

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**

**Srovnání metod určení průměrné denní
teploty vzduchu**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.

Bakalant: Lucie Bešťáková

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lucie Bešťáková

Vodní hospodářství

Název práce

Srovnání metod určení průměrné denní teploty vzduchu

Název anglicky

Comparison of methods for calculating mean daily temperature

Cíle práce

Cílem práce je srovnat tři základní přístupy k výpočtu průměrné denní teploty vzduchu (TAVG) s využitím dat na vybrané stanici, popsat rozdíly mezi metodami v závislosti na ročním období a charakterizovat případy největších rozdílů mezi metodami z hlediska meteorologické situace.

Metodika

Metody výpočtu průměrné denní teploty vzduchu (TAVG) z klimatických dat se v jednotlivých zemích liší. V ČR je TAVG určována jako vážený průměr z měření teploty v 7, 14 a 21 hodin místního času, jinde se používá průměr z maximální a minimální denní teploty. Nejpřesnější metodou je průměr z měření teploty v pravidelných intervalech, např. hodinových. Rozdíly mezi uvedenými postupy mohou záviset na ročním období, druhu synoptické situace apod., a mohou dosahovat několika stupňů Celsia ve dnech s výraznými projevy počasí, přechodem fronty apod.

Doporučený rozsah práce

40 s.

Klíčová slova

teplota vzduchu, klimatologie

Doporučené zdroje informací

- BONACCI O., ŽELKOVIĆ I., TROGRLIĆ R. Š., MILKOVIĆ J., 2013: Differences between true mean daily, monthly and annual air temperatures and air temperatures calculated with three equations: a case study from three Croatian stations. *Theoretical and Applied Climatology* 114: 271-279
- KNOZOVÁ G., ROŽNOVSKÝ J., 2005: Srovnání způsobů výpočtu průměrných denních teplot a vlhkosti vzduchu. *Meteorologické zprávy* 58: 19-23
- METELKA L., 2006: Možnost zpřesnění odhadu průměrné denní teploty z klimatických měření. *Meteorologické zprávy* 59: 102-112

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 18. 4. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 18. 4. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením doc. RNDr. Jana Kyselého, Ph.D. Uvedla jsem všechny prameny, ze kterých jsem čerpala. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

v Praze dne 25.4.2017

.....

Lucie Bešťáková

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce doc. RNDr. Janu Kyselému, Ph.D. za cenné rady a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Rovněž bych chtěla poděkovat Mgr. Martě Martínkové, Ph.D. za rady a pomoc s programem R.

Abstrakt

Tato práce se zabývá různými způsoby výpočtu průměrné denní teploty vzduchu. Cílem je srovnání přesnosti jejího výpočtu pomocí metod, které jsou nejčastěji používané. Zaměřila jsem se na rozdíly mezi metodami. Problém jsem řešila pomocí odchylek od referenční metody, která je považována za nejpřesnější.

K řešení byly použity tyto metody: referenční metoda výpočtu z hodinových pozorování, metoda vycházející z maximální a minimální denní teploty vzduchu a standardní klimatologická metoda počítaná z termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin, přičemž hodnota ve 21 hodin má dvojnásobnou váhu.

Vyhodnocením dat ze stanice Churáňov jsem zjistila, že metoda z termínových hodnot je přesnější než metoda z maximální a minimální teploty. Hlavním zjištěním je, že odchylky metody z klimatologických termínů v 7, 14 a 21 hodin a z hodnot maximální a minimální teploty se od referenční metody z hodinových údajů nejvíce liší při přechodu teplé nebo studené fronty a rozdíl může dosahovat několik °C. Konkrétně při přechodu teplé fronty a teplé advekci dochází u metody z maximální a minimální teploty k výraznému podhodnocování průměrné denní teploty, u metody z pozorování v 7, 14 a 21 hodin naopak k nadhodnocování průměrné denní teploty. Tyto extrémní situace se objevují nejčastěji v zimních měsících. V souvislosti s přechodem studené fronty a studenou advekci naopak dochází k nadhodnocování průměrné denní teploty počítané z maximální a minimální teploty ve většině případů a u metody z pozorování v 7, 14 a 21 hodin k podhodnocování, tyto situace se uplatňují v zimě i v létě.

Klíčová slova: teplota vzduchu, klimatologie, průměrná denní teplota, ČR

Abstract

This thesis deals with the different ways average daily temperature is calculated. The aim is to compare the accuracy of methods that are most commonly used in order to calculate the average daily air temperature. The research concentrates on differences in results that individual methods bring. Deviations from the most accurate method used helped resolve the matter at hand.

The following methods were used: the reference method based on hourly observations, a method that calculates the average daily temperature on the basis of maximum and minimum daily temperatures, and a standard climatological method based on term values collected at 7 a.m., 2 p.m. and 9 p.m. The 9 p.m. value has a double weight.

The results for the Churáňov meteorological station show that the method of calculating the average daily temperature from term values collected at 7 a.m., 2 p.m. and 9 p.m. is more accurate than the method that works with maximum and minimum temperatures. The study also reveals that the method which uses term values at 7 a.m., 2 p.m. and 9 p.m. and the method based on maximum and minimum temperatures deviate most significantly from the reference method results during passages of warm and cold fronts. Specifically, the method working with maximum and minimum temperatures shows significant undervaluation of the results when measured around the passage of a warm front. On the other hand, the method based on term values collected at 7 a.m., 2 p.m. and 9 p.m. overestimates the results. Most often these extreme situations appear during winter months. Furthermore, when a cold front is moving over a territory, the method using maximum and minimum temperatures overvalues the results in most cases. The method that uses term values at 7 a.m., 2 p.m. and 9 p.m. undervalues the average daily temperature. These situations occur in both winter and summer.

Key words: temperature, climatology, average daily temperature, Czech Republic

OBSAH

1	ÚVOD.....	- 10 -
2	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	- 10 -
3	LITERÁRNÍ REŠERŽE	- 11 -
3.1	Historie měření teploty	- 11 -
3.2	Měření teploty.....	- 12 -
3.3	Chod teploty vzduchu	- 13 -
3.3.1	Denní chod teploty vzduchu	- 13 -
3.3.2	Roční chod teploty vzduchu.....	- 14 -
3.4	Maximální denní teplota vzduchu	- 14 -
3.5	Minimální denní teplota vzduchu	- 15 -
3.6	Časoprostorová závislost	- 15 -
3.6.1	Závislost na čase	- 15 -
3.6.2	Závislost na nadmořské výšce.....	- 15 -
3.6.3	Závislost na zeměpisné délce	- 15 -
3.6.4	Závislost na zeměpisné šířce.....	- 16 -
3.6.5	Termická kontinentalita	- 16 -
3.7	Měření teploty ve světě	- 17 -
4	METODIKA.....	- 21 -
4.1	Data	- 21 -
4.1.1	Vstupní data	- 21 -
4.1.2	Doplňování dat.....	- 21 -
4.1.3	Homogenita dat.....	- 22 -
4.2	Základní popisná statistika	- 22 -
4.2.1	Aritmetický průměr.....	- 22 -
4.2.2	Medián	- 22 -

4.2.3	Variační rozpětí.....	- 23 -
4.2.4	Výběrový rozptyl	- 23 -
4.2.5	Směrodatná odchylka.....	- 23 -
4.2.6	Mezikvartilové rozpětí	- 23 -
4.2.7	Pětičíselná statistika	- 23 -
4.3	Pozorovací termíny 7, 14 a 21 hodin	- 24 -
4.4	Výpočet průměrných denních teplot	- 24 -
4.4.1	Průměrné teploty počítané váženým průměrem z termínů 7, 14 a 21 hodin.....	- 24 -
4.4.2	Průměrné teploty z maximálních a minimálních denních údajů	- 25 -
4.4.3	Průměrné teploty z hodinových údajů	- 25 -
5	CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ.....	- 26 -
6	VÝSLEDKY PRÁCE	- 27 -
6.1	Základní popisná statistika	- 27 -
6.2	Rozdíly mezi metodami.....	- 28 -
6.2.1	Průměrné měsíční odchylky	- 30 -
6.2.2	Průměrné roční odchylky	- 31 -
6.3	Případy extrémních odchylek	- 33 -
6.3.1	Situace s přechodem teplé fronty/ s výraznou teplou advekcí	- 34 -
6.3.2	Situace s přechodem studené fronty/ s výraznou studenou advekcí nebo přechodem brázdy nízkého tlaku vzduchu	- 37 -
6.3.3	Situace s výrazným denním chodem teploty vzduchu	- 40 -
6.3.4	Situace s výrazným mezidenním oteplováním.....	- 41 -
7	DISKUZE	- 42 -
8	ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE.....	- 46 -
9	PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	- 47 -
10	PŘÍLOHY	- 51 -

1 ÚVOD

Teplota vzduchu je základní meteorologický prvek (Židek, Lipina, 2003). Měří se v meteorologické budce 2 metry nad povrchem terénu. Teplota se mění v čase, v horizontálním i ve vertikálním směru. Na hodnotu teploty vzduchu působí mnoho faktorů, které mění její režim. Hlavním proměnlivým faktorem je zemský povrch, který je nehomogenní (Vysoudil, 2013).

Meteorologická stanice Churáňov, jejíž data jsem v práci používala, se nachází v centrální části Šumavy na Churáňovském vrchu v nadmořské výšce 1122 metrů (Staněk, Bednařík, 1998). Churáňov je vyznačen na mapě v Příloze 1.

Pravidelné měření na této stanici začalo v roce 1955. Meteorologická stanice zaznamenává hodinové synoptické zprávy v UTC, vypracovává klimatologická měření v termínech 7, 14 a 21 hodin MSSČ a informuje o náhlých změnách počasí. Dále se na meteorologické stanici Churáňov monitoruje riziko ozáření a množství imisí ve vzduchu (Staněk, Bednařík, 1998).

Z horské stanice Churáňov jsem získala teplotní data pro výpočet denní průměrné teploty vzduchu. Průměrná teplota se dá určit různými způsoby výpočtu, vypočtené hodnoty se mohou od sebe značně lišit. Přesnost výpočtu průměrné teploty je zásadní mimo jiné pro sledování vývoje klimatu a pro vyhodnocení klimatických modelů.

Průměrná teplota je důležitou charakteristikou v zemědělství a v ekologii pro modelování růstu rostlin a odhad vývoje hmyzích škůdců nebo pro předpověď výnosů (Rotan, Litschmann, 1996). Také se používá v energetice pro analýzy při vytápění budov a pro určování topné sezóny.

2 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Metody výpočtu průměrné denní teploty vzduchu se v jednotlivých zemích liší. Cílem této práce je tedy porovnat přesnost výpočtu průměrné denní teploty vzduchu metodou vycházející z termínů v 7, 14 a 21 hodin a metodou založenou na maximální a minimální teplotě. Přesnost těchto metod je studována pomocí rozdílů od referenční metody, kdy je průměrná denní teplota počítaná jako průměr z hodinových pozorování. Vyhodnocením zjistím, která z metod je přesnější, zda přesnost závisí

na ročním období či na synoptické situaci, případně v jakých synoptických situacích dochází k extrémním odchýlkám.

3 LITERÁRNÍ REŠERŽE

3.1 Historie měření teploty

Mezi nejstarší doložené způsoby zjišťování teploty patřilo určování teploty podle barvy vypálené hlíny nebo keramiky.

Na konci 16. století sestrojil Galileo Galilei první termoskop. Termoskop byl vzduchový teploměr a neměl stupnici. Pracoval na principu tepelné roztažnosti vzduchu. Termoskop byl skleněná trubička zakončená baňkou. Druhý konec byl ponořen do vody. Při zvýšení teploty došlo ke snížení hladiny v trubičce a naopak (Fialová, 2006).

První kapalinový teploměr zkonstruoval v roce 1631 Jean Rey. Jean Rey byl lékař a podle výšky vody v trubičce zjišťoval teplotu pacientů. Tento kapalinový teploměr byl ale ještě bez teplotní stupnice.

Až v roce 1641 zkonstruoval Ferdinand II. první lihový teploměr se stupnicí. Krajiní hodnoty stupnice byly popsány jako „největší zimní chlad“ a „největší letní horko“ (Malijevská a kol., 2004).

První rtuťový teploměr se stupnicí vynalezl v roce 1714 Daniel Gabriel Fahrenheit. Na Fahrenheitově stupnici je bod tání ledu při teplotě 32 °F a bod varu při teplotě 212 °F. Tato stupnice se v některých anglosaských státech používá dodnes (Brzezina, 2014, Malijevská a kol., 2004).

V roce 1742 vymyslel Anders Celsius jinou stupnici, u které voda mrzne při 0 °C a bodu varu dosahuje při 100 °C (Brzezina, 2014). Tato stupnice je dnes nejpoužívanější.

Další dodnes používanou teplotní stupnicí je Kelvinova stupnice z roku 1862, na které 0 K je absolutní nula, při které nedochází k žádným termodynamickým jevům. Hodnota 273,15 K odpovídá 0 °C. Kelvinova stupnice se používá hodně ve výpočtech v termodynamice a patří do základní soustavy jednotek SI (Brzezina, 2014).

3.2 Měření teploty

Teplota bývá obvykle měřena ve výšce 2 m nad povrchem terénu. Teploměry a další meteorologické přístroje jsou umístěny v meteorologické budce. Meteorologická budka je venku stojící bílá skříňka s žaluziovými stěnami, která má dvířka na sever (Židek, Lipina, 2003).

Na meteorologických stanicích se používá pět různých druhů teploměrů. Měří se suchá teplota vzduchu, vlhká teplota vzduchu, maximální a minimální teplota vzduchu a minimální přízemní teplota vzduchu (Fišák, 1994). Pro mou práci je zásadní suchá teplota vzduchu, ze které se vychází při výpočtu průměrné denní teploty.

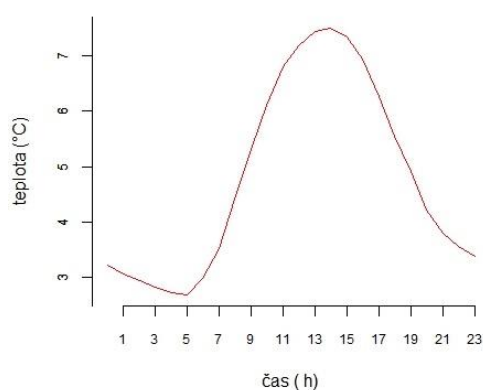
Pro zjištění suché teploty vzduchu se používá rtuťový teploměr. Stupnici má dělenou po 0,2 °C. Teplotu odečítáme s přesností na desetiny, proto je nutné při určování teploty hodnotu interpolovat. Při teplotě nižší než -35 °C může dojít k poškození teploměru nebo dokonce k zamrznutí rtuti v teploměru. Při této situaci se pak teplota odečítá z minimálního teploměru (Fišák, 1994).

V dnešní době na některých meteorologických stanicích dochází k nepřetržitému měření teploty vzduchu přístrojem zvaným termograf. Tento přístroj nevyužívá k měření teploty vzduchu skleněný kapalinový teploměr s Celsiovou stupnicí, ale deformační bimetalový teploměr. Bimetalový deformační teploměr funguje na základě tepelné roztažnosti. Tento teploměr je kovový pásek se dvěma proužky s různou tepelnou roztažností. Jeden konec je pevně uchycen a u druhého konce se měří výchylky. Změny jsou zaznamenávány na zapisovač. Přístroj je také umístěn v meteorologické budce. Suchým teploměrem se ověřuje správnost a přesnost termografu. Vykreslení hodnot zapisovače na papír se nazývá termogram (Židek, Lipina, 2003).

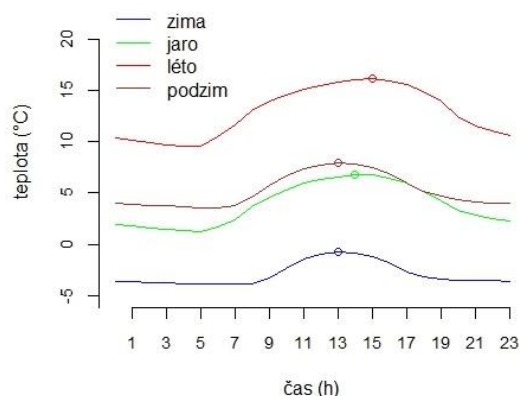
3.3 Chod teploty vzduchu

3.3.1 Denní chod teploty vzduchu

Denní chod teploty vzduchu je závislý na roční době, na geografické poloze a také na meteorologické situaci. Teplota během dne bývá obvykle nejvyšší v odpoledních hodinách a nejnižší před východem slunce. Tento průměrný denní chod teplot se mění během roku. V zimě je maximum kolem 14. – 15. hodiny místního času a v létě kolem 15. – 16. hodiny. V horských oblastech je mnohem menší denní amplituda než v nížinných polohách (Květoň, 2001).



