

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**



**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ  
A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

**TEPLOTNÍ TRENDY V POZOROVANÝCH  
KLIMATICKÝCH DATECH**

Bakalant: Eliška Pilná

Vedoucí práce: Ing. Martin Vokoun

2015

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eliška Pilná

Vodní hospodářství

Název práce

**Teplotní trendy v pozorovaných klimatických datech**

Název anglicky

**Temperature trends in observed climatic data**

---

### Cíle práce

Cílem práce je analýza teplotních trendů na vybraných meteorologických stanicích v České republice. Bude určeno, zda se v sekulárních řadách objevuje trend a jaká je jeho významnost a proměnnost v závislosti na délce časového horizontu. Předmětem diskuze je porovnání výsledků mezi jednotlivými stanicemi a v případě zjištění výskytu některých singularit ve vývoji teplot popsat možné příčiny.

### Metodika

1. Nastudování dané problematiky a sespsání rešeršní části. Výběr vhodných meteorologických stanic.
2. Analýza dat. Úprava dat pro statistické zpracování.
3. Vyhotovení lineárních trendů
4. Analýza výsledků. Popis trendů a jejich významnosti.
5. Diskuze: Příčiny změn teplot, významnost trendů

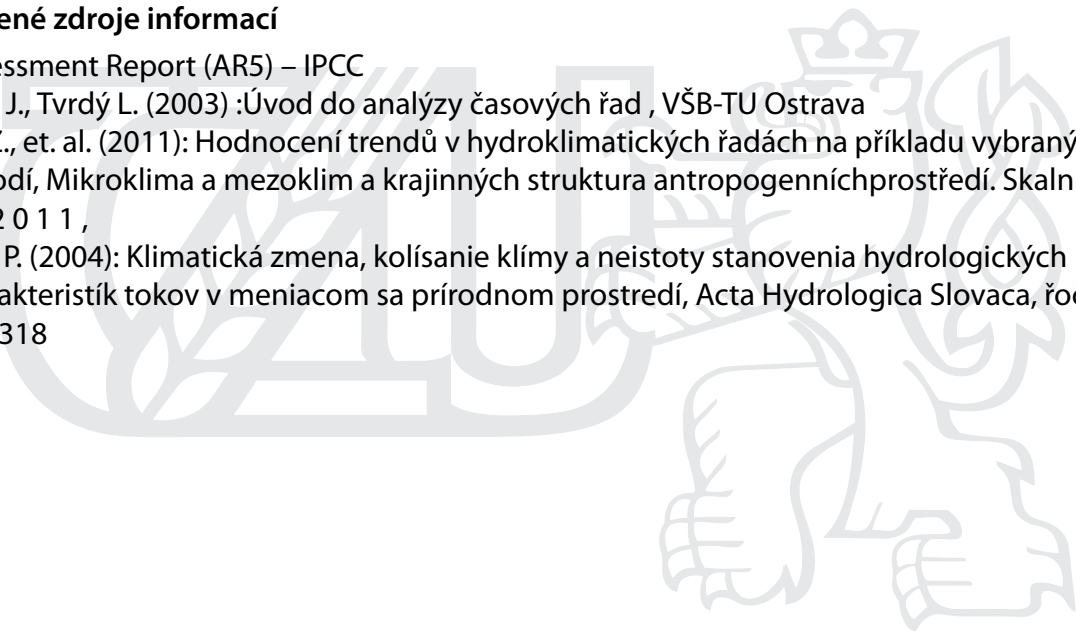
**Doporučené zdroje informací**

Fifth Assessment Report (AR5) – IPCC

Hančlová J., Tvrdý L. (2003) :Úvod do analýzy časových řad , VŠB-TU Ostrava

Kliment Z., et. al. (2011): Hodnocení trendů v hydroklimatických řadách na příkladu vybraných horských povodí, Mikroklima a mezoklim a krajinných struktura antropogenních prostředí. Skalnímlýn, 2 . – 4 . 2 . 2 0 1 1 ,

Pekárová P. (2004): Klimatická zmena, kolísanie klímy a neistoty stanovenia hydrologických charakteristík tokov v meniacom sa prírodnom prostredí, Acta Hydrologica Slovaca, roč. 5, č. 2, str. 308-318



---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/06 (červen)

**Vedoucí práce**

Ing. Martin Vokoun

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2015

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2015

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2015

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením pana Ing. Martina Vokouna a v seznamu literatury uvedla veškeré použité zdroje, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 14.4.2015

.....

Eliška Pilná

### **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Vokounovi za vedení a rady při vypracovávání bakalářské práce.

V Praze 14.4.2015

.....

Eliška Pilná

## **Název práce**

Teplotní trendy v pozorovaných klimatických datech

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá analýzou teplotních trendů na vybraných meteorologických stanicích v České republice. Práce je rozdělena do dvou částí.

První část je věnovaná historii klimatologie a meteorologie, popisu měření teploty vzduchu a charakteristice jednotlivých meteorologických stanic.

Druhá část práce je zaměřena na vlastní zpracování získaných dat při využití modelů klouzavých průměrů a lineárních trendů.

## **Klíčová slova**

Klíma, meteorologie, časová řada, analýza, teplota, trend, klouzavý průměr

**Title**

Temperature trends in observed climatic data

**Abstract**

The thesis focuses on the analysis of the temperature trends at selected meteorological stations in the Czech Republic. The thesis is divided into two main chapters.

The first part deals with the history of climatology and meteorology, air temperature measurement description and characteristics of selected weather stations.

The second part focuses on the data processing by using moving averages and linear trends models.

**Key words**

Climate, meteorology, time series, analysis, temperature, trend, moving average

## Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce.....	11
3	Úvod do klimatologie a meteorologie .....	12
3.1	Dějiny klimatu .....	12
3.2	Přístrojové měření .....	13
3.3	Objev globálního oteplování.....	14
3.4	Kolísání sluneční aktivity .....	15
3.5	Odhad důsledků globálního oteplování .....	16
3.6	Český pohled na dějiny klimatu.....	16
3.7	Globální oteplování v České republice .....	16
4	Klimatologie a meteorologie .....	17
4.1	Klimatologie .....	17
4.2	Meteorologie .....	17
4.3	Teplota vzduchu .....	18
4.3.1	Denní a roční chod teploty vzduchu .....	18
4.3.2	Teplotní stratifikace ovzduší .....	18
4.4	Klimatologické faktory .....	19
4.4.1	Atmosférická cirkulace .....	19
5	Analýza časových řad.....	21
5.1	Časová řada .....	21
5.2	Druhy časových řad.....	21
5.3	Trend .....	21
5.4	Statistika dat .....	22
5.4.1	Popisná statistika .....	22
5.4.2	Matematická statistika.....	22
6	Zkoumané a porovnávané meteorologické stanice .....	23
6.1	Stanice Brno .....	23
6.2	Stanice Lysá Hora .....	24
6.3	Stanice Milešovka.....	25
6.4	Stanice Klatovy.....	26
7	Klouzavé průměry vybraných meteorologických stanic .....	28
8	Lineární trendy pro vybrané meteorologické stanice .....	30
8.1	Brno .....	30
8.2	Lysá hora .....	30



---

8.3	Milešovka.....	31
8.4	Klatovy.....	31
9	Diskuze .....	34
10	Závěr .....	35
11	Literatura a použité zdroje .....	36

## 1 Úvod

V dnešní době je klima a vývoj klimatu velmi diskutované téma, jelikož je na klimatu a jeho změnách závislé celé lidstvo, jelikož ovlivňuje zásoby povrchové a podzemní vody. Na zásobách a kvalitě podzemní a povrchové vody se odráží jakost pěstovaných plodin a prosperování lidstva.

V několika posledních desetiletích si lidé začali uvědomovat klimatické změny a jejich dopad na lidstvo a životní prostředí a proto jsou po celém světě vynakládány nemalé finanční prostředky na pochopení klimatu obecně a zabránění negativních účinků jeho změn.

Pro pochopení klimatu kvůli jeho náročnosti je zapotřebí rozsáhlé terminologie a abstraktního myšlení pro představení si jeho procesů a principů. V tomto počínání nám v dnešní době vypomáhají výpočetní technologie a již sestavené klimatické modely. Touto uspokojivou situací se ovšem nesmíme nechat ukonejšit a musíme vynaložit další nemalé úsilí na hlubší pochopení klimatických změn a na nápravy škod vzniklých klimatickými změnami.

Z dlouhodobého pozorování klimatu je zřejmé, že i v České republice se za posledních několik desetiletí klima pomalu mění. Tyto změny nejsou tak markantní, jako v jiných částech světa. Zatím v České republice nejsou vážnější problémy se zásobami a kvalitou vody. Ale s přihlédnutím na krizové části naší planety si musíme uvědomit, že nežádoucí vlivy klimatických změn mohou postihnout i náš stát.

