

KLIMATICKÁ ZMĚNA PODLE MĚŘENÍ TEPLOT VZDUCHU V PRAŽSKÉM KLEMENTINU ZA 230 LET

Jaroslav Střeštitk, Jaroslav Rožnovský

Abstrakt:

In the University campus Klementinum in Prague air temperatures have been recorded every day since 1775 till now without interruption. The regular increase of the average air temperature starting in the middle of the 19th century and lasting till now is clear, and the decrease in the first half of the 19th century as well. The course of annual averages of the temperature can be approximated by a polynomial of the third order, or of the second order for data starting 1850, respectively. In the 20th century both curves are nearly identical. There is no indication that the increase of air temperature could be slower in the future, nor an indication of a possible long-term periodicity in the range of 100-200 years. The change of the average temperature is different in different seasons. In spring and autumn it is approximately the same as for the annual averages, in summer high temperatures occurred to the end of the 18th a beginning of the 19th century and a slower increase during the last 100 years, whereas in winter more intensive increase during the 20th century and only small decrease at the beginning of the 19th century has been observed. Due to this fact the differences between the temperatures in summer and in winter gradually decrease. Also for the individual months is the temperature change different. In summer months (from April to October) small decrease till the middle of the 19th century can be seen, then a strong increase follows. In winter months (from October to March) is the decrease at the beginning very small and the later increase is stronger, without any clear minimum in the 19th century. But an exception has been observed in February, where the course of the temperature is similar to that in summer months. Therefore the difference between temperatures in January and in February is being changed, so that the middle of winter is being shifted to the later date. However, all these long-term changes are supplemented by strong irregular fluctuations of values in the individual years, which is in average three or more times bigger as the temperature increase during the last 150 years. These fluctuations are different in different seasons. In summer, spring and autumn it is nearly the same as for the annual averages, but in winter it is more than three times bigger than for the annual data so that long-term change, though stronger than in other seasons, can be hardly seen. The size of fluctuations displays also a long-term change. It gradually decreases during the last 230 years, more in winter than in other seasons.

Key words: climatic change, air temperature, seasonal differences

1. Úvod

V pražském Klementinu se měří teploty vzduchu denně od roku 1775 do dnešní doby bez přerušení. Zde použijeme pouze měsíční a případně sezonní nebo celoroční průměry denních teplot vzduchu. Ty jsou k dispozici v publikaci Jírovského (1976), novější data lze získat od ČHMÚ v Praze.

