

Dlhodobé zmeny teploty vzduchu v oblasti Tatier

Pribullová, A., Chmelík, M., Pecho, J.: Long Term Variability in Air Temperature in the High Tatras Mts. Životné prostredie, 2011, 45, 2, p. 71 – 77.

Annual and monthly air temperature were analyzed at meteorological stations covering nearly the whole vertical range (696 – 2 636 m a. s. l.) of the High Tatras Mountains over the period 1961 – 2007. Upper-air temperature measurements from a nearby aerological station were interpolated to correspond to the altitudes of the participating ground stations. The aim of this study was to evaluate the long-term variability in the air temperature at different altitudes using two independent data sources. In spite of systematic differences between ground and upper-air temperatures, the comparison between homogenized time series showed a tight correlation and identical periods of increase or decrease in both data sets. The same periodicities, identical coolest and hottest years, similar shifts in annual and monthly temperature distributions and increase in selected isotherm altitudes were found in the period 1991 – 2007 when compared to the climatic normal 1961 – 1990. Statistically significant linear trends in annual temperature in the range from 0,21 °C/decade to 0,30 °C/decade were detected in both data sets. The steepest increase in the temperature was found in July, August, December and January. The altitudes of selected isotherms were calculated by two methods: (1) linear fitting and (2) cubic spline interpolation of the vertical temperature profile. Particular combinations of data sources (aerological and ground) and calculation methods (linear fit and cubic spline) gave slightly different altitudes for selected isotherms. The method used to calculate the isotherm altitudes should be taken into consideration when comparing results from previous studies. Linear increasing trends in the altitudes of selected isotherms of annual temperature in the range 3,9 m.year⁻¹ – 5,2 m.year⁻¹ and 2,5 m.year⁻¹ – 4,9 m.year⁻¹ were calculated for aerological and ground data, respectively. A significant increasing linear trend in the selected monthly temperature isotherm position was found only in July and August. An increase in isotherm altitudes indicates a shift in the vertical climatic stratification.

Key words: air temperature, isotherm altitudes, linear trends, periodicities, vertical climatic stratification

Následky globálneho otepľovania na horské ekosystémy sa prejavujú zmenami vo vertikálnej klimatickej stratifikácii. Ak tieto zmeny nastanú rýchlo, horské ekosystémy sa nemusia zmenám prostredia prispôbiť 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 (IPCC, 2007).

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). Pri posúdení vierohodnosti trendov klimatických prvkov sa často porovnávajú údaje z dvoch alebo viacerých nezávislých zdrojov. Jedným z kontroverzných aspektov teórie globálneho otepľovania boli donedávna rozdielne trendy teploty vzduchu vypočítané z pozemných, aerologických a satelitných meraní (IPCC, 2001). Posledné porovnania reanalyzovaných a homogenizovaných údajov z týchto zdrojov ukazujú na tesnejšiu zhodu (IPCC, 2007).

Posledná rozsiahla analýza klimatických podmienok v oblasti Tatier bola publikovaná v spoločnej poľsko-slovenskej monografii *Klíma Tatier* (Konček a kol., 1974). Táto publikácia spracováva klimatické údaje za rôzne časové úseky do roku 1961 (vrátane spracovania teploty vzduchu a výšky vybraných izoteriem). Hess (1965) zaviedol klimatickú stratifikáciu Tatier podľa priemernej ročnej teploty, vlhkosti vzduchu a zrážok. Niedźwiedz (1992) porovnával rozdiely podnebia v alpskej a v karpatskej oblasti, pričom zistil, že dlhodobé zmeny teploty tu ovplyvňujú periodické zmeny rozloženia riadiacich tlakových útvarov v Európe.

Prezentovaná práca prináša analýzu mesačných teplôt a ročnej teploty vzduchu (zmeny oproti klimatickému normálu, lineárne trendy a periodicity) na ôsmich klimatických stanicích v oblasti Tatier za obdobie 1961 – 2007 a porovnanie priebehu teploty vzduchu meranej pri zemskej povrchu s aerologickými meraniami interpolovanými do hladín nadmorských výšok sledovaných meteorologických staníc. Práca sa tiež zaoberá vyhodnotením zmien výšky vybraných izoteriem mesačnej a ročnej teploty vzduchu v sledovanej oblasti.

