

Cykličnost teplotních a srážkových řad naměřených v Praze-Klementinu

Cyclicity of temperature and precipitation series measured in Prague-Clementinum

Petr Štěpánek

Český hydrometeorologický ústav
Pobočka Brno
Kroftova 2578/43, 616 67 Brno;
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.
Bělidla 986/4a, 603 00 Brno
✉ petr.stepanek@chmi.cz

On the occasion of 250 years of air temperature measurements at the Prague-Clementinum station, the Czech Hydrometeorological Institute (ČHMÚ) is publishing a comprehensive book entitled “V Klementínu bylo naměřeno...”. This publication provides a detailed insight into the historical development of measurements and observations at the Clementinum station and their significance. However, due to the focus of the publication, not all available information could be included. Many of these details are highly specialized or intended for specific applications. This article was therefore created to briefly introduce significant cycles observed in the temperature and precipitation time series of Clementinum. These periodic phenomena play a crucial role in climate development and help to better understand long-term trends as well as the natural variability of weather in Prague.

KLÍČOVÁ SLOVA: Praha-Klementinum – řady časové – teplota vzduchu – úhrny srážkové – cykličnost

KEYWORDS: Prague-Clementinum – time series – air temperature – precipitation totals – cyclicity

1. Úvod

Měření teploty vzduchu, tlaku a srážek v pražském Klementinu začalo v roce 1752 z iniciativy jezuita Josefa Steplinga, prvního ředitele tamní hvězdárny. Pro období 1753–1768 nejsou záznamy dochované, ale od roku 1769 Antonín Strnad, třetí ředitel observatoře, publikoval měsíční hodnoty tlaku vzduchu (1752, 1769–1793) a teploty (1770–1793). Od 1. ledna 1775 Strnad zahájil systematická denní měření, která se později stala součástí mezinárodní meteorologické sítě Societas Meteorologica Palatina (1781) (Brázdil et al. 2012b).

Statistické vlastnosti klementinských časových řad různých meteorologických prvků jsou podrobně rozebrány v publikaci *V Klementínu bylo naměřeno...*, kterou vydal ČHMÚ v roce 2025 (Daňhelka et al. 2025). Téma cykličnosti těchto řad však v této

publikaci řešeno není, a právě tento příspěvek se zaměřuje na tuto problematiku s cílem ji doplnit.

Klementinská měření, nejdelší souvislá meteorologická pozorování na jednom místě v Česku, prošla mnoha změnami, a to jak v metodice pozorování, tak v přístrojovém vybavení (podrobnosti lze nalézt ve zmíněné publikaci nebo např. v Brázdil et al. 2012a a Krška, Šamaj 2001). Teplotní řada sahá do roku 1771 (od roku 1775 se jedná o systematická denní měření), zatímco srážková řada začíná v průběhu roku 1804. Obě tyto časové řady byly homogenizovány a použity mj. pro tvorbu technických klimatických řad pro Českou republiku, Čechy a Moravu (Brázdil et al. 2012b).

Tento příspěvek se zaměřuje výhradně na data z Prahy Klementina. Byly použity homogenizované časové řady publikované v práci Brázdil et al. (2012b), přičemž novější roky jsou průběžně přidávány na konec řady. Homogenizace probíhala směrem do minulosti, což zajistilo jejich konzistenci a využitelnost pro analýzu cykličnosti.