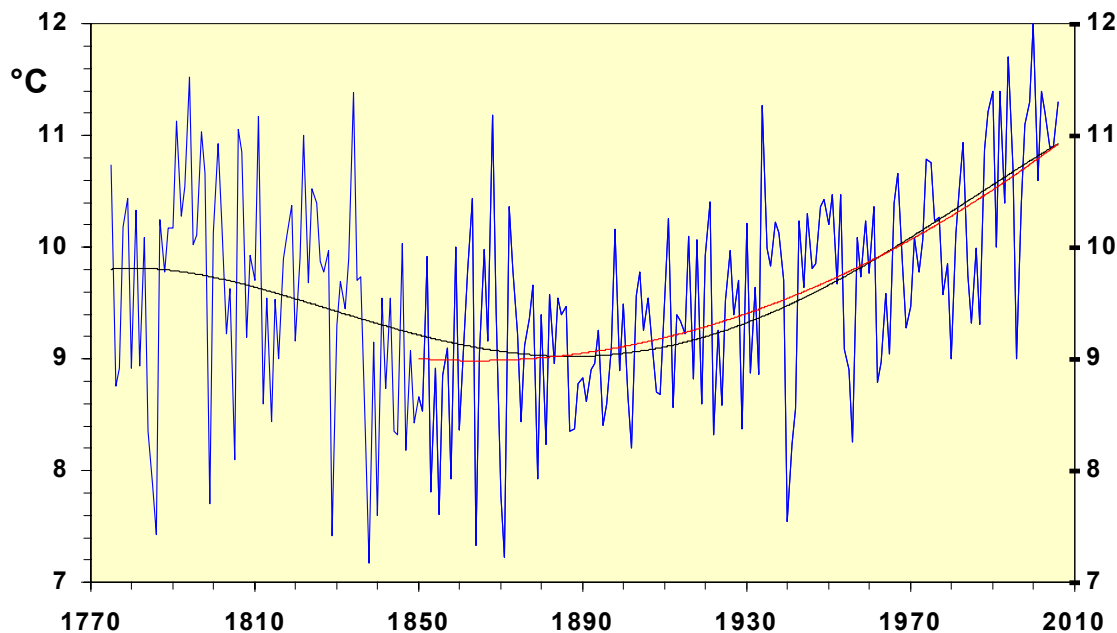
2. Dlouhodobý chod teplot vzduchu

Na obr. 1 je předveden chod celoročních průměrů teploty vzduchu. Nápadné je především značné kolísání, kdy teplota v jednom roce může být až o několik stupňů vyšší nebo nižší než v roce předcházejícím. Tomu se budeme věnovat na

konci. Kromě nepravidelného kolísání je patrný neustálý vzrůst průměrných teplot přibližně od poloviny 19. století do dnešní doby. Na přelomu 18. a 19. století však byly teploty poměrně vysoké, i když ne tolik jako v současnosti. Pokles v první polovině 19. století je také zřejmý. Celý chod lze aproximovat polynomem třetího stupně (použití vyššího stupně již nepřinese žádnou změnu). Od roku 1850 stačí polynom druhého stupně, přičemž rozdíly mezi oběma křivkami jsou v tomto období nepatrné. Nic nenasvědčuje tomu, že by se růst teploty zpomaloval nebo dokonce že by se měl zastavit, stejně tak není zřejmá žádná dlouhodobá perioda v rozmezí 100 –

200 let. Polynomy zakreslené na obr. 1 ukazují, že od roku 1850 do dneška vzrostla průměrná roční teplota vzduchu už o celé dva stupně, z 9 na 11, což je více, než činí vzrůst globální (celozemské) tep-

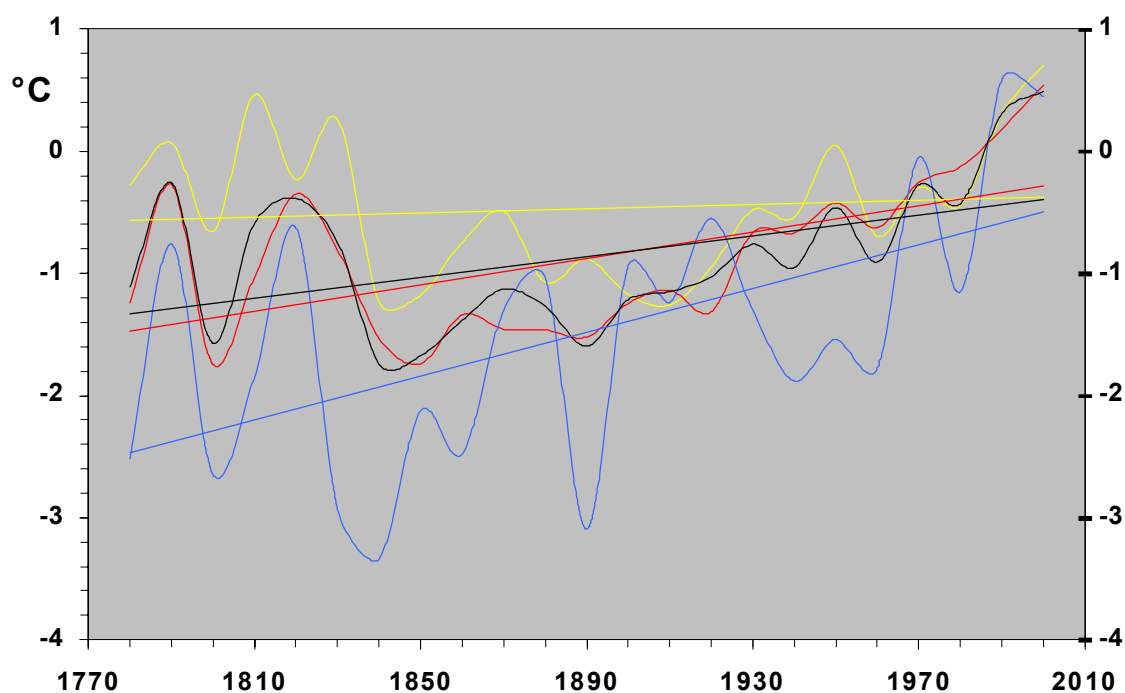
loty. Toto je pravidlem v Evropě a ještě více v severní Americe, zatímco na jižní polokouli je vzrůst teplot menší. Pokles v první polovině 19. století byl v průměru menší než jeden stupeň.