Obrázek 1: Průměrný denní chod teploty vzduchu z hodinových pozorování v čase SEČ pro roky 1982-2000 na stanici Churáňov.



Obrázek 2: Průměrný denní chod teploty vzduchu z hodinových pozorování pro jednotlivá roční období v letech 1982-2000 na stanici Churáňov. Body na křivkách znázorňují denní maxima.

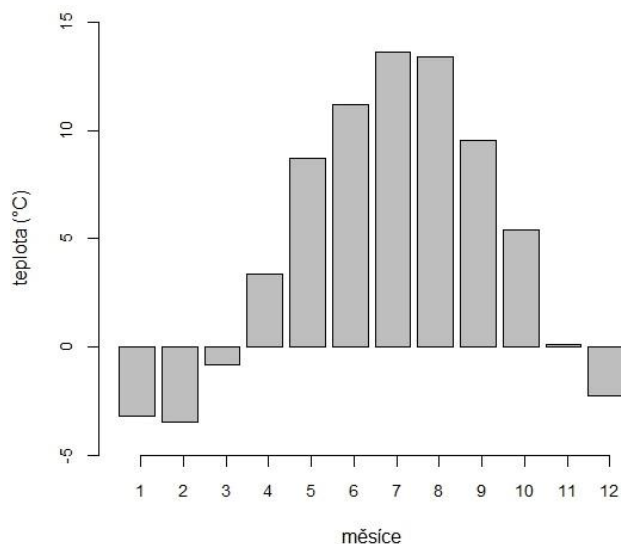
První graf (Obrázek 1) pro ilustraci znázorňuje průměrný denní chod na stanici Churáňov pro roky 1982-2000. Nejvyšší hodnotu dosahuje teplota kolem 15. hodiny a nejnižší před svítáním, v průměru mezi 5. a 6. hodinou.

Na druhém grafu (Obrázek 2) vyjadřují průměrný denní chod teploty vzduchu pro jednotlivá roční období. Do grafu jsem použila hodinová data od roku 1982 do roku 2000. Body na křivkách znázorňují maxima.

Na jaře a na podzim na stanici Churáňov dosahuje teplota svého maxima kolem 13. až 14. hodiny. V létě se posouvá maximum na 15. až 16. hodinu a v zimě dosahuje teplota maximální hodnoty mezi 12. a 14. hodinou. Velký rozdíl nejchladnějšího měsíce ledna a nejteplejšího měsíce července je vidět v denní amplitudě těchto měsíců. Leden má oproti červenci mnohem nižší amplitudu. Na jaře a na podzim má teplota velice podobnou denní amplitudu.

3.3.2 Roční chod teploty vzduchu

V České republice má roční chod teploty nejčastěji minimum v lednu a maximum v červenci. Roční chod teploty závisí na nadmořské výšce a na umístění stanice v terénu, také na geografické poloze nebo na vzdálenosti od moře (Květoň, 2001).



Obrázek 3: Sloupcový graf průměrného ročního chodu teploty vzduchu z období 1982-2000 na stanici Churáňov.

Sloupcový graf (Obrázek 3) demonstruje klasický roční chod teploty vzduchu. K tomuto vykreslení byly použity denní průměrné teploty z let 1982-2000 ze stanice Churáňov, které byly zprůměrovány pro každý měsíc a následně vykresleny.

Jak uvádí Květoň (2001), nejvyšší průměrné měsíční teploty jsou v měsíci červenci a nejnižší v měsíci lednu. Červenec má na Churáňově průměrnou měsíční teplotu 13,0 °C a leden -3,7 °C. Hodnota mediánu za celé období činí 4,1 °C a průměr dosahuje hodnoty 4,3 °C.

3.4 Maximální denní teplota vzduchu

Maximální teplota vzduchu je nejvyšší naměřená hodnota teploty vzduchu za 24 hodin. Období měření je u nás vždy od 21 hodin předchozího dne do 21 hodin dne následujícího. Odečítání z teploměru probíhá v MSSČ. Maximální teplota vzduchu se měří maximálním teploměrem pro každý den (Židek, Lipina, 2003).

3.5 Minimální denní teplota vzduchu

Minimální teplota je nejnižší teplota vzduchu za 24 hodin. Minimální teplota je, podobně jako maximální teplota, zapisována vždy ve 21 hodin MSSČ. Příklad k měření se nazývá minimální teploměr (Židek, Lipina, 2003).

3.6 Časoprostorová závislost

3.6.1 Závislost na čase

Teplota vzduchu se mění v čase. Tuto proměnlivost mohou ovlivňovat periodické a neperiodické vlivy. Mezi periodické vlivy můžeme zahrnout změnu teploty vzduchu během denního nebo ročního chodu. Mezi neperiodické vlivy patří advekce vzduchu, konvekce, přesouvání atmosférických front a celková dynamika atmosféry. Advekce je proudění vzduchových hmot s určitými vlastnostmi v horizontálním směru. Konvekce jsou vertikální pohyby vzduchu, tedy vzestupné i sestupné pohyby vzduchových hmot. Atmosférická fronta je oblast mezi různými vzduchovými hmotami v atmosféře (ČMES, 2017).

3.6.2 Závislost na nadmořské výšce

Největší vliv na hodnotu teploty vzduchu v prostoru má nadmořská výška. V České republice ve většině případů se vzrůstající nadmořskou výškou teplota vzduchu klesá. Největší průměrný pokles teploty je v létě a to o $-0,68\text{ °C}$ na 100 metrů výšky, na podzim je průměrný pokles $-0,53\text{ °C}$ na 100 metrů a v zimě je nejmenší průměrný pokles s výškou, pouhých $-0,48\text{ °C}$ na 100 metrů výšky. Průměrný pokles teploty během roku je $-0,58\text{ °C}$ na 100 metrů výšky. Tyto hodnoty udává Květoň (2001), který vyhodnotil výsledky z let 1961-2000.

Velice podrobně se o této problematice zmiňuje také Picko (1956), který studoval roky 1901-1930. Udává reprezentativní hodnoty pro měsíc leden po 20 m a pro každý měsíc po 100 m. Z této práce (Picko, 1956) vyplývá, stejně jako z práce Květoň (2001), že největší průměrný pokles teploty vzduchu s výškou je v létě a nejmenší v zimě.

3.6.3 Závislost na zeměpisné délce

Z globálního hlediska v České republice po většinu roku teplota vzduchu klesá od západu k východu, tato závislost ale není tak významná jako závislost na nadmořské výšce. Od prosince do března teplota klesá v intervalech

od 0,12 do 0,15 °C na jeden délkový stupeň. V České republice je vzdálenost jednoho délkového stupně kolem 72 km. V létě dochází k menší závislosti teploty vzduchu na zeměpisné délce, nejmenší je v červenci, to na jeden délkový stupeň připadá jen 0,007 °C. Ve většině měsíců je změna teploty v závislosti na zeměpisné délce nevýznamná (Květoň, 2001).

3.6.4 Závislost na zeměpisné šířce

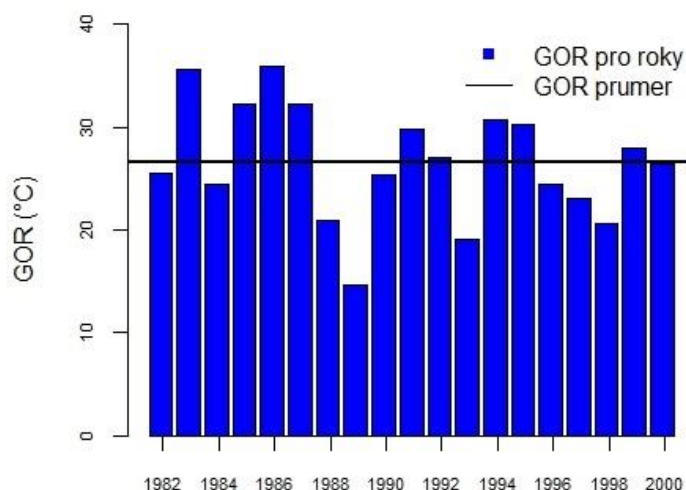
Také závislost na zeměpisné šířce je téměř nevýznamná. Obecně lze říci, že teplota vzduchu v České republice směrem na sever ve většině měsíců klesá, kromě prosince a ledna. V těchto měsících nedochází k poklesu teploty v závislosti na zeměpisné šířce. Jeden šířkový stupeň v České republice představuje vzdálenost asi 111 km. Průměrně klesá průměrná roční teplota od jihu k severu o -0,27 °C na jeden šířkový stupeň (Květoň, 2001).

3.6.5 Termická kontinentalita

Vliv vzdálenosti meteorologické stanice od moře na teplotu vzduchu se nazývá termická kontinentalita. Termická kontinentalita se vypočítá pomocí Gorzyského indexu (Květoň, 2001):

$$GOR = (1,6 * (A / \sin(LAT))) - 14,4.$$

Ve vzorci A je rozdíl teploty nejteplejšího a nejstudenějšího měsíce v určitém roce (amplituda) a LAT představuje zeměpisnou šířku (Květoň, 2001).



Obrázek 4: Gorzyského index termické kontinuality v letech 1982-2000 ze stanice Churáňov.

Sloupcový graf (Obrázek 4) zobrazuje kolísání indexu termické kontinuality v období 1982-2000 na horské stanici Churáňov. Zeměpisnou šířku (LAT), která je 49°04', jsem získala z portálu ČHMÚ (2017a). Pro výpočet amplitudy A jsem použila

denní průměrné teploty. Z těchto denních průměrných teplot jsem získala měsíční průměrné teploty. Roční amplitudu A jsem získala jako rozdíl nejvyšší a nejnižší měsíční teploty.

Ze získaných údajů jsem dopočítala Gorzyského index termické kontinentality. Index jsem počítala pro každý rok v období 1982-2000. Z těchto let jsem pomocí aritmetického průměru získala průměrnou hodnotu indexu GOR (26,6 %). Na sloupcovém grafu (Obrázek 4) je průměrná hodnota GOR vykreslena jako přímka s konstantní hodnotou.

Pro každou stanici se Gorzyského index termické kontinentality liší. Obecně lze říci, že roste od západu k východu a z jihu na sever a s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Gorzyského index v České republice má hodnotu v intervalu od 20,45 % do 30,41 % (Květoň, 2001).

Gorzyského index na stanici Churáňov se na sloupcovém grafu (Obrázek 4) pohybuje od 14,6 % do 36 %. Nejvyšší byl v roce 1986, zřejmě z důvodu velice nízkých teplot v únoru.

Staněk a Bednařík (1998) udávají, že hodnota Gorzyského indexu je pro stanici Churáňov 21,6 %, ti ale ve své práci neudávají, z jakého měřeného období je tato hodnota počítána.

3.7 Měření teploty ve světě

Existují různé metody výpočtu průměrné denní teploty vzduchu. Tyto metody se v zemích liší v závislosti na mnoha faktorech, jako je frekvence dostupných pozorování, doba pozorování nebo také dostupnost automatických stanic (Dall'Amico, Hornsteiner, 2006).

V mnoha zemích je průměrná denní teplota počítána z maximální a minimální teploty. Může to být například maximální a minimální teplota z hodinových údajů nebo maximální a minimální teplota odečtená z maximálního a minimálního teploměru (Ma, Guttorp, 2012). Tento výpočet průměrné teploty se používá například ve Spojených státech amerických, v Itálii, ve Francii či v Maroku (Müller, 1982, Auer a kol., 2008).

Průměrná denní teplota vzduchu se ve Spojených státech amerických počítá z maximální a minimální teploty:

$$T_{mean} = (T_{MAX} + T_{MIN})/2.$$

Na meteorologických stanicích Cooperative Observer Network, na kterých zaznamenávají teplotu dobrovolní pozorovatelé, jsou teploty zapisovány v hodinu, která je vhodná pro pozorovatele. To bývá obvykle v časných ranních hodinách mezi 6. a 9. hodinou místního času nebo v odpoledních hodinách mezi 16. a 19. hodinou místního času. U meteorologických stanic prvního řádu v rámci programu National Weather Service jsou denní maximální a minimální teploty zaznamenávány o půlnoci (DeGaetano, Knapp, 1993).

Podle DeGaetana a Knappa (1993) kvůli svévolnému pozorovacímu času v období 24 hodin dochází k rozdílům v nahlášených teplotách. Například pokud pozorovatel zapisuje maximální teplotu za posledních 24 hodin ráno, pak tato teplota byla ve skutečnosti naměřena někdy během odpoledne předcházející den, nebo například při odečtení maximální teploty v teplém odpoledni, když poté v noci dojde k přechodu studené fronty, je následující den maximální teplota stejná jako den předchozí, ačkoliv následující den jsou teploty podstatně nižší.

Na základě analýzy pozorování bylo zjištěno, že průměrné denní teploty vzduchu vypočítané na základě pozorování v 17 hodin místního času jsou průměrně o 2 °C teplejší oproti výpočtu průměrné denní teploty vzduchu na základě pozorování v 7 hodin místního času. Průměrné denní teploty založené na odečtu v blízkosti půlnoci a 8. hodiny místního času mají tendenci vykazovat malou odchylku od průměrů z 24 hodinových pozorování. Toto testování proběhlo s daty v období 1981-1990 na 6 stanicích na severovýchodě USA (DeGaetano, Knapp, 1993).

V Kanadě jsou maximální a minimální denní teploty pozorovány také dobrovolníky jako v USA. Na rozdíl od USA se v Kanadě maximální a minimální teploty odečítají 2x denně, jednou v časných ranních hodinách a podruhé během pozdního odpoledne nebo večer. Tímto jsou získány dva páry maximální a minimální teploty vzduchu během každého dne. Denní maximální teplota je počítána jako průměrná hodnota z maximální teploty naměřené odpoledne a z maximální teploty odečtené ráno následující den. Denní minimální teplota je uvažována jako nižší hodnota z ranního a odpoledního pozorování (DeGaetano, Knapp, 1993).

V některých zemích se pro výpočet průměrné denní teploty vzduchu zaznamenávají teplotní údaje v konkrétních časových termínech během dne (Ma, Guttorp, 2012).

Průměrná denní teplota může být počítaná váženým průměrem v termínech 7, 14 a 21 hodin, kde hodnota ve 21 hodin má dvojnásobnou váhu:

$$T_{mean} = (T_{07} + T_{14} + 2 * T_{21})/4.$$

Tato metoda výpočtu je také známá pod pojmem „Mannheimské hodiny“. Mannheimská akademie v roce 1781 založila 37 pozorovacích stanic v Evropě a dvě v Severní Americe. Na těchto stanicích se měřila každý den v dohodnuté pozorovací termíny v 7, 14 a 21 hodin teplota vzduchu. Z tohoto důvodu se tato metoda výpočtu označuje jako „Mannheimské hodiny“ (Hann, 1906).

Tato metoda se získala postupným zkoušením kombinací v různých pozorovacích termínech. Hledaná metoda totiž měla splňovat tyto podmínky: měla být co nejpřesnější a zároveň měla obsahovat co nejméně pozorovacích termínů. Nejprve se uvažovaly metody se dvěma pozorovacími termíny: v 9 a 21 hodin nebo v 10 a 22 hodin nebo v 11 a 23 hodin. U těchto termínů byla ale nutná korekce v průběhu roku, proto se navrhla metoda se třemi pozorovacími termíny:

$$T_{mean} = \frac{T_{06} + T_{14} + T_{22}}{3}.$$

Tyto časy byly vybrány z toho důvodu, že měly mezi sebou stejné rozestupy a zároveň výsledky této metody byly přesnější než předchozí způsoby výpočtu. Měla ale značnou nevýhodu pro pozorovatele, proto se pozorovací termíny posunuly:

$$T_{mean} = (T_{07} + T_{14} \text{ (nebo } T_{13}) + T_{21})/3.$$

Pro lepší výsledek pak dostala hodnota ve 21 hodin dvojnásobnou váhu. Tato hodnota je totiž nejméně ovlivněna ozařováním teploměru slunečními paprsky (Hann, 1906):

$$T_{mean} = (T_{07} + T_{014} + 2 * T_{21})/4.$$

Touto metodou se počítá i nyní průměrná teplota vzduchu nejen v České republice, ale i v dalších zemích střední a východní Evropy, například v Chorvatsku (Bonacci a kol., 2013), v Bosně a Hercegovině, v Maďarsku, na Slovensku nebo ve Slovinsku (Müller, 1982).