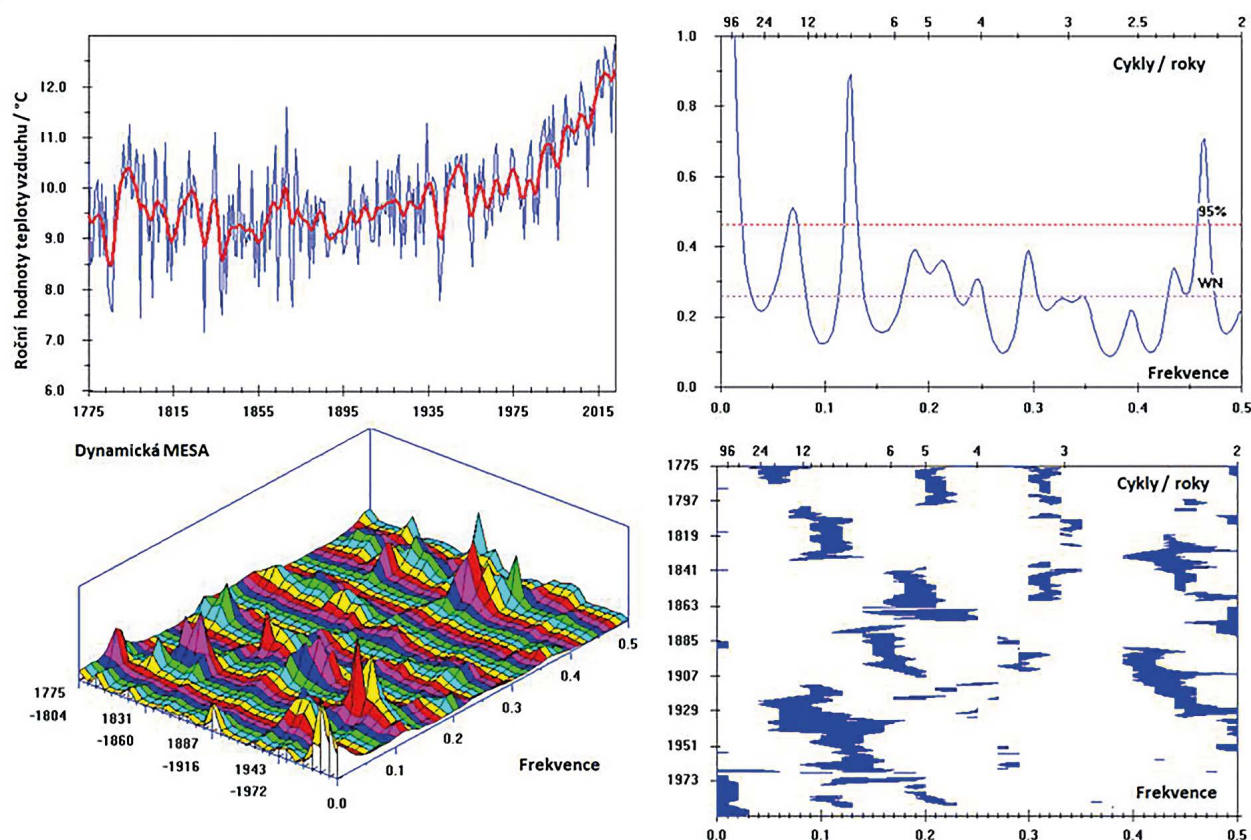
2. Metodika

Spektrální analýzou (viz např. Mitchell et al. 1966; Brázdil 1986; Schönwiese 1985; Štěpánek 2005 – obecné principy uvedeny v kap. 4.2) byly v řadě průměrné teploty vzduchu a srážkových úhrnů Klementina za období 1775–2023 hledány statisticky významné cykly (na hladině významnosti $\alpha = 0,05$). K analýze byla použita metoda MESA (Maximum Entropy Spectrum Analysis), která umožňuje identifikovat dominantní frekvence v časové řadě. Vývoj jednotlivých cyklů v čase byl dále zkoumán pomocí dynamické MESA, která umožňuje sledovat změny v průběhu času.

3. Výsledky

Obrázek 1 vpravo nahoře znázorňuje cykly v řadě průměrných ročních teplot vzduchu z Klementina. Odhady spektrální hustoty na ose y vyjadřují intenzitu jednotlivých periodických složek v časové řadě a jsou uvedeny jako procento rozptylu vysvětleného danou spojitou oblastí délek period. Graf vlevo dole pak ukazuje, jak se cykly vyvíjejí v čase, zatímco vpravo dole je znázorněn časový vývoj pouze těch cyklů, které jsou statisticky významné. Přehled statisticky významných cyklů ($\alpha = 0,05$) pro jednotlivé sezóny i celý rok za celé období měření je uveden v tab. 1.