Obr. 1. Průběh ročních průměrných teplot vzduchu v pražském Klementinu za celou dobu pozorování. Aproximace polynodem třetího stupně (černá čára), resp. druhého stupně pro období pouze od r. 1850 (červená čára).

Dlouhodobá změna teploty vzduchu je různá v různých ročních obdobích. Aby bylo možné tyto průběhy zachytit společně v jednom obrázku, byly průměrné teploty nejprve přepočítány tak, aby v každém měsíci byl průměr za období 1970-2000 roven nule. Veličina, která roste rychleji, tak bude mít na počátku hodnoty více záporné, na obrázku budou vlevo dole. Dále byly spočteny průměrné hodnoty v každé dekádě. To proto, že při použití ročních dat existuje velký rozptyl, jednotlivé křivky by byly nakresleny přes sebe a graf by byl nepřehledný. Na rozdíl od běžně používaných postupů zde byly dekády definovány jako 1775-1784 atd. až 1995-2004, aby se neztratily informace z neúplných dekád na začátku a na konci pozorování. Také roční období jsme zde definovali netradičně s ohledem na vegetační období a také na průběh v jednotlivých měsících, který bude uveden dále. Do léta bylo shrnuto pět měsíců od května do září, jaro a podzim byly

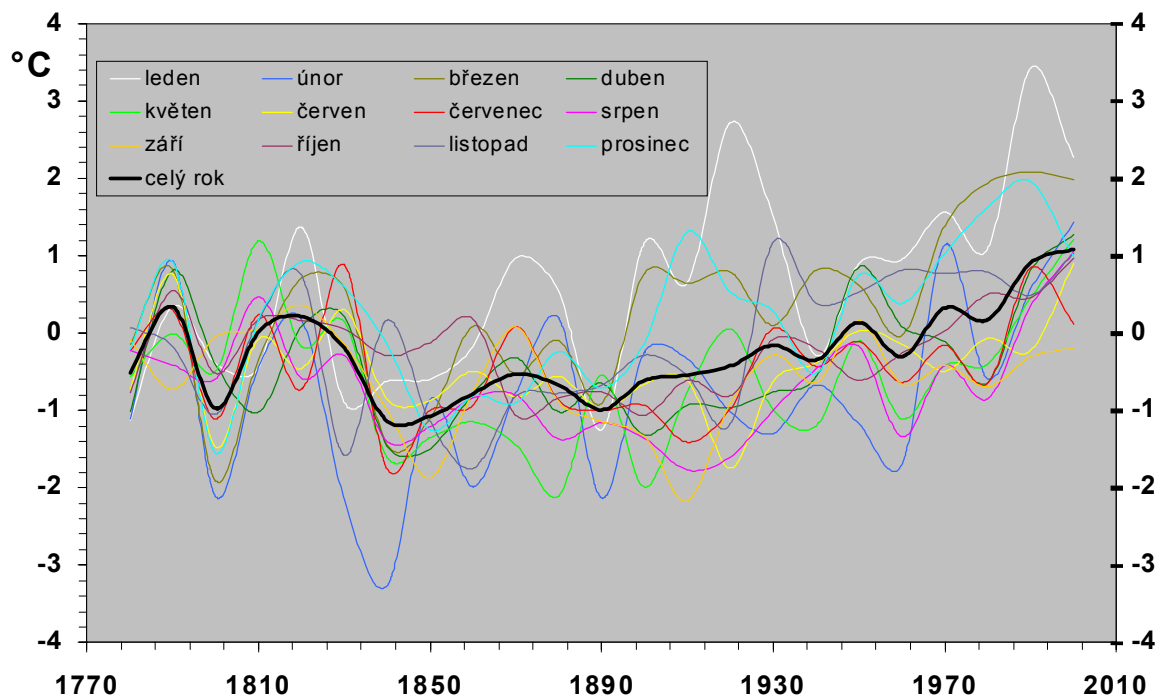
sloučeny do jedné skupiny (březen, duben, říjen a listopad), zima zůstává jako tři měsíce, leden a únor a k tomu prosinec předcházejícího roku. Takto upravené teploty vzduchu jsou uvedeny na obr. 2 spolu s regresními přímkami. I přes to, že byly použity průměry za desetiletí, zůstává v grafu značná fluktuace. Avšak celkový trend je dobře patrný. V období rovnodennosti je průběh teplot přibližně stejný jako pro celoroční průměry. V létě byly pozorovány vysoké teploty na přelomu 18. a 19. století, které se prakticky rovnají teplotám současným, a pomalejší růst za posledních 100 let. V zimě byly naopak naopak na přelomu 18. a 19. století teploty velmi nízké, ve 20. století nastal intenzivnější růst, pokles na počátku 19. století byl nepatrný. To vše dohromady znamená, že se postupně snižují rozdíly mezi teplotou vzduchu v zimě a v létě, což regresní přímkou velmi zřetelně ukazují.