V Německu se původně tato metoda výpočtu také používala v některých spolkových zemích. V letech 1960-1980 se ale v západním a východním Německu průměrné teploty počítaly odlišným způsobem. Až v roce 2001 se způsob výpočtu pro všechny spolkové země sjednotil. Od dubna 2001 se v Německu používá výpočet průměrné denní teploty vzduchu z pozorování v 0, 6, 12 a 18 hodin UTC (Dall'Amico, Hornsteiner, 2006):

$$T_{mean} = (T_{00} + T_{06} + T_{12} + T_{18})/4.$$

V Řecku se počítá průměrná teplota z pozorování v 8, 14 a 21 hodin, kde 21 hodin má také dvojnásobnou váhu. Klasický čas pozorování v 7 hodin je v Řecku nahrazen 8. hodinou (Sakellariou, Kambezidis, 2016):

$$T_{mean} = (T_{08} + T_{14} + 2 * T_{21})/4.$$

Rakouská metoda výpočtu průměrné teploty vzduchu je odlišná od německé. Původně se v Rakousku počítala průměrná teplota klasickou metodou v 7, 14 a 2*21 hodin. Od roku 1936 ale změnili tento výpočet a pozorovací termíny se odečítaly v 1, 7, 13 a 19 hodin SEČ. Od roku 1971 se v Rakousku počítá průměrná teplota z minimální a maximální teploty a z pozorovacích termínů v 7 a 19 hodin. Průměrná denní teplota se tedy počítá takto (Dall'Amico, Hornsteiner, 2006, Blüthgen, Weischet, 1980):

$$T_{mean} = (T_{07} + T_{MAX} + T_{MIN} + T_{19})/4.$$

Jako poslední metodu výpočtu uvádím v této práci výpočet průměrné teploty ve Skandinávii. Ve skandinávských zemích se používají lineární kombinace měření v různých denních hodinách a každá skandinávská země má jiné lineární kombinace. Například standardní výpočet průměrné denní teploty vzduchu ve Švédsku je definován takto:

$$T_{mean} = a * T_{07} + b * T_{13} + c * T_{19} + d * T_{MAX} + e * T_{MIN}.$$

Je to kombinace maximální teploty, minimální teploty a teplot v časech 7, 13 a 19 hodin s pěti koeficienty a,b,c,d a e. Hodnota koeficientů závisí na měsíci

a na zeměpisné délce. Maximální a minimální teplota se odečítá v 18 hodin SEČ. Tento vzorec se ve Švédsku používá od roku 1947 (Ma, Guttorp, 2012).

Pro úplnost lze uvést, že Carrega (2010) přehledně vypsala tabulku se způsoby výpočtu průměrné denní teploty vzduchu v některých evropských zemích v letech 1967-1990.

4 METODIKA

4.1 Data

4.1.1 Vstupní data

Výchozí data, která jsem v této práci zpracovala, jsem získala od vedoucího mé bakalářské práce. Jedná se o teplotní řady na stanici Churáňov. Jsou to hodinové údaje teplot z období let 1982-2000, denní teplotní údaje v termínu 7, 14 a 21 hodin místního času z období 1961-2000 a maximální a minimální denní teploty z období 1961-2007. Pro porovnání jsem pro výpočet průměrných teplot u všech souborů vyhodnocovala teplotní řady pouze z překrývajícího se období 1982-2000.

Vyhodnotila jsem naměřené hodnoty teploty vzduchu a vypočítala jsem průměrné denní teploty určené podle různých způsobů. Následně jsem porovnála výsledky. Za referenční považuji v této práci průměrné denní teploty určené z hodinových údajů. Vůči těmto údajům srovnávám ostatní metody.

V této práci stanovuji rozdíl vůči průměrným denním teplotám z hodinových údajů pro:

- vážený průměr termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin, kde hodnota ve 21 hodin má dvojnásobnou váhu,
- aritmetický průměr maximální a minimální denní teploty vzduchu.

Více informací o těchto způsobech výpočtu je uvedeno v kapitole 4.4 Výpočet průměrných denních teplot.

4.1.2 Doplnění dat

Pro lepší výpočet teplotních řad jsem v této práci v jednom případě doplnila data. Přidala jsem teplotní údaj u hodinových dat k 1.1.1982 v 0:00 SEČ. Předpokládám, že v horizontu jedné hodiny nedošlo k žádné změně teploty vzduchu

(oproti 1:00 SEČ), což je vzhledem k průběhu teplot v následujících hodinách a malým změnám možné.

4.1.3 Homogenita dat

Data jsou homogenní, pokud v průběhu měření časové řady teploty vzduchu nedochází k přerušení pozorování, ke změně polohy měřící stanice (Květoň, 2001), ke změně přístrojové techniky či ke změně metodiky.

K nejdelším teplotním řadám pokládáným za homogenní patří stanice Praha-Klementinum nebo Milešovka (Brázdil, Macková, 1998).

Údaje z horské stanice Churáňov mohou považovat za homogenní. V období 1982-2000 nedošlo podle dostupných informací k žádnému přerušení pozorování ani k žádné změně polohy měřících zařízení.

4.2 Základní popisná statistika

4.2.1 Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je počítán ze všech naměřených hodnot souboru a popisuje střed polohy rozdělení hodnot v souboru. Aritmetický průměr je součet všech hodnot v datovém souboru dělený rozsahem souboru. Vzorec pro výpočet aritmetického průměru je dán takto (Jindrová a kol., 2008):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

4.2.2 Medián

U mediánu nezáleží na velikosti hodnot, ale na jejich rozdělení, proto není ovlivněn odlehlými hodnotami. Pro zjištění hodnoty mediánu je nutné seřazení hodnot v datovém souboru. Pokud je soubor dat tvořen lichým počtem hodnot, pak se medián vyskytuje na místě $(N + 1)/2$ u seřazeného souboru. Jestliže má soubor dat sudý počet hodnot, pak se medián vypočítá aritmetickým průměrem hodnoty na místě $N/2$ a $(N + 2)/2$ u seřazeného souboru (Hanel, Vizina, 2014).

Medián tedy dělí datový soubor na dvě části, z nichž každá obsahuje 50 % souboru dat. První část zahrnuje hodnoty, které jsou menší nebo rovny hodnotě mediánu a druhá část hodnoty, které jsou naopak větší nebo rovny hodnotě mediánu (Máca, 2014).

4.2.3 Variační rozpětí

Jedná se o rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou v datovém souboru. Je to nejrychlejší a nejjednodušší způsob zjištění rozptýlenosti hodnot v datovém souboru. Rozpětí nám sděluje variabilitu hodnot v souboru dat. Nevýhodou rozpětí je, že zanedbává ostatní hodnoty. Využití je hlavně ve statistické kontrole (Novovičová, 2006).

4.2.4 Výběrový rozptyl

Rozptyl bere v úvahu vzájemnou vzdálenost dat a míry polohy dat v datovém souboru. Rozptyl se vypočítá takto (Máca, 2014):

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2.$$

Tato rovnice se dá převést na výpočetně jednodušší a přijatelnější tvar (Novovičová, 2006):

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 / n}{n-1}.$$

4.2.5 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je vymezena jako druhá odmocnina rozptylu (Jindrová a kol., 2008). Směrodatnou odchylku můžeme také popsat jako průměrnou odchylku od průměru (Hanel, Vizina, 2014). Vzorec pro směrodatnou odchylku lze zapsat takto (Jindrová a kol., 2008): $s = \sqrt{s_x^2}$, kde s_x^2 je rozptyl.

4.2.6 Mezikvartilové rozpětí

Mezikvartilové rozpětí se používá jako hrubý ukazatel variability datového souboru (Jindrová a kol., 2008). Tato charakteristika není ovlivněna odlehlými hodnotami.

Rozpětí získáme jako $IQR = q_{0,75} - q_{0,25}$ (Hanel, Vizina, 2014). Je to tedy rozdíl 75 % a 25 % kvartilu. Zjišťuje rozpětí 50 % prostředních hodnot v datovém souboru.

4.2.7 Pětičíselná statistika

Krabicový graf neboli boxplot graficky znázorňuje pětičíselnou statistiku. Do pětičíselné statistiky patří medián, horní a dolní kvartil a nejnižší a nejvyšší hodnota. V některých případech se vyskytují i odlehlé hodnoty. Za odlehlé hodnoty se považují pozorování, která jsou od horního nebo dolního kvartilu vzdálená více

než 1,5 násobek IQR. Pokud se v souboru odlehlé hodnoty vyskytují, pak je nejvyšší a nejvyšší hodnota nahrazena nejvyšší a nejnižší hodnotou bez odlehlých hodnot (Hanel, Vizina, 2014).

4.3 Pozorovací termíny 7, 14 a 21 hodin

Denní průměrné teploty vzduchu se u nás dlouhodobě počítají z teplot měřených v termínech 7, 14 a 21 hodin. Tyto termíny platí pro místní střední sluneční čas (MSSČ). Místní střední sluneční čas se korekcí vypočítává ze střeoevropského času (SEČ) a střeoevropský čas se přepočítává podle světového času (UTC).

Pro Českou republiku platí: SEČ = UTC + 1 hodina a u letního času SELČ = UTC + 2 hodiny.

Místní střední sluneční čas se přepočítává podle 15. poledníku východní délky. U stanic, které leží na východ od poledníku, se odečítají 4 minuty na 1 stupeň zeměpisné délky, naopak u stanic na západ od poledníku se přičítají 4 minuty na 1 stupeň zeměpisné délky (ČHMÚ, 2017b).

Meteorologická stanice Churáňov se nachází na 13,61° východní délky (ČHMÚ, 2017a). Od 15. poledníku je tedy vzdálená o 1,39° na západ. Z toho vyplývá, že na stanici Churáňov bude provedeno pozorování o 6 minut později než na 15. poledníku. Pokud se tedy například na 15. poledníku měří hodnota ve 14:00, na stanici Churáňov se odečítá teplota ve 14:06 střeoevropského času.

4.4 Výpočet průměrných denních teplot

4.4.1 Průměrné teploty počítané váženým průměrem z termínů 7, 14 a 21 hodin

Klasický výpočet průměrné denní teploty vzduchu váženým průměrem v termínech 7, 14 a 21 hodin (Metelka, 2006):

$$TP = 0,25 * T07 + 0,25 * T14 + 0,5 * T21.$$

Vzorec lze zapsat také tímto způsobem (Knozová, Rožnovský, 2005):

$$TP = (T07 + T14 + T21 * 2)/4.$$

Tento klimatologický výpočet se používal již v dřívějších dobách, kdy ještě nebyly žádné automatické stanice ani jiná moderní automatická zapisovací zařízení.

Měření a výpočty byly prováděny ručně. Tento vzorec byl používán pro jednoduchý výpočet a poměrně přesné výsledky. Přesnost tohoto výpočtu závisela na meteorologické situaci. Poměrně přesné výsledky vycházely při klasickém denním chodu teploty vzduchu. Pokud byl přes den netypický denní chod teplot, tak výsledek tohoto výpočtu se může značně lišit od přesné průměrné teploty vzduchu. Tento vzorec se i nadále používá kvůli zachování homogenity řad i při automatizaci stanic. Nelze na řadu s klasickým způsobem výpočtu ze tří termínových hodnot navázat například řadu, při které se počítají průměrné teploty z hodinových hodnot (Metelka, 2006).

Termíny pro výpočet jsou v MSSČ, více o MSSČ v kapitole 4.3 Pozorovací termíny 7, 14 a 21 hodin. V této práci budu dále používat pro metodu výpočtu průměrné teploty počítané váženým průměrem ze tří termínových hodnot označení TPRUM. Toto označení použiji vzhledem k tomu, že se jedná o standardní způsob výpočtu průměrné denní teploty vzduchu v České republice.

4.4.2 Průměrné teploty z maximálních a minimálních denních údajů

Další způsob výpočtu průměrných denních teplot je pomocí aritmetického průměru z maximální a minimální teploty vzduchu pro každý den. Maximální a minimální teplota se odečítá z maximálního a minimálního teploměru každý den ve 21 hodin MSSČ. Průměrná denní teplota z maximální a minimální teploty se vypočítá takto:

$$TPm = (Tmax + Tmin)/2.$$

V této práci budu dále používat označení pro průměrnou teplotu z maximální a minimální denní teploty vzduchu TMAXMIN.

4.4.3 Průměrné teploty z hodinových údajů

Výpočet průměrné denní teploty z hodinových údajů jsem provedla podle Metelky (2006), který ve svém článku má pro analýzu k dispozici 15minutové údaje ze tří automatických klimatických stanic. Metelka (2006) vypočítal průměrnou denní teplotu vzduchu z 15minutových údajů centrovaným aritmetickým průměrem. Hodnoty v 0:00 a ve 24:00 hodin (tedy v 0:00 hodin dne následujícího) počítal s poloviční váhou.

Vzorec pro výpočet průměrné teploty z 15minutových měření vypadá takto (Metelka, 2006):

$$TP_{15} = \frac{T_{0:00} + T_{24:00}}{192} + \sum_{t=00:15}^{t=23:45} \frac{t}{96} .$$

Stejným způsobem jsem odvodila vzorec pro výpočet průměrné teploty z hodinových měření:

$$T_{Ph} = \frac{T_{0:00} + T_{24:00}}{48} + \sum_{t=1:00}^{t=23:00} \frac{t}{24}$$

Výpočet průměrných denních teplot z hodinových údajů považuji v této práci za nejpřesnější a nejrepresentativnější. Hodinové údaje zachytí i náhlé změny teploty během dne i mimo klasické časy pozorování (termíny 7, 14 a 21 hodin) a z nich určená průměrná denní teplota se téměř neliší od skutečné hodnoty (Metelka, 2006). Proto budu v této práci srovnávat tyto průměrné denní teploty z hodinových údajů s ostatními způsoby výpočtu průměrné denní teploty vzduchu. Hodinové údaje jsou zaznamenávány ve středoevropském čase.

Ze studie (Knozová, Rožnovský, 2005) vyplývá, že rozdíly průměrných denních teplot určených z 15minutových měření a z hodinových měření jsou téměř neznamatelné, jen v extrémních situacích se hodnoty liší o pár desetín stupně Celsia. Metelka (2006) usuzuje, že se průměrná teplota z 15minutových měření velmi málo liší od skutečné hodnoty. Proto na základě těchto studií předpokládám, že hodinové teploty jsou dostatečně přesné údaje o průběhu teploty vzduchu během dne a že nejlépe vykreslí průměrnou denní teplotu vzduchu.

V této práci budu dále používat pro průměrné teploty z hodinových měření označení THOD.

5 CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

Churáňov je malá osada, která se nachází v Jihočeském kraji, západně od Prachatic. Churáňov leží v centrální části Šumavy. Je to středisko zimních sportů.

Meteorologická stanice stojí na Churáňovském vrchu blízko vrcholové kóty. Tato stanice leží severovýchodně od nejvyšších vrcholů Šumavy.

Stanice je na závětrné straně při jižním a jihozápadním proudění, dochází tak k fénovému efektu a k výskytu inverzního počasí (Staněk, Bednařík, 1998).

V blízkosti meteorologické stanice Churáňov se nachází oblasti s extrémně nízkými teplotami. Mezi tyto oblasti patří například Jezerní slat'. Tato mělká proláklina je uprostřed mezi šumavskými vrchy, které jsou zalesněny. V noci sem ze svahů klesá studený vzduch. Studený vzduch zde zůstává a při jasné noci se ještě prochladuje. Od roku 1985 se zde provádí měření, teplota klesla 30. ledna 1987 až na $-41,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Staněk, Bednařík, 1998), což je hodnota blízká absolutnímu teplotnímu minimu na území ČR.

6 VÝSLEDKY PRÁCE

6.1 Základní popisná statistika

V Tabulce 1 jsou vypsány základní charakteristiky popisné statistiky. Každá charakteristika byla vypočítána pro všechny tři metody výpočtu průměrné denní teploty vzduchu.

