

Česká zemědělská univerzita  
Fakulta životního prostředí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

Šárka Pavlásková

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Pinatubo, klimatické změny po erupci sopky

Vedoucí práce: **Ing. Jana Soukupová Ph.D.**

Bakalant: **Šárka Pavlásková**

2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Šárka Pavlásková

Územní technická a správní služba

Název práce

**Pinatubo, klimatické změny po erupci sopky.**

Název anglicky

**Pinatubo, climate change after the eruption of the volcano.**

---

### Cíle práce

Cílem práce je shrnout klimatické změny po erupcích velkých sopek a posléze se zaměřit přímo na erupci sopky Pinatubo – především zjistit celosvětovou klimatickou změnu – proudění, teploty. Pokusit se prokázat, zda erupce Pinatuba měla vliv i na teploty na území ČR.

### Metodika

Práce bude literární rešerší na dané téma.

Rámcová osnova:

1. Úvod
2. Obecně změny klimatu po velkých erupcích
3. Pinatubo – průběh erupce
4. Následky ve světě
5. Vliv na počasí v ČR

**Doporučený rozsah práce**

40

**Klíčová slova**

Pinatubo, erupce, vulkanismus, teplota, proudění

---

**Doporučené zdroje informací**

Carla W. Montgomery- Environmental Geology

Jana Soukupová- Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na Zemi

Jan Novák- Smrtící sopky

Keith Smith- Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster

Zděnek Kukul- Přírodní katastrofy

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 10. 12. 2015

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

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 12. 2015

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2016

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Jany Soukupové Ph.D. a že jsem uvedla všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 11. 4. 2016

.....

### **Poděkování**

Děkuji Ing. Janě Soukupové Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracovávání bakalářské práce. Děkuji také svým rodičům, příteli a dalším lidem, jejichž podpora přispěla k úspěšnému vytvoření této práce.

V Praze 11. 4. 2016

.....

### **Abstrakt, klíčová slova**

Práce je zaměřena na změnu klimatu po erupci filipínské sopky Pinatubo. Sopka vybuchla 17. června roku 1991. Do ovzduší se dostalo 20 - 30 milionů tun oxidu siřičitého. Velké množství sopečného prachu způsobilo zastínění slunečních paprsků a tím došlo k celosvětovému ochlazení o 0,5 °C. V této práci je proveden rozbor zahraničních teplotních řad a dále byla porovnána pozorování v meteorologických stanicích na území České republiky.

Pinatubo, erupce, vulkanismus, teplota, proudění

The work is focused on climate change following the eruption of a Philippine volcano Pinatubo. The volcano erupted on June 17, 1991. Into the air was given 20 to 30 million tons of sulfur dioxide. The Large amounts of volcanic dust has caused shading of sunlight, resulting in a global cooling of about 0,5 ° C. In this work is executed an analysis of foreign temperature series and also was compared to observations at meteorological stations in the Czech republic.

Pinatubo, eruption, volcanism, temperature, convection

## **Cíle práce**

Cílem práce je shrnout klimatické změny po erupcích velkých sopek a následně se zaměřit přímo na erupci sopky Pinatubo, především zjistit dopad na klimatické změny - proudění, teploty. Pokusit se prokázat, zda erupce Pinatuba měla vliv i na teploty na území ČR.

## **Metodika**

Bakalářská práce je literární rešerší, ve které se pracuje z velké části s odbornou literaturou. V úvodní části, se práce zabývá vulkanismem a jeho rozdělením. Dále jsou stručně popsány největší sopečné erupce, které způsobily ochlazení klimatu. Hlavní část práce se zabývá erupcí sopky Pinatubo a jejími následky, např. různými atmosférickými jevy, snížením ozónové vrstvy. Je zde detailně zpracovaná analýza zahraničních a českých teplotních řad, jejímž cílem je dokázat ochlazení klimatu. Závěr práce obsahuje shrnutí a zhodnocení daného tématu.



## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Definice vulkanismu .....	11
2.1 Základní rozdělení vulkánů a erupcí.....	11
2.2 Rozdělení dle způsobu pronikání magmatu na povrch.....	13
2.4 Rozdělení vulkánů dle tvaru.....	13
3. Definice magmatu a jeho rozdělení .....	14
3.1 Vliv sopečného popela na krajinu .....	15
3.2 Tektonické prostředí a jeho vliv na vulkanismus .....	16
4. Stupnice síly erupce sopky .....	16
4.1 Kataklyzmatická erupce .....	17
5. Předpověď výbuchu erupce .....	18
5.1 Monitorování sopek.....	19
6. Obecné změny klimatu a ovlivnění klimatu velkými erupcemi .....	21
6.1 Velké erupce v minulosti.....	22
6.2 Toba, ostrov Sumatra.....	22
6.3 Laki, Island.....	22
6.5 Ostrov Krakatoa, Indonésie.....	23
6.5 Tambora, ostrov Sumbawa, Indonésie .....	24
6.6 St. Helen, USA .....	24
6.7 Novarupta, Aljaška, USA .....	25
6.8 El Chichon, Mexiko.....	25
7. Erupce hory Pinatubo.....	26
7.1 Atmosférické jevy po výbuchu Pinatuba.....	28
7.2 Ozon .....	28
8. Změny teplot ve světě.....	29
8.1 Analýza teplotních řad ve světě .....	31
8.2 Analýza teplotních řad v ČR .....	33
8.3 Průměrné teploty pro vybrané stanice v ČR pro rozmezí 1966 - 1996.....	34
8.4 Rozbor územních meteorologických stanic .....	35
8.5 Průměrné teploty letních měsíců.....	40
8.6 Průměrné teploty zimních měsíců .....	40
9. Množství srážek v České republice .....	41
10. Diskuze .....	43
11. Závěr.....	45
Přehled literatury a použitých zdrojů .....	47

Přílohy .....	55
Přehled literatury pro obrázky a přílohy.....	60

## 1. Úvod

Dne 15. 7. 1991 došlo k sopečné erupci filipínské sopky Pinatubo, ležící na ostrově Luzon. Hora Pinatubo je komplex lávových dómů a nachází se 100 km od města Manila (Vulcano discovery, nedatováno). Erupce sopky byla druhá největší ve 20. století.

Sopka se probudila 16. 7. 1990 pohybem tektonických desek a byla doprovázena zemětřesením. Díky týmu vulkanologů, kteří sopku monitorovali během její aktivní činnosti, se podařilo zabránit velkým ztrátám na lidských životech pomocí včasné evakuace obyvatelstva.

Před erupcí bylo prokázáno, že v minulosti došlo k šesti velkým erupcím (Novák, 2011).

Oblak popela se dostal do výšky 45-ti km a do ovzduší se dostalo 20 - 30 milionů tun oxidu siřičitého. Výbuch byl tak silný, že zapříčinil celosvětové snížení teploty přibližně o 0,5°C (Soukupová, 2013). Sopečný prach se pomocí vzdušných proudů (tzv. jet stream) dostal kolem celé zeměkoule a odrážel sluneční paprsky zpět do vesmíru, tím došlo k ochlazení klimatu (Novák, 2010). Výbuch sopky neovlivnil pouze klima, ale také zeslabení ozonové vrstvy a další atmosférické jevy.

Erupce změnila charakter celého regionu.

Na ostrově se před explozí nacházela Americká vojenská základna Clark, do které se po výbuchu nikdo nevrátil. Erupce sopky měla dopad i sociální. Základna poskytovala mnoho pracovních míst. Zaměstnanci mohli po určité odpracované době získat azyl v Americe (Zvolánek, 2012).

Těsně po erupci ostrov zasáhl tajfun Yuna, který promísil popel s deštěm a ostrov zničily lahary (Volcano discovery, nedatováno).

Změna klimatu se projevila i na našem území, a to nebývale tuhou zimou a suchým létem v rozmezí let 1991 - 1994 (Eliáš. 2002).

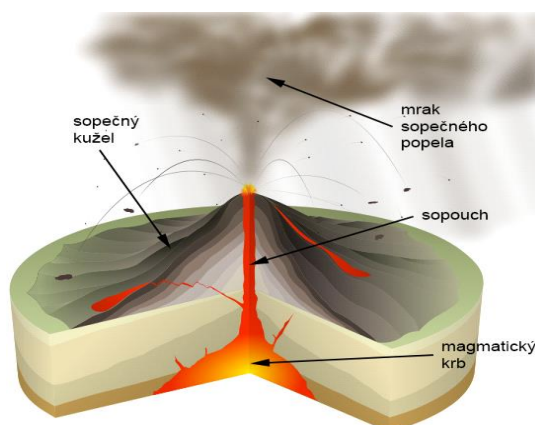
## 2. Definice vulkanismu

Sopečnou činností neboli vulkanismem, můžeme nazvat všechny povrchové projevy magmatické aktivity. Bokr (2004) sem zahrnuje např. pronikání magmatu na zemský povrch, exploze plynů a par, dopad pyroklastického materiálu.

Vulkanologie je vědní obor zabývající se veškerými sopečnými jevy. (Petránek, 1993).

Základní tvar sopek je kužel. Tento kužel vzniká postupnou sopečnou činností. Sopka je tvořena jícnem, sopouchem a hluboko pod povrchem je magmatický krb. Ten se nachází cca 30 - 100 km pod zemským pláštěm. (Kukal, 1983). Na originální vzhled každé sopky má vliv především hustota lávy, způsob výlevu a také četnost erupcí. (Day, 2001)

Obr. č. 1 Stavba vulkánu (Přírodovědci, 2013)



### 2.1 Základní rozdělení vulkánů a erupcí

Vulkány se rozdělují na **aktivní sopky** (např. Kilauea, Havaj), dále na **vyhaslé a spící**. Intervaly mezi erupcemi mohou být dlouhé i tisíce let, (např. Yellowstone) (Oppenheimer, 2011).

Sopky se mohou dělit podle mnoha hledisek. Jako nejzákladnější lze uvést dělení dle typu erupce na **explozivní** (kdy magma vylétá do vzduchu a výbuchy jsou způsobené erupcí plynů) a **efuzní** (neboli výlevné, kdy magma volně vytéká ze sopky). Erupce, které jsou efuzní a explozivní, se ještě dále dělí do několika typů podle složení magmatu a síly erupce (Cajz, 2007).

### **Efuzní erupce:**

- **Islandské erupce** - tyto erupce jsou charakteristické výstupem magmatu podél lineárních trhlin, v místech, kde se nachází zdroj magmatu. (CAMPa, 2006)
- **Havajské erupce** - řadí se mezi klidnější erupce. Jsou velice podobné Islandským erupcím. Při explozi může dojít k vyvržení pyroklastického materiálu, ale objem tefry je malý. (Bryant, 2005)

### **Explozivní erupce:**

- **Strombolské erupce** - jednoduchý typ explozivní erupce. Magma může mít mafické a nebo felsické složení (Bryant, 2005). Erupce jsou krátkodobé, opakující se. Dochází k pravidelnému uvolňování sopečných plynů (VHP Photo Glossary, nedatováno). Erupce jsou ve tvaru fontán lávových fragmentů, které dosahují výšky stovek metrů a interval mezi nimi může být i několik pouhých sekund. Erupce může trvat několik hodin nebo dnů (CAMPb, 2006).
- **Vulkánské erupce** - produkují viskózní magma, které je andezitické až rhyolitové. Obsahuje větší množství plynů. V jícnu vulkánu dochází k narůstání tlaku, až nakonec dojde k uvolnění pomocí exploze (Bryant, 2005). V jícnu také dochází k tuhnutí magmatu, díky kterému vznikne tzv. zátka a vytvoří se vulkanický dóm (CAMPc, 2006).
- **Pliniáské erupce** - tento druh erupce je typický pro stratovulkány v subdukčním pásu. Erupce jsou explozivní, vzniká při nich sopečný sloup plynů a pyroklastického materiálu, který může být vysoký až 11 km (VHP Photo Glossary, nedatováno). Erupce může trvat od několika hodin až po několik dnů. (CAMPd, 2006). Ke konci erupce dochází k vyprázdnění magmatického krbu a poté k destrukci kaldery (Bryan, 2005).
- **Peléjské erupce** - jsou charakteristické tzv. lavinou pyroklastického mračna o vysoké teplotě. Žhavý mrak dokáže dosáhnout rychlosti až 100 km/h a teploty přes 500°C (VHP Photo Glossary, nedatováno). Může dojít

k destrukci vulkanického dómu, anebo k boční erupci svahu sopky (Kukal, 1983).

## 2.2 Rozdělení dle způsobu pronikání magmatu na povrch

- **Centrální** neboli **středové** (Tento typ je nejčastější, je charakteristický tím, že magma stoupá přímo k povrchu sopouchem).
- **Lineární** neboli **čárové** (Vznikají tak, že magma vytéká po tektonických puklinách a láva pak na povrchu vytváří lávové příkrovy, tímto způsobem vznikají takzvané tabulové sopky).
- **Areální** neboli **plošné** (Je to nejméně častý typ erupcí. Při této erupci dochází k protavení nadložních hornin a magma vyjde až na zemský povrch, kde po ztuhnutí, má horní vrstva charakter výlevné horniny. V nejhlubších vrstvách se mění v horniny hlubinného charakteru. V současné době není nikde aktivní areální erupce (Bokr, 2004).

## 2.3 Druhy sopek

Tvary vulkánů jsou velmi rozmanité. Hodnotíme je dle mnoha hledisek. Z tvaru sopky můžeme zjistit tektonické prostředí, složení magmatu a sopečné erupce (Keller, 2005). Bokr (2004) uvádí další rozdělení, a to dle materiálu, který sopka tvoří, na **tufové** (tvoří je nesouvislé sopečné vyvrženiny), dále na **lávové** (jsou tvořené lávovými výlevy), a posledním typem jsou vulkány **smíšené** (takzvané stratovulkány, které jsou vytvářené střídáním lávových výlevů a nahromaděného pyroklastického materiálu).

## 2.4 Rozdělení vulkánů dle tvaru

- **Štítová sopka** - název odpovídá tvaru. Tento vulkán má pozvolné svahy sopečného kužele, ploché vrcholové partie a objevuje se značný nepoměr mezi výškou a délkou základny. Obsahuje velmi málo viskózního bazaltového magmatu (CAMPe, 2006). Během vývoje vulkánů dochází k vrstvení bazaltových lávových proudů. Výška sopky může být přes 10 km a v průměru základny stovky kilometrů (např. Havajská Mauna Loa) (Montgomery, 2006).

- **Stratovulkán** - u stratovulkánu dochází k velkému množství různých typů erupcí (Montgomery, 2006). Je tvořen vrstevnatou strukturou, která vzniká střídáním sopečných projevů. K tvorbě vulkánu dochází vrstvením tefry, která vzniká v explozivní fázi a pokryvy lávových proudů z efuzivní fáze (Keller, 2005).
- **Sypaný kužel** - jsou tak tvořené jednoduché malé sopky, které nepřesahují výšku okolo 300 m (CAMPf, 2006). Kužel je tvořen pomocí vrstvy tefry, která se ukládá kolem jícnu v průběhu strombolských erupcí (Keller, 2005).
- **Vulkanický dóm** - jedná se spíše o struktury, které se objevují při větší erupci, především u stratovulkánů. Vulkanický dóm vzniká efuzí vysoce viskózního rhyolitového magmatu, které bylo z převážné většiny zbaveno plynné složky. Lávové proudy se zde nevytvářejí, ale jsou spíše vytlačovány z jícnu vulkánu. Magma rychle tuhne a nad jícnem se vytvoří tzv. „zátká“. Zátká postupně narůstá a vytváří příkré svahy. Vulkanické dómy jsou menší a spíše modelují vrchol stratovulkánů (Montgomery, 2006).

