

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra statistiky**



**Diplomová práce**

**Statistická analýza teplotních změn v ČR**

**Bc. Marek Sibal**

© 2021 ČZU v Praze



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Marek Sibal

Ekonomika a management  
Provoz a ekonomika

Název práce

**Statistická analýza teplotních změn v ČR**

Název anglicky

**Statistical analysis of temperature changes in the CR**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je zpracovat data týkající se teplotních rozdílů za sledované období na území České republiky a jejich následná statistická analýza. Na základě provedené analýzy bude zjištěno, k jakým teplotním změnám dochází v průběhu let, a následně bude provedena jejich kvantifikace. Práce bude doplněna o krátkodobou předpověď.

### Metodika

Diplomová práce bude rozdělena na rešeršní a empirickou část. V teoretickém celku budou vysvětleny odborné pojmy související se zkoumanou problematikou. V praktické části bude pomocí metod analýzy časových řad provedena statistická analýza vývojových tendencí teplotních změn. Práce bude doplněna grafickými a tabulkovými výstupy.

## Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

## Klíčová slova

teplota, časová řada, klima, předpověď, vývojové tendence

---

## Doporučené zdroje informací

ARLT, J. – ARLTOVÁ, M. *Ekonomické časové řady : [vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace]*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1319-9.

HINDLS, R. *Statistika pro ekonomy*. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-43-6.

KOPÁČEK, J. – BEDNÁŘ, J. – UNIVERZITA KARLOVA. *Jak vzniká počasí*. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1002-7.

KRŠKA, K. – ŠAMAJ, F. – ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku*. V Praze: Karolinum, 2001. ISBN 80-7184-951-0.

TOLASZ, R. *Atlas podnebí Česka = Climate atlas of Czechia*. Praha: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.

---

## Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – PEF

## Vedoucí práce

prof. Ing. Libuše Svatošová, CSc.

## Garantující pracoviště

Katedra statistiky

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2021

**prof. Ing. Libuše Svatošová, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2021

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Statistická analýza teplotních změn v ČR" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použité literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 03. 2021

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Libuši Svatošové, CSc. za poskytnuté rady a připomínky, které mi pomohly při tvorbě této práce. Také bych chtěl poděkovat celé své rodině za podporu nejen při psaní diplomové práce, ale i během celého studia.

# Statistická analýza teplotních změn v ČR

## Abstrakt

Předmětem diplomové práce je analyzování změn ve vývoji teplot v České republice. Problematika teplotních změn úzce souvisí s aktuálním tématem společnosti, kterým je globální změna klimatu. Nejvíce se v souvislosti s klimatickými změnami mluví o globálním oteplování. Cílem diplomové práce tedy je identifikovat a kvantifikovat teplotní změny a zjistit dlouhodobé tendence vývoje teplot s predikcí do budoucna. Zkoumaný soubor tvoří teploty naměřené na území České republiky v letech 1961–2019.

V práci je využito mnohých statistických metod jako je explorační analýza, modelování pomocí exponenciálního vyrovnávání nebo modelů ARIMA. Na základě provedených statistických analýz byla zjištěna a prokázána dlouhodobá rostoucí tendence teplot, dochází tedy k dlouhodobému oteplování. Při zkoumání vývoje teplot při čtvrtletní frekvenci bylo zjištěno, že v letním čtvrtletí jsou tyto změny nejvíce patrné. Možné příčiny rostoucího trendu teplot byly nastíněny v teoretické části diplomové práce. Na základě dosavadního vývoje teplot byly různými statistickými způsoby vytvořeny krátkodobá predikce, dle kterých lze předpokládat růst teplot i do budoucna.

**Klíčová slova:** teplota, meteorologie, oteplování, exponenciální vyrovnávání, ARIMA, predikce.

# Statistical analysis of temperature changes in the CR

## Abstract

The subject of this diploma thesis is an analysis of changes in a development of temperatures in the Czech Republic. The issue of temperature changes is closely related to the current topic in our society, which is the global climate change. Global warming is most discussed topic in a context of the climate change. The aim of the diploma thesis is to identify and to quantify temperature changes and to determine long-term trends in temperature development including a prediction of their future development. The dataset consists of temperatures measured in the Czech Republic during the years 1961-2019.

Many statistical methods such as exploratory analysis, modeling using exponential smoothing or ARIMA models were used in this research. Based on the performed statistical analyzes, a long-term increasing tendency of temperatures was found and proved, therefore long-term warming occurs. When examining the development of temperatures at the quarterly frequency, it was found out that these changes are the most noticeable in the summer quarter. Possible causes of the increasing temperature trend were outlined in the theoretical part of the thesis. Based on the current development of temperatures, short-term predictions have been made in various statistical ways, according to which temperatures can be expected to increase in the future as well.

**Keywords:** temperature, meteorology, warming, exponential smoothing, ARIMA, prediction.



# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>13</b>
2.1 Cíl práce .....	13
2.2 Metodika .....	13
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>21</b>
3.1 Podnebí.....	21
3.2 Počasí .....	23
3.2.1 Předpověď počasí.....	23
3.3 Teplota vzduchu .....	25
3.4 Teplotní stupnice.....	29
3.5 Historie měření teplot v ČR .....	30
3.6 Meteorologie .....	31
3.6.1 Meteorologické stanice .....	31
3.7 Globální změny klimatu.....	33
3.7.1 Vývoj klimatu v historii.....	33
3.7.2 Teoretické příčiny klimatických změn .....	34
3.7.3 Příčiny klimatických změn v současnosti.....	38
3.7.4 Mezinárodní reakce na globální změny klimatu.....	39
<b>4 Analytická část .....</b>	<b>42</b>
4.1 Časová řada průměrných ročních teplot.....	42
4.1.1 Popis vývoje průměrných ročních teplot .....	42
4.1.2 Explorační analýza roční časové řady .....	45
4.1.3 Porovnání dvou období v rámci roční časové řady.....	47
4.1.4 Modelování roční časové řady.....	49
4.2 Časová řada průměrných čtvrtletních teplot .....	54
4.2.1 Popis vývoje průměrných čtvrtletních teplot .....	54
4.2.2 Explorační analýza čtvrtletních dat.....	57
4.2.3 Porovnání dvou období v rámci čtvrtletní časové řady .....	59
4.2.4 Modelování časové řady čtvrtletních teplot.....	62
<b>5 Výsledky a diskuse .....</b>	<b>71</b>
<b>6 Závěr.....</b>	<b>74</b>
<b>7 Seznam použité literatury.....</b>	<b>75</b>
<b>8 Přílohy.....</b>	<b>78</b>

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Deskriptivní statistiky ročních teplot ČR .....	45
Tabulka 2 Deskriptivní statistiky komparovaných období (roční).....	48
Tabulka 3 Trendové funkce pro roční časovou řadu .....	49
Tabulka 4 Exponenciální vyrovnávání; $\alpha = 0,120$ $\gamma = 0,084$ .....	50
Tabulka 5 Bodový odhad exp. vyrovnávání (roční).....	51
Tabulka 6 Parametr modelu ARIMA (0,1,1) .....	53
Tabulka 7 Predikce modelu ARIMA (0,1,1).....	54
Tabulka 8 Deskriptivní statistiky čtvrtletních teplot ČR.....	58
Tabulka 9 Test normality čtvrtletních teplot .....	59
Tabulka 10 Deskriptivní statistiky komparovaných období (čtvrtletní).....	61
Tabulka 11 Predikce exponenciálního vyrovnávání (čtvrtletní) .....	66
Tabulka 12 Parametry modelu SARIMA (4,0,1)x(0,1,2) <sub>4</sub> .....	68
Tabulka 13 Predikce modelu SARIMA (4,0,1)x(0,1,2) <sub>4</sub> .....	70

## Seznam grafů

Graf 1 Vývoj průměrných ročních teplot v ČR (1961-2019).....	43
Graf 2 Porovnání vývoje teplot ČR s globálním vývojem (1961–2019) .....	44
Graf 3 Rozložení ročních teplot ČR.....	46
Graf 4 Komparace středních hodnot porovnávaných období (roční).....	47
Graf 5 Exponenciální vyrovnávání (roční).....	50
Graf 6 Predikce ARIMA (0,1,1).....	53
Graf 7 Vývoj čtvrtletních teplot v ČR (1961–2019) .....	55
Graf 8 Vývoj teplot v jednotlivých čtvrtletích v ČR (1961–2019) .....	56
Graf 9 Komparace středních hodnot porovnávaných období (čtvrtletní).....	60
Graf 10 Průměry jednotlivých čtvrtletí .....	63
Graf 11 Sezónní dekompozice čtvrtletních teplot .....	64
Graf 12 Exponenciální vyrovnávání (čtvrtletní) .....	65
Graf 13 ACF SARIMA (3,0,3)x(2,1,0) <sub>4</sub> .....	68
Graf 14 Predikce modelu SARIMA (4,0,1)x(0,1,2) <sub>4</sub> .....	69

## Seznam použitých zkratek

ACF	autokorelační funkce,
ADF	rozšířený Dickey-Fullerův test
AIC	Akeikeho informační kritérium
ANOVA	analýza rozptylu
AR	autoregresní proces
ARIMA	autoregresní integrovaný proces klouzavých průměr
BIC	Bayesenovo informační kritérium
$H_0$	nulová hypotéza
$H_1$	alternativní hypotéza
HQ	Hannan-Quinnovo informační kritérium
I	integrovaný proces
MA	proces klouzavých průměrů
M.A.P.E.	střední absolutní procentuální chyba
p-hodnota	přepočtená hladina významnosti
PACF	parciální autokorelační funkce
SARIMA	sezónní autoregresní integrovaný proces klouzavých průměr

# 1 Úvod

Globální klimatické změny a jejich dopady představují pro současnou společnost jedno z klíčových témat, přičemž nejvíce se diskutuje o projevech ve formě globálního oteplování. Tato diplomová práce je věnována statistické analýze teplotních změn na území České republiky.

Pro zajištění udržitelného rozvoje lidské společnosti má problematika změn klimatu zásadní význam. Nejedná se však pouze o změny teplot, ale také změny srážkového režimu, změny hladin oceánů, změny výskytu extrémních projevů počasí a mnohé další. Je důležité si uvědomit, jaké negativní dopady mohou tyto klimatické změny způsobit. Transformace klimatu s sebou přináší řadu negativních důsledků v oblastech životního prostředí a fungování ekosystémů, což má za následek výrazné ekonomické dopady.

Při pohledu do minulosti je zřejmé, že vývoj klimatu na Zemi zahrnuje neustálé klimatické změny, avšak v současné době je pozorováno, že tyto změny probíhají mnohem rychleji. Jistý podíl na tom má lidská činnost, především v souvislosti s emisemi a skleníkovým efektem. Jelikož od počátku průmyslové revoluce dochází k výraznému růstu koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, zejména prostřednictvím spalovacích procesů. Mezi antropogenní faktory nepatří pouze znečišťování ovzduší, ale také například zásahy do hydrologického režimu či jiné změny vlastností povrchu Země. Je tedy potřeba na hrozící nebezpečí v podobě negativních dopadů klimatických změn včas reagovat. Aby však bylo možné dosáhnout udržitelného rozvoje a omezení nežádoucích klimatických změn je nutná celosvětová spolupráce.

Diplomová práce bude rozdělena na několik částí. Nejprve budou popsány metody, které budou v analytické části práce využity. Další část práce bude věnována teoretickým východiskům zkoumané problematiky. Stěžejní bude následně analytická část práce, ve které bude provedena vlastní statistická analýza teplotního vývoje v České republice včetně krátkodobých predikcí. V závěrečné části budou shrnuty zjištěné výsledky. Součástí práce bude také příloha, ve které budou doplňující grafické a tabulkové výstupy.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem diplomové práce bude identifikovat a kvantifikovat teplotní změny v ročním a čtvrtletním vývoji teplot od roku 1961 do roku 2019 na území České republiky pro nalezení dlouhodobých tendencí vývoje. Jedním z dílčích cílů bude zjištění významnosti rozdílů mezi dvěma částmi sledovaného období. Zjištěné výsledky o dosavadním vývoji teplot budou následně využity pro splnění druhého dílčího cíle, kterým bude konstrukce krátkodobých predikcí budoucího vývoje teplot.

### **2.2 Metodika**

Postup diplomové práce bude následující. V první, teoretické části práce, budou za použití odborné literatury vysvětleny jednotlivé pojmy související s tématem teplot, počasí, meteorologií a utvářením klimatu. Nebude opomenuta ani problematika globálních klimatických změn a jejich důsledků. Následně bude vývoj teplot v České republice zkoumán v analytické části práce. Nejdříve bude zkoumána časová řada průměrných ročních teplot, a poté bude stejným způsobem analyzována časová řada teplot při čtvrtletní frekvenci. Nejprve bude na základě získaných dat vygenerován grafický výstup, jenž bude popsán pomocí základních elementárních statistik. Následně bude využito deskriptivních statistik, s cílem analyzovat charakteristiku středních hodnot, variability a rozložení. Budou také zkoumány rozdíly v určitých obdobích časové řady, čehož bude dosaženo pomocí porovnání počátku a konce časové řady. Pro zjištění statisticky významných rozdílů v průměrech porovnávaných období bude využito analýzy rozptylu. Dalším krokem bude modelování časové řady především pro vytvoření krátkodobých predikcí. Pro modelování bude využito trendových funkcí, modelů exponenciálního vyrovnávání, a také komplexních modelů ARIMA. Na základě zvolených modelů budou dále konstruovány a zhodnoceny krátkodobé predikce.

V diplomové práci budou využívána data o teplotách na území České republiky, která byla naměřena od roku 1961 do roku 2020. Data budou použita z webových stránek Českého hydrometeorologického ústavu. Bude pracováno s ročními a čtvrtletními frekvencemi pozorování. Při výpočtech bude využito především SW Statistica 13.5. Doplněním k uvedenému statistickému programu bude Microsoft Excel, a také SW EViews.

Za pomoci zmíněných softwarů bude provedena analýza časových řad. V práci budou okomentovány získané tabulkové a grafické výstupy.

## Časové řady

Časová řada je chápána jako posloupnost pozorování, které jsou věcně a prostorově uspořádána a seřazena z časového hlediska ve směru z minulosti do přítomnosti. Následné provedení statistických analýz časových řad je chápáno jako použití různých metod k popisu dynamiky dosavadního vývoje, ale také k předvídání budoucího vývoje. Avšak před zahájením statistické analýzy je nutné, aby data časové řady splňovaly podmínky srovnatelnosti. Jedná se o věcnou srovnatelnost, tedy že sledované ukazatele musí být obsahově srovnatelné. Zároveň by měla být neměnná metodika získávání dat. Dále se jedná o prostorovou srovnatelnost, což znamená používání dat vztahujících se ke shodně vymezenému geografickému prostoru. U intervalových časových řad musí být dodržena také časová srovnatelnost, tzn. dodržení stejně dlouhých časových úseků. A nakonec cenová srovnatelnost, která je podstatná u ekonomických časových řad, kde je nutné dodržet použití stejných cen. Pro vyjádření peněžních jednotek tedy použít běžné nebo stálé ceny (Hinds, 2007).

Dle délky časového intervalu sledování se časové řady rozdělují na intervalové a okamžikové časové řady. Intervalové časové řady tvoří hodnoty ukazatelů, které vyjadřují vývoj sledovaného jevu za určitý časový interval. Zatímco časové řady okamžikové se vztahují k jednomu určitému okamžiku. Na základě periodicity lze dále provést rozdělení na časové řady dlouhodobé a krátkodobé. Přičemž dlouhodobé časové řady zachycují sledovaný ukazatel v ročním (nebo delším) intervalu. Krátkodobé časové řady naopak sledují ukazatel čtvrtletně, měsíčně či v jiné frekvenci, která je kratší než jeden rok (Arlt, 2004).

## Elementární charakteristiky

Pro získání základních informací o časových řadách a k popisu dynamiky vývoje sledovaných ukazatelů slouží elementární charakteristiky, nejlépe ve spojení s grafickým zobrazením. Na základě těchto informací lze získat představu o charakteru a vlastnostech sledovaných ukazatelů v čase, a také zjistit dlouhodobé tendence či některé opakující se změny a výkyvy. Mezi základní elementární charakteristiky patří **první diference**, která

zachycuje rozdíly v časové řadě v absolutním vyjádření. Tedy o kolik se daný ukazatel změnil oproti předchozímu období. Pro výpočet se využívá vzorec [1].

$$\Delta'_t = y_t - y_{t-1} \quad [1]$$

$$t = 2, 3, \dots, n$$

Pro vyjádření změn mezi prvními diferencemi, lze použít **druhou absolutní diferenci**, která zachycuje rozdíly mezi po sobě následujícími prvními diferencemi a vypočítá se podle vzorce [2].

$$\Delta^2_t = \Delta'_t - \Delta'_{t-1} \quad [2]$$

$$t = 2, 3, \dots, n$$

K účelům přesnějšího porovnání změn mezi obdobími je možné použít **relativní difference**, které zachycují změny mezi obdobími v procentech. K jejich vypočítání je využit vzorec [3].

$$\delta_t = \frac{\Delta'_t}{|y_t|} \quad [3]$$

$$t = 2, 3, \dots, n$$

Za účelem porovnání dat lze využít **bazického indexu**, díky kterému jsou jednotlivá období porovnávána s určitým vybraným rokem, tzv. bází. Aby jej bylo možné získat, je nejprve nutné zvolit jedno období jako výchozí, a následně jej porovnat podle následujícího vzorce [4] s ostatními obdobími

$$I_{t/0} = \frac{y_t}{y_0} \quad [4]$$

(Hindls, 2007).

## Modelování a dekompozice časových řad

Základní klasický model časových řad je jednorozměrný model ve tvaru [5].

$$y_t = f(t, \varepsilon_t), \text{ kde } t = 1, 2, 3, \dots, n \quad [5]$$

Přičemž proměnná  $y_t$  zde představuje hodnotu modelovaného ukazatele v čase  $t$ . Proměnná  $\varepsilon_t$  zde vyjadřuje náhodnou složku v čase  $t$ . Jedním z několika způsobů, jakým lze k analýzám časových řad přistupovat, je za pomoci klasické dekompozice časové řady. Časová řada pak může být rozložena pomocí aditivního [6] nebo multiplikativního [7] tvaru rozkladu.

$$\text{Aditivní: } y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t, \text{ kde } t = 1, 2, \dots, n \quad [6]$$

$$\text{Multiplikativní: } y_t = T_t \times S_t \times C_t \times \varepsilon_t, \text{ kde } t = 1, 2, \dots, n \quad [7]$$

U obou modelů dochází k rozdělení na čtyři složky, kterými jsou trendová složka, sezónní složka, cyklická složka a náhodná složka. Trendová složka je označena symbolem  $T_t$  a vyjadřuje základní trend zkoumaného jevu v delším časovém období, neboli hlavní dlouhodobé tendence vývoje. Může mít klesající, rostoucí nebo konstantní charakter. Symbolem  $S_t$  je vyjádřena sezónní složka, která zachycuje periodické odchylování od trendu v období kratším než jeden rok. Symbol  $C_t$  označuje cyklickou složku, kterou jsou vyjádřeny dlouhodobé výkyvy od trendu časové řady z důvodu cyklického vývoje v časovém intervalu delší než jeden rok. Avšak není podmínkou, aby výše popsané tři složky byly v časové řadě obsažené. Existují časové řady bez jakékoliv periodické či trendové složky. Náhodná (stochastická) složka, která nelze popsat žádnou funkcí, je označena symbolem  $\varepsilon_t$ . Jedná se o složku, jež je způsobena náhodnými výkyvy či chybami při měření.

Pro aditivní model platí, že všechny složky časové řady jsou ve stejných měrných jednotkách jako je hodnota časové řady a variabilita hodnot je přibližně neměnná v čase. Zatímco u multiplikativní dekompozice má shodné jednotky jako původní časová řada pouze trendová složka a ostatní složky jsou v relativním vyjádření. Zároveň se multiplikativní model využívá u časových řad, u kterých je variabilita hodnot rostoucí, nebo se jinak mění v čase (Arlt, 2004).

### **Klasické postupy modelování časových řad**

Jedním z nejdůležitějších úkolů při analýze časových řad je popis trendové složky, tedy popsání tendence vývoje. Modelování trendu se nejčastěji provádí pomocí trendových funkcí. Trendové funkce se využívají v případě, že vývoj zkoumaného ukazatele odpovídá určité funkci času, jako je například lineární, kvadratická, exponenciální a další (Arlt, 2004).

Při využití trendových funkcí je zásadní nalézt takovou funkci, která nejvíce odpovídá vývoji časové řady. V této práci byly využity následující trendové funkce:

$$\text{Lineární trendová funkce: } y_t = \beta_0 + \beta_1 t; \quad t = 1, 2, \dots, n \quad [8]$$

$$\text{Kvadratická trendová funkce: } y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2; \quad t = 1, 2, \dots, n \quad [9]$$

$$\text{Logaritmická trendová funkce: } y_t = \beta_0 + \beta_1 \log t; \quad t = 1, 2, \dots, n \quad [10]$$



Je mnoho způsobů, pomocí kterých lze zvolit vhodnou trendovou funkci. Tím nejsnazším, ale nepříliš přesným způsobem, je zvolení trendové funkce na základě grafického znázornění. Avšak následná volba trendových funkcí je výrazně subjektivní, a také je pro posouzení zásadní správně zvolené měřítko zkoumaného grafu.

Vhodnost vybrané trendové funkce se dá posoudit na základě koeficientu determinace (indexu determinace pro nelineární modely), který je standardně označen symbolem  $I^2$  a vypočítá se na základě vzorce [11].

$$I^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - y'_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad [11]$$

Výsledná hodnota se nachází v intervalu od nuly do jedné. Nejvyšší závislost je dosažena v případě rovnosti jedné. Hodnoty blízko jedné tedy znamenají, že se jedná o vhodně zvolenou regresní funkci. Naopak čím blíže je výsledná hodnota nule, tím méně zvolená regresní funkce vysvětluje danou časovou řadu. Výsledná hodnota není uváděna s jednotkami, jelikož se jedná o bezrozměrné číslo (Hindls, 2007).

## **Adaptivní postupy modelování časových řad**

Adaptivní modely, neboli modely s měnlivými parametry, pracují s časovými řadami, které se vyznačují nízkou stabilitou trendu. Pro takové řady, které vykazují v dlouhodobém vývoji výrazné zlomy v trendu, není vhodné provádět modelování pouze na základě jedné funkce s konstantními parametry. Klasické modely vycházejí z předpokladu, že informativní hodnota je stejná z počátku i konce sledovaného období. Předpokládají tedy, že v budoucnu nedojde ke změnám systému a předpovědi jsou tedy jen kopiemi minulosti. Adaptivní metody se od těch klasických liší zásadně tím, že není předpokládána spojitost trendové funkce a stabilita strukturálních parametrů. Jednou z nejčastěji používaných adaptivních metod je metoda exponenciálního vyrovnávání (Hindls, 2007).

## **Exponenciální vyrovnávání**

Pro modely exponenciálního vyrovnávání, přesněji řečeno Brownovy modely exponenciálního vyrovnávání, je charakteristické rozlišování vah mezi staršími a novějšími pozorováními, přičemž nejvyšší váhu mají ty nejnovější pozorování časové řady. Je tedy

bráno v úvahu „stárnutí“ informací, jelikož váhy hodnot ve směru do minulosti exponenciálně klesají.

V rámci této metody jsou rozlišovány tři základní druhy:

- jednoduché exponenciální vyrovnávání,
- dvojité exponenciální vyrovnávání,
- trojitě exponenciální vyrovnávání.

Hlavní rozdíl mezi nimi je v modelování trendu v krátkých úsecích řady. Jelikož u jednoduchého exponenciálního vyrovnávání je předpoklad, že trend v krátkých úsecích řady lze považovat za konstantní. U dvojitého exponenciálního vyrovnávání lze trend krátkých úseků považovat za lineární, a v případě trojitěho vyrovnávání je trend modelován kvadratickou funkcí.

V práci je využita Holtova metoda, která je zobecněním dvojitého exponenciálního vyrovnávání. Při modelování je využíváno dvou vyrovnávacích konstant. Jednou z nich je konstanta  $\alpha$ , která slouží pro vyrovnání úrovně, a druhou konstantou je  $\gamma$  pro vyrovnání směrnice trendu. Při práci s časovými řadami, které jsou ovlivněny sezónními vlivy, se využívá Holt-Wintersova metoda. Jedná se o rozšíření Holtovy metody o sezónní složku, a tak je zde navíc konstanta  $\delta$  pro vyrovnání sezónnosti časové řady (Cipra, 2008).

Vhodnost zvoleného modelu lze posoudit na základě různých chyb odhadu. Nejvíce používaná je střední absolutní procentuální chyba (Mean Absolute Procentual Error, zkráceně M.A.P.E.). Cílem je vybrat model jehož chyba odhadu bude co nejnižší. Výpočet je proveden pomocí vzorce [12]

$$M.A.P.E = \frac{100}{n} \sum_t \left| \frac{y_t - y'_t}{y_t} \right| \quad [12]$$

(Arlt, 2004).

## **Box–Jenkinsova metodologie**

Dalším možným přístupem k analýze časových řad je tzv. Box–Jenkinsova metodologie, která využívá speciální stochastické modely. Základní prvek konstrukce modelů zde na rozdíl od klasického přístupu tvoří náhodná složka a autokorelační analýza. Mezi zmíněné speciální stochastické modely patří modely ARIMA, které jsou v práci použity. Jedná se o smíšený model obsahující autoregresní složku (AR), jež nabývá určitého řádu označeného jako  $p$ . Druhou složkou je proces klouzavých součtů (MA), jejíž řád je

označován jako  $q$ . V případě, že nejsou splněny podmínky modelů, je nutné řadu transformovat (nejčastěji diferencováním) a zahrnout tedy stupeň integrace (I), kde řád diference je označen jako  $d$ . Z toho vyplývá obecný tvar modelu ARIMA  $(p,d,q)$ . Při práci s časovou řadou, která zahrnuje sezónní složku, se využívají rozšířené modely o sezónní autoregresní proces (AR) řádu  $P$ , sezónní proces klouzavých součtů (MA) řádu  $Q$ , a také sezónní diferenci řádu  $D$ . Obecný tvar modelu SARIMA je tedy  $(p,d,q) \times (P,D,Q)_L$ , přičemž  $L$  označuje délku sezóny. Základní podmínkou je stacionarita časové řady, což znamená invariantní základní statistické charakteristiky v čase. Při nesplnění tohoto předpokladu je nutné časovou řadu stacionarizovat, což se nejčastěji provádí pomocí diferencí.

Výstavba modelů spočívá ve třech základních fázích, a to identifikaci modelu, odhadu parametrů a ověřování modelu. Identifikace spočívá ve stanovení vhodného typu a řádu modelu. Využívá se často autokorelační funkce (ACF), která počítá korelaci mezi dvěma po sobě následujícími pozorováními, a dále parciální autokorelační funkce (PACF), která signalizuje korelaci mezi různými zpožděnými pozorováními. Pro identifikaci lze dále využít informační kritéria, jako je Akaikeho informační kritérium (Akaike's Information Criterion, AIC), Bayesovské informační kritérium (Bayesian Information Criterion, BIC) nebo Hannanovo-Quinnova kritérium (Hannan–Quinn information criterion, HQ). Minimalizace informačních kritérií pomáhá objevit ten nejvíce vhodný model. V práci byl pro výpočet těchto kritérií použit software EViews. Následně může být proveden odhad samotných parametrů modelu pomocí statistického softwaru, v této práci bylo využito programu Statistica. Nakonec je nutné ověřit adekvátnost modelu, přičemž je posuzována statistická významnost parametrů, autokorelace reziduí, a také předpovědní schopnosti modelu (Cipra, 2008).

### **Analýza rozptylu (ANOVA)**

V případech, kdy je potřeba otestovat a porovnat střední hodnoty dvou (či více) souborů dat, je využívána analýza rozptylu. Pro použití parametrické ANOVY musí být splněny určité předpoklady, jinak je nutné využít neparametrických testů. Mezi zmíněné předpoklady patří normalita rozdělení a homogenita rozptylu. Pro ověření normality lze využít testy normality jako je například Shapiro–Willkuv test nebo Kolmogov–Smirnovův test. Homogenita rozptylu, neboli homoskedasticita, je v práci ověřována pomocí Levenova testu. Následně lze prokázat, zda jsou rozdíly středních hodnot mezi

sledovanými soubory dat statisticky významné či nikoli. Pro zjištění, mezi kterými konkrétními skupinami souboru jsou statisticky významné rozdíly se následně používají další testy. Nejčastěji to je Scheffeův test či Tuckeyova metoda, které jsou v práci také použity (Hendl, 2012).