Z Tabulky 1 vyplývá, že největší odchylka od metody THOD je pro variační rozpětí metody TPRUM, které je o více než $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšší. Také maximální průměrná denní teplota vzduchu u metody TPRUM je o téměř $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšší a minimální hodnota se u této metody také značně liší.

U metody TMAXMIN je nejvíce rozdílný průměr a medián, jinak ostatní charakteristiky jsou poměrně analogické s metodou THOD.

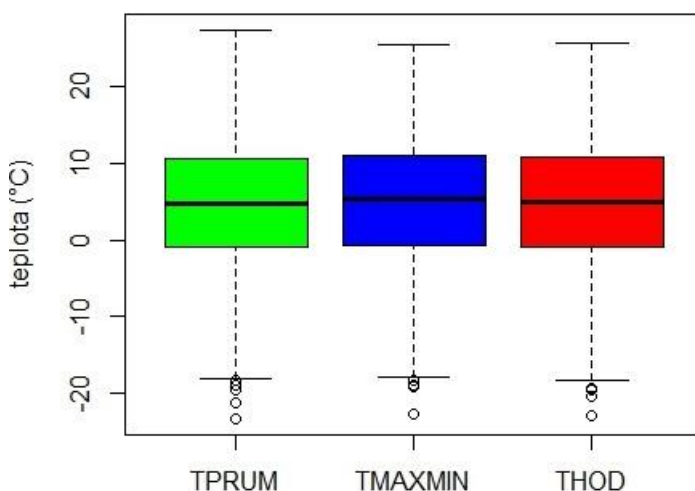
Nejméně ovlivněnou charakteristikou je směrodatná odchylka, která má u všech metod stejnou hodnotu.

	charakteristika	TPRUM	TMAXMIN	THOD
1	aritmetický průměr	4.7	5.1	4.8
2	medián	4.8	5.5	4.9
3	minimální hodnota	-23.3	-22.7	-22.9
4	maximální hodnota	27.4	25.5	25.7
5	variační rozpětí	50.7	48.2	48.6
6	směrodatná odchylka	7.6	7.6	7.6
7	mezikvartilové rozpětí	11.5	11.8	11.7

Tabulka 1: Základní popisná statistika ve $^{\circ}\text{C}$ pro tři způsoby výpočtu průměrné denní teploty vzduchu z let 1982-2000 ze stanice Churáňov.

Následně jsem vykreslila pětičíselnou charakteristiku pomocí krabicového grafu (Obrázek 5). „Krabice“ charakterizuje mezikvartilové rozpětí, tedy dolní a horní kvartil. Čára v krabici znázorňuje medián. „Vousy“ představují nejvyšší a nejnižší hodnotu. Krajní body znázorňují odlehle hodnoty (Hanel, Vizina, 2014).

Z krabicových grafů na Obrázku 5 není zřetelně vidět nějaký rozdíl v datech. Z Obrázku 5 je patrné, že medián je nejvyšší u modrého krabicového grafu TMAXMIN. U zeleného krabicového grafu TPRUM je vidět největší maximální hodnota a menší mezikvartilové rozpětí, než je u ostatních krabicových grafů.



Obrázek 5: Krabicové grafy charakterizující pětičíselnou statistiku. Grafy jsou vykresleny pro všechny tři metody výpočtu průměrné denní teploty vzduchu z období 1982-2000 ze stanice Churáňov.

6.2 Rozdíly mezi metodami

Srovnání výpočtu průměrné denní teploty vzduchu jsem provedla pomocí rozdílu metody TPRUM od nejpřesnější a nejreprezentativnější metody THOD. Stejně tak jsem stanovila rozdíl metody TMAXMIN od metody THOD. Dále v této práci budu používat pro odchylku počítanou jako rozdíl metody TPRUM od metody THOD označení d_{TPRUM} a pro odchylku počítanou jako rozdíl metody TMAXMIN od metody THOD použiji označení d_{TMAXMIN} .

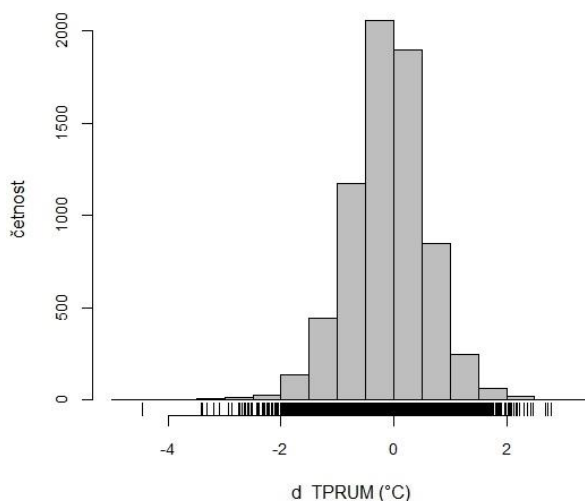
Pro názornost jsem rozdíly d_{TPRUM} a d_{TMAXMIN} vykreslila jako histogramy.

Na prvním histogramu (Obrázek 6) je znázorněna odchylka d_{TPRUM} . Histogram (Obrázek 6) je rozdělen do osmnácti tříd v intervalu od -5,0 do 3,5 °C. Největší četnost má třída s odchylkami od -0,5 do 0,0 °C. Druhý nejčetnější interval je od 0,0 do 0,5 °C.

Čárky pod histogramem (Obrázek 6) na souřadnici x vykreslují hustotu bodů. Některé intervaly nejsou na grafu patrné, to je způsobené tím, že jde o nerovnoměrné

rozdělení, kde krajní intervaly mají velice malou četnost, obsahují řádově jen několik jednotek nebo maximálně desítek dnů.

U výpočtu průměrné denní teploty vzduchu metodou TPRUM jsou hodnoty na histogramu (Obrázek 6) téměř symetricky rozprostřeny kolem nuly a dochází k nepatrnému podhodnocování výsledků. Průměrná odchylka d_TPRUM za období 1982-2000 je $-0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$.



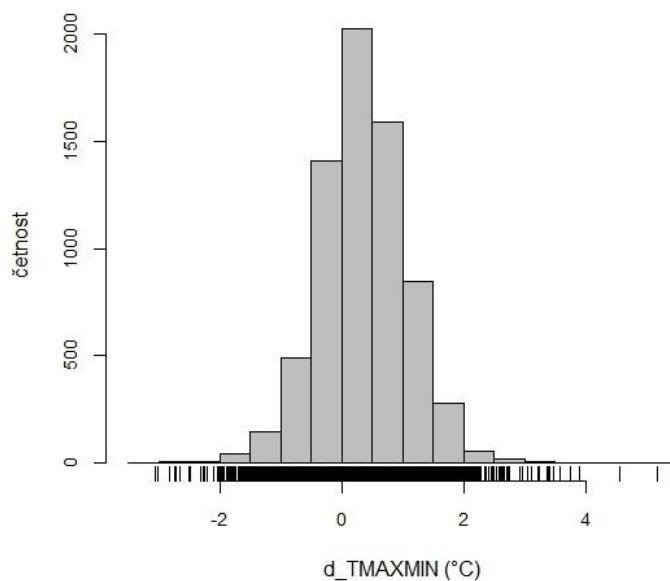
Obrázek 6: Histogram odchylek průměrných denních teplot určených metodou TPRUM od THOD pro období 1982-2000 na stanici Churáňov.

Na druhém histogramu (Obrázek 7) jsou vykresleny odchylky $d_TMAXMIN$. V tomto histogramu (Obrázek 7) jsem rozšířila počet tříd. Oproti předchozímu histogramu (Obrázek 6) jsem rozšířila třídy o kladné intervaly a ubrala jsem záporné intervaly.

Tento histogram (Obrázek 7) je tedy rozdělen do devatenácti tříd v intervalu od $-3,5$ do $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Největší četnost má třída v intervalu od $0,0$ do $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Druhý nejčetnější interval je od $0,5$ do $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z tohoto histogramu (Obrázek 7) je dobře patrné, že při výpočtu průměrné denní teploty vzduchu metodou TMAXMIN dochází ve většině případů k nadhodnocování výsledků. Průměrná odchylka $d_TMAXMIN$ za období 1982-2000 je $0,36\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Na tomto histogramu (Obrázek 7), stejně jako u předchozího histogramu (Obrázek 6), nejsou některé třídy vidět. To je opět způsobeno nerovnoměrným rozdělením.

I přes to, že krajní hodnoty nejsou na tomto grafu patrné, jsou pro mou práci velmi důležité. Některým těmto odlehlým bodům se budu ještě věnovat.



Obrázek 7: Histogram odchylek průměrných denních teplot určených metodou TMAXMIN od THOD pro období 1982-2000 na stanici Churáňov.

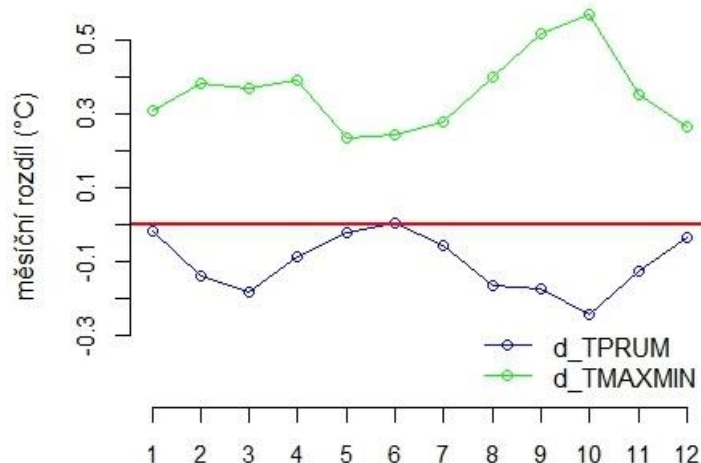
V Tabulce 2 jsou vypsány extrémní rozdíly pro obě porovnávané metody.

	ROZDÍLY TPRUM	TMAXMIN
průměrný rozdíl	-0.10	0.36
největší záporný rozdíl	-4.47	-3.06
největší kladný rozdíl	2.79	5.18
směrodatná odchylka rozdílu	0.68	0.72

Tabulka 2: Rozdíly ve °C pro metody TPRUM a TMAXMIN vůči metodě THOD na stanici Churáňov v období 1982-2000.

6.2.1 Průměrné měsíční odchylky

Graf (Obrázek 8) znázorňuje průměrnou odchylku pro každý měsíc pro obě metody. Průměrné měsíční odchylky jsem získala z průměrných denních odchylek z období 1982-2000.



Obrázek 8: Průměrné měsíční odchylky d_{TPRUM} a $d_{TMAXMIN}$ vypočítané z období 1982-2000 na stanici Churáňov.

Červená vodorovná čára představuje nulovou odchylku, odpovídá tedy hodnotám THOD. Modrá křivka vykresluje rozdíl d_{TPRUM} . Z křivky je zřejmé, že nejpřesnější výpočty průměrné denní teploty vzduchu se vyskytují v měsíci červnu, kde průměrná odchylka od THOD je pouhých $0,003\text{ }^{\circ}\text{C}$. Také v některých dalších měsících, např. v prosinci a lednu, jsou výsledky poměrně přesné. Nejméně přesné výpočty průměrné denní teploty vzduchu se objevují v měsíci říjnu. To je zřejmě způsobené rozkolísaností denního chodu teploty vzduchu.

Zelená křivka vykresluje rozdíl $d_{TMAXMIN}$. Na této křivce je vidět, že nejmenší odchylky jsou v měsíci květnu, kde průměrná odchylka od THOD je $0,244\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Srovnání průměrných denních teplot vzduchu ukazuje, že nejbližší výpočtu nejpřesnější metodě THOD je metoda TPRUM, u této metody jsou jen velmi malé rozdíly ve výpočtu. Metoda TMAXMIN průměrně zvyšuje průměrnou denní teplotu vzduchu o $0,36\text{ }^{\circ}\text{C}$, v některých dnech jde ale o rozdíl teplot vyšší i než $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.2.2 Průměrné roční odchylky

Na grafu (Obrázek 9) je znázorněna hodnota průměrné roční odchylky pro každý rok v období 1982-2000 pro obě metody výpočtu. Vodorovná červená čára opět naznačuje nulu, tedy nulovou odchylku THOD. Hodnoty u d_{TPRUM} se ve všech letech, kromě roku 1999, pohybují kolem hodnoty $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, zatímco hodnoty $d_{TMAXMIN}$ se pohybují kolem $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

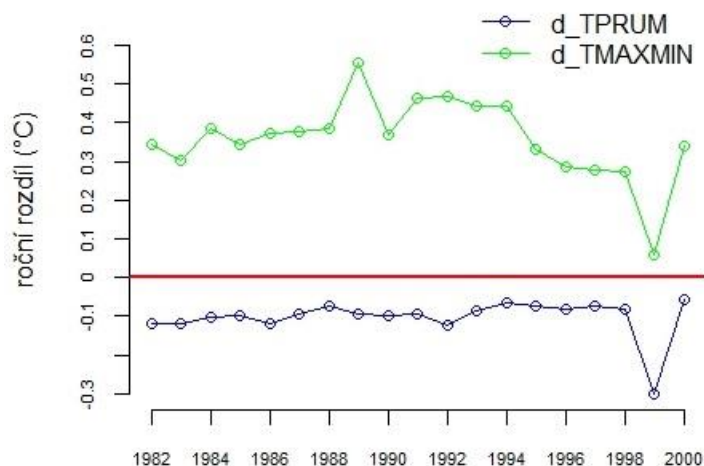
U obou metod výpočtu průměrné denní teploty vzduchu je vidět výrazně rozdílná hodnota v roce 1999. Tato rozdílná hodnota v roce 1999 může naznačovat nějakou chybu. Proto jsem pro zajímavost vyhodnotila průměrné měsíční odchylky pro rok 1999 (Obrázek 10) a snažila jsem se chybu analyzovat.

Hodnota odchylky d_{TPRUM} v měsících září až prosinec odpovídá hodnotám v ostatních letech, ale měsíce leden až srpen mají odlišné odchylky.

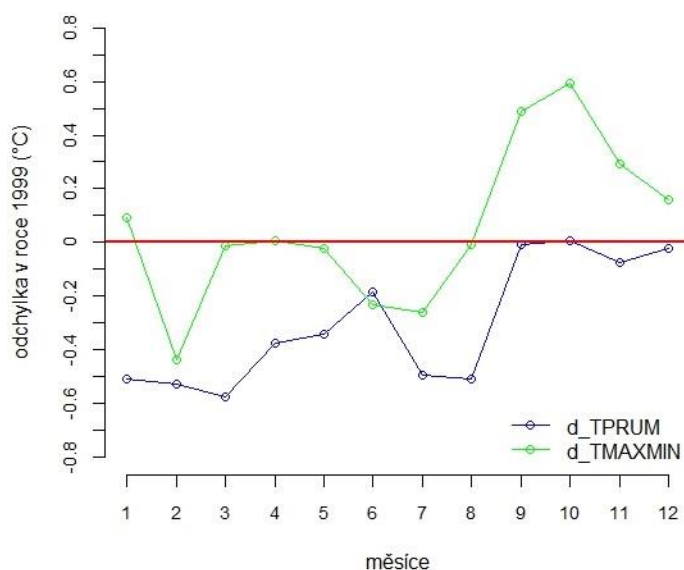
U odchylky $d_{TMAXMIN}$ dochází oproti ostatním rokům k podhodnocování výsledků také v měsících leden až srpen. Obvyklá odchylka u metody TMAXMIN v ostatních letech se pohybuje v průměru od $0,3$ do $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. V roce 1999 se ale u osmi měsíců od ledna do srpna pohybuje kolem nuly nebo je záporná.

Podle mého vedoucí bakalářské práce může toto chování poukazovat na chybu v hodinových datech. V roce 1999 pravděpodobně došlo k chybě nebo výpadkům

měření hodinových dat někdy v období od ledna do srpna. Toto měření bylo zřejmě následně doplněno interpolací z blízkých stanic nebo s využitím klimatických měření v 7, 14 a 21 hodin. Srovnání metod určení průměrné denní teploty vzduchu tak může být užitečné i pro kontrolu kvality dat.



Obrázek 9: Průměrná roční odchylka pro metody d_TPRUM a d_TMAXMIN v období 1982-2000 na stanici Churáňov.



Obrázek 10: Průměrná odchylka pro rok 1999 pro metody d_TPRUM a d_TMAXMIN na stanici Churáňov.