### 3. Definice magmatu a jeho rozdělení

Magma je komplexní směs silikátů (sloučenin obsahujících  $\text{SiO}_2$ ), plynů a dalších natavených materiálů. Magma vzniká v horním plášti Země (Smith, 2002). Zde je dostatečně vysoká teplota a zároveň natolik nízký tlak, aby mohlo dojít k procesu tavení hornin až do tekutého stavu (Montgomery, 2006). Základní částí sopky je magmatický krb. Nachází se většinou v hloubce 30 - 100 km pod povrchem sopky. Je to vlastně jakýsi rezervoár plný roztaveného magmatu (Bokr 2004). Pokud magma nemůže volně stoupat sopouchem na povrch, dochází působením stlačených plynů k vulkanickým explozím (Smith 2002).

Magma se dělí do dvou typů. **Felsické (kyselé)**, které obsahuje velké množství živců a přibližně 70%  $\text{SiO}_2$  (oxid křemičitý). Je velmi výbušné, vysoce viskózní a díky tomu se v něm hromadí velké množství plynů a vody. Při stoupání magmatu vzhůru, dochází k rozpínání těchto složek a dochází k výbušné explozi. **Mafické (bazické)** je

spíše tekuté, má menší obsah (45-50%) oxidu křemičitého (SiO<sup>2</sup>). Obsahuje železo a je bohatý na minerály hořčíku. Tento typ magmatu se vylévá na povrch (Bryant, 2005).

Lávou nazýváme magma, které se dostane na zemský povrch. Pokud láva stéká po kuželu sopky, vznikají lávové proudy, někdy přímo řeky. Ztuhlá láva vytváří různé tvary.

Výbuch sopky nepředstavuje jediné nebezpečí pro ovzduší a obyvatelstvo. Každý výbuch může být doprovázen různými nebezpečnými procesy. Kukul (1983) ve své knize uvádí šest doprovodných jevů, kterými jsou: lávové proudy, sopečné bahnotoky, sopečné povodně, žhavá mračna, výbuch, spad tefry a výrony plynů. Bokr (2004) označuje souhrnným názvem – pyroklastika. Jsou to veškeré pevné neroztavené části a kusy kužele, které sopka vyvrhne. Pyroklastický materiál dopadající zpět na povrch se nazývá **tefra**. Pokud dojde k stmelení a zpevnění, vznikají **sopečné tufy** (Kukul, 1983). Výbuch sopky doprovází také **sopečné pumy** (velké kusy), **sopečný písek** a **sopečný popel** tzv. **lapie** (Bokr, 2004). Magma, které utuhne již pod povrchem, vytvoří **hlubinné vyvřelé (plutonické) horniny**, např. žula, gabro. Opačný případ, kdy se magma dostane na povrch, vznikají **výlevné vyvřelé (vulkanické) horniny**, např. rhyolit a čedič (Montgomery, 2006).

### 3.1 Vliv sopečného popela na krajinu

Sopečný popel obsahuje mnoho živin a způsobuje regeneraci krajiny. Může to však způsobit problémy, protože lidé nedbají na nebezpečí, které hrozí v blízkosti sopek. Osídlují jejich okolí, a to z důvodu úrodnější půdy (Kukul, 1983). Vliv na úrodnost půdy má síra, selen a další prvky. Změna není viditelná pouze v půdě, ale i v oceánech. Po erupcích se v oceánech tvoří velké množství fytoplanktonu. Sopečný popel má i negativní vliv na zemědělství (Oppenheimer, 2011). Soukupová (2013) uvádí, že „*vrstva jednoho centimetru může poškodit rostliny. Několik cm pak způsobí terén zemědělsky sterilní po celé generace. Zvláště, pokud tefra sebou nese agresivní látky jako je např. fluor.*” V případě, že tyto rostliny zkonsumují zvířata, může dojít k abnormálnímu růstu kostí, ke krvácení anebo k celkovému selhání organismu.



### 3.2 Tektonické prostředí a jeho vliv na vulkanismus

Na základě pozorování aktivity sopek, ohnisek zemětřesení a hranic zemských desek, bylo prokázáno spojení procesů deskové tektoniky a vulkanismu (Soukupová, 2013).

**Tektonické prostředí lze rozdělit do třech základních kategorií.**

- Divergentní desková rozhraní (středoocéánské hřbety, kontinentální riftové zóny)
- Konvergentní desková rozhraní (subdukční zóny)
- Horké skvrny

Tam, kde se vyskytují středoocéánské hřbety, dochází k poklesu tlaku při oddálení litosférických desek, tím se na povrch dostává tavenina, která je svým složením mafická až ultramafická. U kontinentálního riftu vznikají andezitické až rhyolitové vulkanické vrstvy. Tavení hornin v subdukčních zónách je podporováno zasouváním oceánské desky do větších hloubek zemského tělesa (Montgomery, 2006). Subdukce *oceán - oceán* je magma bazaltové až andezitické. Dalším typem subdukce je *oceán - kontinent*, kdy je magma andezitické až rhyolitové (CAMPg, 2006). V místech, kde se vyskytují tzv. horké skvrny, vystupují proudy magmatu, které je ultramafického složení. Horká skvrna, která se nachází pod oceánem, je magma v mafickém složení. Pokud se objeví pod kontinentem, tavenina je ve složení andezitickém až rhyolitovém (Montgomery, 2006).

### 4. Stupnice síly erupce sopky

Nejdůležitějším prostředím je tektonické a geologické. Má vliv na složení magmatu. Typ magmatu dále ovlivňuje průběh erupce. Na erupci závisí tvar sopky a to jaké další hrozby bude představovat. Vše spolu souvisí a navzájem se ovlivňuje. Sopečnou činnost lze klasifikovat podle různých stupnic a výpočtů. Je to velmi složité a neexistuje univerzální tabulka, přesto byly vytvořeny různé stupnice a výpočty. Nejčastěji užívaná stupnice je ***Volcanic Explosivity Index*** neboli **index vulkanické explozivity (VEI)**. Index byl sestaven roku 1982 dvojicí britských vulkanologů Newhallem a Seifem (CAMPh, 2006). Tento index představuje škálu stupňů (0-8), která odpovídá relativní velikosti erupce.

### Jednotlivé stupně se určují podle dalších faktorů:

- celkové množství pyroklastického materiálu
- výška erupčního sloupu
- trvání hlavní fáze eruptivní činnosti
- kvalitativní parametry (efuzní, explozivní, kataklyzmatická apod.)
- aktivita sopky
- výška erupčního oblaku (troposféra, stratosféra)

Tab. č. 2 Stupnice sopečných výbuchů (autor, 2016)

Stupnice sopečných výbuchů		
1.stupeň	Objem vyvrženého materiálu do 10 000 m <sup>3</sup> . Neexplozivní erupce. Láva se volně vylévá na povrch. Poškození je malé.	Mauna Loa, Havaj
2.stupeň	Objem vyvrženého materiálu je od 10 000 m <sup>3</sup> až 1 milion m <sup>3</sup> . Výška sloupce mraku do 1 km. Pravidelné erupce bez větších škod.	Stromboli, Itálie
3.stupeň	Objem vyvrženého materiálu je až 10 milionů m <sup>3</sup> materiálu. Výška mraku 1-5 km. Vrcholná fáze erupce Eyjafjallajökull byla označena st. 3 nebo st.4.	Galeras, Kolumbie
4.stupeň	Objem vyvrženého materiálu je 0,1-1 km <sup>3</sup> . Oblak dosahuje výšky 10 až 25 km.	Vesuv, Itálie
5.stupeň	Objem vyvrženého materiálu 1-10 km <sup>3</sup> do výšky větší než 25 km.	St. Helen, USA
6.stupeň	Objem vyvrženého materiálu je 10 - 100 km <sup>3</sup> . Oblak dosahuje výšky větší než 25 km. K podobným jevům dochází méně než jednou za století.	Laki, Island
7.stupeň	Objem vyrženého materiálu je 100 - 1 000 km <sup>3</sup> . Oblak dosahuje výšky přes 25 km. Erupce nese označení jako "superkolosální".	Tambora, Indonésie
8.stupeň	Vyvrženo více než 1 000 km <sup>3</sup> materiálu. Sopečný oblak dosahuje výšky přes 25 km, za posledních 10 tisíc let k takové erupci nedošlo.	Toba, Indonésie

#### 4.1 Kataklyzmatická erupce

V dějinách sopečných výbuchů, které se objevují v literatuře, lze najít název kataklyzmatické erupce. V překladu to znamená katastrofální. Tyto výbuchy mohou

roztrhat celé ostrovy a zasáhnou velké oblasti doprovodnými jevy. Jako největší kataklyzmatické erupce uvádí Kukul (1983), sopku Krakatoa anebo Tambora.

## 5. Předpověď výbuchu erupce

Sopky děsily lidstvo už od pradávna. Když se ohlédneme do minulosti, naše Země zažila mnoho extrémních výbuchů, které dokázaly ovlivnit celý svět. Dnešní vyspělá společnost, která vyniká v oblasti techniky a vědy, má mnoho slabých míst. Nedávná erupce Islandské sopky Eyjafjallajökull, zastavila na několik dní leteckou dopravu a destabilizovala světovou ekonomiku. Tato erupce byla menšího rozsahu.

Mezi nejničivější erupce, které se staly v minulosti, patří sopka Toba na Sumatře. Po jejím výbuchu došlo k ochlazení klimatu o 10°C - 15°C, které trvalo 1 800 let.

V dnešní moderní civilizaci by výbuchy existujících supervulkánů byly ještě ničivější. Mnoho vulkánů se nachází v bezprostřední blízkosti velkých městských aglomerací.

Nejznámější a nejvíce nebezpečná dřímající sopka leží pod Yellowstonským parkem v USA.

Vědci tyto nebezpečné sopky sledují, ale pokud by došlo k erupci, žádná obrana proti ní neexistuje. Erupci nelze zastavit, ale je potřeba preventivně chránit před katastrofálními dopady výbuchu. Bohužel někdy prevence a osvěta nefunguje dost efektivně. Nebezpečným hazardem je výstavba měst, které se nachází nad magmatickými krby (Novák, 2011). Jako příklad lze uvést aktivní japonskou sopku Sakura-džima, která je vzdálená 50 km od jaderné elektrárny. Jedná se o velice aktivní vulkán. Pokud by došlo k erupci, mělo by to nedozírné následky (Eko list, 1997).

Dalším problémem je nedostatečné monitorování sopek v rozvojových zemích a neznalost podmořských vulkánů. *„Zatímco lidstvo utrácí miliardy za karnevaly, olympiády, světové výstavy a další podobné taškařice, neexistuje žádný seriózní plán pro případ skutečně rozsáhlé katastrofy, tím méně pak pro případ globální „nukleární zimy“, která by po extrémně velké erupci zákonitě přišla.“* (Novák, 2011)

Předpověď sopečné erupce je složitá a nepostradatelná při ochraně před sopečnými hrozbami. Závisí na ní životy velkého množství lidí. Nejpresnější předpověď sopečné činnosti lze aplikovat u vulkánů, u kterých známe jejich erupční historii (Keller, 2005). Vědci většinou dokážou odhadnout čas a místo erupce. Co ale odhadnout

nelze je délka jejího trvání, rozsah vyprodukované lávy a množství pyroklastického materiálu (Montgomery, 2006). Proto je možné předvídat pouze charakter erupce a to na základě tektonicko-geologické analýzy. Na vědecké poznatky a závěry musí pružně reagovat místní administrativa, která má na starosti krizový plán. Na sopečnou aktivitu nás upozorňují různé jevy, jejichž pozorováním a vyhodnocováním, lze předpovídat budoucí erupci. Před erupcí dochází k mnoha fyzikálním změnám.

#### **Nejdůležitější ukazatelé:**

- **Seismická aktivita** (nejčastěji zaznívá dunění, praskání)
- **Deformace povrchu** (může docházet k různým sklonům svahu)
- **Tepelné změny** (nárůst teploty jak na povrchu, tak i termálních pramenů, odumírání vegetace, tání sněhu nebo ledovců)
- **Geochemické změny** (vyšší koncentrace oxidu siřičitého, jiné chemické složení termálních pramenů)
- **Geofyzikální změny** (změna v rozložení magnetického pole, změna starších hornin při postupu magmatu)
- **Ostatní ukazatelé** (změna chování zvířat - např. hadi vylézají ven ze země)

Stává se však, že některé vulkány explodují, aniž by bylo možné zaznamenat jakýkoliv z uvedených varovných signálů (Montgomery, 2006).

Nejstarší a nejvíce používanou metodou k předpovědi erupce je seismické monitorování. Cesta magmatu, která se pohybuje směrem vzhůru, vede k zemětřesné aktivitě s ohnisky umístěnými přímo pod vlastní sopkou. Tyto magnitudy jsou v RichtEROVĚ škále značené stupněm 2 - 3 a ohniska obvykle nepřekračují hloubku 10 km (Monitoring Volcano Seismicity, 2009).

### **5.1 Monitorování sopek**

#### **Nejdůležitější měřicí přístroje a technologie k monitorování změn v blízkosti a na svazích sopky se používají:**

- **Sklonometry** (bodové měření svahu)
- **Elektronické dálkometry** (monitorování změn vzdálenosti přístroje a referenčního bodu)

- **GPS** (bodové měření pohybu povrchu na základě družicových určených koordinát)
- **InSar** (plošné měření pohybu povrchu a na základě vyhodnocování družicových snímků)

(Monitoring Volcano Ground Deformation, 2009)

Dalším možným způsobem monitorování je letecké infrasnímkování, které odhalí teplené změny povrchu (Smith, 2002).

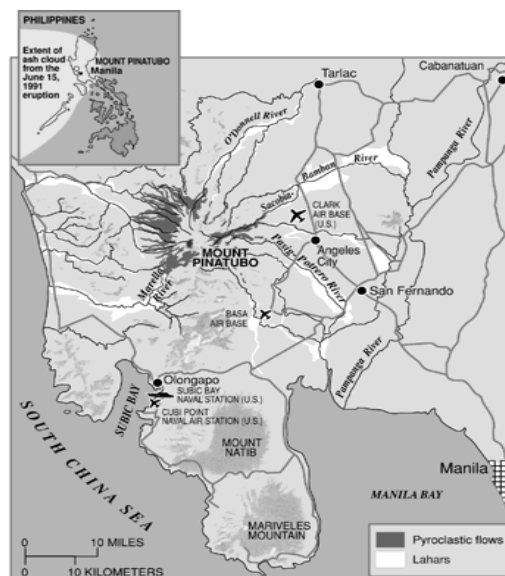
#### Základní monitorovací metody:

- **Seismologie**
- **Geodezie** (změny tvaru)
- **Gravimetrie** (zvýšené nebo snížená gravitace)
- **Magnetometrie** (ztráta magnetické orientace)
- **Měření teploty**
- **Měření a analýza plynů**

(Jakeš, 2005)

Mapy vulkanického ohrožení se sestavují z důvodu předpovědi a ochrany. Při jejich sestavování se vychází z historických statistik, jejíž nejdůležitějším prvkem je geologické mapování. Zakreslují se oblasti, které mohou být postižené vulkanickými hrozbami, jako je například dopad pyroklastického materiálu nebo tok lávových a laharových proudů.

Obr. č. 3 Vulkanická mapa ohrožených oblastí (Newhall, 1997).



