

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Změna klimatu způsobená sopečnými erupcemi

Climate change caused by volcanic eruptions

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Martin Vokoun

Bakalant: Iveta Kolářová

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Iveta Kolářová

Krajinářství

Název práce

Změny klimatu způsobené sopečnými erupcemi

Název anglicky

Climate change caused by volcanic eruptions

Cíle práce

Analýza klimatických dopadů sopečných erupcí.

Metodika

1. Získání informací o významných sopečných erupcích z kronik a odborné literatury.
2. Komplexní popis vlivu významných sopečných erupcí na klima Země v posledním tisíciletí, provedený na základě získaných informací z historických záznamů a proxy dat.
3. Odůvodnění příčin klimatických výkyvů a popis souvislostí mezi erupcemi a klimatickými procesy.
4. Diskuze nad možným rizikem silných erupcí v budoucnu a jejich dopadem na lidskou populaci.

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčové slova

vulkán, sopečný prach, metan, aerosol, CO₂, atmosféra

Doporučené zdroje informací

ACOT, P. Historie a změny klimatu. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2 005, 237 s. ISBN 80 – 246 – 0869 – 3

Svoboda, Jiří A. – Vašků, Zdeněk – Čilek, Václav Velká kniha o klimatu zemí Koruny české. [Aut.]: Svoboda, Jiří – Vašků, Zdeněk – Čilek, Václav. Praha : Regia, 2003. 655 s., obr. ISBN:80-86369-34-7

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Martin Vokoun

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Konzultant

Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 24. 2. 2016

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

V Praze dne 15. 03. 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího BP pana Ing. Martina Vokouna. Další konzultace mi poskytla paní Ing. Jana Soukupová. V bakalářské práci jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 30. 4. 2016

.....
Iveta Kolářová

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé práce, panu Ing. M. Vokounovi, za organizační informační pomoc při tvorbě práce. Dále pak paní Ing. J. Soukupové, za poskytnutí zajímavých zdrojů a za zapůjčení literatury. Celé rodině za klidné prostředí při psaní. V neposlední řadě bych chtěla také poděkovat zaměstnancům knihovny ČHMÚ v Praze.

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá změnami klimatu způsobenými sopečnými erupcemi a vysvětluje, proč po významných sopečných erupcích následuje sopečná zima. První kapitola práce ukazuje vznik vulkanické činnosti a její vazbu na změny klimatu. Ve třech částech druhé kapitoly jsou blíže popsány dílčí vlivy (sluneční aktivita, problematika mořských proudů a atmosférického proudění) na změny klimatu. Ve třetí kapitole je zmíněna problematika vědeckého oboru paleoklimatologie a historické klimatologie, v nichž se spojuje spousta vědních disciplín jako geologie, botanika, zoologie a další. Čtvrtá kapitola, představuje hlavní část práce, neboť popisuje vybrané významné sopečné erupce posledního tisíciletí a jejich následky v období po výbuchu z hlediska abnormalit v počasí. V závěru bakalářské práce je hledána odpověď na otázku: Rizika silných erupcí v budoucnosti a jejich dopad na lidskou populaci.

Klíčová slova: vulkán, sopečný prach, metan, aerosol, CO₂, atmosféra

Abstrakt:

This Bachelor thesis is engaged in climate changes caused by volcanic eruptions and explains, why after major volcanic eruptions follow volcanic winters. The first chapter shows the formation of volcanic activity and relations to climate changes. In three parts of the second chapter are described sectional factors (solar activity, problems of ocean currents and atmospheric flow) to climate changes. In the third chapter are mentioned issues of science discipline of paleoclimatology and historical climatology, which combines a lot of disciplines as a geology, botany, zoology and more. The fourth chapter presents the main part of the work, because in this part is a description of the selected major volcanic eruptions of the last millennium and their consequences in the period after an explosion from the viewpoint of abnormalities in the weather. In conclusion of the Bachelor thesis is a search for an answers to question: Risks of powerful eruptions in the future and their impact on the human population.

Key words: vulcano, vulcanic dust, methane, aerosol, CO₂, atmosphere

Obsah

Úvod	9
Cíl práce.....	10
1. Vulkanická činnost.....	11
1.1 Sopečná zima	13
1.1.1 Malá doba ledová.....	14
2. Příčiny změny klimatu	15
2.1 Sluneční aktivita	15
2.1.1 Sluneční aktivita (sluneční skvrny)	18
2.1.2 Sluneční cykly	19
2.1.3 Astronomické cykly	19
2.2 Mořské proudy.....	22
2.3 Atmosférické proudění	24
2.3.1 ESNO.....	25
2.3.2 NAO	26
2.3.3 AO.....	27
2.3.4 AMO	27
2.3.5 PDO.....	27
2.4 Sopečná činnost	28
2.4.1 Jaká jsou rizika sopečné činnosti?.....	32
3. Možnosti získávání dat rekonstrukce klimatu.....	34
3.1 Přírodní archiv.....	34
3.1.1 Hluboko mořské sedimenty	34
3.1.2 Jezerní a říční sedimenty	35
3.1.3 Spraše	36
3.1.4 Kontinentální a horské ledovce.....	37
3.1.5 Korály, letokruhy stromů a krápníky.....	38
3.1.6 Pylová zrna	38
3.2 Kroniky, záznamy (Historické prameny).....	39
4. Významné sopečné erupce v posledním tisíciletí	40
4.1 Erupce neznámé sopky v roce 1258 - (sopka Samalas)?	40
4.2 Výbuch sopky Huanynpaputinpea - 1600	42
4.3 Islandská sopka Laki - 1783	43

4.4	Výbuch sopky Tambora - 1815.....	49
4.5	Exploze na ostrovu Krakatoy - 1883.....	52
	Diskuze a Závěr.....	55
	Literatura.....	57
	Přílohy	60

Úvod

Kontroverzní téma „ Změny klimatu na Zemi “ je v současnosti ve světě probíráno ze všech stran. Klima je velice důležitý faktor pro život, i když moderní lidská civilizace je přizpůsobivá, díky znalostem postupně získávaných po generace. Nejde ani tak o to, že by změna teploty nějak výrazně omezovala člověka, ten se díky po generace postupně získávaným znalostem a dosaženému stupni technického pokroku patrně dokáže s určitými teplotními výkyvy, způsobenými např. důsledky sopečných erupcí, vyrovnat. Spíše jde o to, že náhlá a dlouhodobější změna klimatu je limitujícím faktorem pro rostliny, kterými se živí celá řada živočichů a ty poté společně s rostlinami tvoří základ jídelníčku člověka.

Předložená bakalářská práce dokládá, že sopečná erupce dokáže ve svém okolí za pomoci popela a sopečných plynů změnit klima. Popel zastiňuje Slunce, důsledku toho dochází k poklesu slunečního záření dopadajícího na zemský povrch a tím dochází k poklesu teplot. Tato fáze trvá z pravidla jen několik desítek hodin či dní od poslední erupce. Sopečné plyny (oxidy síry, metan, oxidy uhlíku, ...) už dokáží změnit klima na delší časový úsek, většinou tato změna trvá od několika měsíců až po několik let. (Soukupová 2013)

Měli bychom si uvědomit, že sopka je nebezpečná věc, se kterou lidstvo žije a musí se s ní naučit žít. Je velice důležité vědět, že možnost exploze supervulkánu na Zemi není až tak nereálná situace. Není to výplod fantazie nějakého režiséra sci-fi filmů, ale je to realita, která se na Zemi již několikrát přihodila. Vědci se domnívají, že mohutná exploze supervulkánu by nejenom mohla vyhladit celé lidstvo, ale také změnit klima celé Zemi na několik tisíc let. (Novák 2011). To už se asi patrně stalo při vymření velkých plazů = dinosaurů. Dalším případem byl historický výbuch sopky Toby, který byl jen krůček k tomu, aby vyhladil celou lidskou populaci. (Soukupová 2013)

Je těžké přiřadit změnu klimatu k příčině, která není vždy zcela zřejmá a spojit změnu počasí s některou sopečnou erupcí, které na Zemi proběhly. Přesto jsem se o to ve své bakalářské práci pokusila na základě získaných informací.

Bakalářskou práci jsem rozdělila do 5 kapitol. V prvních dvou kapitolách jsem popsala různé druhy příčin změny klimatu. Ve třetí kapitole „Rekonstrukce klimatu“ jsem uvedla několik zdrojů, kde jsou uvedeny informace a metody, jak získat poznatky o případném vlivu sopečné činnosti na lokální či globální změnu klimatu. Poslední kapitola se zabývá jen výběrem významných sopečných erupcí v posledním tisíciletí. Na základě získaných citovaných podkladů (výtahy z kronik a z dalších záznamů v období po erupci) jsem se pokusila vlastními slovy popsat průběh erupcí a jejich následky, které byly většinou velice devastující pro okolní prostředí.

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je analýza a popis změn zemského klimatu v posledním tisíciletí, které byly způsobeny především významnými sopečnými erupcemi. V úvodní části bakalářské práce je provedena bilance všeobecných příčin změn klimatu na Zemi. Zde jsem zjistila, že všechny příčiny spolu velmi blízce souvisí.

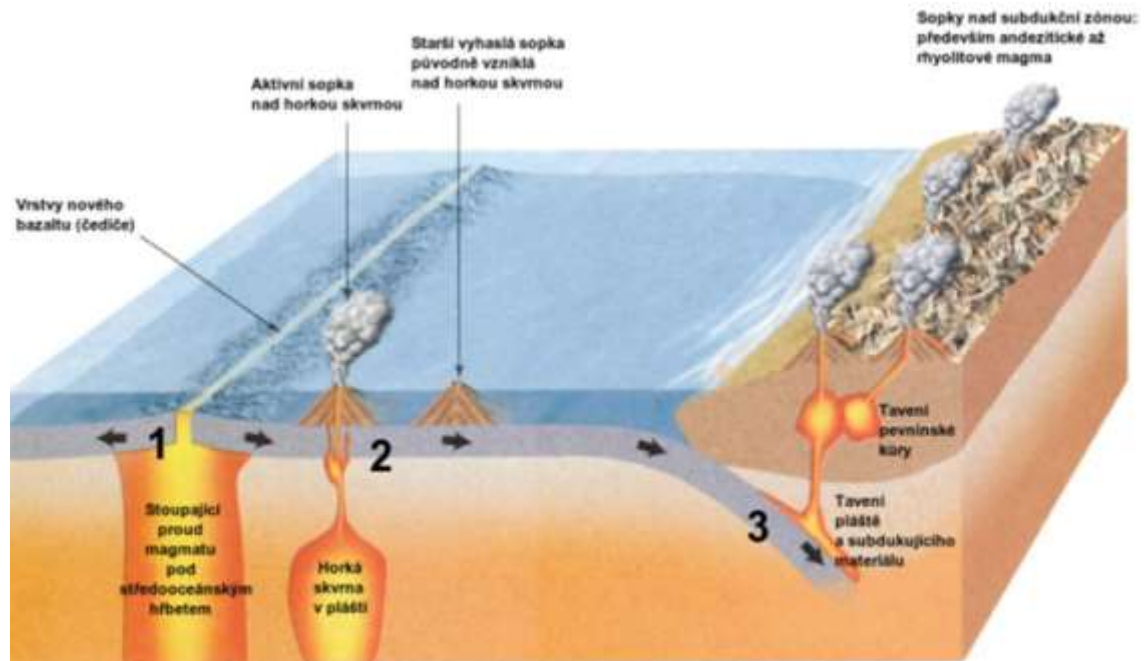
Důležitou složkou této práce jsou dílčí analýzy, kde vyhledávám a zpracovávám získaná data - informace. Tato data jsem získala z odborné literatury na odpovídající téma, jako jsou historické záznamy, kroniky, zápisky a spisy. Další druhem informací, které jsem při práci využila, jsou přesná meteorologická data, která jsem čerpala z knihy Velká kniha o klimatu Zemí Koruny české. V knize jsou zaznamenány teploty z pražského Klementina od roku 1770.

Tato bakalářské práce zachycuje stručný výčet významných sopečných erupcí s různorodým průběhem, ale podobnými ekologickými následky. Erupce způsobily zajímavé klimatické poruchy, jako byla malá doba ledová, období s nepříznivými dešti, hladem a zvýšeným výskytem náhlých povodní. Čtenáře by měla zaujmout problematika změn klimatu a co vše je ve hře pro budoucnost lidstva a všech ostatních živých druhů.

Závěr práce představuje zhodnocení situace ze získaných zkušeností a odpověď na otázku: Co můžeme očekávat od změn zemského klimatu, které jsou způsobeny sopečnými erupcemi?

1. Vulkanická činnost

Sopky jsou projevem energetických procesů působících vně planety Země. Vulkanická (sopečná) činnost provází Zemi ve všech obdobích její minulosti, protože sopky jsou součástí planety, už od jejího vzniku po několik miliard let až do dnes. Tvoří pohoří i osamělé hory a proměňují krajinu různými způsoby. Tyto hory občas vybuchují, dosti nepravidelně a neočekávaně. (Soukupová 2013)



1.... Riftové zóny 2 Horké skvrny 3 Subdukční zóna

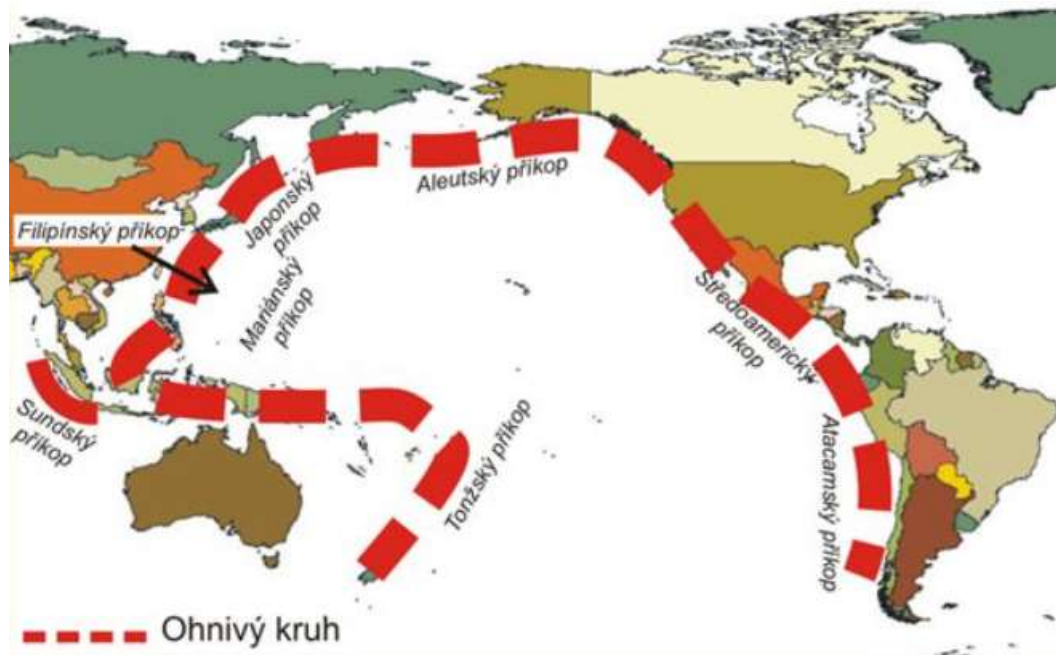
Obr. č. 1 - Zdroje sopečné činnosti – <http://images.slideplayer.cz/>

Jak je parné z obrázku (obr. č. 1) sopky se tvoří na různých místech na Zemi.

Sopečnou činnost lze pozorovat především na (Soukupová 2013):

- **Riftových zónách** – vznikají na hranicích litosférických desek, tam kde je jedna deska oddaluje od druhé. Toto se děje na dvou rozdílných místech na středooceánských hřbetech nebo kontinentálních driftech. Do Evropy zasahuje pouze v oblasti Islandu, kde je hustota sopek velice vysoká a je to jediné místo na světě, které leží přímo na středooceánském hřbetu, přímo tedy na Středoatlantickém hřbetu.
- **Horkých skvrnách** – jsou známy dva druhy oceánské a kontinentální. Horké skvrny jsou velice známé na Havaji, ale i u nás v Evropě na Islandu a na dalších ostrovech jako jsou Kanárské, Kapverdy, Galapágy a Azorské. Kontinentální horký bod dal vzniku vulkánu Yellowstone v Severní Americe a Afar na kontinentu Afrika.
- **Subdukční zónách** – tj. na hranice litosférických desek, tam kde se jedna deska podouvání pod druhou, např. africká deska se podouvá pod euroasijskou desku. V důsledku toho jsou na jižním okraji euroasijské desky, tři evropské sopky v Itálii Vesuv a nedaleko od ní na Sicílii Etnu a Stromboli v Tyrhénském moři nedaleko Sicílie. Nejvíce ale rizikových sopek je v Indonésii, kde už došlo k explozi velkých sopek

jako Tambora a Krakatoy o kterých se budu zabývat v kapitole 4. Další významnou subdukční zónou jsou okraje Pacifické desky více v dalším odstavci



Obr. č. 2 - Ohnivý kruh – <http://images.slideplayer.cz/>

Nejnámější a největší soustava sopek je „Ohnivý kruh“, viz obr. 2, která se nachází na světové mapě na hranicích litosférických desek Pacifické desky, Kokosové desky Nazca desky.

"Pacifický ohnivý prstenec (Pacific Ring of Fire) táhnoucí se v délce 40 000 km prochází přes Nový Zéland, dále Novou Guineu, Indonésii, Japonska, Aleuty, Island, Aljaška, Jižní i Severní Ameriky až ke vzdálené Antarktidě. Odehrává se tu 90 % všech zemětřesení na naší planetě. Nachází se zde 75% aktivních sopek na celé planetě Zemi" (Novák 2011). Majoritní množství sopek se nachází pod vodní hladinou na oceánských hřbetech. Vodní sloupec vytváří takový tlak, že potlačí veškerý výbušný projev sopky. Ale to nezabrání vytékání lávy a produkováním plynů na oceánském dně. (Novák, 2011; Oppenheimer, 2011)

Lidé a sopky

Lidé, kteří žijí vedle sopek a znající jejich sílu, je instinktivně považují za hrozbu. Ale protože půda je v dnešní době drahá, nacházíme mnoho měst pod vulkány. Tento hazard se dá vysvětlit jedině tím, že v okolí sopky jsou, za určitou míru rizika, pozemky levné a úrodnější.