## 2 Cíle práce

Cílem první části této bakalářské práce bude formou rešerše sepsat a zpřehlednit problematiku klimatologie a meteorologie. Tato práce bude zpracována pro základní pochopení dané problematiky oboru.

Druhá část práce se bude zabývat analýzou teplotních trendů na vybraných meteorologických stanicích v České republice. Z těchto vybraných dat bude určeno, zda se v sekulárních řadách objevuje trend a jaká je jeho významnost a proměnnost v závislosti na délce časového horizontu. A dále porovnání výstupů z modelů.

## 3 Úvod do klimatologie a meteorologie

### 3.1 Dějiny klimatu

*„Za přírodní archivy planety Země se považují všechny přirozené sedimenty, jejichž zkoumáním přírodovědnými metodami lze dospět k závěrům o klimatických poměrech v minulosti. Objev radioaktivity přinesl další netušené možnosti pro rozvoj takového výzkumu. Fyzikální podstata spočívá v tom, že atomová jádra mnoha prvků nejsou stabilní. Ta pak při rozpadu vydávají záření. Pomocí hmotnostních spektrometrů se měří poměr mezi mateřskými a dceřinými prvky. Díky znalosti specifického poloměru přeměny lze určit stáří dané horniny. Nezbytný byl také dosažený pokrok týkající se geochemických zvláštností a bodu tání minerálů a hornin. Na základě poločasů přeměny prvků lze totiž určit stáří hornin, až dojde do jejich ztuhnutí. Tím současně dospějeme k závěrům o klimatických procesech.*

*Z hlediska dějin klimatu má velký význam izotopová kyslíková metoda, kterou vynalezl v roce 1947 americký nositel Nobelovy ceny za chemii Harold C. Urey (1893-1981). Objevitel těžké vody (deuterium) zjistil, že pomocí izotopů atomu lze vypočítat teplotu mořské vody v minulých dobách. Mořská voda totiž obsahuje dva vyhraněné typy atomů kyslíku o různém počtu neutronů  $^{18}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}$ . Oba jsou zastoupeny v organismech mořských živočichů ve specifickém poměru v závislosti na teplotě. Podíl těžkých izotopů kyslíku v průběhu usazování v organismu s přibývajícím chladem narůstá. Tato metoda nejprve přivedla revoluci v analýze sedimentů a vedla k rozšíření techniky hlubinných mořských vrtů, jež umožnila senzační výsledky v oblasti zkoumání ledové doby.“ (Behringer 2010).*

Další metoda určování klimatu je získání ledovcového jádra na zemských pólech a velkých ledovcích, jenž pokrývaly na konci dvacátého století stále ještě 10% zemské souše. Dánský geofyzik Willi Dansgaard v 60. letech zjistil, že touto technikou lze zjišťovat relativně přesné informace o dlouhodobém vývoji klimatu. Tyto analýzy sahají potenciálně až k nynější době ledové. Na jádrech ledovců je možno pozorovat roční usazeniny podle střídajících se tmavších a světlejších vrstev. Zkoumáním izotopů kyslíku poté možno zjistit teplotu v tehdejší době. Bublínky plynu uzavřené v ledu poskytují údaje o jeho složení. Z prachu v ledu je možné zjistit stáří organických látek pomocí radiokarbonové metody. K prachu se řadí i vulkanický popel. O sopečné činnosti se získávají bližší informace pomocí analýzy síry. Zkoumání ledovcových jader se provádělo už po dlouhou dobu a to hlavně při výzkumu dvou největších

ledovců na Zemi – antarktických a grónských. Již v šedesátých letech analýzou ledovcových jader, vyvrtaných výzkumníky projektu severogrónského ledovcového vrtu, bylo možné poměrně detailně popsat klima za posledních 125 000 let. O dalších 30 km dále byl proveden vrt do ledovcového jádra týmem z projektu grónského ledovcového pokryvu. Tento vrt umožnil popis klimatu až na uplynulých 200 000 let. Na stanici Vostok ledovcové jádro, odebrané Francouzsko - Ruskou antarktickou expedicí, ukázalo vývoj minulého období až na období 420 000 let. Roku 2004 bylo vyvrtáno dosud nejhluběji ležící jádro ledovce. Jádro z hloubky asi 3270 metrů je přibližně 800 000 let staré a poskytuje informace o 8 cyklech ledových dob. Změny klimatu za posledních 40 000 – 100 000 let můžeme sledovat také pomocí metody počtu varv, čili vyhodnocení vrstev usazenin jílových sedimentů – umožňuje popsat jednotlivé roky (Behringer 2010).

### 3.2 Přístrojové měření

*„Na počátku přístrojových měření ještě neztratilo význam vypočítávání nepřímých údajů z povětrnostního pozorování, neboť první měření se prováděla ad hoc a na základě jiné stupnice než později. V roce 1957 navrhl Galileo Galilei teploměr pro měření teploty vzduchu. Jeho žák Jan Evangelista Torricelli (1608 - 1647) v roce 1943 vynalezl tlakoměr pro měření tlaku vzduchu. Za vlády velkovévody Ferdinanda Medicejského (1610 - 1670) v padesátých letech sedmnáctého století vznikla první mezinárodní síť měřících míst, jimi získané údaje však lze jen stěží využít. Byly tehdy ve Florencii, Bologni, Parmě, Miláně, Innsbrucku, Osnabrücku a Paříži, od roku 1659 také v Londýně (Royal Society for the Advancement of Learning), jejíž první tajemník Robert Hooke (1635 - 1703) dal zaznamenávat vedle teploty a tlaku vzduchu také sílu větru, vlhkost oblačnost a výskyt mlhy, déšť, krupobití a sněžení. Na jeho popud téměř padesát let sbíral pařížský lékař Louis Morin (1635 - 1715) třikrát denně přesné údaje o stavu počasí. Nejctižádostivější pokus o zřízení mezinárodní sítě měřících stanic zahájil v raném novověku falcký kurfiřt Karl Theodor (1724 - 1799) zřízením Mannheimské meteorologické společnosti (Societas Meteorologica Palatina), která shromažďovala údaje ze stanic od Špicberk po Řím, a od La Rochelle po Moskvu.*

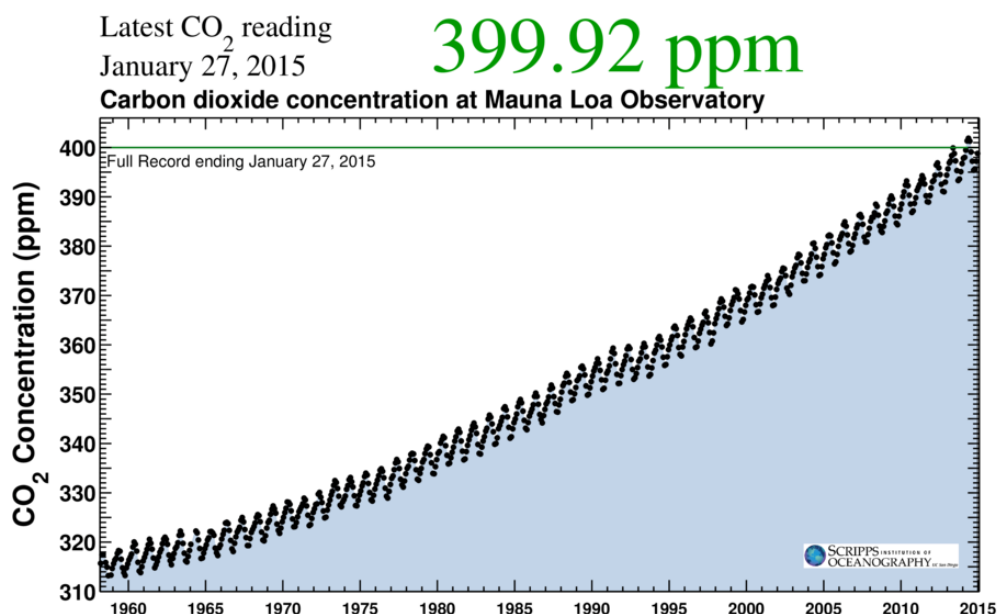
*Přístrojových měření se začalo ve větší míře využívat teprve během 19. století. Role průkopníka tu připadla – vzhledem k jeho rozšíření po celém světě – britskému impériu. Za života královny Viktorie (1819 - 1901) se shromažďovala data od Evropy po Indii až do Austrálie. Možnost rychlejšího spojení díky elektrickému telegrafu*

*a podmořskému kabelu z Anglie do Spojených států amerických v roce 1866 usnadnila jejich celosvětový přenos a využívání. Tehdy ale bylo lidstvo stále ještě na míle vzdáleno celosvětové rovnoměrné síti měřících stanic, jak ji známe od poslední třetiny 20. století a jejíž údaje se vysílají přes družice. Kromě přízemní teploty vzduchu hlavních měst a hodnot pevných meteorologických stanic byla tehdy získána první data o teplotě oceánských vod. Teprve od konce šedesátých let se z večerní předpovědi počasí dovídáme o jeho vývoji pomocí satelitů. A teprve od konce 20. století nová generace počítačů umožňuje výpočet klimatických modelů.“* (Behringer 2010).