## **Predikce hodnot časových řad**

Pro vytváření predikcí v časových řadách se nejčastěji využívá metod extrapolace. Tato statistická metoda vychází z minulého vývoje, na jehož základě jsou vytvářeny predikce vývoje budoucího. Tento přístup se nazývá jako deterministický. Nedostatkem této metody je, že nejsou uvažovány jiné jevy, které mohou ovlivňovat vývoj jevu sledovaného a nepředpokládá se výrazná změna dosavadního trendu. Obecně také platí, že vytvořený odhad hodnot bude přesnější, čím kratší bude rozsah odhadovaného období. Jsou rozlišovány dva druhy předpovědí, a to bodové a intervalové. Bodový odhad znamená předpověď konkrétní hodnoty v určitém budoucím období. Při intervalové predikci je stanoveno rozmezí hodnot (interval), ve kterém se s danou pravděpodobností předpovídaná hodnota nachází.

Kvalitu modelu a jeho vhodnost pro vytváření predikcí lze posoudit s využitím Theilova koeficientu nesouladu, kterým je posuzována míra variability relativních chyb. Obecně platí, že čím vyšší je hodnota koeficientu, tím méně je zvolený model vhodný. V této práci je pro výpočet využíván vzorec [13]. Podobně jako u střední absolutní procentuální chyby (M.A.P.E.) i zde platí, že pokud je hodnota koeficientu v procentuálním vyjádření menší než 5 %, jedná se o velmi kvalitní model. V rozmezí od 5–10 % lze považovat model stále jako poměrně kvalitní, avšak nad 10 % už model není pro predikce vhodný.

$$\sqrt{\frac{\sum(\text{prognóza} - \text{skutečnost})^2}{\sum \text{skutečnost}^2}} 100 \quad [13]$$

Pro zhodnocení samotných predikcí je v práci využito výpočtu relativních chyb předpovědi, dle vzorce [14]

$$\left| \frac{\text{prognóza} - \text{skutečnost}}{\text{skutečnost}} \right| 100 \quad [14]$$

(Karas, 2011).

### 3 Teoretická východiska

V této části práce jsou za použití odborné literatury vysvětleny jednotlivé pojmy související s tématem teplot, počasí, meteorologie a utvářením klimatu. Závěr kapitoly je věnován problematice globálních klimatických změn a jejich důsledkům.

#### 3.1 Podnebí

Podnebí, jinak řečeno klima, je dlouhodobý stav počasí na Zemi nebo na její určité části. Faktorů, které podnebí ovlivňují je mnoho, ať už se jedná o cirkulaci atmosféry, energetickou bilanci, charakter zemského povrchu a v neposlední řadě má také zásadní vliv lidská činnost. Podnebí hraje významnou roli v přírodě, jelikož definuje charakter krajiny a její využitelnost. Klima je nejčastěji charakterizováno pomocí průměrných hodnot meteorologických prvků a jevů. Jedná se například o průměrný úhrn srážek, průměr teplot, vlhkost vzduchu či působení větru. Výpočty statistických charakteristik těchto jevů a prvků pro určité území se v delším časovém horizontu liší jen velmi nepatrně. Podnebí se často popisuje jako průměrné počasí určité oblasti z dlouhodobého hlediska (tzn. období minimálně 30 let) (slovník.cmes.cz, cit. 10. 8. 2020).

Jsou dva druhy způsobu klasifikace podnebí, konvenční (jinak řečeno efektivní) a genetické. Genetické klasifikace rozdělují podnebí Země (nebo její části) z hlediska jeho vzniku, především je kladen důraz na všeobecnou cirkulaci atmosféry, z čehož vyplývá i rozlišení hlavních vzduchových hmot. Vůbec nejznámějším a nejpoužívanějším rozdělením klimatu je Alisovova klasifikace. Jejím základem jsou 4 hlavní vzduchové hmoty, a to arktické ( $90^{\circ}$ – $60^{\circ}$  zeměpisné šířky), mírných šířek ( $60^{\circ}$ – $35^{\circ}$  z. š.), tropické ( $35^{\circ}$ – $10^{\circ}$  z. š.) a rovníkové vzduchové hmoty (mezi  $10^{\circ}$  severní a jižní šířky). Následně je podnebí rozděleno do čtyř hlavních klimatických pásem se třemi pásy přechodnými (sub pásy). Rozdíl mezi hlavními a přechodnými pásy je ten, že u přechodných dochází k sezónnímu střídání vzduchových hmot během roku. Jednotlivé pásy jsou rovníkový (ekvatoriální) pás, subekvatoriální pás, tropický pás, subtropický pás, mírný pás, subarktický a arktický (polární). Klimatické pásy je možné ještě rozdělit dle klimatických typů. Rozdělení je možné provést z hlediska charakteru povrchu na kontinentální a oceánský klimatický typ, nebo podle rozložení mořských proudů a cirkulace atmosféry na klima východních pobřeží a klima západních pobřeží (Farský a Matějček, 2008).

Další genetickou klasifikací klimatu je například Flohnova klasifikace z roku 1950, která vychází výhradně z proudění vzdušných hmot a vymezuje tedy 4 druhy větrných pásů. Konkrétně rovníkový pás západních větrů, pasátový pás východních větrů, mimotropický pás západních větrů a polární pás východních větrů (Farský a Matějček, 2008).

Konvenční klasifikace vychází ze samotných projevů klimatu (teplota, srážky, vlhkost), a zároveň je sledován i vliv na vegetaci. Celosvětově nejznámější a nejpoužívanější efektivní klasifikací je Köppenova klasifikace klimatu. Podle této klasifikace se podnebí rozděluje na 5 hlavních klimatických pásem, které se označují velkými písmeny A–E. Písmenem A je označeno tropické dešťové klima, které je nejteplejší (průměrná teplota nejchladnějšího měsíce neklesne pod 18 °C). Suché klima (neboli aridní) označeno písmenem B jako jediné pásmo není definováno teplotou, ale na základě úhrnu srážek, který je nižší než výpar. Třetím z hlavních pěti klimatických pásem je pásmo mírné (značeno C), pro které je charakteristická teplota nejchladnějšího měsíce v rozmezí teplot od -3 °C do 18 °C. Písmenem D je označeno pásmo boreální (kontinentální), pro které jsou typické značné rozdíly mezi létem a zimou. Průměrná teplota nejchladnějšího měsíce klesá pod -3 °C, zatímco průměrná teplota nejteplejšího měsíce je vyšší než 10 °C. Posledním pásmem je klima sněhové (značeno písmenem E), pro které je charakteristická teplota nejteplejšího měsíce nižší než 10 °C. Další charakteristickým znakem tohoto pásma je permafrost, tedy trvale zmrzlá půda. Ke každému z hlavních pěti pásem jsou definovány různé klimatické typy (Kopp a Suda, 2004).

Efektivní (konvenční) klasifikací je například i Bergova klimatická klasifikace, ve které je hlavním rozlišovacím ukazatelem typ vegetace, jelikož rostlinstvo velmi citlivě reaguje na klimatické podmínky. Jsou rozlišeny dva základní druhy klimatu, a to podnebí nížin (malé nadmořské výšky) a podnebí náhorních plošin (velké nadmořské výšky). Ty jsou dále děleny na konkrétní typy podnebí. Pro nížiny je definováno 11 typů podnebí (např. podnebí tundry, tajgy, listnatých lesů mírného pásma, monzunové podnebí mírných šířek, či podnebí stepí) a dalších 6 typů pro náhorní roviny (např. podnebí horských savan, podnebí horských subtropických pouští, podnebí horských pouští mírného pásma) (Farský a Matějček, 2008).

Věda, jejímž hlavním předmětem zájmu je sledování dlouhodobého působení meteorologických procesů, se nazývá klimatologie. Mezi primární úkoly patří zkoumání vývoje klimatu na Zemi či jejích částech (klimatogenetické procesy), klasifikace podnebí a vymezení klimatických oblastí, ale také práce na vysvětlení klimatických změn a kolísání. Studium klimatu pomáhá ve snaze předpovědět budoucí vývoj za pomoci matematických modelů. Klimatologie již není pouze vědou popisnou, ale v současné době je vědou analytickou, která má široké praktické využití. Klimatologii je možné rozdělit na obecnou a regionální, nebo podle měřítka na makroklimatologii, mezoklimatologii a mikroklimatologii (slovník.cmes.cz, cit. 10. 8. 2020).

## **3.2 Počasí**

Obecně se o počasí hovoří jako o okamžitém stavu atmosféry. *Počasí je stav atmosféry charakterizovaný souhrnem hodnot všech meteorologických prvků a atmosférickými jevy v určitém místě a čase* (portal.chmi.cz. cit. 10. 8. 2020). Charakteristickým znakem pro počasí je jeho prostorová a časová variabilita (proměnlivost). Oproti podnebí, kde ke změnám dochází obvykle pomalu, může dojít ke změně počasí v rámci několika minut. Počasí je možné charakterizovat jako soubor meteorologických prvků jako je teplota vzduchu, oblačnost, rychlost a směr větru, intenzita slunečního svitu a srážky, ale jedná se o krátký časový interval (slovník.cmes.cz, cit. 10. 8. 2020).

### **3.2.1 Předpověď počasí**

Předpovědi počasí vyjadřují budoucí vývoj počasí na základě meteorologických poznatků. Těmito poznatky jsou výsledky měření meteorologických stanic, přízemní pozorování, družicové a radarové měření. Především se využívají výstupy z globálních a lokálních předpovědních modelů, a zároveň také statistické údaje. Na základě těchto dat a vlastních zkušeností vyváří meteorologové za pomoci moderních technologií, umožňující rychlý přenos a zpracování dat a výstupů, předpověď o budoucím vývoji počasí. Úspěšnost takové předpovědi je závislá na délce predikovaného období. V současné době lze dosáhnout velmi přesných předpovědí na jednotlivé dny přibližně na 5 dní dopředu (portal.chmi.cz, cit. 12. 8. 2020).

Počátky odborné meteorologie, tedy i předpovídání počasí, lze spatřit v meteorologii lidové. Jedny z počátečních předpovědí počasí jsou dnes známé jako pranostiky, které sice častokrát příliš nevystihují skutečnost, ale i tak v nich lze nalézt mnoho pravdivého. Nutné je však podotknout, že pranostiky spíše popisují klimatické projevy, než že by přímo vedly k předpovědi počasí. Než se tedy v přírodě řídit podle pranostik, je lepší pozorovat přírodní úkazy, které mohou mnohé napovědět. Pozorováním přírodních jevů je však možné odhadovat počasí maximálně na jeden až dva dny a stále se bude jednat jen o odhad s nepříliš vysokou přesností. Mezi takové přírodní jevy patří směr a rychlost větru, vývoj oblaků a teplota vzduchu. Pokud se tedy na noční obloze vyskytnou nějaká oblaka, znamená to vyšší vlhkost v atmosféře, z nichž se mohou tvořit kupovitá oblaka a následné přeháňky. Dalším znakem může být silný vítr ve vysokých nadmořských výškách. Výškový vítr lze zpozorovat na základě výrazně třpytících se hvězd, jejichž světlo značně poblikává. Takový jev značí silné proudění a počasí pravděpodobně nebude příliš stabilní. Jiným úkazem může být například výskyt rosy v noci. Pokud se totiž rosa nevytvořila, znamená to malý rozdíl mezi teplotním maximem a minimem, což naznačuje vyšší oblačnost, srážky a vítr. Nutné je však podotknout, že na základě pouze jednoho zhodnocení aktuálního stavu počasí nelze vytvořit dobrou předpověď. Je potřeba počasí sledovat a vyhodnocovat neustále a brát v potaz předcházející stav (Dvořák, 2008).

Pokud je předpokládán nebezpečný stav počasí, vydává ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) výstrahu varující před hrozícím nebezpečím (škody na majetku, ohrožení zdraví) v podobě meteorologických a hydrologických jevů. Mezi takové nebezpečné jevy patří silné srážky vedoucí k povodním, krupobití, vysoké teploty a déletrvající sucha, silné nárazové větry, sněhové srážky, smogová situace a mnoho dalších. Výstraha je vydávána na základě splnění kritérií, která jsou pro každý jev stanovena. Zároveň se stanovuje pravděpodobnost výskytu a intenzita nebezpečného jevu (portal.chmi.cz, cit. 12. 8. 2020).

### **Předpovědní modely**

Hlavním prvkem pro vytváření předpovědí počasí, jsou meteorologické předpovědní modely. Předpovědní (numerický) model je ve své podstatě velmi výkonná výpočetní technika spravována určitou meteorologickou institucí či organizací. Vstupem do numerického modelu jsou naměřená data na různých místech po celém světě, jak už bylo



zmíněno dříve, tak se jedná o data z meteorologických stanic, družic, letadel či lodí. Veškerá získaná data jsou zpracována a pomocí mnoha složitých matematických operací a rovnic jsou vypočítány výsledky. Takovéto výpočty trvají v řádu hodin a následné výstupy jsou zobrazovány ve formě map či grafů (meteogramy). Předpovědní modely se rozlišují na globální a lokální (či regionální), a také na klimatické a meteorologické. Rozdíl u druhé dvojice spočívá v časovém hledisku, tedy meteorologické se zaměřují na předpovědi pro nejbližší dny, zatímco klimatické modely pracují v dlouhodobém horizontu. Globální předpovědní modely, jak už z názvu vyplývá, vytvářejí předpovědi pro jednotlivé kontinenty, popřípadě celou planetu. Jsou velice náročné na výkon, a proto jsou počítány pouze na několika místech na světě. Z globálních modelů vycházejí modely regionální, které se zaměřují především na území konkrétních států. Mezi nejznámější globální modely patří americký model GFS (Global Forecast System), evropský model ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast), dále pak provozuje vlastní model například Francie (ARPEGE), či Německo (ICON). Konkrétnější výstupy poskytují modely lokální, kde mezi nejznámější patří model ALADIN. Tento model vychází z francouzského globálního modelu ARPEGE a je využíván Českou republikou prostřednictvím Českého hydrometeorologického úřadu. Výpočet předpovědi je aktualizován vždy po 6 hodinách. Mezi další známé regionální modely patří MEDARD, WRF, COSMO, HIRLAM (pocasimeteoaktuality.cz, cit. 20. 8. 2020).

### **3.3 Teplota vzduchu**

Teplota vzduchu, neboli tepelný stav ovzduší, je jedním ze základních meteorologických prvků, který je sledován. Jinými slovy jde o schopnost vzduchu přijímat a předávat tepelnou energii. Standardně se teplota vzduchu měří ve výšce dvou metrů nad zemí v meteorologických budkách. Dále je ve výšce pěti centimetrů nad zemským povrchem měřena přízemní teplota. Měření na všech moderních meteorologických stanicích probíhá pomocí přesných elektrických teploměrů (termometrů), nejčastěji se používají odporové teploměry fungující na základě elektrického odporu. Na některých stanicích se však stále používají rtuťové nebo lihové teploměry (slovník.cmes.cz, cit. 10. 8. 2020).

Primárním zdrojem teploty vzduchu v atmosféře je zemský povrch. Sluneční záření totiž dopadá na povrch Země a ten je jím ohříván (atmosféra zachycuje sluneční záření jen nepatrně). Následně pak studenější vzduch přijímá teplo od zemského povrchu. V noci

(bez přísunu tepelné energie ze slunečního záření) dochází k opačné tepelné výměně. Zemský povrch se stává chladnější než vzduch, teplo je tedy předáváno zpět do povrchu, a tím klesá teplota vzduchu (Kopáček a Bednář, 2005).

Vývoj změn teplot v rámci jednoho dne se popisuje jako denní chod teploty vzduchu. Na území České republiky je obvyklý denní průběh charakteristický ranním minimem (kolem východu Slunce) a maximem odpoledne (přibližně kolem 15. hodiny). Rozdíl mezi denním maximem a minimem se nazývá denní amplitudou. Její velikost může být ovlivněna mnohými faktory. První skupinou faktorů jsou takové, které se mění v čase. Příkladem je střídání ročních období, neboť k největším rozdílům denní teploty dochází v letním období, jelikož zemský povrch, který má na teplotu vzduchu zásadní vliv, je nejsilněji zahříván. Značný vliv na denní chod teplot má také oblačnost. Za oblačných dnů jsou denní teplotní rozdíly menší než při dnech s jasnou oblohou. Druhou skupinou faktorů jsou ty, které souvisejí s polohou místa měření, jako je například zeměpisná šířka. Standardně se totiž denní amplituda teploty vzduchu snižuje při pohybu od rovníku k pólům (tedy s rostoucí zeměpisnou šířkou). Dále má vliv vzdálenost od moře, kde platí, že na kontinentu je amplituda teplot vzduchu vyšší než nad mořem (a naopak). Používají se pojmy oceánita (vliv moře, který změny teplot mírní) a kontinentalita, tedy vliv pevniny, která je teplotně výrazně méně stálá. Významný vliv má i výška nad povrchem, jelikož velikost amplitudy klesá s rostoucí nadmořskou výškou. Dalším faktorem je také členitost povrchu, přičemž největší rozdíly mezi denním maximem a minimem lze pozorovat v údolích. V údolích a kotlinách se totiž vzduch, který je uzavřený mezi okolními svahy a nedochází tak k výměně s volnou atmosférou, poměrně rychle ohřívá. Následně se však v noci podobně rychle ochlazuje, jelikož chladnější (těžší) vzduch klesá po svazích dolů. Denní amplituda teploty vzduchu je tedy vyšší než na rovinách. K nejmenším rozdílům tak dochází na vrcholcích kopců, jelikož zde nic nebrání volné cirkulaci vzduchu (Kopáček a Bednář, 2005).

Je zaznamenávána maximální teplota vzduchu, jde tedy o nejvyšší tepelnou hodnotu za určité časové období (posledních 24 hodin). Při použití maximálního teploměru, jenž je podobný lékařskému rtuťovému teploměru, je nutné po odečtení hodnot (standardně probíhá ve 21 hodin) teploměr sklepat a vrátit do téměř vodorovné polohy do meteorologické budky. Nejvyšších teplot bývá nejčastěji dosahováno v rozmezí mezi

13. a 16. hodinou. Dalším údajem je teplota minimální, přesněji nejnižší teplotní hodnota za posledních 24 hodin. Při výpadku automatického měřicího systému nebo na starších meteorologických stanicích se stále používají minimální teploměry. Teploměrnou kapalinou je nejčastěji líh. Princip fungování minimálního teploměru spočívá v malé tyčince (index), která je uvnitř kapiláry stahována při poklesu teploty. Avšak pokud se teplota zvýší, index zůstane na stejném místě. Po odečtení hodnot, které probíhá v časech 7 a 21 hodin, je nutné teploměr naklonit tak, aby tyčinka sklouzla zpět na konec. Obvyklá doba, kdy jsou naměřeny nejnižší teploty, je brzy ráno při východu Slunce. Stejným typem teploměru, jako na teplotu minimální, je měřena i přízemní minimální teplota. Teploměr je však umístěn ve výšce 5 centimetrů nad zemí, v případě sněhové pokrývky 5 centimetrů nad ní. Měření této hodnoty je významné především pro sektor zemědělství (Český hydrometeorologický ústav, 2014).

V souvislosti s nejvyšší a nejnižší teplotou jsou rozlišovány tzv. charakteristické dny. Jsou to takové dny, ve kterých byla dosažena určitá úroveň maximální nebo minimální teploty. Pokud nejnižší denní teplota klesla pod 0 °C, jedná se o den mrazový. V případě, že se denní teplotní maximum zastavilo pod 0 °C (celodenní mráz), je tento den označován jako ledový. A pokud nejvyšší denní teplota nedosáhla vyšší hodnoty než -10 °C, jedná se o den arktický. Na druhé straně existuje označení pro den letní, což značí den, ve kterém maximální denní teplota dosáhla 25 °C nebo více. Při překročení nejvyšší denní teploty 30 °C je používáno označení tropický den. Dalším příkladem může být tropická noc, při které minimální noční teplota neklesla pod 20 °C (Tolasz, 2007).

Významným ukazatelem je i průměrná denní teplota, která se na území České republiky tradičně (více než 100 let) počítá aritmetickým průměrem teplot naměřených v 7, 14 a 21 hodin (teplota ve 21 hodin se započítává dvakrát) středoevropského času. Vzorec [15] (nazvaný Kämtzův vzorec) pro výpočet tedy vypadá následovně.

$$\bar{T} = \frac{T_7 + T_{14} + 2T_{21}}{4} \quad [15]$$

Kde  $\bar{T}$  značí průměrnou teplotu,  $T_7$  teplotu naměřenou v 7 hodin,  $T_{14}$  teplotu naměřenou ve 14 hodin a  $2T_{21}$  značí součet teplot naměřených ve 21 hodin. Jiný způsob pro zjištění průměrné denní teploty, který doporučuje i WMO (Světová meteorologická organizace), je

výpočet na základě aritmetického průměru hodnot zaznamenaných v pravidelných intervalech. Jelikož teplota je na automatických stanicích měřena nepřetržitě, je průměr z těchto dat přesnější. Avšak pro porovnání s historickými daty, není vhodné tento způsob určení průměrné denní teploty použít a změnou metodiky výpočtu by byla narušena homogenita dat. Zároveň pro mezinárodní porovnávání průměrné denní teploty jen jeden možný způsob, a to na základě výpočtu pomocí vzorce [16].

$$\bar{T} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad [16]$$

Kde  $\bar{T}$  značí průměrnou teplotu,  $T_{max}$  maximální teplotu a  $T_{min}$  teplotu minimální. Pro tento typ výpočtu je nejsnazší zkompletovat potřebná data (především se jedná o historická data) (infomet.cz; Tolasz, cit. 11. 8. 2020).

Dalším teplotním ukazatelem, který je spíše charakteristikou vlhkosti vzduchu, je takzvaná teplota rosného bodu. Jde o hodnotu teploty, při které se vzduch vlivem ochlazování stane nasyceným. Následně při poklesu pod tuto teplotu dochází ke kondenzaci. Je měřen pomocí rozdílu teplot mezi dvěma totožnými teploměry, přičemž jeden z nich je v navlhčeném obalu. Obecně platí, že čím menší je poměrná vlhkost vzduchu, tím větší je rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou rosného bodu. Na základě rosného bodu lze odvodit vznik mlhy, rosy nebo v zimních měsících námrazy (Kráčmar, 2006).

Zajímavým meteorologickým jevem je inverze teploty vzduchu, při které vznikají značné rozdíly mezi počasím v nižších oblastech a počasím na horách. Teplotní inverze spočívá v tom, že při vzrůstající nadmořské výšce teplota neklesá jako při normálním stavu (průměrný teplotní gradient činí 0,6 °C na 100 metrů), ale naopak vzrůstá. Inverzní vrstvy vzduchu značně ovlivňují cirkulaci, a proto jsou často plné nerozptýlených nečistot ovzduší. Jsou rozlišovány různé typy teplotní inverze. Podle výšky inverzní vrstvy nad zemským povrchem se dělí na výškovou a přízemní inverzi teploty vzduchu. Dále podle původu se dělí na inverze radiační, subsidenční, frontální, turbulentní a advekční. Radiační inverze souvisí s ochlazováním zemského povrchu (vyzařováním dlouhovlnné radiace) a následného ochlazování přízemních vrstev vzduchu, k čemuž dochází při jasném a klidném počasí v noci nebo v zimním období. Možný je i vznik radiační inverze ve výškách nad oblačnou vrstvou. Subsidenční inverze vznikají na základě klesání stabilních

vrstev vzduchu v oblastech s vysokým tlakem vzduchu, jedná se tedy o inverze výškové. Frontální inverze se vyskytují v oblastech prolínání dvou teplotně odlišných atmosférických front. Inverze z turbolence vzniká, jak už název napovídá, z turbulentního promíchávání vzduchu a je také zpravidla výšková. Posledním typem je inverze advekční, která patří mezi přízemní inverze, a vzniká na základě proudění relativně teplého vzduchu nad chladnějším povrchem a jeho následném ochlazení (Kopáček a Bednář, 2005).

Vnímání teploty však není odvozeno pouze od toho, jaká hodnota je změřena pomocí teploměru, ale existuje tzv. pocitová teplota. Jedná se o teplotu, která vystihuje celkový biometeorologický stav prostředí. Tedy působení primárně větru, ale i slunečního záření či vlhkosti vzduchu. Ačkoliv je vnímání teploty každého lidského těla odlišné, obecně platí, že při větru bude vnímaná teplota nižší než v bezvětří. Dalším vlivem je vlhkost vzduchu, jelikož se nízké teploty v suchém vzduchu zdají být vyšší, a naopak vysoké teploty jsou v suchém prostředí vnímány jako nižší (Karas, 2007).

### **3.4 Teplotní stupnice**

Pro vyjádření naměřené teploty se nejčastěji využívá Celsiova teplotní stupnice. Za jejím vznikem stojí švédský vědec Anders Celsius. Používá se již od 18. století a její základní jednotkou je Celsiův stupeň (značeno °C). Základem jsou dva výchozí body při normálním tlaku vzduchu (1013,25 hPa), bod varu vody a bod tání (nebo tuhnutí) ledu. Bod varu vody byl původně stanoven na 0 °C a bod tání ledu na 100 °C. Stupnice je tvořena intervalem mezi těmito body, který je rozdělen na 100 dílů (1 díl = 1 °C). Za obrácením stupnice do současné podoby (0 °C bod tání a 100 °C bod varu) stál v roce 1745 švédský vědec Carl von Linné (Bednář, 2003).

Dříve se v Evropě používala Fahrenheitova teplotní stupnice (základní jednotkou je stupeň Fahrenheita °F), kterou navrhl německý fyzik D. G. Fahrenheit. Nejprve byla určena jako základní teplota 0 °F, která byla považována za nejnižší teplotu, jaké lze dosáhnout. Vznikla na základě směsi vody, ledu a chloridu amonného. Druhým bodem byla teplota lidského těla 98,6 °F. Později byl přidán bod o teplotě 32 °F (bod tuhnutí ledu). Fahrenheitova teplotní stupnice se v současné době používá především v USA. Převod mezi teplotou ve Fahrenheitově stupnici a teplotou v Celsiově stupnici je prováděn na základě vzorce [17].

$$t_1 (^{\circ}F) = \frac{9}{5} t_2 (^{\circ}C) + 32 \quad [17]$$

Kde  $t_1$  značí teplotu ve stupních Fahrenheita a  $t_2$  teplotu ve stupních Celsia. Z čehož vyplývá že 32 °F je rovno 0 °C a 212 °F je 100 °C (meteopress.cz, cit. 5. 8. 2020; Bednář, 2003).

Mezi další významné teplotní stupnice patří Kelvinova stupnice, označována také jako stupnice absolutní nebo jako termodynamická stupnice. Jedná se o základní fyzikální teplotní stupnici, jejíž základní jednotkou je kelvin (značen K). Navržena byla v roce 1848 anglickým fyzikem Wiliamem Thomsonem, později známým jako lord Kelvin. Základním bodem této stupnice je tzv. absolutní nula (0 K). Jedná se o teoretickou nejnižší možnou teplotu, při které se zastaví veškerý pohyb tepelných částic. Této teploty není možné nijak dosáhnout, lze se jí jen limitně přiblížit. Druhým bodem je teplota trojného bodu vody, která činí 273,16 K. Jedná se o stav rovnováhy mezi plynným, kapalným a pevným skupenstvím vody při tlaku 611,7 Pa (Bednář, 2003).

Pro převod teplot mezi Kelvinovou a Celsiovou stupnicí se používá vzorec [18].

$$t_1 (K) = t_2 (^{\circ}C) + 273,15 \quad [18]$$

Kde  $t_1$  značí teplotu v kelvinech a  $t_2$  je teplota ve stupních Celsia (slovník.cmes.cz, cit. 10. 8. 2020).

Existují další teplotní stupnice jako je například Réaumurova stupnice, kterou zavedl roku 1731 francouzský fyzik R. A. Ferchault de Réamur. Jednou z odlišností od Celsiovy stupnice bylo rozdělení intervalu teplot mezi bodem mrazu a bodem varu na 80 dílů. Avšak v současné době se již této stupnice nevyužívá (Bednář, 2003).

### 3.5 Historie měření teplot v ČR

Na území současné České republiky se s pravidelným meteorologickým měřením teploty vzduchu začalo již v roce 1752 v pražském Klementinu. Avšak nešlo o systematické měření, které by bylo publikováno. Záznamy o teplotách jsou proto dochovány pouze v soukromých korespondencích, kalendářích a kronikách. Především jsou tyto údaje až do

roku 1774 značně nekompletní. Jako počátek klementinské řady je považován rok 1775, ale z hlediska moderních kritérií vyhovuje řada až od 1. ledna 1784. Nejprve probíhalo měření teploty pouze dvakrát denně, a to při východu Slunce (v letním období až 2 hodiny po východu) a odpoledne (přibližně v 15 hodin). Od počátku 19. století se využívá základních pozorovacích termínů nazvaných „mannheimské hodiny“, které se využívají dodnes. Jedná se o měření v časech 7, 14 a 21 hodin. Navzdory poloze Klementina uprostřed města či umístění měřících přístrojů jsou meteorologická pozorování, která trvají více než 250 let, velmi cenným zdrojem informací o stavu podnebí a počasí i současné době (portal.chmi.cz, cit. 9. 8. 2020).