6.3 Případy extrémních odchylek

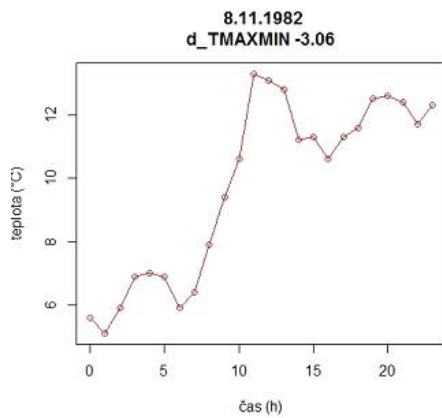
V této kapitole se zaměřuji na některé extrémní kladné a záporné odchylky pro metody TPRUM a TMAXMIN. Největší odchylky jsou pro názornost uvedeny v Tabulce 3.

kladne		d_TPRUM	zaporne		d_TPRUM	kladne		d_TMAXMIN	zaporne		d_TMAXMIN
kladne	rozdíly	datum	zaporne	rozdíly	datum	kladne	rozdíly	datum	zaporne	rozdíly	datum
2.79		17.8.1985	-4.47		12.7.1984	5.18		1.9.1992	-3.06		8.11.1982
2.73		1.11.1993	-3.41		6.1.1982	4.55		17.1.1994	-3.01		20.12.1982
2.69		19.11.1989	-3.39		3.11.1984	3.89		17.8.1985	-3.01		18.12.1997
2.48		6.1.1996	-3.32		1.8.1983	3.75		2.12.1991	-2.83		11.1.1982
2.44		10.1.1991	-3.19		26.12.1989	3.58		8.12.1996	-2.74		18.2.1989
2.43		16.12.1989	-3.10		12.10.1987	3.47		27.1.1995	-2.72		2.3.1991
2.36		9.10.1988	-2.94		14.11.1984	3.42		2.10.1996	-2.66		22.4.1996
2.30		21.7.1986	-2.88		11.12.1995	3.39		10.2.1989	-2.51		10.10.1983
2.23		16.12.1983	-2.76		4.10.1990	3.37		27.4.1989	-2.49		1.2.1995
2.18		15.11.1992	-2.75		24.7.1988	3.24		18.8.1985	-2.31		26.1.1985

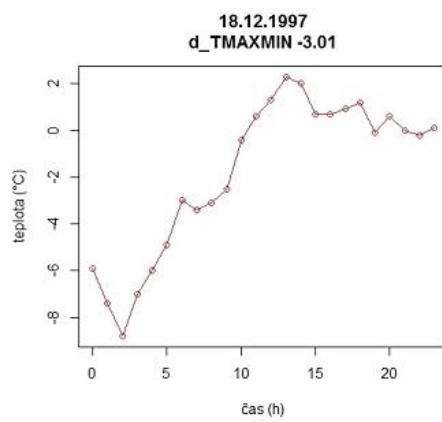
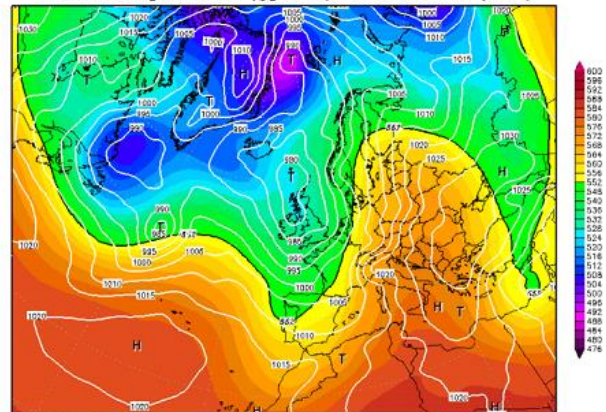
Tabulka 3: Deset největších kladných a záporných odchylek pro metody TPRUM a TMAXMIN z období 1982-2000 na stanici Churáňov.

Z hodinových dat jsem vyhodnotila denní průběh teploty vzduchu pro prvních pět největších kladných odchylek d_TPRUM, pět největších záporných odchylek d_TPRUM, pět největších kladných odchylek d_TMAXMIN a pět největších záporných odchylek d_TMAXMIN. Dny s těmito odchylkami jsem seřadila podle podobnosti tvaru křivky průběhu teploty a popsala jsem meteorologickou situaci z archivu synoptických map. Synoptické mapy jsou k dispozici od roku 1979 v 0, 6, 12 a 18 hodin UTC na stránce www.wetterzentrale.de. Pro vyhodnocení jsem použila synoptickou mapu v hodině, kde byla nejlépe vystižena meteorologická situace.

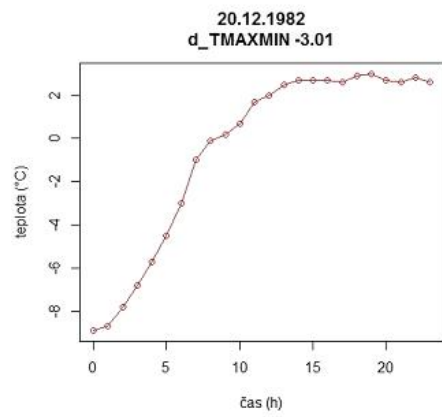
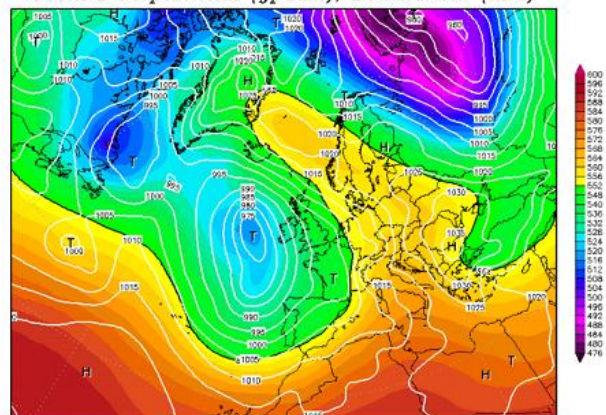
6.3.1 Situace s přechodem teplé fronty/ s výraznou teplou advekcí



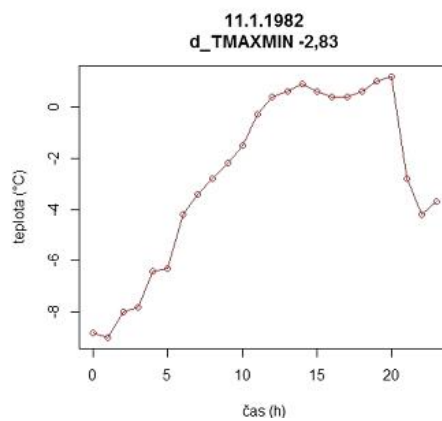
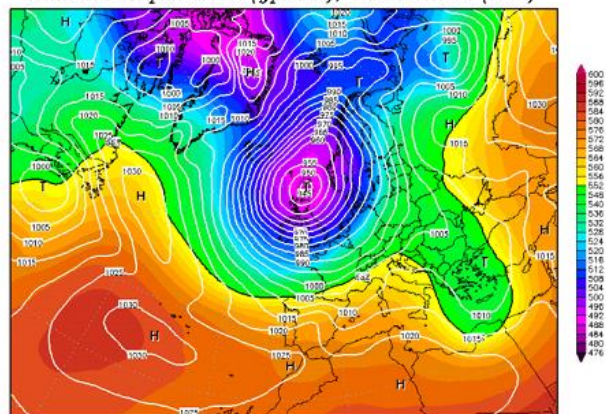
08NOV1982 18Z
500hPa Geopotential (gdam), Bodendruck (hPa)



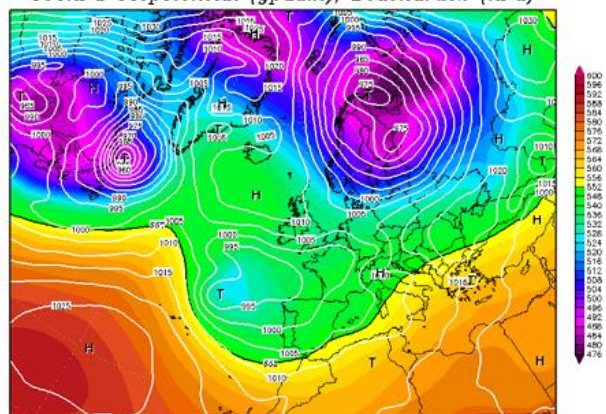
18DEC1997 18Z
500hPa Geopotential (gdam), Bodendruck (hPa)

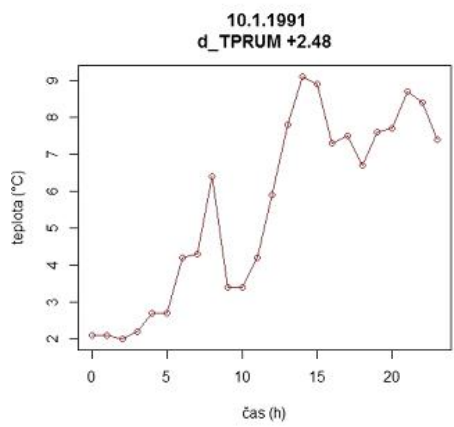
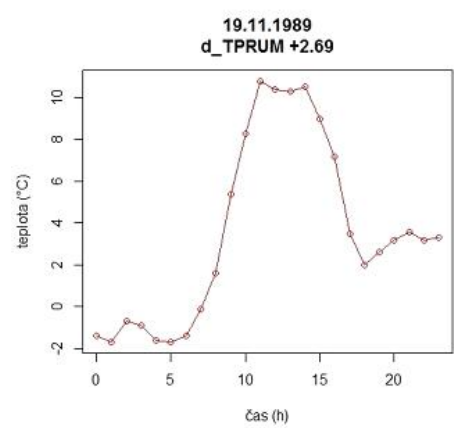
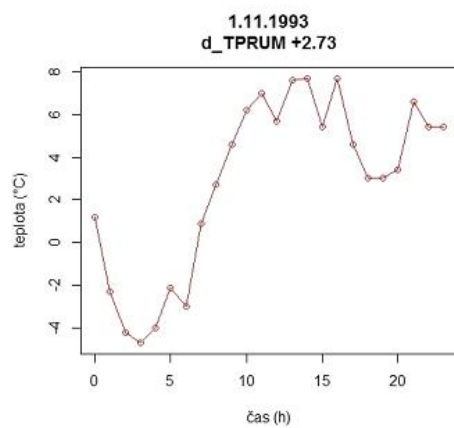
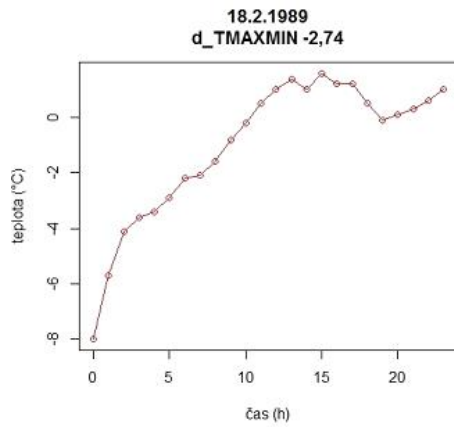


20DEC1982 12Z
500hPa Geopotential (gdam), Bodendruck (hPa)

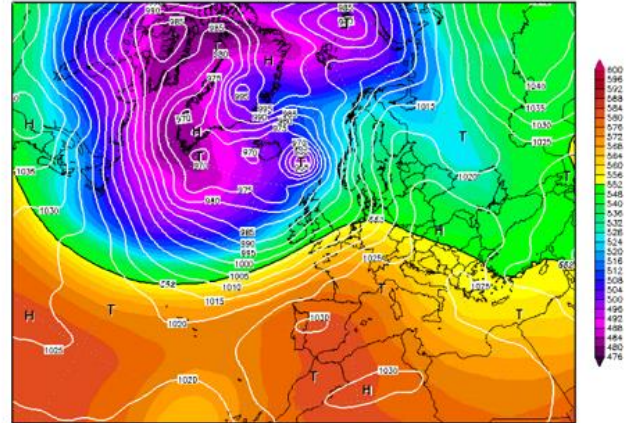


11JAN1982 06Z
500hPa Geopotential (gdam), Bodendruck (hPa)

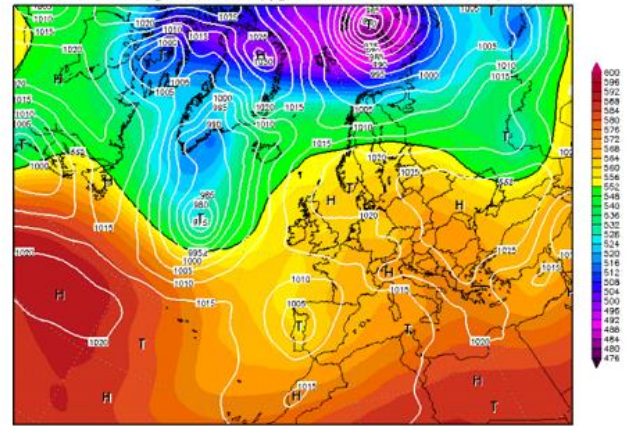




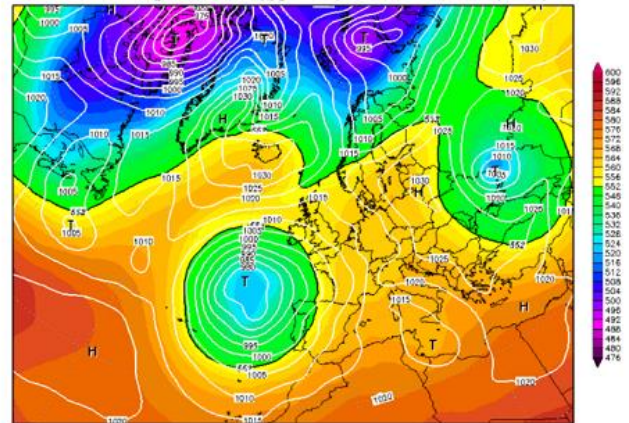
18FEB1989 12Z
500hPa Geopotential (gpdam), Bodendruck (hPa)



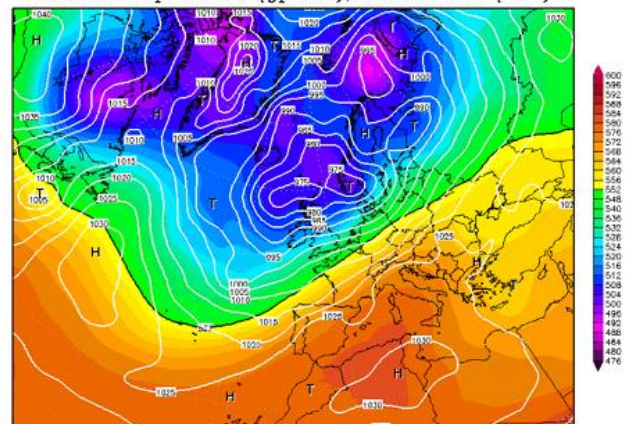
01NOV1993 18Z
500hPa Geopotential (gpdam), Bodendruck (hPa)

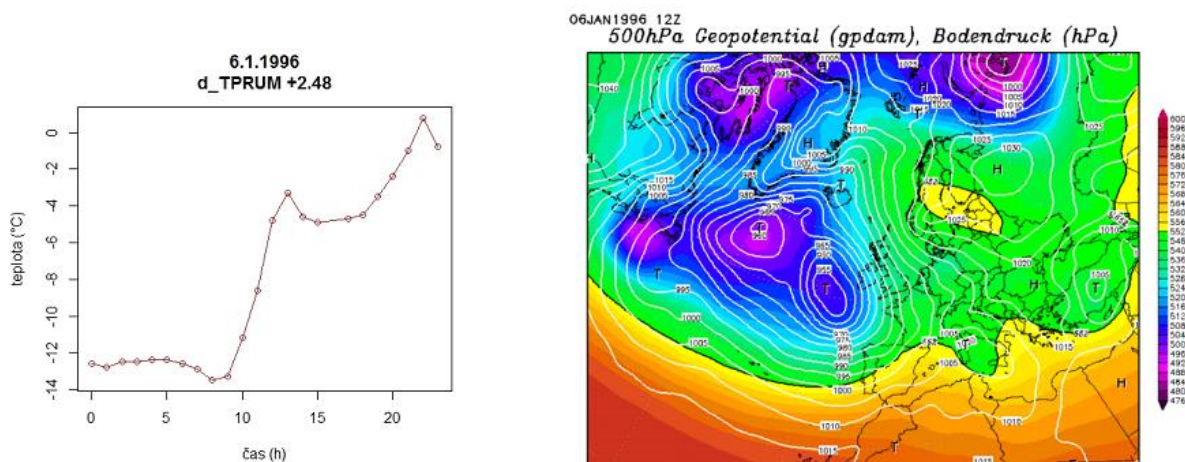


19NOV1989 12Z
500hPa Geopotential (gpdam), Bodendruck (hPa)