### 3.3 Objev globálního oteplování

V sedmdesátých letech bylo znovuobjeveno globální oteplování. Znovuobjeveno, protože již počátkem 19. století si francouzský fyzik Jean - Baptiste Joseph, baron de Fourier (1768 - 1830) položil otázku, na čem je založena teplota Země. Poznal jaký význam má atmosféra, kterou přirovnal ke skleníku, protože umí zadržet část tepla, které přináší sluneční paprsky. V roce 1859 objevil irský fyzik John Tyndall (1820 - 1893), objevil takzvané skleníkové plyny. Zjistil, že v případě kyslíku a dusíku obsažených ve vzduchu a propouštějících sluneční paprsky, oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) toto neumožňuje. Z tohoto odvodil, že to způsobuje oteplování Země. Roku 1896 Svante August Arrhenius (1859-1927), nositel Nobelovy ceny za chemii, upozornil na problém s rostoucími emisemi  $\text{CO}_2$ , ke kterým dochází při industrializaci. Arrhenius vznesl na jednoho ze svých kolegů, jestli je možné předpokládat větší změnu ve složení atmosféry. Arvid Högbom se začal zajímat o výpočet hodnoty množství  $\text{CO}_2$  vznikajícím spalováním uhlí v průmyslu i v domácnostech. Zjistil, že zdvojnásobení obsahu  $\text{CO}_2$  v atmosféře povede ke zvýšení teploty zemského povrchu o 5-6°C. K žádnému znepokojení ale nedospěl a zhodnotil situaci jako vývoj průběhu tisíce let. Věřil v budoucnost plnou technických vymožeností a pokroků, které všechny tyto problémy vyřeší. Za objevitele globálního oteplování se ale rozhodně nepovažoval. Ve 30. letech dvacátého století se znovu probudil zájem o trend růstu průměrných teplot. V roce 1938 se k zabývání globálním oteplováním vrátil Guy Steward Callendar. Roku 1956 Gilbert Plass pomocí klimatického modelu vypočítal teorii klimatické změny v souvislosti s  $\text{CO}_2$ . Důležitým článkem této problematiky byl bezesporu Charles Keeling. Ten prováděl každoroční měření kolísání koncentrace  $\text{CO}_2$  v atmosféře. Základnou pro měření mu byla Mauna Loa na Havajských ostrovech, kde není zatížení znečištěním životního prostředí a poskytuje proto obraz

tímto nezatížen. Ukázalo se, že koncentrace CO<sub>2</sub> kontinuálně rostla. Takzvaná Keelingova křivka (Obr. 1) je dnes jedním z nejdůležitějších grafů, který zobrazuje jak růst množství tohoto skleníkového plynu v atmosféře (Behringer 2010).



Obr. 1: Keelingova křivka zobrazující růst množství skleníkových plynů v atmosféře

Pro představu byla na počátku Keelingovy řady měření koncentrace CO<sub>2</sub> přibližně 315 ppm (ppm – počet sledovaných částic na jeden milion ostatních částic), do roku 1970 vystoupala na 325ppm a v roce 1980 byla 355ppm. V roce 1995 byla hodnota již na 360ppm. Roku 2005 byla zaznamenána hodnota 380ppm.

### 3.4 Kolísání sluneční aktivity

Kolísání sluneční aktivity se věnuje pozornost ve světové i domácí vědecké sféře od poloviny 20. století. Minimální sluneční aktivity se vyskytují současně s malou dobou ledovou. V dobách meziledových je sluneční aktivita daleko vyšší, ale i tak pravidelně kolísá se svou aktivitou. Sluneční cykly se zpravidla vyskytují po 11 - ti letech, ovšem jsou i známy devítileté či čtrnáctileté periody. Změny ve sluneční aktivitě na jedné amplitudě mohou být značné a tím pádem do značné míry ovlivňují klima na Zemi. (Pekárová 2004).

### 3.5 Odhad důsledků globálního oteplování

Politické a společenské následky globálního oteplování budou značné. Dopad bude mít na vývoj fauny tak i na situaci jednotlivých zemí. Mnohým se bude dařit lépe, jiné utrpí.

### 3.6 Český pohled na dějiny klimatu

Problematika globálního oteplování je velmi frekventovanou oblastí. Tato oblast je hojně diskutována mezi odbornou i laickou veřejností. Pozornost se věnuje hlavně otázce jaký vliv na oteplování má působení člověka. Mezivládní panel pro klimatické změny (IPCC) ve 4. zprávě z roku 2007 uvádí, že globální teplotní vzestup na Zemi za posledních 100 let dosáhl 0,74 °C a že z 90 % byl vzestup podmíněn antropogenně. Meteorologické údaje, které byly získány z přístrojových měření na meteorologických stanicích jsou nejlepším zdrojem pro klimatologické zpracování. V českých zemích jsou počátky meteorologických měření proti Itálii nebo západní Evropě mladšího data a jejich počátek je až v 18. století. První výsledky o minimální teplotě jsou ze zimy 1708 / 1709 z Karlových Varů a Prahy. První souvislá měření jsou k dispozici od roku 1719 do roku 1720 ze Zákup.

### 3.7 Globální oteplování v České republice

Kolísání teplot na jednotlivých stanicích je ovlivněno místními faktory. Proto pro globální posouzení je třeba počítat teplotní řady pro severní a jižní polokouli a Zemi jako celek. Tyto řady lze získat průměrováním dat získaných ze všech stanic po celém světě. Tyto řady začínají od roku 1850 od tohoto roku lze získat kvalitní prostorové pokrytí. Na základě patrného vzestupného teplotního trendu lze mluvit o globálním oteplování. Rozdíly teplot na severní a jižní polokouli můžeme přisuzovat poměru zastoupení pevniny a oceánů.



## 4 Klimatologie a meteorologie

Tyto dvě oblasti patří k nejstarším vědám přírody. Jejich vývoj souvisel hlavně s využitím pro běžné životní potřeby, jako pro posouzení oblasti a vhodnosti k založení měst a osad, v zemědělství, v mořeplavectví (Kemel).

### 4.1 Klimatologie

Klimatologie je věda zabývající se dlouhodobým chodem počasí – nauka o podnebí. Úkolem klimatologie je studovat jak se vyvíjelo podnebí na naší Zemi, klasifikovat podnebí vymezovat klimatické oblasti, studovat historii klimatu a geologie (kolísání a změny klimatu). To vše má v dnešní době sloužit k určení budoucího vývoje změn klimatu na Zemi, který je ovlivněn činností člověka (Kemel).

Informace o klimatu na Zemi v minulosti získáváme z tzv. proxyindikátorů, jako jsou usazeniny ze dna oceánů a jezer, z ledovcových vrtů atd ([www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)).

### 4.2 Meteorologie

Meteorologie je nauka o jevech v atmosféře (plynný obal Země): tlak, teplota, vlhkost vzduchu, oblačnost, intenzita slunečního záření a podobně. Tato věda při studiu fyzikálních poznatků. Dělí se na dynamickou meteorologii – studuje dynamiku a termodynamiku atmosféry. Fyzikální meteorologie studuje fyziku oblaků, záření, optické jevy, elektrické jevy, tvorbu srážek. Aplikovaná meteorologie zahrnuje například meteorologii zemědělskou, leteckou a další (Kemel).

Atmosféra sahá do výšky 30 – 40 tisíc km a je k Zemi poutána gravitační silou, proto je účastna na zemské rotaci. Její složení je: převážně dusík (78%) a kyslík (21%), vodní páry, další plyny obsahuje v malém množství (argon, oxid uhličitý). Lidským působením, a to spalováním uhlí se do ovzduší dostávají škodlivé sloučeniny a to nejvíce kysličník siřičitý. Atmosféra dále obsahuje kapalné i pevné částice, pevné mají různý původ (kosmický prach, prach pozemského původu, ledové krystalky - vznikají kondenzací a sublimací par, mikroorganismy – pyly, houbové spory). Celková hmotnost atmosféry je  $5,137 \cdot 10^{18}$  kg.

## 4.3 Teplota vzduchu

### 4.3.1 Denní a roční chod teploty vzduchu

Průběh teploty v čase je úzce spjatý se sluncem, které je hlavním faktorem dění v atmosféře. Teplota vzduchu po celý den závisí na slunečním záření a teplotě půdy. Maximální teploty se u nás během dne pozorují ve 14 hodin v lednu a v 15 hodin v červenci, což znamená asi 2-3 hodiny za sluneční kulminací. Hodnota minimální teploty je při východu slunce. Denní amplituda teploty vzduchu, což je rozdíl maximální a minimální teploty za den (určuje se teploměrem maximo minimálním), je menší oproti amplitudě teploty povrchu půdy. Nejvyšší hodnoty dosahuje amplituda v oblasti kolem rovníku, s větší vzdáleností se zmenšuje. Nad souší je amplituda vyšší než nad oceány a moři. Například na Sahaře dosahuje rozdíl extrémních teplot v průběhu dne 30°C a více.