## **3.6 Meteorologie**

Na základě touhy člověka vysvětlit a pochopit děje, které se odehrávají v ovzduší, vznikla meteorologie. Jedná se o vědu zabývající se atmosférou, její stavbou, vlastnostmi a hlavně procesy, které v ní probíhají. Poznatky pramenící z meteorologie jsou důležité pro mnohé lidské činnosti, v první řadě se jedná o zemědělství. Aby bylo možné stav atmosféry definovat, existuje mnoho meteorologických prvků. Mezi ty nejvýznamnější patří atmosférický tlak, teplota, rychlost a směr větru, vlhkost vzduchu, oblačnost a srážky. Dalšími prvky jsou například výpar, záření, délka slunečního svitu nebo radioaktivita. Každý prvek má svou specifickou techniku měření (Krška a Šamaj, 2001).

### **3.6.1 Meteorologické stanice**

Meteorologická pozorování a měření, díky kterým je možné diagnostikovat a předpovídat počasí, probíhají v meteorologických stanicích. Meteorologická data se získávají systematickým sledováním počasí a jeho změn ve stanovených hodinách. Na základě určitých kritérií se stanice nejčastěji rozdělují podle odborného zaměření (synoptické, klimatologické nebo letecké), dále je možné rozdělení podle charakteru získávání dat (přízemní, aerologické, v mezní vrstvě atmosféry), nebo podle umístění (pozemní, mořské, letecké) (slovník.cmes.cz, cit. 10. 8. 2020).

Na synoptických stanicích se provádějí nejrozsáhlejší kontinuální pozorování, měření a zaznamenávání meteorologických prvků a jevů. Měření probíhá standardně každou hodinu s doplňujícím měřením v desetiminutových intervalech. Jsou zaznamenávány veškerá meteorologická data jako je teplota, tlak a vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru,

oblačnost a množství srážek a další. Na základě naměřených údajů jsou vytvářeny synoptické mapy. Pro synoptické stanice je nejdůležitější pravidelnost a měření ve stejný časový okamžik. Dalším příkladem je stanice klimatologická, ve které se oproti synoptické stanici provádí měření a pozorování jen základních meteorologických prvků a jen třikrát denně. V České republice jsou stanoveny termíny 7, 14 a 21 hodin SEČ (Středoevropský čas = UTC+1h). Pokud platí SELČ (Středoevropský letní čas) jsou termíny posunuty o jednu hodinu, tudíž se měří v 8, 15 a 22 hodin. Dále se také provádí korekce podle polohy stanice vůči 15. poledníku. Stanovuje se termín dle místního středního slunečního času (MSSČ), aby na všech stanicích bylo prováděno měření ve stejné denní době vzhledem k poloze Slunce na obloze (Český hydrometeorologický ústav, 2014).

### **Meteorologická budka**

Základním vybavením meteorologické či klimatologické stanice je meteorologická budka. Jedná se o skříňku s dvojitými žaluziovými stěnami a drátěným dnem, která je standardně bílé barvy. Uvnitř jsou meteorologické přístroje jako je suchý a vlhký teploměr, vlasový vlhkoměr, maximální a minimální teploměr, termograf a hydrograf. Budka je ve výšce dvou metrů nad zemí a přístupová dvířka jsou z pravidla orientována na sever, aby nedocházelo k přímému slunečnímu ozáření přístrojů. V současné době se však využívá automatizovaný měřicí systém, a tak se manuální odečítání hodnot z přístrojů budky využívá pouze v případě výpadku automatického systému, nebo v neprofesionálních stanicích, které nejsou automatizované. Dalším vybavením meteorologických stanic jsou srážkoměry, anemoindikátory (pro měření rychlosti a směru větru) nebo heliograf pro měření délky slunečního svitu (Český hydrometeorologický ústav, 2014).

### **Meteorologické sondy a družice**

Na některých stanicích (v České republice fungují pouze 2 aerologické stanice) se provádí také takzvané aerologické měření. Aerologie se zabývá zkoumáním a pozorováním meteorologických prvků ve vertikálním směru atmosférou Země. K tomuto účelu se obvykle používají radiosondy, které jsou pomocí meteorologického balónu, jenž je naplněn vodíkem, vyneseny přibližně do výšky 35 až 45 km. Právě v této výšce dochází k prasknutí balónu a sonda padá k zemi. Sondy vlivem proudění vzduchu mohou přistát až 200 km od místa vypuštění. Během letu je neustále měřena teplota a vlhkost vzduchu, atmosférický tlak, ale také rychlost a síla větru. Veškerá naměřená data jsou přiřazena k určité



nadmořské výšce a jsou ihned odesílána zpět na stanici. Při použití speciální sondy se tímto způsobem měří stav ozonu v atmosféře či radioaktivita. Pro zobrazení naměřených dat se používají takzvané aerologické diagramy. Jedná se o grafy, kde vodorovnou osu tvoří teplota a svislá osa představuje vhodnou meteorologickou nebo geometrickou veličinu (nadmořská výška, tlak vzduchu a další). Následně je možné pozorovat teplotní zvrstvení (stratifikace), která vyjadřuje průběh teploty vzduchu, což je primárně používáno k předpovídání a modelování vývoje kupovité oblačnosti (Dvořák, 2008).

Dalším velmi důležitým zdrojem meteorologických dat jsou meteorologické družice. Rozlišují se 2 typy družic, a to geostacionární a polární. Geostacionární meteorologické družice jsou umístěny na geostacionární dráze, což znamená ve výšce okolo 36 000 kilometrů přibližně na rovníku Země. Tato výška je zvolena s cílem, aby se oběžná doba družic rovnala rychlosti rotace Země a nacházela se tak stále nad stejným místem, který nepřetržitě snímají. Tento typ meteorologických družic využívá například evropská společnost EUMETSAT a v současné době vlastní 4 družice s názvem Meteosat. Geostacionární družice také vlastní například USA (GOES), Čína (FY) nebo Rusko (Elektro-L). Druhým typem jsou družice polární, které jsou umístěny na nízké oběžné dráze (označováno jako LEO – Low Earth Orbit). Nacházejí se ve výšce od 600 do 1500 km nad povrchem Země. Polární družice obíhají Zemi přes polární oblasti (oběžná doba je přibližně 100 minut), a jelikož pod nimi Země rotuje, detailně tak skenují většinu zemského povrchu. EUMETSAT aktuálně využívá na nízké oběžné dráze 3 družice s názvem Metop, dále jsou významné družice americké vědecké agentury NOAA (Václav Smolka, in-pocasi.cz, cit. 25. 8. 2020).

## **3.7 Globální změny klimatu**

Tato kapitola je věnována vývoji klimatu, především zde jsou nastíněny příčiny klimatických změn. Součástí je také shrnutí významných mezinárodních dohod vzniklých v reakci na klimatické změny.

### **3.7.1 Vývoj klimatu v historii**

Zkoumáním dřívějšího vývoje klimatu na Zemi se zabývá historická klimatologie a paleoklimatologie. Je ale zřejmé, že z dávné minulosti nejsou dostupná žádná přímá data z měření meteorologických prvků. Pro zjištění klimatických charakteristik (především se

jedná o teplotu) v minulosti se tedy používají nepřímé metody s využíváním takzvaných klimatologických proxy dat. Takových metod pro získávání nepřímých dat je mnoho, například měření a porovnávání letokruhů stromů. Šířka letokruhů a hustota dřeva je totiž značně ovlivněna daným počasím. Dalším způsobem je provádění hloubkových vrtů nejen půdy, ale především ledovcových vrstev nejčastěji v Grónsku nebo Antarktidě. U takto získaných ledovcových jader je následně zkoumáno složení vzduchových bublin. Teplota v minulosti je pak odhadována na základě poměru izotopů kyslíku. Jiným příkladem může být zkoumání starých pylových zrn, mořských korálů nebo sedimentů na mořském dně (Metelka a Tolasz, 2009).

### **3.7.2 Teoretické příčiny klimatických změn**

Srovnávat současné klima s tím dřívějším je poměrně obtížné, a to nejen z důvodu nedostatku přesných dat, ale také kvůli odlišným geologickým podmínkám. Světové klima se vždy měnilo, a i nadále budou změny probíhat. Příčiny změn lze rozdělit na dvě skupiny, kde jednu skupinu tvoří vlivy přírodních sil, které se v několika případech opakují v přirozených cyklech a druhou skupinu tvoří vlivy lidské činnosti. Přírodní faktory se dále rozdělují na astronomické a geofyzikální (Soukupová, 2013).

#### **Astronomické příčiny klimatických změn**

Za astronomické změny se považují například kosmické katastrofy (srážka Země s jiným vesmírným tělesem) nebo změny sluneční aktivity, které jsou pozorovány na základě slunečních skvrn či slunečního větru. Zkoumány jsou také změny mechanismů pohybu Země, kde nejznámější jsou vesmírné faktory známé jako Milankovičovy cykly. Prvním cyklem je změna excentricity (výstřednost) oběžné dráhy Země, který trvá přibližně 100 000 let. Excentricita znamená vychylování z kruhové dráhy na eliptickou, a tedy změnu vzdálenosti Země od Slunce. V současné době se oběžná dráha Země blíží k nejvíce kruhové (výstřednost klesá), což znamená postupné vyrovnávání délky ročních období. Druhý cyklus, který se týká sklonu (šikmosti) zemské osy, trvá asi 41 000 let. Sклон zemské osy se pohybuje mezi  $22,1^\circ$  a  $24,5^\circ$ , přičemž v současné době je úhel náklonu přibližně v polovině mezi těmito extrémy ( $23,4^\circ$ ). Čím vyšší úhel je, tím více sluneční energie přijímají vyšší zeměpisné šířky než oblasti kolem rovníku. Posledním cyklem je precese zemské osy, tedy pohyb, při kterém se Země při otáčení kolem své osy vyklání do stran. Hlavním činitelem tohoto jevu jsou gravitační vlivy Slunce a Měsíce. Důsledkem

tohoto cyklu, který trvá přibližně 23 000 let, jsou sezónní kontrasty extrémnější na jedné polokouli Země než na druhé. V současné době je severní polokoule právě ta s menšími sezónními variacemi. Při zkoumání celkového působení Milankovičových cyklů na světové klima je obecně přijímána teorie, že existuje velmi silná provázanost načasování s glaciálně-interglaciálními cykly, tedy střídání chladných dob ledových a teplejších dob meziledových (Alan Buis, climate.nasa.gov, cit. 13. 9. 2020).

### **Geofyzikální příčiny klimatických změn**

Jiným typem působení přírodních sil na klima jsou příčiny geofyzikální. Při pohledu do dávné minulosti je zřejmé, že pohyb kontinentů musel znamenat velké změny klimatu. Například srážkami kontinentů vznikala nová pohoří, která usměrnila vzdušné proudění, nebo naopak oddalování kontinentů docházelo k velkým potopám a vzniku nových vodních ploch. S pohybem kontinentů souvisí pohyb litosférických desek, a s tím spojený vulkanismus. V důsledku vulkanických erupcí se do ovzduší dostane velké množství znečišťujících látek (prach, sopečný popel, oxid siřičitý), a následně dochází k pozvolné sedimentaci. Může tak docházet k velmi náhlým zásadním změnám klimatu. Posouvání litosférických desek znamená i změny mořského dna a změny mořských proudů. Mořské proudění je dále ovlivňováno množstvím sluneční energie a prouděním vzduchu, a s tím je spojená jejich salinita (slanost) a teplota. Následné změny tras a teplot oceánského proudění mohou mít zásadní vliv na globální klima. Z mořského dna se navíc uvolňuje hydrát metanu, tudíž při narušení mořského dna (například zemětřesením nebo výbuchem sopky) se může do ovzduší dostat velké množství metanu, který má jako významný skleníkový plyn značné účinky (Soukupová, 2013).

Dalším velmi důležitým faktorem je cirkulace atmosféry, která vzniká na základě nerovnoměrného ohřívání Země. Základ cirkulace vzduchových hmot tvoří cirkulační buňky. V oblastech rovníku jsou to takzvané Hadleyho buňky. Vznikají na základě proudění teplého vlhkého vzduchu od rovníku do výšky, a následně na sever a jih. V přibližně 15°- 30° severní či jižní zeměpisné šířky se dostává do oblastí tlakových výší, jejichž důsledkem klesá k povrchu. Následkem tohoto teplého a současně již suchého vzduchu se zde obvykle vyskytují pouště. Celý oběh uzavírají přízemní pasáty, které míří zpátky k rovníku. V oblastech přibližně od 30° do 60° se nachází takzvaná Ferrellova buňka, která vzniká na základě proudění vzduchu sousedících buněk a je značně ovlivněna

lokálními poměry. Od 60° k pólům je oblast polárních buněk, ve kterých se vytváří podobný oběh jako na rovníku (Dvořák, 2008).

Dále jsou známé 2 velké cirkulační systémy ENSO a NAO, a další menší systémy jako atlantická dlouhodobá cirkulace, arktická cirkulace a pacifická dlouhodobá cirkulace. ENSO (El-Niño – Southern Oscillation) je jev vyskytující se v oblasti rovníkového Tichého oceánu. Podstata této jižní oscilace (nazývaného také jako Walkerova buňka) spočívá v cirkulaci na základě rozdílů atmosférického tlaku. Za normálních okolností vanou ve vysokých výškách suché vzdušné proudy směrem od západu k východu. Avšak u jihoamerického pobřeží se vzduch stává vlhký a těžší. Jelikož nepřekoná Andy, tak klesá dolů a vrací se zpět na západ, přičemž tyto vlhké vzdušné proudy odtlačují teplé vrstvy vody. Tím je umožněn výstup chladnějších vrstev vody, což vytváří dobré podmínky pro rybolov. Teplá voda se na západě (pobřeží Austrálie, Indonésie) vypaří, vlhký vzduch stoupá a vznikají tak monzunové deště. El-Niño je jev při kterém je tato cirkulace narušena, z důvodu oslabení vzdušných proudů směřujících od východu k západu. Teplá voda se tak dostává k jihoamerickému pobřeží, což má za následek obrácení cirkulace. Znamená to velké množství srážek pro Jižní Ameriku, a naopak suché a horké počasí pro Indonésii. Tento jev se opakuje přibližně po 3 až 7 letech a není zcela přesně známé, z jakého důvodu dochází zmírnění pasátů od východu. Souvisejícím jevem je děj zvaný El Niña. Je to opačný extrém, při kterém dochází k zesílení normální Walkerovy oscilace. I tento jev má velmi značné dopady (Kopp a Suda, 2004).

Další známou cirkulací je Severoatlantická oscilace (NAO), která vzniká na základě rozdílů atmosférického tlaku v oblastech Azorské výše a Islandské níže. Tento jev je významný především pro Evropu hlavně v zimních měsících, kdy může docházet k největším rozdílům. Pokud je rozdíl atmosférického tlaku mezi Azorskou výší a Islandskou níží velký, dochází k silnému proudění vzduchu od západu. Do Evropy se tak dostává teplý vlhký vzduch, což má za následek mírné zimy ve střední Evropě a sucho ve Středomoří. Dle měření se tento jev opakuje přibližně po 8 letech. Naopak pokud jsou rozdíly minimální, západní proudění je slabé, což znamená větší vliv Sibiřské tlakové výše. Výsledkem jsou suché mrazivé zimy v severní a střední Evropě. V kombinaci s Golským proudem je Severoatlantická oscilace významným prvkem v utváření klimatu nejen v Evropě (Soukupová, 2013).

## **Antropogenní příčiny klimatických změn**

Druhou skupinu příčin změn klimatu tvoří vlivy antropogenního charakteru, tedy vlivy spojené s lidskou činností. Lidstvo ovlivňuje klima již velmi dlouhou dobu například zemědělstvím, konkrétně množением hospodářských zvířat (produkce metanu) nebo odlesňováním pro vytváření polí. Avšak nejvíce lidé začali klima ovlivňovat koncem 18. století, kdy začala průmyslová revoluce. Rychlý rozvoj průmyslu a dopravy měl zásadní vliv na produkci velkého množství látek znečišťujících ovzduší (Soukupová, 2013).

Jedním ze zásadních jevů, se kterým souvisí lidská činnost, je takzvaný skleníkový efekt, který spočívá v odrazení tepelného vyzařování zpět k ohřátému zemskému povrchu. Při pronikání slunečního záření atmosférou Země je asi 30 % odraženo zpět do kosmu. Zbylá část je pohlcena zemským povrchem, který se tak ohřívá, díky čemuž vyzařuje tepelnou energii zpět do atmosféry. Jelikož atmosféra Země obsahuje skleníkové plyny, je toto záření pohlcováno a teplota vzduchu tak roste. Od ohřátého vzduchu se pak opět odráží energie, která z poloviny míří do vyšších vrstev atmosféry, a druhá polovina se vrací k zemskému povrchu. Skleníkový efekt existoval vždy, bez skleníkových plynů by průměrná teplota klesla přibližně o 33 °C. Problémem však je zvyšování koncentrace skleníkových plynů, a tím je silnější účinek skleníkového efektu. Mezi skleníkové plyny, na které má lidská činnost vliv, patří především oxid uhličitý, metan a ozon. Vliv jednotlivých plynů záleží na jejich množství a radiační účinnosti, tedy jak ovlivňuje energetickou bilanci atmosféry v přepočtu na jednotku hmotnosti. Mnoho skleníkových plynů je běžnou součástí přirozených procesů na Zemi, příkladem může být oxid uhličitý a metan, které jsou součástí takzvaného globálního uhlíkového cyklu. Uhlík totiž neustále koluje mezi oceány, biosférou, atmosférou či živými organismy. Avšak přirozené toky uhlíku jsou dlouhodobě dobře vyrovnané. Lidská činnost začala přispívat k dlouhodobému zvyšování koncentrace skleníkových plynů, především počátkem průmyslové revoluce. Největší vliv má spalování fosilních paliv, což znamená spalování uhlí, ropy a zemního plynu. V podobě oxidu uhličitého se tak do oběhu dostává uhlík, který byl mimo přirozený uhlíkový cyklus. Významným zdrojem skleníkových plynů je také například výroba cementu, chov dobytka nebo pěstování rýže. Kvůli odlesňování se navíc snižuje množství uhlíku, který by mohl být zachycen vegetací (Metelka a Tolasz, 2009).

### **3.7.3 Příčiny klimatických změn v současnosti**

Mezivládní panel pro změny klimatu (IPCC) v letech 2013 a 2014 po částech zveřejnil Pátou hodnotící zprávu, což je dokument poskytující souhrnný pohled na změny klimatu.

#### **Pozorované změny a jejich příčiny**

Změny klimatického systému, především se jedná o jeho oteplování, jsou nesporným faktem. Je zřejmé oteplení atmosféry a oceánu, snížení množství sněhu a ledu, a také zvýšení hladiny oceánu. Pro příklad globální průměr povrchové teploty se na základě několika nezávislých datových souborů zvýšil v období 1880 až 2012 přibližně o 0,85 °C. Je pozorován velký ústup ledovců po celém světě, a také značný úbytek arktického mořského ledu. V období od roku 1901 do roku 2010 se zvýšila průměrná globální hladina oceánu asi o 19 centimetrů. Což znamená s vysokou spolehlivostí vyšší rychlost vzestupu oceánské hladiny než v průběhu posledních dvou tisíciletí. Jako primární příčina změn od poloviny 20. století je považována antropogenní činnost, především stále se zvyšující emise skleníkových plynů. Koncentrace oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů je vyšší než za posledních 800 000 let. Mezi lety 1970–2010 přispívá k nárustu emisí skleníkových plynů přibližně ze 78 % emise ze spalování fosilních paliv a průmyslových procesů (IPCC, 2014).

#### **Dopady klimatických změn a pohled do budoucna**

Nejvíce znatelné dopady změn klimatu jsou u přírodních systémů, od kterých se následně odvíjejí následky pro systémy lidské. Například v důsledku měnících se srážek a tání ledu se přeměňují hydrologické systémy, a tím je ovlivněna v mnoha oblastech světa kvalita, ale především množství vodních zdrojů. Dochází ke změnám rozšíření mnohých živočišných druhů a jejich vzájemnému působení. Pro velké množství regionů převažují negativní dopady změn klimatu na výnosnost plodin. V některých oblastech hrozí vyšší počet extrémních událostí jako jsou vlny veder, sucha, požáry či naopak povodně. Další oteplování klimatického systému v důsledku pokračující emise skleníkových plynů zvyšuje pravděpodobnost nezvratných závažných dopadů pro mnohé ekosystémy a jejich obyvatele. Pro popsání vývoje koncentrací skleníkových plynů byly sestaveny 4 základní scénáře RCP (Representative Concentration Pathways). Tyto reprezentativní směry vývoje koncentrací předpovídají vývoj emisí pro 21. století na základě stupně jejich omezení. Podle všech scénářů se však předpokládá, že globální teplota povrchu bude stoupat.

Dle nejmírnějšího scénáře RCP2.6, který předpokládá značné omezení emisí, se průměr globální povrchové teploty v letech 2081–2100 zvýší o 0,3–1,7 °C ve srovnání s obdobím 1986–2005. Zatímco dle nejhoršího scénáře, jehož předpokladem je stále se zvyšující emise skleníkových plynů, vzroste teplota o 2,6 °C až 4,8 °C. Pro zmírnění klimatických rizik a udržitelný rozvoj je nanejvýš vhodné zavést adaptační a mitigační strategie. Aby byl výsledek co nejvíce efektivní je nutná kolektivní reakce a spolupráce na mezinárodní úrovni. Jedním z problémů pro zavedení adaptačních a mitigačních opatření je jejich ekonomická nákladnost. Odkládaním implementace do budoucna se však tyto náklady ještě zvýší, a zároveň roste riziko vyšších klimatických dopadů (IPCC, 2014).

### **3.7.4 Mezinárodní reakce na globální změny klimatu**

V reakci na pozorované globální změny klimatu vznikla v roce 1992 Rámcová úmluva OSN o změně klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change, zkráceně UNFCCC), která vstoupila v platnost v roce 1994. Jedná se o mezinárodní smlouvu pro omezení globálního oteplování a ochraně klimatických systémů, kterou ratifikovalo v současné době celkem 197 subjektů. Jejím hlavním cílem je zabránit nebezpečným antropogenním zásahům do klimatického systému, čehož by mělo být dosaženo především omezením emisí skleníkových plynů. Avšak nebyly stanoveny žádné konkrétní omezení pro jednotlivé země nebo donucovací mechanismy, které by vedly k naplnění cílů. Účastníci se však každoročně scházejí na konferencích smluvních stran (Conference of Parties, zkráceně COP), kde je posuzován pokrok v boji proti změnám klimatu, a také jsou diskutovány další plány do budoucna (Melissa Denchak, nrdc.org, cit. 20. 2. 2021).

#### **Kjótský protokol**

Mezníkem byl takzvaný Kjótský protokol, který byl přijat roku 1997 na COP 3 v japonském Kjótu, avšak v platnost vstoupil až v roce 2005. Byly stanoveny závazné cíle snižování emisí skleníkových plynů, ale pouze pro rozvinuté země, které jsou odpovědné za většinu emisí. Původním cílem bylo úhrnné snížení emisí o 5 % oproti úrovni v roce 1990. První závazkové období bylo mezi lety 2008–2012, avšak později bylo přijato druhé období prodloužené do roku 2020. Problémem však bylo, že byly vynechány od plnění závazných cílů státy jako je Čína a Indie, a také nakonec od smlouvy odstoupily i Spojené státy americké. Bez těchto států, které patří mezi největší producenty emisí CO<sub>2</sub> na světě se

účinnost Kjótského protokolu ukázala jako omezená. Ve výsledku tedy došlo ke snižování emisí pouze v Evropské unii, což v globálním měřítku nemělo takový dopad, na který bylo cíleno (unfccc,int, cit. 20. 2. 2021).

### **Pařížská dohoda**

Druhým mezníkem je Pařížská dohoda, která byla přijata na COP 21 v Paříži v roce 2015, v platnost vstoupila o rok později. Jedná se o právně závaznou mezinárodní smlouvu o změně klimatu, která má za cíl omezit globální oteplování, a tedy udržet zvýšení teploty v porovnání s předindustriální úrovní (období před průmyslovou revolucí) pod 2 °C (nejlépe 1,5 °C). Podobně jako v případě Kjótského protokolu, tak ani zde nejsou žádné konkrétní sankce při nesplnění cílů. Existuje však rozsáhlý systém monitorování vývoje v průběhu času, jenž přináší zprávy pro celý svět o pokrocích v dosahování cílů. Pařížská dohoda oproti Kjótskému protokolu vyžaduje účast všech zemí, bez ohledu na bohatství nebo rozvinutost dané země (infccc.int, cit 20. 2. 2021).

Kumulativní účinek snížení emisí dle příslibů Pařížské dohody však podle různých studií není dostatečný, jelikož je očekáváno, že nárůst teploty oproti předindustriální úrovni bude přibližně 2,9 °C. To je poměrně značný rozdíl od stanoveného cíle, a je tím naznačeno nesplnění závazků některých národů. Navíc v roce 2020 došlo k odstoupení Spojených států amerických, což by znamenalo velké dopady na snahy ohledně regulování emisí. Avšak po jmenování nového prezidenta, kterým je J. Biden, byly 19. února 2021 Spojené státy americké k Pařížské dohodě znovu přijaty (Melissa Denchak, nrdc.org, cit. 20. 2. 2021).

### **Nové zelené dohody (New green deal)**

S problematikou globálních klimatických změn také úzce souvisí takzvané zelené dohody. Konkrétně se jedná hlavně o Zelenou dohodu pro Evropu (The European Green Deal), která má i obdobu pro USA, ale ta zahrnuje kromě problematiky klimatu i otázky nezaměstnanosti či rasismu. Zelená dohoda pro Evropu představuje program, který by měl pomoci k přechodu na udržitelné hospodářství. Hlavním cílem je dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050. Plánem je tedy podpořit efektivní využívání zdrojů prostřednictvím přechodu na oběhové hospodářství a zabránit ztrátám biologické rozmanitosti. Pro udržitelnou budoucnost je tedy například plánována transformace



průmyslu, kde je zásadní dekarbonizace a modernizace. Důraz je kladen především na energeticky náročná průmyslová odvětví, jako je ocelářství nebo výroba cementu. V oblasti mobility budou podpořeny dopravní prostředky využívající alternativní paliva šetrnější k životnímu prostředí. Jelikož pro udržitelnou dopravu a klimatickou neutralitu je nutné snížit emise pocházející z dopravního sektoru až o 90 %. Dalším bodem je také oblast zemědělství, kde je snaha vytvořit udržitelný potravinový systém a ochrana biologické rozmanitosti. To znamená zajištění cenově dostupných a udržitelných potravin s minimálním dopadem na životní prostředí. Dále bude upřednostněné využívání obnovitelných zdrojů energie a zlepšení jejich účinnosti. Plán zahrnuje mnoho dalších bodů, jako je například snížení energetické náročnosti budov či práce na obnovování a ochraně přírodních ekosystémů (eur-lex.europa.eu, cit. 20. 2. 2021).

## 4 Analytická část

V této části práce je provedena analýza teplotních změn v České republice v období od roku 1961 do roku 2019. Jako první jsou zkoumány teploty při roční frekvenci a následně při frekvenci čtvrtletní. Nejprve je časová řada popsána pomocí elementárních statistik, na které navazují statistiky deskriptivní. Následně je provedena komparace dvou období v rámci časové řady pro kvantifikaci rozdílů. Poté je časová řada modelována pomocí modelů exponenciálního vyrovnávání, a také pomocí modelů ARIMA. Zahrnuta je i krátkodobá predikce.

### 4.1 Časová řada průměrných ročních teplot

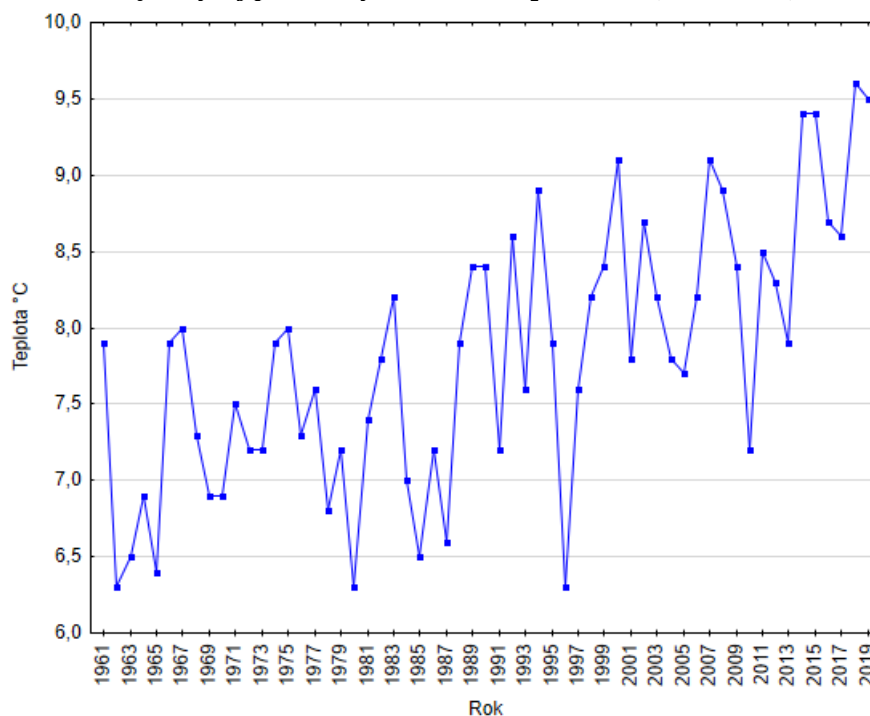
Nyní bude zkoumána časová řada průměrných teplot na území České republiky při roční frekvenci od roku 1961 do roku 2019.