Pozemné a aerologické merania teploty vzduchu, výpočet výšky izoteriem

Analyzované boli údaje z ôsmich klimatických staníc umiestnených na slovenskej strane Tatier: Lomnický štít – LST (2 636 m n. m.), Skalnaté Pleso – SKP (1 778 m n. m.), Štrbské Pleso – STP (1 356 m n. m.), Javorina – JAV (1 009 m n. m.), Podbanské – POD (974 m n. m.), Telgárt – TEL (903 m n. m.), Tatranská Lomnica – TAL (829 m n. m.), Poprad – POP (696 m n. m.) a z aerologickej stanice Poprad-Gánovce (706 m n. m.). Napriek tomu, že na niektorých tatranských stanicích existujú klimatologické merania už od roku 1941, na analýzu bolo vybrané obdobie 1961 – 2007, kedy boli k dispozícii údaje zo všetkých klimatických staníc a súvislé aerologické merania zo stanice Poprad-Gánovce, ktorá sa nachádza cca 6 km od klimatickej stanice Poprad-letisko (rozdiel v nadmorských výškach je 10 m), pričom do roku 1977 bola aerologická stanica umiestnená priamo na popradskom letisku.

Mesačné a ročné priemery teploty vzduchu boli počítané z denných priemerov. Pri pozemných mera-

niach teploty boli denné priemery teploty výsledkom tzv. klimatologického priemeru $(t_7 + t_{14} + t_{21} + t_{21})/4$, pričom 7.00 h, 14.00 h a 21.00 h vyjadrujú miestny stredný slnečný čas merania teploty. Denná teplota z aerologických meraní bola vypočítaná ako priemer z meraní uskutočnených o 00.00 h, 12.00 h a 00.00 h svetového času nasledujúceho dňa. Rozdielny spôsob výpočtu dennej teploty, ako aj vplyv rôznych faktorov vplyvujúcich na teplotu vzduchu pri zemskej povrchu a vo voľnej atmosfére, spôsobili systematické rozdiely medzi mesačnými a ročnými teplotami vzduchu z pozemných a aerologických staníc. Rozdiely medzi ročnou teplotou vzduchu z aerologických a pozemných meraní boli v rozsahu $-1,54\text{ }^{\circ}\text{C}$ (SKP) až $-0,58\text{ }^{\circ}\text{C}$ (JAV), rozdiely vo variabilite vyjadrenej štandardnou odchýlkou od priemeru $-0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TEL) až $-0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ (SKP). Korelačné koeficienty medzi ročnou teplotou z pozemných a z aerologických meraní boli v rozsahu 0,792 (JAV) až 0,987 (POP).

Homogenita časových radov bola testovaná štandardne – normálnym testom (Alexandersson, Moberg, 1997), ktorý umožňuje, na základe porovnania testovaného časového radu s referenčným, nájsť v časových radoch nehomogenity spôsobené náhlymi zmenami podmienok merania (napr. premiestnením stanice alebo zmenou meracích prístrojov či metodiky merania) a korigovať ich. Na stanicích JAV a STP boli nájdené v časových radoch nehomogenity, ktoré nezodpovedali údajom o zmenách na meteorologických stanicích a neboli preto korigované. Navyše, najmä na stanici JAV, vykazovala nehomogenita sezónny charakter (výrazne sa prejavovala vo vegetačnom období), pričom od roku s detegovanou nehomogenitou rozdiely medzi referenčným radom a teplotami na tejto stanici rástli, čo pravdepodobne súviselo so zmenami prostredia na stanici.

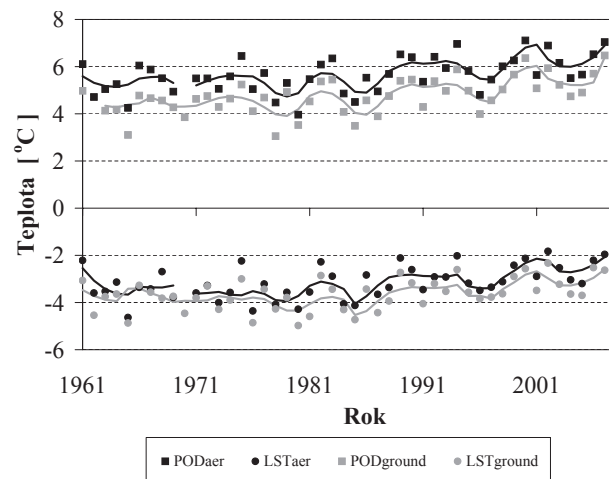
Výška vybraných izoteriem teploty vzduchu bola počítaná dvoma spôsobmi: (1) splajnovou interpoláciou medzi hodnotami teploty vzduchu v hladinách nadmorských výšok klimatických staníc a (2) lineárnym fitom teploty vzduchu ako funkcie nadmorskej výšky. Výhodou prvej, interpolačnej metódy je to, že dokáže presnejšie stanoviť výšku izotermy v prípadoch s komplikovaným priebehom teploty vzduchu s výškou. V studenom polroku sa však v atmosfére často vyskytujú situácie s inverziou a izotermiou teploty vzduchu, kedy sa v jednom vertikálnom profile teploty dá interpoláciou nájsť viac výšok rovnakej izotermy (v tomto prípade bola ako výška danej izotermy braná do úvahy jej najvyššia poloha) a určenie hladiny izotermy je nejednoznačné. Pri lineárnom fite existuje vždy jednoznačná poloha danej izotermy, avšak kvalita lineárnych fitov je, opäť najmä v zimnom období pri komplikovanej teplotnej stratifikácii, zlá (priamka nereprezentuje dobre vertikálny profil teploty).