Roční amplituda teplot vzduchu se určuje z průměrné měsíční teploty nejstudenějšího a nejteplejšího měsíce daného roku. Roční amplituda na rozdíl od té denní vzrůstá od rovníku k pólům. Snižuje se od vnitrozemí směrem k pobřežím a oceánům. Při nárůstu nadmořské výšky roční amplituda také klesá. Roční chod teploty je narušován nepravidelným přesunem vzdušných hmot, vznikem front. Toto lze pozorovat například na jaře, kdy je pozvolné zvyšování teplot narušeno přílivem studeného vzduchu (Kemel).

### 4.3.2 Teplotní stratifikace ovzduší

*„Významnou roli při procesech, odehrávajících se v atmosféře hraje teplotní zvrstvení ovzduší. Již bylo řečeno, že nejteplejší vzduch je pozorován v blízkosti povrchu zemského. Se stoupající výškou teplota vzduchu zpravidla klesá, intenzita poklesu teploty se vyjadřuje vertikálním teplotním gradientem. Nejčastěji se udává ve stupních Celsia na 100 m výškového rozdílu. Je tedy roven:*

$$a = \frac{dT}{dz} * 100 \left[ \frac{C}{100m} \right]$$

*a - vertikální gradient teploty*

*dT - změna teploty [°C]*

*dz - změna výšky [m]*

*Hodnota vertikálního teplotního gradientu je proměnlivá jednat během dne vlivem různých meteorologických situací (tedy závislost časová), závislá na povaze terénu a závislá na výšce nad terénem. V důsledku neustálých změn v teplotě vzduchu, stálého pohybu atmosféry se mění i její teplotní zvrstven. Nicméně lze určit průměrnou hodnotu vertikálního teplotního gradientu v troposféře – je rovna asi 0,651C/100m. Vertikální gradient teploty bývá značně odlišný pro přízemní vrstvu ovzduší a pro vyšší vrstvy. Zvláště pro vrstvu o tloušťce do 1m, ležící bezprostředně na povrchu země při poledním maximálním zahřátí gradient dosahuje značné hodnoty – až 10°C/m i více. Za jasného slunečního dne jsou teplotní rozdíly větší než ve dnech se zataženou oblohou. S nárůstem výšky gradient klesá, až dosáhne hodnoty 0,5 - 1°C.“ (Kemel).*

## 4.4 Klimatologické faktory

### 4.4.1 Atmosférická cirkulace

Teplota vzduchu se měří třikrát denně pravidelně v termínových měřeních tj. v 7, 14 a 21 hodin místního času. Výpočet průměrné denní teploty provedeme následujícím výpočtem:

$$t_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2 * t_{21}}{4}$$

$t_d$  – průměrná denní teplota vzduchu

$t_{7,14,21}$  – teploty měřené v 7, 14, 21 hodin

Jako následující krok po vypočtení průměrných denních teplot vypočítáme průměrné měsíční teploty a z nich pak také průměrné roční teploty. Tyto hodnoty slouží ke zjištění dlouhodobých průměrů za delší období (10, 20, až x let). Pro určení maximálních a minimálních hodnot slouží extrémové teploměry a měří se v 21 hodin. Tyto hodnoty potřebujeme ke zjištění denní amplitudy teploty - rozdíl maximální a minimální teploty.

Pro daná místa se vyhodnocuje průměrné datum nástupu a konce charakteristických denních průměrných teplot vzduchu a průměrná doba jejich trvání.

Tím se rozumí:

Průměrná denní teplota 0°C - nástup nebo konec zimy

Průměrná denní teplota 5°C – počátek a konec širšího vegetačního období

Průměrná denní teplota 10°C – počátek a konec hlavního vegetačního období

Průměrná denní teplota 15°C – počátek nebo konec letního období

Z měření můžeme určit např. i charakteristické dny:

Tropický den –  $t_{\max} \geq 30 \text{ °C}$

Letní den -  $t_{\max} \geq 25 \text{ °C}$

Ledový den -  $t_{\max} \leq - 0,1 \text{ °C}$

Mrazový den - teplota ve výšce 2 m nad zemí klesne pod 0°C,  $t_{\min} \leq - 0,1 \text{ °C}$

Arktický den - ve výšce 2 m na zemí nestoupne t nad - 10°C,  $t_{\max} \leq - 10 \text{ °C}$

(Kemel)

## 5 Analýza časových řad

### 5.1 Časová řada

Časová řada jsou chronologicky uspořádaná data. V našem případě se bude jednat o data meteorologická, konkrétně průměrné měsíční teploty. Časové řady myslíme statistické řady, řady které jsou nejisté, to znamená, že se nedají popsat nějakým matematickým vzorcem.

### 5.2 Druhy časových řad

Okamžikové – ukazatel vztažený k určitému okamžiku

Intervalové – velikost ukazatele je závislá na délce intervalu, při němž je sledován

K prvotní analýze časové řady slouží spojnicový graf. Pro tyto grafy vodorovná osa znázorňuje časovou proměnnou a svislá osa hodnoty ukazatele časové řady. Spojnicový graf může obsahovat i několik řad, měřítko svislé osy zůstává stejné.

Cílem analýzy časové řady je určení modelu, podle kterého jsou vygenerována data. V historii se sledovaly nedřívě například řady astronomického a meteorologického pozorování.

Volba metody analýzy časových řad závisí na mnoha faktorech: účel analýzy, typ časové řady.

### 5.3 Trend

Trend zobrazuje dlouhodobé změny v chování časové řady. Růst, pokles, konstantní úroveň. Je ovlivňován faktory, které působí ve stejném směru. Lineární trend vyjadřuje závislost času podle lineárního modelu a koeficient, který je nejčastěji odhadnut metodou nejmenších čtverců. Výsledné vyhodnocení lineárních trendů je z velké míry závislé na zvolených parametrech modelu. Klouzávý průměr je tvořen prostým průměrem sousedních hodnot dat pro zvolenou jednotku času. Výsledná hodnota klouzávého průměru může být umístěna v daném intervalu na jeho začátek, střed, nebo konec.

## 5.4 Statistika dat

Statistiku můžeme rozdělit na popisnou statistiku a matematickou statistiku.

### 5.4.1 Popisná statistika

Popisná statistika zjišťuje a sumarizuje informace, zpracovává je ve formě grafů a tabulek. Určuje jejich číselné charakteristiky (průměr, rozptyl percentily, rozpětí, atd.)

### 5.4.2 Matematická statistika

Matematická statistika se zabývá teoretickým rozbohem a návrhem metod k získání z analýzy empirických dat obsahujících nahodilost. S využitím teorie pravděpodobnosti se snaží určit vlastnosti rozdělení pozorovaných dat. Chápaných jako náhodné veličiny a systematicky plánovat sběr dat pro co nejefektivnější odhad.

Mezi základní statistické vyhodnocení dat patří určení minima, maxima, mediánu, průměru, 1. kvantilu a 3. kvantilu (Tab. 1).

```
> summary(BRNO)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-9.200  1.975   9.200   8.932 16.120  23.600
> summary(KLATOVY)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-11.400  1.975   8.000   8.148 14.800  21.900
> summary(LYSA_H)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-13.900 -3.125   2.800   2.870  9.200  17.100
> summary(MILESOVKA)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-12.300 -0.900   5.700   5.471 12.000  20.600
```

Tab. 1: Statistika vybraných stanic

Min. – Minimum určuje nejnížší hodnotu v dané časové řadě

1st Qu. – 1. kvantilu odpovídá hodnota po seřazení časové řady vzestupně a jedná se o prvek nacházející se na 25% délky časové řady

Median – prostřední hodnota vzestupně seřazené časové řady

Mean – průměr časové řady

3rd Qu. – 3. kvantilu odpovídá hodnota po seřazení časové řady vzestupně a jedná se o prvek nacházející se na 75% délky časové řady.

Max. – Maximum určuje nejvyšší hodnotu v dané časové řadě.