Tyto mapy mají klíčovou úlohu při prevenci a ochraně a na jejich základě jsou vytvářené krizové scénáře (Montgomery, 2006).

Ochrana a prevence před účinky vulkanismu je aktivní obrana a pasivní ochrana. Mezi aktivní obranu patří například bombardování anebo ochlazování lávových proudů či stavění ochranných bariér a koryt. Pasivní ochrana znamená, že je připravený krizový plán pro evakuaci obyvatel. Důležitá složka ochrany a prevence je plánování land-use (Smith, 2002). Je to zónování oblastí, které jsou pod činnými sopkami. Na tato území přichází větší množství lidí z důvodu úrodnosti půdy a mylné myšlenky, že aktivita sopky se již nebude opakovat (Montgomery, 2006).

## **6. Obecné změny klimatu a ovlivnění klimatu velkými erupcemi**

Obzvláště zajímavý je mechanismus, kterým sopečná činnost dokáže ovlivnit globální klima. Vulkanismus může způsobovat jak oteplování, tak i ochlazování klimatu. Oteplování probíhá emisemi oxidu uhličitého, jednoho z hlavních skleníkových plynů. Sopky (suchozemské i podmořské) v průměru ročně uvolní 130 - 230 milionů tun tohoto plynu (CAMPi, 2006).

Velké erupce nám v minulosti ukázaly, jaký mají vliv na počasí a klima. V případě, že je erupce silná a dokáže vyvrhnout oblak popela do atmosféry, odtud se pomocí vzdušných proudů (tzv. jet stream) popel roznese kolem celé planety. Jet stream snadno rozptýlí vulkanický prach během tří či čtyř dnů po celé zeměkouli, obvykle v pásu, který sleduje rovnoběžky. Zde se sluneční paprsky odrazí zpět do vesmíru a dojde k ochlazení. Částice prachu, které jsou v mracích, zde fungují jako kondenzační jádra, na nichž se zkapalňují vodní páry, a tím dojde k deštivému počasí. Sopečný materiál produkuje oxidy síry a na povrch dopadají jako silně kyselý déšť.

Zastínění slunce se projeví i v růstu stromů. Letokruhy jsou v době sopečné aktivity mnohem tenčí a stromy hůře rostou (Soukupová, 2013). Slabé erupce, které neovlivňují klima, mají krátkodobý vliv na počasí – zvláště na srážkovou činnost. Nepochybně vulkanické erupce dokázaly měnit klima, ale i dějiny. V případě velké erupce by mohlo dojít k tzv. vulkanické zimě. Prach, který se dostane do atmosféry, způsobí zastínění slunečních paprsků a tím dojde k ochlazení na několik let. (Novák, 2011)

## 6.1 Velké erupce v minulosti

Tab. č. 4 Tabulka poklesu teplot po velkých erupcích (autor, 2016)

Erupce sopky	Ochlazení	Délka ochlazení
Toba, Indonésie	10° - 15°C	1 800 let
Laki, Island	4,7° - 5°C	5 - 10 let
Krakatoa, Indonésie	1,2°C	6 - 8 let
Tambora, Indonésie	0,4° - 0,7°C	1 - 2 roky
Mt. Pinatubo, Filipíny	0,5°C	1 - 2 roky
St. Helen, USA	0,1°C	1 rok

## 6.2 Toba, ostrov Sumatra

Sopka Toba, která explodovala před 73 000 lety, způsobila velmi silný výbuch. Exploze byla až 400x větší, než erupce hory Pinatubo. Vznikla kaldera o velikosti 100x 30 kilometrů a vyhrnila 2 800 km<sup>3</sup> sopečného materiálu (Oppenheimer, 2011). Po explozi se kaldera zaplnila vodou a vzniklo největší vulkanické jezero o rozloze 1 130 km<sup>2</sup>. Toba explodovala minimálně třikrát a vždy se jednalo o velký výbuch. Zničila vše kolem sebe a ovlivnila celosvětové klima. V některých pramenech se označuje jako Tobská katastrofa. Dle výzkumů se zjistilo, že v Africe rok po výbuchu klesla teplota o 16 °C. Exploze způsobila, že příroda v jihovýchodní Asii s tropickými pralesy byla vymazána ze světa. V dnešní Malajsi se nachází místa, která jsou pokrytá až devíti metry sopečného popela z Toby. Exploze vulkánu způsobila vymírání tehdejších lidí (Objective Source e-Learning, nedatováno).

## 6.3 Laki, Island

Sopečnou erupci způsobila 25 km dlouhá trhlina Laki se 130-ti krátery. Láva pokryla plochu o rozloze 370 km<sup>2</sup> a bylo vyhrleno 10 km<sup>2</sup> sopečného materiálu během 50-ti dnů. Sopka byla aktivní osm měsíců a celkové množství vyprodukované lávy bylo 12,3 km<sup>3</sup> a zasažená plocha byla 565 km<sup>2</sup> (Thordarson, 2003). Sopečný prach byl vyvrhnut do výšky 13 km a uvolnilo se 122 milionů tun oxidu siřičitého,

90 milionů tun kyseliny sírové a 8 milionů tun fluorovodíku. Oxid siřičitý, který se nacházel v horní vrstvě stratosféry, se rozšířil nad Evropu. Silná siřičitá mlha zahalila Anglii, Francii a poté i zbytek kontinentu. Mlha se nacházela na západní Sibiři a nad severní Afrikou. Byla hustá a zapáchala po dýmu. Území zahalila v letních měsících. Obloha se zbarvila jako při západu slunce a v noci měl měsíc narudlou barvu. Klima v Anglii bylo velmi horké a suché. Způsobilo to rychlé vysychání sliznic, obyvatelé měli problémy s dýcháním a někteří si stěžovali na bolesti hlavy a krku (Pfaff, 1812). Dle dobových záznamů vzrostla úmrtnost o 17 %. Ve Francii až o 38 %. Archivní materiály, které prostudovali Witham s Oppenheimerem v Anglii, obsahovaly záznamy o dvou smrtících vlnách. První vlna byla v r. 1783 na přelomu srpna a září a dle odhadů zemřelo 23 tisíc lidí. V druhé vlně, která proběhla v lednu a únoru r. 1784, zasáhla Anglii velmi krutá zima. Následkem toho zemřelo 8 tisíc lidí. Evropu zasáhly další extrémy, jako jsou kyselé deště. Poškodily lesní porosty a menší vegetaci. (Kukliš, 2006).

## **6.5 Ostrov Krakatoa, Indonésie**

Dne 20. května r. 1883, byl zpozorován německou válečnou lodí oblak popela nad neodbydlenou částí ostrova Krakatoa (CAMPj, 2006). Historie Krakatoy je velmi bohatá a dramatická. Přisuzuje se, že způsobila oddělení Jávy od Sumatry, které předtím tvořily velký kus pevniny. Od 17. století byl vulkán spící a nikdo si nepřipouštěl nebezpečí. To se změnilo v r. 1880, kdy ostrov zasáhlo silné zemětřesení, a objevily se první znaky probuzeného vulkánu. V květnu r. 1883 erupce nabírala na síle. Z hory stoupal vysoký sloup popela a ten obklopil celé okolí sopky. Nečekaně sopka zmírnila své projevy, erupce slábly a tím se obyvatelé uklidnili. Dne 27. srpna r. 1883 v 5 hodin a 30 minut se ozvala nečekaně velká exploze. Po chvilce ji následovaly další dva silné výbuchy, třetí a poslední erupce způsobila rozpadnutí magmatického krbu a hora se zhroutila. Exploze vulkánu byla silná jako 13 tisíc jaderných pum svržených na Hirošimu. Směs magmatu a síry, která vznikla při zhroucení, stoupala do atmosféry cca 80 km. V atmosféře se ochladila a padala zpět k zemi. Zahřmělo tisíc hromů a to byl nejsilnější zvuk, který na planetě zazněl. Záznamy z barografů ukazují, že tlaková vlna oběhla zemi dvanáctkrát. V okolí sopky nikdo nepřežil, dle odhadů zemřelo 36 000 obyvatel. K explozi se přidala vlna tsunami, která dosáhla výšky 40 metrů. Krakatoa vychrlila



20 km<sup>2</sup> popela. Došlo k poklesu teploty přibližně o 1,2°C. Po r. 1888 se teplota vrátila zpět k normálu. Podle některých klimatologů způsobila klimatické změny i ničivé povodně v Praze roku 1890. V místě kde stála Krakatoa, vyrostl kráter zvaný - Anak Krakatoa (syn Krakatoy), který neustále roste, díky menším erupcím. V budoucnu zde může vzniknout sopka, která bude ještě ničivější, než původní Krakatoa. (Novák, 2011).

### **6.5 Tambora, ostrov Sumbawa, Indonésie**

Erupce sopky Tambory je historicky největší zaznamenanou erupcí. Explodovala v r. 1815 a bylo vyvrženo 150 km<sup>2</sup> sopečného materiálu. Pyroklastický materiál byl vyvržen až do stratosféry. Vytvořila se kaldera o průměru 7 km a o hloubce 1 300 metrů. Exploze ovlivnila globální klima v následujícím roce o 0,4°- 0,7°C. Tento rok byl pojmenován jako „rok bez léta“. Jako příklad lze uvést květnové srážky velkého množství sněhu v Americké Nové Anglii.

Přes 10 tisíc lidí zemřelo přímými následky výbuchu a byly zničeny okolní ostrovy. Erupční následky zasáhly dalších 82 tisíc lidí, kteří zemřeli z důvodu nemoci a hladomoru. Zvuk exploze byl slyšet v okruhu 2 700 km. Okolí ostrova do 1 600 km bylo zasypano sopečným popelem (Kukliš, 2006).

### **6.6 St. Helen, USA**

Je to nejničivější sopka Spojených států amerických. Sopka se nachází v Kaskádovém pohoří a patří mezi nejvíce aktivní vulkány v dané oblasti. Seismografy preventivně umístěné na svazích hory zaznamenaly několik otřesů v březnu r. 1980. O několik dnů později to pocítili i lidé. Došlo k zemětřesení o síle 4,2 magnitudy. Geologové postavili pozorovatelný a na svazích a rozmístili přístroje. Vědci odebrali vzorky vody a plynů v kráterovém jezeře. Na konci března roztál sníh díky velkému sálajícímu teplu z vnitra země a otevřely se nové krátery. Byl vydán oficiální zákaz vstupu do oblasti. Tento zákaz lidé porušovali a ze zvědavosti se vydávali k sopce. Na severním svahu hory byl zpozorován dóm utvořený ze sopečných hmot, který zadržoval velké množství plynů a magmatu. St. Helen se začala pomalu uklidňovat, ale vulkanologové věděli, že je to pouze ticho před bouří. To se i potvrdilo. Vulkánem otráslo zemětřesení o síle 5,1 magnitudy. To napomohlo

k erupci sopky. Zemřelo 57 obyvatel. Celková plocha, která byla zasažena 600 km<sup>2</sup>. Zahynulo několik tisíc zvířat a bylo zničeno několik domů a silnic. Sloup popela dosáhl výšky 30 km a uvolnilo se 1,5 miliony tun oxidu siřičitého. K vylití lávy nedošlo. Ta se po styku s vodou proměnila na pyroklastický oblak a popel. Do atmosféry bylo vyvrženo 3 km<sup>2</sup> sopečného materiálu. Sílu výbuchu lze klasifikovat dle VEI jako stupeň č. 5. Jednalo se o pliniiovský typ, který byl obdobný u erupce Vesuvu. Vědci odhadují, že se při erupci uvolnilo 24 megatun tepelné energie. Erupce měla několik filmových záznamů a snímků. Přímo zkušenost s vulkánem měli cestující letadlem Boeing. V okamžiku, kdy přelétali nad horou, došlo k explozi (Novák, 2011).

### **6.7 Novarupta, Aljaška, USA**

Největší erupci 20. století způsobila sopka Novarupta v r. 1912. Sopka se nachází na Aljašce v národním parku Katmai (Luhr, 2004). Geologický průzkum ukázal, že erupce byla 10x větší než u sopky St. Helen. Sopečný prach způsobil zastínění slunce. Zastínění způsobilo tmu po celý týden. Vytvořily se kyselé deště, které byly zaznamenány např. ve Vancouveru. (Hildreth, 2012). Výška sopečného oblaku dosáhla 40 km. Erupce trvala 60 hodin a do ovzduší se dostalo 15 km<sup>3</sup> sopečného materiálu. Do okolí se vylila láva a na místech, které vědci monitorovali, byla naměřena v r. 1919, teplota 645°C (Zouzalík, 2005).

### **6.8 El Chichon, Mexiko**

Sopka se nachází v Jižním Mexiku. Během jednoho týdne (28. března - 4. dubna 1982), došlo ke třem silným explozím (VEI 5). Sopka způsobila nejhorší vulkanickou katastrofu v Mexiku. K erupci sopky došlo roku 1982. Byl to komplex lávových dómů a tufového kužele. Pyroklastické toky zničily devět vesnic a přibližně 2 000 lidí zahynulo. Erupce byla velmi náhlá. Magma bylo bohaté na síru. Sopečný popel se dostal až do stratosféry. Sopka způsobila ochlazení klimatu o 0,2° C - 0,5°C. Ovlivněna byla severní polokoule (Tilling, 2009).

## 7. Erupce hory Pinatubo

Výbuch sopky Pinatubo, která se nachází na filipínském ostrově Luzon, se zapsal do dějin, jako druhý největší výbuch 20. století (Novák, 2011).

Hora Pinatubo byla spíše neznámá a neprobádaná, nepředstavovala žádné nebezpečí. Z tohoto důvodu se jí lidé neobávali. Bohužel to byla mylná představa. Každopádně sopka nebyla pro některé až tak neznámá. Domorodý kmen Aeta, žijící v okolí hory, si předával z generace na generaci legendu o výbuchu hory.

Pinatubo se nachází 100 km od města Manila na západním pobřeží ostrova. Před erupcí to byl komplex lávových dómů. Hora byla vysoká 1 745 m a po výbuchu klesl její vrchol přibližně o 250 m (Příloha č. 1). Sopka se nachází na hranici euroasijské a filipínské desky (Volcano discovery, nedatováno). Pinatubo patří do tzv. ohnivého prstence Tichého oceánu. Nejedná se pouze o sopky, ale i zóny zemětřesení, které jsou výsledkem subdukce pacifické litosférické desky (Jakeš, 2005).

Obr. č. 5 Deskové rozhraní (Petránek, 2007)



Nedaleko Pinatuba se nacházela Americká vojenská základna Clark, která byla poslední v tomto souostroví. Po erupci se Američané zpět nevrátili.

