohorskom povodí rieky Belá po vodomernú stanicu Podbanské. Využili sme metódu založenú na identifikovaní poradového čísla kalendárneho dňa, kedy stúpanie prietoku vo vodomernej stanici Belá-Podbanské môže byť spôsobené topením snehu v povodí. Dlhodobý lineárny trend počiatočného dňa topenia sa snehu v povodí Belej za pozorované obdobie 1928–2014 je nulový.

Porovnanie začiatku topenia sa snehu v povodí vo vybraných časových obdobiach je zhrnuté v tabuľke 3, kde je uvedený priemerný deň začiatku topenia sa snehu v povodí rieky Belá pre jednotlivé časové obdobia. Z výsledkov je zrejmé, že v posledných desaťročiach nedochádza k významnému skoršiemu topeniu snehu než v minulosti, aj keď priemerný deň začiatku topenia snehu v období 1993–2014 dosiahol najnižšiu hodnotu (97.4 – 7.apríl). Počas 20-ročného obdobia 1950–1971 bola hodnota priemerného kalendárneho dňa nástupu topenia snehu najvyššia (100.0 – 10.apríl).

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná projektom VEGA 2/0009/15 "Identifikácia zmien hydrologického režimu tokov a vzájomný vzťah extrémnych hydrologických udalostí v zložitom riečnom systéme povodia Dunaja" a realizáciou projektu ITMS 26240120004 Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

Babiaková, G. (1978): Posúdenie možností použitia základných vstupných údajov v modeli akumulácie a odmäku snehovej pokrývky. J. Hydrol. Hydromech. 26, 4, 397–408.

Halmová, D., Pekárová, P. (2013): Trendová analýza mesačných a extrémnych prietokov v stanici Belá-Podbanské. Acta Hydrologica Slovaca, 14, 1, 193–203.

Halmová, D., Miklánek, P., Pekárová, P. (2014): Long-term water balance changes of the pristine Bela River basin. Advances in Environmental Sciences, Development and Chemistry. Proceedings of the 2014 International Conference on Water Resources, Hydraulics & Hydrology (WHH 2014) Santorini Island, Greece, July 17-21. ISBN: 978-1-61804-239-2, 330–335.

Hlubocký, B. (1974): Reprezentatívne povodie Belej – predbežné vyhodnotenie režimu povrchových vôd. Správa, HMÚ, Bratislava, 79 s.

Holko, L., Parajka, J., Majerčáková, O., Faško, P. (2001): Hydrologická bilancia vybraných povodí Tatier v hydrologických rokoch 1989 – 1998. J. Hydrol. Hydromech., 49, 3–4, 200–222.

Holko, L., Kostka, Z. (2006): Hydrologický výskum vo vysokohorskom povodí Jaloveckého potoka. J. Hydrol. Hydromech., 54, 192–206.

Holko, L., Kostka, Z. (2010): Hydrological Processes in Mountains – Knowledge Gained in the Jalovecky Creek Catchment, Slovakia. IAHS Publ. 336, Wallingford, 84–89.

Holko, L., Kostka, Z., Šanda, M. (2011): Assessment of Frequency and Areal Extend of Overland Flow Generation in a Forested Mountain Catchment. Soil & Water Res., 6, 1, 43–53.

Holko, L., Kostka, Z., Danko, M., Liová, S. (2011): Hydrological Cycle in Mountain Environment. Životné prostredie, 45, 2, 59–63.

Hríbik, M., Majlingová, A., Škvarenina, J., Kyselová, D., Hlavatá, H. (2007): Zimné zásoby snehu v malom horskom povodí Hučavy – BR Poľana ako potenciálne riziko vzniku povodní. Střelcová, K., Škvarenina, J. & Blaženec, M. (eds.): "BIOCLIMATOLOGY AND NATURAL HAZARDS" International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17–20, 2007, s. 7, ISBN 978-80-228-17-60-8.

IPCC Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge. Cambridge, New York: University Press, 2007, 996 p.

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

Konček, M. a kol. (1974): Klíma Tatier. Bratislava: Veda, 855 s.

Němec, L., Zusková, I. (2005): Změny sněhové pokrývky v České republice od roku 1926. Meteorologické zprávy, 58, 5, 135–138.