V historii lidé brali vulkány jako věc, co řídí bůh a považovali je například vstupem do pekla nebo za výhně kováren pro bohy. Aby si je udobřovali a drželi se od nich v bezpečí, tak je obdarovávali oběťmi většinou zvířecími a lidskými. "Ještě v roce 1520 zaznamenali španělští dobyvatelé, jak indiáni vrhají do ohnivého jícnu sopky Masaya nejkrásnější dívky kmene. Za živa, protože mrtvá krása je i bohovi k ničemu."(Novák 2011)

Řekové i Římané tyto ohnivé hory přisuzovali bohům kovářství. Chápali jejich aktivitu jako hněv a vztek boha. Za hněvajícího boha v podzemí byl v Řecku považován Héfaistos a později

převzali a přejmenovali Římané na boha Vulcanos. Oba byly bohy ohně a kovářství. Podle Vulcanosa dali jméno vědnímu oboru zabývající se sopkami: vulkanologie. (Novák 2011)

Tím to mohu říci, že lidé se sopkami potýkali od nepaměti a proto je také pozorovali. Protože s nimi museli žít a museli se jim přizpůsobit. Pomalu zjišťovali, jak fungují, aby se před nimi mohli chránit a připravit se na různé katastrofické scénáře. I když nevěděli přesně, co je čeká, nasazovali vlastní životy, aby se přiblížili blíže k pravdě. (Novák, 2011)

Vědci dnes díky geologickým průzkumům vědí, jak se tvoří magmatické krby a jak vzniká celá sopka. Co nevědí, je přesné množství magmatu v krbu a jaká je prvotní znamení pro spouštění sopečné činnosti, které by s velkou přesností odhalilo blížící se erupci. V tuto dobu by byl klíčový posun, kdyby vědci dokázali předpovídat sopečnou činnost, tedy přesný čas, místo, druh výbuchu a délku. Tím by se zabránilo mnoha oběťm. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

Vulkanologie jako vědní disciplína je složitá a složená ze spoustou dílčích oborů. Kde jsou vědci úspěšní je v předpovídání výbuchu, tj. erupce sopek havajského typu a jim podobným, neboť se jedná o typ **erupce efuzivní**, kde nedochází k žádným velkým výbuchům spojené s plyny, ale jen "poklidné vytékání lávy". Tento systém je dobře znám díky častým erupcím a na základě geologicko-tektonickým analýz a časté frekvenci erupcí. Přestože podobný typ sopek je i na Islandu, tak tam sopky nejsou tak jednoznačné, protože jejich magmatický krb je propojen spoustou kanálů a může dojít i k podélné trhlině bez centrální erupce. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

Za to typ **explozivní erupce** jsou velice neidentifikovatelný, protože vzniká u většiny vulkánů, které spí bez aktivity dlouhou dobu, nejsou o nich jasné historické zprávy, neboť mají pomlky i několik tisíc let. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

Při této velmi explozivní erupci sopky je vyvrhnuto do ovzduší velké množství materiálu, jehož rozptýlení má vliv na absorpci slunečního záření v atmosféře a může způsobit sopečnou zimu. (Stern a kol. 2008)

1.1 Sopečná zima

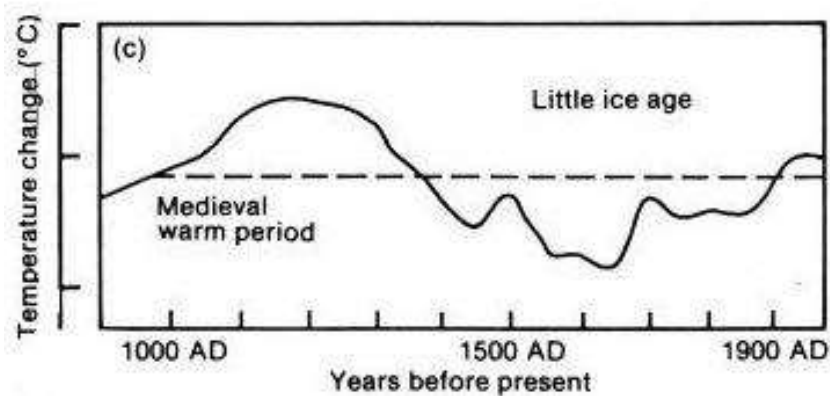
Sopečná zima je časové období, o kterém se jako první zmiňuje americký přírodovědec Benjamin Franklin. Zachycuje období po výbuchu islandské sopky Laki. Chápeme jej jako ochlazení způsobené sopečnou činností. Jde o pokles teploty (mezi 1-3 °C v malé době ledové) a také o zvýšený výskyt srážek a bouřek i na několik let. Příčiny jsou jasné, spousta prachových částic ve stratosféře, které zemi brání v ohřívání zemského povrchu a dále prachové částice působí jako kondenzační jádra a tak se tvoří více srážek a bouřkových mraků. Bylo pozorováno i zamrznutí řek dokonce i Baltské moře a Lamanšský průliv mezi Anglií a Francií. Lidská pokolení zužovala léta vlhká a studená a úrodě se nevedlo. Několikrát se stalo, že nečekaně sněžilo i v létě. Lidé trpěli hladem, propukaly nemoci jako morové epidemie, hladomory. Trpěl i dobytek nedostatkem výživy. (Fagan 2007; Soukupová 2013;)

Při této době je zvýšená šance na stěhování národů, např. invaze Egypta „mořskými národy“ (1250 až 1150 př.n.l.). Známe to z historie, že při zhoršení podmínek se lidé přemísťují vstříc nové zemi, vstříc příznivějším podmínkám. (Svoboda 2002)

1.1.1 Malá doba ledová

Malou dobou ledovou označujeme jako období přibližně od 1400 let až do roku 1850. Tato doba není doba ledová v pravém slova smyslu, jakou známe ze čtvrtohor, se zemí zamrzlou a pokrytou ledem s mamuty, je to spíše doba plná extrémů. Občas se objevila i horká léta a po nich mírné zimy jako v roce 1185/1186, kdy i v zimních obdobích kvetly stromy a nacházely se i lesní plody jako jahody. Velice extrémní i bylo množství srážek. (Kutílek 2008)

Tato změna přišla od severu, začala v Grónsku, které se stalo na dlouho neobyvatelné, celé bylo pokryto ledem a led netál ani na pár letních měsíců. Dále se změna podepsala na polích a loukách, které mizely pod ledem alpských ledovců, které nakynuli do obřích rozměrů a dnešní tání bychom měli chápat jako návrat do původní velikosti. Následující zemí, která velice trpěla, byl Island, který byl několikrát odříznut od světa. (Kutílek 2008)



Years before presentléta před současností

Temperature change.....změna teploty ve °C

Medieval warm period....průměrná teplota ve středověku (klimatický teplotní průměr)

Little ice age.....malá doba ledová

Obr. č. 3: Průběh změny teploty letech 1000 až 1900 Zdroj: (Březina 2008)

2. Příčiny změny klimatu

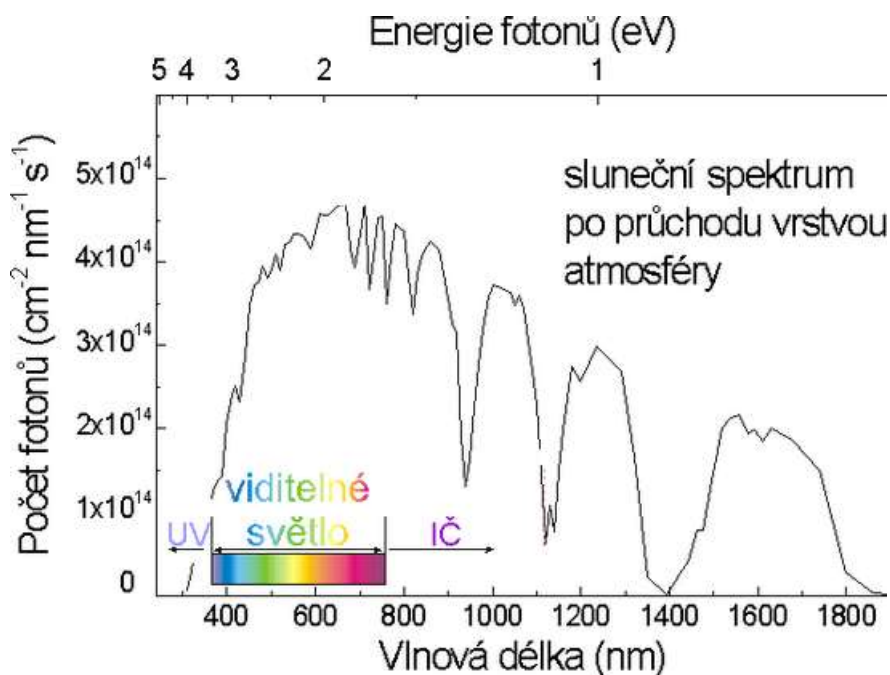
Příroda je nevyzpytatelná a ráda se neřídí „žádnými“ pravidly. A při náhlém ochlazení nemusí být počáteční příčina vždy přímo jasná. Ale přesto tu nějaká vodítka jsou, i když nelze říci, že říci, že je to 100% pravda. Většina faktorů změny klimatu se prolíná a jsou na sobě do určité míry závislé. Příčiny změny lze rozdělit na dvě skupiny astronomické a geofyzikální změny. (Soukupová 2013)

Astronomické změny klimatu úzce souvisí s okamžitou polohou planety Země ve Sluneční soustavě a především se sluneční aktivitou. Další astronomický výrazný vliv na změnu klimatu může mít případný střet Země s větším meteoritem. (Soukupová 2013)

Geofyzikální změny klimatu souvisí s pohybem litosférických desek a tektonickou činností. Pohyby kontinentů a výbuchy sopek ovlivňují oceánské proudění a vzdušné rudy a tím mohou výrazně přispět ke změně klimatu na Zemi. (Soukupová 2013)

2.1 Sluneční aktivita

Sluneční záření vzniká při jaderných reakcích přeměny vodíku na helium v nitru Slunce. Sluneční energie je energií elektromagnetického záření a skládá se především z viditelného, infračerveného a ultrafialového záření, viz obr. 4. (Braníš, Hůnová a kol. 2009)



Obr. č. 4. Sluneční spektrum po průchodu atmosférou pod úhlem 48° od normály (tzv. spektrum AM1,5).

<http://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunce-energie-v-energie-elektrickou>

Zatímco ultrafialové záření je ve větších dávkách životu nebezpečné a člověk se před ním musí chránit, viditelné světlo a tepelné záření představují důležitý faktor pro život, tj. je limitující a velice důležitou složkou života. Lze je považovat za nejvýznamnější energetický

zdroj pro veškeré děje, které probíhají v atmosféře a na Zemi. (Braníš, Hůnová a kol. 2009)

Sluneční záření (světlo) lze rozdělit na dvě části, na sluneční záření přímé (insolace) a na sluneční záření rozptýlené (difúzní). (Braníš, Hůnová a kol. 2009)

Přímé světlo vytváří přímé sluneční paprsky, které vnikají přímo do očí pozorovatele. Pozorováním se zjistilo, že je to svazek rovnoběžných slunečních světelných (fotonových) paprsků. (Braníš, Hůnová a kol. 2009)

Rozptýlené světlo vzniká rozptýlením slunečních paprsků při průchodu zemskou atmosférou, kdy dochází k částečnému rozptylu slunečních paprsků o molekuly vzduchu, vodní kapičky a dále o krystalky ledu a o různé aerosolové částice vyskytující se v zemské atmosféře. Toto rozptýlené světelné záření způsobuje typickou modrou oblohu při jasném počasí a udává i bílou barvu oblakům. Kdyby nebylo rozptylu světla, pozorovali bychom na černé obloze ostře zářící sluneční disk a další hvězdy. (Braníš, Hůnová a kol. 2009)

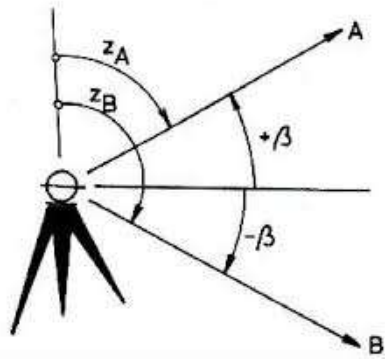
Slunce produkuje elektromagnetické záření o určitém spektru frekvencí ν , respektive o určitém spektru vlnových délek λ . Nejvýraznější část slunečního záření lze rozdělit do tří základních složek: (Braníš, Hůnová a kol. 2009)

- **Ultrafialové záření** s vlnovou délkou mezi 290 až 390 nm. Toto záření je ze značné části absorbováno atmosférickou vrstvou se zvýšenou koncentrací ozónu O_3 ve stratosféře. Tvoří až 7 % z celkového množství (výkonu) slunečního záření dopadajícího na Zemi.
- **Viditelné světlo** s vlnovou délkou mezi 390 až 760 nm. Vytvářející barevnou škálu od fialové a modré přes zelenou, žlutou a oranžovou až po červenou. Tvoří 21 – 46 % z celkového množství slunečního záření dopadajícího na Zemi.
- **Infračervené záření** s vlnovou délkou mezi 760 až 4000 nm. Především pomocí tohoto záření dochází k zahřívání povrchu těles. Tvoří 50 – 79 % část z celkového slunečního záření dopadajícího na Zemi. (Bednář 1989)

Základní hodnotou, kterou lze definovat přímé sluneční záření je intenzita záření. Ta je definována jako množství energie dopadající na jednotkovou plochu, tj. na plochu 1 m^2 , kolmou na dopadající paprsky za jednotku času, tedy sekundu. Přidruženou veličinou je insolace záření. Ta je definovaná množstvím přímých slunečních paprsků zachycených na kolmou jednotku plochu 1 m^2 za sekundu. Vztah těchto veličin ukazují tyto vzorce (Braníš, Hůnová a kol. 2009):

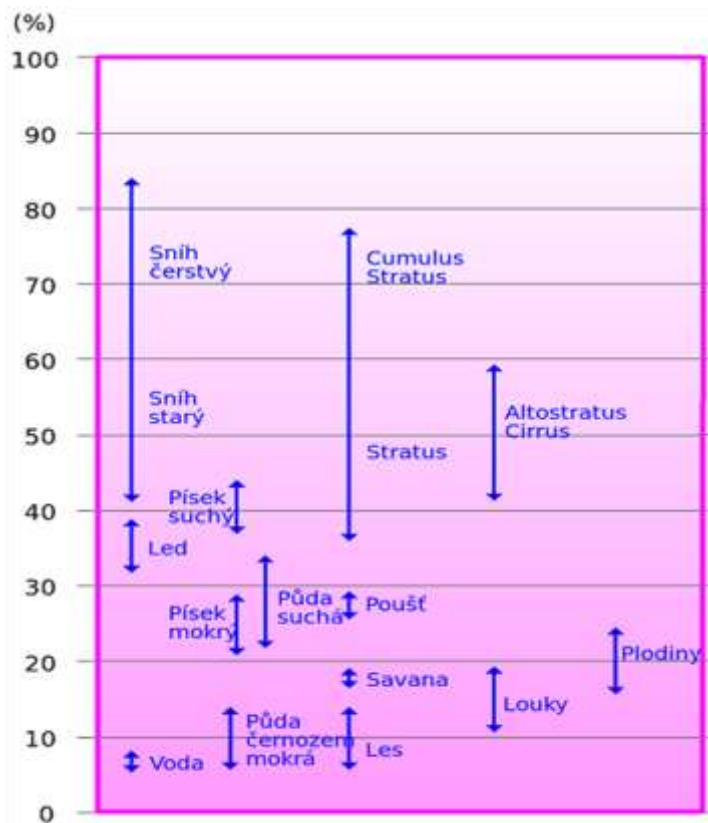
$$I' = I \cdot \sin \beta \quad \text{nebo} \quad I' = I \cdot \cos z \tag{1}$$

Kde I [W/m^2] označuje intenzitu záření, I' [W/m^2] charakterizuje insolaci záření. Úhly v této rovnici jsou dva (β , z) a mají mezi sebou vzájemnou vazbu, viz obr. 5. Úhel β značí úhel mezi Sluncem a obzorem (výškový úhel) a úhel z určuje úhlovou vzdálenost Slunce od zenitu (zenitový úhel).



Obr. č. 5. Výškový a zenitový úhel

Schopnost odrazet sluneční svit (elektromagnetické záření) je nazývá albedo ¹⁾, tj. odrazivost



Obr. č. 6. Odrazivost zemských povrchů

Zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/Albedo#/media/File:Albedo_po_vrch%C5%AF.svg

části plochy jako najdeme na Antarktice v Grónsku a na ledovcích. Nový poprašek sněhu odrazí až 70% až 90 % slunečního záření. Albedo čerstvého sněhu je vysoké, naopak povrch oceánu má poměrně nízké albedo. Průměrné albedo Země je mezi 37 až 39%. Albedo je

¹⁾ z latinského albus = bílý

a patří mezi optické vlastnosti materiálů. Odrazivost (albedo) je definována jako poměr energie odražené od určitého povrchu ku energii dopadající na tento povrch. Tento zlomek je obvykle vyjadřován procentuálně od 0% (dokonale černý povrch) do 100% (dokonale odrazivý povrch) a je důležitým pojmem v klimatologii. Odráželi povrch tělesa rovnoměrně viditelné světlo na všech vlnových frekvencích, je jeho povrch bílý. Některá tělesa svým povrchem určité vlnové spektrum světla pohltí a jiné naopak odrazí. Toto odražené světlo potom určuje potom barvu tělesa. (Munzar a kol. 1989)

Ze skutečných povrchů má nejvyšší albedo sněhová pokrývka popřípadě zaledněné

závislé i na úhlu, pod kterým na povrch dopadá. (Munzar a kol. 1989)

Zemské albedo ovlivňuje spousta faktorů jako je typ půdy, půdní vlhkost, vegetační pokryv země, půdní a vegetační barva. Největším změnám této veličiny najdeme u vodních ploch, protože v těchto případech závisí na poloze slunce nad obzorem. Hodnotu albeda lze zjistit přístrojem zvaný albedometr. V dnešní době se hodnota odhaduje pomocí snímků z dálkového průzkumu země ze satelitů. Termín albedo uvedl na světlo světa německý fyzik Johann Heinrich Lambert v roce 1760. (Munzar a kol. 1989)

Planeta Země celkově odráží asi 30% dopadajícího elektromagnetického záření, největší podíl na tom mají oblaka (molekuly vody), plynné molekuly nebo pevné částice, například ze sopeční eventuálně antropogenní (větrná eroze) činnosti. Oblaka odrážejí dokonce až 80% slunečního svitu. Souhrn těchto faktorů nazýváme planetární albedo. Tato procenta znamenají, kolik záření neprosteje zemskou atmosférou a nedopadne na povrch a tak aby ji neohřál. Sama planeta Země vyzařuje dlouhovlnné záření, čím se ochlazuje. (Braniš, Hůnová a kol. 2009)

2.1.1 Sluneční aktivita (sluneční skvrny)

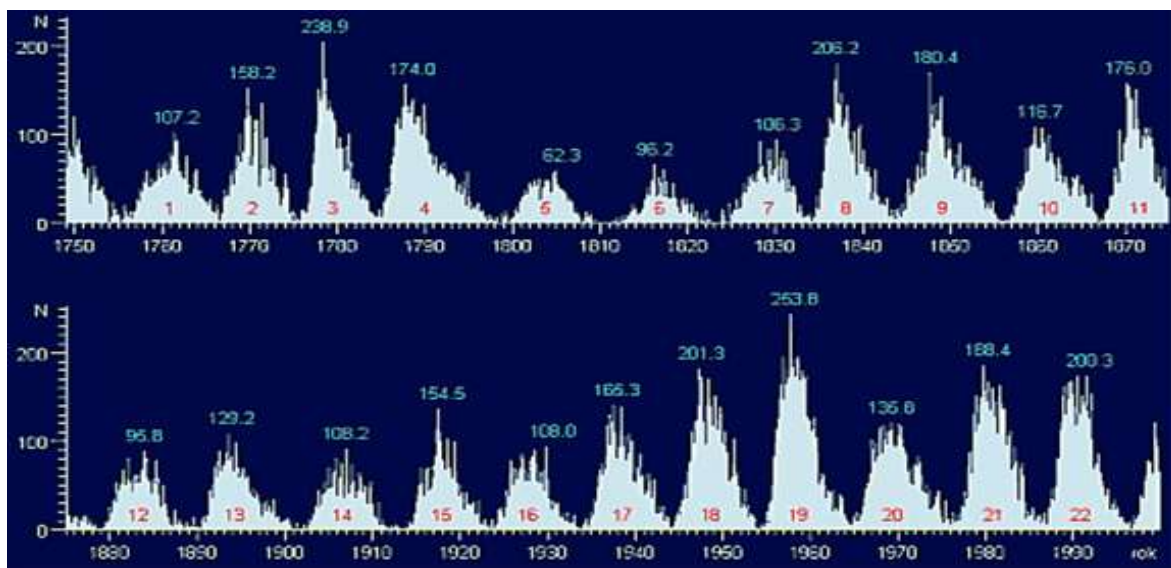
Sluneční aktivita se určuje podle slunečních skvrn, které jsou pozorovatelné dalekohledem. Tedy je logické, že s tímto vynálezem přišlo i systematické sledování tohoto úkazu. Záznamy o pozorování tedy nacházíme od roku 1610. Jednoduše se nachází díky své odlišné barvě, která je tmavší než okolí viditelného povrchu na Slunci, protože je chladnější. (Dvořák, Křivský 1989)

Skvrny vyznačují místo, kde dochází k vývěru plazmy na povrch Slunce, který nejde jednoduše definovat, protože Slunce je plynné těleso a proto tuto vrstvu vědci nazývají fotosféra. Ta je definovaná jako svrchní vrstva, která je viditelná a závisí na její průhlednosti, která dosahuje hloubky přibližně 300 km. (Kremlík 2011)

Relativní číslo slunečních skvrn R se používá, při vyjádření množství určovaných skvrn. Poněvadž se sluneční skvrny většinou vyskytují ve skupinách, důležitým číslem je i počet skupin N a počtu jednotlivých skvrn s ve skupině. Koeficient k je závislý na pozorovateli a na použitém přístroji. Pomocí vzorce můžeme vypočítat jednotlivé denní hodnoty, které použijeme k následovnému zpracování a průměrování a k zanesení do grafu. (Kremlík 2011)

$$R = k \cdot (10N + s) \quad (2)$$

Na grafech, viz obr. 7, lze pozorovat určité vlny, které se opakují.



Obr. 7. Graf změn relativního čísla od roku 1749

Červeně jsou označena čísla slunečních cyklů.

Modrá čísla nad cykly udávají maximální průměrnou měsíční hodnotu relativního čísla.

Zdroj: <http://hvezdy.astro.cz/>

2.1.2 Sluneční cykly

Periodicky se opakující cykly sluneční aktivity nejsou úplně matematicky přesné. Za 400 let bylo vypořádáno několik period slunečních cyklů. Nejkratší dvou či tříroční periodu, lze vysvětlit setrvačností chodu klimatu. Tuto vlastnost bych přisoudila především vlivu pozemských oceánů. Změna teploty v těchto nejkratších cyklech není příliš známa ani není nějak extrémní. Dalším, už známějším cyklem je s lidovým označením „sedmileté sucho“. Tato cyklická perioda je známá z hospodářství (zemědělství), trvá většinou 5 až 6 let, ojediněle sedm. Je velice zřetelná při pozorování teplotních změn, znovu ji nacházíme ve spojitosti s povrchovým „oceánským výměníkem tepla“ v Atlantiku. U nás lze nalézt v těchto obdobích rozdíl v intenzitě srážek a v množství průměrných ročních srážek. (Braniš, Hůnová a kol. 2009)

2.1.3 Astronomické cykly

Milutin Milankovič byl národností Srb a absolvoval vídeňskou techniku v roce 1904. Rozhodl se zpracovat model vlivu sluneční činnosti na zemské klima a vypracoval astronomickou teorii klimatických změn (Cílek 1995), teorii milankovičových astronomických cyklů.

Milankovič plánoval svoji cestu „do vzdálených světů a časů“ velmi obezřetně a předem odhadl, že mu to bude trvat asi 30 let. Vytvořil si monotónní, uspořádaný životní rytmus a pravidelně každý den, několik desítek let po sobě, rozpracovával zatím nejúplnější, nejslavnější a v hrubých rysech obecně přijatý model vlivu sluneční činnosti na zemské klima. Jeho prvním cílem bylo popsat „geometrii pohybu“ jednotlivých planet a určit jejich vývoj

v uplynulých staletích. Bylo to poměrně snadné, protože navázal na výpočty Ludwiga Pilgrima. (Cílek 1995)

Druhým, náročnějším úkolem bylo, spočítat kolik sluneční energie dopadá na povrch planet v různých ročních obdobích a v různých šířkách. Tento úkol si vyžádal obrovské množství práce, protože všechny planety se v důsledku působení vzájemných gravitačních sil všelijak natáčejí, ovlivňují, naklánějí. Obtížnou rovnici definující dopadající „sluneční výkon“ vyřešil a výsledky tohoto úkolu publikoval v roce 1920. Jeho vynikající práce upoutala známého německého klimatologa Wladimira Köppena, který v tomto období pracoval se svým zetěm Alfredem Wegenerem, jenž byl již tehdy díky své Teorii kontinentálního driftu velmi známým vědcem, na problému klimatických změn v geologické minulosti. Milankovič tak získal nejlepší učitelé pro řešení posledního úkolu a tím byl matematický popis zemského klimatu. Byla to komplikovaná záležitost, protože každá zeměpisná šířka měla v různých ročních obdobích své individuální charakteristiky oslunění. Pro správné vyřešení bylo nutné si vybrat takovou konstelaci, která by co nejlépe odpovídala globálním změnám. Po dlouhých diskusích se rozhodl pro 55°, 60° a 65° severní šířky, letní polovinu roku a období 0 – 650 tisíc. (Cílek 1995)

Milankovič ve své vědecké práci, navázal na práci Josepha Alphonse Adhémara, který věděl, že Země neputuje okolo Slunce po kružnici, ale po elipse v jejímž jednom ohnisku se nachází Slunce a z toho odvozoval rozdílnost v zalednění severní a jižní zemské polokoule. Na chyby v této Adhémarově teorii, která uvažuje pouze preseči zemské osy ²⁾ upozornil Skot James Croll k výpočtům přidal vliv excentricity dráhy Země kolem Slunce. Milankovič tento model planetárního pohybu úplně zkompletoval o vliv sklonu zemské osy. (Cílek 1995)

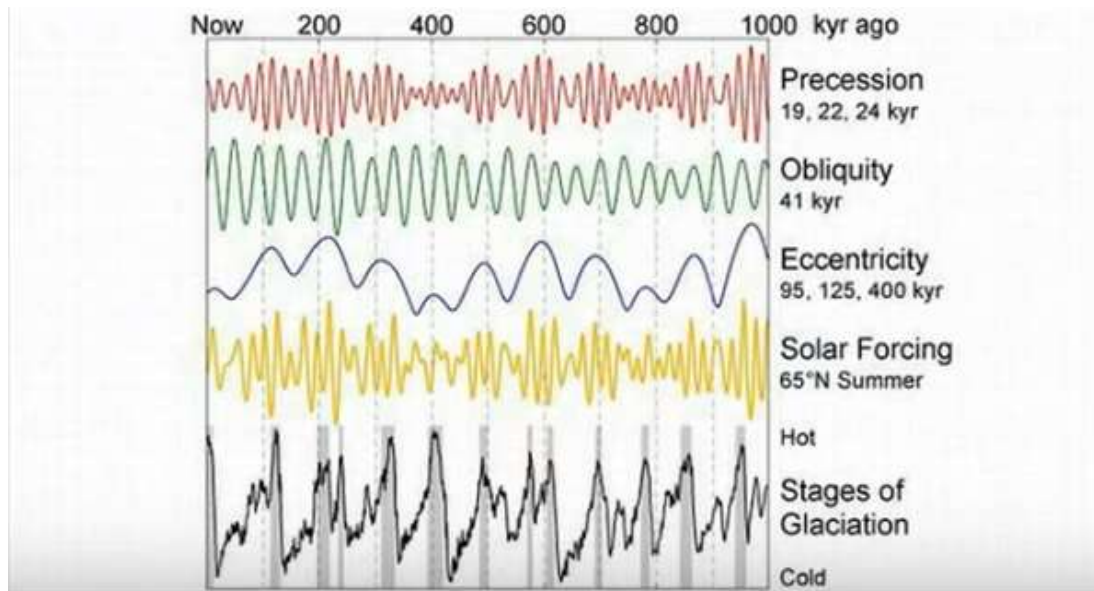
Základy Milankovičovy astronomické teorie klimatických změn lze shrnout do následujících závěrů. V krátkodobém i dlouhodobém měřítku množství sluneční energie dopadající na zemský povrch, kolísá. Místa různé zeměpisné šířky získávají různá množství tepla a v důsledku toho mají různé části oceánů, moří a pevniny rozdílnou teplotu. To se projevuje změnami atmosférického a oceánského proudění. V ročním měřítku dochází na Zemi v mírném klimatickém pásu ke střídání ročních dob (jaro, léto, podzim, zima). V dlouhodobém sledování vývoje zemského klimatu je obraz podstatně složitější, neboť je ovlivněn minimálně třemi dlouhodobými periodickými cykly:

- Cyklem sklonu zemské osy s periodou 40 000 let. Bylo vypořazováno, že změna sklonu zemské osy se pohybuje v rozmezí 21,8 – 24,4°. Tento pohyb má vliv na polohu polárních kruhů a letních a zimních obratníků (Raka a Kozoroha)
- Cyklem změny excentricity eliptické dráhy Země kolem Slunce s periodou 100 000 let. Tím se mění nejkratší vzdálenost Země od Slunce (perihelium = přísluní) a nejdelší vzdálenost Země od Slunce (aphelium = odsluní). Při velké excentricitě dráhy se tedy

²⁾ Precesi zemské osy způsobují gravitační účinky Měsíce a Slunce na otáčející se Zemi, která má tvar rotačního elipsoidu a představuje setrvačnický. V důsledku těchto gravitačních sil vykonává osa rotace Země periodický pohyb opisující tvar dvojkužele.

výrazně mění zářivý sluneční výkon dopadající na zemský povrch.

- Cyklus precese zemské osy probíhá s periodou 19 až 21 tisíc let a opět ovlivňuje množství tepla dopadajícího na zemský povrch v různých zeměpisných šířkách.



Now – současnost
kyr ago - před tisíci lety
Precession – precese,
Obliquity – sklon zemské osy,
Eccentricity – změna dráhy kolem Slunce
Solar Forcing – sluneční aktivita,
Stages of glaciation – teplota,
kyr – tisíc let

Obr. č. 8 Astronomické cykly
zdroj: Screencast-o-matic.com

2.2 Mořské proudy

Voda tvoří největší část povrchu Země. Pokrývá celkem 361,3 mil. km², což představuje 71 % povrchu planety. Voda je pořád v pohybu, a tak ovlivňuje klima, to nás nejvíce zajímá. Voda v sobě poměrně dobře akumuluje tepelnou energii = teplo, které v ní setrvává a protože je voda v neustálém pohybu, tak tepelnou energii transportuje po Zemi. Velmi dobrou akumulaci tepla vodě umožňuje poměrně velká hodnota měrné tepelné kapacity. Ta činí (4180 J.kg⁻¹.K⁻¹) a je větší než horniny, či kovy jako jsou železo a hliník. (Soukupová 2008)

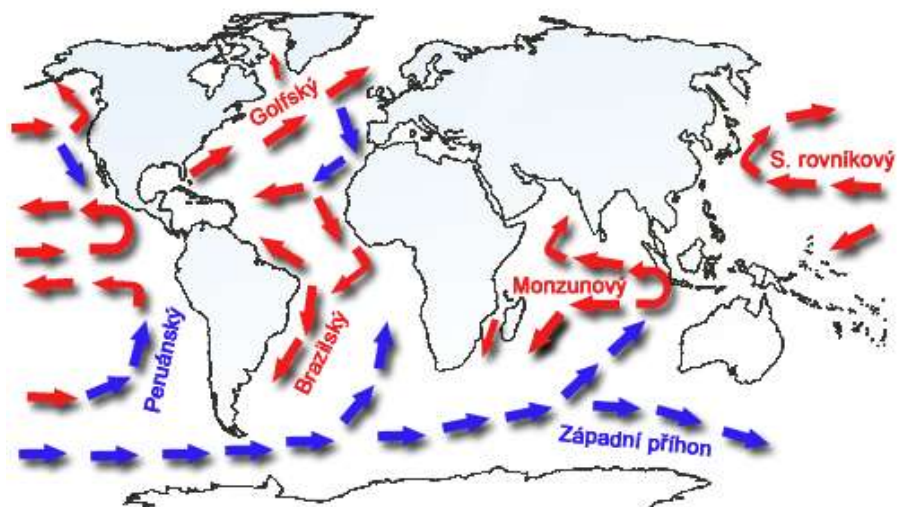
Proudění mořské vody je ovlivněno především tvarem mořského dna, které je už milióny let formováno pohybem litosférických desek, které na sebe narážejí (vzestup dna a tvoření podmořských pohoří) nebo se od sebe vzdalují (trhliny, propadliny, příkopy). Tímto dno přispívá ke směřování tras mořských proudů. (Soukupová 2008)

Vznik mořských proudů je spojen (Soukupová 2008):

- s rozdílem v hustotě mezi „patry“ vody, způsobený rozdílem v % množství rozpuštěných solí, tzv. salinitou
- s teplotou vody
- s prouděním vzduchu nad hladinou
- s vyrovnáváním úbytku vody
- s rotací země.
- se slapovými účinky Měsíce (příliv a odliv)

Salinita a teplota vody jsou hlavní příčiny, protože teplá silně koncentrovaná slaná voda klesá ke dnu. Dále je to způsobeno vysokým výparem vody, tím se voda ochlazuje a opět klesá do nejnižších vrstev oceánu. (Soukupová 2008)

Existují dva typy proudů studený a teplý. Teplé proudy vznikají především v oblasti u rovníku, studené u pólů. Tyto dva typy oceánských proudů většinou na sebe navazují a jsou vzájemně na sebe propojeny, (Soukupová 2008) viz obr. 9.



Obr. č. 9. Schematický obrázek mořských proudů Zdroj: www.in-pocasi.cz

Celek se nazývá systém globální termohalinní cirkulace (oceánský výměník tepla - THC). Má dvě větve Atlantický výměník a na protilehlé straně zeměkoule výměník Tichého a Indického oceánu. Srdce, které pohání celý systém je Antarktická cirkulace, která obepíná a stáčí celé proudění směrem na západ, díky převládajícím větrům vanoucí na jižní polokouli také na západ, do velkého oválu okolo celého kontinentu Antarktidy. V zeměpisném atlase ho lze nalézt pod názvem Západní příhon viz obr. č. 9. Tento studený proud se rozděluje na třech místech u třech kontinentů na tři dílčí proudy. U Jižní Ameriky podél Peru a Chile na Peruánský proud, u Afriky mířící do Guinejského zálivu Benguelský proud a před Austrálií na Západoaustralský proud. Tyto dílčí proudy směřující k rovníku, kde se voda rychle ohřívá a odpařuje. Tyto studené proudy od Antarktidy nahrazují vodu, která se tu odpařuje v tropickém a subtropickém páse. Odpar způsobuje, že voda je v těchto klimatických pásmech hustší a ponořuje se do hloubky, kde vznikají teplé proudy, které jsou důležité v ohřívání pevniny jako Golfský proud pro Evropu nebo Kuro-šio pro Japonsko. (Soukupová 2013)

V Atlantickém výměníku putuje studený Benguelský proud okolo jižní Afriky a stáčí se do Guinejského zálivu. Po rovníku putuje teplý Jižní rovníkový proud Sargasového moře, kde zesílí a stane se z něho teplý Golfský proud, který odevzdá teplo Evropě. V závěru cesty se smíchá s několika proudy z Grónského moře, které jsou sladké a chladné, ale obohacené minerály, potřebné k rozvoji planktonu. A vrací se jako studený proud na dně Atlantického oceánu na začátek své cesty a do srdce cirkulace k Antarktidě. (Soukupová 2013)

Výměník Tichého a Indického oceánu pohání studený Peruánský proud, který putuje podél pobřeží Jižní Ameriky (Peru a Chile) a také putuje po rovníku k břehům západní Indonésie a Filipín, kde se ohřívá a stáčí k Japonsku a pobřeží Severní Ameriky, zde se ochladí a vrací se jako studený proud na dně Tichého oceánu zase k Antarktidě. V Indickém oceánu, který je nejmenší, cirkulují do kolečka proudy okolo Austrálie, Sumatry do Arabského moře, kde se stáčí zpět k Antarktidě. (Soukupová 2013)

Pro THC je důležité, aby se nedostalo moc sladké vody do oceánu, protože je poháněná salinitou a její zředění by vedlo k změně trasy proudů. Další příčina vybočení z trasy proudů by mohla být, jak už bylo zmiňováno, změny reliéfu na mořském dnu. Ten může být způsoben pohybem litosférických desek, podmořským zemětřesením nebo výbuchem podmořské sopky. (Soukupová 2013)

2.3 Atmosférické proudění

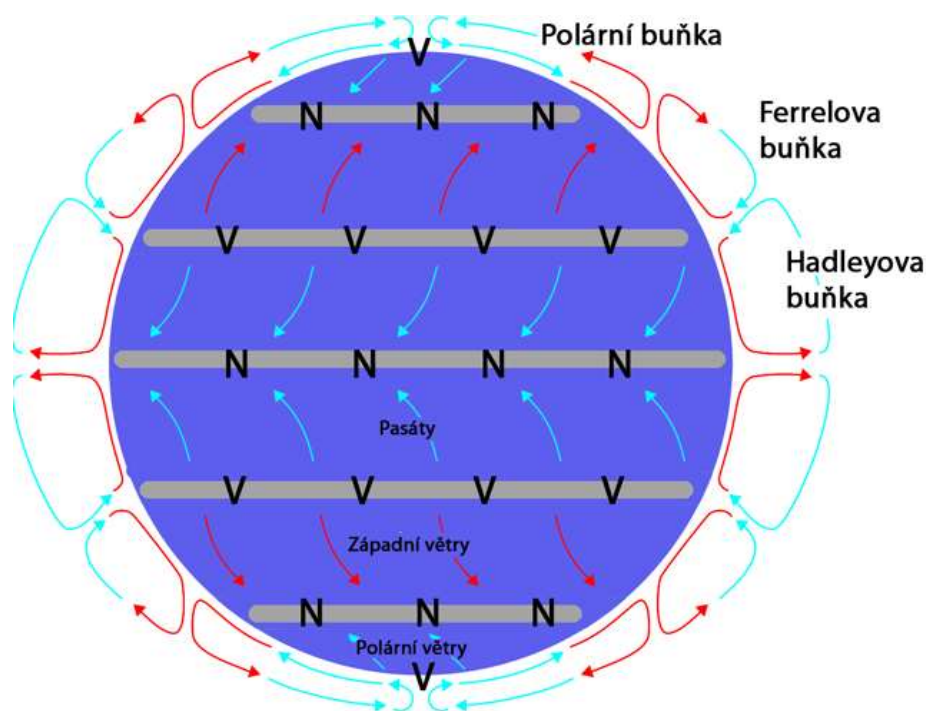
Atmosféru představuje vzdušný obal Země a vedle vzduchu ji tvoří i vodní páry, pevné (prachové) a kapalných příměsí různých původů, vytvářejí atmosférické aerosoly. Atmosféra se účastní rotace Země. (Braniš, Hůnová a kol. 2009)

“Oblast, v které žijeme, a lidstvo většinou existuje, se nazývá troposféra, Tato vrstva dosahuje v různých zeměpisných šířkách rozličné výšky. U pólů 8 - 9 km a nad rovníkem přibližně 17-18 km. Příčinou tohoto zploštění je zemská rotace.“ (Braniš, Hůnová a kol. 2009)

Zemská atmosféra se vyvíjí společně s pevným tělesem Zemí. Prošla spoustu proměn a změn, jak v poměru různých plynů zastoupených v ovzduší, tak změn průměrné teploty. Dopomohli tomu jako pozemské „katastrofy“, jako vývoj rostlin na počátku evoluce, tak výbuchy sopek, o které v této bakalářské práci jde především. Sopečná činnost přidává do ovzduší skleníkové plyny fluorovodík (HF), oxid siřičitý (SO₃), kyselinu sírová (H₂SO₄), oxid uhličitý (CO₂) a metan (CH₄) a další. Vyjmenovat, ale také musíme počítat i se sopečným prachem a popelem, který se při velkých výbuchu velkých sopek dostává do desetinásobné kilometrové výšky a tím následně ovlivňují teplotu při zemském povrchu, snižuje průměrnou roční teplotou. (Stern a kol. 2009)

Základní proudění v zemské atmosféře poprvé popisuje anglický vědec George Hagleye. Vědci byly vyzorovány tři cirkulační buňky na každé straně severní i jižní polokoule, dohromady šest proudících systémů, viz obr. 10.

Příčina tohoto systému proudění je vyvolána několika faktory, jako je např. nerovnoměrné ohřívání vzduchových mas. Tento teplotní rozdíl je zapříčiněn strukturou zemského povrchu, nad níž se vzduchová hmota tvořila, tj. zda nad oceány (maritimní) nebo nad kontinenty (kontinentální). Další klasifikace systému proudění je podle geografického místa původu arktický neboli polární, mírných zeměpisných šířek neboli polární a tropické. Velmi zvláštní jsou ekvatoriální, jenž vznikají nad Evropou a způsobují v místě původu tropickou teplotu a lijáky doprovázené silnými bouřkami. (Klabzuba 2000)



V ...Oblasti tlakové výše (anticyklóna)

N ...Oblasti tlakové níže (cyklóna)

Obr. č. 10.:Základní vzdušných proudů zdroj: www.in-počasí.cz

Tímto je jasné, že je atmosféra neustále v pohybu a že je to způsobeno rozdílem teplot tedy rozdílem tlaku ve vzduchových hmotách, které na sebe působí. Tyto procesy lze zobrazit na meteorologické mapě, vykreslením izobar, což jsou čáry, které spojují místa se stejných tlakem. (Braniš, Hůnová a kol. 2009)

Útvary, které jsou zobrazeny na meteorologické mapě, se nazývají tlaková výše (anticyklóna), tlaková níže (cyklóna), hřebeny vysokého tlaku vzduchu a brázdy nízkého tlaku vzduchu. Cyclónu a anticyklónu nazýváme oblast, kde je alespoň jedna izobara uzavřená a je v ní je buď místo s největším nebo nejnižším tlakem vzduchu. (Braniš, Hůnová a kol. 2009)

2.3.1 ESNO

Jižní atmosférická oscilace se vyskytuje na jižní polokouli a ovlivňuje počasí nad jižní Amerikou u pohoří And a nad Austrálií a Indonésií. Jako první tuto oscilaci popsal britský meteorolog sir Gilberto Walker pracující ve službách Indické meteorologické instituce. Prvním impulzem v pozorování byla skutečnost spojitosti mezi suchem v Austrálii a monzunu v Indonésii a Indii. Je to vlastně důkaz, že Walkerova atmosférická cirkulační buňka existuje. Proudění způsobují suché teplé pasáty ve vyšších vrstvách troposféry vanoucí od západu k východu, vzduch při tomto procesu chladne a stává se těžkým a klesá na západní pobřeží jižní Ameriky, v místech kde se prostírá Peru a Ekvádor, ale vysoké pohoří And ho zastaví. To zapříčiní vzniku vysokého tlaku vzduchu, ale pohoří And tvoří přírodní bariéru, která žene vzduch zpět v nízké výšce nad Atlantickým oceánem nazpět do Indonésie, Austrálie a Číny, kde vyvolává monzunové deště. Tím je kruh cirkulační buňky uzavřen. Toto proudění napo-

máhá rybářům na pobřeží, protože vyvolává vývěry studené vody plné života a minerálů, v kterém se velice dobře daří planktonu a tím pádem láká na obživu spoustu druhů ryb. (Soukupová 2013)

Atmosférický jev EL - Niño

Tento populární jev, který hýbe lidským míněním o globálním oteplování. Byl popularizován, kvůli jeho nepříznivým důsledkům na civilizaci. Je to vlastně obrácená Walkerová cirkulace, která oslabuje původní proudění ESNO a ve svém důsledku způsobuje, že monzunové deště se vyprší na pobřeží Jižní Ameriky nebo nad Tichý oceán. Celý cyklus se tedy obrací deště a vlaha neputují ve formě monzunů nad Indonésií a Austrálií. Sucho a teplé větry tím způsobují u pobřeží Peru „teplé vody“ s několika násobným výparem a tedy i s větší srážkovou četností a to může způsobit i ničivé záplavy. El – Niño oslabuje vliv Peruánského, dříve nazývaného Humboldtova proudu, tím škodí rybářům, kteří přichází o zisky z nepořízených úlovků. Nemá to jen finanční dopad, ale i ekologické, protože ryby, které se nepřesunou do chladných vod většinou následně umírají. (Soukupová 2013)

Jev je také zajímavý tím, že vědci ještě nepřišli na příčiny nepatrného zeslabení pasátů vanoucích na východ nad Pacifikem. El – Niño se opakuje většinou po cyklech 3 - 7 ročních a může trvat i jeden až dva roky. Jeho hrozba je v tom, že zatím není identifikován mechanismus, který ho spouští. Tento jev může totiž ovlivnit klimatické změny v celosvětovém měřítku. (Soukupová 2013)

2.3.2 NAO

Severoatlantická oscilace (NAO – North atlantic oscilation) je charakteristická tím, že teplý a vlhký vzduch vznikající nad Atlantickým oceánem v Oblasti Azorských ostrovů (anticyklóna) proudí do oblasti cyklón u Islandu, kde je strháván severozápadními větry, které jej ženou nad střední Evropu. Toto působení Islandské níže a Azorské výše velice ovlivňuje počasí v celé Evropě. Byl vypočten a je, zaznamenávám index severoatlantické oscilace. Je-li index NAO vysoký, tj. je-li severoatlantická cirkulace silná, umožňuje vysokému tlaku nad Azorskými ostrovy a Portugalskem vytvářet trvalé západní větry teplého vzduchu, které v létě vyvolávají silné bouře, a v zimě udržuje mírné teploty. Toto pomáhá severským zemím v Evropě, aby mohly hospodařit na polích, ve středu střední Evropy převládají spíše vlhké oceánské klima a na jihu Evropy to vede k suchému klimatu. Naopak nízký index NAO, způsobuje, že se nad Islandem drží tlakové výše a nad Azorskými ostrovy tlakové níže. Toto oslabení NAO způsobuje v Evropě mrazivé počasí, které je zapříčiněné prouděním studeného vzduchu ze Sibíře. Klima v západní a severní Evropě je vedle NAO ještě ovlivňován vlivem teplého Golfského proudu. (Fagan 2007)

2.3.3 AO

Arktická oscilace na severní polokouli, která ovlivňuje oblast středních zeměpisných šířek a polárních územích, má dvě fáze - kladnou a zápornou. Při kladné (pozitivní) fázi se nachází cyklóna nad Arktidou (Severním pólem) a anticyklóna se nachází v mírném klimatickém pásu, to způsobuje teplé počasí v krajinách nad Skandinávií a nad ostrovem Britskými ostrovy. Při záporné (negativní) fázi je postavení cyklón a anticyklón opačné a AO přináší teplo pro oblast Grónska a Kanady, vlhčí podmínky ve Středomoří a chladné počasí v části západní a severní Evropy a na většině území Ruska. (<http://gnosis9.net/>)

2.3.4 AMO

Tato oscilace je jiný druh oscilace, než o kterých jsme se doposavad zmínila, které člověk zaznamená jen několikrát za život, zde budeme mluvit o atlantické dlouhodobé oscilace. Změny trvají dvě až čtyři desetiletí, poslední zaznamenaná bylo nedávno v roce 2002. Tuto oscilaci máme zaznamenanou v sedimentech, kde se objevují od poslední doby ledové. Nacházející období tedy v chladnější etapě, teplota Atlantiku se snížila a proto se předpokládá snížení rizika hurikánů, pro Evropu přínosná vlhkost v středomořské zóně. (Soukupová 2013)

2.3.5 PDO

První zmínka o pacifické dlouhé oscilaci přišla od mořského biologa S. Harem teprve v roce 1996 na základě úlovků aljašského lososa a později potvrzena na výnosu dalších ryb. PDO ovlivňuje teplotu Tichého oceánu na severní polokouli, tzv. Pacifiku. Zvyšuje teplotu oceánu v polární oblasti, tak podporuje růst fytoplanktonu, který tvoří základní potravinový řetězec pro lososy a naopak teplejší moře v morníkovém pásmu snižuje výnos ryb. PDO tak z hlediska rybolovu funguje v opačném režimu mezi rovníkovou a polární oblastí. Její základní perioda od minima k maximu je stejně jako u AMO 70 let a její polovina je okolo 30–40 let trvající chladné a teplé období se střídají po stejně dlouhé intervaly. Při chladné fázi mohou vznikat častěji jevy La Niña a při teplé zase El Niño. (Cílek 2010)

2.4 Sopečná činnost

Jaké je sopečné riziko? Laki má interval podle zkoumání jejich uloženin asi 300 let, ale Sopečnou činnost bych zahrnula spíše jako velkou přírodní katastrofu, která má nejen bezprostřední důsledky ve svém blízkém okolí, ale jak dokumentuje tato bakalářská práce, může, samozřejmě za určitých podmínek, ovlivnit počasí na několik let do budoucna.

Naštěstí, ne každá erupce je tak silná nebo má dostatečnou výšku, aby se vulkanické plyny dostaly do stratosféry a výrazně ovlivnily globální teplotu zemského klimatu. Další podmínkou pro výrazné ovlivnění teploty je procentuální zastoupení různých plynů, z nich důležité jsou samozřejmě sloučeniny síry, které ovlivňují počasí nejvíce. (Sterna a kol 2008)

Podle článku od skupiny autorů, sdružujících se okolo vědce Roberta J. Sterna (2008) lze pokles teploty po sopečném výbuchu vyjádřit vztahem

$$\Delta T = -5,9 \cdot 10^{-5} \cdot M_s^{0,31} \quad (3)$$

Kde M_s je množství oxidu siřičitého SO_2 v gramech.

Sopečné erupce lze podle hnacího mechanismu sopečné činnosti rozdělit na erupce:

- **magmatické** - erupci má na svědomí magma, které celý proces pohání
- **hydro-vulkanické** - velký podíl na těchto erupcích má vodní pára, která se ohřívá od žhavého magmatu. Dojde-li k výbuchu sopky pouze v důsledku exploze přehřáté vodní páry, jde o freatickou erupci. Dojde-li k výbuchu sopky v důsledku společného působení magma, které se dostalo do přímého kontaktu s vodou, jde o freatomagmatickou erupci. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)



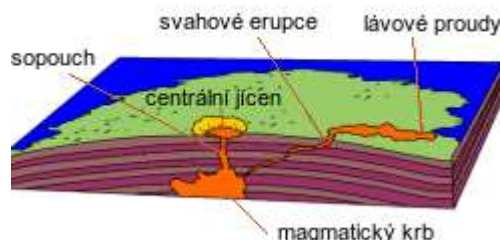
Obr. č. 11 Diagram sopečných tvarů

Zdroj: (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

V následující části bakalářské práce popíši několik typů sopek podle jejich tvarů, které jsou způsobeny rozmanitým způsobem vzniku, v němž se odráží i specifické tektonické prostředí a sloužení zdrojového magmatu:

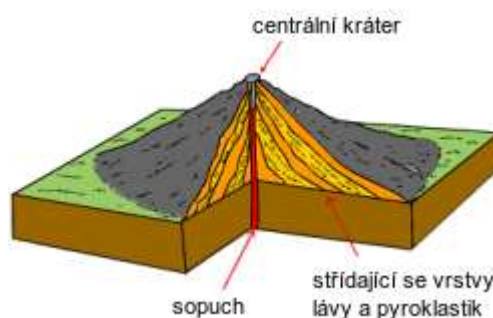
- **Konstruktivní tvary**
 - **Štítový vulkán** má typické pozvolné svahy, plochý vrchol, poměr mezi stranou a délkou bývá většinou 1/20. Tato sopka má většinou klidný typ erupce s klidným vytékáním bazaltické lávy a právě volný výtok lávy je příčinou jeho tvaru, láva se vrství. Vrchní partie jsou příkřejší, protože láva má na začátku větší rychlost, dále se u tohoto typu sopky mohou objevit svahové výlevy lávy. Lávové proudy, mohou se na vrcholu vulkánu vytvořit kaldery, který se mohou zaplnit vodou, nebo ve vyšších po-

lohách sněhem. Štítové vulkány jsou typické pro Havajské ostrovy, Galapágy, Kanárské ostrovy, Azory, Kapverdské ostrovy, dále na všech oblastech horkých skvrn, kde většinou vytváří řetězec vulkánů. V Evropě jsou také na Islandu. Dále se nachází pod vodní hladinou na středoocéánském hřbetu v Atlantickém oceánu. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)



Obr. č. 12 Průřez štítovým vulkánem Zdroj: (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

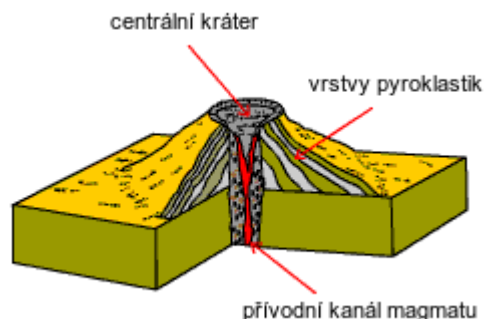
- **Stratovulkán** se též nazývá kompozitní nebo složený vulkán. Je to nejhojnější a nejničivější typ sopky a to tím, že nelze přesně určit typ ani čas erupce. Různorodost je i ve výchozích materiálech v jednotlivých částech erupční činnosti. Název stratovulkán napovídá, že materiál sopečného kužele je na sobě navrstven a střídají se dvě fáze lávy z erupce a pyroklastické materiály nebo další části, viz obr. 13, které jsou projevem lahary, neboli bahnotoků. Tímto vrstevním, vznikají u stratovulkánů prudké svahy, jejichž sklon může dosahovat až 35°. To je maximální úhel spojitosti pro nezpevněné sedimenty. Sopky tohoto typu dosahují nejvyšších nadmořských výšek. Způsob chování těchto vulkánů vede k velkým katastrofám, protože jejich nejčastější erupční činnost je pliniánská erupce, která zpravidla přichází po dlouhém mlčení sopky někdy i stovky nebo tisíce let. Stratovulkány se nachází se v oblastech pohoří And, Kamčatky, Japonska, Filipín a v Indonésii. Všechna tato místa se nachází na „ohnivém kruhu“, o kterém jsme se již zmiňovala v úvodní kapitole. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)



Obr. č. 13 Průřez stratovulkánem Zdroj: (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

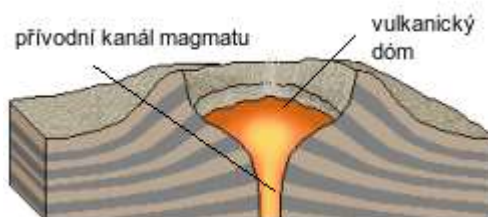
- Sypaný kužel má pravidelný kužel, který je nejmenší formou a nejjednodušší formou vulkánu. Vzniká pouze jedinou činností a to pyroklastickou, tj. materiál sopky je směsí popela a strusky uvolněné ze sopečných plynů. Tento sopečný typ se může vyskytovat samostatně nebo jako přidružený výtvar jině sopky při její erupční činnosti. Tvar je velice symetrický a soustředěný do středu, ve

kterém se nachází jícen sopky okolo kterého je na vrcholové části často nálevkovitý útvar, neboli kráter. Je zdokumentován případ, že takovýto druh sopky vznikl v roce 1943 za pouhých pár hodin na kukuřičném poli v Mexiku v oblasti Paricutín. Sopky typu sypaného kužele lze nalézt na území USA a v již zmiňovaném Mexiku. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)



Obr. 14 Průřez sopkou typu - sypaný kužel Zdroj: (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

- **Lávové dómy** tento typ se může vyskytovat jak samostatně, tak ale i na strato-vulkánu v jeho horní části. Tento sopečný typ vytváří láva s velkou hustotou, která dosti rychle po opuštění jícnu vulkánu zatuhne. Tyto sopky mají spíše ne-explozivní charakter sopečné činnosti a jejich nebezpečí spočívá především ve vytváření smrtelného žhavého mračna jedovatých plynů. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

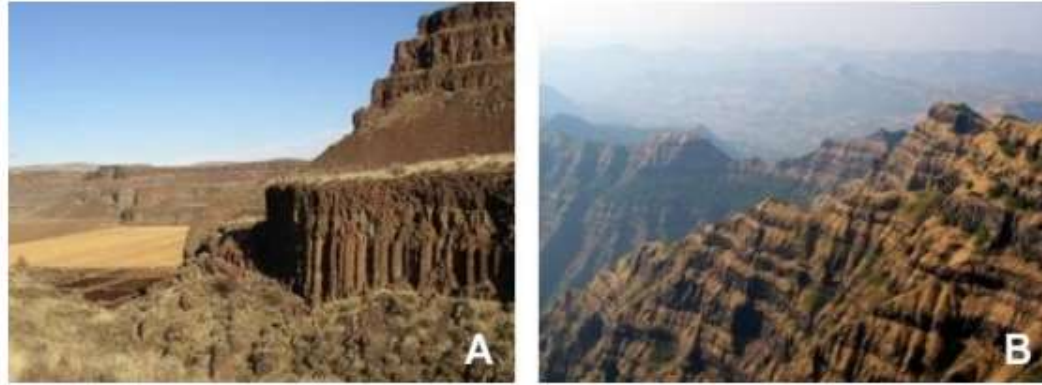


Obr. 15 Průřez sopkou typu - lávový dóm Zdroj: (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

Platobazlty

Vznikají při velkých trhlinových erupcích nad horkými skvrnami. V Evropě jsou na Islandu. Tento jev v geologické minulosti Země vytvořil mocnou vrstvu lávy, která může v určitých případech zaujímat velké plochy od mateřské pukliny. Tyto útvary nacházíme např. v Kolumbii, kde je přibližně 14 milionů starý. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

Další o mnoho milionů let starší (druho-hory) se dají nalézt v Indii na Dekanské plošině a na severu Ruska. Platobazlty z permského období zaujímají velké území na Sibiři.



Obr. č. 16 Dvě významné světové lokality platóbazaltů. A – Columbijské plató a B – Dekanská plošina v Indii
Zdroj: (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)

- **Destruktivní tvary**

- **Kráter** je prvním typem destruktivních vulkanických tvarů. Představuje kruhové rozšíření jícnu sopky, tj. depresi horní části sopečného kužele, která vzniká důsledkem explozivní erupce sopečných plynů a pyroklastik. Průměr kráteru dosahuje cca 1 km. Menších průměrů mají parazitické krátery, vznikající při dílčích erupcích na svazích sopky.
- **Kaldera** vzniká gravitačním účinkem hmoty, tj. propadem hmoty vrcholu sopky po vyprázdnění magmatického krbu a představuje druhý typ destruktivních vulkánů. Má rozsáhlý kruhový nebo eliptický tvar o velkém průměru (od 1 km až do 50 km). Velký počet kalder je v současnosti vyplněné kráterovým jezerem.

Specifický typ sopek, ležící na pomezí konstruktivních a destruktivních tvarů, tvoří **hydrovulkanické tvary**, které vznikají jako výsledek freatických nebo freatomagmatických erupcí. Tyto erupce jsou doprovázeny bouřlivými výbuchy vodní páry, která vzniká blízkým nebo přímým kontaktem povrchové či podpovrchové vody s magmatem.

Při **freatické** erupci je charakteristickým vulkanickým tvarem **maary**, tj. kruhovitě propadlé ústí sopečného jícnu bez vlastního kužele. Maary mají kráterovitý tvar, který je v důsledku výbuchů páry roztrhávající okolní horninu, vhlouben pod úroveň povrchu.

U **freatomagmatických** erupcích vznikají kolem sopečného jícnu **tufové prstence**. Tyto prstence jsou vytvářeny ukládáním pyroklastického materiálu, který vzniká při přímém kontaktu magmatu a vody.

Maary i tufové prstence jsou obvykle vyplněné vodou v podobě kráterových jezer.

(https://sites.google.com/site/vulkanizmus/sopecne_tvary)

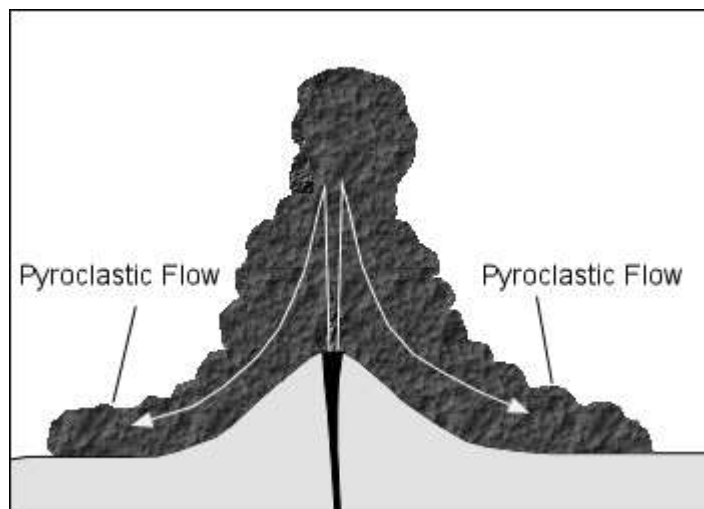
2.4.1 Jaká jsou rizika sopečné činnosti?

Např. islandská sopka Laki má podle zkoumání uloženin sedimentů interval asi 300 let, ale výlevný vulkanismus se bohužel nedaří, tak lehce předpovídat. Pro hodnocení aktivity sopek se používá, alespoň odhad pravidelnosti výbuchů pomocí stupnice VEI (Volcanic Explosivity Index). Vulkány s VEI nad 6 mají interval dvakrát za tisíc let. VEI 5 jsou aktivní po sto letech, VEI 4 se odhaduje mezidobí na padesát let, VEI 3 a nižší hrozí svou činností od denních intervalů. Tedy jsou stále aktivní nebo s rozestupem několika let. (Soukupová 2013)

Hrozby sopek jsou možné rozdělit do dvou skupin:

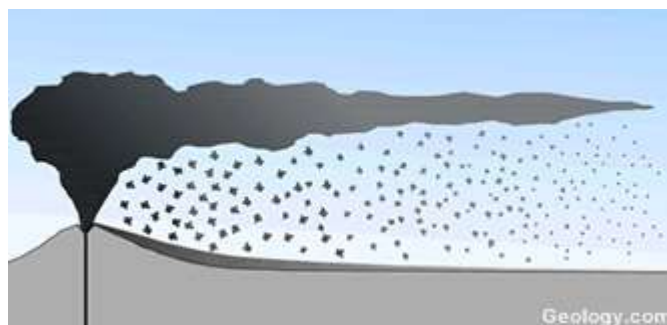
- **primární hrozby** - zahrnují jen jevy, které přímo souvisejí s vulkanickou erupcí
- **sekundární hrozby** - jsou produkovány nepřímo.

Rizika primárních hrozeb jsou jasná - výlev žhavé lávy a produkce pyroklastického materiálu. Při sopečné explozi se uvolňují žhavá mračna (obr. č. 17), spouští se lávové proudy po úpatí sopky a z jícnu sopky mohou i vyletovat žhavé kameny a popel (obr. č.18) , které mohou trefit obyvatelstvo a živočichy i několik set metrů od sopky. Sopka se dokáže i gravitačně zhroutit, viz popisy kaldery, a to může způsobit následné zemětřesení. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)



Obr. č. 17 Ukázka pyroklastického mračna Zdoj:

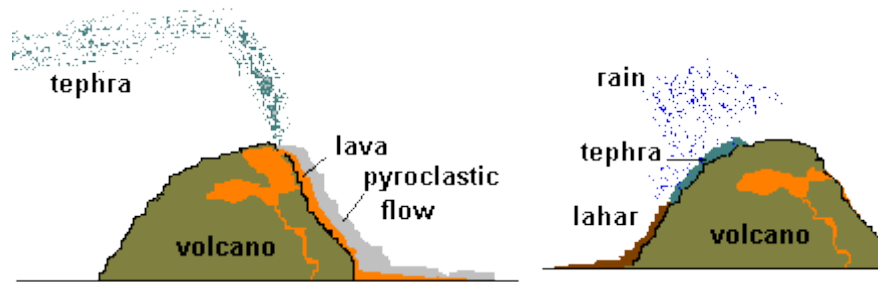
<http://earthsci.org/education/teacher/basicgeol/igneous/igneous.html>



Obr. č. 18 Schématický obrázek jak dochází v spadu popela

Zdoj:<http://geology.com/articles/volcanic-ash.shtml>

Rizika sekundární, jsou jevy, co nesouvisí přímo s vulkanickou erupcí. Jde o deformace nebo přibývání materiálu, jak magmatu, tak pyroklastických vrstev, viz obr. č. 19 a 20. Další složka, která přímo nesouvisí se sopečnou erupcí, je voda z roztátého sněhu nebo z následných dešťů. Ta může spustit laharové proudy, neboli bahnotoky nebo i velké povodně, když roztaje sníh na sopce. V oceánu může spustit vlnu tsunami, která je zapříčiněná destrukcí sopky nebo vulkanickým zemětřesením. Dalším produktem vulkanické erupce jsou plyny, většinou sloučeniny síry, které se v atmosféře dokáží přeměnit na kyselé deště. Toto vše dokáže vyvolat v dotčené oblasti zničení úrody a znehodnocení zemědělské půdy, tím vyvolat hladomory. (<https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>)



Obr. č. 19 a 20 Mechanismus jak vzniká lahar a pyrograstický proud

zdroj: <http://www.synapses.co.uk/science/mvolcano.html>

Po prostudování výše uvedených poznatků o sopečné (vulkanické) činnosti se domnívám se, že sekundární hrozby sopečné činnosti jsou ve svém důsledku ničivější, neboť při výbuchu stratovulkánu mohou například kyselá deště, pokles počtu slunečních dnů a pokles teploty trvat i několik let a tyto sekundární hrozby mohou vést ke zničení úrodné půdy pro obživu.

3. Možnosti získávání dat rekonstrukce klimatu

3.1 Přírodní archiv

Příroda nejenomže je krásná ale také moudrá. Když pomíneme chytrou přírodu vyplívající z jejích forem a úžasných proměn, nacházíme v přírodě i její historie. Tu poznáváme nejenom druhů starých několik miliónů let a žijících v prakticky nezměněné formě, ale především z fosilních pozůstatků. Především z těch lze po důkladné studii zjistit podmínky života v dané době. V této kapitole bakalářské práce se budu věnovat možnostem, z jakých zdrojů lze v přírodě získat informace o vývoji klimatu Země. (Soukupová 2013)

3.1.1 Hluboko mořské sedimenty

Mořské sedimenty pokrývají 95% dna moří a oceánů. Dokážeme je dělit podle několika faktorů (Kukal 1977), např.:

Podle vzniku:

- Klasické neboli úlomkovité (štěrky, písky, jíly)
- Chemogenní (sádrovec, některé vápence)
- Organogenní (korálové vápence, schránky měkkýšů)

Podle nové klasifikace, která bere v úvahu, že sedimenty se mísí a prolínají, tedy se tvoří typy:

- Přejídné - Jílovité
- Tmelové čili cementační (materiál má schopnost se tmelit tj. patří sem jak soli, tak horniny křemičité a vápenité)

Sedimenty lze taky rozlišit na zpevněné či nezpevněné, nebo podle hloubky kde sediment vzniká na mělkovodní a hlubokovodní, eventuálně na mělkomořské a hlubokomořské.

(Kukal 1977)

Mělkomořské sedimenty zahrnují sedimenty plážové a sedimenty pevninského šelfu podmořské části delty. Jsou to všechny sedimenty vyskytující se přibližně do hloubky 130 až 200 metrů. Tato definice je velmi nejistá, protože mezi mělkovodním a hlubokovodním rozhraním není přímá a ostrá hranice, například u delty velkých řek sahá hranice až do oceánských pánví. **Sedimenty jsou velmi různorodé, ale nejčastěji pochází z toku řek, kde jsou unášeny až do moří a tam se za určitých podmínek usazují.** (Kukal 1977)

Další možností tvorby sedimentu je, že sediment vzniká abrazí, tj. obrusem pobřežní horniny. Tato možnost v minulosti převažovala nad ostatními a předpokládalo se, že takto vzniká většina pláží. Na základě vědeckého zkoumání se však zjistilo, že takto vzniká jen 5% plážového materiálu. Abrazivní způsob tvorby sedimentů představuje i obrus korálů, jejichž úlomky se hromadí v lagunách atolů. Atol je korálový ostrov s vnitřní lagunou. Ta představuje

mořský útvar uzavřené vodní plochy, poslední stádium tvorby korálů, která vznikne po sesuvu vrcholu sopky pod mořskou hladinu. Atoly jsou nejčastěji v tropických a subtropických pásech a materiál pláží atolu tvoří části rozbitých schránek měkkýšů. (Kukal 1977)

Poslední způsob transportu materiálu na velké vzdálenosti je pomocí příbřežního proudu. Toto proudění představuje pomyslnou velkou příbřežní řeku, jejíž proud má rychlost 15 – 125 cm/s a dovede unášet velké množství materiálu, převážně jemnozrnného písku. Při postavení překážky do cesty příbřežního toku se začne materiál usazovat. Tento druh sedimentů je však na určování minulosti nepoužitelný, protože je velmi nestabilní a proto není zjistitelné, který materiál z jakého období je. (Kukal 1977)

Hlubokomořské sedimenty (uloženiny) zahrnují vše od pevninského svahu, úpatí, hlubokomořské roviny a plošiny, podmořských hřbetů, prahů, hor i dna příkopu. Uloženiny dělíme do dvou velkých skupin hemipelagické (pološiroomořské) a eupelagické (široomořské). (Kukal 1977)

Hemipelagické usazeniny jsou tvořeny více jak z ¼ z klasického hrubšího materiálu (větší než 5 nanometrů), současně musí jít o terigenní součásti, tj. součásti pocházející ze souše, např.: abrasní části křemenů, živců, slíd, tmavých minerálů a jiné. Tyto sedimenty zaujímají pás okolo pevnin, materiál získávají z delt řek. (Kukal 1977)

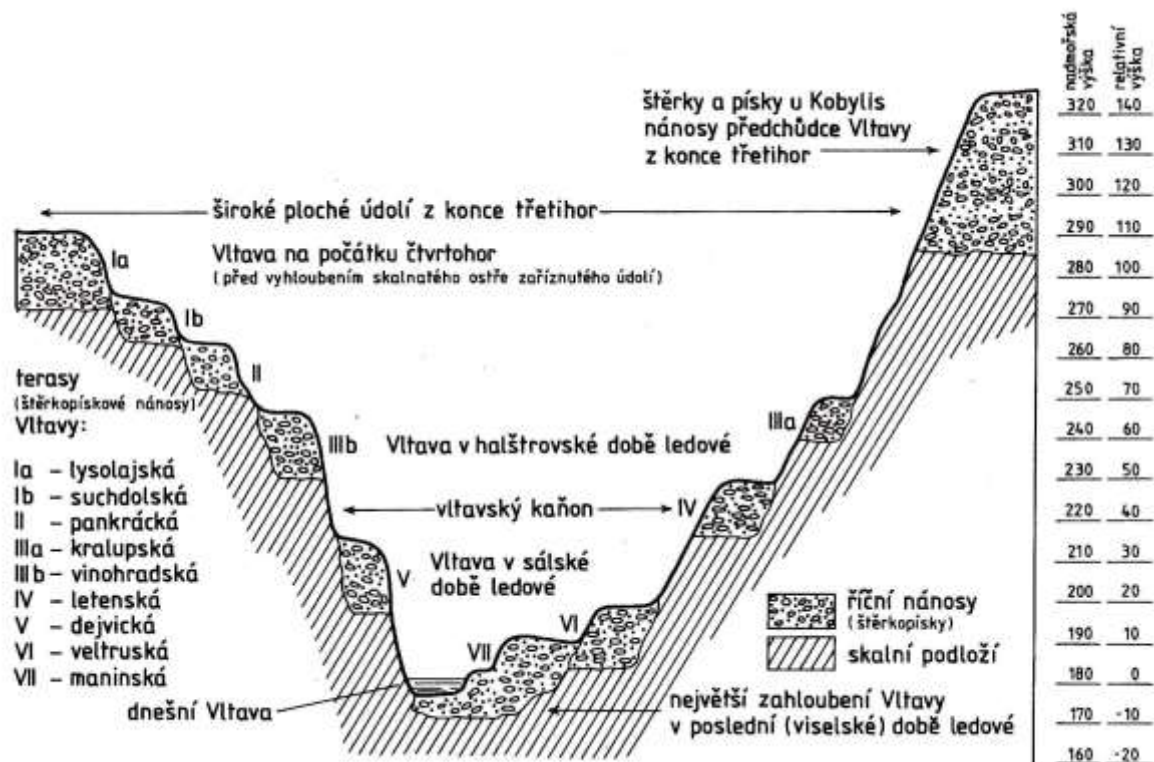
Eupelagické usazeniny jsou zastoupeny minimálním nebo žádným terigenním materiálem. Zaujímají 65% plochy mořského či oceánského dna. Složení usazenin tvoří velmi jemný jíl a ještě jemnější koloidy, tj. schránky odumřelých planktonních organismů, ze kterých se tvoří křemičitý kal, dále jsou v nich jemné vulkanické částice a materiál kosmického původu. Vulkanický jemný popel může být jak z podmořských tak z pevninských sopek. (Kukal 1977)

Při oteplování, kdy se takzvaně "pohnuly ledy", dochází k posunu ledovců, tzv. driftu ledovců směrem k rovníku. Při tomto driftu ledovec taje a v důsledku odtávání odpadají horniny, na kterých se ledovec nacházel. Tento proces vytváří Heinrichovy vrstvičky, které mají, díky složení z vápenců, světlou barvu. Takto lze od sebe ve vrtu poznat dobu ledovou a meziledovou. Dalším znakem pro stanovení období je analýza podle zbytků mikroorganismů z okolních sedimentů, rozdílů které hledáme, jsou rozinky chladnomilné a teplomilné (Soukupová 2013; Kukal 1977)

3.1.2 Jezerní a říční sedimenty

Dá se říci, že se říční a jezerní sedimenty se o mnoho neliší od usazenin v moři až na jejich kontinentální umístění. K výzkumu sedimentů se používají se stejné metody, ale nemusíme je hledat jen v říčním korytu. Jak šel čas, tak se řeka pohybuje a neustále se prokousuje okolní krajinou. Tím, jak se více a více zařezává do okolního terénu, vytváří nejčastěji terasy sedimentů. (Cílek a kol. 2004)

Příklad terasovitého reliéfu říčního koryta Vltavy dokumentuje obr. č. 21.



Obr. č. 21 Terasový systém Vltava, zdroj: (Kovanda a kol. 2001)

3.1.3 Spraše

Spraše vznikají za extrémních denních nebo sezonních podmínek, když sucho a tepelné výkyvy rozruší horninu. Vítr je hlavní příčina přemístění do rozsáhlých bez lesních ploch, kde sedimentují. Spraše najdeme na 10% zemského povrchu, tvoří je to převážně jemnozrný prach (0,004-0,06mm) dokonale vytríděná zrna, která byla transportována větrem na velké vzdálenosti. (Hošek, Horáček 2015)

Tyto podmínky už tu neexistují, takové extrémy zažila Země při dobách ledových. Tyto zdroje informací (sprašové vrstvy) se proto výhradně používají na detekci a rekonstrukci klimatu ve čtvrtohorách k zjišťování dob ledových a meziledových. (Hošek, Horáček 2015)

Metody, které se při výzkumu používají (Hošek, Horáček 2015):

- Analýza kosterních pozůstatků obratlovců a měkkýšů
- Měření magnetické susceptibility
- Geochemické analýza – prvková analýza (Hošek, Horáček 2015)

První ukazatelem, u něhož přímo víme klimatostratifické umístění v historii Země, jsou kosterní pozůstatky obratlovců a měkkýšů. Je to metoda přímá, jelikož známe druhovou skladbu živočichů i rostlin v historii. (Hošek, Horáček 2015)

Nová metoda, jež vznikla díky novým přístrojovým možnostem koncem 80.let 19. století, se nazývá měření magnetické susceptibility. Základní úvaha této metody byla, že magnetický signál zesílí na vrstvě sedimentu, která se tvořila během vlhčích a teplejších období činností

půdních bakterií, oproti surové spraši. Tuto metodu o nás používal Jiří Kukul, který i potvrdil základní úvahu, když byly výsledky této metody korelovány s izotopickou škálou hluboko mořských sedimentů. (Hošek, Horáček 2015)

Finančně a časově nenáročné metody jsou geochemické, přesněji prvková analýza. Analýza se odvíjí od diagenetických procesů (souhrn fyzikálních, chemických a biologických procesů, které mění minerální složení, texturu i strukturu nezpevněného materiálu) procesů ve spraších. Protože tyto procesy jsou do značné míry závislé na vlhkosti a teplotě okolního prostředí, lze z naměřených parametrů usuzovat na paleoklimatické podmínky. (Hošek, Horáček 2015)

Příkladem může být poměr rubidia a stroncia, tento poměr je často užívaným indikátorem intenzity zvětrávání spraší. Velice citlivě reaguje na změny tepelných podmínek, které se neprojevují ve fosilních materiálech živočichů, protože se jedná jen o krátkodobé změny, které vývoj živých organismů neovlivní. (Hošek, Horáček 2015)

K analýze klimatických změn jsou nejčastěji používány současně tři metody zároveň. Souběžně se využívá magneto-minerální a prvková analýza, neboť je to levná a rychlá metoda. (Hošek, Horáček 2015)

3.1.4 Kontinentální a horské ledovce

Ledovce jsou jednou velkou knihou, ve které je zahrnuta celá historie, která sahající až do 150 tisíc let do minulosti u starých Grónských ledovců a to na klidně i do miliónu let u polárních kontinentálních ledovců na Antarktidě. (Soukupová 2013)

Ledovce se studují s použitím hloubkových měrných vrtů. Měřením a sledováním mocnosti přírůstkových linií, se zjišťuje roční příbytek ledové vrstvy. Ledovec má velkou zvláštnost, a to že v nitru má nejmenší hodnotu teplot, některé dosahuje přibližně až - 30 °C stupňů a směrem k okraji se teplota zvyšuje. Další hodnoty, které se zkoumají s použitím prvkové analýzy a dalších chemických analýz hodnoty pH, indikující sopečné výbuchy doprovázené exhalacemi plynů, prašnosti a obsahy plynů v ledových bublinách. Z těchto informací máme představu o složení vzdušného obalu Země. (Wagner 2011)

Dále se používají se i změny izotopického obsahu deuteria (chemický izotop vodíku, těžký vodík, jádro jeden proton a jeden neutron) v ledovci. Měření se provádí rok po roce dokonce i rozlišováním všech čtyř ročních období. Tato metoda byla použita při mezinárodních projektech GISP-1 a GISP2, která se prováděla výzkum v grónském ledovcovém příkrovu. Zmíněné vrty mají výjimečnou váhu pro malou dobu ledovou, která probíhala letech 1400-1850, viz. Obr. 3. (Acot 2005; Fagan 2007; Wagner 2011)

Vedle kontinentálních ledovců jsou známé i jiné typy ledovců a to jsou horské ledovce. Ty najdeme ve vysokohorských pohořích, například v Alpách je to Kaprunský ledovec nebo v Andách v Peru ledovec Quelccaye. I jejich zkoumání, přináší celou řadu informací o vývoji klimatu na Zemi a vlivu sopečné činnosti na změnu klimatu. Pomocí výše uvedených technik a metod byl vypátrán podstatný fakt, a to, že teplotní změna neboli raději teplotní šok je náhlý a rychlý, odehraje se za velmi krátkou dobu tedy za několik desítek let, a pak následuje stabilní období, které je několikanásobně delší. (Svoboda 2002; Wagner 2011)

3.1.5 Korály, letokruhy stromů a krápníky

Korál je označení pro některé mořské žahavce, které zůstávají v životní fázi polypů. Jsou to živočichové, kteří narůstají a zaznamenávají a někdy i uchovávají záznam o okolní teplotě, složení ovzduší, salinity moře. Stromy ovlivňuje i vlhkost, počet a míra srážek, změny v půdní struktuře. (Soukupová 2013)

Růst stromů ovlivňuje i vlhkost, počet a míra srážek, změny v půdní struktuře. (Soukupová 2013). Výzkum růstu letokruhů stromů (Dendrochronologie) se před šedesátými lety 20. století omezoval jen na Spojené státy americké, kde působil astronom Andrew Douglass, který se díky svému výzkumu v objevování korelace mezi letokruhy a cykly slunečních skvrn stal ve vědeckém světě nesmrtelný. Jeho projektem bylo i zkoumání vyschlých dřevěných nadokenních překladů indiánských obydlí. Díky tomuto výzkumu, tento renomovaný vědec mimo jiné určil stáří starověkých indiánských puebel (terasovitě vyvýšená vesnice). (Svoboda 2002)

V Dendrochronologii je zaznamenáván i nový vývoj od pozorování výlučně sezónních dešťů, dnes dokáží vědci díky moderním pokrokům rekonstruovat i vývoj teploty. Záznam a výzkum dat (poznatků z růstů letokruhových sekvencí) z více než 380 lokalit z různých zemí umožňoval vědcům vytvořit graf o proměnlivosti teploty, jež dosahuje do historie Husitských válek, tedy do začátku 15. Století. Tato data jsou nadmíru spolehlivá až od roku 1600, v opačném časovém směru je spolehlivost nižší, neboť mohou některé úseky dat chybět. (Briffa, Osborn 1999)

Krápník zachycuje vodu ze srážkové činnosti, a proto na nich najdeme informaci o přesném složení vody ve srážkách, nejzajímavější jsou kyselé deště. (Soukupová 2013)

3.1.6 Pylová zrna

Z rozboru pylových zrn, které byly nalezeny v krasových jeskyních, v pískových převisích nebo v rašelinách, kde jsou poměrně dobře konzervovány, lze získat dosti jasnou představu o celkové vegetaci a proměnlivosti krajiny. Tato pylová zrna můžeme korelovat s předměty, které najdeme u nich, jako jsou střepy nádob a ozdob. To zpřesňuje datování i na 10 až 100 let. (Soukupová 2013)

3.2 Kroniky, záznamy (Historické prameny)

U nás v Evropě nejsou záznamy tak staré jen asi 1000let. Oproti tomu Čína má vlastní zápisky z období okolo 2 až 1 tisíce let před Kristem. Sopky popisovali jako draky, co sestupují z hor. Záznamy poukazují hlavně na extrémní (výjimečné) události - krutá zima, vysoká sněhová pokrývka, zamrznutí řeky), katastrofální sucha (př. vyschlá koryta řek), letní sněhy a mrazíky, ničivé povodně. (Svoboda 2002)

Záznamy, které lze k významu klimatu použít, jsou nejen ukazatele počasí ale i zemědělské deníky. Tyto deníky sledovaly počasí nejvíce, protože na něm bylo obyvatelstvo nejvíce závislé. Najdeme v nich záznamy, jaká byla úroda, kdy se sázelo, datum sklizeně (vinobraní), velikost úrody. Důležitou informací jsou i finanční záznamy jako ceny zemědělských plodin (je zřejmé, že když byla úroda malá cena plodiny se zvýšila, protože jí byl nedostatek).

Z pohledu vlivu sopečných erupcí nejsou důležité jen zprávy o úrodě, ale také astronomické úkazy, jako zprávy o dlouhém zatmění hvězd, které trvalo třeba i několik měsíců. To poukazuje na popel ve stratosféře, který má za následky výbuch sopky anebo je viditelná červená zář okolo Slunce. Sledování oblohy bylo důležité. (Svoboda 2002)

Při analýze těchto dat je nutné brát v potaz i psychologii pisatele. Je zřejmé, že když se výjimečná událost opakovala několikrát za sebou, kronikáři ji přestali vnímat jako výjimečnou. Na vnímání výjimečnosti (extrému) události má vliv i věk pisatele nebo kronikáře, mladý člověk vidí více extrémů než starý zkušený člověk, který už ledasco viděl. Tyto záznamy jsou hlavně užitečné, protože lze událost jasně datovat, nejsou to odhady deseti nebo stovek nebo snad tisíce let. (Svoboda 2002)

V českém království lze nalézt první písemné záznamy o počasí v Kosmově kronice z roku 1092, viz citace: „A v samý týden velikonoční, dne 1. dubna, napadlo množství sněhu a uhodily takové mrazy, jako málokdy bývá uprostřed zimy.“ Tato kronika je psaná latinsky a kronikáři z ní čerpali informace ještě 400 let. Kronika česká má i velkou důvěryhodnost, protože pochází z Kosmova života a tudíž nemusel poznámky o počasí přebírat od jiných autorů. (Krska a kol. 2001)

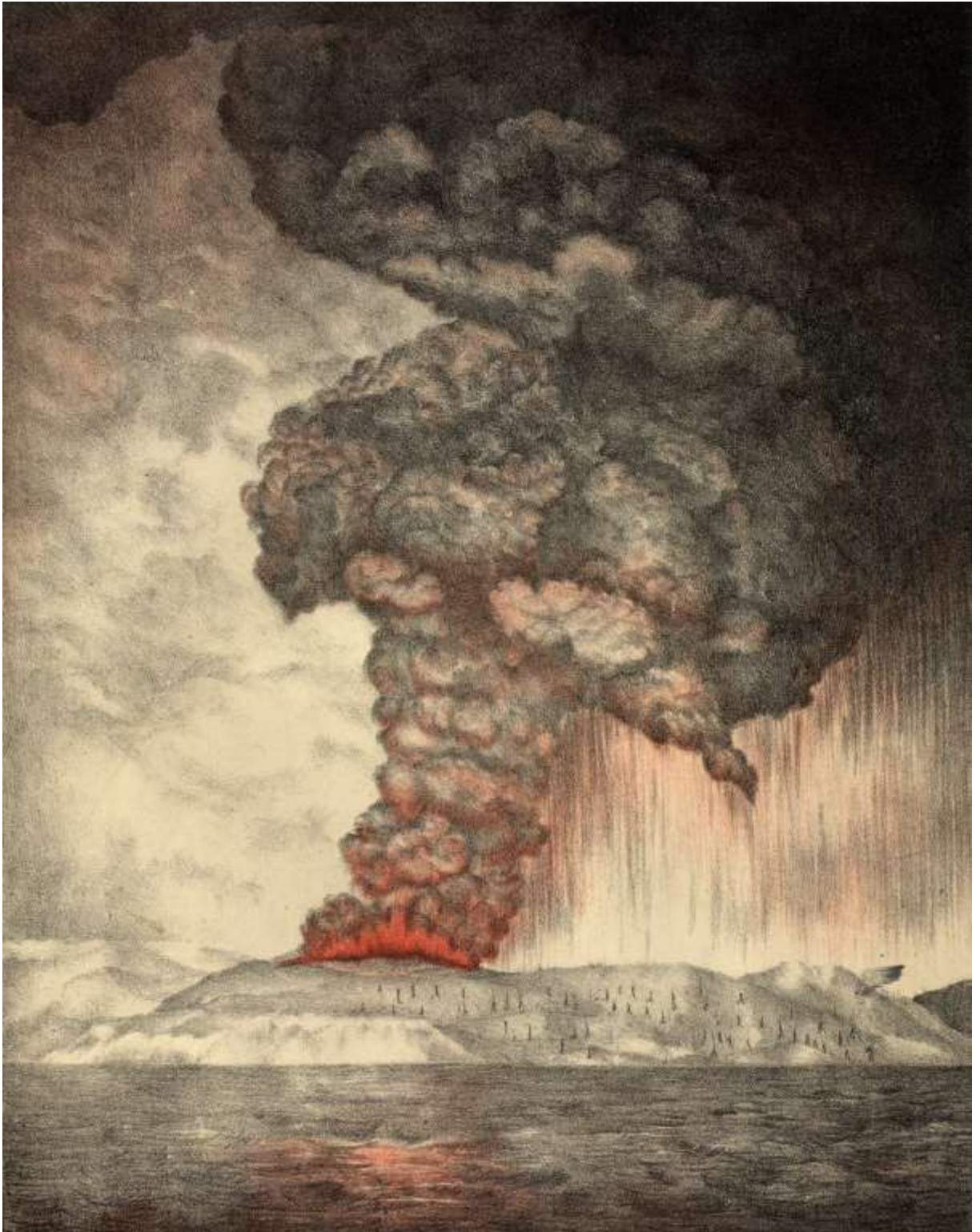
V Klementinském ústavu pro měření klimatických hodnot zaznamenávají data o počasí pravidelně už od roku 1775.³⁾ Je to nejdelší souvislá řada dat na světě v pozorování teplot od roku 1771. Od roku 1804 se k tomu se přidalo pozorování a zaznamenávání intenzity srážek. Ředitel Antonín Strnad připojil Pražskou hvězdárnu do mannheimské sítě⁴⁾ a získal zdarma nové a vylepšené přístroje pro měření, teploměr, vlhkoměr a tlakoměr, vše chráněné ve dřevěné skřínce s vyvrtnými otvory. (Krska a kol. 2001)

³⁾ Nejvíce se o toto zasloužil Antonín Strnad, který byl v této době ředitelem její hvězdárny. Tento pán byl velice ambiciózní člověk, stal se děkanem fakulty i rektorem univerzity Karlo-Ferdinandovy. Byl velmi aktivním členem České společnosti nauk, ve které publikoval záznamy z měření teplot z roku 1791, nejen z Prahy, ale i z jiných měst, jako např. z Telče a Chýně. Jako vlastenec podporoval vesnice i jiné meteorologické stanice v zaznamenávání počasí a také jim půjčoval potřebné vybavení.

⁴⁾ Mannheimskou meteorologickou síť založil německý kurfiřt Karl Theodor Falcký roku 1763 s cílem vybudovat soustavu meteorologických stanic po celé Zemi a tím ji pozvednout na mezinárodní úroveň.

4. Významné sopečné erupce v posledním tisíciletí

4.1 Erupce neznámé sopky v roce 1258 - (sopka Samalas)?



Obr. č. 22 Dobová kresba zachycující výbuch sopky Samalas asi roce 1258 Zdroj: (Arnos 2013)

Z letokruhů na stromech na severní polokouli lze pozorovat významné ochlazení v letech 1258 až 1259. Historické kroniky hlásí masivní srážkové extrémy, vážné poškození plodin a hlad po celé Evropě v 1258.“ (Timmreck a kol. 2009)

Na tento rok, podle mého hledání ve více zdrojích, máme více možných výbuchů, ale nejpravděpodobnější variantou je, že jde vulkán Samalas (obr. č. 22).

Před rokem 1258 byla na Zemi velká intenzita sopečné činnosti. Proběhlo několik velkých sopečných výbuchů. V roce 1257 byly zaznamenány erupce různě propojených sopek v Mexiku, v Ekvádoru a i na Novém Zélandu. (Soukupová 2013)

Tyto poznatky byly získány ze zkoumání geochemie v ledových jádrech sopky. Tyto výzkumy jsou velmi důležité, neboť každý sopečný výbuch je zaznamenán jako „jedinčný otisk prstu“, protože každá sopka má individuální procentuální složení plynů. (Soukupová 2013)

Studie týmu, prováděné na ostrově Lomboku v Indonésii poukazují na 40 km³ skály a popela, které mohly být uvolněny výbuchem ze sopky. Nejjemnější materiál z erupce vytvořil oblak, který se pravděpodobně vyšplhal do 40 km výšky nebo více. Výbuch musel být velký, protože se sopečný materiál našel v rámci celé zeměkoule, nemalé množství se našlo v ledovci jak v Grónsku i v Antarktidě. Na klima na Zemi to mělo značný vliv. Středověké texty popisují následujícím létě v roce 1258 úděsné počasí. Byla zima a byl neúprosný intenzivní déšť, který vedl k mohutným záplavám. Archeologové nedávno uvedli datum 1258 na kostrách tisíců lidí, kteří byli pohřbeni v masových hrobech v Londýně. Nemůžeme s jistotou tvrdit, že tyto dvě události mají spojitost, ale tuto klimatickou změnu pocítila lidská populace na celé zeměkouli, tvrdí profesor Lavigne z BBC News. (Arnos 2013)

Z erupce byl rozptýlen popel od pólu k pólu, jako zdroj popela byla označena sopka Samalas na indonéském ostrově Lombok. Výzkumný tým pod vedením geografa Francka Lavigne z Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, stanovil datum sopečné události na období od května do října roku 1257. Objevy byly zveřejněny ve sborníku Národní akademie věd. (Arnos 2013)

„Dříve se nevědělo, jak velká erupce to byla. Teď vědci odhadují, že byla osmkrát větší, než slavný sopečný výbuch Krakatau (1883), kde zemřelo 92 000 lidí a dvojnásobná, než erupce Tambory v roce 1815, kde zahynulo 36 000 lidí. Až dosud jsme si mysleli, že erupce sopky Tambora byla největší erupci za posledních 3 700 let, ale studie ukazuje, že tato událost z roku 1257 byla ještě větší.“, řekl Franck Lavigne (Arnos 2013)

K tomuto ochlazení lze dohledat i v českých pramenech (Svoboda, Vašků, Cílek 2003), citují: „ Zima i začátek jara byly velmi studené, píše Antonín Strnad v roce 1258, pozoroval silný led na Vltavě až do 24. března. Mrazíky na jaře poškodily ovocné sady a vinice.“ Následující rok zaznamenal Daniel Adam z Veleslavína drahé potraviny a další tvrdou zimu.“

4.2 Výbuch sopky Huaynaputina - 1600

Peruánský vulkán Huaynaputina, nacházející se v jižní části Peru poblíž hranice s Bolivií, není typický stratovulkán, jak byl definován v kapitole 2.4.1. Ve výšce 4 200 m má čtyři otvory, které jsou vnořené do podlaží podkovitě tvarované kaldery, snížené na východním okraji z vysokého sopečné náhorní plošiny ke kaňonu řeky Tambo.

V období od 19. února do 6. března 1600 proběhla největší sopečná erupce v historii And. Pliniovský typ erupce a následné exploze a pyroklastické proudy pohřbily 7 vesnic a zemřelo 1500 lidí. (Fagan 2007)

Výbuch vulkánů zdevastoval a zpustošil západně od vulkánů oblast eliptického tvaru o rozměrech okolo 70 x 40 km. Pyroklastické proudy udusily kaňon řeky Tambo, byly zatraceny dvě dočasná jezera (Thouret 1999)

Katastrofa prolomila jezerní hráze a proudy vody a bahna zmetly 120 km dlouhé údolí, mířící k Pacifiku. Pliniovská erupce, způsobená výbuchem plynů, které se nahromadily pod ucpaným kráterem, roznesla materiál západně a severozápadním směrem k Pacifiku na plochu větší jak 115 000 km². Sypný objem vyvrženého materiálu je odhadován na 10,2 – 13,1 km³, z toho skalní materiál činil asi 4,4 až 5,6 km³. (Thouret 1999)

K počasí v roce 1600 jsem z historických zápisů získala následující popisy (Svoboda a kol. 2003):

„ ROK 1600

Zima v roce 1600 byla velmi tuhá a bohatá sněhem. Pro veliké mrazy na řekách se zastavili mlýny a zamrzaly i studně. Velmi chladné a vlhké bylo i jaro. Sněhové přehánky a silné poklesy teplot s mrazy a mrazíky se vyskytly např. ve dnech 2. až 4. dubna, 10. dubna, 27. a 28. dubna a ve dnech 2. až 4. května a na počátku třetí květnové dekády. Pomrzly květy ovocných stromů. Léto tohoto roku lze hodnotit jako teplotně normální a vlhké období. Pouze srpen byl velmi teplý a až do poloviny poslední srpnové dekády suchý. Žně začaly pro nepříznivé jarní a letní počasí až počátkem srpna. Podzim byl jako celek chladný, vláhově vyrovnaný. Časně mrazíky se dostavily již ve dnech 25. až 27. října, další silné ochlazení se ohlásilo ve dnech na počátku druhé listopadové dekády a další již mrazivé několikadenní období přišlo na počátku druhé dekády prosince. Vinobraní tohoto roku bylo špatné, víno bylo kyselé. Velmi teplo ale bylo od 17. do 24. prosince, kdy se oralo a silo a byly pěkné dny jako na jaře.

ROK 1601

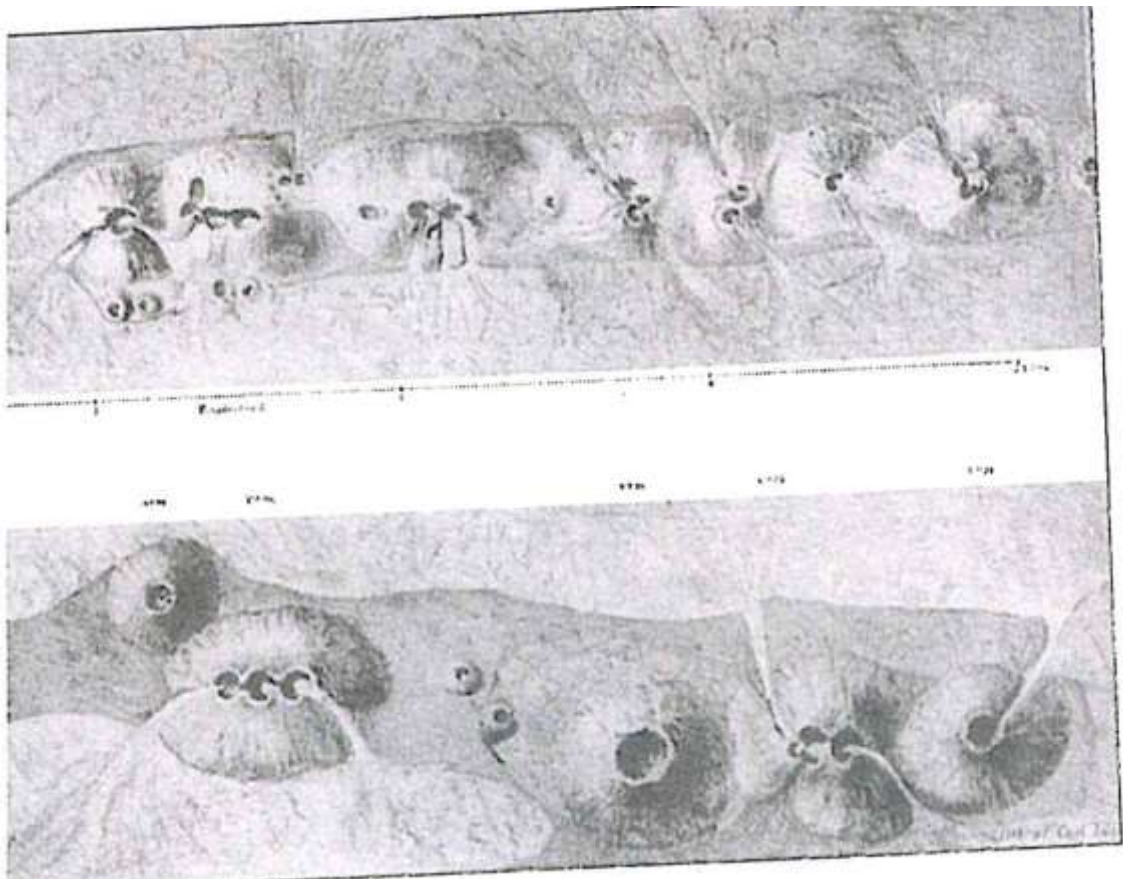
Zima roku 1601 byla velmi teplá. Téměř po celou tuto zimu se pracovalo na polích. Rovněž jaro bylo teplé a vláhově vyrovnané. Pouze 26. a 27. dubna padal sníh s deštěm.... „

4.3 Islandská sopka Laki - 1783

V roce 1783 se přihodilo více zvláštních jevů, jako například zemětřesení v ne tak seismických aktivních oblastech, které začalo v květnu na území Německa, v červenci ve Francii a na konci léta v srpnu ve Velké Británii. Význačné byly i sopečné aktivity, které se projeví na jaře v Japonsku sopkou Asama, vulkanickou činností na stupnici VEI číslem 4.

Sopečná aktivita se projevila v srpnu lávovými proudy, které tekly z vulkánu Vesuv v Itálii. Ale na Islandu nebyla sopka Laki jedinou aktivní toho roku, byli další tři, podmořská sopka Nyey, další sopky jsou už na pevnině Reykjanes a Grímsvotn. (Soukupová 2013)

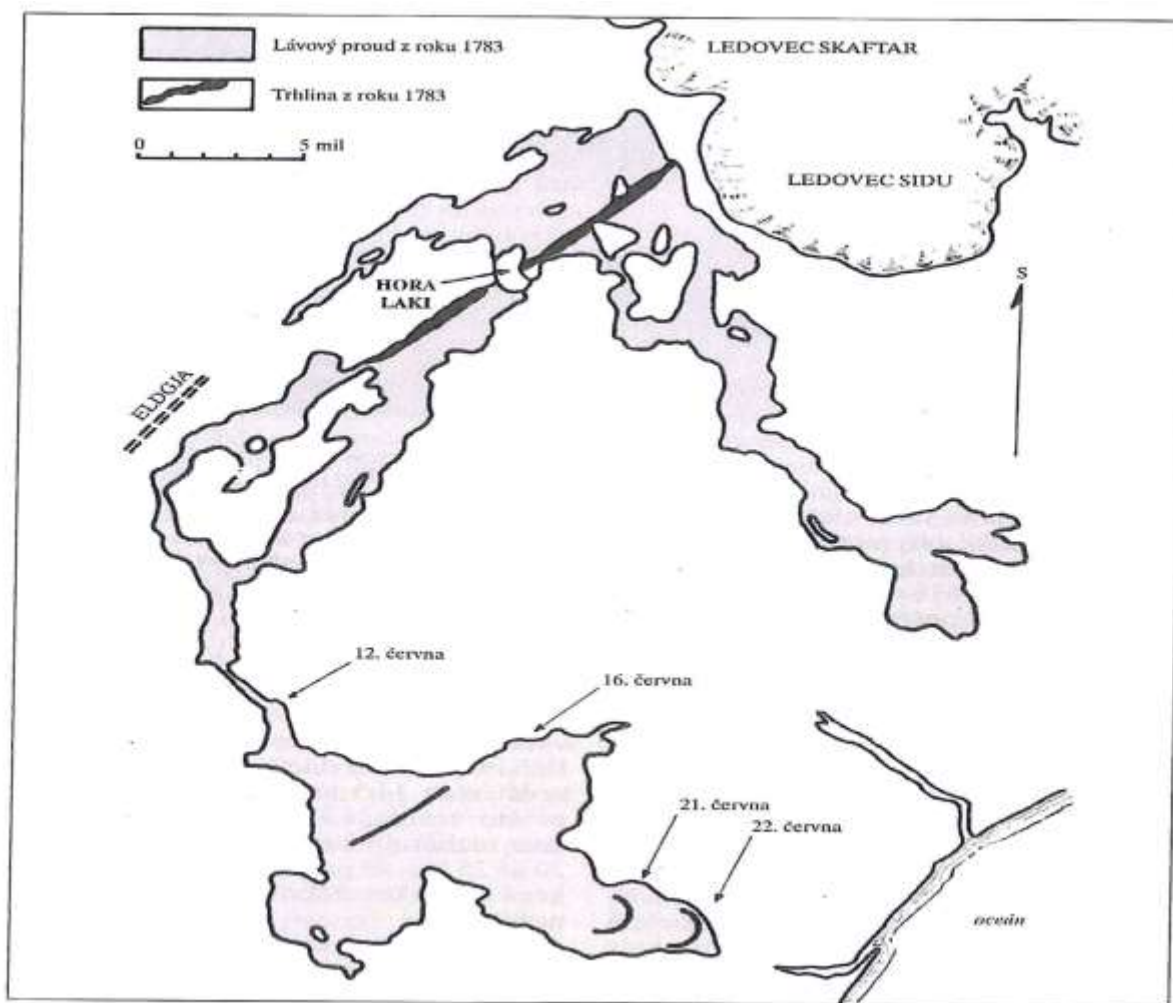
Vulkán Laki se nachází v jižní části ostrovu Island a dosahuje výšky 828 m. Erupce začala v 9 hodin ráno 8. června 1783. Laki není samostatná sopka se samostatným magmatickým krbem, ale je spojena složitou sítí kanálů. Při explozi vznikla trhlina, při které se propojily různé sítě kanálů, a do několika hodin vznikla řetězová reakce, kdy se v délce 25 km ze 115 sopečných kuželů začala vylévat láva, viz obr. 24. První dny vulkány produkovaly spoustu lávy, prachu a popela. Hustota popela v atmosféře byla tak vysoká, že na celém ostrově musela svítit pouliční světla přes celý den. Popel samozřejmě pokryl většinu povrchu ostrova. (Svoboda 1998)



Obr. č. 23 Letecký snímek kráterové řady trhliny Laki Zdroj: Svoboda 1998

Trhлина vytvořila dvě větve, viz obr.25. Jihozápadní část trhliny chrlila lávu do výšky 30 m v době od prvních náznaků aktivity 8. června do 29. července. Při takto rozsáhlém výlevu žhavé lávy byl v okolí značný žár, voda se při styku s lávou a její blízkosti vypařovala. Tento lávový proud zaplnil celou ledovcovou řeku Skalfjá, z vody vznikl obklad páry a koryto řeky

zaplnila láva, která přetékala i přes břehy a zaplavovala nejbližší okolí. Řeka nasměrovala tok lávy přímo k moři, proud urazil za jediný den vzdálenost 14,5 km, což je nevídaná rychlost. Lávový proud dosáhl 80 km délky a v moři do které se vylil, vytvořil vějířovitý útvar o průměru 20 až 25 km. Druhá severovýchodní část trhliny začala produkovat lávu až od 29. července, také zalila lávou řeku Hverfisfljot a její řečiště, tento tok vede paralelně s řekou Skalftá. Podle naměřených dat byla v prvních 50 dnech rychlost výlevu lávy až 5000 m³ za sekundu. Celkové množství vyteklé hmoty činilo cca 19 km³ a vědecké odhady tvrdí, že bylo jedno z největších od poslední doby ledové. (Svoboda 1998; Soukupová 2013)



Obr. č. 24 Mapa dvou větví lávového proudu u trhlinové erupce Laki Zdroj: Svoboda 1998

Jak bylo následně zjištěno, že sopečné plyny v této události hrály hlavní roli. Vyprodukovaly cca 90 miliónů tun kyseliny sírové, 122 miliónů tun oxidu siřičitého, 6,8 miliónů tun kyseliny chlorovodíkové, 15,1 miliónů tun chlorovodíku. To změnilo počasí na celé severní polokouli na několik let. Sopečné plyny se dostaly až do výšky 9 – 13 km, což znamená, že zasáhly horní troposféru, ale i spodní stratosféru, kam vystoupal jen 35% z celkové masy plynů. Díky datům, která byla už denně zaznamenávána (nejčastěji teplota), víme, že po erupci teplota poklesla v průběhu 2 až 3 let o 1,3 °C od průměrných hodnot té doby. (Thordason, Self 2003)

Vulkanický oblak, plný síry a jiných jedovatých plynů, byl transportován díky atmosférické-

mu jevu „polární jet stream“ a putoval nad celou Evropou přes nejbližší Faerské ostrovy, poté byl sponzorován námořníky nad Norským územím a částečně i ve Skotsku. Následují jeho záznamy z 16. června 1783 z observatoře v pražském Klementinu. Následující den byl zaznamenán v Německu a další den ve Francii. Poslední záznamy z Evropy mluví o době okolo 22. až 25. června téhož roku v Anglii. Aerosolové částičky, vulkanického původu, se v atmosféře šířily po celé severní polokouli a doputovaly až do Japonska. (Stothers 1996)

Pastor luteránské církve zaznamenal tuto událost, těmito slovy: „ Na konci června v jeden týden padlo na naší zemi více jedu, než je možné vylicít, je to směs sopečného popela, deště plné síry a ledku a to vše promíchané s pískem. Na volně se pasoucím skotu bylo pozorovatelné zbarvení nozder, čenichů a noh do žluta a v pozdějším stádiu z nich opadávaly kusy kůže. Veškerá vegetace před příchodem lávy zuhelnatěla a voda měla teplotu jako horké lázeňské prameny a ještě byla změněna její barva na světle modrou nebo na popelavě šedou, to bylo zapříčiněno sesuvy půdy.“ (Novák 2011)

Počasí na začátku léta bylo velice extrémně teplé, to zapříčinily tlakové útvary (anticyklony), jak jsem vysvětlila v předchozí 3. kapitole.

Vysoká koncentrace SO₂ v troposféře způsobila v létě nadprůměrně teplé počasí. Silná koncentrace kondenzačních jader způsobila to léto velice silné bouřky. V meteorologii v této době nebyly tak moderní přístroje, které by zaznamenávaly srážkovou činnost a proto se v této kategorii meteorologických jevů musíme spolehnout na subjektivní pozorování a jejich písemné nebo grafické dokumenty (např. deníky, kroniky, reálné obrazy).

Rozeznat intenzitu bouřkové aktivity v letních měsících je těžké, protože je v našich krajích v letním období normální. Na záznamech z roku 1783 se našla zpráva o velice silné bleskové aktivitě. V důsledku blesků byly zaznamenány újmy na životě nejen několika lidí, ale i na jejich obydlí a na hospodářských zvířatech. Výjimkou v této době nebyly silné větry, krupobití nebo regionální záplavy. Znepokojivé zprávy lze nalést na několika místech v Evropě, vše zaznamenaly dobové noviny a časopisy. (Soukupová 2013)

Anglický zdroj „The Gentleman's Magazine and historical chronicle“ uvádí po rok 1783 několik nečekaných zpráv o bouřkové činnosti s ošklivými následky. Dne 6. července došlo v Krakově, který leží v Polsku, k velké bouři s následným ničivým požárem způsobený bleskem. Ten zapálil 12 obydlí, kde zemřelo i několik osob. Dále uvádí velkou škodu ve Španělsku, kde shořelo několik domů a malých obchůdků. Následují silné bouře ve slovenské Kremnici, kde intenzivní srážky způsobily požáry, ztráty na 50 životech, ale i lokální záplavy. V nizozemském přístavu Flushing, dnešní Vlissingen, se blýskalo 10. července, což mělo za následek zničení několika lodí. V neposlední řadě se článek zmiňuje o 15 obětech věřících v kostele na území Ženevy. Závěrem všichni shrnují, že takové hromy a blesky už dlouho nepamatují, ani ti nejstarší obyvatelé. (Novák 2011)

V českých zemích, také nacházíme záznamy o přívalových deštích a blescích, co zapalovaly domy. Jako příklad uvádím: „ Ve vsi Lstiboř zaznamenal místní lidový autor Jan František Vavák, že na svátek sv. Prokopa udeřil hrom do chalupy sedláka, od kterého shořela hospoda i sousední stavení. Dále díky jeho zvědavosti víme, že se v novinách píše o regionální statistice, o zvýšeném počtu lidí zasažené bleskem, jen v okrese Kouřim napočítali 50 osob a

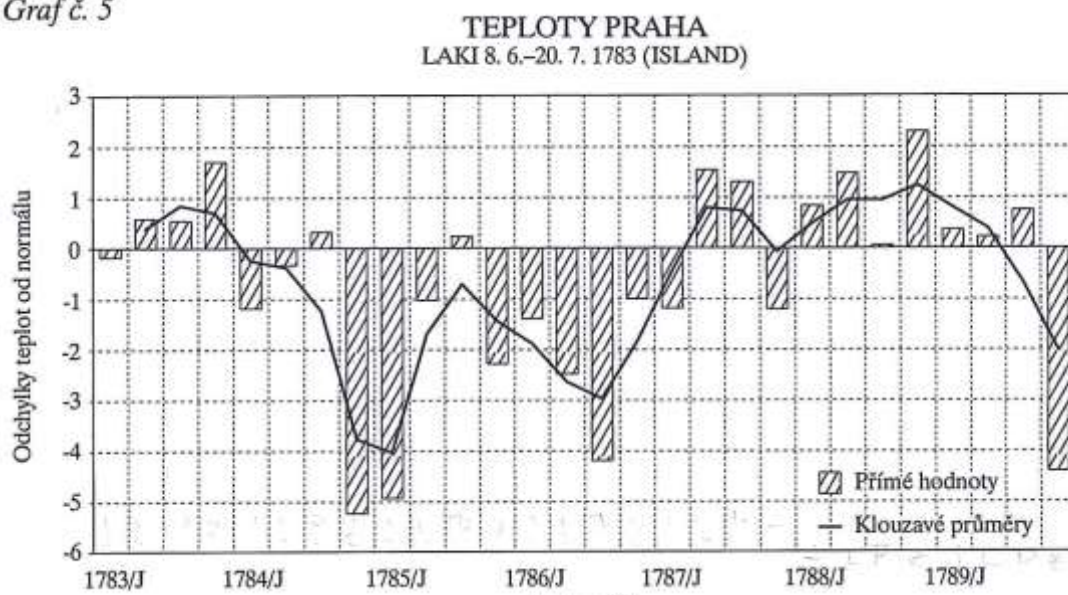
celostátně se píše o 416 obyvatel. (Soukupová 2013)

Dalším skvělým zapisovatelem těchto událostí se stal obuvník Šimon Špaček, který také popisuje velice časté bouřky a hromobití. Ale co je pro nás velice důležité, jsou jevy viditelné na obloze, zmiňuje se o tmavém a červeném měsíci v době června a července. Dále nepropustné mlhy, které bránily skoro 4 týdny pronikat Slunci na zem a ohřívát ji. Paprsky pronikly mlhou až dvě a půl hodiny po východu a přestaly už dvě hodiny před západem Slunce. (Soukupová 2013)

V pražském Klementinu působil jako ředitel observatoře, znamenitý meteorolog Antonín Strnad, který je považován za zakladatele české moderní meteorologie. Začal s denními záznamy teplot od začátku roku 1775 v Klementinu, protože byl velice ctižádostivý a aktivní, doplňoval i projevy optické na obloze. Zaznamenal, že po výbuchu sopky Laki s ním spojený vulkanický oblak, který byl plný sopečných zplodin zapříčinil červené Slunce. (Soukupová 2013; Krska a kol. 2001)

Dále se Klementinu uchovali data a z nich vyšly tento graf a tabulka, viz obr. č. 25 a27.

Graf č. 5



Obr. č. 25 Graf teploty z Prahy z roku 1783 až 1789 u trhlínové erupce Laki Zdroj: Svoboda 1998

Počty bouřek v Praze – Klementinu v letech 1775–1806

Rok	Jaro	Léto	Celkem	Rok	Jaro	Léto	Celkem
1775	2	0	2	1791	2	0	3
1776	5	2	12	1792	1	0	1
1777	2	2	6	1793	0	3	5
1778	0	3	4	1794	2	5	8
1779	0	0	2	1795	2	1	3
1780	3	2	5	1796	0	1	2
1781	0	11	15	1797	2	2	6
1782	3	9	12	1798	0	0	1
1783	6	24	34	1799	2	3	6
1784	3	20	27	1800	4	4	9
1785	2	7	9	1801	0	0	3
1786	4	8	13	1802	4	8	13
1787	7	11	19	1803	0	3	5
1788	–	–	–	1804	1	2	3
1789	1	0	1	1805	2	1	3
1790	1	0	2	1806	0	0	1

Obr. č. 26 Tabulka počtu bouřek z Prahy z roku 1775 až 1806 u trhlínové erupce Laki Zdroj: Svoboda 1998

Je zajímavé, že sopka se silou jen VEI 4 dokáže takto změnit počasí. Příčinou nejspíše budou mohutné výlevy čedičové lávy, které vyprodukovaly obrovské množství síry a fluoru. Siřičito-fluorové mračno, kterému se začalo přezdívat „suchá mlha“ se šířilo po celé Evropě. Nejvíce smrtelný úder fluoru, uvolňujícího se tohoto mračna, byl pro Irsko, kde na otravu jedovatými plyny zemřela $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{3}$ populace, neboli 10 - 12 tisíc z celkového množství obyvatelstva, žijícího v Irsku před výbuchem. Dalších 20 tisíc obyvatel emigrovalo kvůli nedostatku jídla. (Soukupová 2013)

Dánská vláda spravující ostrov Island ho prohlásila za neobyvatelný. Dále vlna zplodin, teď už především síry, zasáhla a udusila obyvatelstvo, naleptávala plicní sklípky a nadále způsobovala chronický kašel, astmatické záchvaty a v neposlední řadě zápal plic. Ve Velké Británii na tyto příznaky skonalo více jak 23 tisíc osob. Úmrtí v létě toho roku stoupl o 38% a i další roky se drží o 25% nad průměrem z předešlých let. (Svoboda 1998; Novák 2011; Thorarinson 1969)

V Anglii se tomu to létu říkalo písečné, protože při neustálém spadu prachu, který skřípal mezi zuby. Obyvatelé byli oslabeni sírovým oblakem a slábli. A následující krutá zima usmrtila další tisíce lidí. Změnu pocítili i v Egyptě, protože se změnilly obvyklé monzunové cykly, nepřišly ani obvyklé záplavy Nilu a proto nastal neobvyklý suchý rok bez živin a Egypt při hladomorech přišel o $\frac{1}{6}$ obyvatelstva. Totéž se stalo v Japonsku s nedostatkem rýže a v Indii, tam všude vypukl hladomor. Krutá zima na přelomu roku 1783/1784 se projevila i v Severní Americe zamrzlou řekou Mississippi u New Orleansu. (Novák 2011)

Zima u nás v českých zemích byla krutá, začalo mrznout už v roce 1783 na sv. Martina, jako podle pranostik, Vánoce byly na sněhu, více jak loket v nížinách, to je na centimetry okolo 60 cm. A velice mrzlo, jak si nikdo, ani starci nepamatovali, na rybnících byl tlustý led. V pamětech od pana Floriána Velebila z Městce Králové je napsaný údaj, že byl tlustý $2\frac{1}{4}$ lokte,

v přepočtu jeden metr třicet centimetrů. Údaj je velmi zvláštní, ale v poznámkách udává, že tento údaj sám změřil. (Robek 1978)

Obleva přišla rychle se změnou teploty asi o 3 až 6 °C a k zvyšování teploty přibyla zvýšená intenzita srážek, v pražském Klementinu zachytili přibližně 40 mm. Ke všemu došlo v období na konci února a to zapříčinilo velké povodně, asi největší, co byly zaznamenány. Voda stoupala na všech řekách na Labi, Ohři i Vltavě. Na Labi u Litoměřic byly zbořeny tři mlýny a okolo šedesáti domů, voda dosahovala výšky asi 20 střeoviců a 4 coule, převedeno na naše míry okolo šesti metrů nad průměrnou hladinou v klidném stavu. Dne 27. února v noci došla povodňová vlna do Prahy. Na další den v brzkých hodinách zaplavila voda veškeré pražské ostrovy, lidé na nich žijící lezli po stromech, aby se neutopili. Povodeň poškodila Karlův most, nejvíce ledové kry, které narážely na kamenné pilíře. Pro most to byla velká zkouška, kterou téměř nezvládl. (Elleder, Munzar 2004; Kokos 1977; Skopec 1907)

Povodně nezasáhli jen naše území, ale i velká část Evropy. Týkala se povodí evropských řek od Dunaje a Odry, přes Labe a Rýn, až po Sein, Loiru a Maasu. (Elleder, Munzar 2004; Kokos 1977; Skopec 1907)

4.4 Výbuch sopky Tambora - 1815

V době 1812 až 1815 vypukly, tedy co je známo, tři velké vulkanické erupce, které asi přispěly ke změně počasí. Největší erupcí byl sopečný výbuch indonéské Tambory v roce 1815. Předtím byla v roce 1812 zaznamenána v Karibském moři (sopka Soufrière) a v roce 1814 následoval na Filípinách sopečný výbuch vulkánu Mayor. (Fagan 2007)

Stratovulkán Tambora (obr. č. 17) nacházející se na severu indonéského ostrova Sumbawa, ve východní části souostroví Java, byl vysoký 4000 m. Po výbuchu, který popíší níže, celá horní část vulkanického kužele zmizela v jezeru lávy a sopka se zmenšila asi o 1000 m. Tímto procesem se vytvořila kaldera o průměru 7 km a o hloubce 700 m.



Obr. č. 27 Letecký snímek vulkánu Tamba zdroj: www.earthscope.org

Vulkán začal být činný 1. dubna roku 1815, lidé v okolí slyšeli hřmění i v okolních ostrovech a 5. dubna výbuch zesílil a i intenzita vzrůstala a byla slyšet v okruhu 1 800 km. Vrcholná fáze sopečné činnosti nastala v průběhu 10. a 12. dubna, ale aktivita byla vysoká až do poloviny července. Vulkanické pumy dopadaly až 40 km od kráteru sopky. Výbuch vytvořil několik tlakových vln, které ve vzdálenosti 600 km od vulkánu vytahovaly vzrostlé stromy ze země i s kořeny. Stromy dále poničily obydlí lidí a ohrožovaly i je samotné. (Svoboda 1998)

Popel a prachové částičky nad vulkánem vystoupaly do neskutečné výšky 60 až 70 km. To způsobilo zatmění Slunce, které pokrylo území v okruhu 500 km na tři dny. Popelové spady byly nacházeny i ve vzdálenosti 1 100 km od sopky. Celý ostrov Sumbawa byl z živého ostrova plného vegetace a obyvatel, přeměněn, pod vrstvou popela, někde i s mocností 2 m, na pustý ostrov, kde se zachránilo jen 27 osob z 90 000 žijící lidí před výbuchem. Na následek zničení velkého okolí začali lidé umírat na nedostatek jídla a na zničení nadcházející úrody, jedná se asi o 10 000 jedinců. (Svoboda 1998)

Popel se vznášel v atmosféře a dosáhl i stratosféry. Takže se dá předpokládat, že má na svědomí s velkou pravděpodobností následující snížení teploty, které zasáhlo celý svět patrně na všech světadílech na následujících několik let. Při poklesu slunečního záření, což popel v atmosféře způsobí, dojde k potlačení atmosférické cirkulace a západní tlakové níže je

převažující a přesouvající na jich jako subpolární níže, co zapříčiní chladnější počasí a více bouří než obvykle (Fagan 2007)

Nejznatelnější klimatická změna se odehrála o rok později, tedy 1816, kterému se začalo přezdívat „rok bez léta“. Přišli zcela mimořádné snížení teplot v Severní Americe, ale i ve Velké Británii a Irsku až k Baltskému moři. (Fagan 2007)

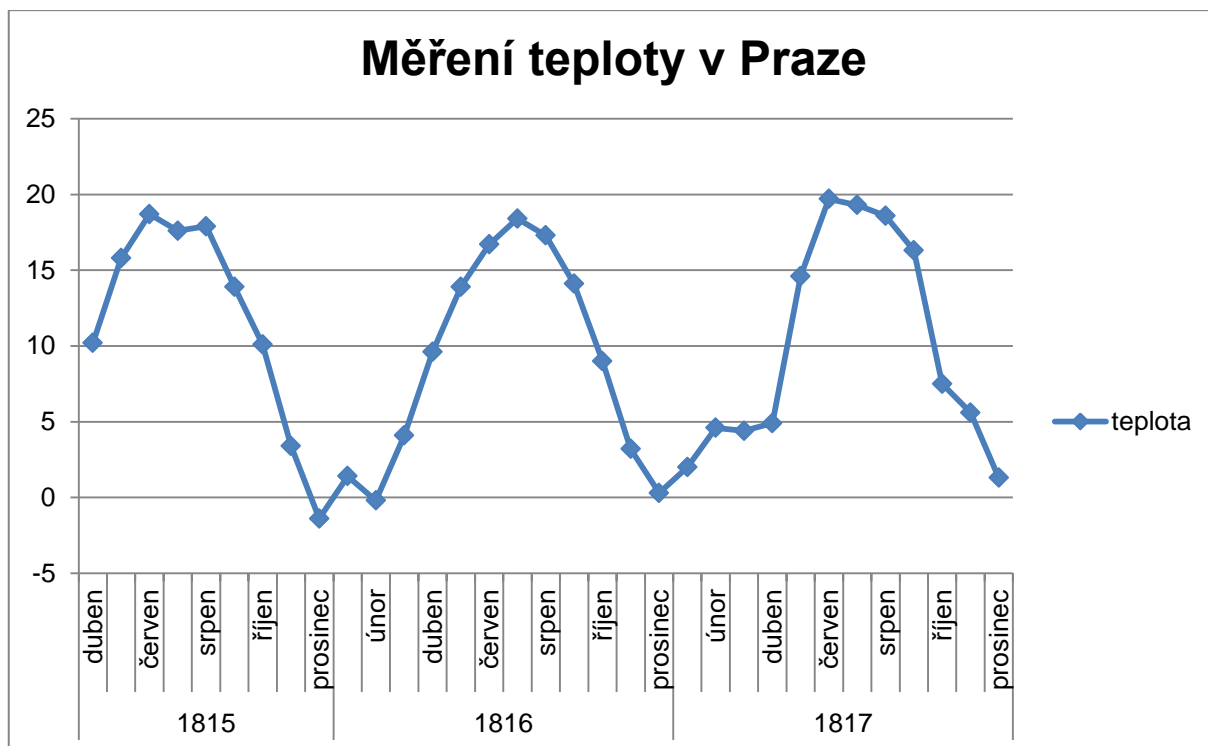
V Londýně poklesly teplotní hodnoty o 2 – 3 °C od průměru v letních měsících. Celá Anglie byla odkázaná na loňskou úrodu. Plodiny na polích zužovaly kroupy a prudké bouře. Sklízelo se až 13. října, což je ve srovnání s předchozími lety o měsíc později a nebylo v takovém stavu, aby se dalo používat, bylo vlhké. Ztěžující faktor byl i to, že se celá Evropa vzpamatovala z války a už tak chudým rodinám se vrátili zmobilizovaní muži, vojáci a námořníci. Hlad a nezaměstnanost vzrostla, protože lidé pracovali v zemědělství, vlna nespokojenosti a vzrůstala i kriminalita, lidé zapalovali stodoly, sýpky a obydlí velkým majetným obchodníkům a velkým statkářům, protože jim vyčítali nedostatek a drahé obilí. (Fagan 2007)

V Irsku a ve Walesu vyvolala tato klimatická změna velký nedostatek potravy, která je mimořádně závislá na bramborách a vyvolala místy i hladomor. To vyvolalo stěhování, lidé odešli ze svých domovů a šli se živit raději žebrotou. Místo brambor začali pěstovat méně náročné plodiny jako je kopřiva, hořčice a zelí, které zaháněly pocit hladu. Pomoc nepřišla tak rychle jak potřebovali a zahynulo nejspíše 65 000 lidí. (Fagan 2007)

I v Americe tento rok hlásí bez úrody, protože většinu plodin déšť a chlad zastihl ještě na polích a nebylo co sklízet. Děkan z Yale Jeremiah Day měl v létě 1816 službu na zapisování teploty v denním režimu. Údaje potvrdily, že průměrná teplota v měsíci červnu je 18,4 °C, což je o 2,5 °C méně než průměrné teploty než za roky 1780 a 1968. (Fagan 2007)

Prameny v USA ze srpna toho léta popisují hladovějící lidi, které stihla před sklizní ledová plískanice jako uprostřed zimy. Obilí a kukuřice vymrzly a shnily už na poli a ze stromů začalo padat černé listí. Obyvatelé Ameriky byli zoufalí a začali se stravovat mechem a kůrou ze stromů. V oblasti Ameriky Nová Anglie se rolníci snažili vyžít nad zimou a pokaždé, když přišly mrazy zajeli znovu, aby o úrodu nepřišli, i místní noviny je k tomu nabádaly, ale příroda nepovolila a místo studených vln až do jarních měsíců nastoupilo suché teplé počasí. Jak už jsem zmínila, v Evropě se rozpoutaly vlny kriminality a lidé hledali jiná místa k životu, anebo druhá možnost kam se uchýlit při takové nepřízni počasí lidé přimykali blíže k bohu. (Svoboda 1998; Fagan 2007)

V Uhrách se objevil v lednu 1816 sníh zabarvený do hněda až červena. V Itálii začal padat žluté a červené vločky, v tomto místě je sníh dosti vzácný. I v Marylandu padal takto zvláště barevný sníh. Podobné zápisky o barevném sněhu zapsal i Anglický vikář. (Fagan 2007)