10JAN1991 12Z
500hPa Geopotential (gpdam), Bodendruck (hPa)





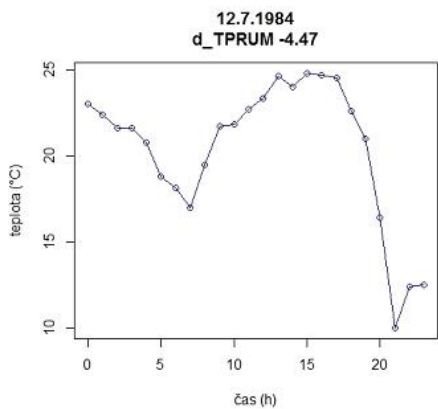
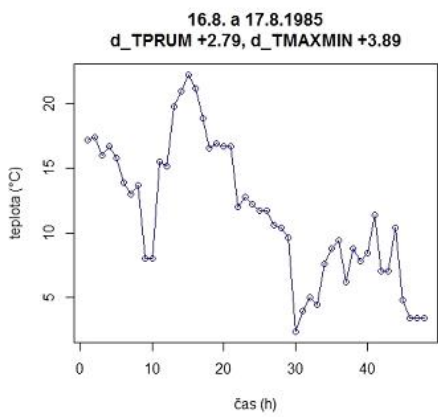
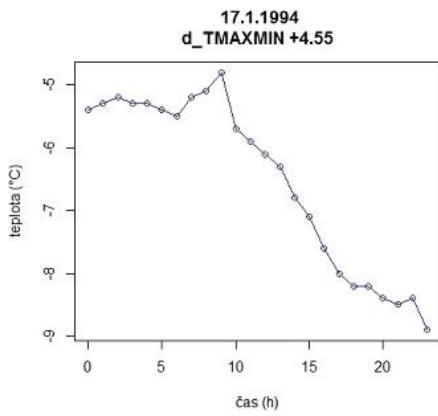
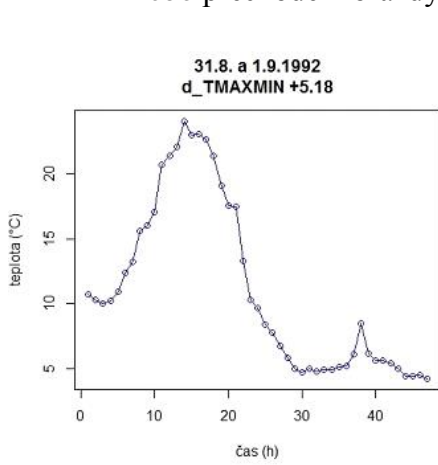
Obrázek 11: Dny s extrémními odchylkami d_TPRUM nebo $d_TMAXMIN$ na stanici Churáňov, při kterých dochází k přechodu teplé fronty/teplé advekci. Vlevo: Vykreslené křivky denního chodu teploty vzduchu z hodinového pozorování u dnů s extrémní odchylkou. Vpravo: Synoptická mapa (Wetterzentrale, 2017) ukazuje rozložení tlaku vzduchu na hladině moře (izobary, bíle) a geopotenciálu v hladině 500 hPa (barevně).

Na obrázcích (Obrázek 11) jsou znázorněny vlevo křivky chodu teploty vzduchu z hodinového pozorování a vpravo odpovídající synoptické mapy. Pravděpodobně všechny tyto situace zobrazují přechod teplé fronty přes Českou republiku a výraznou teplou advekci. Při přechodu teplé fronty dochází k oteplení a často k vyjasnění. Teplá fronta obvykle bývá výraznější v zimní části roku. Dochází k proudění teplého vzduchu z oblasti jižní a jihozápadní Evropy přes ČR.

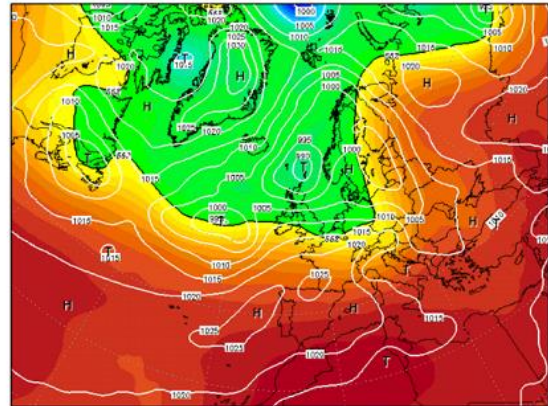
Při přechodu výrazné teplé fronty dochází v některých případech u výpočtu průměrné denní teploty vzduchu metodou TMAXMIN k záporným odchylkám až několika stupňů Celsia od referenční metody THOD. To je způsobené stálým růstem teploty vzduchu během dne. Průměrná teplota metodou TMAXMIN se ale počítá jen ze dvou hodnot, které se odečítají ve 21 hodin. Do výpočtu se tedy započítává minimální teplota, která je naměřena ve většině případech před svítáním, a maximální teplota, která je zaznamenána ve 21 hodin, ačkoliv teplota ještě během dne v některých případech i po 21. hodině stále stoupá.

Také u metody TPRUM dochází v těchto případech k nepřesným výpočtům. To je způsobené tím, že u vzorce pro výpočet TPRUM se počítá hodnota ve 21 hodin s dvojnásobnou vahou. Z tohoto důvodu metoda TPRUM v těchto situacích průměrnou denní teplotu vzduchu nadhodnocuje i o více než 2°C. Všechny tyto vykreslené situace, které znázorňují pravděpodobně přechod teplé fronty, se objevují v měsících listopad až únor a jsou si navzájem velice podobné.

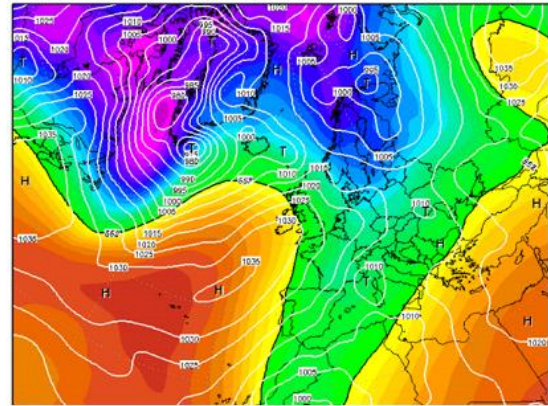
6.3.2 Situace s přechodem studené fronty/ s výraznou studenou advekcí
nebo přechodem brázd nízkého tlaku vzduchu



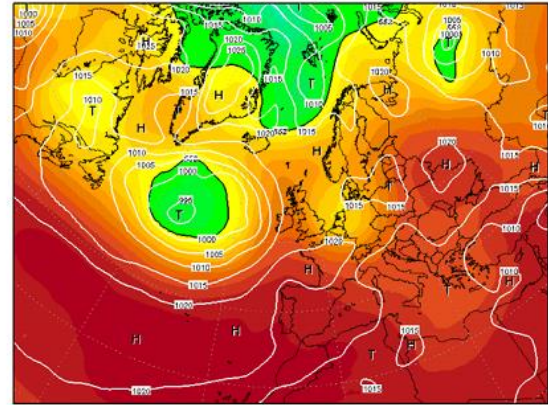
01SEP1992 12Z
500hPa Geopotential (gdam), Bodendruck (hPa)



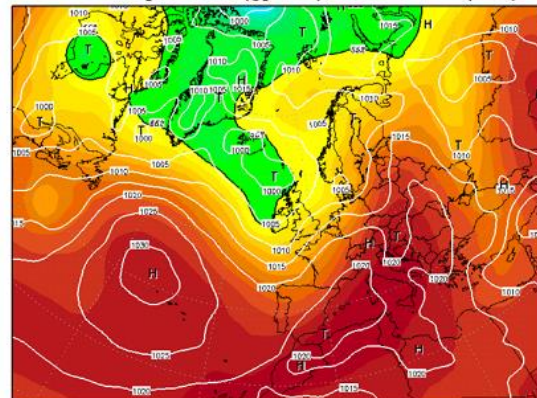
17JAN1994 12Z
500hPa Geopotential (gdam), Bodendruck (hPa)

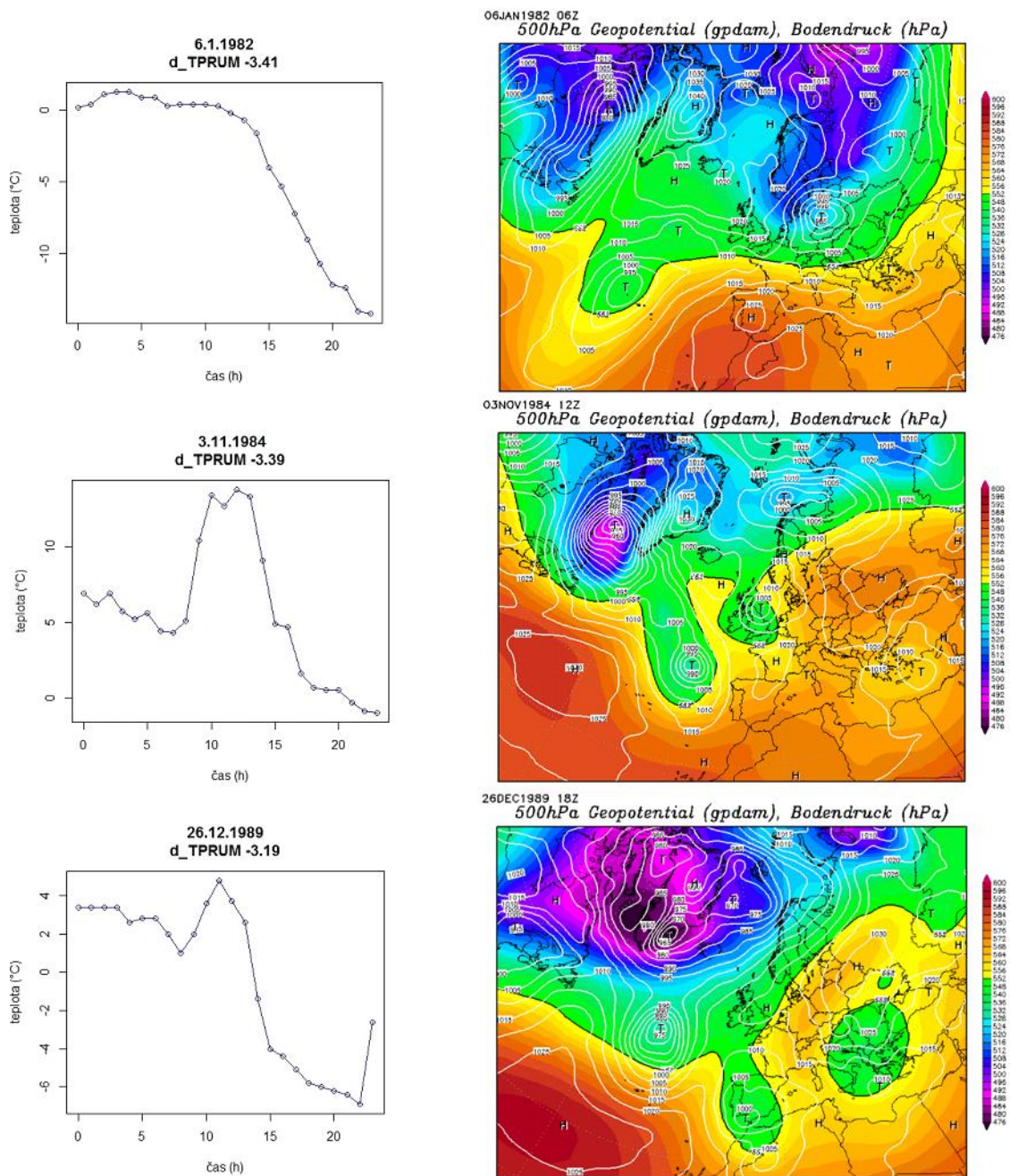


17AUG1985 12Z
500hPa Geopotential (gdam), Bodendruck (hPa)



12JUL1984 06Z
500hPa Geopotential (gdam), Bodendruck (hPa)





Obrázek 12: Dny s extrémními odchylkami d_{TPRUM} nebo $d_{TMAXMIN}$ na stanici Churáňov, při kterých dochází ve většině případů k přechodu studené fronty/studené advekcí. 12.7.1984 a 17.8.1985 pravděpodobně došlo spíše k pomalému přesunu brázd nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou. Vlevo: Vykreslené křivky chodu teploty vzduchu z hodinového pozorování u dnů s extrémní odchylkou. Vpravo: Synoptická mapa (Wetterzentrale, 2017) ukazuje rozložení tlaku vzduchu na hladině moře (izobary, bíle) a geopotenciálu v hladině 500 hPa (barevně).

Na grafech výše (Obrázek 12) jsou znázorněny křivky denního chodu, v některých případech i dvoudenního chodu teploty vzduchu z hodinového pozorování a synoptické mapy. Většina těchto vykreslených situací znázorňuje pravděpodobně přechod studené fronty přes Českou republiku a některé případy přechod tlakové níže nebo brázd nízkého tlaku vzduchu. Při přechodu studené fronty dochází většinou

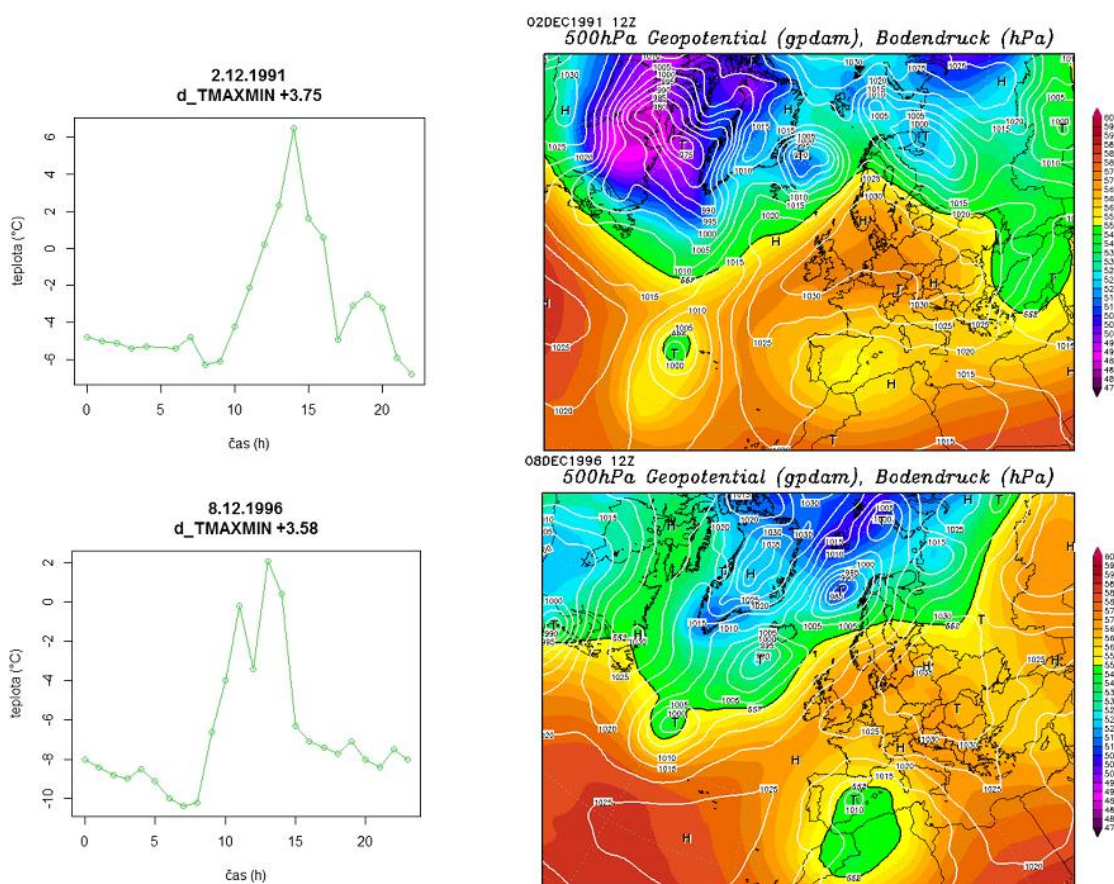
k rychlému poklesu teploty a zejména v teplé části roku k výrazným konvektivním srážkám, které nejčastěji postupují ze západu na východ. Výraznější studená fronta bývá obvykle v létě. 12.7.1984 a 17.8.1985 pravděpodobně nedošlo ke klasickému přechodu studené fronty, ale spíše nad střední Evropou putovala pomalá brázda nízkého tlaku vzduchu, spojená s mohutnou oblačností a srážkami, které vyvolaly pokles teploty.