V případě ročních hodnot se v řadě vyskytují statisticky významné cykly s délkami 14,8; 8,0 a 2,2 roku a cyklus nekonečné délky (trend), který je zastoupen největší spektrální hustotou. V případě zimy připadá druhá nejvyšší intenzita na cyklus



Obr. 1 Kolísání teploty vzduchu a analýza cykličnosti pro průměrnou roční teplotu vzduchu v Praze-Klementinu za období 1775–2023. Vlevo nahoře: kolísání teploty vzduchu vyhlazené nízkofrekvenčním Gaussovým filtrem s periodou 10 let (červeně). Vpravo nahoře: odhady spektrální hustoty metodou MESA (Maximum Entropy Spectrum Analysis) s délkou filtru $M = 30$. WN označuje bílý šum, vyznačena je 95% hladina významnosti ($\alpha = 0,05$). Vlevo dole: dynamická MESA, vizualizovaná ve 3D. Klouzavá období mají délku 30 let, posun začátků období je po 7 letech, maximální posun autokorelace $M = 10$. Vpravo dole: dynamická MESA ve 2D variantě, zobrazující pouze statisticky významné cykly ($\alpha = 0,05$). Klouzavá období mají délku 30 let, na ose je vyznačen pouze začátek každého 30letého období, maximální posun autokorelace $M = 10$.

Fig. 1. Air temperature fluctuations and cyclicity analysis for the average annual air temperature in Prague-Clementinum for the period 1775–2023. Top left: air temperature fluctuations smoothed by a low-frequency Gaussian filter with a period of 10 years (red). Top right: spectral density estimates using the MESA (Maximum Entropy Spectrum Analysis) method with a filter length of $M = 30$. WN denotes white noise, the 95% significance level ($\alpha = 0.05$) is marked. Bottom left: dynamic MESA, visualized in 3D. The moving periods are 30 years long, with a shift of 7 years between periods, and a maximum autocorrelation shift of $M = 10$. Bottom right: dynamic MESA in 2D, showing only statistically significant cycles ($\alpha = 0.05$). The moving periods are 30 years long, only the beginning of each 30-year period is marked on the axis, maximum autocorrelation shift $M = 10$.

Tab. 1 Statisticky významné ($\alpha = 0,05$) cykly (v rocích) identifikované v průměrné teplotní řadě Praha-Klementinum pro jednotlivé sezóny i celý rok v období 1775–2023. Hodnota *Inf.* označuje cyklus nekonečné délky, což odpovídá přítomnosti trendu. Čísla v závorce představují hodnoty těsně nad hranici statistické významnosti.

Table 1. Statistically significant ($\alpha = 0.05$) cycles (in years) identified in the average temperature series for Prague-Clementinum for individual seasons and the entire year in the period 1775–2023. The value *Inf.* indicates a cycle of infinite length, which corresponds to the presence of a trend. The numbers in parentheses represent values just above the statistical significance threshold.

Zima	Jaro	Léto	Podzim	Rok
<i>Inf.</i>	<i>Inf.</i>	<i>Inf.</i>	<i>Inf.</i>	<i>Inf.</i>
14,8				14,8
8,0		(8,5)		8,0
(4,8)		4,0	4,6	
3,5		3,3	2,6	
3,0		2,2	2,1	2,2