Pinatubo se začala probouzet 16. 7. 1990, původcem bylo zemětřesení v centrální části Luzonu o síle 7,8 magnitudy. Epicentrum se nacházelo severovýchodně od hory a bylo tektonického původu. (Volcano discovery, nedatováno). V březnu následujícího roku se už sopka naplno probudila. Objevovaly se jasné signály, jako je např. seismická aktivita a pára (Novák, 2011). O měsíc později se na severním svahu Pinatuba objevila 1,5 km dlouhá prasklina a z ní začal stoupat dým s popelem. V ovzduší byla cítit síra a seismická aktivita stále narůstala. To byl jasný signál pro

skupinu Amerických vědců z USGS (nezávislá vědeckovýzkumná vládní agentura), kteří přivezli moderní monitorovací přístroje. Vytvořili kontrolní stanici na základně Clark, která se nacházela 25 km východně od hory. Měření potvrdilo vysoký obsah oxidu siřičitého a intenzivní seismickou činnost. Byl vyhlášen pohotovostní režim. Vědci vytvořili vulkanickou mapu, kde zaznamenali ohrožené oblasti, které může zasáhnout v případě erupce pyroklastický proud. Mezitím podrobné zkoumání hory prokázalo, že za posledních 6 tisíc let bylo okolí zničeno třemi velkými erupcemi, což se může opakovat. Seismická činnost nadále rostla, emise oxidu siřičitého se snížily z důvodu zablokovaných otvorů. Výška oblaku dosahovala 8 km a podle vědců bylo magma těsně u povrchu. Z toho důvodu byla vyhlášena evakuace 20 km od Pinatuba a místo bylo vyhlášeno za nebezpečnou zónu. Když popel dosáhl výšky 25 km, proběhla evakuace základny a zůstal pouze vulkanologický tým a několik vojáků. Vyvrcholení přišlo 15. 7. 1991, kdy sopka vyvrhla popel s plyny do neuvěřitelné výšky 45-ti km (příloha č. 2). Síla erupce dle stupnice VEI byla na 6. stupni. Centrální část Luzonu se ponořila do tmy a z nebe se sypal pyroklastický materiál. Pyroklastický proud zasahoval do vzdálenosti 16-ti km od hory. Vrchol se zhroutil o 250 m a vytvořil kalderu o průměru 2,5 km. Erupce trvala přibližně 9 hodin a bylo vyvrženo 25 km<sup>3</sup> tefry, která pokryla území o rozloze 120 tisíc km<sup>2</sup>. Do ovzduší se dostalo 20 - 30 milionů tun oxidu siřičitého, což mělo za následek celosvětové ochlazení o 0,5°C. Popel z Pinatuba se našel až ve Vietnamu, Kambodži a Malajsii. Zkázu završil tajfun, který promísil sopečný prach s deštěm, a ostrov začaly ničit lahary.

Odhadované škody byly vyčísleny na 450 milionu dolarů, 8000 domů bylo zcela zničeno a 75 tisíc domů poškozeno. Erupce ovlivnila 2 miliony lidí. (Volcano discovery, nedatováno) Vzniklá kaldera se naplnila dešťovou vodou a dle odhadů obsahuje 60 milionu m<sup>3</sup> vody se zbytkem sopečné strusky. Jezero, které takto vzniklo, představuje nebezpečí do budoucna. Kdyby se kaldera protrhla, ohrozila by nejen malé vesnice ale i město Botolan.

Jednu pozitivní stránku erupce měla. Vědcům se podařila přesná předpověď erupce a v důsledku toho mohlo být obyvatelstvo včas evakuováno. Zahynulo „pouze“ 300 lidí a jednalo se o největší evakuaci (Novák, 2011).

## 7.1 Atmosférické jevy po výbuchu Pinatuba

Během erupce se dostane do atmosféry velké množství látek. Tyto látky jsou schopny ovlivnit počasí, klima a ozonovou vrstvu. Dokážou také vytvořit neuvěřitelnou podívanou na nebi. Sopka Pinatubo se projevila ve všech směrech. Erupce způsobila zajímavé atmosférické jevy. Těsně po erupci bylo viděno neobvyklé zbarvení oblohy.

*Obr. č. 6 Profil atmosféry před východem slunce - dvě vrstvy (Self et. al., 1999)*



V dubnu r. 1992 vzdušné proudy v rovníkové oblasti odnesly nejhustější sopečný oblak, který se dostal na 30° severní šířky. Zatmění měsíce, ke kterému došlo 9. 12. 1992, bylo nejtemnější v celém 20. století (příloha č. 3). Měsíc vytvořil nazelenalý polostín a bylo možné ho shlédnout pouhým okem, poté zmizel z oblohy úplně. Pozorovat ho bylo možné pouze dalekohledem. Další zatmění proběhlo 4. 6. 1993 a Pinatubo se znovu připomnělo (Příloha č. 4). Zatmění bylo jasnější a ukázalo velkolepou podívanou. Ve fázi, kdy měsíc byl v úplném zatmění, se o chvíli později začal S a J okraj měsíce zjasňovat a centrální část zůstala temná. Odlišné zbarvení bylo ve shodě s rozložením oblaku po erupci (Horálek, 2015).

## 7.2 Ozon

Sopečné erupce mají velký vliv na snížení ozonové vrstvy ve stratosféře. Erupce nepůsobí přímo, pouze zrychlují ničení ozonové vrstvy (CAMPi 2006). Při erupci vznikají aerosoly, které jsou vytvářeny kyselinou chlorovodíkovou nebo oxidem siřičitým. Tyto aerosoly jsou pro ozonovou vrstvu neškodné, ale představují ideální

povrch, na který se freony připevňují. Chemické reakce napomáhají uvolňovat chlor, který je hlavním ničitelem ozónového štítu Země (Volcanic Gas, 2008).

V r. 1993 došlo k velkému zeslabení ozonové vrstvy. Několik vědců přišlo s hypotézou, že za tím stojí sopka Pinatubo. Další vývoj tuto tézi potvrdil. Nad Antarktidou kleslo množství ozonu o cca 50%. Byly zaznamenány nejnižší hodnoty za celou dobu strojového měření. Vliv sopečných erupcí na ozonovou vrstvu je krátkodobým problémem (CAMPi, 2006). V Antarktidě došlo k úbytku ozonu v důsledku působení chloru, který je aktivován na povrchu stratosférických mraků. Podobné reakce mohou probíhat také na povrchu kapalných aerosolů kyseliny sírové, pokud je teplota příliš vysoká pro vznik stratosférických mraků. Tyto mechanismy byly posíleny po erupci sopky Pinatubo v červnu r. 1991 (Solomon et al., 1993). V posledním půl století došlo ke třem velkým erupcím (Agung, El Chichon a Pinatubo), vždy došlo k zeslabení ozonové vrstvy, ale pár let po výbuchu se ozonová vrstva zotavila.

V minulosti se nepředpokládalo, že sopečné erupce mají vliv na ozon, protože vědci netušili o dosahu částic až do stratosféry (Tabazadeh, 1993). Měření sopečného prachu z Hekly na Islandu prokázalo, že se do stratosféry dostane velké množství sopečných halogenů (Millard et al., 2006). Sopky vyvrhují velké množství chemikálií. Nejedná se pouze o chlor, ale i o síru, která funguje jako katalyzátor a reaktivitu chlóru umocňuje, ať už jde o chlór přírodní či antropogenní (Objective Source e-Learning, nedatováno).

## **8. Změny teplot ve světě**

Po erupci sopky Pinatubo se dostalo do ovzduší 20 - 30 milionů tun oxidu siřičitého. Sopečný oblak byl rozptýlen po celém světě a způsobil snížení celosvětové teploty. Snížení teploty se projevilo v letech 1991 - 1993 (Self et al., 1999).

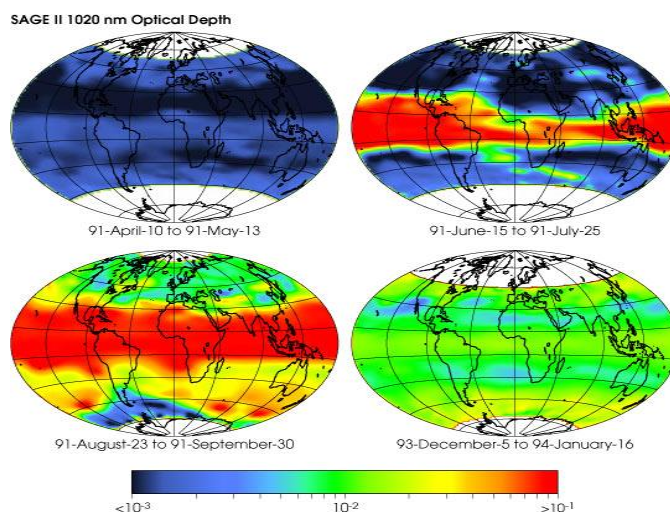
Sopečný mrak pokryl během 3 týdnů celou zeměkoulí. Bylo sníženo čisté záření a došlo k poklesu teploty o 0,5°C (to odpovídá snížení záření o 4W/m<sup>2</sup>).

Ochlazení po erupci bylo silnější než oteplující účinky El - Niño nebo emise skleníkových plynů. Dle Selfa (1999) došlo ke zmírnění ochlazení v tropických oblastech díky jevu El - Niño a to o 0,2°C. Stratosférické síranové aerosoly měly závažný dopad na atmosférickou povrchovou teplotu, ale i na regionální projevy podnebí. Sopečný mrak byl rozptýlen z východní části na severovýchod, v úrovni

střední stratosféry až do horní hranice troposféry. Libitzk a McCormick (1992) uvádí, že 4 měsíce po erupci došlo k oteplení o 2°C - 3°C mezi rovníkem a 20° severní šířky. A to se dále rozšířilo do středních zeměpisných šířek. Hlavní změna klimatu se projevila na severní polokouli. Ve Spojených státech bylo v r. 1992 třetí nejchladnější a nejmokřejší léto. V r. 1993 došlo k povodni řeky Mississippi a také k velkému suchu v Sahelu - Afrika (Self et al., 1999). Nižší teplota byla naměřena v Grónsku, středním Východě, Číně a Aljašce. Příkladem ochlazení bylo sněžení v Jeruzalémě, což byl velmi neobvyklý jev.

Naopak vyšší teploty byly zaznamenány v Severní Americe, Evropě a na Sibiři (Robock, 1992). Sopka způsobila zájem o problematiku změn klimatu v důsledku sopečné činnosti. Na rozdíl od nižší vrstvy atmosféry, stratosféra nemá dešťové mraky, a proto nemá žádný mechanismus pro rychlé vyplavení znečišťujících látek. Z tohoto důvodu znečištěné látky aerosolových částic zůstanou ve stratosféře po dobu několika let (Fisher, 2007). Aerosolový oblak z erupce sopky Pinatubo zůstal v atmosféře po dobu 3 let.

Obr. č. 7 Rozšíření aerosolového oblaku od r. 1991-1994 (Self et al., 1999).



Oblak popela byl sledován pomocí GMS satelitních snímků až do 17. června. Poté byl sledován SO<sup>2</sup> pomocí TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) (Self et al., 1999).

Tab.. č. 8 Sledování SO<sup>2</sup> pomocí GMS a TOMS satelitů (Self et. al., 1999).

Datum	Plocha rozsahu km <sup>2</sup> (kt)	Měření SO <sup>2</sup> (oxidu siřičitého)	Výška	Lokalizace
12.6	100	25	troposféra	západní pobřeží ostrova Luzon
13.6	100	15	troposféra	západní pobřeží ostrova Luzon
14.6	100	15	tropo/strat	západní pobřeží ostrova Luzon
15.6	7500	450	stratosféra	Jihočínské moře
16.6	3.2x 10 <sup>6</sup>	15500	stratosféra	Nad Jihočínským mořem
17.6	4.8x 10 <sup>6</sup>	18500	stratosféra	Mrak nad cípem Indie a nad Jižním Thajskem
18.6	7.5x10 <sup>6</sup>	16000	stratosféra	Malajsie až do Adenského zálivu
19.6	7.4x10 <sup>6</sup>	14000	stratosféra	Súdán. Severovýchod Indického oceánu
20.6	8.6x10 <sup>6</sup>	14500	stratosféra	Mrak přes rovník Indického oceánu
23.6	15.4x10 <sup>6</sup>	14000	stratosféra	Oblak nad Mali, hlavní oblak od Sumatry až nad střední Afriku
30.6	54.5x10 <sup>6</sup>	12000	stratosféra	z Indonésie do západního Pacifiku 10°J - 20 °S

### 8.1 Analýza teplotních řad ve světě

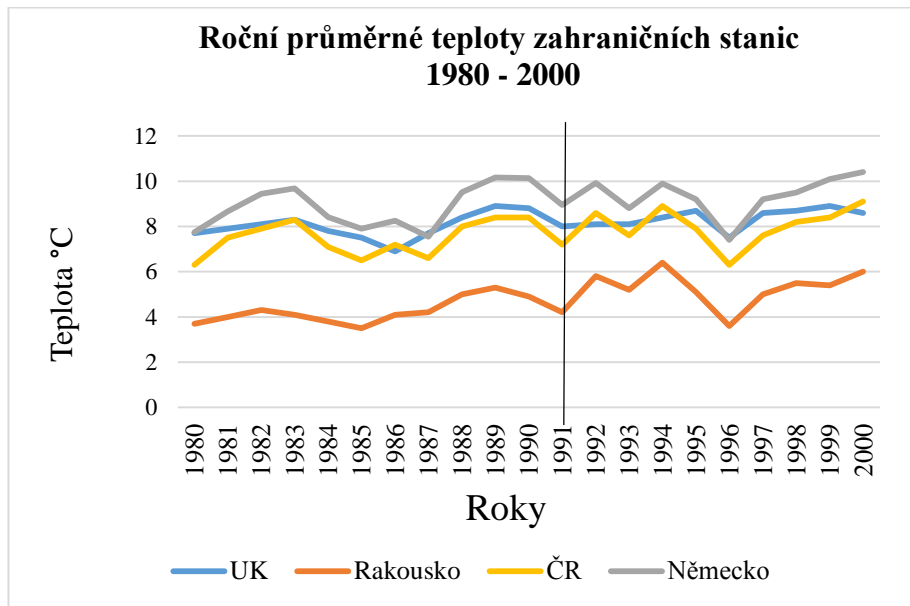
V této části literární rešerše byla provedena analýza průměrných ročních teplot. Jsou zde porovnány tři státy ze střední Evropy (Česká republika, Rakousko, Německo) a stát ze severní Evropy (Anglie). Sledované stanice a jejich nadmořská výška jsou uvedeny v tab. č. 9.

Tab.. č. 9 Sledované meteorologické stanice a jejich nadmořská výška (autor, 2016).

Stát	Město	Nadmořská výška
Anglie	Camborne	85 m. n. m.
Česká republika	Česká republika	304 m. n. m.
Německo	Berlín	35 m n. m.
Rakousko	Salzburk	430 m. n. m.



Obr. č. 10 Grafy průměrných ročních teplot v rozmezí 1980 - 2000 (autor, 2016).



Průměrné roční teploty zahraničních stanic, jsou analyzované ve 20-ti letém období.

V r. 1991 došlo k erupci sopky Pinatubo. Na grafu je tento rok znázorněn černou svislou čarou. Nejchladnější roky pro měření v Anglii jsou r. 1986, 1991, 1996.

Naopak nejteplejší roky pro stanici, jsou r. 1983, 1989, 1995, 1999.

Rakouská stanice Salzburg měla zaznamenány nejchladnější roky 1980, 1985, 1991, 1993 a 1996. Nejteplejší roky jsou naměřeny v r. 1982, 1989, 1992, 1994, 1998, 2000.

Nejchladnější roky pro Českou republiku jsou 1980, 1985, 1987, 1991, 1993 a 1996.

Teplé roky pro tuto stanici jsou 1983, 1986, 1989, 1990, 1992, 1994, 2000.

Poslední analyzovanou stanicí je Berlín (Německo). Zde patří mezi chladné roky (1980, 1985, 1987, 1991, 1993 a 1996). Nejteplejší roky jsou 1983, 1986, 1989, 1992, 1994, 2000.

Rozbor teplotní řady ukázal, že roky ovlivněné erupcí (1991 - 1994), měly velké výkyvy teplot. Rok 1991 a 1993 patřil mezi chladné roky. Rok 1992 a 1994 patřil mezi teplé roky.