Metodou TMAXMIN dochází při přechodu studené fronty k nadhodnocování teploty. Některé odchylky dosahují hodnot i více než 4°C. Tyto extrémní odchylky se nejčastěji vyskytují v letních měsících. Nepřesnost výpočtu je způsobená trvalým poklesem teploty vzduchu během dne. Pro výpočet průměrné denní teploty vzduchu metodou TMAXMIN jsou hodnoty z minimálního a maximálního teploměru odečítány ve 21 hodin každý den. V tyto dny je tedy nejvyšší teplota ráno, případně při krátkodobém vyjasnění kolem poledne a nejnižší teplota se odečítá ve 21 hodin, ačkoliv teplota i po 21. hodině může stále klesat. Hodnoty z minimálního a maximálního teploměru po 21. hodině jsou ale zahrnuty do dne následujícího.

Také u metody TPRUM dochází v těchto případech k nepřesným výpočtům. U téměř všech uvedených dnů dochází k podhodnocování výsledků, výjimkou je 17.8.1985, kdy dochází k nadhodnocování výsledku. Toto nadhodnocování je zřejmě způsobené rozkolísaností denního chodu teploty vzduchu z důvodu pomalého přechodu brázdy nízkého tlaku vzduchu. Záporné odchylky u metody TPRUM jsou rovněž jako u přechodu teplé fronty způsobené dvojnásobnou váhou hodnoty ve 21 hodin.

Tyto meteorologické situace se objevují na rozdíl od situace s přechodem teplé fronty nejen v zimě, ale i v létě. Podobnost map je u přechodu studené fronty mnohem menší než u přechodu teplé fronty, kde mají téměř všechny situace výrazně větší podobnost.

6.3.3 Situace s výrazným denním chodem teploty vzduchu



Obrázek 13: Dny s extrémními odchylkami $d_TMAXMIN$ na stanici Churáňov, při kterých dochází k výraznému dennímu chodu teploty vzduchu. Vlevo: Vykreslené křivky denního chodu teploty vzduchu z hodinových pozorování u dnů s extrémní odchylkou. Vpravo: Synoptická mapa (Wetterzentrale, 2017) ukazuje rozložení tlaku vzduchu na hladině moře (izobary, bíle) a geopotenciálu v hladině 500 hPa (barevně).

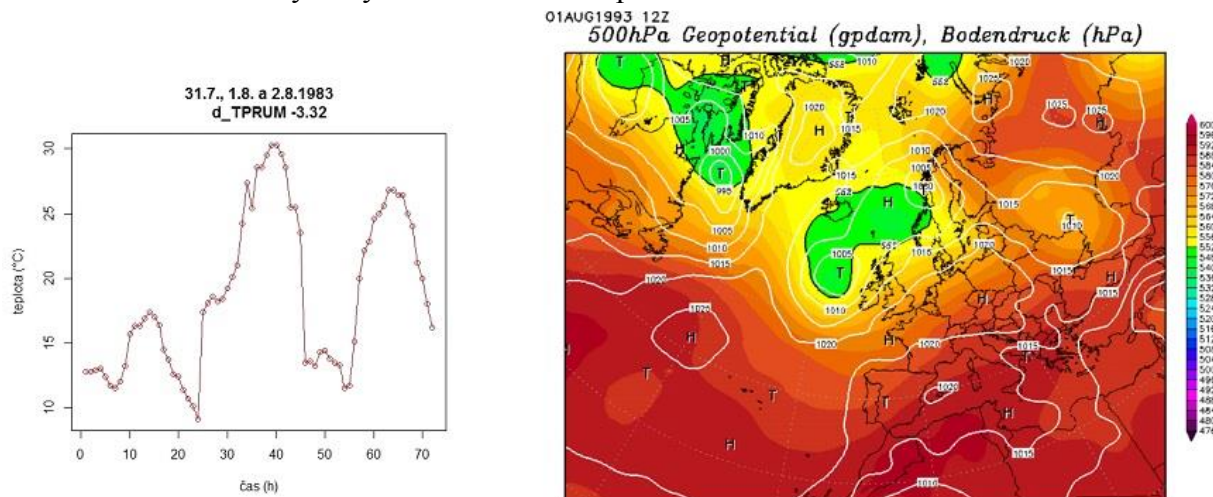
Na Obrázku 13 jsou znázorněny křivky denního chodu teploty vzduchu z hodinového pozorování a synoptické mapy. Tyto vykreslené situace znázorňují výrazný denní chod teploty vzduchu na stanici Churáňov související s radiačním typem počasí.

Za této meteorologické situace dochází k výraznému nadhodnocování metody TMAXMIN o téměř 4 °C. Tyto extrémní odchylky se vyskytují v prosinci, tj. v zimní části roku. V tyto dny, kdy jinak převládá velká oblačnost, pravděpodobně dojde ke krátkodobému vyjasnění a během dopoledne k rychlému zvýšení teploty, které je z důvodu krátkého trvání slunečního svitu omezeno jen na několik hodin. Nepřesnost výpočtu metodou TMAXMIN je způsobena vysokou hodnotou maximální teploty, která je naměřena kolem poledne či v brzkém odpoledni.

Naopak metoda TPRUM na rozdíl od metody TMAXMIN v těchto situacích příliš neselhává. 2.12.1991 metoda TPRUM nadhodnocuje průměrnou denní teplotu

o 0,73 °C. Nadhodnocování je zřejmě způsobené poměrně vysokou hodnotou naměřenou ve 21 hodin, kdy hodnota dostává dvojnásobnou váhu. 8.12.1996 došlo u metody TPRUM naopak k podhodnocení průměrné teploty o 0,87 °C.

6.3.4 Situace s výrazným mezidenním oteplováním



Obrázek 14: Den s extrémní odchylkou d_TPRUM na stanici Churáňov, při které dochází k výraznému mezidennímu oteplování. Vlevo: Vykreslená křivka třídního chodu teploty vzduchu z hodinového pozorování se dnem 1.8.1983 s extrémní odchylkou. Vpravo: Synoptická mapa (Wetterzentrale, 2017) z 1.8.1983 ukazuje rozložení tlaku vzduchu na hladině moře (izobary, bíle) a geopotenciálu v hladině 500 hPa (barevně).

Na Obrázku 14 je znázorněna křivka třídního chodu teploty vzduchu z hodinového pozorování a synoptická mapa z 1.8.1983. Tato vykreslená situace znázorňuje výrazné mezidenní oteplení na stanici Churáňov. V tyto dny ovlivňoval počasí pravděpodobně hřeben vyššího tlaku vzduchu, který se postupně přesouval přes Českou republiku. Této situaci předcházela o několik dní dříve jiná velmi zajímavá meteorologická situace, kdy 27.7.1983 byla v důsledku velmi výrazné teplé advekce naměřena nejvyšší maximální teplota na Churáňově za období 1982-2000 a na území ČR padl absolutní teplotní rekord (Praha-Uhřetěves, 40,2 °C) (Lhotka, Kyselý, 2015). Toto teplé období ukončila výrazná studená fronta a graf na Obrázku 14 odpovídá následnému návratu poměrně vysokých teplot.

Odchylka metody TPRUM byla 1.8.1983 vypočtena na -3,32 °C. 31.7.1983 a 2.8.1983 se ale odchylka pohybovala již do 1 °C a v dalších dnech se dále snižovala. Extrémní odchylka z 1.8.1983 je způsobena stálým oteplováním během dne a prudkým ochlazením mezi 20. a 21. hodinou, kdy hodnota na teploměru klesla o 10°C. Teplota ve 21 hodin ještě při výpočtu získala dvojnásobnou váhu, proto se tento den vypočítala touto metodou průměrná denní teplota vzduchu s tak velkou zápornou odchylkou.

Naopak metoda TMAXMIN za této meteorologické situace příliš neselhává. 31.7.1983 a 1.8.1983 metoda podhodnocuje výsledky do 1 °C. Nejvyšší odchylka během tohoto třídenního oteplování se objevila 2.8.1983, kdy metoda TMAXMIN nadhodnotila průměrnou teplotu o 1,16 °C. Toto nadhodnocení u této metody nepovažuji za výrazné. Poměrně dobré výsledky dává tato metoda pravděpodobně z důvodu poměrně vysokých minimálních teplot.

7 DISKUZE

V datech a při zpracovávání výsledků mohou nastat chyby a nepřesnosti. Tyto nepřesnosti a chyby nemusí být vždy odhaleny a je obtížné je v některých případech vůbec analyzovat.

Za výraznou potenciální nepřesnost považuji odečítání extrémních hodnot z maximálního a minimálního teploměru. Tyto hodnoty se zapisují každý den ve 21 hodin. Tedy maximální a minimální teplota se vztahuje k intervalu od 21 hodin předchozího dne do 21 hodin dne následujícího. Naměřená maximální a minimální teplota může tedy v některých případech být zapisována pro jiný den, než se daná teplota vyskytla. Tímto problémem se ve své práci zabývali i DeGaetano a Knapp (1993), kteří poukazují na vliv odečítání maximální a minimální teploty v různých pozorovacích termínech během dne na výpočet průměrné denní teploty vzduchu metodou z maximální a minimální teploty.

Nejpřesnější by tedy bylo odečítat denní maximum a minimum o půlnoci, aby se extrémní teploty za 24 hodin vztahovaly jen k jednomu dni. Odečet o půlnoci se neprovádí z důvodu ztráty homogenity řady a kvůli pozorovateli.

Na horské stanici Churáňov byla nejvyšší maximální teplota vzduchu, v mém vyhodnocovaném období v letech 1982-2000, naměřena 27. července 1983, kdy maximální teploměr naměřil hodnotu 34,2 °C. Tento den byl naměřen absolutní teplotní rekord pro tehdejší Československo na stanici Praha-Uhřetěves s hodnotou 40,2 °C, který platil až do roku 2012 (Lhotka, Kyselý, 2015, Němec, 2012). Tento den byly teploty kolem 40 °C pozorovány i v bezprostředním podhůří Šumavy, například na stanicích Husinec či Klatovy, což je zcela neobvyklé (Krška, Munzar, 1984, Kyselý, 2002). Zajímavostí je, že několik dní poté nastala jedna ze situací s výraznými

rozdíly mezi metodami výpočtu průměrné denní teploty, v důsledku oteplování po přechodu studené fronty, která teplé období přerušila.

Nejnižší minimální teplota v období 1982-2000 byla naměřena na stanici Churáňov 1.12.1987. Tehdy teplota klesla na hodnotu $-24,2$ °C. Vzhledem k poloze stanice zde tedy nepozorujeme až tak extrémně nízká minima, jaká se vyskytují například na nedaleké Horské Kvildě nebo na šumavských slatích.

Při vyhodnocování průměrných ročních odchylek jsem narazila na možnou chybu v datech. Pravděpodobně došlo v roce 1999 k chybám u hodinových dat. Rok 1999 vykazoval odlišné hodnoty od ostatních let u odchylek metody výpočtu ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin i u odchylek metody z maximální a minimální teploty. Při analyzování problému jsem vykreslila graf průměrných měsíčních odchylek pro rok 1999 (Obrázek 10). Podle výsledků měsíčních odchylek je pravděpodobné, že došlo k výpadkům a následnému doplnění hodinových dat v měsících leden až srpen, které vykazují jiné hodnoty než obvykle ve zbývajícím období.

Podobnému srovnávání metod výpočtu průměrné denní teploty vzduchu se věnovaly i jiné práce, mezi české autory patří Knozová a Rožnovský (2005) nebo Metelka (2006). Zahraniční publikace, které se tomuto tématu také věnovaly, jsou například Bonacci a kol. (2013) nebo Dall' Amico a Hornsteiner (2006).

Knozová a Rožnovský (2005) ve své analýze ještě srovnávají i vlhkost vzduchu. Pro své výpočty použili údaje z automatické stanice Brno-Žabovřesky a analyzovali teplotu v poměrně krátkém časovém období od 1.9.1999 do 31.12.2002. Jako referenční metodu ve své práci používají 15minutová pozorování. Tuto metodu srovnávají s hodinovými pozorováními, s klasickým výpočtem z termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin, přičemž hodnota ve 21 hodin má dvojnásobnou váhu, a s aritmetickým průměrem z termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin. Tento poslední způsob výpočtu považují za zbytečný, ale uvádějí ho, protože v některých případech byl výsledek přesnější tímto výpočtem. Podle jejich analýzy je ale u tohoto způsobu výpočtu průměrná teplota průměrně o $0,2$ °C vyšší. Já jsem se ve své práci rozhodla tento způsob výpočtu nezahrnout do srovnání s ostatními metodami, protože se v praxi nepoužívá.

Podle Knozové a Rožnovského (2005) je nejbližší výpočtu z 15minutových údajů výpočet z hodinových pozorování, kde průměrný rozdíl za pozorované období je pro všechny čtyři pozorované roky 0,00 °C, nejvyšší kladná odchylka +0,24 °C a nejvyšší záporná odchylka -0,40 °C. U váženého průměru ze tří termínových hodnot se průměrný rozdíl od referenční hodnoty pohyboval v letech 1999-2002 od -0,02 do 0,03 °C, nejvyšší kladný rozdíl byl +2,55 °C a nejvyšší záporný rozdíl -2,65 °C. Odchylku počítali jako rozdíl srovnávaných metod s referenční metody. Stejně jako v mé práci ze studie Knozové a Rožnovského (2005) vyplývá, že největší rozdíly u metod pro výpočet průměrné denní teploty vzduchu se vyskytují při atypickém denním chodu teploty, kdy během dne teplota stále stoupá či klesá. V jejich práci ale nejsou jednotlivé synoptické situace rozebrány.

Metelka (2006) ve své studii porovnává průměrnou denní teplotu vzduchu z termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin s 15minutovým pozorováním a testuje možnost vývoje přesnější metody výpočtu průměrné denní teploty vzduchu klasickým výpočtem z termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin. Pro testování použil údaje ze stanic Opava-Otice, Ostrava-Poruba a Světlá Hora z období 1998-2004. Z důvodu, že se 15minutové údaje v SEČ nekryjí s klimatologickými termíny v MSSČ, provedl kubickou interpolaci. Porovnání provedl také jako rozdíl 15minutových měření od klasického výpočtu z termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin.

Také Metelka (2006) došel k závěru, že k největší diferenci klasického výpočtu z termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin od 15minutového měření dochází z důvodu atypického průběhu teploty vzduchu v kombinaci s dvojnásobnou váhou v termínu 21 hodin. Zpřesnění výpočtu z termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin vyřešil Metelka (2006) pomocí neuronových sítí, kdy nová metoda přidává do výpočtu závislost na ročním období. Tato nová metoda měla průměrnou roční odchylku od 15minutového měření v rozsahu od -0,06 do +0,04°C.

Studie Bonacci a kol. (2013) pojednává o rozdílech ve výpočtu u průměrných denních, měsíčních a ročních teplot vzduchu od skutečné průměrné teploty vzduchu. Data jsou použita ze tří chorvatských stanic, které se nacházejí ve třech klimaticky odlišných oblastech. V mírném kontinentálním klimatu se nachází stanice Záhřeb-Grič, ve studeném horském klimatu stanice Zavižan a v horkém středomořském klimatu stanice Dubrovnik. Data byla zpracována za období 1999-2011. Jako nejpřesnější metoda je v tomto článku, stejně jako v mé práci,

uvažována metoda z hodinových pozorování. Tuto referenční metodu srovnávají s metodou výpočtu ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin, kdy hodnota ve 21 hodin má dvojnásobnou váhu, s metodou z maximální a minimální teploty a s metodou ze tří termínových hodnot v 7, 13 a 19 hodin, přičemž hodnota v 19 hodin má dvojnásobnou váhu. Tato poslední metoda se používá v některých zemích severní Evropy. Odchytky těchto tří metod byly vypočítány jako rozdíl od referenční metody.