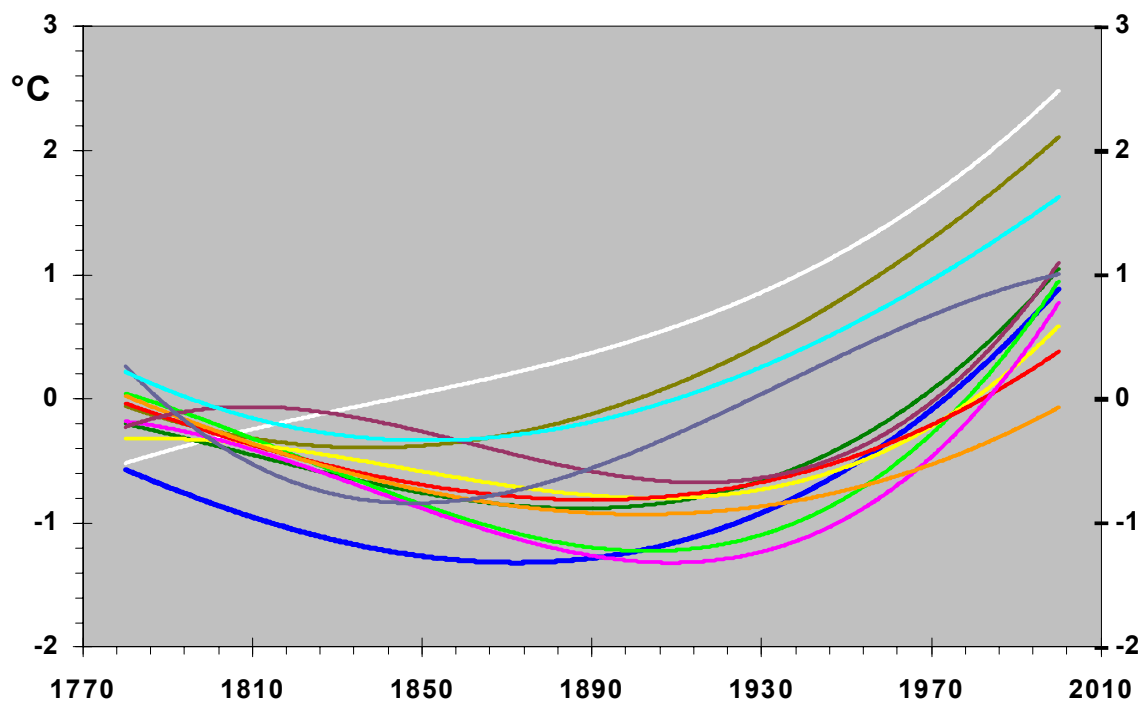
Obr. 2. Průběh průměrných teplot vzduchu v pražském Klementinu v jednotlivých ročních dobách za celou dobu pozorování (data pro dekády, vztažená k průměru za období 1970-2000 a vyhlazená). Žlutá čára – léto (květen až září), červená čára – rovnodennost (březen, duben, říjen, listopad), modrá čára – zima (leden, únor a prosinec předcházejícího roku), černá čára – celoroční průměr. Připojena aproximace přímkou (lineární regrese).