#### 4.1.1 Popis vývoje průměrných ročních teplot

Vývoj průměrných ročních teplot v České republice je zobrazen na grafu 1, ze kterého je patrné, že roční průměry teplot vykazují z dlouhodobého hlediska rostoucí tendenci. Rostoucí dlouhodobý trend potvrzuje také hodnota průměrné absolutní difference, jež je rovna 0,0276, jak je možné pozorovat v příloze 1. To znamená, že se průměrná roční teplota v období od roku 1961 do roku 2019 zvýšila v průměru každým rokem o 0,0276 °C.

Avšak průměrnou teplotu roku 1961 lze považovat oproti ostatním rokům na začátku časové řady za výjimečně vysokou. Pokud by bylo bráno referenční období od roku 1962, tak by výsledná hodnota činila 0,0561, tedy průměrné každoroční zvýšení průměrné teploty o 0,0561 °C, což je více než dvojnásobek hodnoty průměrné absolutní difference s výchozím rokem 1961.

*Graf 1 Vývoj průměrných ročních teplot v ČR (1961-2019)*



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

V příloze 1 je možné dlouhodobou tendenci také pozorovat na základě bazického indexu. Pokud je při výpočtu jako výchozí rok určen rok 1961, výsledkem bazického indexu pro rok 2019 je hodnota 1,2025, což znamená nárůst průměrné roční teploty o 20,25 %. Podobně jako při výpočtu průměrné absolutní difference je možné pro srovnání použít jako bázi rok 1962, v takovém případě dochází k výsledku bazického indexu 1,5079. Průměrná roční teplota roku 2019 byla tedy o 50,79 % vyšší než v roce 1962.

K největšímu meziročnímu poklesu průměrné teploty došlo, jak je možné pozorovat v grafu 1, v letech 1962 a 1996. V obou případech se roční průměr teplot snížil ze 7,9 °C na 6,3 °C a hodnota první absolutní difference tedy činí -1,6 (to v relativním vyjádření znamená pokles o 20,25 %). Průměrná roční teplota 6,3 °C je zároveň minimum celé časové řady, kterého bylo kromě let 1962 a 1996 dosaženo také v roce 1980. K největšímu absolutnímu zpomalení došlo v roce 1993, jelikož 2. absolutní difference vykazuje hodnotu -2,4 a průměrná roční teplota činila 7,6 °C. Největší nárůst průměrné roční teploty byl dle indexu růstu 1,2344 (nárůst o 23,44 %) zaznamenán v roce 1966. Průměrná roční teplota se oproti předcházejícímu roku (6,4 °C) zvýšila na 7,9 °C, hodnota 1. absolutní difference činí 1,5. Totožnou hodnotu první absolutní difference (1,5) lze

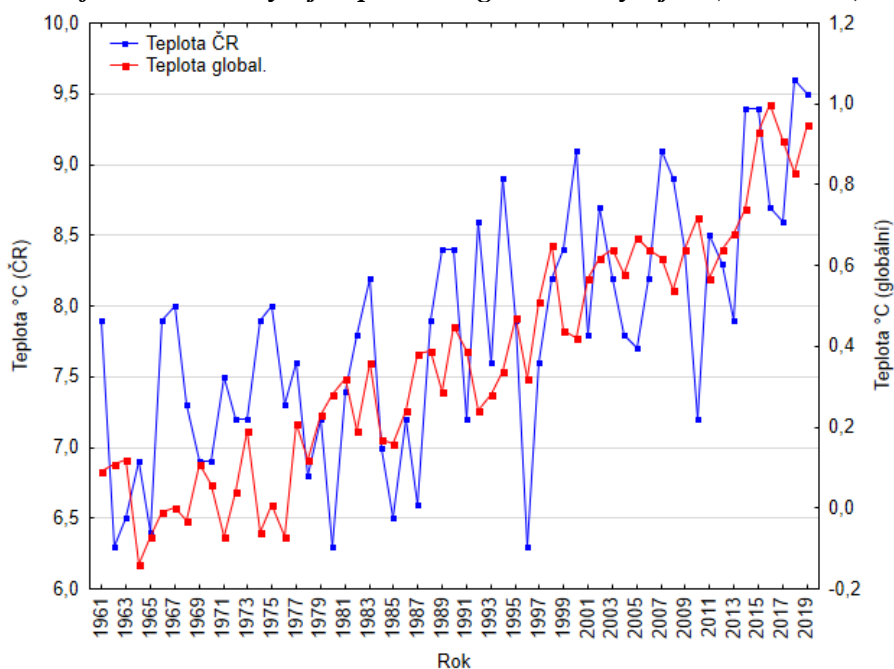
pozorovat také v roce 2014, ale v relativním vyjádření je tento nárůst o 4,45 procentních bodů nižší. Největší absolutní zrychlení, hodnota druhé absolutní diference činí 2,9, patří k roku 1997 s průměrnou teplotou 7,6 °C, který následuje po velmi chladném roce 1996. Teplotní maximum lze pozorovat v roce 2018, jehož průměrná roční teplota má hodnotu 9,6 °C.

Za celé sledované období se ve čtyřech případech stalo, že dva po sobě následující roky vykazují shodnou hodnotu průměrné teploty (1. absolutní diference je rovna nule). Jedná se o roky 1969 a 1970 s teplotou 6,9 °C, roky 1972 a 1973 (teplota 7,2 °C), následně roky 1989 a 1990 (teplota 8,4 °C), a nakonec roky 2014 a 2015 se shodnou průměrnou teplotou 9,4 °C.

## Porovnání s globálním vývojem teplot

V souvislosti se zkoumaným vývojem teplot v České republice, je vhodné jej proložit křivkou vývoje teplot celosvětových (ncdc.noaa.gov, cit. 25. 2. 2021) a posoudit případné odlišnosti tuzemského teplotního vývoje od toho globálního. Zmíněné porovnání přináší graf 2, ze kterého je patrné, že vývojové tendence jsou v každém případě rostoucí. Nejedná se tedy o nárůst teplot pouze na lokální (evropské) úrovni, ale na základě zprůměrování teplot ze všech kontinentů je patrný rostoucí trend.

**Graf 2 Porovnání vývoje teplot ČR s globálním vývojem (1961–2019)**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Právě vlivem zprůměrování, z něhož vznikla řada globálních teplot (součástí je i primární sledovaná řada hodnot z území České republiky), je způsobena výrazně nižší variabilita časové řady celosvětových teplot.

Nutné je podotknout, že hladina hodnot křivky globálních teplot je zobrazena pomocí vedlejší osy a nejedná se tedy o stejnou úroveň řady teplot České republiky, která je v rozmezí od 6 °C do 10 °C. Rozpětí globálních teplot je samozřejmě mnohem nižší, konkrétně pouze 1,14 °C, přičemž minimální hodnotou je -0,14 °C (rok 1964) a maximální hodnotou 1 °C (rok 2016). Je zajímavé, že zmíněné minimum se nachází 2 roky po minimální hodnotě v České republice (1962).

#### 4.1.2 Explorační analýza roční časové řady

V tabulce 1 lze spatřit deskriptivní statistiky časové řady ročních průměrných teplot. Sledované období je od roku 1961 do roku 2019, tudíž počet pozorování je 59 s průměrnou hodnotou za celé období 7,81 °C. Na základě porovnání průměru celé časové řady s poslední hodnotou (9,5 °C) vychází rozdíl o 1,86 °C. Rozdíl mezi průměrem a mediánem je -0,08 °C, jelikož hodnota mediánu je 7,9 °C. Hodnoty průměrných teplot se pohybují v intervalu od 6,3 °C do 9,6 °C, což je minimum a maximum časové řady, variační rozpětí je tedy 3,3 °C.

*Tabulka 1 Deskriptivní statistiky ročních teplot ČR*

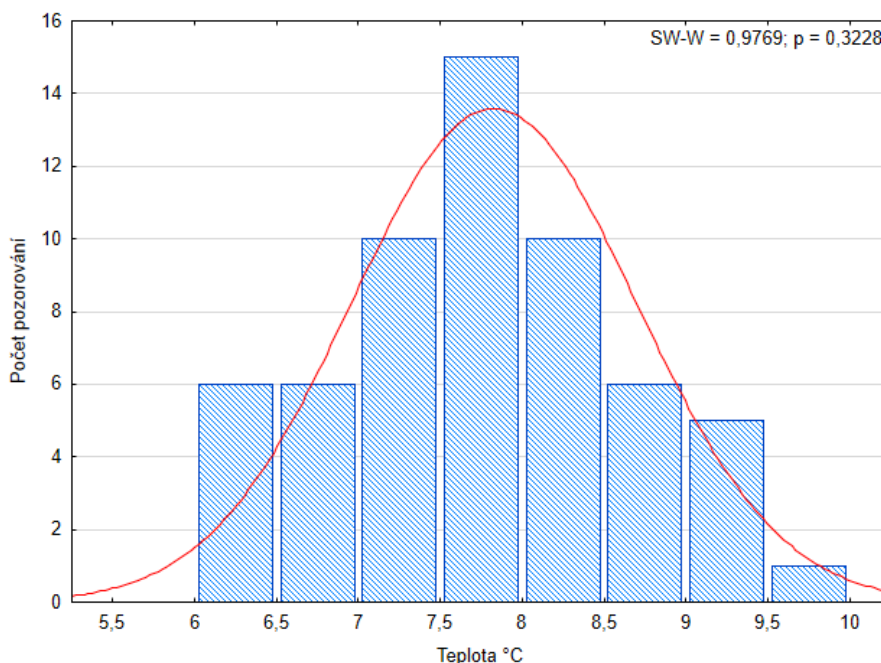
Počet pozorování	Průměr (°C)	Medián (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)	Rozptyl	Sm. Odch.	Var. Koef.	Šikmost	Špičatost
59	7,82	7,90	6,30	9,60	0,7506	0,8664	11,0858	0,1026	-0,6334

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Variabilitu časové řady lze charakterizovat pomocí rozptylu, jenž má hodnotu 0,7506 a ještě lépe pomocí směrodatné odchylky, jejíž hodnota činí 0,8664. To znamená, že průměrný rozdíl ročních teplot od průměrné hodnoty (7,82 °C) je 0,8664 °C, což značí poměrně značnou variabilitu dat. Dalším ukazatelem je variační koeficient, který vyjadřuje relativní rozptýlenost dat vzhledem k průměru, což v tomto případě je 11,0858 %. Variační koeficient nižší než 50 % signalizuje, že data mohou mít normální rozdělení. Pro posouzení jak moc jsou data podobná či odlišná od normálního rozdělení, je možné použít

charakteristiky šikmosti a špičatosti. Hodnota šikmosti činí 0,1026, jelikož je to kladná hodnota, znamená to mírné zešikmení vpravo. Koeficient špičatosti má hodnotu -0,6334, tudíž je křivka rozdělení mírně plošší než u normálního rozdělení.

**Graf 3 Rozložení ročních teplot ČR**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Zdali zkoumaná data mají normální rozdělení či nikoliv, lze také přibližně odhadovat na základě sestrojeného histogramu, který je možné pozorovat na grafu 3. Jelikož rozdělení četností dat poměrně odpovídá tvaru Gaussovy křivky, jedná se o další předpoklad normálního rozdělení zkoumaných dat. Jednoznačněji však lze potvrdit nebo vyvrátit normalitu dat na základě testů normality. Lze použít například S–W test (Shapiro–Wilkův test), jehož výsledné hodnoty jsou zobrazeny také v grafu 3. Pro testování je stanovena nulová hypotéza  $H_0$  a alternativní hypotéza  $H_1$  na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

$H_0$ : Zkoumaný soubor dat má normální rozdělení.

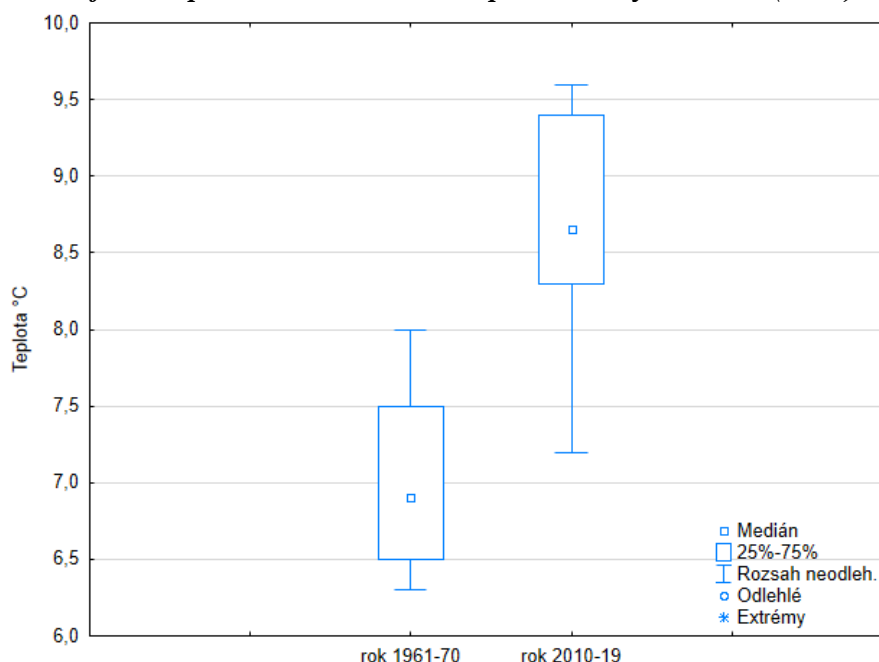
$H_1$ : Zkoumaný soubor dat nemá normální rozdělení.

Na základě výsledných hodnot Shapiro–Wilkova testu (graf 3) není možné zamítnout  $H_0$ , jelikož p-hodnota je větší než  $\alpha$  ( $0,3228 > 0,05$ ). Z toho vyplývá, že soubor dat s průměrnou roční teplotou má normální rozdělení na hladině významnosti 0,05. Stejného výsledku je dosaženo i za pomoci K–S testu (Kolmogorův-Smirnovův test), kde p-hodnota je větší než 0,20. Opět tedy nelze zamítnout nulovou hypotézu na hladině významnosti 0,05, tudíž data mají normální rozdělení s 95% pravděpodobností.

### 4.1.3 Porovnání dvou období v rámci roční časové řady

Dalším způsobem pro vyjádření míry změn v časové řadě je porovnání určitých částí sledované časové řady. Pro zjištění změn je tak vhodné porovnat počátek časové řady s jejím koncem. Na krabicovém grafu 4 je možné pozorovat rozložení dat obou sledovaných období. Byly vytvořeny dva stejně dlouhé desetileté úseky, přesněji počáteční období zahrnující roky 1961–1970, a pak období posledních deseti let, tedy 2010–2019. Jak je z grafu 4 patrné, rozdíl mezi sledovanými úseky je výrazný. Většina hodnot (označeny modrým obdélníkem) prvního období se nachází v rozmezí od 6,5 °C do 7,5 °C, zatímco u druhého období přibližně v rozmezí od 8,4 °C do 9,4 °C. Je také možné konstatovat, že variabilita období od roku 2010 do roku 2019 je vyšší.

*Graf 4 Komparace středních hodnot porovnávaných období (roční)*



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Pro přesné zkoumání rozdílů je zde tabulka 2, které zobrazuje deskriptivní statistiky obou období. Výrazný nárůst teplot mezi sledovanými obdobími je zřejmý z porovnání průměrů obou období. Jelikož rozdíl mezi nimi činí 1,65 °C, a v případě porovnání mediánů je rozdíl dokonce 1,75 °C. Podobná diference je patrná i mezi minimálními a maximálními hodnotami. Výše předpokládanou vyšší variabilitu hodnot druhého období potvrzuje směrodatná odchylka s hodnotou 0,7838 (u prvního období 0,6004), což značí průměrnou odchylku od průměru 0,7838 °C. Pro srovnání jsou zde zobrazeny i charakteristiky šikmosti a špičatosti, kde na základě záporných hodnot špičatosti, lze konstatovat plošší

rozložení dat oproti normálnímu rozdělení u obou období (u prvního období výrazněji). Ale na základě šikmosti lze pozorovat rozdílnost, jelikož rozložení hodnot prvního období je zešikmené zprava (kladná hodnota 0,3902), zatímco u druhého období je levostranné zešikmení, jelikož hodnota charakteristiky šikmosti je záporná (-0,6343).

*Tabulka 2 Deskriptivní statistiky komparovaných období (roční)*

<i>Období</i>	<i>Počet pozorování</i>	<i>Průměr</i>	<i>Medián</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Rozptyl</i>	<i>Sm. Odch.</i>	<i>Var. Koef.</i>	<i>Šikmost</i>	<i>Špičatost</i>
1961-70	10	7,06	6,90	6,30	8,00	0,3604	0,6004	8,5038	0,3902	-1,0751
2010-19	10	8,71	8,65	7,20	9,60	0,6143	0,7838	8,9988	-0,6343	-0,2160

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Pro ověření statistické významnosti rozdílu mezi sledovanými obdobími je využito analýzy rozptylu (ANOVA). Před jejím použitím je však nutné ověřit, zda byly splněny předpoklady pro její použití. Jedním z těchto předpokladů je homoskedasticita dat, tedy že soubory dat se mezi sebou neliší svým rozptylem. Jsou vytvořeny následující hypotézy na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

$H_0$ : Rozptyl zkoumaných souborů dat je shodný.

$H_1$ : Rozptyl zkoumaných souborů dat je rozdílný.

K otestování homogenity dat je využito Levenova testu, jehož výsledek lze pozorovat v příloze 2. Jelikož p-hodnota (0,6773) je větší než 0,05, hypotézu  $H_0$  nelze zamítnout a s 95% pravděpodobností mají sledované období stejnou variabilitu dat. Druhým předpokladem je normalita rozložení dat, která byla potvrzena pomocí Shapiro–Wilkova testu. Na základě p-hodnoty 0,1953, která je vyšší než 0,05, není možné zamítnout nulovou hypotézu<sup>1</sup> o normalitě rozdělení na hladině významnosti  $\alpha$ .

Následně, když bylo potvrzeno splnění předpokladů, bylo provedeno testování pomocí jednofaktorové ANOVY, jejíž výsledek je zobrazen v příloze 3. Pro účely testování byly sestaveny následující hypotézy na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

$H_0$ : Průměr zkoumaných souborů dat je shodný.

$H_1$ : Průměr zkoumaných souborů dat je rozdílný.

<sup>1</sup>  $H_0$ : Zkoumaný soubor dat má normální rozdělení,  $H_1$ : Zkoumaný soubor dat nemá normální rozdělení,  $\alpha = 0,05$



Na základě p-hodnoty zobrazené v příloze 3 lze konstatovat, že s 95% pravděpodobností (jelikož je p-hodnota menší než 0,01 lze tvrdit i s 99% pravděpodobností) se od sebe zkoumané soubory (období 1961–1970 a 2010–2019) statisticky liší.

#### 4.1.4 Modelování roční časové řady

Mezi základní jednoduché metody pro interpolaci a extrapolaci patří trendové funkce. Avšak už při pohledu na základní graf 1, který zobrazuje vývoj ročních průměrů teplot, lze usoudit, že k popisu vývoje a následnému predikování hodnot pravděpodobně nebudou jednoduché trendové funkce dostatečně vhodné. Pro ověření tohoto předpokladu byl vypočítán index/koefficient determinace, pomocí kterého lze zjistit, jaká funkce nejlépe popisuje průběh zkoumané časové řady. Výsledné hodnoty indexů determinace pro vybrané trendové funkce jsou zobrazeny v tabulce 3. Jak je z tabulky 3 patrné, tak ani jedna z testovaných funkcí nedosáhla hodnoty indexu determinace vyšší než 50 %. Z toho vyplývá, že sledovaná data ročních teplot jsou nesystematicky rozložena a extrapolace pomocí jediné trendové funkce není tedy příliš vhodná.

**Tabulka 3 Trendové funkce pro roční časovou řadu**

Typ trendové funkce	Tvar trendové funkce	I <sup>2</sup>
<b>Lineární funkce</b>	$T_t = 6,788 + 0,0342t$	46,08 %
<b>Kvadratická funkce</b>	$T_t = 7,1091 + 0,0027t + 0,005t^2$	48,61 %
<b>Logaritmická funkce</b>	$T_t = 6,1282 + 1,242 \log(t)$	40,68 %

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

#### Model exponenciálního vyrovnávání

Ve chvíli kdy se jedná o nesystematická rozložení dat časové řady, je tedy vhodnější využít adaptivních statistických modelů. Mezi adaptivní modely patří například exponenciální vyrovnávání. Kritérium pro nalezení nejvhodnějšího modelu pro exponenciální vyrovnávání byla hodnota střední absolutní chyby odhadu M.A.P.E (Mean Absolute Percent Error). Nejlepšího výsledku bylo dosaženo v případě Holtova lineárního modelu, jelikož hodnota střední absolutní procentuální chyby odhadu je dle tabulky 4 7,3362 %. Jelikož se jedná o hodnotu nižší než 10 %, lze vybraný model považovat za vhodný k extrapolaci časové řady. Dále jsou v tabulce 4 zobrazeny hodnoty dvou vyrovnávacích konstant  $\alpha = 0,120$  a  $\gamma = 0,084$ .

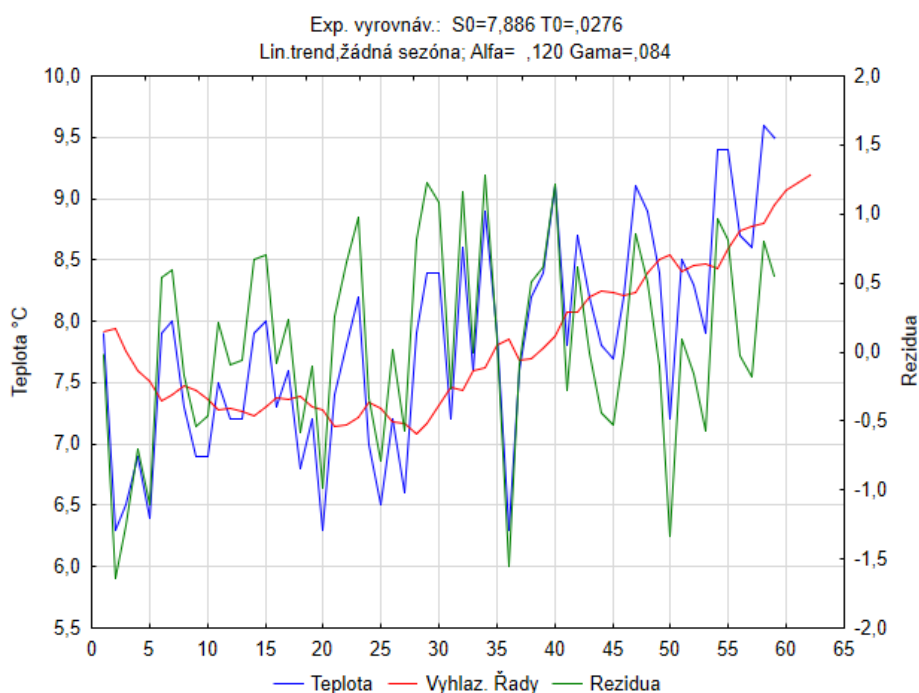
**Tabulka 4 Exponenciální vyrovnání;  $\alpha = 0,120$   $\gamma = 0,084$**

Chyba	Hodnota
<b>Průměrná chyba</b>	0,0515
<b>Prům. absolut. chyba</b>	0,5608
<b>Součet čtverců</b>	29,6568
<b>Průměrný čtverec</b>	0,5027
<b>Průměrná procentuální</b>	-0,1636
<b>Prům. abs. perc. Chyba (M. A. P. E.)</b>	7,3362

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Na grafu 5 lze pozorovat vygenerovaný model exponenciálního vyrovnání, jenž vychází z dat přílohy 4. Kromě křivky skutečných pozorovaných hodnot, lze pozorovat i křivku reziduí, na které lze pozorovat značné a nesystematické výkyvy. Především se v grafu 5 nachází křivka vyrovnaných hodnot včetně krátkodobé (tříleté predikce).

**Graf 5 Exponenciální vyrovnání (roční)**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

U vytvořeného modelu je nutné provést post analýzy, čímž je myšleno zkontrolování normality reziduí a také autokorelace. Normalita reziduí byla ověřena pomocí Shapiro–Wilkova testu, jehož p-hodnota činila 0,1894. Jelikož je p-hodnota větší než 0,05, nelze

zamítnout nulovou hypotézu<sup>2</sup> o normalitě reziduí. Dále byl vytvořen graf autokorelační funkce, který je možné pozorovat v příloze 5. Lze konstatovat, že autokorelace není přítomna a rezidua tedy mají charakter bílého šumu, jelikož nedochází k překročení stanovených mezí. Je zde pouze 1 bod, ve kterém je nepatrně přesažena stanovená mez, lze to však považovat za nevýznamné a náhodné překročení limitu.

Před samotnou predikcí byla ještě pro zvolený model nejprve otestována jeho vhodnost pro předpovídání pomocí Theilova koeficientu nesouladu. Výsledná hodnota tohoto koeficientu činí 9,01 %, což značí, že zvolený model není dokonalý, ale stále je použitelný pro predikování, jelikož nebyla přesažena hranice 10 %.

Predikované hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 5 a u roku 2020 je možné porovnání se skutečnou hodnotou průměrné roční teploty. Odhadovaná hodnota průměrné roční teploty pro rok 2020 činí 9,07 °C, což se liší od skutečnosti pouze o 0,03 °C. Predikovaná hodnota pro rok 2021 je 9,13 °C a pro rok 2022 předpověď činí 9,19 °C.

**Tabulka 5 Bodový odhad exp. vyrovnávání (roční)**

<b>Rok</b>	<b>Odhad (°C)</b>	<b>Skutečnost (°C)</b>
<b>2020</b>	9,07	9,10
<b>2021</b>	9,13	Neznámo
<b>2022</b>	9,19	Neznámo

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Pro zhodnocení kvality předpovědi byla vypočítána relativní chyba odhadu, která činí 0,3145 %. Takto nízká hodnota (je pod obecnou hranicí 5 %) tedy potvrzuje velmi přesnou a kvalitní předpověď.

## **Model ARIMA**

Ačkoliv model exponenciálního vyrovnávání přinesl poměrně kvalitní predikce, bude nyní vytvořen ARIMA model pro popis a predikci ročních teplot. Jednou ze základních podmínek pro využití ARIMA modelů je stacionarita časové řady, tedy zda neobsahují

---

<sup>2</sup>H<sub>0</sub>: Zkoumaný soubor dat má normální rozdělení, H<sub>1</sub>: Zkoumaný soubor dat nemá normální rozdělení,  
α = 0,05

jednotkový kořen. Z předešlého zkoumání je zřejmé, že výchozí řada ročních teplot je nestacionární. Vhodným prostředkem pro transformaci časové řady je využití diferencí. V tomto případě je využito 1. difference, jejíž stacionarita je potvrzena na základě ADF testu (Augmented Dickey-Fuller test). Pro využití testu je nutné zvolit vhodný řád zpoždění, v tomto případě bylo zvoleno maximální zpoždění na 2 období, na základě minimalizace vybraných kritérií. Těmito kritérii jsou Akaikeho informační kritérium (Akaike's Information Criterion, AIC), Bayesovské informační kritérium (Bayesian Information Criterion, BIC) a Hannanovo-Quinnova kritérium (Hannan–Quinn information criterion, HQ). Následně byla porovnána výsledná p-hodnota s danou hladinou významnosti, při sestavení následujících hypotéz na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ :

$H_0$ : Zkoumaná data nejsou stacionární.

$H_1$ : Zkoumaná data jsou stacionární.

Jelikož p-hodnota je menší než 0,05, tak lze zamítnout nulovou hypotézu o stacionaritě dat na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Diferencovaná řada tedy lze na základě ADF testu považovat s 95 % pravděpodobností za stacionární.

Následně byl hledán nejvíce vhodný model pro daná data. Bylo vyzkoušeno mnoho modelů, ale nakonec byl zvolen ARIMA (0,1,1), který je tedy na základě statistické významnosti bez autoregresní složky (AR). Kritéria pro výběr vhodného modelu byla následující: statistická významnost parametrů modelu, autoregresní funkce a parciální autoregresní funkce, Akaikeho informační kritérium (AIC), Bayesovské informační kritérium (BIC) a Hannanovo-Quinnova kritérium (HQ).

Právě na základě kritérií BIC a HQ, byl jako nejlepší ohodnocen model (0,1,1). Dle kritéria AIC byly nalezeny 3 lepší modely, konkrétně se jednalo o modely: (1,1,3), (2,1,3) a (0,1,2), avšak ani jeden z těchto modelů neměl statisticky významné parametry.