V práci sme porovnávali charakteristiky teploty vzduchu za klimatický normál 1961 – 1990 a za obdobie 1991 – 2007.

Teplota vzduchu v období 1991 – 2007 a 1961 – 1990

Tab. 1 ukazuje na posun rozdelenia ročnej teploty vzduchu v období 1991 – 2007 oproti klimatickému normálu k vyšším hodnotám. Približne rovnaký posun pre priemer aj vybrané kvantily a extrémny bol zistený pre pozemné aj aerologické údaje. Chyba určenia rozdielov je však väčšia ako samotný rozdiel. Pre mesačné teploty vzduchu bol v období 1991 – 2007 zistený najväčší vzostup teploty vzduchu oproti klimatickému normálu v letných mesiacoch (jún až august) a v zime (december a január). Podobne ako pri ročnej teplote vzduchu, najväčší vzostup vybraných kvantilov bol detegovaný v letných a v zimných mesiacoch. Maximá mesačnej teploty výrazne prekročili klimatický normál v januári, februári, júli a v októbri pre aerologické aj pozemné merania. Vzostup v minimách mesačnej teploty vzduchu až o 3 °C oproti klimatickému normálu bol zistený v júli a v auguste.

Analýza časových radov ročnej teploty vzduchu z aerologických a pozemných meraní teploty ukázala v oboch druhoch časových radov rovnaké najchladnejšie (1962, 1965, 1978, 1980, 1985, na vysokohorských stanicích LST, SKP aj 1976) a najteplejšie roky (1994, 2000, 2002, 2006, 2007, na vysokohorských stanicích LST, SKP aj 1989 a 1982) za sledované obdobie 1961 – 2007.



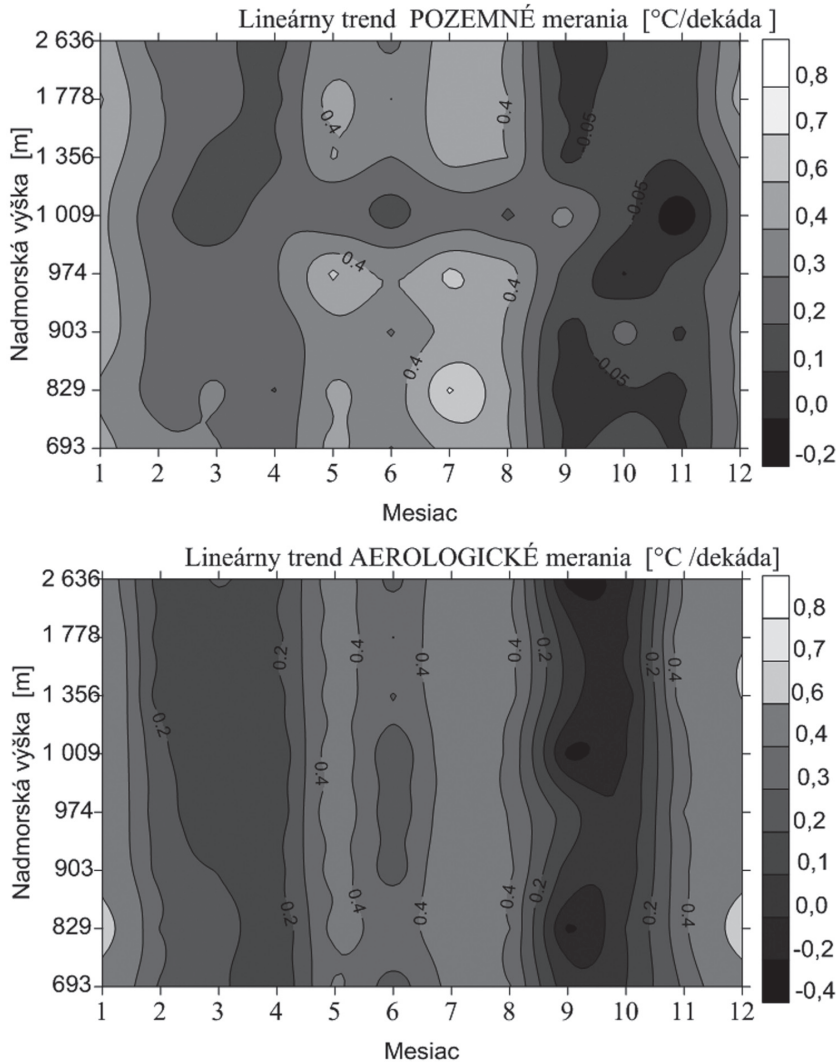
Obr. 1. Časové rady ročnej teploty vzduchu z pozemných (ground – sivá farba) a aerologických (aer – čierna farba) meraní na vybraných stanicích POD a LST zhladené metódou robustnej lokálne váženej regresie (spojité čiary) použitím kvadratickej zhladzovacej funkcie a šírky zhladzovacieho okna 5 rokov