Také pro jednotlivé měsíce je změna průměrné teploty vzduchu různá. Pro prezentaci těchto změn v jednom obrázku byly průměrné teploty přepočítány tentokrát tak, aby v každém měsíci byl průměr za období 1780-1810 roven nule. Veličina, která roste rychleji, tak bude mít na konci hodnoty vyšší, na obrázku budou vpravo nahoře. Průměrné hodnoty v dekáдах byly spočteny stejně jako pro roční období na obr. 2. Všechny tato průběhy jsou uvedeny na obr. 3. Barvy pro jednotlivé měsíce byly zvoleny tak, aby letní měsíce byly označeny „teplými“ barvami, zimní pak „studenými“ a bílými. Také zde je přítomen velký rozptyl, ale celkové trendy jsou dobře patrné. V letních měsících (od dubna do října) se shodně pozoruje nejprve slabý a nejednoznačný pokles do poloviny 19. století, pak následuje silný růst. V zimních měsících (od listopadu do března) je počáteční pokles minimální a celkový růst sil-

nější, bez zřejmého minima v 19. století. Výjimkou je však únor, kdy průběh průměrné teploty vzduchu je shodný s průběhem v letních měsících. Tím narůstá rozdíl mezi průměrnou teplotou vzduchu v lednu a v únoru, kdy se únor stává chladnějším, takže střed zimy se postupně přesunuje do pozdějšího data. Dlouhodobé trendy jsou ještě lépe patrné, když křivky uvedené na obr. 3 aproximujeme vhodnou křivkou. Toto je provedeno na obr. 4, kde jsou nakresleny pouze tyto aproximace bez původních teplotních křivek. Použity byly polynomy třetího řádu, i když pro mnoho měsíců je příspěvek s třetí mocninou nepatrný a křivka je téměř totožná s polynomem druhého řádu. Barevné rozlišení je stejné jako na obr. 3. Zřetelně je vidět, jak jsou grafy pro chladné měsíce ve 20. století umístěny nahoře, ovšem s výjimkou února.



Obr. 3. Průběh průměrných teplot vzduchu v pražském Klementinu v jednotlivých měsících za celou dobu pozorování (data pro dekády, vztažená k průměru za období 1780-1810 a vyhlazená).



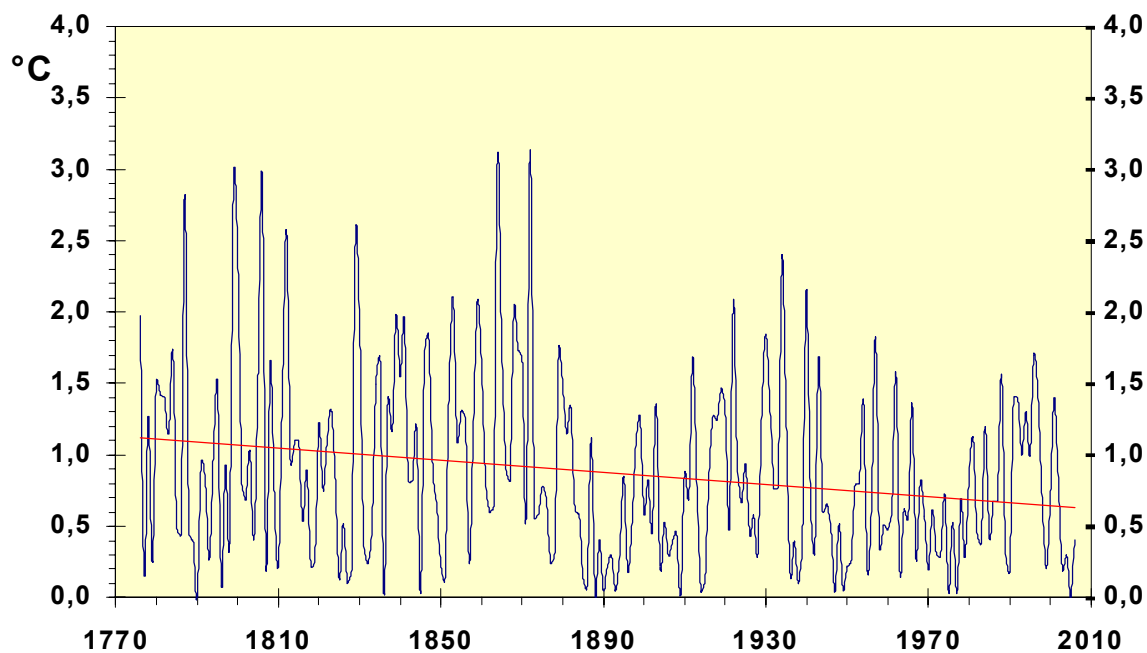
Obr. 4. Aproximace průběhu průměrných teplot vzduchu v pražském Klementinu v jednotlivých měsících za celou dobu pozorování (z obr. 3) polynomem třetího stupně. Barevné rozlišení je stejné jako na obr. 3, celoroční průměr zde není uveden.