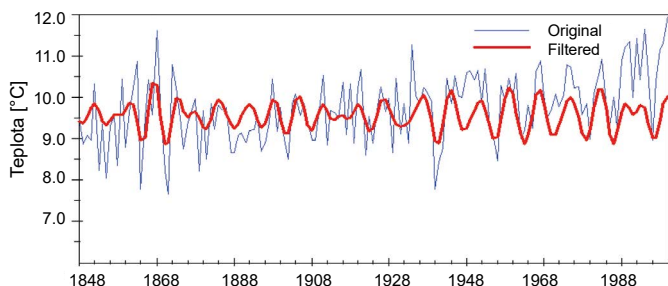
s délkou 8 roků, který je velmi výrazný též u ročních hodnot. U jara nebyl kromě trendu identifikován žádný statisticky významný cyklus. V letní sezoně je kromě trendu výraznější také cyklus o délce 4 roky. Pro podzim jsou nejvýraznější cykly s délkou 4,6 a 2,1 roku.

cyklus s délkou 8 let vyskytoval především ve 20. století a dále na přelomu 18. a 19. století, zatímco cyklus s délkou přibližně 15 let se objevoval zejména v první polovině 20. století a cyklus o délce 5,5 roku kolem poloviny 19. století. Kvazidvouletá

Pro lepší ilustraci je uveden obr. 2, který znázorňuje roční průměrnou teplotu vzduchu v Klementinu vyhlazenou osmiletým pásmovým filtrem. Tento graf názorně ukazuje, jak je osmiletý cyklus v časové řadě zastoupen a jak ovlivňuje kolísání teplot v průběhu času.

Vývoj cyklů v čase lze analyzovat pomocí dynamické MESA, která byla aplikována na klouzavá 30letá období. Výsledky pro roční průměrnou teplotu vzduchu v Klementinu jsou znázorněny v rámci obr. 1 (dole vlevo a dole vpravo). V ročních hodnotách se

oscilace vykazuje proměnlivou délku i výskyt, přičemž cyklus s délkou 2,3 roku byl patrný v první polovině 20. století, zatímco v předchozím i následujícím období se objevovaly pouze kratší cykly. Výsledky pro zimní období (obrázky zde nejsou



Obr. 2 Kolísání roční průměrné teploty vzduchu [°C] v Praze-Klementinu (ukázka pro období 1848–2000), vyhlazených 8letým pásmovým filtrem (červeně a tučně).

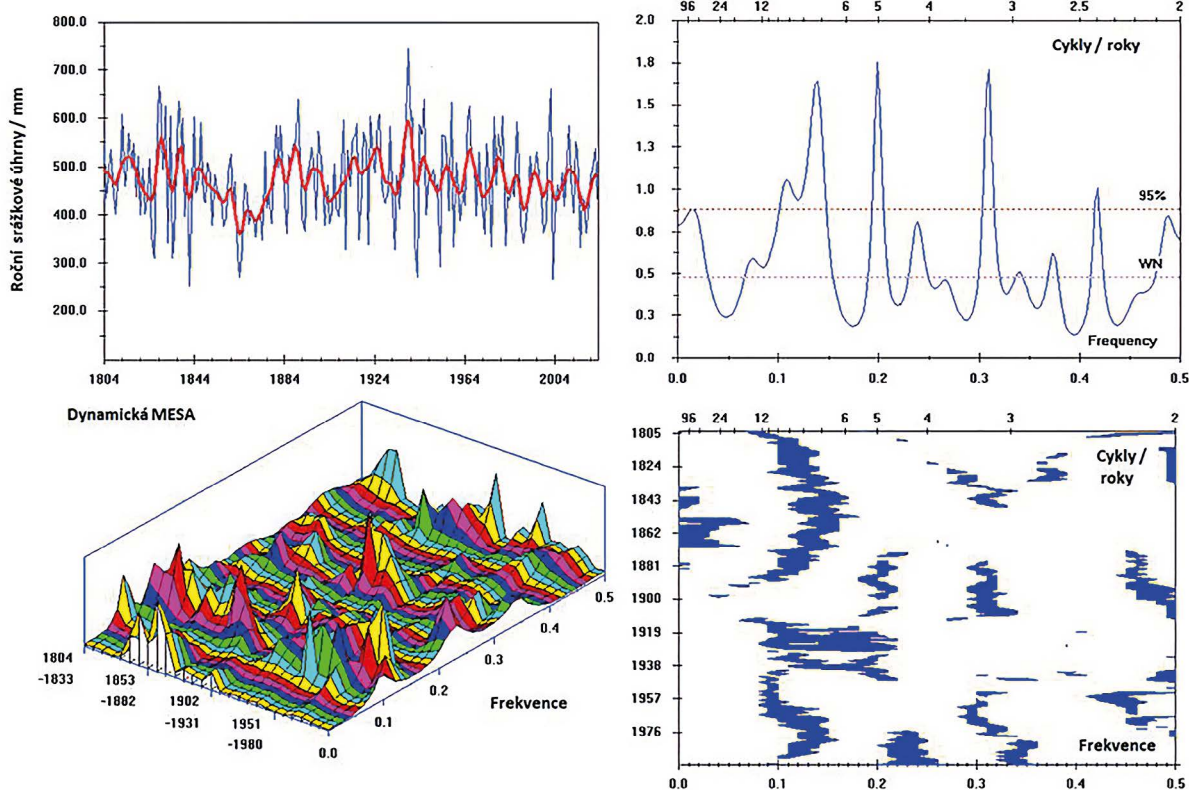
Fig. 2. Fluctuations in the annual average air temperature [°C] in Prague-Klementinum (example for the period 1848–2000), smoothed with an 8-year band-pass filter (red and bold).