Periodické zmeny teploty vzduchu

Priebeh zhladených časových radov teploty vzduchu ukazoval na prítomnosť cyklickej zložky v radoch ročnej teploty vzduchu (obr. 1).

Tab. 1. Rozdiel medzi priermi (spolu so štandardnou chybou), štandardnou odchýlkou od priemeru STDEV, prvým (Q1) a tretím (Q3) kvartilom, desiatym (D10) a deväťdesiatym (D90) percentilom, minimami (MIN) a maximami (MAX) priemernej ročnej teploty v období 1991 – 2007 a počas klimatického normálu 1961 – 1990 na sledovaných klimatických stanicích (pozemné merania) a v hladinách týchto staníc (aerologické merania)

Stanica	Meranie	LST	SKP	STP	JAV	PDB	TEL	TAL	POP
Rozdiel priemerov [°C]	aerologické	0,6±0,7	0,6±0,9	0,6±0,9	0,6±0,8	0,7±0,9	0,7±0,9	0,7±0,9	0,6±0,9
	pozemné	0,6±0,7	0,7±0,8	0,6±0,9	0,06±0,9	0,8±0,9	0,6±0,8	0,7±0,9	0,6±0,9
Rozdiely STDEV [°C]	aerologické	0,0	-0,1	0,0	-0,0	-0,0	-0,1	0,0	0,0
	pozemné	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,0	0,1	0,0
Rozdiely Q1 [°C]	aerologické	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	pozemné	0,8	0,9	0,6	0,2	0,8	0,7	0,6	0,7
Rozdiely Q3 [°C]	aerologické	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
	pozemné	0,8	0,7	0,6	0,0	0,9	0,3	0,6	0,6
Rozdiely D10 [°C]	aerologické	0,7	0,3	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8
	pozemné	0,5	0,8	0,7	0,3	1,0	0,7	0,8	0,7
Rozdiely D90 [°C]	aerologické	0,7	0,8	0,6	1,0	0,9	1,0	1,0	0,7
	pozemné	1,0	0,6	0,3	0,4	0,8	0,7	0,5	0,7
Rozdiely MIN [°C]	aerologické	0,3	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,3
	pozemné	0,9	1,0	0,6	0,1	0,9	0,7	0,7	0,4
Rozdiely MAX [°C]	aerologické	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
	pozemné	0,4	0,6	0,6	0,2	1,0	0,7	0,8	0,8



Obr. 2. Lineárne trendy mesačnej teploty vzduchu za obdobie 1961 – 2007 pre pozemné merania (hore) a aerologické (dolu) údaje

Maximá autokorelačnej funkcie zodpovedali pre všetky sledované stanice a pre oba druhy údajov periódam 7 – 8 rokov (pre stanicu LST bola zistená pri porovnateľnej hodnote korelačného koeficientu medzi pôvodným a posunutým časovým radom ročnej teploty aj perióda 11 rokov). Hodnoty korelačných koeficientov medzi pôvodnými a posunutými časovými radmi však dosahovali maximá 0,20 – 0,28, čo predstavuje štatisticky nevýznamnú koreláciu.

Periodicity zistené metódou Fourierovej transformácie sa pre oba druhy časových radov ročnej teploty pohybovali v rozsahu 5,75 a 6,57 rokov (pre stanicu LST bola zistená aj perióda 3 roky).

Pre jednotlivé mesačné teploty vzduchu sa detegované periodicity líšili a zodpovedali nízkym hodnotám korelačných koeficientov autokorelačnej funkcie.

Lineárne trendy

Štatisticky významný lineárny vzostup ročnej teploty vzduchu (na hladine významnosti $\alpha \leq 0,001$) v rozsahu 0,21 – 0,30 °C/10 rokov bol v období 1961 – 2007 vypočítaný pre všetky stanice (okrem stanice JAV s detegovanou nehomogenitou teploty vzduchu).

V radoch mesačnej teploty vzduchu bol štatisticky najvýznamnejší trend (na hladine významnosti $\alpha \leq 0,0025$) zistený v júli a v auguste. V zimnom období bola veľkosť lineárneho trendu porovnateľná s letným obdobím, avšak pre vyššiu variabilitu hodnôt, trend bol určený na menšej hladine významnosti. Rozdelenie lineárneho trendu teploty vzduchu počas roka (obr. 2) v jednotlivých hladinách je pre obe skupiny meraní (pozemné a aerologické) takmer rovnaké (na stanici JAV sa od apríla do septembra prejavuje nevýrazný trend teploty vzduchu, v porovnaní s ostatnými stanicami a aerologickými meraniami, čo je pravdepodobne spôsobené nehomogenitou časového radu teploty na tejto stanici).

Veľkosť a rozdelenie vypočítaných trendov počas roka sú ovplyvnené aj výberom obdobia výpočtu trendov. Roky 2006 a 2007

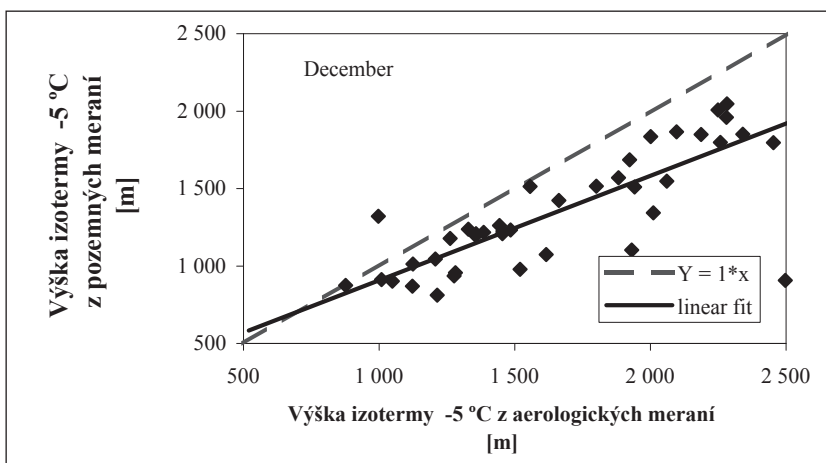
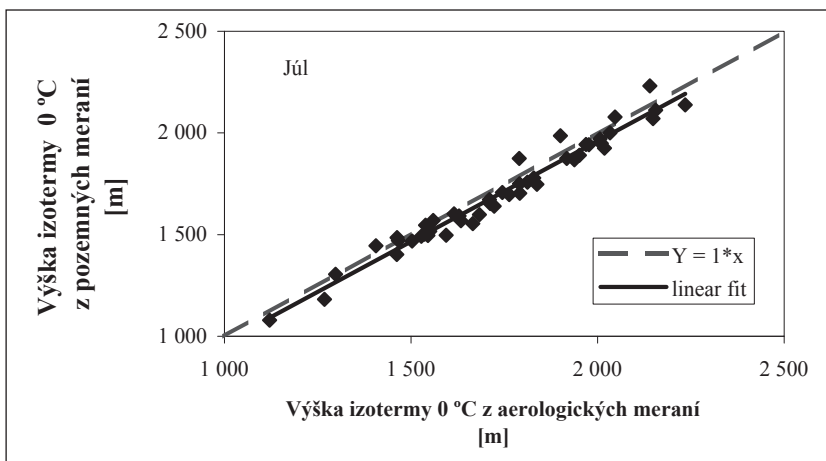
patrili k najteplejším na sledovaných stanicích. V júli 2007 sa vyskytlo extrémne teplé obdobie, kedy boli na viacerých stanicích prekonané absolútne maximá teploty o viac ako 3 °C, podobne december 2006 a január 2007 patrili medzi najteplejšie za sledované obdobie.

Zmeny polohy vybraných izoteriem

Vzhľadom na to, že teplotu vzduchu pri zemskom povrchu a vo voľnej atmosfére ovplyvňujú rôzne faktory, podobne ako pri teplote vzduchu, boli zistené systematické rozdiely medzi výškou izoteriem vypo-

čítanou z aerologických údajov a z pozemných meraní teploty vzduchu. Kým v letnom období dosahovali výšky izoteriem vypočítané z oboch zdrojov údajov dobrú zhodu, v studenom polroku boli výšky izoteriem vypočítané z pozemných meraní systematicky nižšie (obr. 3).

Oproti klimatickému normálu stúpili v období 1991 – 2007 hladiny vybraných izoteriem ročnej teploty o 143 – 212 m, ak ich výška bola určená metódou lineárneho fitu a o 75 – 137 m, ak boli výšky izoteriem vypočítané splajnovou interpoláciou (tab. 2). Chyby rozdielov výšok izoteriem sú porovnateľné so samotnými rozdielmi, čo je spôsobené veľkou variabilitou údajov. Hess (1965) publikoval vertikálnu klimatickú stratifikáciu Tatier založenú na polohe vybraných izoteriem ročnej teploty vzduchu a na rozložení jednotlivých vegetačných zón. Podľa Hessa (1965) pre južné svahy Tatier sa izoterma ročnej teploty 4 °C nachádzala v hladine cca 1 300 m n. m., 2 °C asi 1 700 m n. m., 0 °C asi 2 000 m n. m. a -2 °C cca 2 300 m n. m, čo približne zodpovedá priemerným hodnotám v tab. 2. Konček a kol. (1974) prezentovali výšky vybraných izoteriem ročnej a mesačnej teploty v Tatrách za obdobie 1931 – 1960 osobitne pre konvexné a konkávne povrchy (do štúdie bolo zahrnutých viac meteorologických staníc). Ďalej uvádzajú pre konvexné povrchy výšku izotermy ročnej teploty 0 °C 1 820 m n. m. Pre obdobie klimatického normálu 1961 – 1990 bola pre pozemné merania vypočítaná výška tejto izotermy 1 926 ± 126 m (metóda lineárneho fitu) a 2 041 ± 100 m (splajnová interpolačná metóda). Výška tejto izotermy sa v období 1991 – 2007 posunula na 2 037 ± 119 m (splajnová interpolačná metóda) a 2 142 ± 92 m (metóda lineárneho fitu). Podobne, Konček a kol. (1974) uvádzajú za obdobie 1931 – 1960 polohu júlovej izotermy 10 °C vo výške 1 641 m n. m. Súčasná analýza (splajnová interpolačná metóda) ukazuje polohu tejto izotermy v hladine s výškou 1 575 ± 92 m v období 1961 – 1990 a 1 819 ± 102 m za



Obr. 3. Výšky izoteriem 0 °C v júli a -5 °C v decembri vypočítané z pozemných meraní ako funkcia výšok rovnakých izoteriem vypočítaných z aerologických meraní. Lineárnu závislosť reprezentuje spojité čiara, prerušovaná čiara predstavuje ideálnu situáciu, kedy sa výšky izoteriem z aerologických a pozemných meraní zhodujú. Výšky izoteriem za obdobie 1961 – 2007 boli vypočítané metódou lineárneho fitu.

posledné obdobie 1991 – 2007. V porovnaní s Končekom a kol. (1974) teda prezentovaná práca ukazuje na výrazný vzostup hladiny sledovaných izoteriem teploty vzduchu v poslednom období. Z práce Končeka a kol. (1974) však nie je jasná chyba určenia a metóda výpočtu výšky izoteriem (pravdepodobne bola použitá niektorá interpolačná metóda). Súčasná analýza zas neberie do úvahy charakter povrchu v okolí sledovaných staníc – jednoznačne konvexným povrchom sa vyznačuje iba stanica LST. Do výpočtov výšky izoteriem boli zahrnuté aj údaje zo stanice JAV, kde teplota vzduchu vykazovala výraznú nehomogenitu, čo ovplyvnilo určenie výšky izoteriem teploty vzduchu.

Tab. 2. Výšky vybraných izoteriem ročnej teploty vzduchu (4 °C, 2 °C, 0 °C, -2 °C): priemerná výška za obdobie 1961 – 2007, rozdiely medzi priemerami za obdobie 1991 – 2007 a 1961 – 1990, lineárny trend za obdobie 1961 – 2007 určený na hladine významnosti α . Zmeny výšky vybraných izoteriem vypočítané metódou lineárneho fitu a metódou interpolácie kubickým splajnom pre pozemné a aerologické údaje sú prezentované osobitne.

Teplota izotermy [°C]		-2	0	2	4
lineárny fit					
Pozemné	priemerná výška [m]	2371± 150	1966± 134	1561±143	1145±137
	rozdiel 1961 – 1990 a 1991 – 2007 [m]	172±174	146±189	143±181	199±191
	lineárny trend [m.rok ⁻¹]	4,74	3,9	3,06	3,96
	hladina významnosti α	0,001	0,001	0,002	0,001
Aerologické	priemerná výška [m]	2421± 154	2036± 132	1641±134	1247±136
	rozdiel 1961 – 1990 a 1991 – 2007 [m]	189±173	212±196	179± 164	169±178
	lineárny trend [m.rok ⁻¹]	5,18	4,61	4,75	4,90
	hladina významnosti α	0,001	0,001	0,001	0,001
splajnová interpolácia					
Pozemné	priemerná výška [m]	2383± 104	2078±108	1739±159	1172±232
	rozdiel 1961 – 1990 a 1991 – 2007 [m]	97±131	101±136	137±192	75±339
	lineárny trend [m.rok ⁻¹]	3,38	3,63	4,90	2,50
	hladina významnosti α	0,002	0,002	0,001	0,25
Aerologické	priemerná výška [m]	2412± 124	2040±132	1662±137	1287±134
	rozdiel 1961 – 1990 a 1991 – 2007 [m]	105±155	120±167	123±173	122±177
	lineárny trend [m.rok ⁻¹]	3,92	4,58	4,71	4,66
	hladina významnosti α	0,001	0,001	0,001	0,001

Lineárne trendy výšky vybraných izoteriem sa pre aerologické údaje pohybovali v rozmedzí 3,9 m.r⁻¹ – 5,2 m.r⁻¹, pričom boli určené aspoň na hladine významnosti $\alpha = 0,001$. Pre pozemné merania boli lineárne trendy výšok vybraných izoteriem v rozsahu 2,5 m.r⁻¹ – 4,9 m.r⁻¹, pričom štatistická významnosť ich určenia bola pre niektoré hladiny menšia ($\alpha > 0,25$).

Variabilita výšok vybraných izoteriem mesačnej teploty vzduchu bola väčšia v porovnaní s izoteriami ročnej teploty (tab. 3). Najvýraznejšie stúpajúce trendy boli vypočítané v júli a v auguste (cca 7 m.r⁻¹) na hladine významnosti $\alpha < 0,0025$. Hoci v zimných mesiacoch bol tiež vypočítaný výrazný vzostup výšok vybraných izoteriem mesačnej teploty vzduchu (5 – 6 m.r⁻¹), vzhľadom na veľkú variabilitu údajov bol tento trend štatisticky menej významný ako v letnom období. Poloha izoteriem mesačnej teploty výrazne nestúpala v jarných mesiacoch a v jeseni bol zistený dokonca nevýznamný pokles výšky vybraných izoteriem. Výška izoteriem určená z aerologických a pozemných meraní teploty vzduchu vykazovala tesnú koreláciu v lete, v chladnom polroku boli zistené

nižšie korelačné koeficienty aj kvôli väčším rozdielom medzi teplotami z aerologických a pozemných meraní (tab. 3).

* * *

Porovnanie priebehu ročnej a mesačných teplôt vzduchu z pozemných klimatických staníc a z aerologických meraní v oblasti Tatier ukázalo, že napriek rozdielnej metodike výpočtu denných teplôt vzduchu a rôznym faktorom vplyvujúcim na teplotu vzduchu pri zemskom povrchu a vo voľnej atmosfére, čo sa prejavilo rozdielmi v priemernej ročnej a mesačnej teplote a tiež rozdielnymi výškami izoteriem teploty vzduchu, oba druhy časových radov vykazujú konzistentný vzostup teploty vzduchu v sledovanej oblasti.