Niedźwiedź, T. (1992): Climate of the Tatra Mountains. Mountain Research and Development 12(2), The University of California Press for United Nation University and International Mountain Society, Berkeley, 131–146.

Niedźwiedź, T., Łupikasza, E., Pińskwar, I., Kundzewicz, Z.W., Stoffel, M., Małarzewski, Ł. (2014): Variability of high rainfalls and related synoptic situations causing heavy floods at the northern foothills of the Tatra Mountains. Theor Appl Climatology, DOI 10.1007/s00704-014-1108-0.

Parajka, J., Kubeš, R., Kalaš, M., Szolgay, J., Hlavčová, S. Kohnová, K. (2005): Matematické modely pre modelovanie vplyvu zmeny klímy na odtokové procesy. In: Pekárová, P., Szolgay, J. (eds.): Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry v povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny. Veda, Bratislava, 169–188.

Pekárová, P., Pacl, J., Liová, S., Miklánek, P., Škoda, P., Pekár, J. (2009): Analýza režimu maximálnych ročných prietokov vysokohorského toku Belá v Podbanskom. Acta Hydrologica Slovaca, 10, 2, 300–311.

Pribullová, A., Chmelík, M., Pecho, J. (2011): Dlhodobé zmeny teploty vzduchu v oblasti Tatier. Životné prostredie, 45, 2, 71–77.

Turčan, J. (1978): Koncepcia matematického modelovania procesu akumulácie a odmäku snehu v povodí. J. Hydrol. Hydromech. 26, 4, 386–396.

Yue, S. - Kundzewicz, Z.W.- Wang, L. (2012): Detection of Changes. Changes in Flood risk in Europe, Chap. 2, 11–26, IAHS special publication 1.

REACTION OF THE DAILY DISCHARGE AT BELÁ - PODBANSKÉ TO SNOW MELT IN THE BASIN

The increase of air temperature has been observed at majority of the meteorological stations all over the world during the last decades. The long-term formation of the basin discharge is influenced not only by precipitation as an essential factor, but by air temperature variability as well. Therefore the analysis of the long-term development of air temperature in the region is an important part of the analysis and prognosis of the possible hydrosphere variability.

In the paper we analyzed the air temperature development in stations Podbanské (period 1931–2014) and Kasprowy Wierch (period 1946–2014) using the non-parametric Mann-Kendall test. From the Podbanské results it is evident that on the significance level α=0.001 the significant increasing trend of air temperature was proven in the months of April-June as well as for the mean annual temperature, on the significance level α=0.01 the increasing trend was found in July and August, and on the significance level α=0.1 the increasing trend was found in January and March. In station Kasprowy Wierch on significance level α=0.01 the increasing trend was proven in August and for the mean annual values, and on significance level α=0.1 in January and in May.

We can conclude that there are less significant changes in the high mountain station Kasprowy Wierch compared to lower lying station Podbanské. In the future it will be interesting to analyze also the shorter time periods because the trend alteration could occur during the longer period 1931–2014 in Podbanské or during 1946–2014 in Kasprowy Wierch series.

In the second part we tried to confirm or reject the hypothesis about the increase of air temperature during the spring season in the high mountain river basin of the river Belá station Podbanské by the new method. The method is simple and it is based on identification of the Julian day at which the discharge increase at the station can be assigned to snow melt in the river basin upstream. The long-term linear trend of the snow melt starting day is near to zero in the Belá basin during the period 1928–2014.

The comparison of the snow melt starting day in different periods is summarized in Table 3. There are listed the mean values of the snow melt start in the Belá

basin in selected time periods and sub periods. It is evident that there did occur significant shift of Julian day when the discharge starts to react to the basin snow melt, although the mean starting day was the earliest during 1993–2014 (97.4 – April 7). During the period 1950–1971 was the value of the snow melt starting day the latest (100.0 – April 10).

Ing. Dana Halmová, PhD.
RNDr. Pavla Pekárová, DrSc.
RNDr. Pavol Miklánek, CSc.
Ing. Veronika Bačová Mitková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Račianska 75
831 02 Bratislava
Tel.: 44259311
E-mail: halmova@uh.savba.sk
pekarova@uh.savba.sk
miklanek@uh.savba.sk
mitkova@uh.savba.sk