## 6 Zkoumané a porovnávané meteorologické stanice

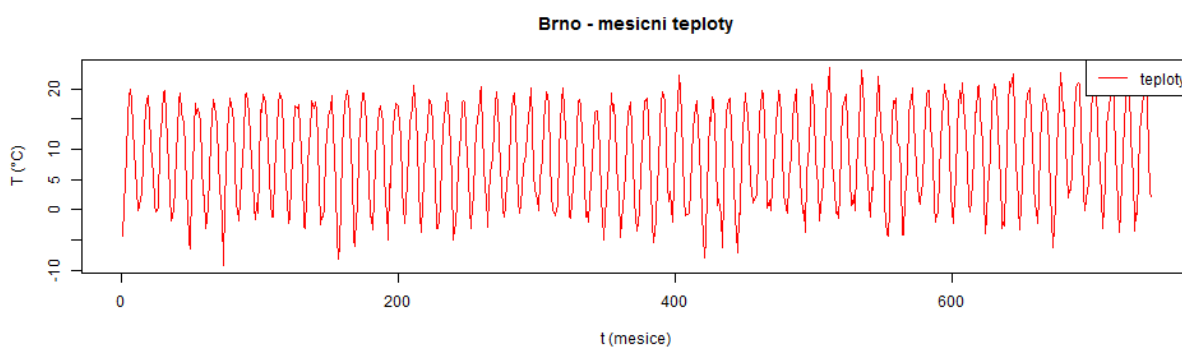
### 6.1 Stanice Brno

Brno leží na soutoku řek Svatky a Svitavy na jihovýchodě České republiky. Stanice Tuřany, Žabovřesky a Troubsko měřily staničními teploměry, které byly umístěny v meteorologické budce na ve výšce 2m nad terénem. Měřila se také maximální a minimální denní teplota vzduchu maximo-minimálními teploměry. Postupně byly tyto teploměry nahrazeny automatickými měřícími systémy od firmy Vaisala – kombinovaný teplotně - vlhkostní snímač. (Klima Brna – víceúrovňová analýza městského klimatu (Petr Dobrovolný a kol.).

V Tab. 2 je uveden pro přehled počet ledových, arktických a mrazových dnů průměrně za rok.

Brno	Průměr/rok
Počet ledových dnů	32
Počet arktických dnů	1
Počet mrazových dnů	102

**Tab.2:** Brno - Průměrný roční počet ledových, arktických a mrazových dnů.



**Graf 1:** Brno – měsíční teploty

## 6.2 Stanice Lysá Hora

Meteorologická pozorování na vrcholu Lysé hory. Nejvyšší vrchol Moravskoslezských Beskyd - 1323 m n. m. Denní měření meteorologických prvků, jako množství spadlých srážek, výška nového vrstvy sněhu, celková výška sněhové pokrývky, teplota vzduchu, bylo zahájeno 15.7.1897. Záznamy byly vedeny do srážkoměrného výkazu. Pozorovatelé byly nájemníci Albrechtovy chaty, takže jak se měnili nájemníci měnili se i pozorovatelé a tomu odpovídala kvalita pozorování. V roce 1918 se začaly naměřené údaje zasílat do Státního ústavu meteorologického v Praze. V průběhu války bylo měření prováděno také německými vojáky. V roce 1947 bylo zahájeno řádné pozorování, jehož data byla zasílána na ústředí.,

Roku 1954 byla postavena nová budova meteorologické stanice. Dne 6.10.1954 bylo zahájeno měření a to pravidelné, kdy se sloužilo od 7 do 21 hodin. Výbava byla rozšířena například o anemograf (přístroj sloužící měření a zaznamenávání rychlosti a směru větru), nebo o váhový sněhoměr (slouží k měření množství vody ve sněhové pokrývce – vyjadřujeme v milimetrech).

Od roku 1969 byl spuštěn 24 - hodinový provoz. Střídalo se v něm 5 pozorovatelů. V roce 2011 zaveden provoz kombinovaný, kdy v noci nebylo třeba lidské obsluhy a počasí bylo zaznamenáváno automatickými čidly. Snížen počet pozorovatelů na 4. Od roku 1990 byl spuštěn dálkopis, od druhé poloviny roku jsou k předávání a zpracování dat využívány počítače. Roku 2005 se v dalších letech byla nainstalována kamera na sledování bolidů (jasnější meteor) do zahrady meteorologické stanice Lysá hora. V roce 1996 na střechu bylo nainstalováno automatické větroměrné čidlo. Další automatická čidla přibyla v roce 1998 a k nim i počítač na měření a zpracování meteorologických dat. Automaticky se tedy měří teplota, tlak a vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru, srážky a délka slunečního svitu. Roku 2005 byl nainstalován senzor počasí PWD22 - Automatizovaný meteorologický pozorovací systém. Lysá hora je jedno z nejdeštivějších míst u nás, za rok spadne přibližně 1460mm srážek. Nejdeštivější je bezesporu červenec, nejméně deštivý pak únor.

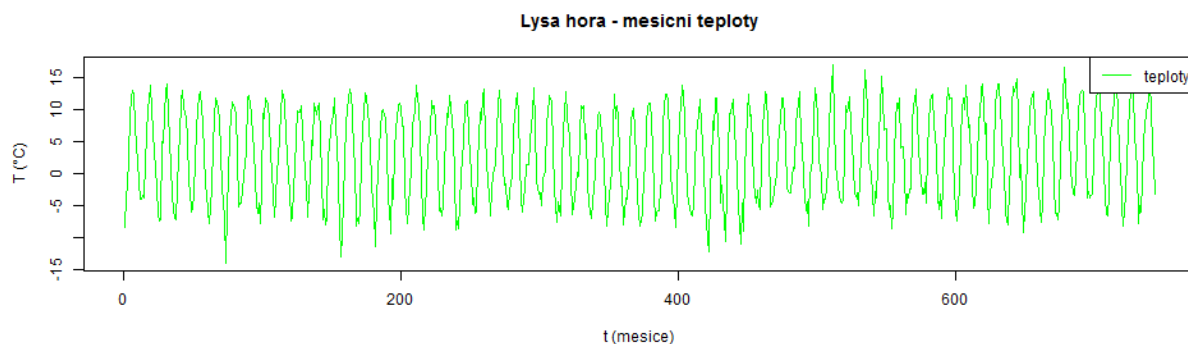
V průměru na Lysé hoře sněží asi 108 dnů v roce. Alespoň 1cm sněhu zde leží cca 171 dní. Vlhkost vzduchu na Lysé hoře je průměrně 84%, v zimě až 90%, v létě i pod 80% ([www.lysahora.cz/](http://www.lysahora.cz/)).

V Tab. 3 je uveden pro přehled počet ledových, arktických a mrazových dnů průměrně za rok (Lipina a kol.)



Lysá hora	Průměr/rok
Počet ledových dnů	101
Počet arktických dnů	7
Počet mrazových dnů	179

**Tab.3:** Lysá Hora - Průměrný roční počet ledových, arktických a mrazových dnů.



**Graf 2:** Lysá Hora – měsíční teploty

### 6.3 Stanice Milešovka

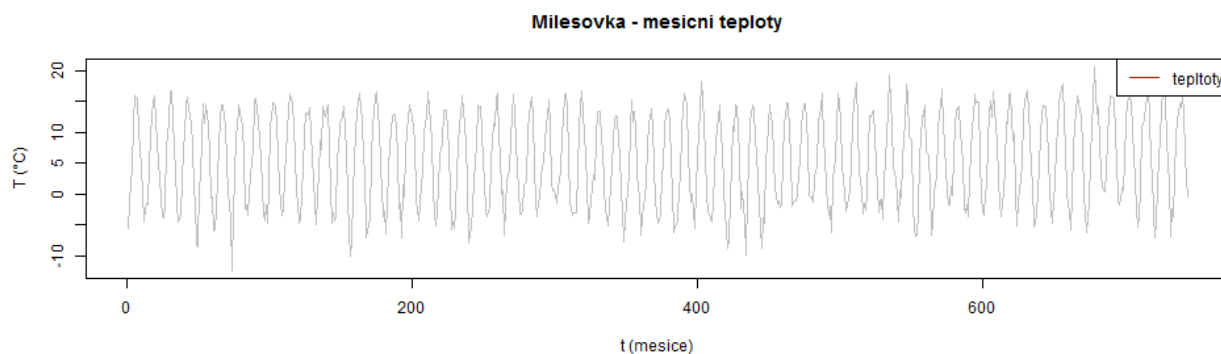
Nachází se na nejvyšším vrcholu Českého středohoří v nadmořské výšce 837m. Observatoř na Milešovce započala v roce 1903. Materiál pro stavbu byl použit z velké části místní, a to přímo z vrcholu Milešovky, odtěžený znělec. O rok později byla stavba dokončena. Budova observatoře je doplněna 18m vysokou věží s vyhlídkovým ochozem. Od roku 1905 probíhá na observatoři pravidelné meteorologické měření s výjimkou přestávek, a to v roce 1917 a v průběhu 2. světové války. Roku 2007 byla Milešovka rozsáhle rekonstruována, zateplení, oprava interiéru, fasády a podobně. Přimo v observatoři je také muzeum, kde jsou vystaveny nejstarší přístroje. Od roku 1905 do roku 1957 se měřilo v základním klimatických časech, a to v 7, 14 a 21 hodin. Od roku 1957 se prováděla měření po celých 24 hodin a to v časech 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 a 21 hodin. Od roku 1998 probíhá měření každou hodinu. Od roku 1998 v červenci byla observatoř vybavena automatikou stanicí firmy Vaisala. Tou je měřena teplota, tlak a relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru, srážky, délka trvání slunečního svitu, výška základny oblačnosti. Od tohoto roku je také Milešovka specializována na chemismus a fyzikální vlastnosti srážek, které se usazují. V období jaro až podzim se odebírají vzorky vody z nízké oblačnosti. V zimě

vzorky námrazy. Vzorky jsou poté podrobeny chemické analýze, nejčastěji pomocí optických přístrojů ([www.ufa.cas.cz/](http://www.ufa.cas.cz/)).