uvedeny, mohou však být na vyžádání zájemcům zaslány) jsou podobné jako pro celý rok – výrazný 8letý cyklus se zde vyskytoval zejména ve 20. století, zatímco na začátku řady byly patrné cykly s délkou 3,5 a přibližně 15 let. V letním období se výrazně projevoval 4letý cyklus, který byl patrný především na začátku 19. století, na začátku 20. století a v polovině 20. století. V podzimním období byl nejvýraznější cyklus s délkou 4,6 roku, který se vyskytoval na začátku časové řady, v polovině 19. století a dále na začátku a na konci 20. století.

Obdobně jako v případě teploty vzduchu byly analýze cykličnosti podrobeny také srážkové úhrny, avšak pro kratší období 1804–2023.

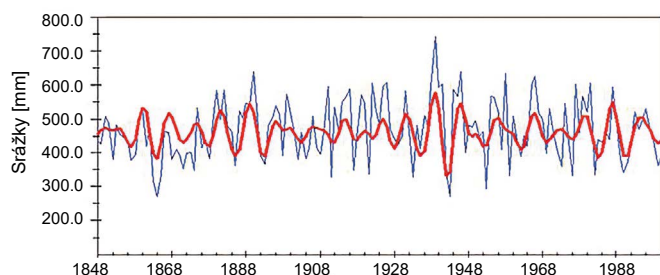
Obrázek 3 vpravo nahoře poskytuje informace o cyklech ročních srážkových úhrnů v časové řadě Klementina. Tento graf umožňuje identifikovat dominantní periodické složky ve srážkových datech. Přehled statisticky významných cyklů ($\alpha = 0,05$) pro jednotlivé sezóny i celý rok za celé období měření je uveden v tab. 2.

V případě ročních hodnot se v řadě statisticky významně vyskytují cykly o délkách 7,2, 5,0 a 3,2 roku, přičemž méně



Obr. 3 Kolísání a analýza cykličnosti ročních srážkových úhrnů v Praze-Klementinu (1804–2023). Vysvětlivky: vlevo nahoře: kolísání ročních srážkových úhrnů v řadě Klementina, vyhlazené nízkofrekvenčním Gaussovým filtrem s periodou 10 let (tučně). Vpravo nahoře: odhady spektrální hustoty metodou MESA (Maximum Entropy Spectrum Analysis) s délkou filtru $M = 30$. WN označuje bílý šum, vyznačena je 95% hladina významnosti ($\alpha = 0,05$). Vlevo dole: dynamická MESA, 3D varianta znázornění, která umožňuje sledovat vývoj cyklů v čase. Klouzavá období mají délku 30 let, posun začátku období je po 7 letech, maximální posun autokorelace $M = 10$. Vpravo dole: dynamická MESA ve 2D variantě, zobrazující pouze statisticky významné cykly ($\alpha = 0,05$). Klouzavá období mají délku 30 let, na ose je vyznačen pouze začátek každého 30letého období, maximální posun autokorelace $M = 10$.