3. Krátkodobé kolísání (proměnlivost)

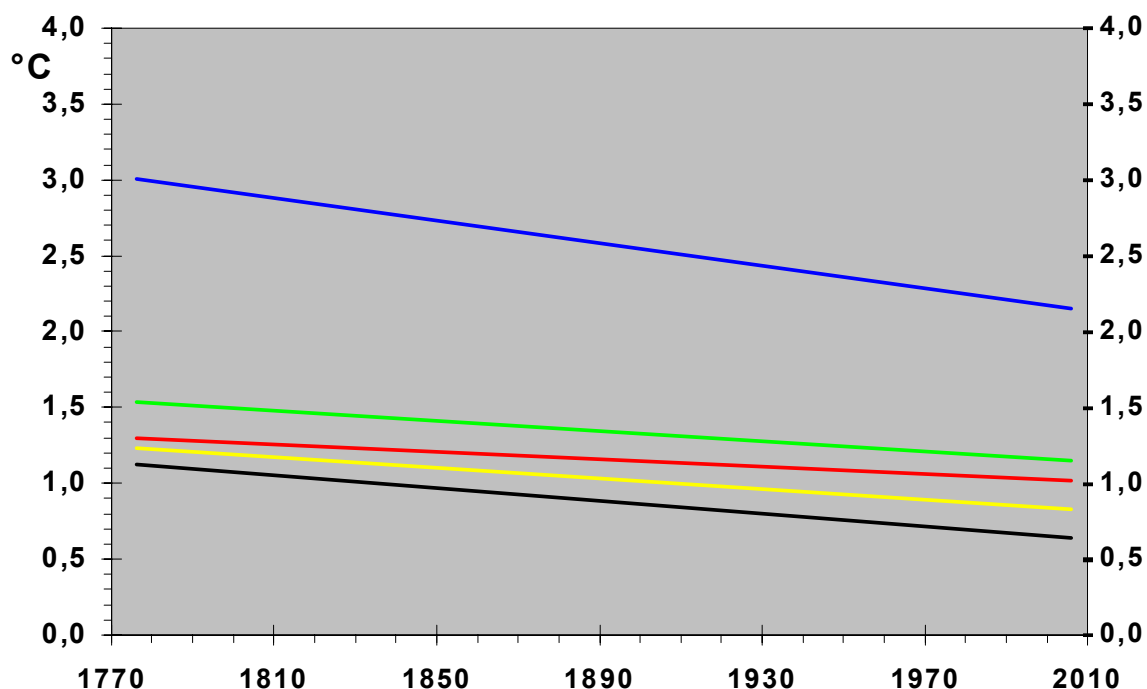
Všechny tyto dlouhodobé změny jsou doprovázeny značným nepravidelným kolísáním hodnot v jednotlivých letech, které je v průměru asi třikrát tak velké než vzrůst teploty za posledních 150 let. Tuto proměnlivost můžeme vyjádřit číselně např. jako rozdíl mezi průměrnou teplotou vzduchu v daném roce a v roce předcházejícím, a to v absolutní hodnotě. Tento rozdíl může dosáhnout až tří stupňů, jindy však také zůstává pod polovinou stupně. Takto definovaná proměnlivost vykazuje dlouhodobou změnu, která je dobře patrná na obr. 5. V průběhu 230 let se hodnoty proměnlivosti stále snižují. Tento pokles můžeme aproximovat přímkou, jak je nakresleno na obr. 5. Polynomy vyššího stupně jsou zbytečné, jejich graf se od přímky liší jen nepatrně. Zdá se však, že kromě stálého poklesu existuje jistá dlouhodobá perioda kolísání proměnlivosti. Vyšší hodnoty by měly být kolem roků 1800, 1870 a 1940, tedy opakování přibližně po 70 letech. U samotných hodnot teplot vzduchu (obr. 1) tato perioda není, ani u teplot pro jednotlivá roční období.