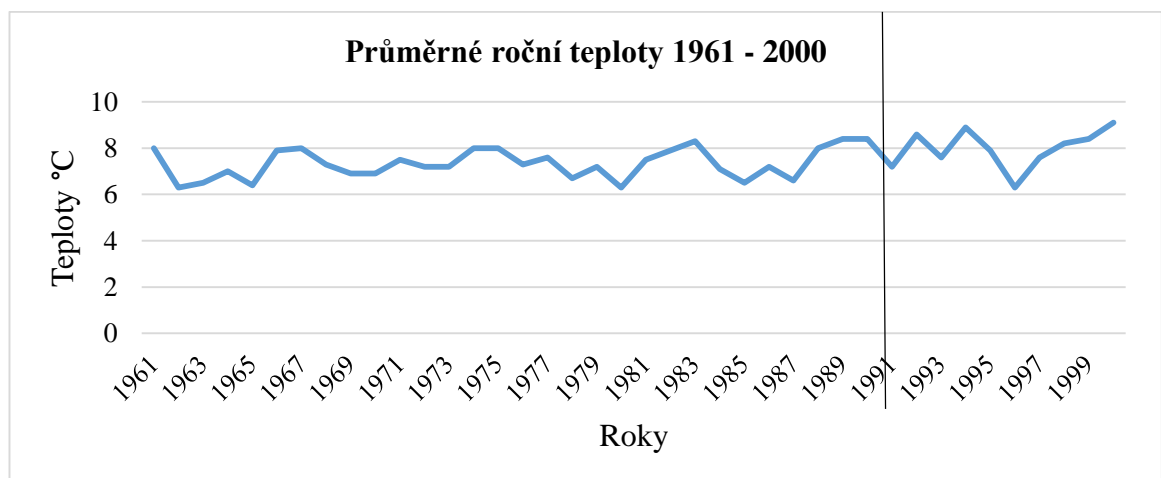
Z obr. č. 10 je patrné, že průměrná teplota pro rok 1991 nepatří mezi prokazatelně nejnižší.

## 8.2 Analýza teplotních řad v ČR

Sopka Pinatubo vychrlila do atmosféry velké množství sopečných hmot a tím ovlivnila globální klima. Dle Eliáše (2002) se na území České republiky projevila silná zima v letech 1991 - 1992. Naopak léto r. 1992, bylo nejteplejší a nejsušší od roku 1983 - 2002.

Díky měření na meteorologických stanicích si můžeme udělat základní představu o vývoji klimatu. V České republice probíhalo měření na stanici Praha - Klementinum už od roku 1784. Meteorologická stanice je v centru města a její měření je ovlivněno městským teplem. Pro přesnější informace o teplotě a srážkách jsou vhodnější řady územních teplot, které jsou dostupné od roku 1961. Jsou to průměrné hodnoty teploty dané na jednotnou střední výšku a spolu se srážkami berou v úvahu měření z národní staniční sítě (MŽP, nedatováno).

Obr. č. 11 Průměrné roční teploty pro Českou republiku (1961 - 2000) (autor, 2016).



Teplotní řada získaná z Českého hydrometeorologického úřadu je zprůměrována pro celou Českou republiku. Teplotně nejnižší roky jsou v tomto analyzovaném rozmezí 1962, 1965, 1969, 1970, 1972, 1973, 1976, 1978, 1980, 1985, 1987, 1991 1993, 1996. Mezi nejteplejší roky patří 1961, 1964 1967, 1971, 1974, 1975, 1977, 1979, 1983, 1986, 1989 1990, 1992, 1994. Rozbor teplotní řady ukázal, že roky ovlivněné erupcí (1991 - 1994), měly velké výkyvy teplot. I zde se projevilo období střídání ochlazení s oteplením. Rok 1991 a 1993 se charakterizoval jako chladný rok.

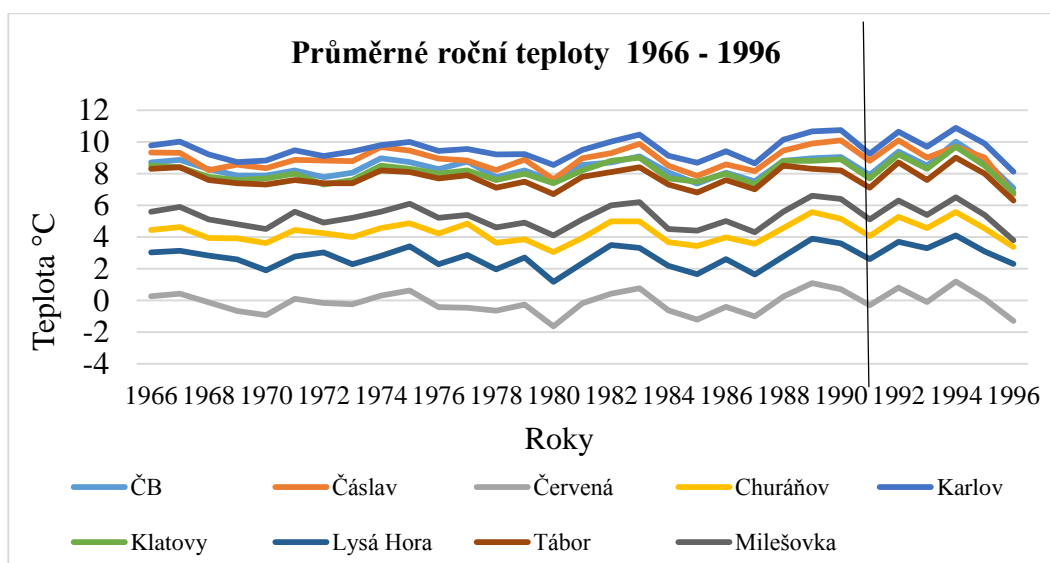
Naopak r. 1992 a 1994 patřil mezi teplé roky. Rok 1991, ve kterém došlo k erupci, opět nebyl prokazatelně nejnižší.

Dle Kyselého (2003), který ve své práci analyzoval horké vlny v ČR v rozmezí let 1961-1998, byla maximální intenzita horkých dnů v 90. letech. Bylo naměřeno 50 nejvyšších teplot v období 1961-2000. Z toho 34 údajů bylo v létě roku 1992. Další horká vlna byla v roce 1994.

### 8.3 Průměrné teploty pro vybrané stanice v ČR pro rozmezí 1966 - 1996

V této kapitole byla provedena analýza průměrných teplot vzduchu, naměřených na 9-ti stanicích v České republice. Porovnáním teplot v rozmezí let 1966 - 1996, chce autorka bakalářské práce dokázat vliv sopečné erupce na teploty v ČR. Stanice se nachází po celém území České republiky a mají rozdílnou nadmořskou výšku od 304m (Praha) až po 1 327m (Lysá Hora). Průměrné roční teploty pro všechny stanice jsou uvedeny v příloze č. 5.

Obr. č. 12 Průměrné roční teploty pro 9 stanic (autor, 2016).



Od začátku ve sledovaném období nedocházelo k žádným velkým teplotním změnám. Chod ročních teplot na jednotlivých stanicích, byl ovlivněn atmosférickým systémem.

K největší změně došlo až v r. 1980, který patřil mezi chladné roky. V následujících čtyřech letech 1981 - 1984 došlo k postupnému zvýšení a snížení teploty. Totéž se opakovalo i v r. 1988 - 1991.

V roce erupce (1991) došlo k ochlazení na všech stanicích. Další chladný rok byl r. 1993. Naopak v r. 1992 došlo u všech stanic ke zvýšení průměrné roční teploty. Poslední ovlivněný rok (1994) patřil mezi teplé roky. V tomto roce byla naměřena nejvyšší hodnota teplot u většiny stanic, kromě stanice Čáslav a Milešovka.

Po zbytek sledovaného období teplota postupně klesala.

Po erupci sice došlo k ochlazení, ale nebylo tak silné, jako v případě při erupci sopky Laki, kde byla změna teplot dost výrazná v celé Evropě (Thordarson et al., 2003).

Hlavní vliv na změnu teplot mají atmosférické cirkulace - NAO (Severoatlantická oscilace) a AMO (Atlantická dlouhodobá oscilace).

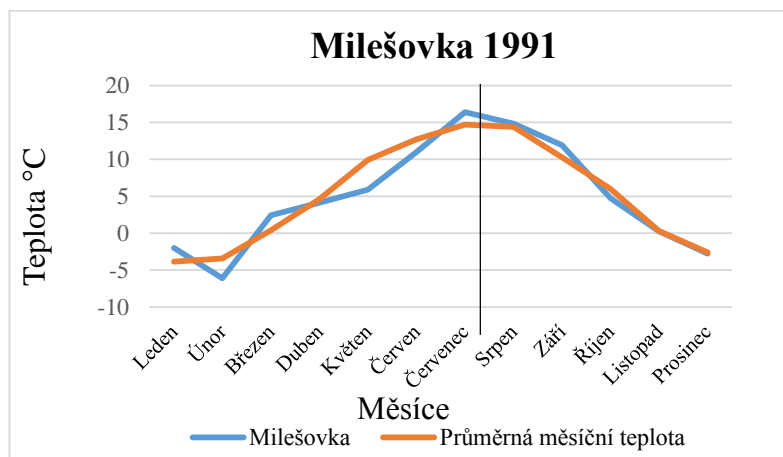
NAO má vliv na změnu teplot především v zimním období. Dle rozdílu tlaku a proudění jsou zimy mrazivé nebo poměrně teplé. AMO byla objevena teprve nedávno (2002). Dochází ke zrychlení oceánské cirkulace (teplá voda se dostává z jihu na sever). Je to dlouhodobá přirozená změna teploty mořského dna. Chladnější AMO přináší vláhu do středomořské oblasti, sníží riziko sucha, ale naopak se objevuje nebezpečí záplav. Ještě důležitější změna je, když AMO je ve shodné fázi s PDO (Pacifická dlouhodobá oscilace). Důsledkem toho dochází ke změně proudění. Jet stream se dostává přes Maroko a stáčí se k severu. Může to znamenat, že v létě je teplé, vlhké počasí a dochází k častému výskytu bouřek. V zimě je Evropa vystavena východnímu a severovýchodnímu studenému proudění, tudíž zimy mohou být více kontinentální s nižšími průměrnými teplotami (Soukupová, 2013).

#### **8.4 Rozbor územních meteorologických stanic**

##### **Meteorologická stanice Milešovka**

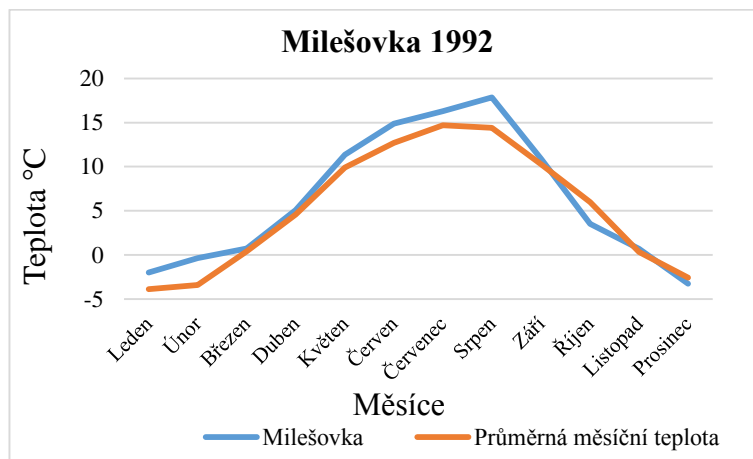
Pro podrobnější rozbor teplot, byly použity stanice Milešovka a Praha- Karlov. Na grafech lze vidět průměrné měsíční teploty po erupci sopky Pinatubo v r. 1991 a následné ovlivnění teploty pro roky 1991 - 1994.

Obr. č. 13 Meteorologická stanice Milešovka 1991 (autor, 2016)



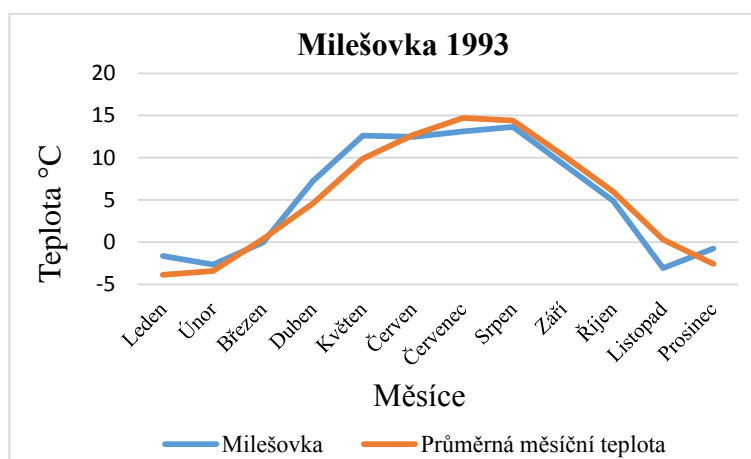
V r. 1991 kdy došlo k erupci sopky. V grafu je erupce znázorněna černou svislou čarou. Graf je proložen křivkou znázorňující průměrné hodnoty daných měsíců za 20 let. V druhé polovině roku se křivka průměrných teplot liší jen velice málo od křivky znázorňující průběh teplot v r. 1991, po výbuchu sopky.

Obr. č. 14 Meteorologická stanice Milešovka 1992 (autor, 2016)



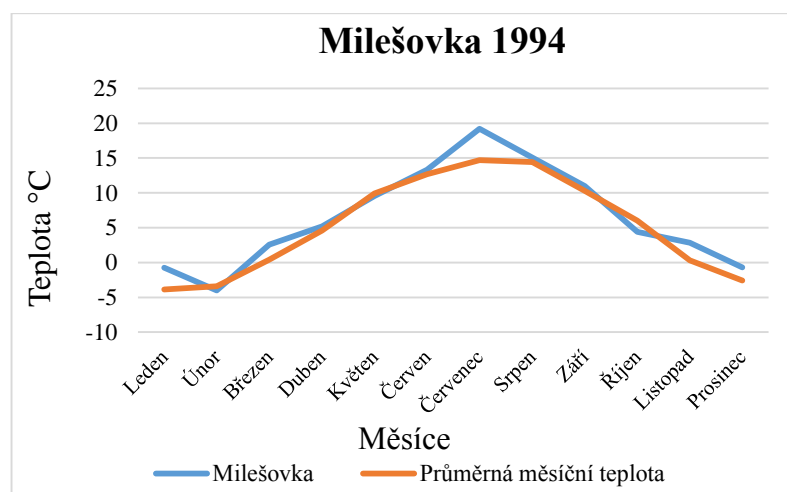
V r. 1992 lze vidět na grafu, že průměrné měsíční teploty jsou vyšší v lednu a v únoru. Naopak v březnu a dubnu jsou teploty shodné s průměrnou měsíční teplotou. Poté jsou teploty vyšší až do září. V září a říjnu jsou teploty nižší. V listopadu a prosinci jsou teploty shodné s průměrnou měsíční teplotou.

Obr. č. 15 Meteorologická stanice Milešovka 1993 (autor, 2016)



Roku 1993 je zaznamenána vyšší teplota v lednu. V únoru a březnu je teplota shodná s průměrnou měsíční teplotou. Po tomto měsíci se teplota zvyšuje až do května. Další vývoj teploty má nižší hodnotu než je průměrná měsíční teplota. V listopadu dochází k většímu poklesu a poté teplota pozvolna stoupá.

Obr. č. 16 Meteorologická stanice Milešovka 1994 (autor, 2016)

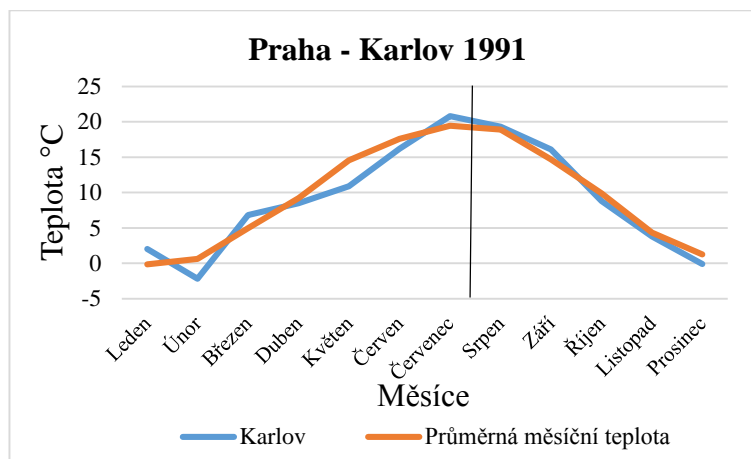


Poslední ovlivněný rok zobrazuje leden jako teplejší měsíc. V únoru dochází k poklesu teplot. Další průběh teplot je spíše konstantní, ale od července do srpna je měsíční teplota vyšší než průměrná měsíční teplota. V další části roku se opět teplota nemění. Až na listopad a prosinec, kdy je teplota vyšší.

## Meteorologická stanice Praha-Karlov

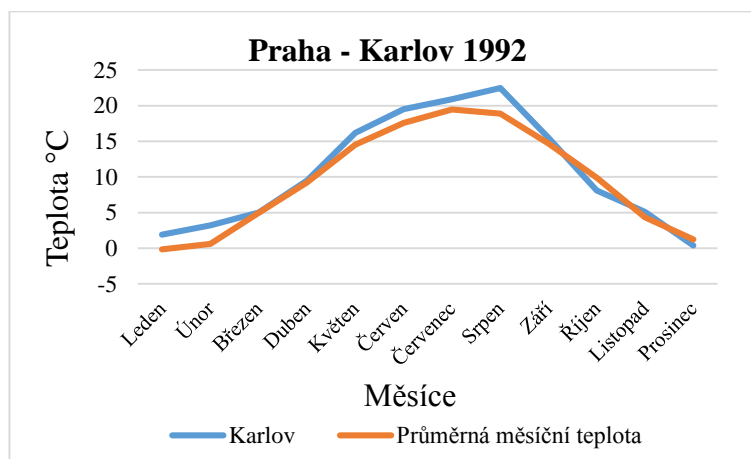
Další podrobně zkoumanou meteorologickou stanicí je Praha - Karlov. Tato stanice se nachází v nadmořské výšce 265,5 m. n. m.

Obr. č. 17 Meteorologická stanice Praha - Karlov 1991 (autor, 2016)



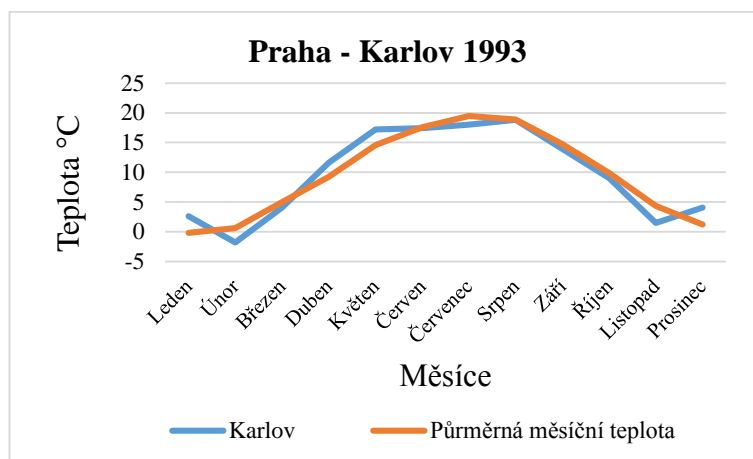
Na grafu této stanice je erupce znázorněna černou svislou čarou. Druhá křivka opět znázorňuje průměrné měsíční teploty v rozmezí 20-ti let. Po erupci sopky nedošlo k žádným velkým změnám a měsíční teplota je spíše konstantní.

Obr. č. 18 Meteorologická stanice Praha- Karlov 1992 (autor, 2016)



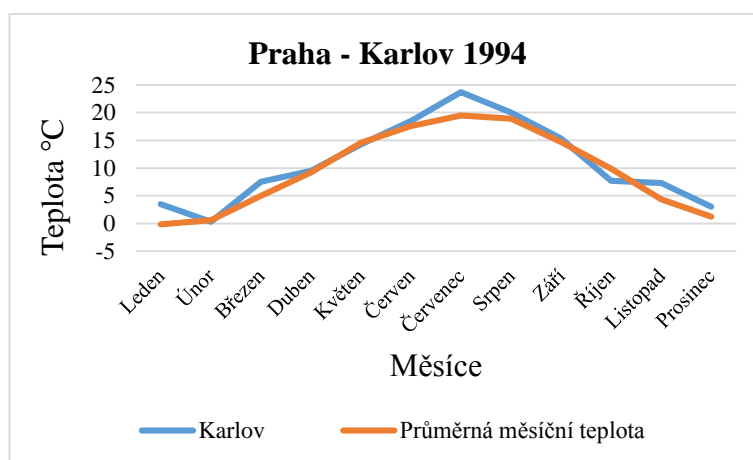
V r. 1992 je teplota vyšší, především v lednu a únoru. V březnu, dubnu a říjnu se shoduje měsíční teplota s průměrnou měsíční hodnotou. Teploty od května do září mají vyšší hodnoty. Poté dochází k poklesu teploty a opět po zbytek roku se měsíční teploty shodují s průměrnou teplotou.

Obr. č. 19 Meteorologická stanice Praha- Karlov 1993 (autor, 2016)



V r. 1993 dochází v únoru k poklesu teplot. Poté postupně teplota stoupá až do března. Po tomto měsíci je teplota vyšší a to až do června. V další polovině roku je teplota nižší než průměrné měsíční teploty.

Obr. č. 20 Meteorologická stanice Praha- Karlov 1994(autor, 2016)



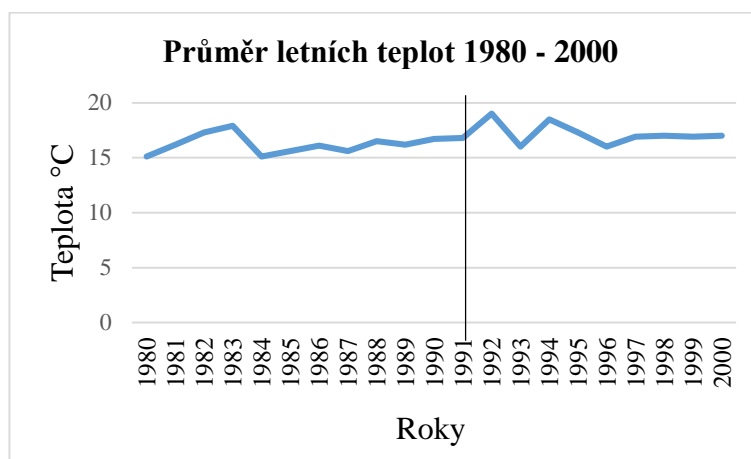
Rok 1994 pro Prahu-Karlov se vyznačuje opět teplejším měsícem lednem. Poté dochází k poklesu teplot (únor). V březnu se teplota zvýšila. Duben a květen je konstantní s křivkou průměrné měsíční teploty. Největší výkyvy se projeví v letních měsících. V dalších měsících teplota postupně klesá. Větší pokles teplot se projevil v říjnu. Naopak vyšší teploty byly opět zaznamenány v měsíci listopadu a prosinci. Výsledek tohoto porovnání je takový, že pokles teplot po erupci sopky Pinatubo, se na stanicích neprojevil.



## 8.5 Průměrné teploty letních měsíců

Průměr letních měsíců, což jsou měsíce červen, červenec, srpen, je zobrazen v rozmezí let 1980 - 2000 v tabulce (příloha č. 6).

Obr. č. 21 Průměr letních teplot (červen, červenec, srpen) pro ČR 1980 - 2000 (autor, 2016).

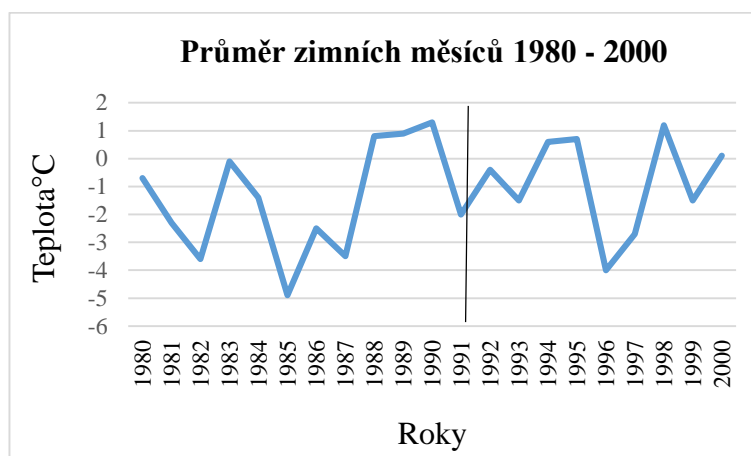


Roku 1980 se průměrná teplota 15,1°C začala postupně zvyšovat. Maximálního průměru dosáhla v roce 1983 (17,9 °C). Po tomto roce prudce klesla na teplotu 15,1 °C. Poté postupně stoupala a o dva roky později byla hodnota 16,1 °C. Roku 1987 klesla teplota na 15,6 °C a znovu stoupla na 16,5 °C (1988). Až do roku 1991 (16,8 °C) se teplota výrazně neměnila. Další roky se projevil trend střídání oteplení a ochlazení. Po tomto roce došlo k velkému oteplení na 19 °C a tento rok byl nejteplejší z 20-ti letého sledování. V roce 1993 teplota prudce klesla až na 16 °C. Další rok se teplota zvýšila na 18, 5 °C, po tomto roce se postupně teplota snižovala až na 16 °C (r. 1996). V dalších letech nedocházelo k velkým teplotním změnám. Nejchladnější roky letních teplot byly roky 1980 a 1984. Nejteplejším rokem byl rok 1992.

## 8.6 Průměrné teploty zimních měsíců

Mezi zimní měsíce se řadí prosinec, leden, únor. Na grafu je znázorněno rozmezí zimních měsíců 1980 - 2000 (příloha č. 7).

Obr. č. 22 Průměr zimních teplot prosinec, leden, únor) pro ČR 1980 - 2000 (autor, 2016).



Během těchto let, dochází k velkým teplotním změnám. Od roku 1980 až do r. 1982 teplota klesala z  $-0,7\text{ °C}$  na  $-3,6\text{ °C}$ .

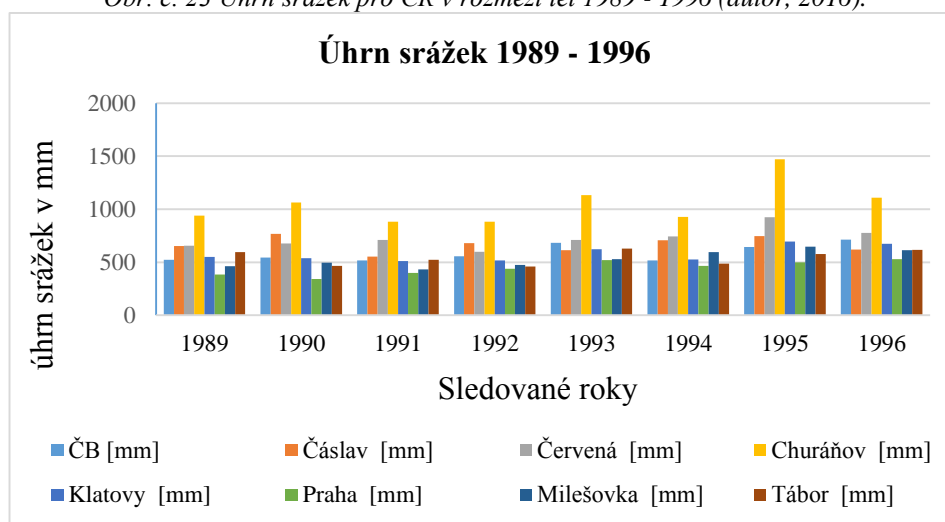
Po tomto roce, teplota prudce stoupla na  $-0,1\text{ °C}$  a znovu klesala. Nejnižší průměrná teplota za zimní měsíce v tomto období, byla naměřena r. 1985 ( $-4,9\text{ °C}$ ). V r. 1986 teplota dosáhla  $-2,5\text{ °C}$ . V dalším roce klesla na  $-3,5\text{ °C}$ . Následovalo náhlé oteplení na  $0,8\text{ °C}$  (1987). Teplota se postupně zvyšovala až do roku 1990. V tomto roce byl zaznamenán nejteplejší rok. Roku 1991 teplota klesla na  $-2\text{ °C}$ . V dalším roce se opět oteplilo na  $-0,4\text{ °C}$  a znovu došlo k poklesu teploty ( $-1,5\text{ °C}$ ). V roce 1994 teplota vzrostla na  $0,6\text{ °C}$  a následující rok se oteplilo na  $0,1\text{ °C}$ . A opět následoval velký pokles teploty v r. 1996, kdy byla průměrná teplota zimních měsíců  $-4\text{ °C}$ . Po dobu dvou let došlo k postupnému zvyšování až na  $1,2\text{ °C}$ . V r. 1999 znovu klesla na  $-1,5\text{ °C}$  a poté se postupně zvyšovala.

U zimních měsíců se projevuje vliv NAO (North Atlantic Oscillation), neboli severoatlantická oscilace. Tento systém je založen na změně tlaku v oblasti Azorské výše a Islandské níže. Vliv NAO se projevuje především v zimním období, protože rozdíl teplot nad Atlantikem a rovníkem je největší. Další faktor, který může ovlivnit zimy, je sluneční aktivita (Hurrell et al., 2009).

## 9. Množství srážek v České republice

Úhrn srážek ukazuje na grafu rozmezí let 1989 - 1996 množství srážek na 8 stanicích v České republice (příloha č. 8).

Obr. č. 23 Úhrn srážek pro ČR v rozmezí let 1989 - 1996 (autor, 2016).



Největší úhrn srážek byl pro všechny roky naměřen na stanici Churáňov, nejmenší množství srážek bylo naměřeno na stanici v Praze.

Rok 1991 a 1992 patřil mezi roky, kdy byl zaznamenán nejmenší úhrn srážek.

Ve sledovaném období, bylo v r. 1991 naměřeno nejméně srážek (4 531 mm). Roku 1992 došlo k patrnému zvýšení, celkový úhrn na všech stanicích byl 4 611 mm.

Rok 1993 byl srážkově bohatší (5 441 mm). Naopak roční úhrn srážek v r. 1994 byl pouze 4 972 mm. Největší úhrn srážek byl naměřen v r. 1995 (6 204 mm) a 1996 (5 657 mm).

Dle historických záznamů, docházelo u velkých erupcí k ovlivnění srážek. Může dojít ke zvýšení úhrnu srážek, jak dešťových tak i sněhových. Dále může být zesílená bouřková činnost a její následné projevy jako například kroupy.

Vliv erupce na množství srážek nelze prokázat. Erupce byla tak vzdálená, že v České republice nezpůsobila tak významnou změnu, jako při erupci sopky Laki. Při této erupci došlo k velké četnosti bouřkové aktivity a k lokálním povodním. Následující zima byla velmi studená. Napadlo velké množství sněhových srážek (Brázdil et al. 2003).

## 10. Diskuze

Pro posouzení vlivu erupce sopky Pinatubo, byly vybrány meteorologické stanice, které jsou různě rozmístěné ve střední Evropě a v Anglii. Tyto stanice jsou popsány v kapitole 8.1.

Self (1999) ve své práci uvádí, že se ochlazení projevilo na severní polokouli. To by odpovídalo i poklesu teplot v Evropě. Pokles byl ale nízký a prokazatelně na vývoj počasí v Evropě působily i jiné vlivy.

V další kapitole byl proveden podrobný průzkum územních teplot v České republice. Byla vybrána teplotní řada pro celé území v rozmezí let 1961 - 2000. Během těchto let došlo k výkyvům průměrných ročních teplot. V roce kdy proběhla erupce, došlo k ochlazení průměrné roční teploty. Následovalo střídání období oteplení a ochlazení až do r. 1994. Abychom získali ještě přesnější výsledky, bylo vybráno 9 meteorologických stanic, odlišujících se rozdílnou nadmořskou výškou, které jsou různě rozmístěné po celém území. Meteorologické řady jsou podrobně zkoumány v kapitole 8.3. U všech těchto stanic opět došlo k poklesu teploty v roce 1991 a 1993. Naopak v r. 1992 a 1994 došlo ke zvýšení průměrné roční teploty.

V kapitole 8.4. byly vybrány dvě meteorologické stanice (Milešovka, Praha-Karlov). U těchto řad byly graficky zobrazeny měsíční teploty pro roky 1991 - 1994. Tyto teploty byly porovnány s průměrnou měsíční hodnotou za 20 let.

V kapitole 8.5. byly vybrány teplotní řady pro letní měsíce (červen, červenec, srpen). Hodnoty teplot byly zvoleny od r. 1980 - 2000. U letních teplot nedocházelo k velkému kolísání, až na roky (1983, 1984). Poté byly teploty konstantní až do r. 1991, kdy se začala teplota zvyšovat. V dalším roce došlo k výraznému zvýšení a r. 1993 ke snížení teploty. V r. 1994 se teplota zvýšila a poté postupně klesala. Roky (1992, 1994) patřily mezi velmi horké.

Na letní měsíce má vliv atmosférická cirkulace ENSO (neboli jižní oscilace).

U průměru zimních měsíců, které jsou zpracovány v kapitole 8.6., lze vidět velké kolísání teplot. Ovlivněné roky nepatřily mezi nejchladnější a ani mezi nejteplejší zimy. V zimě v r. 1991 došlo k většímu poklesu teplot. Hodnoty v r. 1992 byly větší a dalším rokem teploty opět klesly. Roku 1994 se teplota zvýšila. Dle Eliáše (2002) se projeví silné zimy v r. 1991 - 1992.

Kolísání teplot v zimním období nebylo ovlivněno erupcí sopky Pinatubo. Kolísání teplot v zimním období nejspíše způsobila NAO (Severoatlantická oscilace).

Dle Hurrellého (2009) se tato oscilace projevuje právě v zimním období. V tomto úseku je největší rozdíl teplot mezi severním Atlantikem a rovníkem. Systém je založen na rozdílu tlaků Azorské výše a Islandské níže. V případě že je rozdíl tlaků vysoký, dochází k silnému západnímu proudění, a to s sebou přinese od Atlantiku mírné zimy do střední Evropy. V opačném případě, když rozdíl tlaku je minimální a západní proudění je omezené (málo teplého, vlhkého vzduchu), se projeví Sibiřská tlaková výše a v důsledku toho, dochází k mrazivé zimě.

Dalším faktorem, který může být ovlivněn klimatickou změnou po erupcích, je množství úhrnu srážek. Hodnoty srážek byly porovnány pro 8 meteorologických stanic (viz. Kapitola 9.) v období 1989 - 1996. Roku 1991 bylo zaznamenáno nejméně srážek za celé sledované období. Další roky (1992, 1994) byly také srážkově slabší. Naopak roku 1993 došlo k většímu úhrnu srážek, než byly roky minulé. V dostupné literatuře, která se zabývá změnou klimatu v ČR po erupci sopky, byl popsán rok 1992 jako nejsušší a nejteplejší. Podle rozboru srážek se jako nejsušší jevil r. 1991, poté následoval r. 1992. Autorčina analýza úhrnu srážek, nedokazuje ovlivnění sopkou Pinatubo, jako v případě při erupci sopky Laki, kde byla prokazatelná změna v množství srážek především díky bouřkovým událostem v létě a sněhu v zimě roku 1783.

## 11. Závěr

Cílem práce je dokázat, zda došlo k jakýmkoli prokazatelným změnám v chodu klimatu a počasí po erupci sopky Pinatubo.

Během let, docházelo k různým teplotním změnám. V roce 1991 došlo k erupci sopky a velký sopečný oblak se rozprostřel kolem celé zeměkoule. V atmosféře setrval po dobu 3 let. Z tohoto důvodu se autorka BP zabývala teplotní změnou v rozmezí let 1991 - 1994. Pro srovnání teplotních změn autorka bakalářské práce (dále jen BP) použila záznamy z meteorologických stanic střední Evropy (Česká republika, Německo, Rakousko). Dále byla použita jedna meteorologická stanice ze severní Evropy (Anglie).

Podle mnoha autorů vědeckých publikací, došlo k poklesu teploty v roce 1991 o 0,5 °C. Autorčina porovnání dokládají, že k poklesu teplot došlo, ale na každém území o jinou hodnotu. Docházelo ke střídání ochlazení a oteplení, přičemž rok 1991 a 1993 patřil mezi chladnější a rok 1992 a 1994 naopak mezi ty teplejší. Pouze u stanice v Anglii docházelo k postupnému zvyšování průměrné roční teploty a nedocházelo k žádným extrémním výkyvům.

Pro podrobnější analýzu autorka BP provedla srovnání 9 meteorologických stanic, které jsou různě rozmístěné a mají rozdílnou nadmořskou výšku. Dále porovnávala teploty letních měsíců (červen, červenec, srpen) a zimních měsíců (prosinec, leden, únor).

Územní teploty byly porovnány od r. 1966 - 2000. Bylo prokázáno, že u všech stanic došlo v r. 1991 k poklesu teplot. Trend střídání ochlazení a oteplení se projevil i u těchto 9-ti stanic. Rok 1992 a 1994 patřil mezi teplejší. A rok 1991 a 1993 mezi chladnější.

Dále byly vybrány dvě meteorologické stanice (Milešovka, Praha- Karlov). U těchto stanic jsou graficky zobrazeny průměrné měsíční teploty v období od roku 1991 - 1994. Teploty byly porovnány s průměrnou měsíční teplotou. Tato průměrná teplota byla vybrána za 20-ti leté období (1976 - 1996). Na grafu lze vidět, že teploty se nijak výrazně nelišily.

Vývoj teplot pro Českou republiku byl rozdělen na letní a zimní měsíce. Bylo vybráno rozmezí let 1980 - 2000. V letních měsících se opět projevil trend střídání studených a teplých období. V r. 1991 a 1993 byla léta chladnější. Naopak teplejší léta byla v r. 1992 a 1994.

U zimních měsíců docházelo k extrémním výkyvům teplot ve 20-ti letém rozmezí. Pro analyzované rozmezí let ovlivněných erupcí sopky, došlo v zimních měsících r. 1991 a 1993 k ochlazení. Naproti tomu r. 1992 a 1994 došlo k oteplení. Změny po erupci Pinatuba ale nejsou prokazatelné, docházelo zde k výkyvům nejspíše z jiných příčin.

Posledním bodem práce autorka BP shrnula počet srážek na území České republiky. Srážky byly porovnány u 8 stanic v rozmezí let 1989 - 1996. V r. 1991 byl zaznamenán nejmenší úhrn srážek. V dalším roce došlo k zvýšení množství srážek. Tyto roky měli nejmenší úhrn srážek ve sledovaném období. Rok 1993 byl už srážkově bohatší. V roce 1994 byl zaznamenán opět menší úhrn srážek.

Pravděpodobně tu tedy působily jiné vlivy než erupce. Výsledek zpracování teplotních údajů dokazuje, že vliv erupce sopky Pinatuba na teploty v ČR není zcela prokazatelný. Vliv erupce z těchto údajů nelze prokázat, jako v případě při erupci sopky Laki nebo Tambora, kde byla změna velmi významná a to z důvodu blízkosti erupce (Laki) a síly erupce (Tambora). Počasí u nás podléhá vlivu NAO v zimním období. V letních měsících působí proudění sNAO, čili letní modifikace severoatlantické oscilace. Dále dochází ke změnám kontinentálních a oceánských vlivů. Přírozené vlivy byly mnohem silnější než působení erupce sopky.

To co lze prokázat, je zeslabení ozonové vrstvy po erupci sopky. Těsně po erupci došlo k oteplení mezi rovníkem a 20° severní šířky. Ochlazení se projevilo pouze na severní polokouli, na jižní polokouli bylo ochlazení menší díky jevu El - niño.

Dalším prokazatelným úkazem byly neobyčejně barevné západy Slunce a další optické jevy v atmosféře, které jsou také součástí meteorologických pozorování.

Výsledky a poznatky této práce mohou být dále použity pro studium vlivu změn na celosvětové klima po velkých sopečných erupcích, případně k dalšímu podrobnějšímu výzkumu působení Pinatuba na životní prostředí.

## **Přehled literatury a použitých zdrojů**

**BRÁZDIL R. VALÁŠEK H., MACKOVÁ J., 2003:** Climate in the Czech lands during the 1780-s in light of the daily weather records of parson Karel Bernand od Hodonoce (southwestern Moravia) comparison of documentary and instrumental data. Climatic change 60, 297-237s.

**BRYANT, E. 2005:** Natural Hazards. 2nd edition. Cambridge U Press, Cambridge, 312 s.

**DAY T., 2001:** Průvodce nezkrotnou zemí. Slovart, Bratislava, 64s

**ELIÁŠ V., TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., 2002:** Stabilita a extremalizace hydrologického cyklu pramenných oblastí. Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. Fakulta stavební ČVUT, Praha, 108-114s.

**FISHER E., 2007:** Climate response to major volcanic eruption. Pages news, Past global changes. International Project office, Vol. 13, No.3.

**HILDRETH, W., FIERSTEIN, J., 2012:** The Novarupta-Katmai eruption of 1912—largest eruption of the twentieth century; centennial perspectives: U.S. Geological Survey Professional Paper 1791, 259

**HORÁLEK P., 2015:** Tajemná zatmění. C Press, Brno, 248s.

**HURRELL J. W, KUSHNIR Y., OTTERSEN G., VISBECK M., 2009:** The North Atlantic Oscillation Climatic Significance and Environmental Impact. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. American Geophysical Union.

**JAKEŠ P., KOZÁK J., 2005:** Vlny hrůzy: zemětřesení, sopky, tsunami. Lidové noviny, Praha, 221s.

**KELLER A., 2005:** Introduction to Environmental Geology. 3rd edition. Upper Saddle River, New Jersey, 583 s



**KUKAL Z., 1983:** Přírodní katastrofy. Vyd. 2. Horizon, Praha, 259s.

**KYSELÝ J., 2003:** Časová proměnlivost horkých vln v České republice a extrémní horká vlna z roku 1994. Meteorologické zprávy, cit. 28. 02. 2016.

**LABITZKE K., McCORMICK M. P. ,2002:** Stratospheric temperature increases due to Pinatubo aerosols: Geophysical Research Letters, vydání 19, str. 207-210, cit. 28. 02. 2016

**LUHR J., DANIELOVÁ K., 2004:** Země. Euromedia Group, Praha, 520s.

**MILLARD, G. A., MATHER T. A., PYLE D. M., ROSE W. I., THORNTON B., 2006:** Halogen emissions from a small volcanic eruption: Modeling the peak concentrations, dispersion, and volcanically induced ozone loss in the stratosphere. Geophysical research letter.

**MONTGOMERY C., 2006:** Environmental Geology. 7th edition. McGraw Hill Higher Education, Boston, 540 s.

**NOVÁK J., 2011:** Smrtící sopky. XYZ, Praha, 333s.

**OPPENHEIMER C., 2011:** Eruption that shock the world. Cambridge University Press Cambridge, New York.

**PFAFF CH., 1812:** Ueber den Heißen Sommer von 1811 nebst einigen Bemerkungen über frühere heiße Sommer: eine academische Gelegenheitschrift bei Niederlegung seines von Hohannis 1810 bis Johannis 1811 geführten Decanats der medicinischen Facultat. Riel.

**SELF S., ZHAO J., HOLASEK R. E., TORRES R. C., KING A. J., 1991:** Atmospheric Impact of the 1991 Mount Pinatubo eruption. Fire and mud: eruptions and lahars of mount Pinatubo, Philippines. University of Washington Press, London, cit. 28. 02. 2016

**SMITH K., 2002:** Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster. 3rd edition. New York, Routledge, 392 s.

**SOLOMON, S., et al., 1993:** Increased chlorine dioxide over Antarctica caused by volcanic aerosols from Mount Pinatubo, Nature, str. 363, 245-248, cit. 28. 02. 2016.

**SOUKUPOVÁ J., 2013:** Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na zemi, Praha, 170s.

**TABAZADEH, A.et. al. , 1993:** A model for heterogeneous chemical processes on the surfaces of ice and nitric acid trihydrate particles. Journal of Geophysical Research: Atmospheres.

**THORDARSON T., SELF S., 2003:** Atmospheric and Environmental effect of the 1783-1874 Laki eruption: A review and reassessment. Journal of Geophysical Research, Vol. 10, 1-29s.

**TILLING, R. I., 2009:** El Chichón's surprise eruption in 1982: Lessons for reducing volcano risk. Geofísica internacional.

### **Internetové zdroje**

**BOKR P., 2004:** Sopečná činnost a sopky. GeoWeb, Praha, online: <http://www.gweb.cz/clanky/clanek-60/> , cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006a:** Fissure Eruptions. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Fissure.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Fissure.html) , cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006b:** Strombolian Eruptions. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Strombolian.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Strombolian.html) , cit 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006c:** Vulcanian Eruptions. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Vulcanian.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Vulcanian.html) , cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006d:** Plinian Eruptions. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Plinian.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Plinian.html) , cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006e:** Shield Volcanoes. In How Volcanoes Work. San Diego State, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/shieldvolc\\_page.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/shieldvolc_page.html), cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006f:** Scoria Cones. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/scoriacone\\_page.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/scoriacone_page.html) , cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006g:** Volcano-Tectonic Environments. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Volcano\\_tectonic.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Volcano_tectonic.html) , cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006h:** Eruption Variability. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Variability.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Variability.html) , cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006i:** Climate Effects of Volcanic Eruptions. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/climate\\_effects.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/climate_effects.html), cit. 28. 02. 2016.

**CAMP V., 2006j:** Fissure Eruptions. In How Volcanoes Work. San Diego, online: [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Krakatau.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Krakatau.html), cit. 28. 02. 2016.

**EKOLIST, 2015:** Japonské Greenpeace varuje: u nedávno spuštěné jaderné elektrárny Sendai se probudila sopka, Praha, Online:  
<http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/japonske-greenpeace-varuje-u-nedavno-spustene-jaderne-elektrarny-sendai-se-probudila-sopka> , cit. 28. 02. 2016.