Fig. 3. Variation and analysis of the cyclicity of annual precipitation totals in Prague-Klementinum (1804–2023). Explanatory notes: Top left – variation of annual precipitation totals in the Clementinum series, smoothed with a low-frequency Gaussian filter with a period of 10 years (bold). Top right – spectral density estimates using the MESA (Maximum Entropy Spectrum Analysis) method with a filter length of $M = 30$. WN denotes white noise, and the 95% significance level ($\alpha = 0.05$) is indicated. Bottom left – dynamic MESA, 3D representation, which allows the development of cycles over time to be monitored. The moving periods are 30 years long, with a shift of 7 years between periods and a maximum autocorrelation shift of $M = 10$. Bottom right – dynamic MESA in 2D, showing only statistically significant cycles ($\alpha = 0.05$). The moving periods are 30 years long, only the beginning of each 30-year period is marked on the axis, maximum autocorrelation shift $M = 10$.



Obr. 4 Kolísání ročních srážkových úhrnů [mm] v Praze-Klementinu (ukázka pro období 1848–2000), vyhlazených 8letým pásmovým filtrem (červeně a tučně).

Fig. 4. Fluctuations in annual precipitation totals [mm] in Prague-Clementinum (example for the period 1848–2000), smoothed with an 8-year band-pass filter (red and bold).

Tab. 2 Statisticky významné ($\alpha = 0,05$) cykly (v rocích) pro jednotlivé sezóny a rok pro srážkové úhrny Prahy-Klementina v období 1804–2023. Hodnota *Inf.* označuje cyklus nekonečné délky, což odpovídá přítomnosti trendu. Čísla v závorce představují hodnoty těsně nad hranici statistické významnosti. Statisticky významné cykly ($\alpha = 0,05$) v letech pro jednotlivé sezóny a roční srážkové úhrny v Praze-Klementinu (1804–2023).

Table 2. Statistically significant ($\alpha = 0.05$) cycles (in years) for individual seasons and years for precipitation totals in Prague-Clementinum in the period 1804–2023. The value *Inf.* indicates a cycle of infinite length, which corresponds to the presence of a trend. The numbers in parentheses represent values just above the statistical significance threshold. Statistically significant cycles ($\alpha = 0.05$) in years for individual seasons and annual precipitation totals in Prague-Clementinum (1804–2023).

Zima	Jaro	Léto	Podzim	Rok
<i>Inf.</i>	<i>Inf.</i>	<i>Inf.</i>	<i>Inf.</i>	<i>Inf.</i>
32,0		(14,1)	(11,4)	
10,4	9,0	8,6		9,3
7,1	6,4		7,7	7,2
5,9	4,8		5,0	5,0
4,0	(4,2)	3,3	4,1	3,2
		2,8	2,2	
2,1		2,2	2,0	2,4

výrazný je cyklus s délkou 2,4 roku. V zimním období jsou nejvýraznější cykly s délkami 32, 10,4 a 7,1 roku. Pro jaro je nejvýraznější cyklus s délkou 6,4 roku, zatímco v letním období dominuje cyklus o délce 2,2 roku. V podzimním období je nejvýraznější cyklus s délkou 4,1 roku.