Pozemné aj aerologické merania teploty vzduchu ukazujú v období 1991 – 2007 rovnaký posun v rozdelení teploty vzduchu k vyšším hodnotám oproti klimatickému normálu, ktorý je najvýraznejší v letných (júl – august) a v zimných (december – január) mesiacoch, je nevýrazný v jarných mesiacoch

Tab. 3. Výška izotermy, lineárne trendy za obdobie 1961 – 2007 (s uvedenou hladinou významnosti ich určenia α) vybraných izoteriem mesačnej teploty vzduchu ($-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $2\text{ }^{\circ}\text{C}$) pre mesiace január, apríl, júl a október a korelačný koeficient medzi výškami izoteriem počítanými pre pozemné a aerologické dáta. Výšky izoteriem boli vypočítané metódou interpolácie kubickým splajnom.

Teplota izotermy [$^{\circ}\text{C}$]		-6	4	10	2
		január	apríl	júl	október
Pozemné	priemerná výška [m]	1945 \pm 440	1745 \pm 378	1732 \pm 344	1961 \pm 459
	lineárny trend [m.rok $^{-1}$]	6,3	0,7	7,2	-0,9
	hladina významnosti α	>0,25	>0,25	0,001	>0,25
Aerologické	priemerná výška [m]	1893 \pm 513	1767 \pm 257	1651 \pm 225	1972 \pm 400
	lineárny trend [m.rok $^{-1}$]	5,43	3,6	7,4	-2,7
	hladina významnosti α	>0,25	>0,25	0,001	>0,25
Korelačný koeficient		0,845	0,943	0,980	0,898

a v jesennom období bol zaznamenaný dokonca nevýznamný pokles teploty vzduchu. Oba druhy časových radov vykazovali konzistentné stúpajúce trendy teploty vzduchu, ktoré boli najvýraznejšie v letných a v zimných mesiacoch. Výrazný vzostup teploty sústredený v letných mesiacoch môže v spojení s dostatkom zrážok vplývať na rozvoj vegetácie pozitívne. Oteplenie v zimnom období negatívne ovplyvní množstvo snehu a lyžiarske aktivity, najmä v nižších polohách. Naopak, na prezimovanie niektorých organizmov môže vplývať pozitívne. To, že sa vzostup teploty vzduchu neprejavuje výrazne v prechodných obdobiach (jar a jeseň), môže indikovať, že vzostup teploty v sledovanej oblasti sa výrazne neprejaví zmenou dĺžky vegetačného obdobia. V oboch radoch meraní boli zistené podobné nevýrazné periodicity, ktorých súvis s periodickými osciláciami v rozložení tlaku vzduchu v Európe, prípadne s inými periodicitami (slnečný cyklus), bude potrebné ďalej skúmať. Hoci sa priemerné výšky izoteriem vypočítané za sledované obdobie rôznymi metódami pre pozemné a aerologické merania teploty vzduchu líšili (väčšinou v medziach chyby jej určenia), signifikantné stúpajúce trendy výšky izoteriem ročnej a mesačnej teploty v letných a v zimných mesiacoch indikujú posun klimatických zón v Tatrách do vyšších nadmorských výšok. Porovnanie s klimatickým normálom 1961 – 1990 a so staršími štúdiami ukazujú na vzostup výšky vybraných izoteriem v poslednom období. Určenie signifikantnosti zmien v porovnaní s výsledkami starších štúdií je však problematické pre nejasnosti v metodike výpočtu a v určení chýb výšok izoteriem v minulosti. Pre celkový odhad dopadu posunu vertikálnej klimatickej stratifikácie na tatranské ekosystémy bude ďalej potrebné analyzovať zmeny vlhkosti vzduchu a zrážok.

Príspevok vznikol s podporou projektu VEGA č. 2-00-79-2011.

Literatúra

- Alexandersson, H., Moberg, A.: Homogenization of Swedish Temperature Data. Part I. International Journal of Climatology, 1997, 17, 1, p. 25 – 34.
- Hess, M.: Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich. Zeszyty Naukowe UJ – Prace Geograficzne, Kraków, 1965, 11, p. 1 – 267.
- IPCC Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2001, 881 p.
- 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.
- Konček, M. a kol.: Klíma Tatier. Bratislava: Veda, 1974, 855 s.
- Niedzwiedz, T.: 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, 1992, p. 131 – 146.

Mgr. Anna Pribullová, PhD., *apribull@ta3.sk*
RNDr. Miroslav Chmelík, CSc., *miroslav.chmelik@shmu.sk*
 Slovenský hydrometeorologický ústav, 058 01 Poprad – Gánovce
Mgr. Jozef Pecho, *pecho@ufa.cas.cz*
 Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Boční II 1401, 141 31 Praha 4