Následně byla pro vybraný model (0,1,1) provedena autokorelační analýza, jejíž korelogramy jsou zobrazeny v příloze 6 a příloze 7. Je patrné, že nejsou překročeny meze, jež by znamenaly autokorelaci reziduí. Zároveň byla otestována normalita reziduí pomocí

Shapiro–Wilkova testu. Jelikož testová p-hodnota byla vyšší než 0,05, tak nelze zamítnout nulovou hypotézu<sup>3</sup> o normalitě rozdělení reziduí.

V tabulce 6 je zobrazen odhadnutý parametr modelu (0,1,1), a zároveň lze potvrdit statistickou významnost parametru na základě p-hodnoty, která je menší než 0,001.

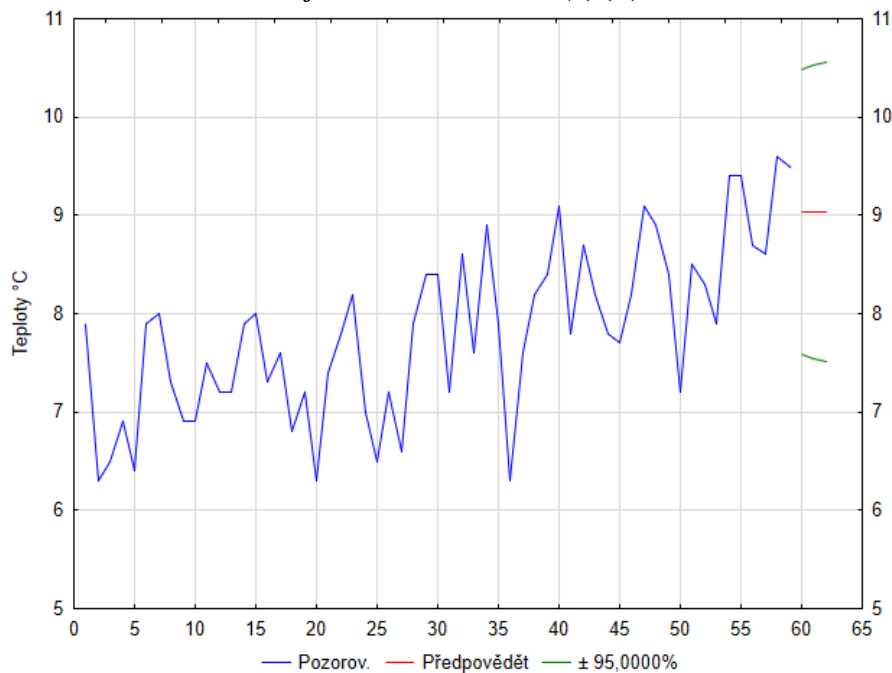
**Tabulka 6** Parametr modelu ARIMA (0,1,1)

Parametr	Hodnota	p-hodnota
q(1)	0,7609	< 0,001

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Následně byl proveden bodový i intervalový odhad pro 3 následující období (tzn. rok 2020, 2021 a 2022), který je možné pozorovat v grafu 6.

**Graf 6** Predikce ARIMA (0,1,1)



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Konkrétní hodnoty predikce zobrazuje tabulka 7. Je zřejmé, že bodový odhad na základě zvoleného modelu má konstantní podobu o hodnotě 9,04 °C. Dále je možné pozorovat interval teplot, ve kterém se teplota bude z 95% pravděpodobností pohybovat. Pro rok

<sup>3</sup>  $H_0$ : Zkoumaný soubor dat má normální rozdělení,  $H_1$ : Zkoumaný soubor dat nemá normální rozdělení,  $\alpha = 0,05$

2020 je interval hodnot ve kterém se průměrná roční teplota bude pohybovat od 7,5878 °C do maximálně 10,4839 °C.

**Tabulka 7 Predikce modelu ARIMA (0,1,1)**

Rok	Odhad (°C)	Dolní 95,00% (°C)	Horní 95,00% (°C)	SmCh
2020	9,0359	7,5878	10,4839	0,7231
2021	9,0359	7,5470	10,5247	0,7435
2022	9,0359	7,5073	10,5644	0,7633

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Pro otestování přesnosti odhadu se nabízí porovnání se skutečnou teplotou roku 2020. Jelikož naměřená teplota činí 9,10 °C, je bodový odhad pouze o 0,06 °C podhodnocen. Výpočet relativní chyby odhadu, která má hodnotu 0,6593 %, označuje tento odhad jako velmi přesný. Nicméně bodový odhad pro rok 2020, vytvořený pomocí exponenciálního vyrovnávání v předchozí kapitole, činil 9,07 °C (s relativní chybou odhadu 0,3145 %) byl tedy přesnější.

## 4.2 Časová řada průměrných čtvrtletních teplot

V této části práce bude zkoumána časová řada průměrných teplot na území České republiky při čtvrtletní frekvenci od roku 1961 do roku 2019.

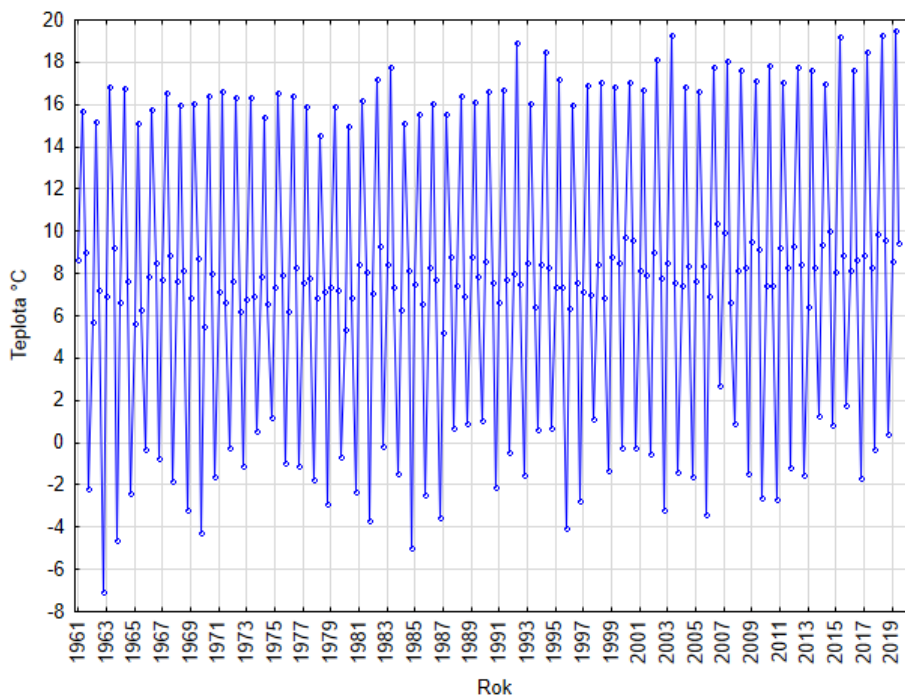
### 4.2.1 Popis vývoje průměrných čtvrtletních teplot

Pro detailnější analýzu teplotních změn v České republice budou nyní analyzovány teplotní průměry jednotlivých „čtvrtletí“. Za „čtvrtletí“ jsou považovány jednotlivé roční období (jaro, léto, podzim a zima), ale není dodrženo přesné kalendářní rozdělení, jelikož k přechodům mezi obdobími dochází v rámci určitého měsíce. V práci tvoří jednotlivé kvadranty vždy celé 3 měsíce:

1. **jaro** zahrnuje měsíc březen, duben a květen,
2. **léto** tvoří červen, červenec a srpen,
3. **podzim** obsahuje měsíce září, říjen a listopad,
4. **zima** zahrnuje prosinec, leden a únor.

Z důvodu nedostupnosti dat o teplotách v prosinci roku 1960, začíná časová řada jarem 1961 (je tedy vynechán leden a únor roku 1961). Na souhrnném grafu 7 je znázorněn vývoj průměrných čtvrtletních teplot v období od jara 1961 do zimy 2019.

**Graf 7 Vývoj čtvrtletních teplot v ČR (1961–2019)**



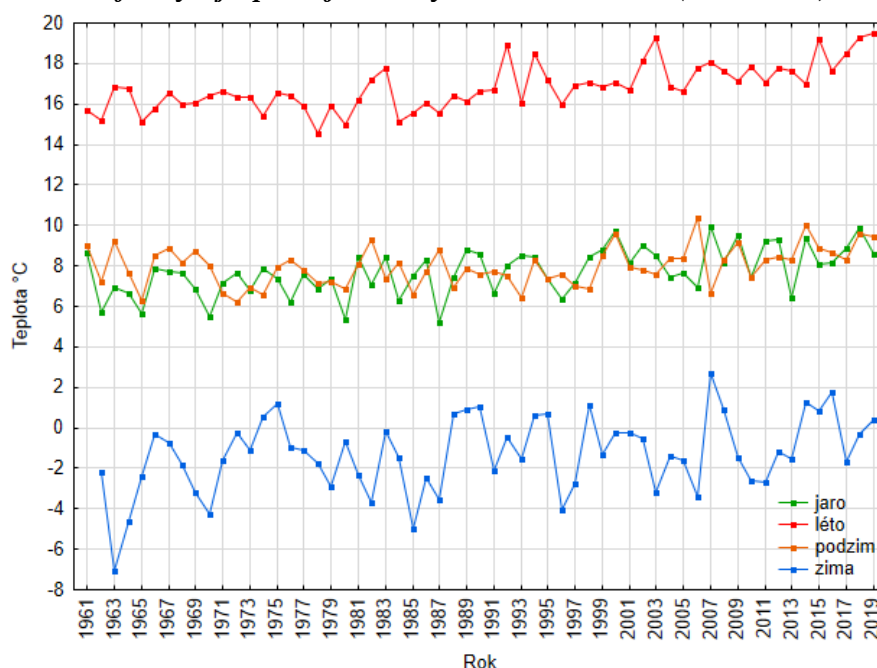
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Avšak na základě tohoto grafického znázornění lze jen obtížně pozorovat a popsat vývojové tendence a jednotlivé elementární statistiky. Proto byly teploty jednotlivých čtvrtletí rozděleny, a následně samostatně zobrazeny v grafu 8.

Při pohledu na graf 8 je zřejmá vysoká podobnost vývoje jarních a podzimních průměrných teplot, a to v rámci variability i úrovně teplot. Dále je patrné, že v zimním období docházelo k největším výkyvům. Pro určení charakteru dlouhodobé tendence byla vypočítána průměrná absolutní diference, jejíž hodnoty lze pozorovat v příloze 9. Pro jaro, léto a podzim je možné provést výpočet s výchozím rokem 1961. Výsledná hodnota průměrné absolutní diference pro léto je  $0,649\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což značí z dlouhodobého pohledu rostoucí tendenci. Podzim, ale především jaro, byly v roce 1961 nadprůměrně teplé (v rámci první poloviny časové řady), tudíž výsledné hodnoty průměrné absolutní diference jsou  $0,0075\text{ }^{\circ}\text{C}$  (podzim) respektive  $-0,0017\text{ }^{\circ}\text{C}$  (jaro). Tyto hodnoty jsou velmi blízké nule, jedná se tedy o velmi slabou rostoucí tendenci pro podzim, a v případě jara o klesající tendenci. K zjištění průměrné absolutní diference pro zimu byl proveden výpočet s výchozím rokem 1962, jehož výsledek činí  $0,0450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což značí rostoucí tendenci. Za použití roku 1962 jako výchozího je rostoucí tendence na základě průměrné absolutní diference prokazatelná i u zbývajících čtvrtletí. Nejvyšší hodnoty průměrné

absolutní diference (tedy nejvýraznějšího růstu) bylo dosaženo v letním období, konkrétně 0,0749, dále pak pro jaro 0,0497 a podzim 0,0392.

**Graf 8 Vývoj teplot v jednotlivých čtvrtletích v ČR (1961–2019)**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

V příloze 8 jsou zobrazeny postupy vypočítání elementárních charakteristik, pomocí kterých byly například zjištěny maxima a minima. Nejvyšších teplot bylo samozřejmě dosaženo v letním období s maximální průměrnou teplotou 19,5 °C v roce 2019. Nejchladnější léto bylo v roce 1978 při teplotě 14,6 °C. Celková minimální hodnota ze sledovaných dat se nachází v zimním čtvrtletí roku 1963 s průměrnou teplotou -7,1 °C. Naopak nejteplejší zimu lze pozorovat v roce 2007. Co se týče jara a podzimu, tak jejich maximální i minimální hodnoty jsou velmi podobné. Konkrétně maximum jara je 9,9 °C v letech 2007 a 2018 a maximální teplota podzimu je 10,4 °C z roku 2006. Mezi minimy je 1 °C rozdíl, jelikož minimum jara je 5,2 °C za rok 1987 a minimum podzimu z roku 1972 je 6,2 °C. Zajímavým poznatkem z těchto hodnot je skutečnost, že veškerá maxima se nacházejí ke konci sledovaného období (během posledních 15 let), zatímco minimální hodnoty lze pozorovat v první polovině sledovaného období.

Změny, ke kterým docházelo mezi obdobími, lze zkoumat ze dvou odlišných pohledů. Je totiž možné rozlišit změny mezi obdobími stejného typu (tedy např. porovnávat jaro 1961 s jarem 1962), nebo také změny mezi čtvrtletími, které po sobě následují (tzn. například



jaro 1961 a léto 1961). Nejprve jsou zkoumány výkyvy mezi čtvrtletími stejného typu a výsledné difference je možné pozorovat také v příloze 8. K nejvyšším výkyvům došlo v zimním období, jelikož nejvyšší nárůst teploty byl v zimě roku 2007, kdy se průměrná čtvrtletní teplota, zvýšila o 6,17 °C (nárůst o 233,33 %). I k nejvyššímu poklesu došlo v zimě, konkrétně v roce 1963. Průměrná zimní teplota tehdy klesla o 4,93 °C (pokles o 227,69 %). V ostatních obdobích nedošlo k nárůstu či poklesu o více než 4 °C. Konkrétně v jarním období lze pozorovat nejvyšší nárůst teploty v roce 1981 o 3,10 °C (58,13% nárůst) a nejvyšší pokles teploty v roce 1987 o 3,07 °C (36,95% pokles). Letní období se vyznačuje nejnižšími změnami, jelikož maximální a minimální hodnota relativní difference činí 15,18 % (resp. -15,17 %). V absolutním vyjádření to znamená nárůst teploty o 2,43 °C (léto 1994) a pokles teploty o 2,87 °C (léto 1993). Pro podzim byla zjištěna nejvyšší hodnota 1. absolutní difference v roce 1966, konkrétně o 2,20 °C (nárůst o 34,92 %) a nejnižší hodnota 1. absolutní difference činí -3,77 °C (pokles o 36,22 %) za rok 2007.

Co se týče změn po sobě jdoucích obdobích, tak nejvyšší hodnoty 1. absolutní difference lze nalézt podle očekávání v jarním čtvrtletí. Nejvyšší nárůst teploty po předcházející zimě lze pozorovat v příloze 8 na jaře roku 1963. Po nejchladnější zimě za celé sledované období (-7,1 °C) teplota vzrostla o 14 °C (nárůst o 197,18 %). Avšak v relativním vyjádření je nevyšší nárůst v roce 1983, kdy teplota oproti zimě vzrostla o 4333,33 %. V absolutním vyjádření se jedná o nárůst z -0,2 °C na 8,5 °C, tedy o 8,7 °C. Naopak k nejvyšším poklesům dochází přirozeně mezi podzimem a zimou, kdy ten největší je zaznamenán v roce 1963, který, jak už bylo zmíněno, je jeden z výjimečně chladných roků. Hodnota první absolutní difference činí -14,3 °C (pokles o 198,16 %), přičemž teplota klesla z 7,2 °C (podzim 1962) na -7,1 °C.

#### **4.2.2 Explorační analýza čtvrtletních dat**

V tabulce 8 jsou zobrazeny popisné statistiky průměrných teplot jednotlivých čtvrtletí v období od roku 1961 do roku 2019. Počet pozorování je shodný s počtem let (59) s výjimkou zimního kvartálu, kde je počet pozorování 58 z důvodu chybějících dat, jak už bylo vysvětleno dříve. Průměr teplot jednotlivých čtvrtletí za sledované období činí 7,73 °C v jarním období, 16,83 °C v letním období, 7,98 °C v podzimním období a průměr

zimního období je  $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na základě porovnání průměrů s posledními hodnotami časové řady lze zjistit, že nejvíce se od průměru liší teplota v letním čtvrtletí (rozdíl  $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a nejméně v jarním čtvrtletí (rozdíl  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ve všech případech je však teplota z roku 2019 vyšší než průměr (zima o  $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  a podzim o  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Při srovnání mediánu s průměrem je zjištěn nejvyšší rozdíl u letního čtvrtletí, přesněji  $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$  (medián  $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Nejnižší rozdíl lze pozorovat u podzimního období, a to pouze  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  (medián  $7,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Variační rozpětí je u jarního, letního a podzimního čtvrtletí velmi podobné, přibližně  $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Avšak u zimního čtvrtletí činí variační rozpětí necelých  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $9,83\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), což znamená vyšší variabilitu dat než u ostatních čtvrtletí.

**Tabulka 8 Deskriptivní statistiky čtvrtletních teplot ČR**

Čtvrtletí	Počet pozorování	Průměr ( $^{\circ}\text{C}$ )	Medián ( $^{\circ}\text{C}$ )	Min. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Max. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Rozptyl	Sm. Odch.	Var. Koef.	Šikmost	Špičatost
<i>jaro</i>	59	7,73	7,67	5,23	9,93	1,3268	1,1519	14,91	-0,1954	-0,4291
<i>léto</i>	59	16,83	16,70	14,57	19,47	1,2988	1,1396	6,77	0,5057	-0,0639
<i>podzim</i>	59	7,98	7,97	6,23	10,40	0,9179	0,9580	12,00	0,2598	-0,3237
<i>zima</i>	58	-1,30	-1,35	-7,10	2,73	3,5377	1,8809	-144,68	-0,4601	0,4720

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Proměnlivost dat lze přesněji popsat pomocí charakteristik variability (například na základě rozptylu a směrodatné odchylky). Nejvyšší hodnoty těchto charakteristik lze v tabulce 8 pozorovat u zimního kvartálu, konkrétně rozptyl činí  $3,5377$  a směrodatná odchylka  $1,8809$ . Tím je tedy potvrzeno, že zimní čtvrtletí má nejvíce variabilní teploty, přesněji se od průměrné hodnoty ( $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) odchyluje o  $1,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Naopak nejméně variabilní data jsou zaznamenána v podzimním kvartálu, jelikož rozptyl činí  $0,92$  a směrodatná odchylka necelý  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Z podílu průměru a směrodatných odchylek vzniká variační koeficient, který je v prvních třech čtvrtletích (jaro, léto, podzim) nižší než  $50\%$  (maximum je  $14,19\%$  pro jarní čtvrtletí), což naznačuje normální rozdělení dat. Pro zimní kvartál nemá výpočet variačního koeficientu vypovídající schopnost, jelikož se zde vyskytují záporné hodnoty.

V tabulce 8 jsou také vyjádřeny charakteristiky šikmosti a špičatosti, přičemž data jarního a zimního kvartálu jsou levostraně zešikmena, jelikož hodnota koeficientu šikmosti je záporná ( $-0,1954$  jaro a  $-0,4601$  zima). Znamená to, že větší množství hodnot je vyšších

než průměr. Letní i podzimní kvartál má hodnotu koeficientu šikmosti 0,5057, respektive 0,2598. Jsou to kladné hodnoty, tudíž se jedná o pravostranné zešikmení a většina hodnot je nižší než průměr. Na základě výpočtu koeficientu špičatosti je zjištěno, že křivka rozdělení dat pro první 3 čtvrtletí je plošší než u normálního rozdělení dat, jelikož vykazují záporný koeficient špičatosti. Nejplošší rozdělení mají data jarního kvartálu, jelikož špičatost je vyjádřena hodnotou -0,4291. Nejvíce se normálnímu rozdělení blíží data letního kvartálu s koeficientem špičatosti -0,0639. Naopak zimní kvartál vykazuje kladnou hodnotu (0,4720), což znamená špičatější rozdělení dat než u normálního rozdělení.

V příloze 10, 11, 12 a 13 je možné pozorovat rozdělení dat jednotlivých čtvrtletí. Rozdělení dat žádného čtvrtletí nevykazuje zásadní odlišnost od normálního rozdělení, je zde tedy předpoklad, že data budou splňovat normální rozdělení. Avšak normalitu dat nelze ze zobrazených histogramů jednoznačně prokázat, a proto je nutné použít testy normality. Pro testování jsou sestaveny následující hypotézy na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

$H_0$  : Zkoumaný soubor dat má normální rozdělení.

$H_1$  : Zkoumaný soubor dat nemá normální rozdělení.

Výsledné hodnoty provedených testů normality jsou zobrazeny v tabulce 9. Za použití Shapiro–Wilkova testu pro všechny kvartály platí, že p-hodnota  $> 0,05$ . Nelze tedy zamítnout hypotézu  $H_0$  o normalitě dat na hladině významnosti  $\alpha$ . Stejného výsledku je dosaženo i za pomoci K-S testu, jelikož p-hodnota je větší než 0,20 a nelze tedy zamítnout nulovou hypotézu.

*Tabulka 9 Test normality čtvrtletních teplot*

<i>Kvartál</i>	<b>Hodnota SW testu</b>	<b>p-hodnota (SW test)</b>	<b>Hodnota K-S testu</b>	<b>p-hodnota (K-S test)</b>
<b>jaro</b>	0,98	0,65	0,07	p > 0,20
<b>léto</b>	0,97	0,13	0,11	p > 0,20
<b>podzim</b>	0,99	0,70	0,05	p > 0,20
<b>zima</b>	0,98	0,55	0,07	p > 0,20

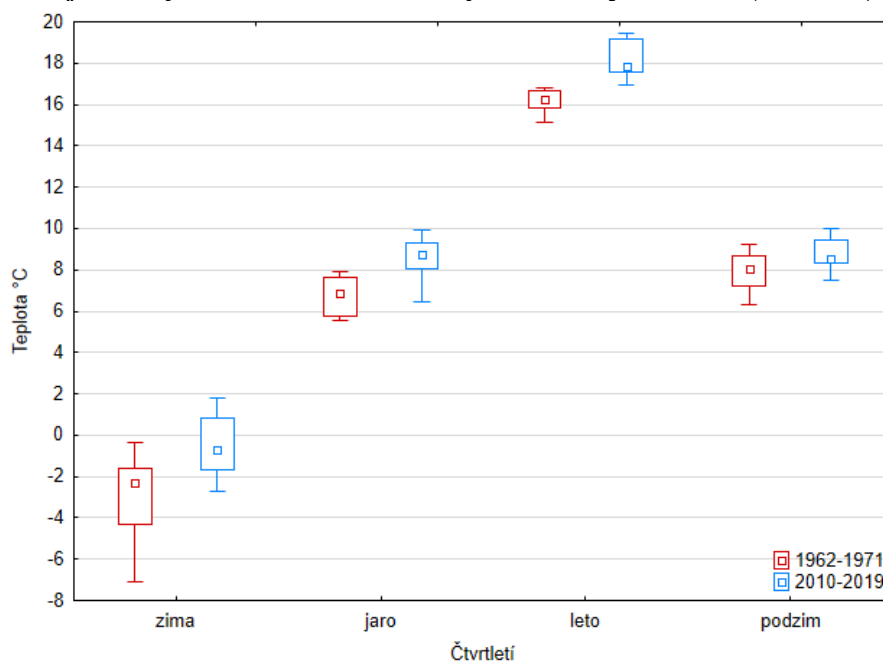
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

#### 4.2.3 Porovnání dvou období v rámci čtvrtletní časové řady

Podobně jako u roční frekvence bude nyní provedeno porovnání počátku čtvrtletní časové řady s jejím koncem pro posouzení, zda došlo ke změnám teplot a v jakém čtvrtletí jsou

tyto změny nejvýraznější. Opět jsou porovnávány stejně dlouhé desetileté části. Avšak v tomto případě je jako počátek zvolen rok 1962, jelikož nejsou dostupná data pro celé zimní čtvrtletí roku 1961. Komparace jednotlivých čtvrtletí počátku časové řady (1962–1971) s koncem časové řady (2010–2019) je znázorněna v krabicovém grafu 9. U všech kvartálů je jednoznačně zřejmý nárůst teplot. Je patrné, že k nejnižším změnám došlo v rámci podzimního kvartálu. Jelikož si jsou porovnávány podzimní čtvrtletí blízké nejen úrovni, ale i svou variabilitou. Naopak u letního kvartálu lze pozorovat poměrně značnou diferencii především v rámci úrovně, jelikož teploty vzrostly přibližně o 2 °C. Velký rozdíl je také mezi zimními kvartály, které jsou zároveň odlišné od ostatních vyšší variabilitou hodnot. Obzvláště u zimního kvartálu prvního období je zřejmá nejvyšší variabilita hodnot oproti ostatním kvartálům.

**Graf 9 Komparace středních hodnot porovnávaných období (čtvrtletní)**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Pro konkrétní vyjádření rozdílů je zde tabulka 10, ve které jsou zobrazeny deskriptivní statistiky všech kvartálů obou období. Lze tak potvrdit, že nejméně se v úrovni liší podzimní kvartály. Došlo totiž v průměru k nárůstu pouze o 0,81 °C. Naopak nejvíce vzrostla teplota u zimního čtvrtletí, konkrétně o 2,24 °C. Dle mediánu však došlo k nejvyššímu nárůstu v jarním čtvrtletí, přesněji o 1,86 °C. Nejméně opět v podzimním čtvrtletí s nárůstem o 0,48 °C. Na základě minimálních a maximálních hodnot lze konstatovat, že nejvyšší rozdíl mezi sledovanými obdobími je v zimním čtvrtletí (rozdíl

o 4,4 °C). Naproti tomu u jarního čtvrtletí se minimální teplota zvýšila pouze o necelý 1 °C (0,94 °C). Maximální teploty se zvýšily u všech čtvrtletí o více než 2 °C (nejvíce v letním čtvrtletí o 2,64 °C). Výjimkou je podzimní čtvrtletí s nárůstem maxima pouze o 0,8 °C.

V tabulce 10 je zároveň rozptylem a směrodatnou odchylkou potvrzena nejvyšší variabilita zimního čtvrtletí prvního období. Zajímavé jsou také výsledné hodnoty šikmosti a špičatosti, jelikož u zimního, letního a podzimního došlo ke změně charakteru šikmosti z levostranného zešikmení na pravostranné. V případě zimního a jarního kvartálu navíc došlo ke změně charakteru špičatosti.

**Tabulka 10 Deskriptivní statistiky komparovaných období (čtvrtletní)**

<i>Období</i>	Průměr (°C)	Medián (°C)	Mín. (°C)	Max. (°C)	Rozptyl	Sm. odch.	Šikmost	Špičatost
<b>zima 1</b>	-2,82	-2,28	-7,10	-0,33	4,1541	2,0382	-0,9745	0,8475
<b>jaro 1</b>	6,77	6,86	5,53	7,90	0,7780	0,8820	-0,2657	-1,4007
<b>léto 1</b>	16,15	16,25	15,13	16,83	0,3850	0,6205	-0,6504	-0,8479
<b>podzim 1</b>	7,93	8,07	6,30	9,20	0,9345	0,9667	-0,4876	-0,8332
<b>zima 2</b>	-0,58	-0,73	-2,70	1,77	2,5482	1,5963	0,0808	-1,4557
<b>jaro 2</b>	8,54	8,72	6,47	9,90	1,0737	1,0362	-0,7986	0,2986
<b>léto 2</b>	18,13	17,82	16,97	19,47	0,8495	0,9217	0,3373	-1,4265
<b>podzim 2</b>	8,74	8,55	7,47	10,00	0,5701	0,7551	0,2088	-0,2606

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Dalším krokem je zjištění, zda jsou rozdíly mezi dvojicemi čtvrtletí statisticky významné či nikoliv. Opět, jako v případě ročních dat, je využito analýzy rozptylu (ANOVA). Před jejím použitím je však důležité zkontrolovat splnění nutných předpokladů dat (homogenita a normalita). Pro otestování homoskedasticity (shoda rozptylu zkoumaných souborů) jsou vytvořeny následující hypotézy na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

$H_0$ : Rozptyl zkoumaných souborů dat je shodný.

$H_1$ : Rozptyl zkoumaných souborů dat je rozdílný.

Následně je využito Levenových testů, jejichž výsledky jsou zobrazené v příloze 14. Výsledné p-hodnoty pro všechny 4 čtvrtletí jsou vyšší než 0,05, a proto tedy nelze zamítnout nulovou hypotézu. S 95% pravděpodobností mají související čtvrtletí shodný

rozptyl dat. Pomocí Shapiro–Wilkova testu byla následně potvrzena normalita rozložení dat u všech kvartálů. Jelikož p-hodnota byla vždy menší než 0,05, není možné zamítnout nulovou hypotézu<sup>4</sup> o normalitě rozdělení dat.

Za účelem vyjádření statistické významnosti rozdílů mezi průměry jednotlivých čtvrtletí bylo provedeno testování pomocí analýzy rozptylu (ANOVY). Nejprve je však nutné sestavit hypotézy:

$H_0$ : Rozptyl zkoumaných souborů dat je shodný.

$H_1$ : Rozptyl zkoumaných souborů dat je rozdílný.

$$\alpha = 0,05$$

Na základě p-hodnoty z přílohy 15, která je ve všech případech nižší než 0,05, lze konstatovat, že s 95% pravděpodobností se od sebe zkoumané čtvrtletí statisticky liší. U jarního a letního čtvrtletí je navíc p-hodnota nižší než 0,01, což znamená 99% pravděpodobnost. Je tedy potvrzen předpoklad, že nejvíce se odlišuje právě letní kvartál. U podzimního kvartálu činí p-hodnota 0,0496, tedy hodnotu velmi blízkou zvolené hladiny významnosti. Avšak i za použití silnějšího Duncanova testu, jenž je zobrazen v příloze 16, je stále potvrzena statistická významnost na hladině  $\alpha = 0,05$  ( $0,0497 < 0,05$ ).

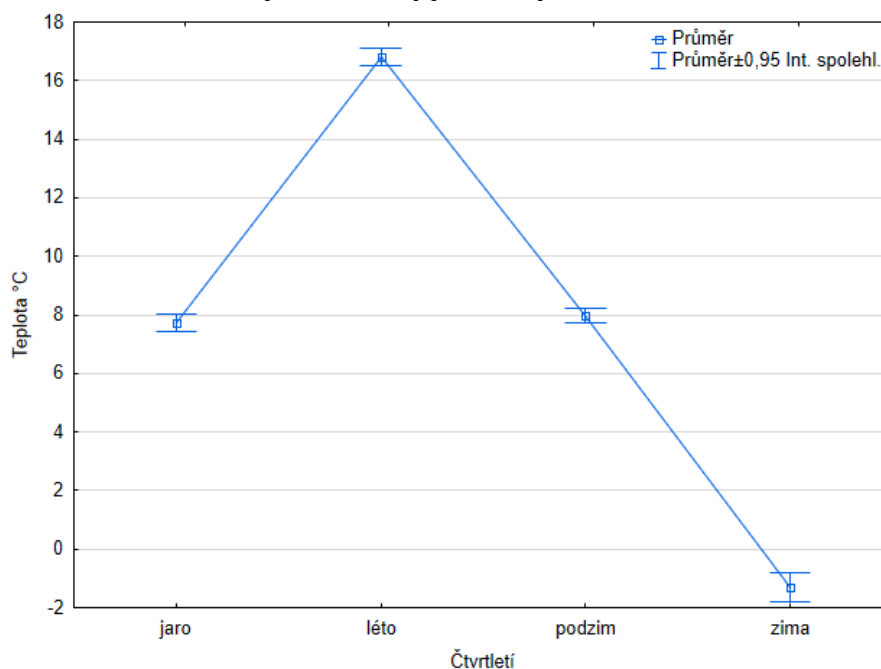
#### 4.2.4 Modelování časové řady čtvrtletních teplot

Jelikož se jedná o čtvrtletní data je důležité provést testy na ověření sezónnosti. Vzhledem k tomu, že se práce zabývá teplotami na území České republiky, je zcela jistý výskyt sezónních vlivů. Vliv sezónnosti je zobrazen ve svorkovém grafu 10, který znázorňuje průměry teplot jednotlivých čtvrtletí a 95% interval spolehlivosti, ve kterém se hodnoty teplot pohybovaly. Dle očekávání je patrný růst teploty v letním kvartálu, a naopak pokles až do záporných hodnot v zimním čtvrtletí.

---

<sup>4</sup>  $H_0$ : Zkoumaný soubor dat má normální rozdělení,  $H_1$ : Zkoumaný soubor dat nemá normální rozdělení,  $\alpha = 0,05$

**Graf 10 Průměry jednotlivých čtvrtletí**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Vliv sezónnosti je následně testován pomocí ANOVY, přičemž byly vytvořeny hypotézy o rovnosti průměrů s hladinou významnosti  $\alpha = 0,05$ .

$H_0$  : Všechny průměry jsou si rovny.

$H_1$  : Alespoň jeden z průměrů není roven.

V příloze 17 jsou zobrazeny výsledky provedené analýzy rozptylu, ze kterých vyplývá, že je možné zamítnout hypotézu  $H_0$  na hladině významnosti 0,05 a potvrdit tak vliv sezónnosti, jelikož p-hodnota je menší než 0,05.

Pro potvrzení statisticky významného rozdílu průměrných hodnot mezi jednotlivými čtvrtletími je proveden Scheffého test. Za účelem testování jsou stanoveny následující hypotézy na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

$H_0$  : Existuje rovnost mezi průměry dvou kvartálů.

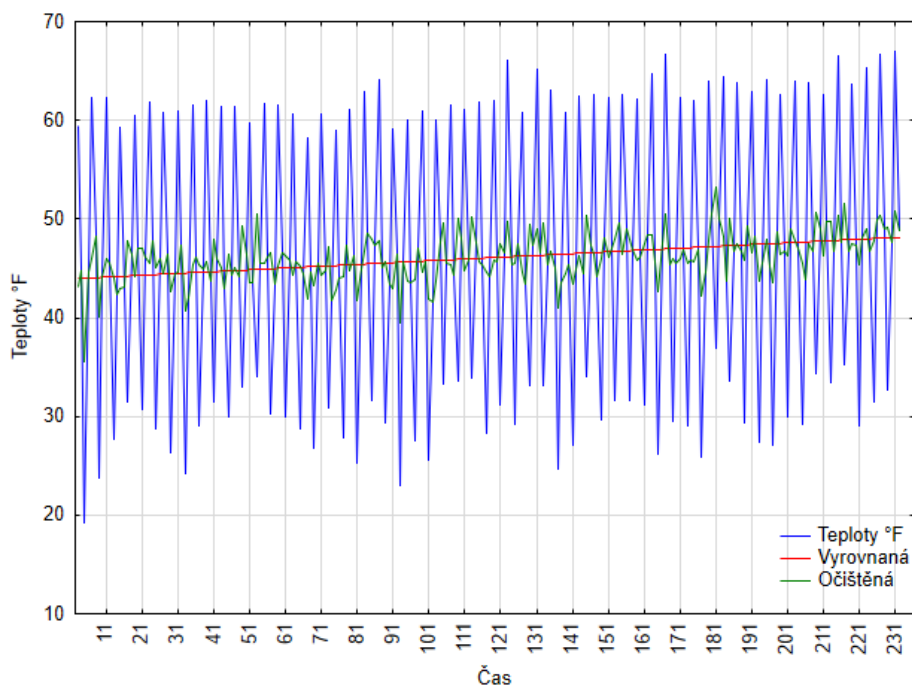
$H_1$  : Neexistuje rovnost mezi průměry dvou kvartálů.

Výsledky Scheffého testu jsou zachyceny v příloze 18. Z výsledků je patrné, že nelze zamítnout nulovou hypotézu pouze u dvojice jaro a podzim, jelikož p-hodnota je větší než 0,05. U ostatních dvojic lze hypotéza  $H_0$  zamítnout ( $p < 0,05$ ) a lze konstatovat, že mezi průměry kvartálů je statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha$ .

V návaznosti na prokázanou sezónnost, byla provedena dekompozice, což je možné pozorovat v příloze 19. Vzhledem k tomu, že časová řada obsahuje v zimních čtvrtletích záporné hodnoty, byla již v této fázi provedena operace, pomocí které byly veškeré teploty převedeny na Fahrenheitovu stupnici. Dekompozice byla tedy provedena za pomoci upravené časové řady. Příloha 19 tak obsahuje, kromě skutečně naměřených hodnot, predikované hodnoty bez vlivu sezónnosti pomocí lineárního modelu, sezónní faktory a očištěnou řadu bez sezónních vlivů.

Sezónní faktory určují jakým směrem a intenzitou jsou hodnoty v jednotlivých čtvrtletích vychýlené od průměru. Jelikož se jedná o dekompozici pomocí aditivního modelu, jsou sezónní faktory ve stejných jednotkách jako je původní časová řada, v tomto případě je již pracováno s teplotami ve °F. Pro zimní čtvrtletí byl přidělen sezónní faktor  $-16,3674$ , což znamená o  $16,3674$  °F nižší teplotu oproti průměru. Teplota v jarním kvartálu je také nižší než je průměr, jelikož přidělený sezónní faktor je roven  $-0,1464$ . Sezónní faktor pro letní čtvrtletí činí  $16,2620$  (tzn. o  $16,2620$  °F vyšší teplotu oproti průměru), a pro podzimní čtvrtletí je přidělen sezónní faktor o hodnotě  $0,2518$ , což znamená o  $0,2518$  °F vyšší teplotu než je průměr časové řady. Z hodnot přílohy 19 byl následně sestrojen graf 11.

**Graf 11 Sezónní dekompozice čtvrtletních teplot**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

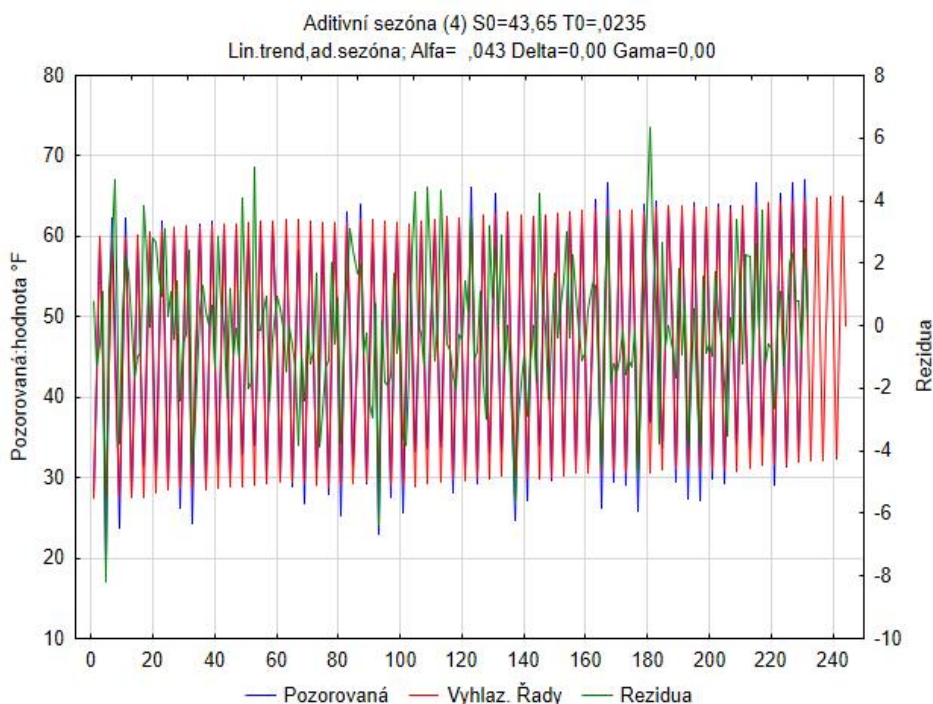


Graf 11 zobrazuje skutečné naměřené teploty, očištěnou řadu od sezónnosti, zároveň je zde proložení vyrovnanou lineární řadou. Na základě vyrovnané lineární řady, lze snadno zpozorovat mírnou rostoucí tendenci.

### Model exponenciálního vyrovnávání

Následné předpovídání budoucích hodnot bylo provedeno pomocí exponenciálního vyrovnávání. Byl zvolen aditivní model s lineárním trendem s odhadnutými parametry  $\alpha = 0,043$ ,  $\delta = 0,00$  a  $\gamma = 0,00$ . Tyto parametry byly vybrány na základě chyby M.A.P.E, která vykazovala hodnotu 4,2676 %, jak je možné pozorovat v příloze 20. Pokud je střední absolutní procentuální chyba (M.A.P.E.) nižší než 5 %, lze zvolený model považovat za velmi kvalitní. Poté byl zkonstruován graf 12, kde je pomocí výše uvedených parametrů provedeno exponenciální vyrovnání. Graf 12 zobrazuje skutečně pozorované teploty, křivku reziduí, a zároveň křivku exponenciálního vyrovnání zahrnující predikci na 12 čtvrtletí, což znamená na 3 roky do budoucna.

**Graf 12 Exponenciální vyrovnávání (čtvrtletní)**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Vhodnost modelu pro predikování byla nejprve opět otestována pomocí Theilova koeficientu nesouladu, jehož hodnota činí 4,4358 %. Model tak lze považovat za velmi dobrý a kvalitní pro predikování, jelikož je dosaženo hodnoty nižší než 5 %. Důležité je

také zkontrolovat autokorelaci a normalitu reziduí. Normalita byla potvrzena na základě Shapiro–Wilkova testu jehož p-hodnota 0,1187 je větší než 0,05. S 95% pravděpodobností tedy rezidua mají normální rozdělení. Autokorelační funkce je zobrazena v příloze 21, ze které je patrné, že v jednom bodě dochází k překročení stanovených mezí a dva další body se k limitní hranici velmi blíží. To by mohl být signál toho, že existují vlivy, které nejsou zvoleným modelem zahrnuty. Avšak překročení je velmi malé a dalo by se považovat za náhodné a výjimečné.

Dále byl vytvořen bodový odhad teplot jednotlivých čtvrtletí do roku 2022, který je zachycen v tabulce 11. Odhadované teploty jsou již zpětnou operací upraveny na Celsiovu teplotní stupnici.

*Tabulka 11 Predikce exponenciálního vyrovnávání (čtvrtletní)*

<i>Období</i>	<b>Odhad teplot (°C)</b>	<b>Skutečné teploty (°C)</b>	<i>Období</i>	<b>Odhad teplot (°C)</b>	<i>Období</i>	<b>Odhad teplot (°C)</b>
<b>zima 2020</b>	0,07	1,97	<b>zima 2021</b>	0,12	<b>zima 2022</b>	0,18
<b>jaro 2020</b>	9,10	8,00	<b>jaro 2021</b>	9,15	<b>jaro 2022</b>	9,20
<b>léto 2020</b>	18,22	17,63	<b>léto 2021</b>	18,28	<b>léto 2022</b>	18,33
<b>podzim 2020</b>	9,34	8,97	<b>podzim 2021</b>	9,40	<b>podzim 2022</b>	9,45
<b>průměr</b>	9,18	9,14	<b>průměr</b>	9,24	<b>průměr</b>	9,29

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Pro rok 2020 jsou dle tabulky 11 predikovány teploty následovně. Pro zimní kvartál 0,07 °C, jaro 9,10 °C, léto 18,22 °C a podzim 9,34 °C, což znamená průměrnou „roční“ teplotu 9,18 °C. Jelikož jsou dostupná data skutečně naměřených hodnot za rok 2020, je možné provést porovnání a ověřit tak přesnost odhadu. Průměrná naměřená teplota za zimní kvartál 2020 (tzn. prosinec 2019, leden 2020 a únor 2020) činí 1,97 °C, což je nadprůměrně teplé zimní období a bodový odhad je tedy o 1,90 °C podhodnocen. U ostatních kvartálů byla predikována teplota vyšší než ve skutečnosti, jelikož teplota jarního čtvrtletí činila 8,00 °C, letního čtvrtletí 17,63 °C a podzimního 8,97 °C. Nejnižší rozdíl mezi odhadem a skutečností je v případě podzimního čtvrtletí, kde je rozdíl pouhých 0,37 °C. Z průměru skutečných teplot za čtvrtletí tedy vyplývá průměrná „roční“ teplota 9,14 °C, což je tedy pouze o 0,04 °C méně než podle průměru predikovaných hodnot.

Pro ověření přesnosti odhadů bylo opět využito výpočtu relativní chyby odhadu. Jak už bylo patrné z tabulky 11, tak nejméně přesná byla predikce pro zimní čtvrtletí, což

potvrzuje hodnota relativní chyby odhadu, která činí 96,40 %. Ačkoliv to vypadá, že odhad byl naprosto chybný, je potřeba brát ohled na řád hodnot a jejich blízkost k nule, jelikož relativní chyba odhadu je velmi citlivá na rozdíly při nízké hladině zkoumaných hodnot (kdyby byly pro výpočet relativní chyby odhadu použity teploty ve °F, tak by výsledná hodnota pro zimní čtvrtletí činila 9,62 %). Navíc, jak už bylo zmíněno, diference mezi odhadem a skutečností je způsobena abnormálně teplou zimou, která nebyla očekávána. Nejlepšího odhadu je dosaženo dle relativní chyby odhadu v případě letního čtvrtletí s hodnotou 3,37 %, která značí velmi přesný odhad. Podobně přesná je predikce pro podzimní čtvrtletí, kde hodnota relativní chyby odhadu činí 4,16 %. Pokud jsou však jednotlivé predikce brány jako celek (průměr všech čtvrtletí), tak vypočítaná hodnota relativní chyby odhadu se rovná 0,45 %, což znamená velmi kvalitní předpověď.

## **Model ARIMA**

Před využitím ARIMA modelů je nutné ověření, že zkoumaná časová řada je stacionární. Pro ověření stacionarity bylo využito ADF testu, za použití tří typů modelu (bez konstanty, s konstantou, s konstantou a trendem). Pro testování bylo nutné zvolit řád zpoždění. Na základě minimalizace kritérií (AIC, BIC a HQ) bylo jako nejvhodnější zpoždění rovno 8. Testování bylo prováděno na základě následujících hypotéz na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

$H_0$ : Zkoumaná data nejsou stacionární.

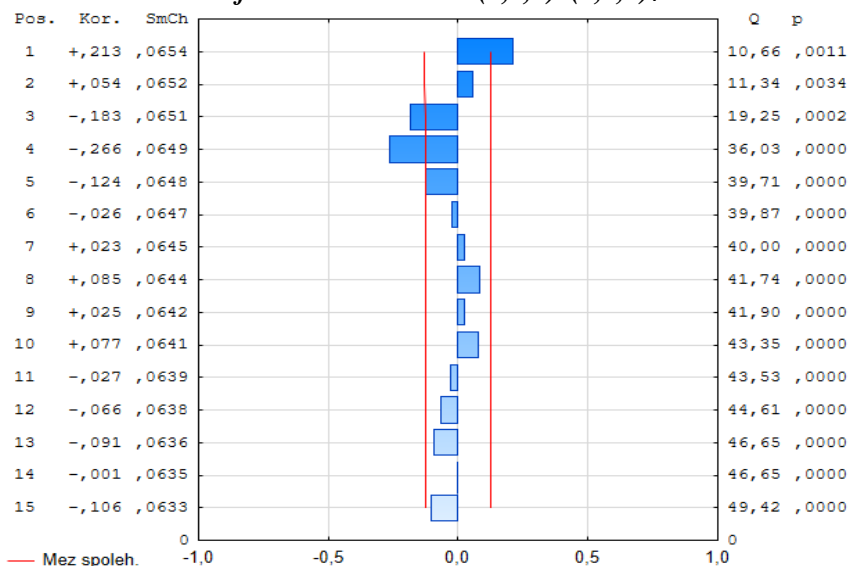
$H_1$ : Zkoumaná data jsou stacionární.

Za použití modelu s konstantou a trendem bylo dosaženo p-hodnoty nižší než hladina významnosti  $\alpha$ . Avšak v ostatních případech byla p-hodnota vyšší než 0,05, což znamená, že nelze zamítnout nulovou hypotézu o stacionaritě dat. Proto byla časová řada stacionarizována pomocí prvních diferencí. Řád zpoždění byl pro nediferencovanou řadu zvolen podle stejných (výše uvedených kritérií) roven 7. Následné ověření opět pomocí ADF testu, na základě stejných hypotéz, potvrdilo u všech modelů stacionaritu s 95% pravděpodobností.

Vzhledem k tomu, že se jedná o čtvrtletní data, u kterých byly prokázány sezónní vlivy, je nutné místo ARIMA modelů přejít na modely SARIMA. Modely SARIMA jsou složitější pro modelování, ale díky rozšíření právě o sezónní složku je dosahováno přesnějších a kvalitnějších výsledků.

Velmi náročným krokem pak je nalezení nejvhodnějšího modelu pro odhad jednotlivých parametrů. Kritéria pro výběr byla stejná jako v případě modelování ročních dat, na jejichž základě bylo testováno velké množství modelů. Kkritéria byla následující: statistická významnost parametrů modelu, autoregresní funkce a parciální autoregresní funkce, AIC, BIC a HQ. Na základě kritéria AIC se jako nejlepší model jevil SARIMA model  $(3,0,3) \times (2,1,0)_4$  a zároveň všechny parametry byly statisticky významné. Vykazoval i velmi dobré hodnoty dle kritérií BIC a HQ, avšak po otestování autokorelace reziduí byly zjištěny jeho nedostatky, jak je patrné na grafu 13. Na základě autokorelační funkce, kde jsou významně přesaženy určené meze, jsou zřejmé vlivy, které model nezahrnuje.

**Graf 13 ACF SARIMA  $(3,0,3) \times (2,1,0)_4$**



Podobným postupem byly vyřazeny další modely, ať už na základě autokorelace či statistické významnosti parametrů. Nakonec byl jako nejvhodnější vybrán SARIMA model  $(4,0,1) \times (0,1,2)_4$ , jehož parametry jsou zobrazeny v tabulce 12. Statistická významnost byla prokázána na základě p-hodnoty, která byla téměř ve všech případech menší než 0,01.

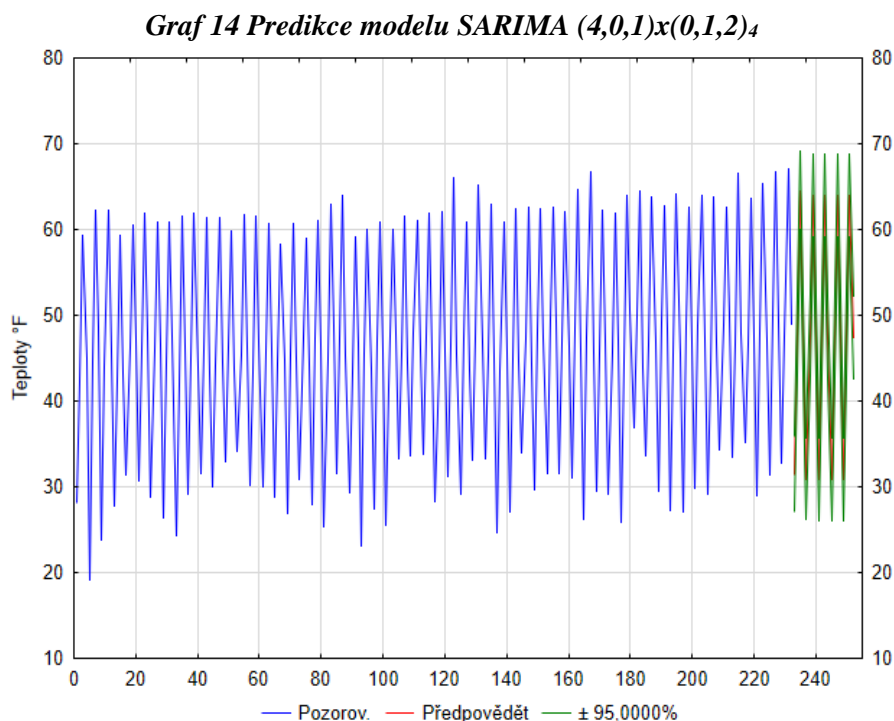
**Tabulka 12 Parametry modelu SARIMA  $(4,0,1) \times (0,1,2)_4$**

Parametr	Hodnota parametru	P-hodnota
<b>p(1)</b>	-0,5751	< 0,01
<b>p(2)</b>	-0,6373	< 0,01
<b>p(3)</b>	-0,5745	< 0,01
<b>p(4)</b>	0,3629	< 0,01
<b>q(1)</b>	0,1835	< 0,01
<b>Qs(1)</b>	0,7016	< 0,01
<b>Qs(2)</b>	0,1821	< 0,01

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Funkce AFC a PACF pro tento model, lze pozorovat na grafech v příloze 22 a 23. Je patrné, že nedochází k překročení limitů, které by bylo významné. Model tedy lze považovat za vhodný pro predikování.

Následně byla vytvořena predikce na 12 budoucích období, což v rámci čtvrtletních dat znamená 3 následující roky. Jelikož však model signalizoval mírný pokles teplot, bylo v tomto případě zvětšeno predikované období na 5 let. Předpokládaný vývoj teplot dle modelu  $(4,0,1) \times (0,1,2)_4$ , lze pozorovat na grafu 14. Pro detailnější grafické zobrazení predikce je zde příloha 24.



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Číselně vyjádřené odhady jsou zobrazeny v tabulce 13, kde se kromě bodových odhadů nachází také 95% intervaly. Teploty jsou již zpětně převedeny na stupně Celsia. Je patrný rozdíl mezi skutečností a odhadem, jelikož zimní a podzimní teplota je podhodnocena, a teploty ostatních čtvrtletí jsou oproti skutečnosti nadhodnocené.

**Tabulka 13 Predikce modelu SARIMA (4,0,1)x(0,1,2)<sub>4</sub>**

Období	Skutečné teploty 2020 (°C)	Odhad 2020 (°C)	Odhad 2021 (°C)	Odhad 2022 (°C)	Odhad 2023 (°C)	Odhad 2024 (°C)
<b>zima</b>	<b>1,97</b>	<b>-0,31</b> (-2,77–2,15)	<b>-0,62</b> (-3,24–2,01)	<b>-0,64</b> (-3,30–2,01)	<b>-0,63</b> (-3,29–2,03)	<b>-0,63</b> (-3,29–2,06)
<b>jaro</b>	<b>8,00</b>	<b>8,68</b> (6,15–11,21)	<b>8,70</b> (6,06–11,34)	<b>8,69</b> (6,03–11,35)	<b>8,70</b> (6,04–11,36)	<b>8,71</b> (6,04–11,38)
<b>léto</b>	<b>17,63</b>	<b>18,06</b> (15,53–20,59)	<b>17,76</b> (15,12–20,40)	<b>17,76</b> (15,10–20,42)	<b>17,78</b> (15,11–20,44)	<b>17,79</b> (15,11–20,47)
<b>podzim</b>	<b>8,97</b>	<b>8,78</b> (6,24–11,32)	<b>8,63</b> (5,99–11,28)	<b>8,61</b> (5,95–11,27)	<b>8,62</b> (5,96–11,28)	<b>8,63</b> (5,97–11,28)
<b>Průměr</b>	9,14	8,80	8,62	8,61	8,62	8,63

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

Nejvyšší rozdíl je v zimním čtvrtletí (rozdíl 2,28 °C) a nejnižší rozdíl je patrný u podzimního čtvrtletí (pouze 0,19 °C). Pro vyjádření kvality odhadu lze opět využít relativní chyby predikce, na základě které je nejlépe hodnocen odhad podzimní teploty (2,13 %) a následně odhad letní teploty (2,45 %). Vypočítaný průměr z odhadů se od průměru skutečných teplot o 0,34 °C, což dle relativní chyby predikce znamená 3,26 %. Z tabulky 13 je také možné pozorovat, že dle modelu bude teplota klesat ještě následující 2 roky a následně velmi mírně stoupat.

## 5 Výsledky a diskuse

Nejprve byl analyzován vývoj ročních průměrných teplot od roku 1961 do roku 2019. Z grafického výstupu a vypočítaných elementárních statistik bylo zjištěno, že teploty vykazují z dlouhodobého pohledu rostoucí tendenci. Růst byl potvrzen na základě průměrné absolutní diference s výsledkem průměrného meziročního nárůstu o  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$  (či  $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$  za použití výchozího roku 1962). Růst teplot potvrzovala také hodnota bazického indexu 1,2025, což znamená o 20,25 % vyšší teplotu v roce 2019 než v roce 1961 (oproti roku 1962 dokonce o 50,79 %). Byly také popsány extrémní hodnoty, především nízké teploty roku 1962, 1980 a 1996 ( $6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Následně byla časová řada ročních teplot posouzena na základě deskriptivních statistik. Vypočítaný průměr ( $7,82\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) byl porovnán s poslední naměřenou hodnotou ( $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), čímž byl zjištěn rozdíl  $1,68\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dále byly posouzeny charakteristiky variability, šikmosti a špičatosti. V návaznosti byla pro umožnění dalšího testování ověřena normalita dat, která byla potvrzena na základě Shapiro–Wilkova testu. Dalším způsobem, kterým byl potvrzen nárůst teplot, bylo porovnání dvou období o stejné délce (10 let), přesněji byl porovnán počátek (1961–1970) a konec časové řady (2010–2019). Významné rozdíly v úrovni teplot bylo možné pozorovat již z přiložených krabicových grafů, přičemž průměr se lišil o  $1,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rozdílnost však byla dále posouzena pomocí analýzy rozptylu (ANOVA), jejímž výsledkem bylo potvrzení statistické významnosti rozdílů mezi průměry porovnávaných období.

Poté bylo přistoupeno k modelování časové řady s cílem vytvořit krátkodobou predikci. Trendové funkce byly posouzeny jako nedostatečně vhodné, a proto bylo využito adaptivních postupů. Nejprve byl sestaven model exponenciálního vyrovnávání, jehož vhodnost byla posouzena na základě střední absolutní procentuální chyby odhadu ( $7,3362\text{ }%$ ). Vhodnost modelu pro popis minulosti však neznámá, že stejně vhodný bude i pro predikování do budoucna. Proto byl proveden výpočet Theilova koeficientu nesouladu, jehož výsledek činil  $9,01\text{ }%$ . Model tedy byl uznán jako poměrně vhodný i pro vytváření predikcí. Predikované hodnoty signalizovaly nárůst teplot i do budoucna, přičemž odhad pro rok 2020 ( $9,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) byl porovnán se skutečnou teplotou roku 2020 ( $9,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Rozdíl byl velmi malý a odhad tak mohl být (i na základě relativní chyby odhadu  $0,3145\text{ }%$ ) posouzen jako velmi kvalitní.

Druhým zvoleným typem pro modelování a vytváření predikcí byl model ARIMA. Po ověření všech předpokladů pro jeho použití byl na základě mnohých kritérií jako nejvíce vhodný vybrán model ARIMA (0,1,1). Odhad pomocí tohoto modelu přinesl konstantní vývoj na úrovni teploty 9,0359 °C s doplněním 95% intervalu. Odhad pro rok 2020 mohl být opět porovnán se skutečností, a také v tomto případě byla vytvořená predikce poměrně přesná (rozdíl pouze 0,06 °C). Výpočet relativní chyby predikce (0,6593 %) opět potvrzoval velmi kvalitní predikci, avšak jako přesnější a kvalitnější model byl posouzen model exponenciálního vyrovnávání.

Pomyslnou druhou část vlastní práce tvořila statistická analýza teplot při čtvrtletní frekvenci. Nejprve bylo definováno, jakým způsobem jsou čtvrtletí vytvořena, jelikož průměrné čtvrtletní teploty byly sestaveny na základě měsíčních pozorování. Následný postup byl shodný jako v případě ročních teplot. Nejdříve byly vyjádřeny elementární statistiky na základě přehledného grafického výstupu. Bylo zjištěno, že nejvíce výkyvů poznamenalo vývoj teplot v zimním čtvrtletí, a také byla pozorována vysoká podobnost ve vývoji teplot mezi jarním a podzimním čtvrtletím. Pro posouzení vývojové tendence byl opět proveden výpočet průměrné absolutní difference. Za použití roku 1962 jako výchozího byla u všech čtvrtletí zjištěna rostoucí tendence, přičemž největší průměrný meziroční nárůst byl pozorován u letního čtvrtletí (0,0749 °C) a nejméně v případě podzimního čtvrtletí (0,0392 °C). Následovalo provedení explorační analýzy pomocí deskriptivních statistik. Opět byly porovnány průměry s posledními naměřenými hodnotami (rok 2019), a ve všech čtvrtletích byla pozorována nadprůměrná teplota. Nejvyšší rozdíl od průměru byl pozorován v případě letního čtvrtletí, a to 2,6 °C. Nejméně pak u jarního čtvrtletí, kde rozdíl od průměru činil 0,8 °C. Poté byly opět posouzeny další charakteristiky (variabilita, šikmost, špičatost), a také ověřena normalita rozdělení, která je podmínkou pro použití parametrických statistických testů. I v případě čtvrtletní frekvence bylo provedeno porovnání počátku a konce časové řady, stejných úseků jako při roční frekvenci. Ačkoliv byl již prokázán statistický rozdíl u porovnání ročních dat, čtvrtletní srovnání znamenalo detailnější zjištění, v jakých čtvrtletích je rozdíl mezi obdobími nejvýznamnější. Statisticky významná rozdílnost průměrů byla prokázána u všech čtvrtletí, přičemž nejvyšších rozdílů bylo dosaženo v případě letního čtvrtletí. Nejnižší rozdíly (přesto statisticky významné) byly potvrzeny u podzimního čtvrtletí.



Jelikož se jedná o čtvrtletní data, byly provedeny testy na potvrzení očekávané sezónnosti. Rozdíly průměrů mezi čtvrtletími byly posouzeny pomocí analýzy rozptylu, a následně pomocí Scheffeho testu byla potvrzena statistická významnost rozdílů v průměrech pro letní a zimní čtvrtletí. V návaznosti na prokázanou sezónnost byla provedena sezónní dekompozice. V souvislosti s dekompozicí byly hodnoty časové řady převedeny z Celsiovy teplotní stupnice na stupnici Fahrenheitovu, z důvodu přítomnosti záporných teplot zimního čtvrtletí, které nejsou pro modelování vhodné. Pro samotné modelování časové řady bylo nejprve využito modelu exponenciálního vyrovnávání. Zvolený model byl vybrán na základě chyby M.A.P.E. o hodnotě 4,2676 %. Avšak nebylo opomenuto ani posouzení vhodnosti modelu pro predikování, a protože hodnota Theilova koeficientu nesouladu činila 4,4358 %, byl model uznán za velmi vhodný. Následný bodový odhad signalizoval mírný růst teplot do budoucna. Předpověď pro rok 2020 bylo opět možno porovnat se skutečně naměřenými teplotami. K nejvyššímu rozdílu mezi odhadem a skutečností došlo v případě zimního čtvrtletí (1,9 °C), jelikož skutečná teplota zimy 2020 byla značně nadprůměrná. Průměrná teplota za zimní čtvrtletí roku 2020 totiž činila 1,97 °C, což se od průměru zimních období celé řady liší o 3,27 °C. Nejvíce přesným odhadem pak byla teplota podzimního čtvrtletí, která se lišila pouze o 0,37 °C. Pro posouzení odhadu jako celku byl vypočten průměr odhadnutých čtvrtletí a následně porovnán s průměrem teplot skutečně naměřených pro jednotlivá čtvrtletí. Rozdíl mezi těmito průměry činil pouze 0,04 °C. Z tohoto hlediska se odhad i na základě relativní chyby odhadu jevil jako poměrně kvalitní. Na závěr bylo ještě provedeno modelování pomocí modelu typu ARIMA, respektive SARIMA, jelikož se jedná o data se sezónním vlivem. Po náročném hledání nejvíce vhodného modelu byl nakonec vybrán model SARIMA (4,0,1)x(0,1,2)<sub>4</sub> na základě předem stanovených kritérií. Na rozdíl od všech předchozích modelů bodové odhady signalizovaly mírný pokles teplot. Proto bylo následně predikované období rozšířeno, kde bylo odhaleno, že teploty dle modelu budou následně opět mírně stoupat. Co se týče porovnání s rokem 2020, tak nejméně přesný byl opět odhad zimního čtvrtletí (rozdíl 2,28 °C) a nejpřesnější odhad byl vytvořen pro podzimní čtvrtletí (rozdíl pouze 0,19 °C). Při stejném srovnání průměrů, jako v případě exponenciálního vyrovnávání, byl zjištěn rozdíl 0,34 °C, což dle relativní chyby predikce 3,26 % znamená poměrně přesný odhad.

## 6 Závěr

Diplomová práce se zabývá tématem změn teplot, což je v souvislosti s problematikou globálního oteplování stále velmi aktuální téma. Zkoumání globálních klimatických změn je velmi důležité, podcenění těchto změn může přinést mnohé negativní důsledky.

Cílem diplomové práce tedy bylo identifikovat a kvantifikovat teplotní změny v ročním a čtvrtletním vývoji teplot od roku 1961 do roku 2019 na území České republiky pro nalezení dlouhodobých tendencí vývoje. Jedním z dílčích cílů bylo zjištění významnosti rozdílů mezi dvěma částmi sledovaného období. Ačkoliv je vývoj teplot v České republice značně nestálý, byla zjištěna a prokázána dlouhodobá rostoucí tendence. Konkrétně se průměrně teplota meziročně zvýší o  $0,0276\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což v období 59 let znamená nárůst o  $1,63\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Růst teplot byl potvrzen i na základě komparace počátečního období časové řady (1961–1970) s jejím koncem (2010–2019), jelikož rozdíly mezi těmito částmi byly prokázány jako statisticky významné (rozdíl průměrů těchto dvou období činil  $1,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Na základě zkoumání vývoje teplot při čtvrtletní frekvenci bylo zjištěno, že nejvíce patrné změny lze pozorovat u letního čtvrtletí. Právě v letním období dochází k nevýraznějšímu nárůstu teplot. Do budoucna tedy hrozí, že v letních čtvrtletích zvýší frekvence extrémních projevů počasí (dlouho trvající sucha, extrémně vysoké teploty, bouře, vichřice, apod.). Dále bylo zjištěno, že k nejvyšším teplotním výkyvům dochází v zimním čtvrtletí. Naopak vývoj teplot jarního a podzimního čtvrtletí byl charakterizován nejnižší variabilitou, avšak stále s mírnou rostoucí tendencí. Možné příčiny rostoucího trendu byly nastíněny v teoretické části diplomové práce.

Zjištěné výsledky o dosavadním vývoji teplot byly následně využity pro splnění druhého dílčího cíle, kterým byla konstrukce krátkodobých predikcí budoucího vývoje teplot. Předpovědi pro krátkodobý budoucí horizont byly vytvořeny pomocí několika statistických modelů, přičemž dle většiny z nich je predikován mírný růst teplot. Lze tedy předpokládat, že teploty budou růst i v blízké budoucnosti. V teoretické části práce byly naznačeny plány na zpomalení globálních klimatických změn, především se jedná o omezení emisí skleníkových plynů. Všechna tato opatření se však projeví v mnohem delším časovém horizontu, než který byl v této práci predikován.

## 7 Seznam použité literatury

### Knižní publikace

ARLT, Josef, Markéta ARLTOVÁ a Eva RUBLÍKOVÁ. Analýza ekonomických časových řad s příklady. Vyd. 2. Praha: Oeconomica, 2004. ISBN 80-245-0777-3.

BEDNÁŘ, Jan. Meteorologie: [úvod do studia dějů v zemské atmosféře]. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-653-5.

CIPRA, Tomáš. Finanční ekonometrie. Praha: Ekopress, 2008. ISBN 978-80-86929-43-9.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. 2., upr. vyd. Praha, 2014. ISBN 978-80-87577-33-2.

DVOŘÁK, Petr. Počasí takřka populárně. Cheb: Svět křídel, 2008. ISBN 978-80-86808-57-4.

FARSKÝ, Ivan a Tomáš MATĚJČEK. Vybrané kapitoly z fyzické geografie. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Přírodovědecká fakulta, 2008. ISBN 978-80-7044-996-7.

HENDL, Jan. Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat. 4., rozš. vyd. Praha: Portál, 2012. ISBN 978-80-262-0200-4.

HINDLS, Richard. Statistika pro ekonomy. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-43-6.

IPCC, 2014: Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

KARAS, Pavel, Alena ZÁRYBNICKÁ a Taťána MÍKOVÁ. Skoro jasno: průvodce televizní předpovědí počasí. Praha: Česká televize, 2007. Edice České televize. ISBN 978-80-85005-78-3.

KARAS, Michal, Mária REŽŇÁKOVÁ, Trendy ekonomiky a managementu, Brno: Akademické nakladatelství CERM. V, 2011, ISSN 1802-8527. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30312421.pdf>

KOPÁČEK, Jaroslav a Jan BEDNÁŘ. Jak vzniká počasí. V Praze: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1002-7.

KOPP, Jan a Jiří SUDA. Vybrané kapitoly z fyzické geografie: klimatologie. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. ISBN 80-7043-257-8.

KRÁČMAR, Jan. Meteorologie (050 00). Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. JAR-FCL 1. ISBN 80-7204-447-8.

KRŠKA, Karel a Ferdinand ŠAMAJ. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. V Praze: Karolinum, 2001. ISBN 80-7184-951-0.

METELKA, Ladislav a Radim TOLASZ. Klimatické změny: fakta bez mýtů. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázku životního prostředí, 2009. ISBN 978-80-87076-13-2.

SOUKUPOVÁ, Jana. Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na Zemi. Praha: Powerprint, 2013. ISBN 978-80-87415-91-7.

TOLASZ, Radim. Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-244-1626-7.

## **Internetové zdroje**

Climate.nasa.gov, Milankovitch Cycles and Their Role in Earth's Climate, [online] [citováno 13. 9. 2020] Dostupné z: <https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/>.

Chmi.cz, Historická data : Počasí : Územní teploty. Portál ČHMÚ, [citováno 13. 2. 2021] [online]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>.

Eur-lex.europa.eu, The European Green Deal, [online] [citováno 20. 2. 2021] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2>.

Infomet.cz, Informační web ČHMÚ, [online] [citováno 11. 8. 2020] Dostupné z: <http://www.infomet.cz/index.php?id=chat&typ=clanek&idd=1361430141>.

In-pocasi.cz, Meteorologické družice sledují počasí, Počasí - předpověď počasí, aktuální informace [online] [citováno 25. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/druzice-3.4.2016/>.

Meteopress.cz, Jaké existují teplotní stupnice, [online] [citováno 5. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.meteopress.cz/vysvetleni/jake-existuji-teplotni-stupnice/>.

Ncdc.noaa.gov, Climate at a Glance | National Centers for Environmental Information (NCEI). National Centers for Environmental Information (NCEI) formerly known as National Climatic Data Center (NCDC) [online] [citováno 25. 2. 2021] Dostupné z: [https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land\\_ocean/ytd/12/1880-2020](https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land_ocean/ytd/12/1880-2020).

Ncdc.noaa.gov, Global Time Series [online] [citováno 25. 2. 2021] Dostupné z: [https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land\\_ocean/ytd/12/1880-2020](https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land_ocean/ytd/12/1880-2020).

Nrdc.org, Paris Climate Agreement, [online] [citováno 20. 2. 2021] Dostupné z: <https://www.nrdc.org/stories/paris-climate-agreement-everything-you-need-know>.

Pocasimeteoaktuality.cz, Numerické modely, [online] [citováno 20. 8. 2020] Dostupné z: <https://www.pocasimeteoaktuality.cz/meteorologie/numericke-modely>.

Portal.chmi.cz, Historická data, Praha Klementinum, [online] [citováno 9. 8. 2020]  
Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum>.

Portal.chmi.cz, předpovědi počasí, [online] [citováno 10. 8. 2020] Dostupné:  
<http://portal.chmi.cz/predpovedi/predpovedi-pocasi/ceska-republika/meteorologicka-terminologie>.

Slovník-cmes.cz, Elektronický meteorologický slovník, [online] [citováno 10. 8. 2020]  
Dostupné: <http://slovník.cmes.cz/hesla>.

Unfccc.int, What is the Kyoto Protocol?, [online] [citováno 20. 2. 2021] Dostupné:  
[https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol).

Unfccc.int, The Paris Agreement, [online] [citováno 20. 2. 2021] Dostupné:  
<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.

## **8 Přílohy**

## Odkazovaný seznam příloh

Příloha 1 Elementární charakteristiky ročních teplot .....	80
Příloha 2 Levenův test homogenity (roční) .....	81
Příloha 3 Jednosměrný test významnosti (roční).....	81
Příloha 4 Exponenciální vyrovnávání (roční).....	82
Příloha 5 ACF exponenciální vyrovnávání (roční).....	83
Příloha 6 ACF ARIMA (0,1,1).....	84
Příloha 7 PACF ARIMA (0,1,1).....	84
Příloha 8 Matice čtvrtletních dat .....	85
Příloha 9 Průměrné absolutní diference (čtvrtletní) .....	85
Příloha 10 Histogram jaro .....	86
Příloha 11 Histogram léto.....	86
Příloha 12 Histogram podzim.....	87
Příloha 13 Histogram zima.....	87
Příloha 14 Leveneovi testy homogenity (čtvrtletní) .....	87
Příloha 15 Jednosměrné testy významnosti (čtvrtletní).....	88
Příloha 16 Duncanův test.....	88
Příloha 17 ANOVA .....	88
Příloha 18 Scheffého test.....	88
Příloha 19 Dekompozice čtvrtletních teplot (aditivní) .....	89
Příloha 20 M.A.P.E. (aditivní dekompozice) .....	90
Příloha 21 ACF Exponenciální vyrovnávání (čtvrtletní).....	90
Příloha 22 ACF SARIMA (4,0,1)x(0,1,2) <sub>4</sub> .....	91
Příloha 23 PACF SARIMA (4,0,1)x(0,1,2) <sub>4</sub> .....	91
Příloha 24 Predikce SARIMA (4,0,1)x(0,1,2) <sub>4</sub> (detailní).....	92

**Příloha 1 Elementární charakteristiky ročních teplot**

<i>Rok</i>	Teplota °C	1. abs. diference	2. abs. diference	1. relativní diference	Bazický index 61	Bazický index 62
<b>1961</b>	7,9	-	-	-	1,0000	1,2540
<b>1962</b>	6,3	-1,6	-	0,7975	0,7975	1,0000
<b>1963</b>	6,5	0,2	1,8	1,0317	0,8228	1,0317
<b>1964</b>	6,9	0,4	0,2	1,0615	0,8734	1,0952
<b>1965</b>	6,4	-0,5	-0,9	0,9275	0,8101	1,0159
<b>1966</b>	7,9	1,5	2,0	1,2344	1,0000	1,2540
<b>1967</b>	8,0	0,1	-1,4	1,0127	1,0127	1,2698
<b>1968</b>	7,3	-0,7	-0,8	0,9125	0,9241	1,1587
<b>1969</b>	6,9	-0,4	0,3	0,9452	0,8734	1,0952
<b>1970</b>	6,9	0,0	0,4	1,0000	0,8734	1,0952
<b>1971</b>	7,5	0,6	0,6	1,0870	0,9494	1,1905
<b>1972</b>	7,2	-0,3	-0,9	0,9600	0,9114	1,1429
<b>1973</b>	7,2	0,0	0,3	1,0000	0,9114	1,1429
<b>1974</b>	7,9	0,7	0,7	1,0972	1,0000	1,2540
<b>1975</b>	8,0	0,1	-0,6	1,0127	1,0127	1,2698
<b>1976</b>	7,3	-0,7	-0,8	0,9125	0,9241	1,1587
<b>1977</b>	7,6	0,3	1,0	1,0411	0,9620	1,2063
<b>1978</b>	6,8	-0,8	-1,1	0,8947	0,8608	1,0794
<b>1979</b>	7,2	0,4	1,2	1,0588	0,9114	1,1429
<b>1980</b>	6,3	-0,9	-1,3	0,8750	0,7975	1,0000
<b>1981</b>	7,4	1,1	2,0	1,1746	0,9367	1,1746
<b>1982</b>	7,8	0,4	-0,7	1,0541	0,9873	1,2381
<b>1983</b>	8,2	0,4	0,0	1,0513	1,0380	1,3016
<b>1984</b>	7,0	-1,2	-1,6	0,8537	0,8861	1,1111
<b>1985</b>	6,5	-0,5	0,7	0,9286	0,8228	1,0317
<b>1986</b>	7,2	0,7	1,2	1,1077	0,9114	1,1429
<b>1987</b>	6,6	-0,6	-1,3	0,9167	0,8354	1,0476
<b>1988</b>	7,9	1,3	1,9	1,1970	1,0000	1,2540
<b>1989</b>	8,4	0,5	-0,8	1,0633	1,0633	1,3333
<b>1990</b>	8,4	0,0	-0,5	1,0000	1,0633	1,3333
<b>1991</b>	7,2	-1,2	-1,2	0,8571	0,9114	1,1429
<b>1992</b>	8,6	1,4	2,6	1,1944	1,0886	1,3651
<b>1993</b>	7,6	-1,0	-2,4	0,8837	0,9620	1,2063
<b>1994</b>	8,9	1,3	2,3	1,1711	1,1266	1,4127
<b>1995</b>	7,9	-1,0	-2,3	0,8876	1,0000	1,2540
<b>1996</b>	6,3	-1,6	-0,6	0,7975	0,7975	1,0000
<b>1997</b>	7,6	1,3	2,9	1,2063	0,9620	1,2063
<b>1998</b>	8,2	0,6	-0,7	1,0789	1,0380	1,3016

\*/.



Rok	Teplota °C	1. Abs. diference	2. abs. diference	1. relativní diference	Bazický index 61	Bazický index 62
1999	8,4	0,2	-0,4	1,0244	1,0633	1,3333
2000	9,1	0,7	0,5	1,0833	1,1519	1,4444
2001	7,8	-1,3	-2,0	0,8571	0,9873	1,2381
2002	8,7	0,9	2,2	1,1154	1,1013	1,3810
2003	8,2	-0,5	-1,4	0,9425	1,0380	1,3016
2004	7,8	-0,4	0,1	0,9512	0,9873	1,2381
2005	7,7	-0,1	0,3	0,9872	0,9747	1,2222
2006	8,2	0,5	0,6	1,0649	1,0380	1,3016
2007	9,1	0,9	0,4	1,1098	1,1519	1,4444
2008	8,9	-0,2	-1,1	0,9780	1,1266	1,4127
2009	8,4	-0,5	-0,3	0,9438	1,0633	1,3333
2010	7,2	-1,2	-0,7	0,8571	0,9114	1,1429
2011	8,5	1,3	2,5	1,1806	1,0759	1,3492
2012	8,3	-0,2	-1,5	0,9765	1,0506	1,3175
2013	7,9	-0,4	-0,2	0,9518	1,0000	1,2540
2014	9,4	1,5	1,9	1,1899	1,1899	1,4921
2015	9,4	0,0	-1,5	1,0000	1,1899	1,4921
2016	8,7	-0,7	-0,7	0,9255	1,1013	1,3810
2017	8,6	-0,1	0,6	0,9885	1,0886	1,3651
2018	9,6	1,0	1,1	1,1163	1,2152	1,5238
2019	9,5	-0,1	-1,1	0,9896	1,2025	1,5079

Průměrná absolutní diference

1961

1962

0,0276

0,0561

Zdroj: chmi.cz, cit. 13. 2. 2021; vlastní zpracování, 2021

**Příloha 2 Levenův test homogenity (roční)**

Proměnná	PČ Efekt	PČ Chyba	F	p
<b>Teploty</b>	0,025920	0,144864	0,178926	0,677309

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 3 Jednosměrný test významnosti (roční)**

Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
<b>Absolutní člen</b>	1249,781	1	1249,781	2427,020	0,000000
<b>Období</b>	12,961	1	12,961	25,169	0,000090
<b>Chyba</b>	9,269	18	0,515	-	-

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

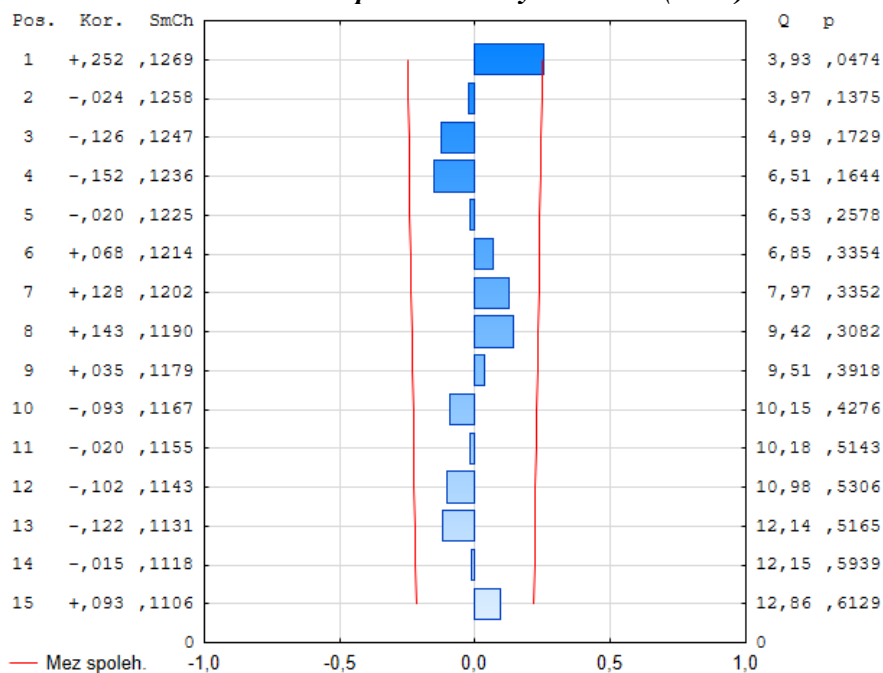
**Příloha 4 Exponenciální vyrovnávání (roční)**

<i>Případ</i>	Pozorované hodnoty (°C)	Vyhlazené řady (°C)	Rezidua
1	7,90	7,9138	-0,0138
2	6,30	7,9396	-1,6396
3	6,50	7,7538	-1,2538
4	6,90	7,6016	-0,7016
5	6,40	7,5086	-1,1086
6	7,90	7,3556	0,5444
7	8,00	7,4065	0,5935
8	7,30	7,4692	-0,1692
9	6,90	7,4387	-0,5387
10	6,90	7,3584	-0,4584
11	7,50	7,2832	0,2168
12	7,20	7,2911	-0,0911
13	7,20	7,2612	-0,0612
14	7,90	7,2343	0,6657
15	8,00	7,3013	0,6987
16	7,30	7,3793	-0,0793
17	7,60	7,3631	0,2369
18	6,80	7,3873	-0,5873
19	7,20	7,3066	-0,1066
20	6,30	7,2826	-0,9826
21	7,40	7,1435	0,2565
22	7,80	7,1557	0,6443
23	8,20	7,2210	0,9790
24	7,00	7,3362	-0,3362
25	6,50	7,2903	-0,7903
26	7,20	7,1819	0,0181
27	6,60	7,1707	-0,5707
28	7,90	7,0831	0,8169
29	8,40	7,1702	1,2298
30	8,40	7,3193	1,0807
31	7,20	7,4614	-0,2614
32	8,60	7,4398	1,1602
33	7,60	7,6004	-0,0004
34	8,90	7,6218	1,2782
35	7,90	7,8095	0,0905
36	6,30	7,8556	-1,5556
37	7,60	7,6885	-0,0885
38	8,20	7,6966	0,5034
39	8,40	7,7807	0,6193
40	9,10	7,8850	1,2150
41	7,80	8,0731	-0,2731
42	8,70	8,0798	0,6202
43	8,20	8,1999	0,0001
44	7,80	8,2457	-0,4457
45	7,70	8,2334	-0,5334
46	8,20	8,2053	-0,0053
47	9,10	8,2405	0,8595

<i>Případ</i>	Pozorované hodnoty (°C)	Vyhlazené řady (°C)	Rezidua
48	8,90	8,3881	0,5119
49	8,40	8,4992	-0,0992
50	7,20	8,5359	-1,3359
51	8,50	8,4108	0,0892
52	8,30	8,4575	-0,1575
53	7,90	8,4731	-0,5731
54	9,40	8,4330	0,9670
55	9,40	8,5875	0,8125
56	8,70	8,7317	-0,0317
57	8,60	8,7742	-0,1742
58	9,60	8,7979	0,8021
59	9,50	8,9468	0,5532

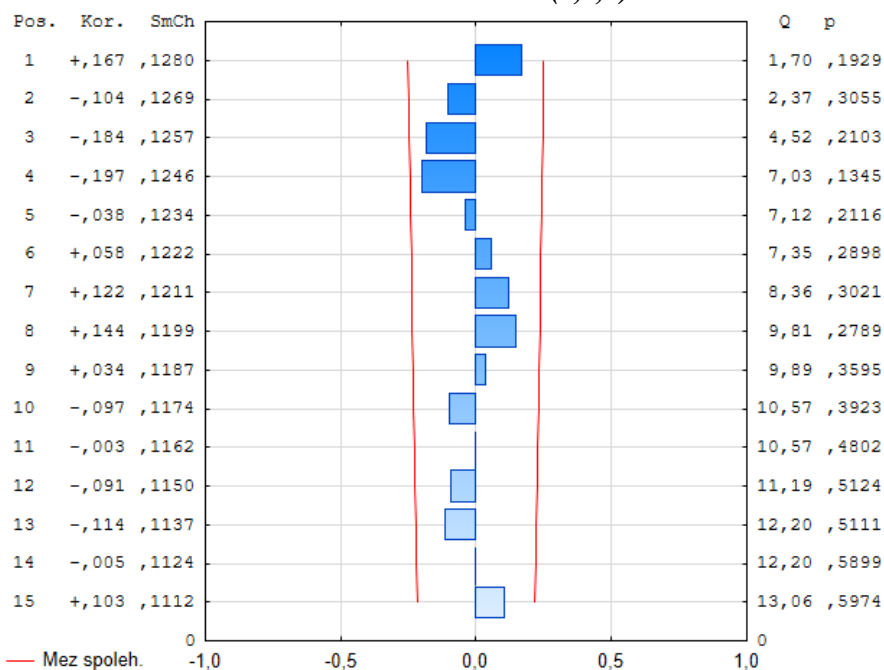
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 5 ACF exponenciální vyrovnání (roční)**