Proměnlivost je různá v různých ročních dobách. Zatímco v létě, na jaře a na podzim je přibližně stejná jako pro celoroční průměry, v zimě je více než trojnásobná v porovnání s celoročním průměrem, takže dlouhodobá změna, ač větší než v jiných ročních dobách, je jím zcela překryta. Dlouhodobá změna je uvedena na obr. 6 v podobě regresních přímek pro každé roční období, bez zakreslení vlastních hodnot. Pokles je pozorován v každém ročním období, nejvíce v zimě. Proměnlivost pro celoroční hodnoty je nižší než pro kterákoli roční období, protože v průběhu roku se extrémní odchylky zčásti vyrovnají. Je-li např. jarní průměrná teplota podstatně odlišná než byla ve stejném období v předcházejícím roce (srv. jaro 2006 a 2007), pak tento rozdíl se nemusí opakovat v dalších ročních obdobích.

Proměnlivost pro jednotlivé dekády lze popsat také směrodatnou odchylkou σ , kterou počítáme (či bychom měli počítat) vždy při výpočtu průměru. Číselně se samozřejmě liší od proměnlivosti použité výše, ale dlouhodobá změna je stejná, stejně tak rozdíly mezi jednotlivými ročními obdobími.



Obr. 5. Proměnlivost průměrných ročních teplot vzduchu v Klementinu za celou dobu pozorování (rozdíl mezi průměrnou roční teplotou v daném roce a v předcházejícím roce, v absolutní hodnotě), doplněné regresní přímkou.



Obr. 6. Regresní přímky pro proměnlivost průměrných teplot vzduchu v Klementinu v jednotlivých ročních dobách za celou dobu pozorování. Zelená – jaro, žlutá – léto, červená – podzim, modrá – zima, černá – celý rok.

Při pohledu na grafy na obr. 1 a 5 by se zdálo, že kolísání je do značné míry pravidelné, že by mohla existovat nějaká krátkodobá perioda, během níž se opakují teplejší a chladnější roky. Tak tomu však není. Ve spektru řady na obr. 1 a stejně tak ve spektrech řad pro jednotlivá období nebo měsíce se nevyskytuje žádný významný vrchol v hodnotách od jednoho až do několika desítek let. Znamená to, že krátkodobé kolísání hodnot průměrných ročních či měsíčních teplot vzduchu s periodami několik let je skutečně nepravidelné.

4. Závěr

Výsledky ukazují, že průměrné teploty vzduchu za posledních stále rostou a nic nenaznačuje tomu, že by se růst mohl v blízké době zastavit. Silnější vzrůst teplot je pozorován v zimních měsících, nejmenší v letních. Následkem toho klesá rozdíl mezi letními a zimními teplotami, což je

jeden z příznaků snižování kontinentality podnebí. Výjimkou je však únor, kdy teploty rostou pomaleji, podobně jako v letních měsících, na rozdíl od ostatních zimních měsíců. Střed zimy se tedy přesunuje do doby o něco pozdější.

Dlouhodobá změna je doprovázena silným krátkodobým kolísáním, které nevykazuje žádnou zřejmou periodu. Toto kolísání je mnohem větší v zimních měsících než v ostatních obdobích roku. Tato proměnlivost překrývá dlouhodobý chod teploty vzduchu, který v krátkém období 5-10 let nemusí být vůbec patrný. Často tak může být průměrná teplota v jednom roce (či ročním období) podstatně nižší nebo vyšší než v roce předcházejícím. Tyto výkyvy bývají ve sdělovacích prostředcích občas nesprávně interpretovány právě záměnou krátkodobého kolísání a dlouhodobé změny.

Literatura

Jírovský V. (1976): Meteorologická pozorování v Praze-Klementinu 1775–1975. HMÚ Praha.

Adresy autorů

Jaroslav Střeščík: Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Praha

Jaroslav Rožnovský: Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno