

TREND TEPLoty VZDUCHU V MLYŇANOCH

AIR TEMPERATURE TREND AT MLYŇANY

Ostrožlík, M., Smolen, F.

Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 842 28 Bratislava

Tel. č.: 7-421-59412649 E-mail: geofostr@savba.sk

A b s t r a c t

Air temperature tendency is one of the important characteristic features of the climatic change. Mean annual values of air temperature at Mlyňany during the period of 1962-1999 were used to find the long-term trend. The linear approximation of the time series was applied to estimate the air temperature variations. The fluctuations intensity and tendency were determined by means of annual deviations of air temperature from the long-term average. In order to find the observed secular trends of the air temperature changes, the course of air temperature anomalies was smoothed by eleven-year running averages.

The obtained results have shown, that the air temperature trend at Mlyňany has an increasing tendency. The mean annual air temperature increased by about 1.1 °C during the investigated period, i.e. by approximately 0.33 °C per decade. Some inhomogeneity was confirmed by a Craddock test of relative homogeneity until 1968 in this time series.

Úvod

Ukazuje sa, že teplota vzduchu je najcitlivejším ukazovateľom klimatických zmien. Sezónne a ročné výkyvy teploty vzduchu úzko súvisia s fluktuáciami všeobecnej cirkulácie atmosféry, ktoré môžu byť vyvolané rôznymi činiteľmi.

Medzi faktory, ktoré spôsobujú výrazné zmeny teploty vzduchu, patrí tak zmena priepustnosti atmosféry pre priame slnečné žiarenie v dôsledku znečistenia atmosféry, ako aj skleníkový efekt, súvisiaci so zmenou koncentrácie CO₂ a stopových plynov (ľudská činnosť). Na základe viacerých klimatických modelov sa predpokladá, že v prípade zvýšenia koncentrácie CO₂ približne 2 krát, zvýši sa globálna teplota vzduchu asi o 3,3 °C. Toto zvýšenie teploty vzduchu bude podmienené hlavne antropogénnymi faktormi, ale súčasne treba počítať s možným vplyvom prirodzených činiteľov, tzv. „šum“ (Budyko, 1989; Budyko a Groisman, 1989; Vinnikov a kol., 1987). Výskum experimentálneho materiálu o zmenách

teploty vzduchu môže prispieť k verifikácii modelových teórií krátkodobých zmien klímy v blízkej budúcnosti.

Regionálne zmeny klímy sa môžu v určitých časových úsekoch líšiť od globálnych zmien. Preto je účelné študovať zmeny klímy v rovnakom časovom období v rôznych geografických oblastiach a posúdiť ich vzťah ku globálnym zmenám (Bloutsos a kol., 1990).

Spracovaný materiál

Systematické merania a pozorovania stavu atmosféry v Mlyňanoch sa začali v r. 1962, a to v parku Arboréta Mlyňany. V tomto parku, ktorý má dnes vyše storočnú zbierku okrasných a hospodárskych drevín, bola zriadená meteorologická stanica. Pôvodná lokalizácia meteorologickej stanice nespĺňala úplne požadované podmienky pre meteorologickú observačnú činnosť, a preto od r. 1969 bolo v Arboréte Mlyňany uvedené do prevádzky Meteorologické observatórium Geofyzikálneho ústavu SAV ($H = 195$ m n.m., $\varphi = 48^{\circ} 19'$ N, $\lambda = 18^{\circ} 20'$ E) (Janičkovičová a Bilčík, 1996).

Lokalita observatória spĺňa všetky kritéria, ktoré sú kladené na referenčné klimatické stanice. Je reprezentatívnou prírodnou klimatickou oblasťou územia Slovenska. Nachádza sa v prostredí neovplyvnenom ľudskou aktivitou a je predpoklad, že tomu tak bude aj v budúcnosti. Má dobrý odborný personál, vhodné meracie prístroje, ktoré sú pravidelne kontrolované a ciachované. Má široký klimatický a zrážkomerný program pozorovania. Má dlhé pozorovacie rady a je situovaná na jednom mieste (aj s výhľadom do budúcnosti).

Vzhľadom na to, že zmeny teploty vzduchu sú najlepším ukazovateľom klimatických zmien, zameriame svoju pozornosť na analýzu priemerných ročných hodnôt teploty vzduchu v Mlyňanoch za obdobie 1962-1999. K tomu nám slúžili experimentálne údaje, ktoré boli získané na základe merania teploty vzduchu v klimatických pozorovacích termínoch.

Metodika spracovania

Viacere štatistické charakteristiky priemerných ročných hodnôt teploty vzduchu v Mlyňanoch za obdobie 1962-1999 boli získané štandardným softwarovým vybavením Statgrafics.

Analýza spoľahlivosti a časovej homogenity údajov bola urobená na základe známych metód: Bartlettov test (Nosek, 1972) a Craddockov test (Craddock, 1979).

Pre grafické znázornenie vypočítaných charakteristík teploty vzduchu boli použité podprogramy metodické príručky GPVTV (Kolektív autorov, 1991). Táto príručka obsahuje súbor fortranovských podprogramov, ktoré slúžia na grafické vyhodnotenie vedecko-technických výpočtov v dvojrozmernom a v trojrozmernom priestore. Pre ilustráciu uvedieme niekoľko príkladov, kde boli aplikované niektoré podprogramy z GPVTV príručky pri štúdiu časovej premenlivosti teploty vzduchu v Mlyňanoch.

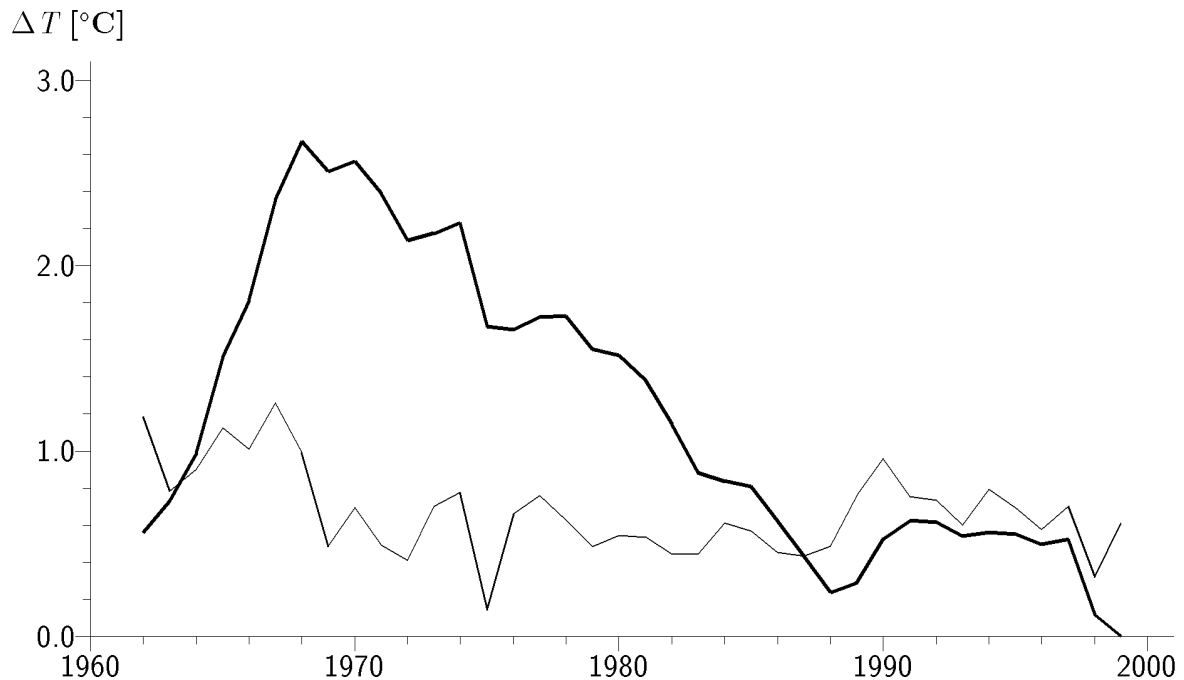
Výsledky a diskusia

Najdlhší rad meraní teploty vzduchu na území Slovenska majú v sieti staníc Hurbanovo a Liptovský Hrádok. V prácach autorov Nieplová a kol., 1994; Murínová a Ostrožlík, 1987 je uvedená analýza a interpretácia výsledkov spracovania týchto meraní. Výsledky ukazujú, že trend teploty vzduchu má rastúcu tendenciu. Všeobecný trend, rast teploty vzduchu v posledných rokoch, potvrdzujú tiež výsledky uverejnené v ďalších prácach (Bilčík a Janičkovičová, 1996; Brázdil a Štěpánek, 1998; Nieplová a kol., 2000; Štekl, 1991; Kalvová a Brázdil, 1993). Autori sa v nich bližšie zaoberajú, okrem sledovania trendu teploty vzduchu, i analýzou štatistických testov homogenity.

Základným predpokladom analýzy časového radu je existencia dlhého homogénneho radu. K testovaniu homogenity časového radu nám slúžia testy absolútnej a relatívnej homogenity. Rozhodujúcou požiadavkou pri použití metód relatívnej homogenity je existencia kvalitného, spoľahlivého, homogénneho časového radu, pomocou ktorého testujeme iný študovaný rad. Pritom sa vychádza z predpokladu, že zmeny počasia a klímy nie sú priestorovo obmedzené len na jednu lokalitu, ale sa prejavujú nad väčšou časťou územia. Pre porovnanie vhodnosti aplikácie jednej i druhej testovacej metódy sme použili Bartlettov test absolútnej homogenity a Craddockov test relatívnej homogenity. V prípade Craddockovho testu sme pre porovnanie použili priemerné ročné hodnoty teploty vzduchu z Hurbanova. Všeobecne sa doporučuje a nakoniec to vyplýva aj z doporučení účastníkov seminára v Maďarsku (6. – 12. októbra 1996), že treba preferovať relatívne metódy oproti absolútnym. Absolútne metódy je možné používať iba v krajných prípadoch, ak nie je možné použiť relatívne metódy.

V prvom prípade sme zo základného súboru (38 ročného časového radu) vybrali 6 podskupín a aplikovali Bartlettov test homogenity pri nerovnakom počte opakovaní. Výsledky potvrdili, že nami zistená hodnota $\chi_{0,05}^2$ (2,98) je menšia ako kritická hodnota

$\chi^2_{0,05} (11,1)$. pre $\nu = 5$ (päť stupňov voľnosti). Z toho usudzujeme, že uvedené náhodné výbery pochádzajú zo základného súboru o rovnakom rozptyle. Je teda splnená podmienka homogenity výberových rozptylov, a preto podľa tohoto výsledku môžeme konštatovať, že študovaný rad je homogénny. Na druhej strane však grafický Craddockov test (obr. 1), ktorý



Obr. 1. Chod odchýlok priemerných ročných hodnôt teploty vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] v Hurbanove a v Mlyňanoch (tenká čiara) a kumulatívnych odchýlok podľa Craddockovho testu (hrubá čiara) za obdobie 1962-1999.

porovnáva hodnoty testovaného radu (Mlyňany) s hodnotami referenčnej stanice (Hurbanovo), ktorej rad považujeme za homogénny, poukazuje na bod nespojitosti, a to v čase kedy bola meteorologická stanica premiestená. Z toho usudzujeme, že časový rad teploty vzduchu v Mlyňanoch testovaný podľa časového radu v Hurbanove naznačuje určitú nehomogenitu do r. 1968. Na základe tohto zistenia si možno urobiť záver, že pri aplikácii dvoch rôznych testovacích metód na posúdenie homogenity toho istého časového radu Bartlettov test nie je dostatočne silný na posúdenie homogenity časového radu.

Spracovaním rozsiahleho experimentálneho materiálu meraní teploty vzduchu v Mlyňanoch boli získané viaceré charakteristiky. V tab. 1 sú uvedené niektoré štatistické charakteristiky priemerných ročných hodnôt teploty vzduchu v Mlyňanoch, priemer, medián, extrémne hodnoty, smerodajná odchýlka, koeficient variancie, a iné. Podľa údajov tejto tabuľky vidíme, že priemerná ročná teplota vzduchu v Mlyňanoch je $9,5^{\circ}\text{C}$. Najväčšia

priemerná ročná teplota vzduchu 10,9 °C sa líši o 14,7% a najnižšia priemerná ročná teplota 8,0 °C o 15,8% od dlhodobého priemeru. Z toho vyplýva, že kolísanie priemerných ročných teplôt vzduchu je v rozmedzí 2,9 °C. Hodnoty horného a dolného kvartilu sú 9,9 °C, resp. 9,0 °C. Vypočítaná hodnota smerodajnej odchýlky 0,6878 °C predstavuje 7,2% z dlhodobého priemeru.

Tab. 1. Štatistické charakteristiky priemerných ročných hodnôt teploty vzduchu v Mlyňanoch za obdobie 1962-1999

Premenná	Teplota vzduchu v °C	Premenná	Teplota vzduchu v °C
Rozsah súboru	38	Variačné rozpätie	2,9
Priemer	9,466	Dolný kvartil	9,0
Medián	9,5	Horný kvartil	9,9
Modus	9,5	Kvartilové rozpätie	0,9
Geometrický priemer	9,441	Šikmosť	-0,1565
Variancia	0,4731	Normovaná šikmosť	-0,3938
Smerodajná odchýlka	0,6878	Špicatosť	-0,1840
Štandardná chyba	0,1116	Normovaná špicatosť	-0,2315
Minimum	8,0	Koeficient variacie	7,2666
Maximum	10,9	Suma	359,7

Na základe metód regresnej analýzy a odchýlok ročných hodnôt teploty vzduchu od dlhodobého priemeru sme urobili odhad tendencie zmeny teploty vzduchu (T) s časom (t), kde t je príslušný rok v časovom rade (Anděl, 1985).

V prvom priblížení sme uvažovali jednoduchý lineárny regresný model

$$T = a + bt,$$

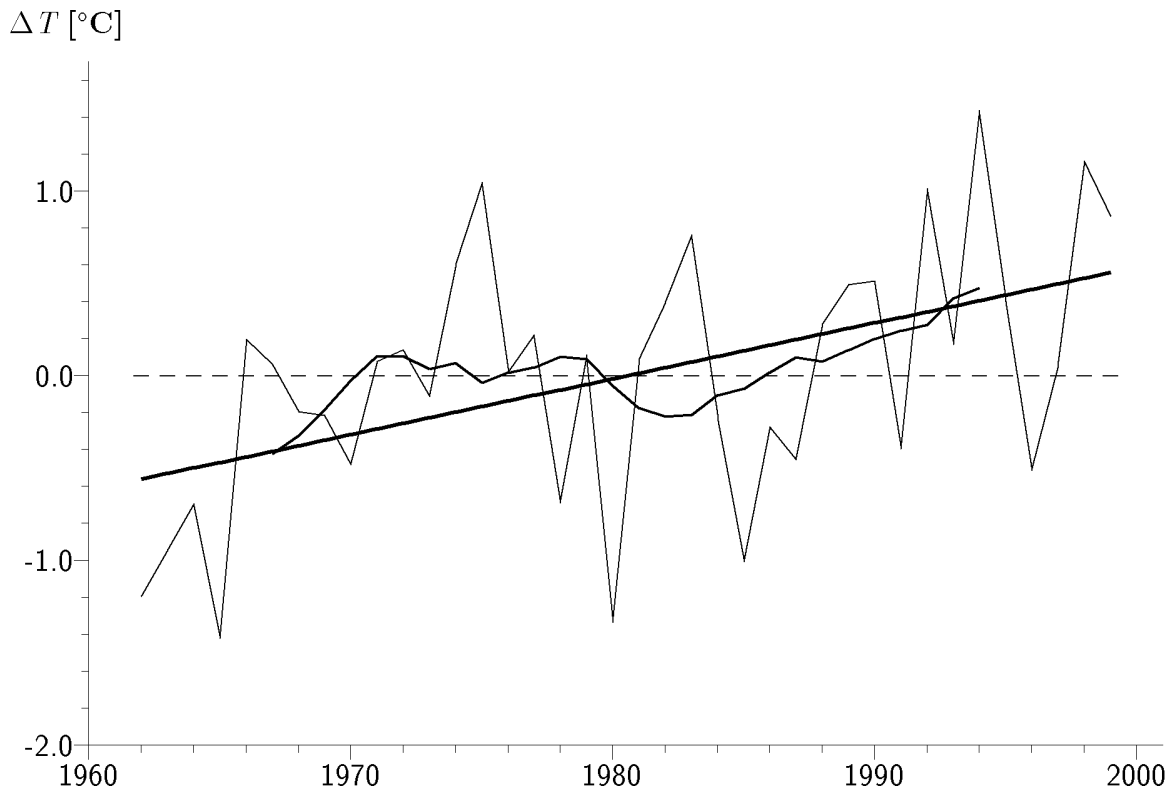
a metódou najmenších štvorcov sme vypočítali regresné koeficienty: a a b . Podľa našich výsledkov dostávame, že priemerné ročné hodnoty teploty vzduchu v Mlyňanoch môžeme vyjadriť v tvare

$$T = -48,6771 + 0,029356 t.$$

Aby sme zistili trend sekulárnych zmien teploty vzduchu, vyrovnali sme chod anomálií hodnôt priemerných ročných teplôt vzduchu jedenásťročnými kľzavými priemermi.

Na obr. 2 sú znázornené odchýlky hodnôt priemerných ročných teplôt vzduchu od dlhodobého priemeru, 11-ročné kľzavé priemery a trendová zložka teploty vzduchu.

Z priebehu kriviek je evidentné, že trend teploty vzduchu má rastúcu tendenciu a priemerná ročná teplota za posledných 38 rokov tu vzrástla o 1,1 °C. Vlnový charakter krivky kĺzavých priemerov má charakteristické obdobia rastu (1. obdobie na začiatku študovaného obdobia až



Obr. 2. Chod odchýlok priemerných ročných hodnôt teploty vzduchu od dlhodobého priemeru [°C], ich trendová zložka a chod odchýlok jedenásťročných kĺzavých priemerov od dlhodobého priemeru (hodnota 0.0 °C predstavuje dlhodobý priemer) v Mlyňanoch za obdobie 1962-1999.

do začiatku 70-tich rokov, 2. obdobie na prelome 90-tich rokov až doteraz) a poklesu (od začiatku 70-tich rokov a na prelome 80-tich rokov) teploty vzduchu.

Záver

Spracovaním rozsiahleho experimentálneho materiálu priemerných mesačných hodnôt teploty vzduchu v Mlyňanoch za obdobie 1962-1999 boli získané viaceré štatistické charakteristiky hodnôt priemerných ročných teplôt vzduchu.

Podľa dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že trend teploty vzduchu v Mlyňanoch má rastúcu tendenciu. V uvažovanom období teplota vzduchu vzrástla asi o 1,1 °C, t.j. asi o 0,3 °C za desaťročie.

Test relativnej homogenity (Craddockov test) potvrdil určitú nehomogenitu v časovom rade do r. 1968.

Súhrn

Hodnoty priemernej ročnej teploty vzduchu v Mlyňanoch za obdobie 1962-1999 nám slúžili ako podklad pre analýzu časového radu teploty vzduchu v tejto lokalite. Pre odhad zmien teploty vzduchu sme použili lineárnu aproximáciu časového radu. Veľkosť a tendenciu výkyvov sme určovali pomocou odchýlok od dlhodobého priemeru. Aby sme zistili trendy sekulárnych zmien teploty vzduchu v uvažovanom období, chod anomálií teploty vzduchu sme vyrovnali jedenásťročnými kĺzavými priermi.

Získané výsledky ukázali, že trend teploty vzduchu v Mlyňanoch má rastúcu tendenciu. V uvažovanom období teplota vzduchu vzrástla asi o 1,1 °C, t.j. asi o 0,3 °C za desaťročie. Test relativnej homogenity (Craddockov test) potvrdil určitú nehomogenitu v časovom rade do r. 1968.

Pod'akovanie: Prezentované výsledky boli získané vďaka čiastočnej podpore grantovej agentúry VEGA pri riešení projektu č. 2/6041/99.

Kľúčové slová: Mlyňany – teplota vzduchu – testy homogenity – jedenásťročné kĺzavé priemery

Literatúra

- Anděl, J. 1985: Matematická statistika. SNTL/ALFA. Praha, 346 s.
- Bilčík, D., Janičkovičová, E. 1996: Analysis of long-term air temperature changes at Mlyňany. Zeszyty naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego. Práce geograficzne. Cracow, 102, 341-346.
- Bloutsos, A. A., Saksamanoglou, H. S., Brázdil, R. 1990: Long-term air temperature fluctuations in Greece and Czechoslovakia. Climatic change in the historical and the instrumental periods (ed. R. Brázdil). Masaryk university – Brno, 252-256.
- Brázdil, R., Štěpánek, P. 1998: Kolísání teploty vzduchu v Brně v období 1891-1995. Geografie - Sborník České geografické společnosti. Praha, 103, 13-30.
- Budyko, M. Ya. 1989: Empiričeskaja ocenka predstojaščich izmenenij klimata. Meteorol. i gidrolog., 10, 5-14.
- Budyko, M. Ya., Grojsman, P. Ya. 1989: Poteplenije 80-tich godov. Meteorol. i gidrolog., 3, 5-10.

- Craddock, J. M. 1979: Methods of comparing annual rainfall records for climatic purposes. *Weather*, 34, 332-346.
- Janičkovičová, L., Bilčík, D. 1996: Dlhodobé zmeny denných extrémov teploty vzduchu v Mlyňanoch. In: *Bioklimatológia a zmeny klímy. I. Technická bioklimatológia*. Nitra, Bratislava, 38-43.
- Kalvová, J., Brázdil, R. 1993: Změny klimatu. In: *Rizika změny klimatu a strategie jejich snížení*. NKP ČR. Praha, 10, 48-91.
- Kolektív autorov, 1991: *GPVTV – príručka programátora*. Výpočtové stredisko SAV. Bratislava, 170 s.
- Murínová, G., Ostrožlík, M. 1987: Dlhodobé anomálie teploty vzduchu ako charakteristika kolísania klímy. In: *Funkcia žiarenia*. Bratislava, 210-221.
- Nieplova, E., Lapin, M., Faško, P. 1994: Návrh siete klimatologických zrážkomerných staníc na monitorovanie zmien klímy SR. In: *Národný klimatický program Slovenskej republiky*. Bratislava, 2, 7-33.
- Nieplova, E., Šťastný, P., Lapin, M. 2000: Režim teploty vzduchu v Bratislave. In: *Bulletin SMS pri SAV*. Bratislava, 11, 33-37.
- Nosek, M: 1972: *Metody v klimatologii*. Academia. Praha, 433 s.
- Šoltís, J., Tekušová, M., Zeman, V. 1990: Long-term air temperature and precipitation conditions in summer and winter periods in Hurbanovo. *Climatic change in the historical and the instrumental periods* (ed. R. Brázdil). Masaryk university – Brno, 259-264.
- Štekl, J. 1991: Temperature series at the observatory Milešovka. In: *Mountainous meteorology, climatology and aerology of the lower layers of troposphere* (ed. I. Panenka). Bratislava, 23-29.
- Vinnikov, K. Ya., Grojsman, P. Ya., Lugyna, K. M., Golubev, A. A. 1987: *Izmeneniya temperatury vozducha Severnogo polušariya za 1841-1985 gg*. *Meteorol. i gidrolog.*, 1, 45-55.