V Tab. 4 je uveden pro přehled počet ledových, arktických a mrazových dnů průměrně za rok (R. Brázdil a kol.).

Milešovka	Průměr/rok
Počet ledových dnů	1
Počet arktických dnů	18
Počet mrazových dnů	149

Tab. 4: Milešovka - Průměrný roční počet ledových, arktických a mrazových dnů



Graf 3: Milešovka – měsíční teploty

## 6.4 Stanice Klatovy

Západočeské město ležící asi 40 km jižně od Plzně.

V Tab. 5 je uvedeno pro přehled počet ledových, arktických a mrazových dnů průměrně za rok.

Klatovy	Průměr/rok
Počet ledových dnů	30
Počet arktických dnů	1
Počet mrazových dnů	105

Tab.5: Průměrný roční počet ledových, arktických a mrazových dnů.

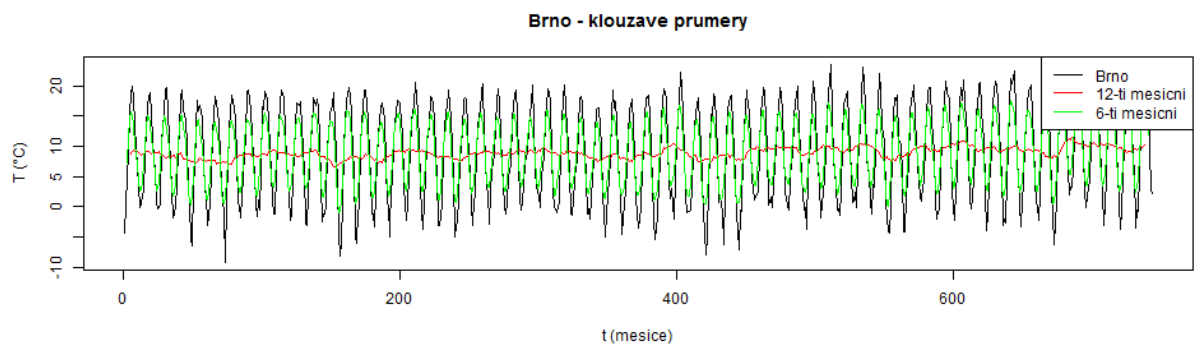


**Graf 4:** Klatovy – měsíční teploty

## 7 Klouzavé průměry vybraných meteorologických stanic

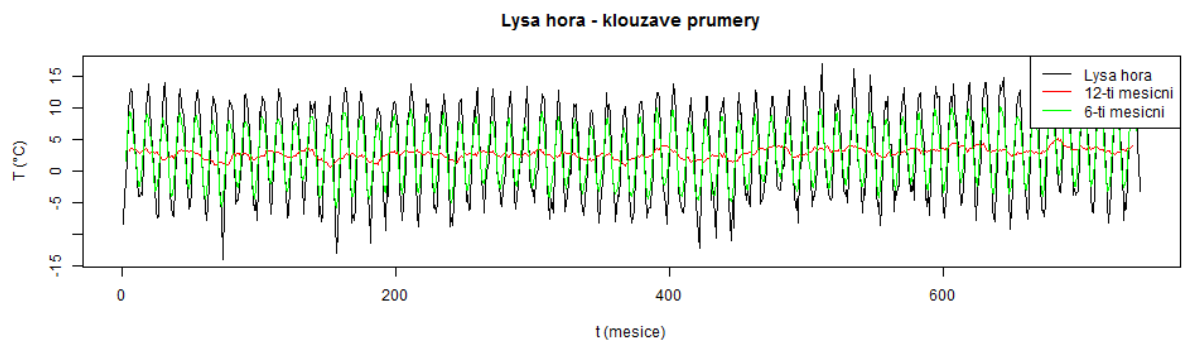
Klouzavé průměry teploty byly zvoleny v kroku 12 měsíců a 6 měsíců. Z grafů je patrné, že čím vyšší krok, tím je linie více vyhlazena a nejsou tak markantní rozdíly mezi minimálními a maximálními hodnotami.

Z klouzavých průměrů pro meteorologickou stanicí Brno (Graf 5) je patrné, že ve zvoleném období časové řady nejsou pozorovány větší výkyvy teplot.



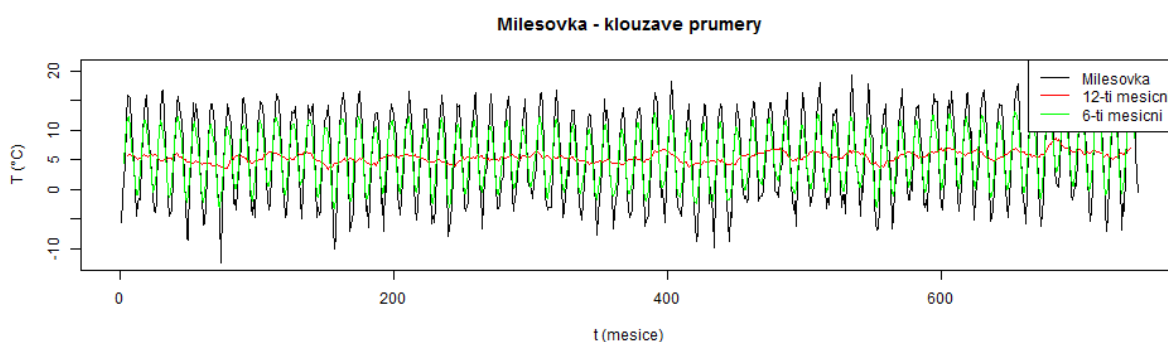
**Graf 5:** Brno – klouzavý průměr

Z klouzavých průměrů pro meteorologickou stanicí Lysá Hora (Graf 6) je patrné, že ve zvoleném období časové řady nejsou pozorovány větší výkyvy teplot.



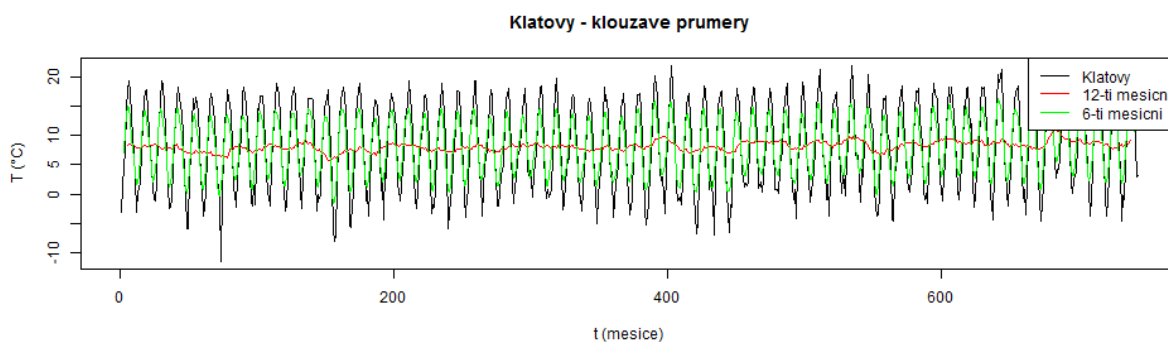
**Graf 6:** Lysá hora – klouzavé průměry

Z klouzavých průměrů pro meteorologickou stanicí Milešovka (Graf 7) je patrné, že ve zvoleném období časové řady nejsou pozorovány větší výkyvy teplot.



**Graf 7:** Milešovka – klouzavé průměry

Z klouzavých průměrů pro meteorologickou stanicí Klatovy (Graf 8) je patrné, že ve zvoleném období časové řady nejsou pozorovány větší výkyvy teplot.



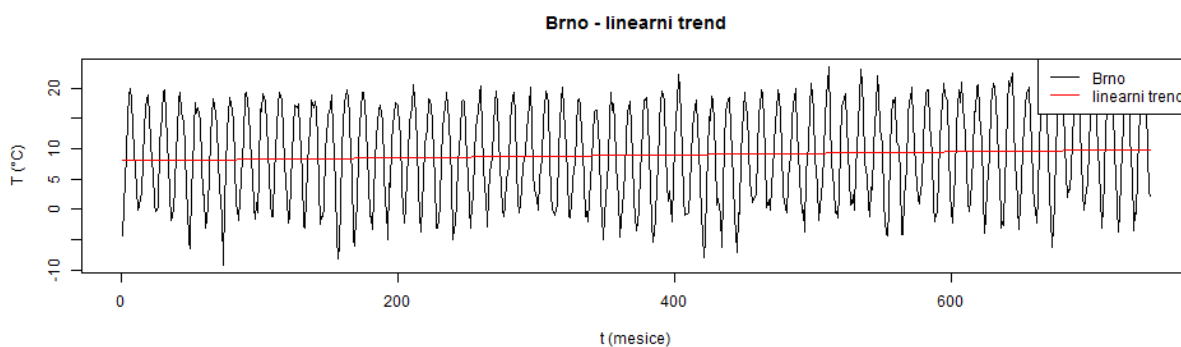
**Graf 8:** Klatovy – klouzavé průměry

## 8 Lineární trendy pro vybrané meteorologické stanice

Lineární trendy reprezentují, jak by se zvyšovala teplota při konstantním růstu, který je patrný z grafů. Jelikož nebyla pozorována žádná vyšší odchylka v naměřených datech, byl lineární trend zobrazen pro celou datovou řadu.

### 8.1 Brno

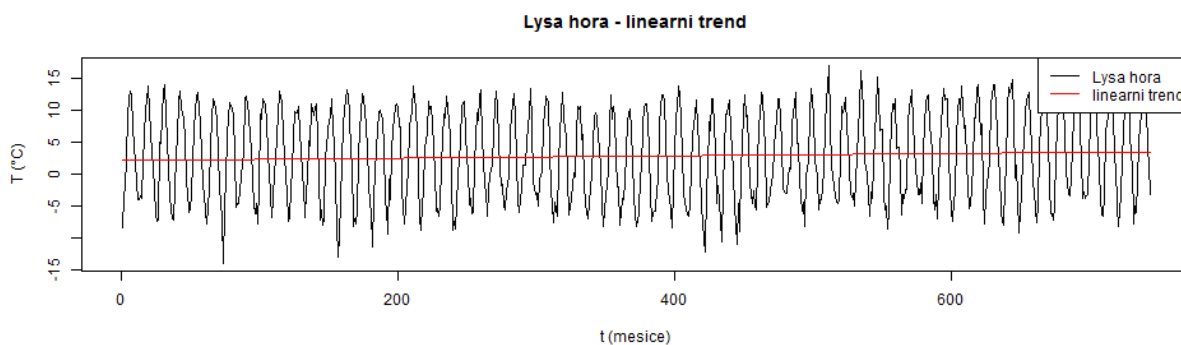
Z výstupu lineárního trendu pro meteorologickou stanici Brno (Graf 9) jsou patrné změny teplot za zvolený časový úsek, což je důkazem určitých klimatických změn. Ovšem tyto změny jsou minimální.



Graf 9: Brno – lineární trend

### 8.2 Lysá hora

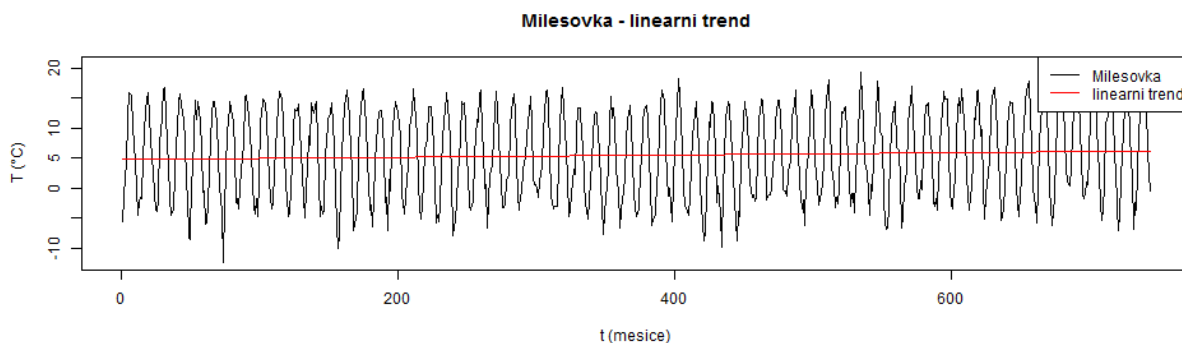
Z výstupu lineárního trendu pro meteorologickou stanici Lysá hora (Graf 10) jsou patrné změny teplot za zvolený časový úsek, což je důkazem určitých klimatických změn. Ovšem tyto změny jsou minimální.



Graf 10: Lysá hora – lineární trend

### 8.3 Milešovka

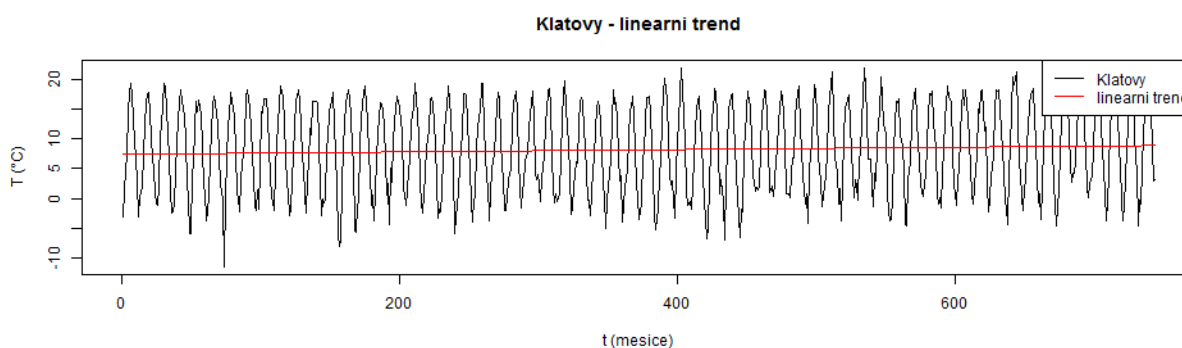
Z výstupu lineárního trendu pro meteorologickou stanici Lysá hora (Graf 11) jsou patrné změny teplot za zvolený časový úsek, což je důkazem určitých klimatických změn. Ovšem tyto změny jsou minimální.



**Graf 11:** Milešovka – lineární trend

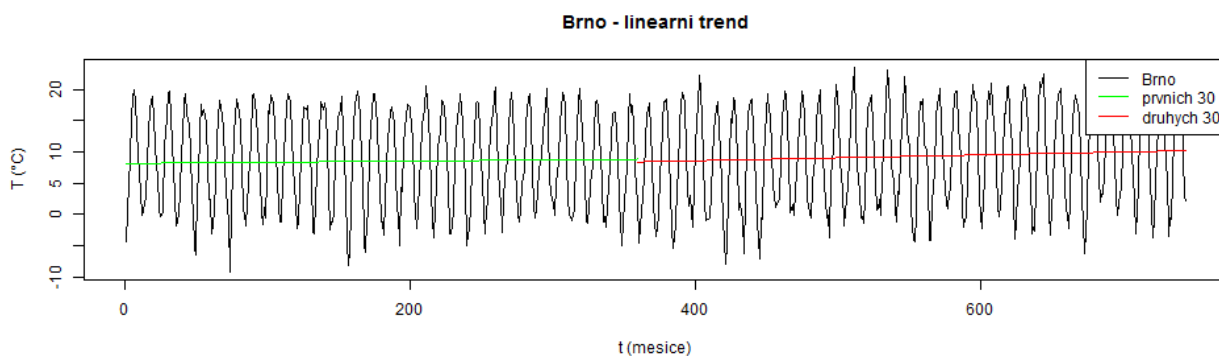
### 8.4 Klatovy

Z výstupu lineárního trendu pro meteorologickou stanici Lysá hora (Graf 12) jsou patrné změny teplot za zvolený časový úsek, což je důkazem určitých klimatických změn. Ovšem tyto změny jsou minimální.



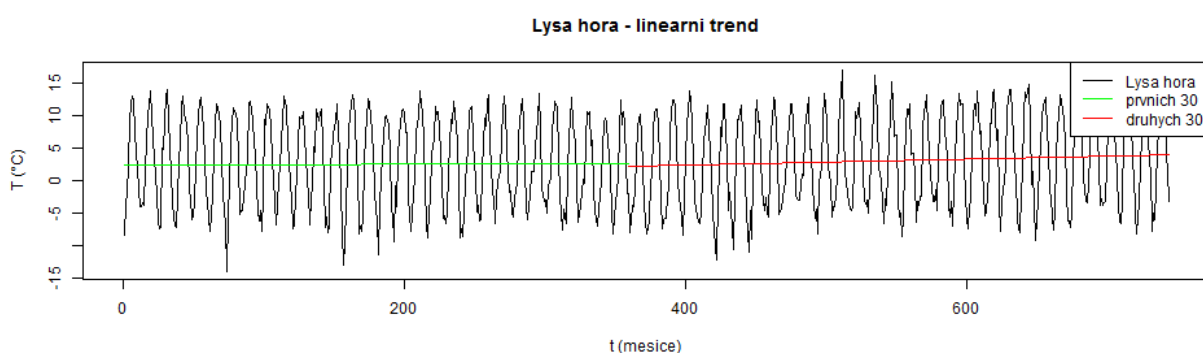
**Graf 12:** Klatovy – lineární trend

Za první 30 - ti leté období na meteorologické stanici Brno (Graf 13) je patrné, že klimatické změny se tolik neprojevovaly, jako v posledních 30 - ti letech. Tudíž se dá usuzovat, že v nedávné minulosti musely teploty být více ovlivněny klimatickými změnami než v minulých letech.



Graf 13: Brno - 30 - ti leté lineární trendy

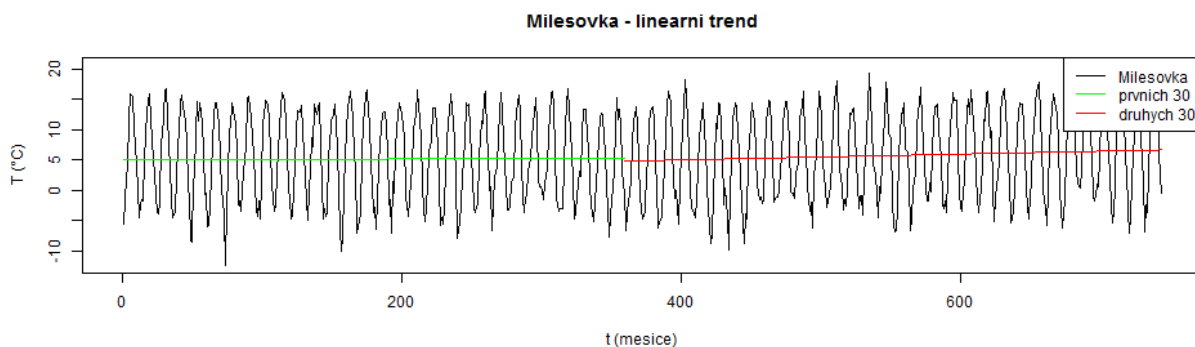
Za první 30 - ti leté období na meteorologické stanici Lysá hora (Graf 14) je patrné, že klimatické změny se tolik neprojevovaly, jako v posledních 30 - ti letech. Tudíž se dá usuzovat, že v nedávné minulosti musely teploty být více ovlivněny klimatickými změnami než v minulých letech.



Graf 14: Lysá Hora - 30 - ti leté lineární trendy

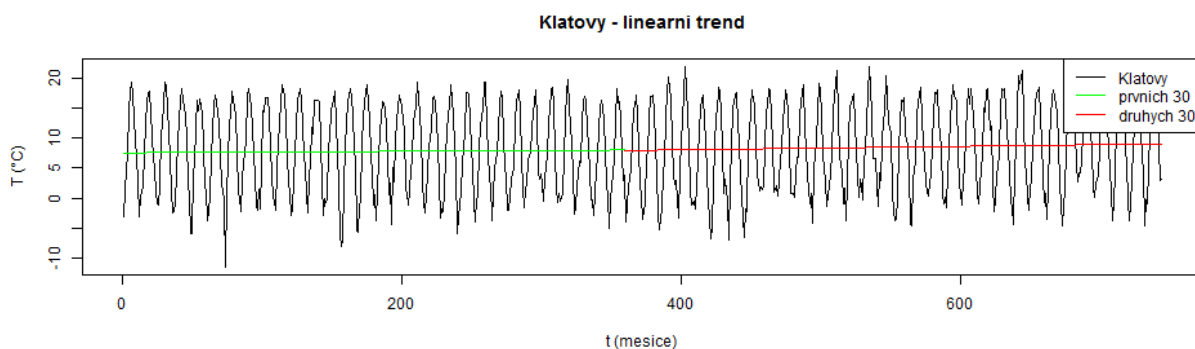


Za první 30 - ti leté období na meteorologické stanici Milešovka (Graf 15) je patrné, že klimatické změny se tolik neprojevovaly, jako v posledních 30 - ti letech. Tudíž se dá usuzovat, že v nedávné minulosti musely teploty být více ovlivněny klimatickými změnami než v minulých letech.



**Graf 15:** Milešovka - 30 - ti leté lineární trendy

Za první 30 - ti leté období na meteorologické stanici Klatovy (Graf 16) je patrné, že klimatické změny se tolik neprojevovaly, jako v posledních 30 - ti letech. Tudíž se dá usuzovat, že v nedávné minulosti musely teploty být více ovlivněny klimatickými změnami než v minulých letech.



**Graf 16:** Klatovy - 30 - ti leté lineární trendy

## 9 Diskuze

Klimatické změny ovlivňují celý svět, na většině území však neblaze. Na většině území postižených klimatickými změnami dochází k problémům se zásobou a kvalitou povrchových a podzemních vod. Tyto problémy způsobující nedostatek vody a její nedostatečné jakosti mají za následek nedostatečnou produkci v potravinářském průmyslu ať už u pěstovaných plodin či chovaných zvířat. A toto ovlivňuje negativně zásobování lidstva základními potravinami. Jestliže lidstvo nezačne vyvíjet ještě větší úsilí o pochopení klimatu a jeho změnách, může se stát, že za nějaký čas bude klima natolik negativně ovlivněno, že kroky k nápravě budou vysoce finančně nákladné, nebo takřka nemožné.

Na vybraných časových řadách meteorologických stanic České republiky se také projevují určité klimatické změny a to nárůstem teplot. Tyto nárůsty teplot však nejsou natolik rapidní, aby se projevil v takové negativní míře na území České republiky. Ovšem si nemůžeme nalhávat, že je vše v pořádku, a že se nás takto velké změny, které jsou na některých místech ve světě, netýkají a týkat nebudou. Ze získaných datových teplotních řad, a k nim vytvořené lineární trendy, svědčí o nárůstu teplot, jak v horských oblastech, tak v městských aglomeracích v České republice. I tento nepatrný nárůst teplot může být příčinou chybějící sněhové pokrývky během zimních období v letošním a minulém roce. Jelikož není dostatečná sněhová pokrývky, netrpí tím jen zimní sportovci, ale i ostatní obyvatelé, kteří jsou závislí na dodávce pitné vody z podzemních vod, protože bez odtávání sněhové pokrývky není taková dotace podzemní vody. Dalším negativním vlivem nárůstu teplot v našich končinách může být přehřívání půdního pokryvu, a tím zvýšená evapotranspirace a následná větrná eroze ze zemědělsky obhospodařovaných ploch. Tato větrná eroze má za následek odnos produktivního svrchního půdního profilu, a tím degraduje zemědělsky využívané půdy, které se stávají méně efektivní při pěstování plodin.

Všichni lidé světa by se měli zamyslet nad negativními dopady probíhajících klimatických změn a nad vývojem těchto změn. Měli by jednat, aby se zhoršující klimatický trend dále neprohluboval a aby byly podniknuty kroky k nápravám.

## 10 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo rešeršní sepsání problematiky klimatických změn a namodelování lineárního trendu teplotních dat z vybraných meteorologických stanic České republiky. Jednalo se o teplotní řady z meteorologických stanic Brno, Lysá hora, Milešovka, Klatovy.

Z práce je patrné, že klimatické změny ovlivňují do značné míry život na planetě. V některých částech světa více, v některých méně. Z výstupů teplotních dat vybraných meteorologických stanic je patrné, že klimatické změny jsou pozorovány i na území České republiky. Data byla použita ze dvou horských meteorologických stanic a ze dvou meteorologických stanic městské aglomerace. Z vyhodnocení datových řad pomocí lineárních trendů je zřejmé, že se v České republice klima mění, ale ne v takové míře, jako v jiných částech světa s podobnými geografickými podmínkami. Zpracovávané datové řady byly ze všech stanic 60 - ti leté. Za toto pozorované období se teploty změnily jen v nepatrné míře.

Získaná data z výše uvedených meteorologických stanic byla zpracována modely klouzavých průměrů a lineárního trendu 60 - ti letého a po 30 - ti letech v softwaru RStudio za využití programovacího jazyku R.

## 11 Literatura a použité zdroje

Literatura:

BEHRINGER, Wolfgang, Kulturní dějiny klimatu od doby ledové po globální oteplování

PEKÁRKOVÁ, Pavla, Klimatická zmena, kolísanie klímy a neistoty stanovenia hydrologických charakteristík tokov v meniacom sa prírodnom prostredí, Acta Hydrologica Slovaca, roč. 5, č. 2

Fifth Assessment Report (AR5) – IPCC

KEMEL, Miroslav, Klimatologie, Meteorologie, Hydrologie

BRÁZDIL, Rudolf, Josef Štekl, Klimatické poměry Milešovky

LIPINA, Pavel, 50 let pozorování na profesionální meteorologické stanici Lysá hora, 2012

DOBROVOLNÝ, Petr, Klima Brna: víceúrovňová analýza městského klimatu

HANČLOVÁ J., L. Tvrdý, Úvod do analýzy časových řad, VŠB-TU Ostrava, 2003

Ostatní zdroje:

<http://www.ufa.cas.cz/>

<http://www.lysahora.cz/>

[www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)