Vývoj cyklů v čase byl obdobně jako u teploty vzduchu, analyzován pomocí dynamické MESA, přičemž jednotlivé výpočty byly provedeny pro klouzavá 30letá období. Výsledky pro roční a sezónní srážkové úhrny v Klementinu jsou znázorněny na obr. 3. V ročních hodnotách byl po celé 19. století výrazný cyklus s délkou 7–9 let, který se obdobně vyskytoval i v zimě a na jaře. Tento cyklus se poté znovu objevuje ve druhé polovině 20. století. V jarní sezoně se kromě 9letého cyklu v 19. století vyskytoval také cyklus s délkou 5 let, patrný na konci 19. a v první polovině 20. století. Pro léto je typická kvazidvouletá oscilace, která se výrazně projevovala na přelomu 19. a 20. století a ve druhé polovině 20. století. V podzimní sezoně byl výraznější cyklus s délkou 4–5 let, který se vyskytoval zejména na konci 19. století a na začátku 20. století.

Pro lepší ilustraci je uveden obr. 4, který znázorňuje roční srážkové úhrny v Klementinu vyhlazené osmiletým pásmovým fil-

trem. Tento graf názorně ukazuje, jak je osmiletý cyklus v časové řadě zastoupen a jak ovlivňuje kolísání srážek v průběhu času.

4. Závěr

Časová řada z pražského Klementina je unikátní nejen v rámci České republiky, ale i v širším evropském a světovém kontextu. Publikace „V Klementinu bylo naměřeno...“ poskytuje na jednom místě přehledné a rozsáhlé informace o této dlouhodobé klimatologické řadě.

V tomto krátkém příspěvku byly představeny detaily týkající se cykličnosti v teplotních a srážkových řadách.

Další možnosti rozšíření informací nabízí práce Štěpánek (2005), která v rámci rešerší shrnuje různé předchozí analýzy (do roku 2000) založené nejen na údajích z Klementina, ale i v kontextu celé České republiky a Evropy. Doplnující informace lze nalézt také v monografii Brázdil et al. (2012b), která je dostupná pouze v anglickém jazyce. Ta obsahuje podrobnosti nejen o pražském Klementinu, ale i o průměrované řadě teploty vzduchu a srážek pro Českou republiku a dále samostatně pro Čechy a Moravu.

Literatura:

- BRÁZDIL, R., 1986. Variation of atmospheric precipitation in the C.S.S.R. with respect to precipitation changes in the European region. Brno: Universita J. E. Purkyně, 169 s.
- BRÁZDIL, R., BĚLÍNOVÁ, M., DOBROVOLNÝ, P., MIKŠOVSKÝ, J., PIŠOFT, P. et al., 2012a. Temperature and Precipitation Fluctuations in the Czech Lands During the Instrumental Period. Brno: Masarykova univerzita, 236 s. ISBN 978-80-210-6052-4.
- BRÁZDIL, R., ZAHRAVNÍČEK, P., PIŠOFT, P., ŠTĚPÁNEK, P., BĚLÍNOVÁ, M., DOBROVOLNÝ, P., 2012b. Temperature and Precipitation fluctuations in the Czech Republic during the instrumental period. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. **110**, s. 17–34. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1007/s00704-012-0604-3>.
- DAŇHELKA, J., TYDLITÁT, R., DOLÁK, L., MÜLLER, M., LIPINA, P. et al., 2025. V Klementinu bylo naměřeno... Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-7653-076-8.
- KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Praha: Nakladatelství Karolinum. 568 s. ISBN 80-7184-951-0.
- MITCHELL, J. M. (ed.), 1966. Climatic change. Technical Note No.79, Geneva: WMO, 80 s.
- SCHÖNWIESE, C. D., 1985. Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Gebrüder Borntraeger, Berlin – Stuttgart, 231 s. ISBN 978-3-443-01069-0.
- ŠTĚPÁNEK, P., 2005. Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření (Air Temperature Fluctuations in the Czech Republic in the Period of Instrumental Measurements). Disertační práce, Geografický ústav PřF MU, Brno. 136 s. Dostupné z WWW: http://is.muni.cz/dok/rfmgr.pl?furl=%2Fth%2F23760%2Fprif_d%2Finfo=.

Lektoři (Reviewers):

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., Mgr. Stanislava Kliegrová, Ph.D.