**KREMLÍK V., 2013:** Objective source e-learning, Praha, online:  
[http://www.osel.cz/7357-zeslabeni-ozonove-vrstvy-po-sopecnych-erupcich.html?typ=odpoved&id\\_prispevku=125285](http://www.osel.cz/7357-zeslabeni-ozonove-vrstvy-po-sopecnych-erupcich.html?typ=odpoved&id_prispevku=125285) , cit. 28. 02. 2016.

**KUKLIŠ L., 2006:** Katastrofální erupce na Islandu v roce 1783. Gnosis9, online:  
<http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2006030002> , cit. 28. 02. 2016

**MAO J., ROBOCK A., 1992:** Winter warming from large volcanic eruptions. Geophysical Research Letter, online:  
[http://itm15.itm.su.se/ml/trajectories%20Arctic/LAKI\\_files/Volcanic%20eruptions%20and%20climate.pdf](http://itm15.itm.su.se/ml/trajectories%20Arctic/LAKI_files/Volcanic%20eruptions%20and%20climate.pdf) , cit. 28. 02. 2016.

**MIHULKA S., 2009:** Objective source e-learning, Praha, online:  
<http://www.osel.cz/4783-erupce-supervulkanu-toba-pred-73-tisici-lety-odlesnila-indii.html> , cit. 28. 02. 2016.

**MONITORING VOLCANO GROUND DEFORMATION, nedatováno:**  
USGS. Volcano Hazard Program., USA, online: <http://volcanoes.usgs.gov/vhp/deformation.html> ,  
cit. 28. 02. 2016.

**MONITORING VOLCANO HAZARD, nedatováno:** USGS. Volcano Hazard Program., USA, online: <http://volcanoes.usgs.gov/vhp/gas.html> ,  
cit. 28. 02. 2016.

**MONITORING VOLCANO SEISMIC, nedatováno:** USGS. Volcano Hazard Program, USA, online: <http://volcanoes.usgs.gov/vhp/earthquakes.html> , cit. 28. 02. 2016.

**MŽP, nedatováno:** Český hydrometeorologický ústav. Praha, online:  
[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc\\_chap10.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap10.pdf) ,  
cit. 28. 02. 2016

**PETRÁNEK J., 1993a:** Sopka. In On-line Geologická encyklopedie. Česká geologická služba., online: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl> ,  
cit. 28. 02. 2016.

**PETRÁNEK J., 1993b:** Sopka. In On-line Geologická encyklopedie. Česká geologická služba, online:  
[http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?tektonika\\_globalni](http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?tektonika_globalni) ,  
cit. 28. 02. 2016.

**RöHLICH P., 1996:** Islandské sopky a gejzíry. Horká skvrna na středoatlanském hřbetu. Přírodovědecký časopis Vesmír. Praha, online:  
<http://casopis.vesmir.cz/clanek/islandske-sopky-a-gejziry> , cit. 28. 02. 2016.

**VHP PHOTO GLOSSARY, nedatováno:** Plinian Eruption. USGS. Volcano Hazard Program.USA, online: <http://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/plinian.html> ,  
cit 28. 02. 2016.

**VHP PHOTO GLOSSARY, nedatováno:** Pyroclastic flow. USGS. Volcano Hazard Program.USA, online:  
[http://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/pyroclastic\\_flow.html](http://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/pyroclastic_flow.html) , cit. 28. 02. 2016.

**VHP PHOTO GLOSSARY, nedatováno:** Strombolian Eruption. USGS. Volcano Hazard Program. USA, online:  
<http://volcanoes.usgs.gov/vscpglossary/strombolian.html> , cit. 28. 02. 2016.

**VOLCANO DISCOVERY, nedatováno:** Pinatubo Volcano. Volcano discovery, online: <http://www.volcanodiscovery.com/pinatubo.html>, cit. 28.02.2016.

**ZOUZALÍK M., 2005:** 10 největších sopečných výbuchů v dějinách Země, 21. století, online: <http://21stoleti.cz/2005/03/18/10-nejvetsich-sopecnych-vybuchu-v-dejinach-zeme/>, cit. 28. 02. 2016.

**ZVOLÁNEK P., 2012:** Informace o zemích Jihovýchodní Asie, online:<http://filipiny.asean.cz/clanek/1312-filipiny-pinatubo-vulkan-ktery-vyhnal-nejmocnejsi-armadu-sveta>, cit. 28. 02. 2016.

### **Zdroje pro obrázky**

Obr. č. 1 **PŘÍRODOVĚDCI, 2013:** Přírodovědecká fakulta UK, Praha, online:<https://www.prirodovedci.cz/storage/images/800x600/1773.png>, cit. 10. 03. 2016.

Tab. č. 2 **NOVÁK J., 2011:** Smrtící sopky. XYZ, Praha, 333s

Obr.č.3 **NEWHALL CH. et. al., 1997:** USGS Online Publications Directory.The Cataclysmic 1991 Eruption of Mount Pinatubo, USA, online: <http://pubs.usgs.gov/fs/1997/fs113-97/>, cit. 10.03.2016

Obr. č. 4 **NOVÁK J., 2011:** Smrtící sopky. XYZ, Praha, 333s

Obr.č.5 **PETRÁNEK J., 1993:** Sopka. In On-line Geologická encyklopedie. Česká geologická služba, online: [http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?tektonika\\_globalni](http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?tektonika_globalni) , cit. 10. 03. 2016.

Obr. č.7 **SELF et al., 1991:** Atmospheric Impact of the 1991 Mount Pinatubo eruption. Fire and mud: eruptions and lahars of mount Pinatubo, Philippines. University of Washington Press, London, cit. 10. 03. 2016.

Tab. č. 8 **SELF et al., 1991:** Atmospheric Impact of the 1991 Mount Pinatubo eruption. Fire and mud: eruptions and lahars of mount Pinatubo, Philippines. University of Washington Press, London, cit. 10. 03. 2016.

Tab. č.9 Data pocházejí ze soukromého archívu p. Jiřího Svobody- klimatologa, použita byla s jeho laskavým svolením

Obr.č.10 **ZAMG, nedatováno:** Zentralanstalt für meteorologie und geodynamik, klima, online: <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/tagesdaten>, cit. 10.3.2016.

**MET OFFICE, 2014:** Metoffice. United Kingdom, online: <http://www.metoffice.gov.uk/pub/data/weather/uk/climate/stationdata/cambornedata.txt>, cit. 10.3.2016

**DEUTSCHER WETTERDIENST, 2015:** Wetter und Klima aus einer Hand, Germany, online: [http://www.dwd.de/EN/climate\\_environment/cdc/cdc\\_node.html](http://www.dwd.de/EN/climate_environment/cdc/cdc_node.html), cit. 10.3.2016

**MŽP, nedatováno:** Český hydrometeorologický ústav. Praha, online: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>, cit. 10.3.2016.

Obr. č.11 **MŽP, nedatováno:** Český hydrometeorologický ústav. Praha, online: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>, cit. 10.3.2016

Obr.č.12- 23 Data pocházejí ze soukromého archívu p. Jiřího Svobody- klimatologa, použita byla s jeho laskavým svolením

## Přílohy

Příloha č. 1 Vrchol hory Pinatubo před a po erupci (zdroj P1).



Příloha č.2 Sloup popela při erupci sopky Pinatubo (zdroj P2).





Příloha č. 3 Zatmění měsíce v r. 1992 (zdroj P3).



Příloha č. 4 Zatmění měsíce v r. 1993 (zdroj P4).



Příloha č. 5 Tabulka průměrných ročních teplot pro jednotlivé meteorologické stanice (zdroj P5)

	ČB	Čáslav	Červená	Churáňov	Karlov	Klatovy	Lysá Hora	Tábor	Milešovka
1966	8,7	9,3	0,3	4,4	9,8	8,5	3,0	8,3	5,6
1967	8,9	9,3	0,4	4,6	10,0	8,4	3,1	8,4	5,9
1968	8,3	8,2	-0,1	3,9	9,2	7,8	2,8	7,6	5,1
1969	7,9	8,6	-0,7	3,9	8,7	7,6	2,6	7,4	4,8
1970	7,9	8,3	-0,9	3,6	8,8	7,7	1,9	7,3	4,5
1971	8,2	8,9	0,1	4,4	9,5	8,0	2,8	7,6	5,6
1972	7,8	8,8	-0,2	4,2	9,1	7,3	3,0	7,4	4,9
1973	8,1	8,8	-0,2	4,0	9,4	7,6	2,3	7,4	5,2
1974	9,0	9,7	0,3	4,6	9,8	8,5	2,8	8,2	5,6
1975	8,7	9,5	0,6	4,9	10,0	8,3	3,4	8,1	6,1
1976	8,3	8,9	-0,4	4,2	9,4	8,0	2,3	7,7	5,2
1977	8,8	8,8	-0,5	4,9	9,6	8,2	2,9	7,9	5,4
1978	7,8	8,2	-0,6	3,6	9,2	7,6	2,0	7,1	4,6
1979	8,2	8,9	-0,3	3,9	9,2	8,0	2,7	7,5	4,9
1980	7,5	7,6	-1,6	3,1	8,5	7,4	1,2	6,7	4,1
1981	8,5	9,0	-0,2	3,9	9,5	8,2	2,3	7,8	5,1
1982	8,7	9,3	0,4	5,0	10,0	8,8	3,5	8,1	6,0
1983	9,1	9,9	0,8	5,0	10,5	9,0	3,3	8,4	6,2
1984	8,1	8,5	-0,6	3,7	9,1	7,7	2,2	7,3	4,5
1985	7,4	7,9	-1,2	3,4	8,7	7,5	1,7	6,8	4,4
1986	8,1	8,6	-0,4	4,0	9,4	8,0	2,6	7,6	5,0
1987	7,5	8,2	-1,0	3,6	8,6	7,3	1,6	7,0	4,3
1988	8,8	9,5	0,2	4,6	10,1	8,8	2,8	8,5	5,6
1989	9,0	9,9	1,1	5,6	10,7	8,8	3,9	8,3	6,6
1990	9,1	10,1	0,7	5,1	10,7	8,9	3,6	8,2	6,4
1991	7,9	8,8	-0,3	4,1	9,2	7,7	2,6	7,1	5,1
1992	9,4	10,1	0,8	5,3	10,7	9,2	3,7	8,7	6,3
1993	8,5	9,0	-0,1	4,6	9,7	8,3	3,3	7,6	5,4
1994	10,0	9,7	1,2	5,6	10,9	9,7	4,1	9,0	6,5
1995	8,8	9,0	0,1	4,5	9,9	8,5	3,1	8,0	5,4
1996	7,1	6,7	-1,3	3,4	8,1	6,8	2,3	6,3	3,8

Příloha č. 6 Tabulka teplot letních měsíců (červen, červenec, srpen) 1980-2000 (zdroj P6).

Roky	Červen [°C]	Červenec [°C]	Srpen [°C]	Průměr letních měsíců [°C]
1980	14,5	14,8	15,9	15,1
1981	16,1	16,2	16,3	16,2
1982	16,2	18,3	17,3	17,3
1983	15,9	20,1	17,6	17,9
1984	13,8	15,2	16,3	15,1
1985	13	17,3	16,6	15,6
1986	15,4	16,5	16,4	16,1
1987	14,6	17,4	14,8	15,6
1988	15	17,6	16,9	16,5
1989	14,5	17,4	16,7	16,2
1990	15,4	16,6	17,9	16,7
1991	14,4	18,8	17,1	16,8
1992	17,1	18,9	20,9	19
1993	15,5	16,1	16,6	16
1994	16,3	21	18,1	18,5
1995	14,6	20,1	17,2	17,3
1996	16	15,6	16,4	16
1997	16,1	16,5	18,2	16,9
1998	16,9	17,2	17,1	17
1999	15,3	18,7	16,7	16,9
2000	17,3	15,5	18,4	17

Příloha č. 7 Tabulka teplot zimních měsíců (prosinec, leden, únor) 1980-2000 (zdroj P7).

Roky	Prosinec [°C]	Leden [°C]	Únor [°C]	Průměr zimních měsíců [°C]
1980	2,6	-5,1	0,5	-0,7
1981	-1,2	-4,1	-1,5	-2,3
1982	-3,2	-5,4	-2,3	-3,6
1983	0,8	2,3	-3,5	-0,1
1984	-1,4	-1,1	-1,8	-1,4
1985	-1,2	-7,8	-5,7	-4,9
1986	2	-1,7	-7,7	-2,5
1987	-0,7	-8	-1,8	-3,5
1988	0,3	1,2	0,7	0,8
1989	0,8	-0,3	2,2	0,9
1990	0,1	0,3	3,5	1,3
1991	-1,2	-0,4	-4,5	-2
1992	-2,3	-0,3	1,3	-0,4
1993	-1,5	-0,1	-3	-1,5
1994	1,5	1,6	-1,3	0,6
1995	0,9	-2	3,2	0,7
1996	-2,7	-4,7	-4,7	-4
1997	-5,1	-4,5	1,4	-2,7
1998	0,7	0,1	2,7	1,2
1999	-1,8	-0,4	-2,4	-1,5
2000	-0,4	-1,6	2,2	0,1

Příloha č.8 Tabulka měsíčních srážek pro stanice (České Budějovice, Čáslav, Churáňov, Klatovy, Praha, Milešovka, Tábor) pro roky 1989- 1996 (zdroj P8).

Roky	ČB [mm]	Čáslav [mm]	Červená [mm]	Churáňov [mm]	Klatovy [mm]	Praha [mm]	Milešovka [mm]	Tábor [mm]
1989	522	652	657	940	551	384	464	597
1990	545	768	677	1062	540	342	496	467
1991	518	555	711	883	511	399	432	523
1992	557	681	600	883	517	438	475	460
1993	682	613	711	1132	622	521	530	630
1994	516	708	744	929	527	465	597	487
1995	644	747	924	1470	696	499	648	578
1996	713	620	778	1110	675	530	614	617

## **Přehled literatury pro obrázky a přílohy**

P1 **PŘÍRODOVĚDCI, 2013:** Přírodovědecká fakulta UK, Praha, online:  
<https://www.prirodovedci.cz/storage/images/800x600/1773.png>, cit. 10.3.2016.

P 2 **RITTER E., 2006:** The Physical Environment: an Introduction to Physical Geography, online:  
[http://www.earthonlinemedia.com/ebooks/tpe\\_3e/images/lithosphere/volcanism/Pinataubo\\_DDS21\\_Ctj0006\\_K.%20Jackson.jpg](http://www.earthonlinemedia.com/ebooks/tpe_3e/images/lithosphere/volcanism/Pinataubo_DDS21_Ctj0006_K.%20Jackson.jpg), cit. 10.3.2016.

P 3 **ROBERTS J., 1997:** December 1992 Lunar Eclipse. Astrophotography Images, online: <http://www.rocketroberts.com/astro/dec92lun.htm>, cit. 10.3.2016.

P 4 **BESLES A., 1999:** Lunar eclipse 1993. Astronomical society of southAustralia, online: [https://www.assa.org.au/media/10830/moon\\_eclipse.jpg](https://www.assa.org.au/media/10830/moon_eclipse.jpg), cit. 10.3.2016.

P5 Data pocházejí ze soukromého archivu p. Jiřího Svobody- klimatologa, použita byla s jeho laskavým svolením

P6- P7 **MŽP, nedatováno:** Český hydrometeorologický ústav. Praha, online:  
<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>, cit. 10.3.2016.

P8 Data pocházejí ze soukromého archivu p. Jiřího Svobody- klimatologa, použita byla s jeho laskavým svolením