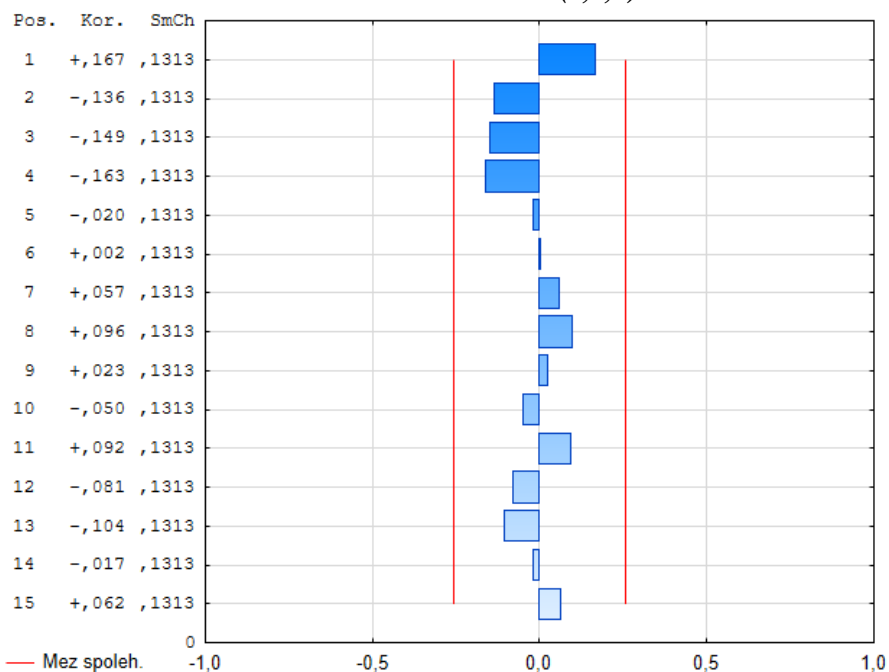
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 6 ACF ARIMA (0,1,1)**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 7 PACF ARIMA (0,1,1)**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 8 Matice čtvrtletních dat**

Čtvrtletí	Teplota (°C)	1. Dif. NO	%	1. dif. SO	%	Čtvrtletí	Teplota (°C)	1. Dif. NO	%	1. dif. SO	%
<b>J61</b>	8,67	-	-	-	-	<b>Z66</b>	-0,33	-6,63	-105,29	2,07	-86,11
<b>L61</b>	15,70	7,03	81,15	-	-	<b>J66</b>	7,90	8,23	2470,00	2,23	39,41
<b>P61</b>	9,03	-6,67	-42,46	-	-	<b>L66</b>	15,80	7,90	100,00	0,67	4,41
<b>Z62</b>	-2,17	-11,20	-123,98	-	-	<b>P66</b>	8,50	-7,30	-46,20	2,20	34,92
<b>J62</b>	5,73	7,90	364,61	-2,93	-33,85	<b>Z67</b>	-0,73	-9,23	-108,63	-0,40	120,00
<b>L62</b>	15,20	9,47	165,11	-0,50	-3,18	<b>J67</b>	7,73	8,47	1154,55	-0,17	-2,11
<b>P62</b>	7,23	-7,97	-52,41	-1,80	-19,93	<b>L67</b>	16,57	8,83	114,22	0,77	4,85
<b>Z63</b>	-7,10	-14,33	-198,16	-4,93	227,69	<b>P67</b>	8,90	-7,67	-46,28	0,40	4,71
<b>J63</b>	6,90	14,00	197,18	1,17	20,35	<b>Z68</b>	-1,80	-10,70	-120,22	-1,07	145,45
<b>L63</b>	16,83	9,93	143,96	1,63	10,75	<b>J68</b>	7,67	9,47	525,93	-0,07	-0,86
<b>P63</b>	9,20	-7,63	-45,35	1,97	27,19	<b>L68</b>	16,00	8,33	108,70	-0,57	-3,42
<b>Z64</b>	-4,60	-13,80	-150,00	2,50	-35,21	<b>P68</b>	8,13	-7,87	-49,17	-0,77	-8,61
<b>J64</b>	6,63	11,23	244,20	-0,27	-3,86	<b>Z69</b>	-3,17	-11,30	-138,93	-1,37	75,93
<b>L64</b>	16,80	10,17	153,27	-0,03	-0,20	<b>J69</b>	6,83	10,00	315,79	-0,83	-10,87
<b>P64</b>	7,67	-9,13	-54,37	-1,53	-16,67	<b>L69</b>	16,07	9,23	135,12	0,07	0,42
<b>Z65</b>	-2,40	-10,07	-131,30	2,20	-47,83	<b>P69</b>	8,70	-7,37	-45,85	0,57	6,97
<b>J65</b>	5,67	8,07	336,11	-0,97	-14,57	<b>Z70</b>	-4,30	-13,00	-149,43	-1,13	35,79
<b>L65</b>	15,13	9,47	167,06	-1,67	-9,92	<b>J70</b>	5,53	9,83	228,68	-1,30	-19,02
<b>P65</b>	6,30	-8,83	-58,37	-1,37	-17,83	<b>L70</b>	16,43	10,90	196,99	0,37	2,28
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>L10</b>	17,87	10,43	140,36	0,73	4,28	<b>J15</b>	8,07	7,27	908,33	-1,30	-13,88
<b>P10</b>	7,47	-10,40	-58,21	-1,67	-18,25	<b>L15</b>	19,20	11,13	138,02	2,23	13,16
<b>Z11</b>	-2,70	-10,17	-136,16	-0,10	3,85	<b>P15</b>	8,87	-10,33	-53,82	-1,13	-11,33
<b>J11</b>	9,23	11,93	441,98	1,80	24,22	<b>Z16</b>	1,77	-7,10	-80,08	0,97	120,83
<b>L11</b>	17,03	7,80	84,48	-0,83	-4,66	<b>J16</b>	8,13	6,37	360,38	0,07	0,83
<b>P11</b>	8,30	-8,73	-51,27	0,83	11,16	<b>L16</b>	17,60	9,47	116,39	-1,60	-8,33
<b>Z12</b>	-1,17	-9,47	-114,06	1,53	-56,79	<b>P16</b>	8,63	-8,97	-50,95	-0,23	-2,63
<b>J12</b>	9,33	10,50	900,00	0,10	1,08	<b>Z17</b>	-1,67	-10,30	-119,31	-3,43	-194,34
<b>L12</b>	17,77	8,43	90,36	0,73	4,31	<b>J17</b>	8,87	10,53	632,00	0,73	9,02
<b>P12</b>	8,47	-9,30	-52,35	0,17	2,01	<b>L17</b>	18,50	9,63	108,65	0,90	5,11
<b>Z13</b>	-1,57	-10,03	-118,50	-0,40	34,29	<b>P17</b>	8,33	-10,17	-54,96	-0,30	-3,47
<b>J13</b>	6,47	8,03	512,77	-2,87	-30,71	<b>Z18</b>	-0,30	-8,63	-103,60	1,37	-82,00
<b>L13</b>	17,63	11,17	172,68	-0,13	-0,75	<b>J18</b>	9,90	10,20	3400,00	1,03	11,65
<b>P13</b>	8,30	-9,33	-52,93	-0,17	-1,97	<b>L18</b>	19,27	9,37	94,61	0,77	4,14
<b>Z14</b>	1,27	-7,03	-84,74	2,83	-180,85	<b>P18</b>	9,60	-9,67	-50,17	1,27	15,20
<b>J14</b>	9,37	8,10	639,47	2,90	44,85	<b>Z19</b>	0,40	-9,20	-95,83	0,70	-233,33
<b>L14</b>	16,97	7,60	81,14	-0,67	-3,78	<b>J19</b>	8,57	8,17	2041,67	-1,33	-13,47
<b>P14</b>	10,00	-6,97	-41,06	1,70	20,48	<b>L19</b>	19,47	10,90	127,24	0,20	1,04
<b>Z15</b>	0,80	-9,20	-92,00	-0,47	-36,84	<b>P19</b>	9,47	-10,00	-51,37	-0,13	-1,39

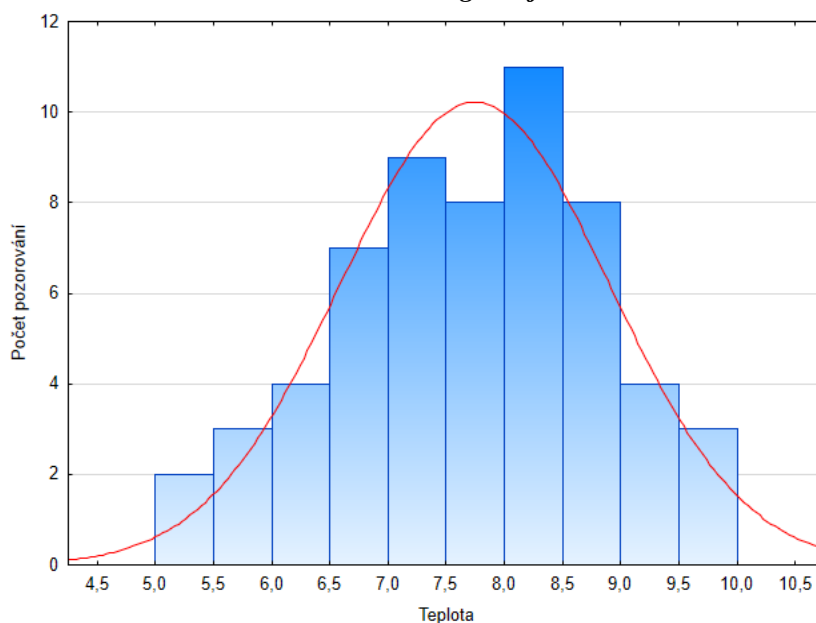
Zdroj: chmi.cz, cit. 13. 2. 2021; vlastní zpracování, 2021

**Příloha 9 Průměrné absolutní diference (čtvrtletní)**

Období	1961	1962
<b>zima</b>	-	0,0450
<b>jaro</b>	-0,0017	0,0497
<b>léto</b>	0,0649	0,0749
<b>podzim</b>	0,0075	0,0392

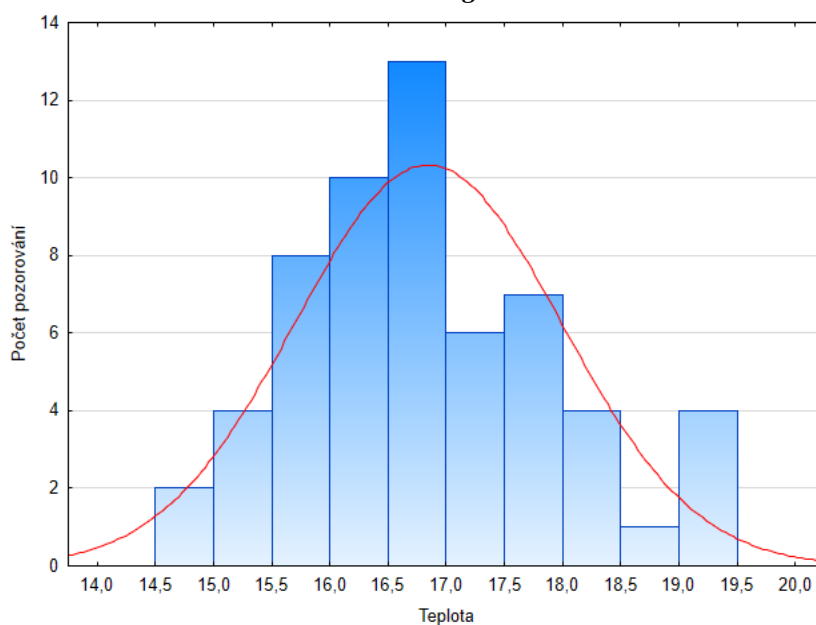
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Excel)

**Příloha 10 Histogram jaro**



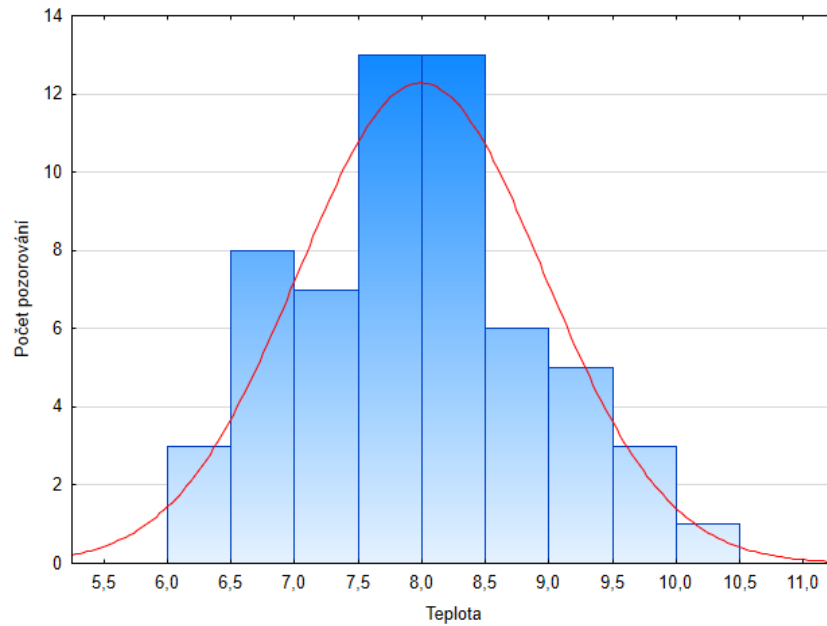
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 11 Histogram léto**



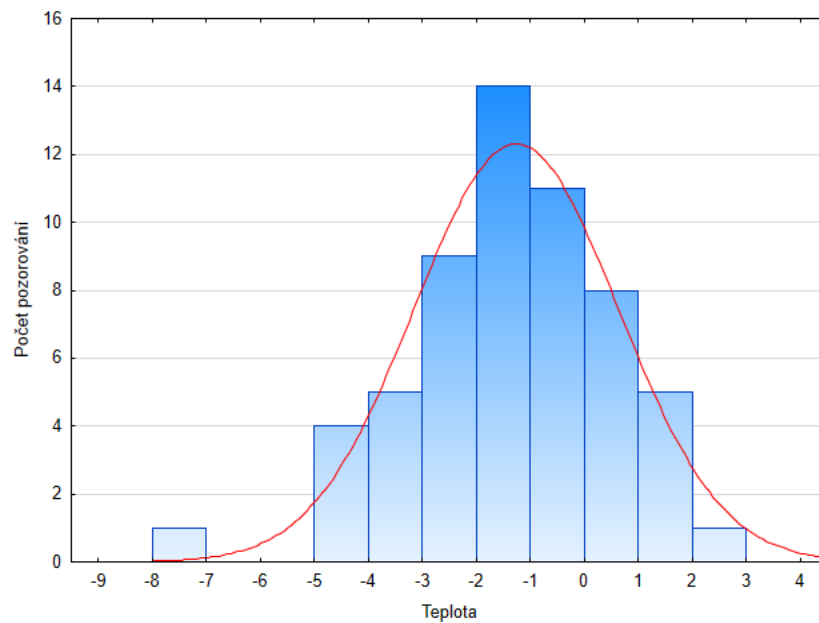
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 12 Histogram podzim**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 13 Histogram zima**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 14 Leveneovi testy homogenity (čtvrtletní)**

Proměnná	PČ Efekt	PČ Chyba	F	p
<b>Teploty zima</b>	0,022309	0,940983	0,237315	0,632032
<b>Teploty jaro</b>	0,054080	0,285547	0,189391	0,668597
<b>Teploty léto</b>	0,380880	0,134308	2,835861	0,109443
<b>Teploty podzim</b>	0,166836	0,224231	0,744033	0,399719

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 15 Jednosměrné testy významnosti (čtvrtletní)**

<i>Efekt</i>	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
<b>Absolutní člen - zima</b>	57,80000	1	57,80000	17,24795	0,000597
<b>Období - zima</b>	25,23756	1	25,23756	7,53107	0,013334
<b>Chyba - zima</b>	60,32022	18	3,35112	-	-
<b>Absolutní člen – jaro</b>	1171,980	1	1171,980	1265,866	0,000000
<b>Období - jaro</b>	15,547	1	15,547	16,792	0,000675
<b>Chyba - jaro</b>	16,665	18	0,926	-	-
<b>Absolutní člen - léto</b>	5874,449	1	5874,449	9517,274	0,000000
<b>Období - léto</b>	19,668	1	19,668	31,864	0,000024
<b>Chyba - léto</b>	11,110	18	0,617	-	-
<b>Absolutní člen - podzim</b>	1389,445	1	1389,445	1846,862	0,000000
<b>Období - podzim</b>	3,335	1	3,335	4,433	0,049567
<b>Chyba - podzim</b>	13,542	18	0,752	-	-

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 16 Duncanův test**

<i>Efekt</i>	Podzim 1 (7,9267)	Podzim 2 (8,7433)
<b>Podzim 1</b>	-	0,049700
<b>Podzim 2</b>	0,049700	-

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 17 ANOVA**

<i>Efekt</i>	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
<b>Absolutní člen</b>	14329,77	1	14329,77	8129,827	0,000000
<b>Období</b>	9614,32	3	3204,77	1818,191	0,000090
<b>Chyba</b>	407,16	231	1,76	-	-

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 18 Scheffeho test**

<i>Období</i>	Jaro (7,72)	Léto (16,83)	Podzim (7,98)	Zima (-1,30)
<b>jaro</b>	-	0,0000	0,7838	0,0000
<b>léto</b>	0,0000	-	0,0000	0,0000
<b>podzim</b>	0,7838	0,0000	-	0,0000
<b>zima</b>	0,0000	0,0000	0,0000	-

Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)



**Příloha 19 Dekompozice čtvrtletních teplot (aditivní)**

<i>Období</i>	Pozorované hodnoty °C	Pozorované hodnoty °F	Vyrovnané hodnoty	Sezónní faktor	Sezónně očištěné řada	Předpověď °F
<b>zima 62</b>	-2,17	28,1	43,94	<b>-16,3674</b>	44,47	27,57
<b>jaro 62</b>	5,73	42,32	43,96	<b>-0,1464</b>	42,47	43,81
<b>léto 62</b>	15,20	59,36	43,98	<b>16,2620</b>	43,10	60,24
<b>podzim 62</b>	7,23	45,02	43,99	<b>0,2518</b>	44,77	44,25
<b>zima 63</b>	-7,10	19,22	44,01	-16,3674	35,59	27,65
<b>jaro 63</b>	6,90	44,42	44,03	-0,1464	44,57	43,88
<b>léto 63</b>	16,83	62,3	44,05	16,2620	46,04	60,31
<b>podzim 63</b>	9,20	48,56	44,07	0,2518	48,31	44,32
<b>zima 64</b>	-4,60	23,72	44,09	-16,3674	40,09	27,72
<b>jaro 64</b>	6,63	43,94	44,10	-0,1464	44,09	43,96
<b>léto 64</b>	16,80	62,24	44,12	16,2620	45,98	60,38
<b>podzim 64</b>	7,67	45,8	44,14	0,2518	45,55	44,39
<b>zima 65</b>	-2,40	27,68	44,16	-16,3674	44,05	27,79
<b>jaro 65</b>	5,67	42,2	44,18	-0,1464	42,35	44,03
<b>léto 65</b>	15,13	59,24	44,20	16,2620	42,98	60,46
<b>podzim 65</b>	6,30	43,34	44,21	0,2518	43,09	44,47
<b>zima 66</b>	-0,33	31,4	44,23	-16,3674	47,77	27,86
<b>jaro 66</b>	7,90	46,22	44,25	-0,1464	46,37	44,10
...	...	...	...	...	...	...
<b>podzim 15</b>	8,87	47,96	47,87	0,2518	47,71	48,12
<b>zima 16</b>	1,77	35,18	47,89	-16,3674	51,55	31,52
<b>jaro 16</b>	8,13	46,64	47,90	-0,1464	46,79	47,76
<b>léto 16</b>	17,60	63,68	47,92	16,2620	47,42	64,18
<b>podzim 16</b>	8,63	47,54	47,94	0,2518	47,29	48,19
<b>zima 17</b>	-1,67	29	47,96	-16,3674	45,37	31,59
<b>jaro 17</b>	8,87	47,96	47,98	-0,1464	48,11	47,83
<b>léto 17</b>	18,50	65,3	48,00	16,2620	49,04	64,26
<b>podzim 17</b>	8,33	47	48,01	0,2518	46,75	48,27
<b>zima 18</b>	-0,30	31,46	48,03	-16,3674	47,83	31,66
<b>jaro 18</b>	9,90	49,82	48,05	-0,1464	49,97	47,90
<b>léto 18</b>	19,27	66,68	48,07	16,2620	50,42	64,33
<b>podzim 18</b>	9,60	49,28	48,09	0,2518	49,03	48,34
<b>zima 19</b>	0,40	32,72	48,10	-16,3674	49,09	31,74
<b>jaro 19</b>	8,57	47,42	48,12	-0,1464	47,57	47,98
<b>léto 19</b>	19,47	67,04	48,14	16,2620	50,78	64,40
<b>podzim 19</b>	9,47	49,04	48,16	0,2518	48,79	48,41

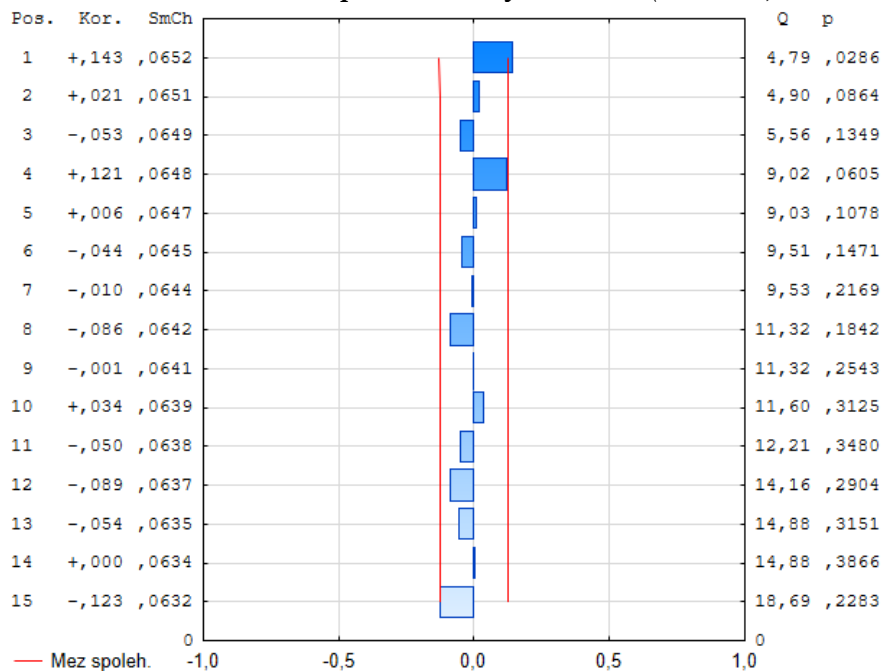
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 20 M.A.P.E. (aditivní dekompozice)**

<i>Chyba</i> (model Alfa= ,043 Delta=0,00 Gama=0,00)	Hodnota
Průměrná chyba	-0,0632
Prům. absolut. chyba	1,6394
Součet čtverců	1054,8239
Průměrný čtverec	4,5467
Průměrná procentuální	-0,5341
Prům. abs. perc. chyba	4,2676

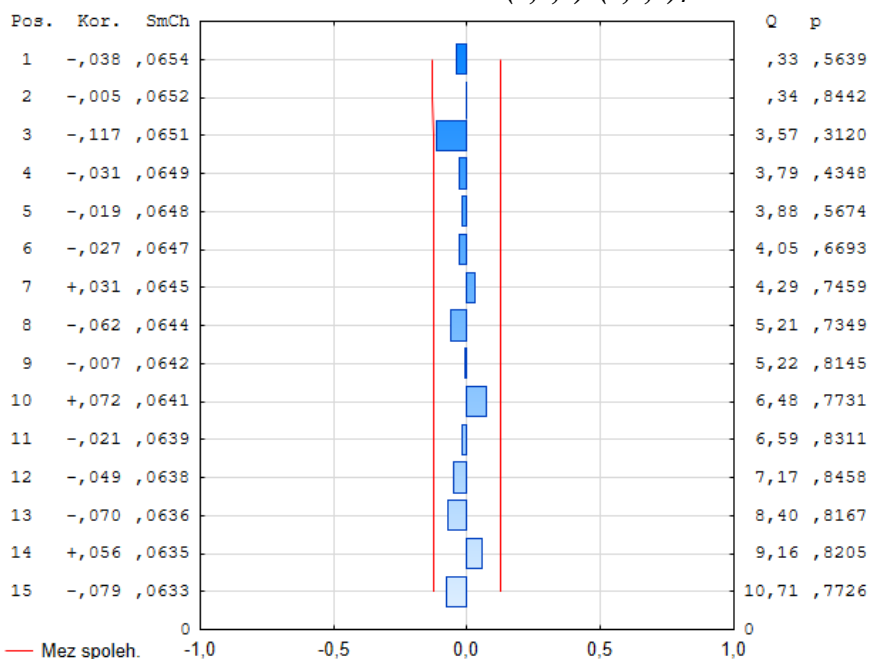
Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

**Příloha 21 ACF Exponenciální vyrovnávání (čtvrtletní)**

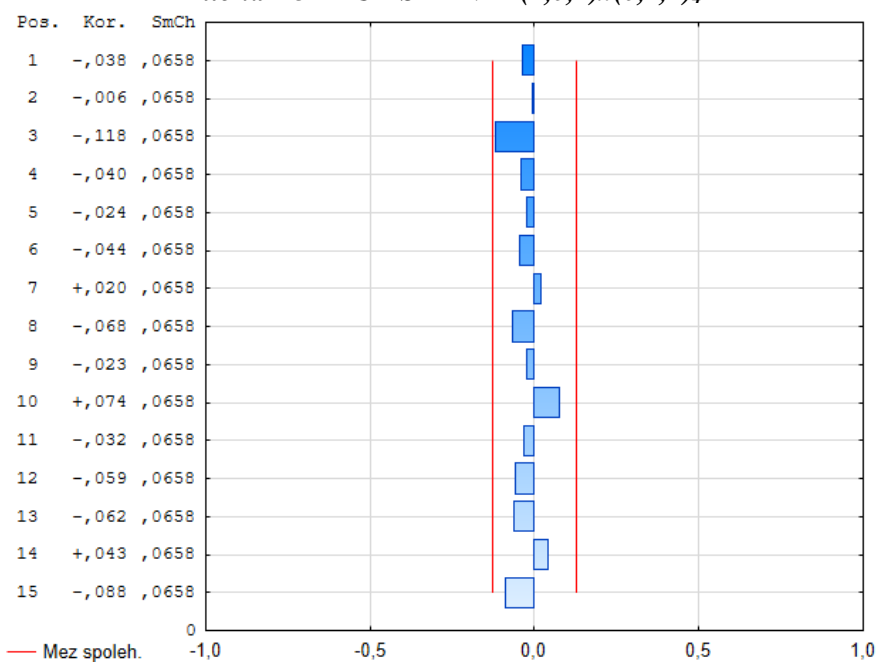


Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)

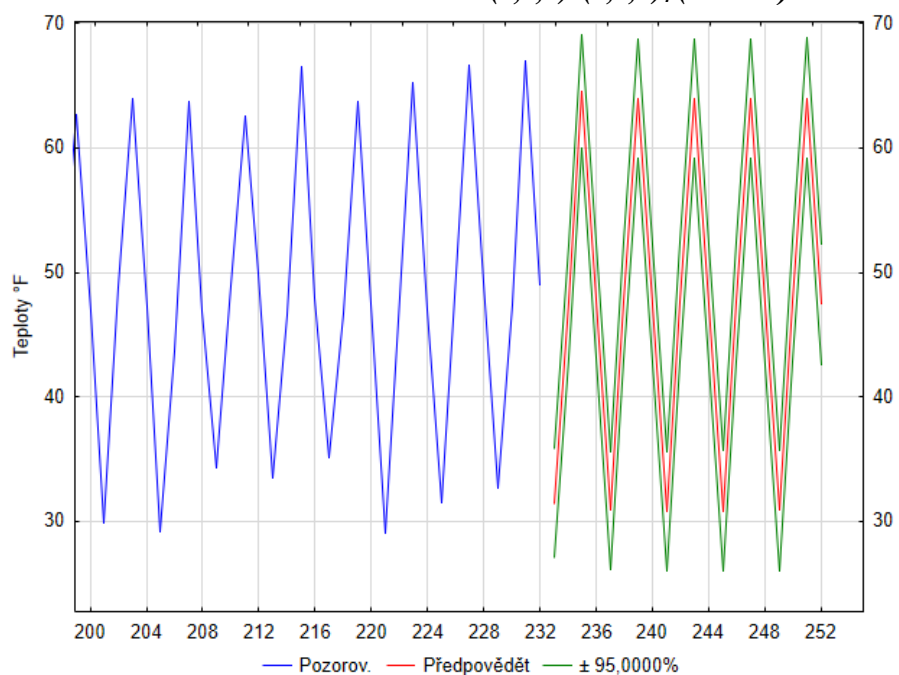
**Příloha 22 ACF SARIMA (4,0,1)x(0,1,2)<sub>4</sub>**



**Příloha 23 PACF SARIMA (4,0,1)x(0,1,2)<sub>4</sub>**



**Příloha 24 Predikce SARIMA (4,0,1)x(0,1,2)<sub>4</sub> (detailní)**



Zdroj: vlastní zpracování, 2021 (Statistica)