Z této studie (Bonacci a kol., 2013) vyplývá, že pro stanice Záhřeb-Grič a Dubrovnik je nejpřesnější metoda z maximální a minimální teploty, pro stanici Zavižan metoda klasického výpočtu ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin. Na stanici Záhřeb-Grič je metoda ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin o pouhých 0,06 °C méně přesná než metoda z maximální a minimální teploty, naopak na stanici Dubrovnik je průměrná hodnota metody ze tří termínových měření v 7, 14 a 21 hodin o 0,38 °C vyšší ve srovnání s metodou z maximální a minimální teploty. Celkově jsou nejpřesnější výsledky ze všech metod na stanici Zavižan. Je tedy patrné, že přesnost výpočtu průměrných denních teplot jednotlivými metodami závisí i na konkrétní poloze a klimatické oblasti.

Dall' Amico a Hornsteiner (2006) také ve své studii jako Metelka (2006) porovnávají průměrnou denní teplotu vzduchu určenou různými způsoby výpočtu a navrhuji zpřesnění metody počítané z maximální a minimální teploty. Pro testování použili údaje ze stanice na rovinatém území v Mnichově a ze stanice v alpském údolí v Innsbrucku pro období 2000-2004. Za referenční metodu považovali metodu z 1minutových měření. Tuto referenční metodu porovnávali s metodou z maximální a minimální teploty, s klasickou metodou ze tří klimatologických termínů v 7, 14 a 21 hodin, s metodou výpočtu používanou v Rakousku, která vychází z hodnot v 7, 19 hodin, z maximální a minimální teploty, se synoptickou metodou, která se počítá z pozorování v 1, 7, 13 a 19 hodin, a s nově navrženou metodou. K výpočtu navržené metody je nutné znát jen hodnotu maximální a minimální teploty, čas západu slunce a minimální teplotu následující noci. Ze studie vyplývá, že navržená metoda a metoda počítaná ze tří klimatologických termínů funguje se zanedbatelnými rozdíly od 1minutových měření na rovinatém terénu s přesností na setiny stupně Celsia. V alpském údolí klimatologická metoda ze tří termínů již v některých případech selhává, toto chování je zřejmě způsobeno fénovým efektem. Lepší výsledek u stanice v alpském údolí než u stanice na rovinatém terénu má jen metoda

ze synoptických pozorování, která má výsledek srovnatelný s navrhovanou metodou. Navrhovaná metoda na testovaných stanicích funguje dobře a její velkou výhodou je, že je k výpočtu potřeba pouze údajů o maximální a minimální teplotě a může být použita i na historické údaje.

8 ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE

Tato práce se zabývala srovnáním způsobu výpočtu průměrné denní teploty vzduchu s využitím dat ze stanice Churáňov. Ze srovnání vyplynulo, že metoda výpočtu ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin průměrně nepatrně podhodnocuje výsledky o $0,10^{\circ}\text{C}$. Metoda z maximální a minimální teploty naopak již poměrně výrazně průměrně nadhodnocuje výsledky o $0,36^{\circ}\text{C}$.

Přesnost výpočtu průměrných denních teplot vzduchu závisí na ročním období. Průměrně vycházejí nejpřesnější výpočty u obou metod v zimních a letních měsících (nejvíce v lednu, červnu a prosinci) a nejméně přesné jsou výpočty na jaře a na podzim (u metody počítané ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin v březnu a říjnu, u metody počítané z maximální a minimální teploty v únoru, dubnu a také v říjnu).

Přesnost výpočtu průměrných denních teplot vzduchu nezávisí jen na ročním období, ale i na synoptické situaci. Vybrala jsem tedy dny s extrémními odchylkami pro obě metody výpočtu a roztrídila je do skupin podle meteorologických situací. Roztríděním vznikly čtyři synopticky výrazně odlišné skupiny situací.

Nejvýraznější a nejpočetnější skupina byly situace s přechodem teplé fronty a teplou advekcí, kdy v těchto dnech docházelo u metody ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin k výraznému nadhodnocování výsledků z důvodu vysoké teploty ve 21 hodin, která se počítá s dvojnásobnou váhou. U metody výpočtu z maximální a minimální teploty při přechodu teplé fronty naopak docházelo k podhodnocování výsledků, kvůli odečtení maximální teploty ve 21 hodin, přestože teplota ještě po 21. hodině dále stoupala. Tyto situace se vyskytují v chladné části roku, kdy jsou také teplé fronty obecně výraznější.

Další početnou skupinou byly situace s přechodem studené fronty a studenou advekcí. Do této skupiny jsem zařadila i dny, při kterých pravděpodobně nedošlo ke klasickému přechodu studené fronty, ale spíše k přechodu tlakové níže nebo brázdy

nízkého tlaku vzduchu, která také vyvolala postupný pokles teploty během dne. U skupiny s těmito synoptickými situacemi je mnohem menší vzájemná podobnost oproti skupině s přechodem teplé fronty. Tyto situace se vyskytují v zimě i v létě. U metody ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin dochází u téměř všech případů k podhodnocování výsledků, to je opět způsobené kvůli hodnotě ve 21 hodin, která se počítá s dvojnásobnou vahou. Naopak u metody výpočtu z maximální a minimální teploty dochází k nadhodnocování výsledků. To je způsobené odečítáním minimální teploty ve 21 hodin, i přes stálé klesání teploty po 21. hodině.

Další méně početnou skupinou byly situace s výrazným denním chodem teploty vzduchu. U těchto situací selhával výpočet metody z maximální a minimální teploty, kdy tato metoda výsledky silně nadhodnocovala. K této situaci dochází v zimní části roku, hlavně v prosinci, kdy vzhledem ke krátkému dni jsou vyšší teploty, blízké maximální teplotě, omezeny jen na velmi malou část dne.

Poslední skupinou byla situace s výrazným mezidenním oteplováním, kdy metoda počítaná ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin výsledek podhodnocuje. To je pravděpodobně způsobeno oteplováním během dne a prudkým ochlazením ve večerních hodinách, kdy ve 21 hodin je mnohem nižší teplota než během celého dne. Metoda výpočtu z maximální a minimální teploty překvapivě v této situaci příliš neselhává.

Po celkovém srovnání obou metod jsem došla k závěru, že u nás standardně používaná metoda počítaná ze tří termínových hodnot v 7, 14 a 21 hodin je v průměru výrazně přesnější než metoda vycházející z maximální a minimální teploty.

9 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

AUER I., BÖHM R., HIEBL J., SPINONI J., LENTINI G., MAUGERI M., BRUNETTI M., NANI T., TADIĆ P. M., BIHARI Z., 2008: Data processing for a high resolution Alpine temperature climatology (ECSN/HRT-GAR). High resolution temperature climatology in complex terrain – demonstrated in the test area Greater Alpine Region GAR. Final report (online) [cit. 17.3.2017], dostupné z <https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_projekte/ecsn-hrt-gar/endbericht>.

BLÜTHGEN J., WEISCHET W., 1980: Allgemeine Klimageographie (Lehrbuch der allgemeinen Geographie). Walter de Gruyter, Berlín, 851 s.

BONACCI O., ŽELKOVIĆ I., TROGRLIĆ R. Š., MILKOVIĆ J., 2013: Differences between true mean daily, monthly and annual air temperatures and air temperatures calculated with three equations: a case study from three Croatian stations. *Theoretical and Applied Climatology* 114: 271-279.

BRÁZDIL R., MACKOVÁ J., 1998: Řada průměrných ročních teplot vzduchu pro Českou republiku v období 1828-1995. *Meteorologické zprávy* 51: 17-21.

BRZEZINA J., 2014: Historie meteorologie (online) [cit. 19.3.2017], dostupné z <<http://www.meteopage.com/articles/5.php>>.

CARREGA P., 2010: *Geographical Information and Climatology*. Wiley-ISTE, Hoboken, 288 s.

ČHMÚ, 2017a: Churáňov (online) [cit. 19.3.2017], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/ceska-republika/stanice/profesionalni-stanice/prehled-stanic/churanov>>.

ČHMÚ, 2017b: Další pojmy 2 (online) [cit. 19.3.2017], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/informace-pro-vas/meteorologicka-terminologie/dalsi-pojmy-2>>.

ČMES, 2017: Meteorologický slovník výkladový a terminologický (online) [cit. 7.4.2017], dostupné z <<http://slovník.cmes.cz/>>.

DALL'AMICO M., HORNSTEINER M., 2006: A simple method for estimating daily and monthly mean temperatures from daily minima and maxima. *International Journal of Climatology* 26: 1929-1936.

DEGAETANO A. T., KNAPP W.W., 1993: Standardization of weekly growing degree day accumulations based on differences in temperature observation time and method. *Agricultural and Forest Meteorology* 66: 1-19.

FIALOVÁ Z., 2006: Termoskop, dědeček teploměru (online) [cit. 27.12.2016], dostupné z <http://www.rozhlas.cz/leonardo/historie/_zprava/248075>.

FIŠÁK J., 1994: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 115 s.

- HANEL M., VIZINA A., 2014: Metody vyhodnocování vodohospodářských dat. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 141 s.
- HANN J., 1906: Lehrbuch der Meteorologie. Chr. Herm. Tauchnitz, Lipsko, 642 s.
- JINDROVÁ A., PRÁŠILOVÁ M., ZEIPPELT R., 2008: Statistika I. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 158 s.
- KNOZOVÁ G., ROŽNOVSKÝ J., 2005: Srovnání způsobů výpočtu průměrných denních teplot a vlhkosti vzduchu. Meteorologické zprávy 58: 19-23.
- KRŠKA K., MUNZAR J., 1984: Teplotní zvláštnosti tropického léta 1983 v ČSSR a v Evropě. Meteorologické zprávy 27: 33-40.
- KVĚTOŇ V., 2001: Normály teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000. Národní klimatický program České republiky, Praha, 197 s.
- KYSELÝ J., 2002: Probability estimates of extreme temperature events: stochastic modelling approach vs. extreme value distributions. *Studia Geophysica et Geodaetica* 46: 93-112.
- LHOTKA O., KYSELÝ J., 2015: Characterizing joint effects of spatial extent, temperature magnitude and duration of the heat waves and cold spells over Central Europe. *International Journal of Climatology* 35: 1232-1244.
- MA Y., GUTTORP P., 2012: Estimating daily mean temperature from synoptic climate observations. *International Journal of Climatology* 33: 1264-1269.
- MÁČA P., 2014: Hydrologie pro bakaláře. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 126 s.
- MALIJEVSKÁ I., MALIJEVSKÝ A., NOVÁK J., 2004: Záhady, klíče, zajímavosti – Očima fyzikální chemie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 264 s.
- METELKA L., 2006: Možnost zpřesnění odhadu průměrné denní teploty z klimatických měření. *Meteorologické zprávy* 59: 102-112.
- MÜLLER M. J., 1982: Selected climatic data for a global set of standard stations for vegetation science. Dr W. Junk Publishers, Haag, 306 s.

NĚMEC L., 2012: Český teplotní rekord – Dobřichovice 20.8.2012. Meteorologické zprávy 65: 145-148.

NOVOVIČOVÁ J., 2006: Pravděpodobnost a matematická statistika. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 157 s.

PICKO V., 1956: Závislost teploty ovzduší na nadmořské výšce. Meteorologické zprávy 9: 42-48.

ROTAN J., LITSCHMANN T., 1996: Vliv různých způsobů stanovení denní průměrné teploty vzduchu na hodnotu teplotní sumy (online) [cit. 19.2.2017], dostupné z <<http://www.amet.cz/teplsumy.html>>.

SAKELLARIOU N. K., KAMBEZIDIS H. D., 2016: Improving the estimation of the true mean monthly and true mean annual air temperatures in Greece. Atmospheric Science Letters 17: 13-18.

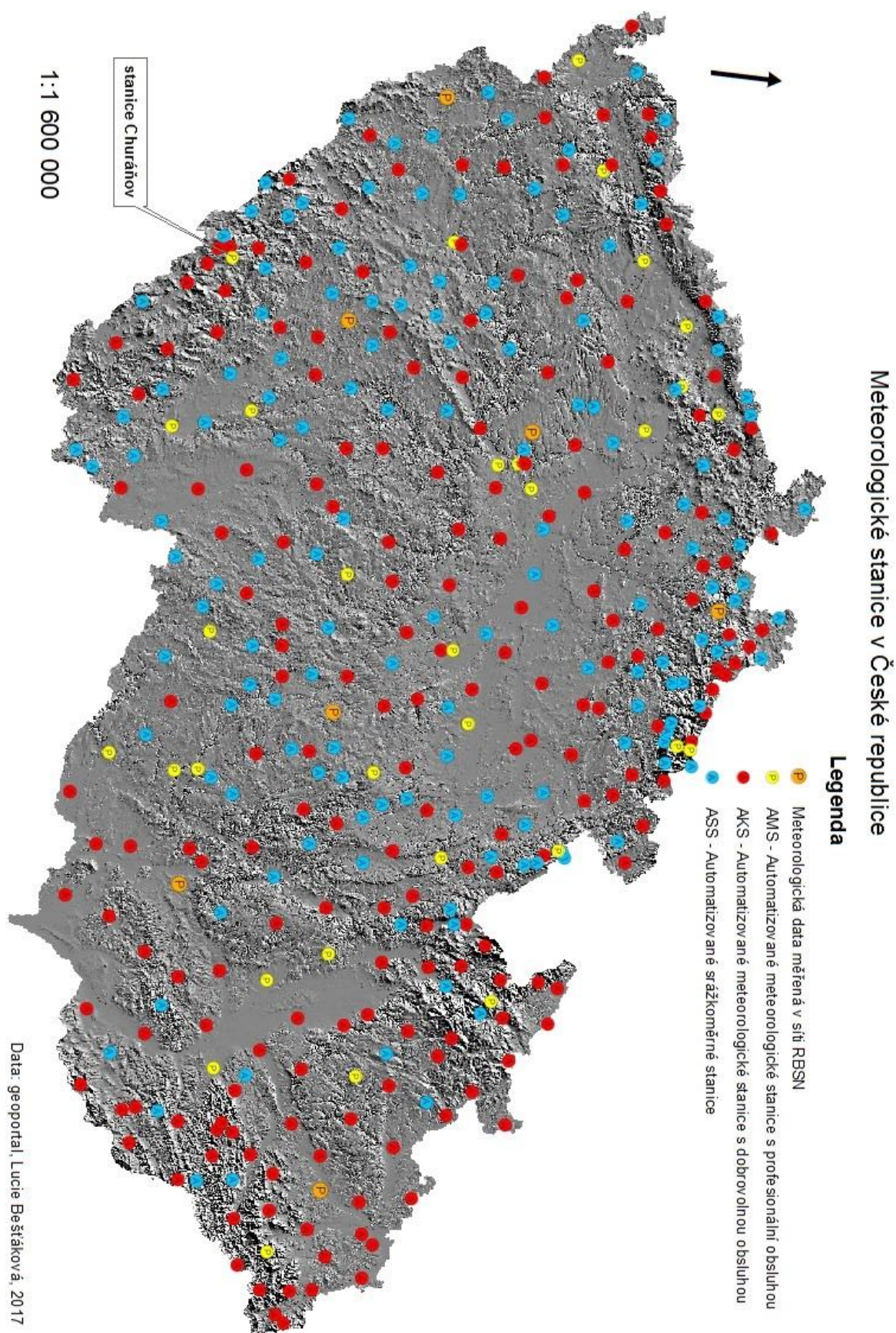
STANĚK J., BEDNAŘÍK J., 1998: Meteorologická stanice Churáňov. Silva Gabreta 2: 377-384.

VYSOUDIL M., 2013: Základy fyzické geografie I: Meteorologie a klimatologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 110 s.

WETTERZENTRALE, 2017: Archiv CFSR Reanalyse (online) [cit. 9.4.2017], dostupné z <<http://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php?map=1&model=cfsr&var=1>>.

ŽIDEK D., LIPINA P., 2003: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. Český hydrometeorologický ústav, Ostrava, 92 s.

10 PŘÍLOHY



Příloha 1: Mapa meteorologických stanic v České republice s vyznačenou stanicí Churáňov.