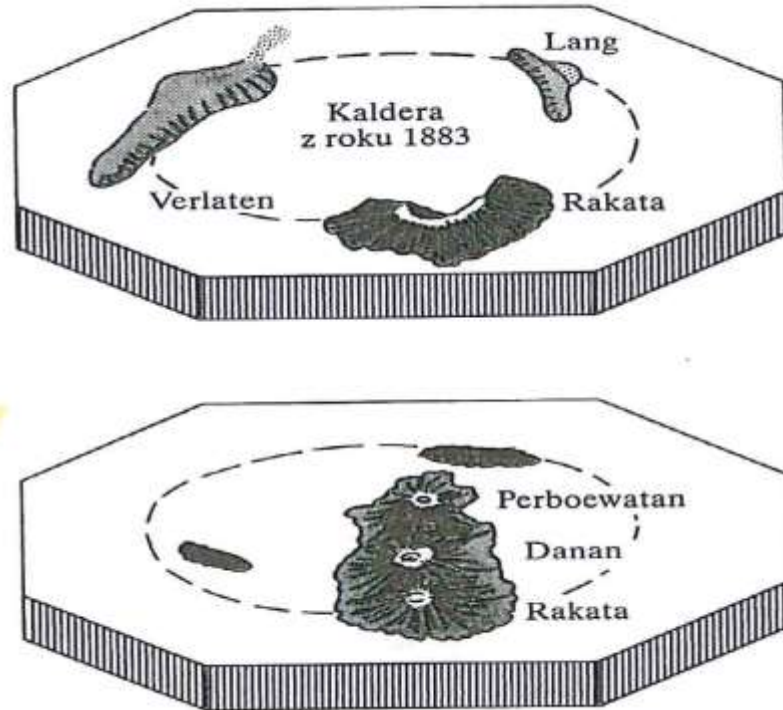


Obr. č. 28 Graf z dat roků 1815- 1817 z knihy Velká kniha o klimatu Zemí Koruny české

Český kronikář Mikuláš Střelec z Domažlic zaznamenaly v roce 1816, že duben a květen byla nesmírná zima, ani v červnu se počasí nezlepšilo, jarní obilí trpělo velkou zkázou a nebyly výjimkou ani noční mrazíky. Další dochované zápisy mluví o stejně špatné úrodě. Bylo pomálo nebo skoro žádné, to i u ovoce. V českých krajích, tedy přesněji v Praze, se zachovali důkazy, že vulkanický prach dorazil i sem. V lednu dvacátého Prahu zužovala hustá a páchnoucí mlha, kde nebylo nic vidět. Další důkazy se projeví na obloze, jako úkazy např.: *18. února se objevilo barevné haló kolem Měsíce.* (Svoboda 1998; Hlaváč 1986)

4.5 Exploze na ostrovu Krakatoy - 1883

Podlouhlý ostrov jménem Krakatoa, kde se nacházely tři vulkány kuželového typu Perbuatan, Danan a Rakata, viz obr. 30. Poslední výbuch byl v roce 1680 a dále byl vulkán bez aktivity. Lidé si mylně mysleli díky tropické vegetaci, která rostla na vulkanické hornině bohaté na minerály, že je vulkán vyhaslý. Ale ona se po necelých 200 letech znovu probudí a bude to jedna z největších erupcí, co známe. (Svoboda 1998)



Obr. č. 29 Krakatoa před a po erupce 1883 Zdroj: Svoboda 1998

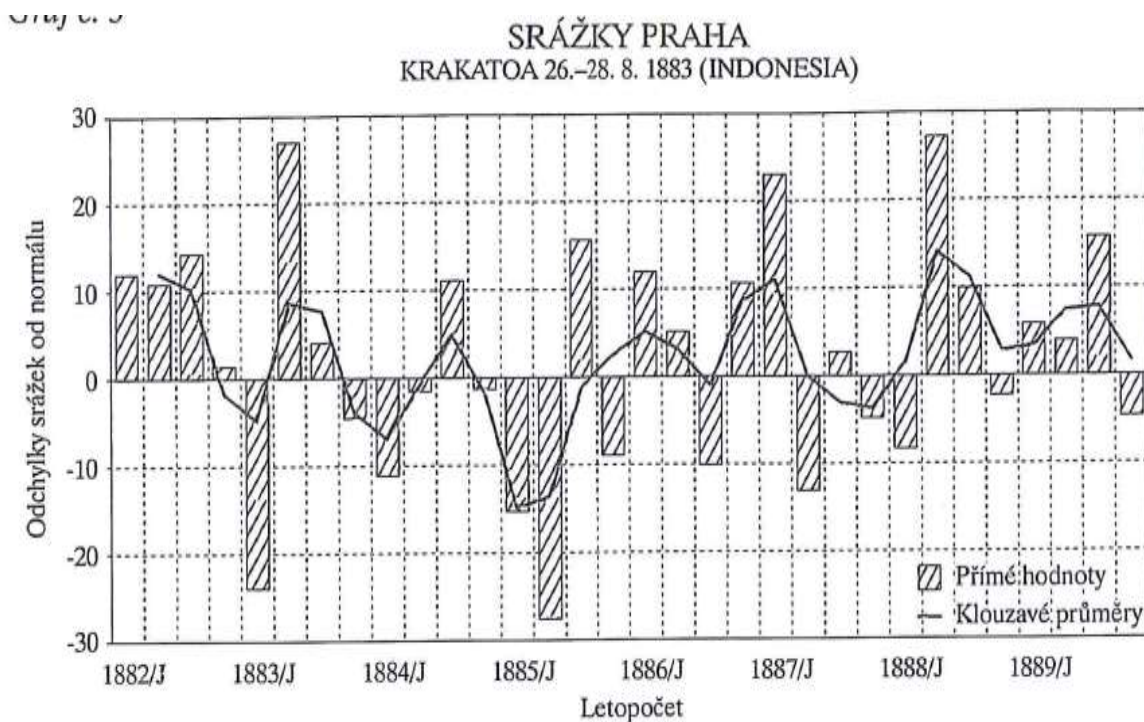
Před velkým výbuchem, datovaný na den 26. srpna 1883, byla sopka několik měsíců neklidná. Už od května, objevilo se nad sopkou mračno ve tvaru hříbu, které byl na začátku bílé, ale jak stoupal a dostával temnější barvu a unikali páry z až 25 metrů vysoké. Vesničané tohoto využili a používali sopku jako turistickou atrakci. Veškerá aktivita byla známkou blížící se exploze, ale protože lidé jsou omylní a mysleli si, že tato aktivita dosáhla svého vrcholu, co tato sopka dosáhne a velice se zmýlili. Lodě, které proplouvaly okolo tento výbuch, zaznamenaly, a proto nacházíme v lodních denících o této erupci zmínky, ale nevěnovaly tomu zvýšenou pozornost, protože Indonésie je bohatá na aktivní vulkány. (Svoboda 1998; Novák 2011)

Týden před erupcí se objevilo černé velké mračno, na osady začalo padat kamení a popel, ale aktivita byla stále stejná a výlevy sopky ustaly. Tím si obyvatelé začali připadat v bezpečí a přestali být bdělí. Při výbuchu byla celá vesnice pod sopkou nejenom díky snížení aktivity vulkánů, ale také protože místní veřejná správa oznámila, že nejsou v ohrožení. Bylo to v důvodu voleb, které se blížily, a guvernér je nechtěl odkládat, to mělo za následek katastrofické umírání několik sto tisíců lidí. (Svoboda 1998)

Erupce nebyla jedna velká série velkých výbuchů, které byly intenzivní a byly velice slyšitelné v okolí, viz Obr. č. 31. Toto začalo 26. srpna 1883 po poledni do dvou hodin popel, který vystoupal do výšky asi 30 km, a následovala série menších výbuchů, které se objevovali okolo 17 hodin, ale jejich intenzita se zvyšovala. Exploze neustávali ani přes celou noc, zarážející je, že se neobjevilo zemětřesení. Díky popelu volně poletujícího v atmosféře a zastiňující Slunce, následující ráno byla tma do 10 hodin dopoledne. Za rozednění přišla vrcholná erupce kataklyzmatického typu, prachové mračno vyšplhalo do neuvěřitelné výšky 80 km. Tento typ erupce nejčastěji znamená destrukce vlastní sopky a velké oblasti okolo a klimatické změny, která může sklouznout až k stádiu vulkanické zimy. (Svoboda 1998)

Lidé umírali v bolestech, padal na ně žhavý popel a také kusy horniny tufy. (Novák 2011)

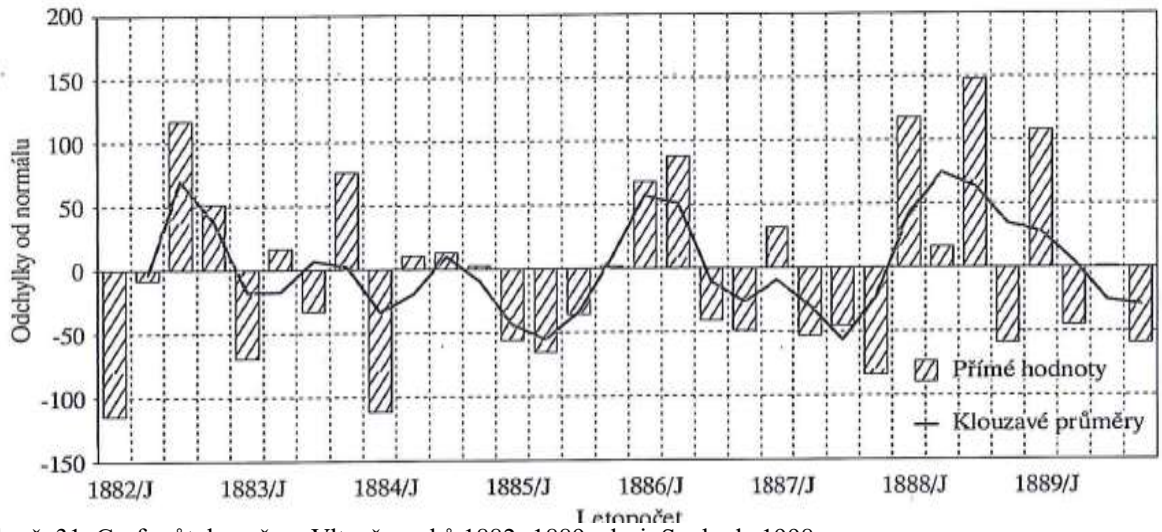
Zkáza vulkánu a zhroucení do oceánu vyvolala velkou vlnu, která narostla do výšky až 40 metrů. Zasáhla pobřeží nedalekých ostrovů Jávy a Sumatry, kde se nacházelo 295 osad a proto zabila více jak 36 000 lidí. Vlna byla tak silná, že poslala velký vojenský člun 3 km do vnitrozemí, kde byl hustý pralesní porost. (Svoboda 1998)



Obr. č. 30 Graf teploty z roků 1882- 1889 zdroj: Svoboda 1998

Graf č. 4

VLTAVA PRAHA
KRAKATOA 26.-28. 8. 1883 (INDONESIA)



Obr. č. 31 Graf průtoku v řece Vltavě z roků 1882- 1889 zdroj: Svoboda 1998

Diskuze a Závěr

Rizika silných erupcí v budoucnosti a jejich dopad na lidskou populaci

Klima je důležitou součástí našich životů. Ovlivňuje naše životy z mnoha ohledů. Je to spojení více faktorů, jako je teplota (zemského povrchu, vody a atmosféry), intenzita srážkové činnosti (déšť, sněžení) a převládající atmosférické proudění, vliv mořských proudů.

Z analýzy provedené v této bakalářské práci je zřejmé, že světové sopky (supervulkány) měly a mají vliv na klimatické změny i u nás ve střední Evropě, i když v naší blízkosti žádný aktivní supervulkán nemáme. Ve spojení s atmosférickým prouděním mohou vulkanické prachové částice a chemické sloučeniny síry, při správném směru větrů, by mohl doputovat i k nám. V minulosti již doputovaly, jak jsem již uvedla ve 4. kapitole o sopce Laki. A znovu jsme se o tom mohli přesvědčit při nedávných erupcích islandských sopek, kde se nachází více než sto. Za posledních dvacet let došlo celkem k sedmi erupcím sopek. Jedná se o Grimsvötn (1996, 1998, 2004 a 2011), sopku Hekla (2000) a tolik sledovanou Eyjafjallajökull, která se ozvala téměř současně se sousedním vulkánem Fimmvörduháls (2010). (Soukupová 2013)

V knize „Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu zemi“, paní Ing. Soukupová (2013) tvrdí, že bychom se měli z historie poučit a předejít následkům. To je sice pravda, ale otázkou zůstává jak? Naproti tomu, kolektiv autorů okolo Svobody (2003) v knize Velká kniha o klimatu Země Koruny české píše: „*Nemyslíme si, že minulost je klíčem k budoucnosti, jak často slycháme. I s dobrou znalostí historie je totiž velmi obtížné nebo dokonce nemožné předpovědět budoucnost*“. Zde v těchto dvou myšlenkách narážím na problematiku předvídání sopečné činnosti zcela protichůdné názory, které pouze dokumentují, že předvídat budoucnost sopečné činnosti není jednoduché. A ani dokonalá znalost sopek a moderní technologie nás nezachrání před změnou v klimatu.

Při řešení bakalářské práce jsem dospěla k názoru, že tektonická aktivita Země se patrně nijak nesnižuje, pohyb tektonických desek neustává. Další kritickým faktorem je skutečnost, že je už poměrně dlouhé klidné období bez velkých explozí stratovulkánů s intenzitou VEI 5 nebo VEI 6 a 7. Dá se tedy statisticky předpokládat, že po dlouhé pomlce mohou přijít velké sopečné exploze. Z geologické historie Země víme, že některé velké stratovulkány už aktivní byly a to i několikrát. Z provedených výzkumů bylo zjištěno, že několik stratovulkánů má zpoždění, jako např. supervulkán Yellowstone, ale geologický čas plyne jinak než čas lidský. Přikláním se tedy k názoru, že riziko extrémních sopečných erupcí roste, ale zatím lze stěží odhadnout, kdy a kde k nim dojde.

Budoucnost lidstva je ohrožena sopečnými výbuchy. Rizikovým faktorem je, že populace lidí se na Zemi rozrůstá a tím se zvyšuje hustota osídlení. Proto, když nastane nějaká sopečná katastrofa, dá se předpokládat, že budou narůstat i počty obětí. I když moderní lidská civilizace je velmi přizpůsobivá. Nejde ani tak o to, že by např. krátkodobá tudíž víceměsíční změna teploty nějak výrazně omezovala člověka. Ten se díky získaným znalostem a dosaženému stupni technického pokroku patrně dokáže s určitými teplotními výkyvy, způsobenými důsledky sopečných erupcí, vyrovnat. Spíše jde o to, že náhlá a dlouhodobější změna klimatu je limitujícím faktorem pro rostliny, kterými se živí celá řada živočichů a ty poté společně s rostlinami tvoří základ jídelníčku člověka.

Dále lze dokázat, že sopečné exploze a jejich následky jsou schopny výrazně omezit mobilitu civilizace. Jednotlivé kontinenty na Zemi jsou výrazně propojeny leteckou dopravou. Právě

následky sopečného výbuchu představují pro letadla riziko velkého ohrožení. Jak bylo patrné např. při nedávné erupci sopky Eyjafjallajökull na Islandu s intenzitou VEI 3. I přes tak nízkou intenzitu, zastavila celou leteckou dopravu nad Evropou na necelý týden. (Soukupová 2013)

Musíme mít na mysli, že ne každá sopka mění klima. Každý den vybuchne na Zemi několik sopek. Výbuchy sopek menší intenzity (VEI 0 až VEI 3), tj. charakterem havajské, strombolské a mírné pelejské erupce, nijak významně světové klima neovlivňují. Katastrofické jsou především těžko předvídatelné ultra piliánské erupce a erupce stratovulkánů. Důležité je také v jakém klimatickém pásmu se sopečná erupce nachází. Je rozdíl mezi sopečným výbuchem a jeho následky v subtropickém pásmu (např. Indonésie, Filipíny) nebo když se tato vulkanická činnost objeví v polární oblasti.

Literatura

Knižní zdroje:

ACOT P., 2005: Historie a změny klimatu, Karolinum

BRANIŠ M., HŮNOVÁ I. a kol., 2009: Atmosféra a klima, Karolinum

BEDNÁŘ J., 1989: Pozoruhodné jevy v atmosféře. Academia, Praha

DVOŘÁK J., KŘIVSKÝ L. 1989: Slunce náš život, Panorama, Praha

FAGAN B. M., 2007: Mála doba ledová, Academia Praha

KLABZUBA J., 2000: Atmosféra Země, Česká zemědělská univerzita v Praze

KOVANDA J. a kol., 2001: Neživá příroda Prahy a jejího okolí, Academia, GÚ, Praha

KRSKA K., ŠAMAJ F. 2001: Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku, Karolinum

KUKAL Z. a kol., 1977: Základy oceánografie, Academia Praha

KUTÍLEK M., 2008: Racionálně o globálním oteplování, Praha, Dokořán

MUNZAR J. a kol., 1989: Malý průvodce meteorologií, Mladá fronta, Praha

NOVÁK J. A., 2011: Smrtící sopky, Nakladatelství XYZ

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

ROPEK A., 1978: Kniha pamětí Floriána Velebila z Městce Králové, Edice lidových kronikářských textů, ČSAV Praha

SKOPEC J. 1907: Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha první (Rok 1770–1783). Část I. (1770–1780). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha

SOUKUPOVÁ J., 2013: Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu zemi, ČZU Praha

SOUKUPOVÁ J., 2008: Atmosférické procesy, Česká zemědělská univerzita v Praze

SVOBODA J., VAŠKŮ Z., CÍLEK V., 2003: Velká kniha o klimatu Zemí Koruny české, Praha, Regia

SVOBODA J. 2002: Utajené dějiny podnebí, Nakladatelství Levné Knihy, Praha

SVOBODA J. 1998: Jak to bylo s Atlantidou, NS Svoboda, Praha,

Články:

ARNOS J., 2013: Mystery 13th Century eruption traced to Lombok, Indonesia, BBC News

BRIFFA K. R., OSBORN T. J., 1999: Seeing the Wood from the Trees, Science 284, 926-927

CÍLEK V. 1995: Milankovičovy cykly, Vesmír 74

CÍLEK V., LOŽEK V., ŽÁK K., 2004: Z minulosti českých řek, Vesmír 83

CÍLEK V. 2010: Odložení globální oteplování? Oceánské proudění a třicetileté chladné epizody, Vesmír 89, 372-375

ELLEDER L., MUNZAR J., 2004: „Extrémní povodeň na Vltavě v únoru 1784 jako následek mimořádných hydrometeorologických podmínek“, Meteorologické zprávy č. 5, ČHMÚ Praha, 2004, 125–135

HLAVÁČ V., 1986: Poznámky z Klementinských pozorování 1775-1839, HMÚ, rukopis

HOŠEK J., HORÁČEK I., 2015: Spraše včera a dnes, Vesmír 94, 489-491

KAKOS V., 1977: Velké povodně na Vltavě v Praze ve vztahu ke Klementinským pozorováním počasí. In: Sborník příspěvků ze semináře k 200. výročí observatoře v Praze Klementinu (14.–16. 9. 1976), 37–42.

STERN R.J. a kol., 2008: From volcanic winter to snowball earth: an alternative explanation for neoproterozoic biosphere stress, Springer Science+ business Media B.V. 313-337

STOTHERS R.S., 1996: The great dry fog of 1783, Climate change 32, 79-89

THORDARSON T., SELF S., 2003: Atmospheric and environmental effect the 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment. Journal of geophysical Research, Vol. 10, pp.1-29.

THORARINSSON S., 1969: The Lakagigar eruption of 1783, Bull. Volc. Ser.2, 33, 910-929

THOURET J., 1999: Largest explosive eruption in historical times in the Andes at Huaynaputina volcano, A.D. 1600, southern Peru, Geology 435-438

TIMMRECK C. a kol., 2009: Limited temperature response to the very large AD 1258 volcanic eruption, Geophysical Research , Geophysical Research Letters , Vol. 36

Internetové zdroje:

BŘEZINA I., 2008: Globální oteplování – mnoho povyku pro nic, online: http://neviditelnypes.lidovky.cz/ekologie-globalni-oteplovani-mnoho-povyku-pro-nic-fw1-/p_veda.asp?c=A080319_204955_p_veda_wag, cit.: 3.1.2016

KREMLÍK V., 2011: Vliv Slunce na klima, online: <http://www.klimaskeptik.cz/co-rika-veda/slunecni-aktivita/>, cit.:14.2.2016

Kolektiv autorů : <https://sites.google.com/site/vulkanizmus/>

HOSNEDL: online: <http://kof.zcu.cz/st/dp/hosnedl/html/slunecni.html>, ZČU, cit.: 10.2.2016

Parícutin: The Birth of a Volcano". Smithsonian National Museum of Natural History. Retrieved April 8, 2015.<http://naturalhistory.si.edu/onehundredyears/expeditions/Paricutin.html>

(http://translate.https://sites.google.com/site/vulkanizmus/usercontent.com/translate_c?depth=1&hl=cs&prev=search&rurl=translate.https://sites.google.com/site/vulkanizmus/.cz&sl=en&u=http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009GL040083/full&usg=ALkJrhliR2Idxyt0qvxoNc6P_hQA3Cttw) – samalas letokruhy

<http://svf.uniza.sk/kgd/skripta/g1/kap04b.pdf>

<http://gnosis9.net/oscilace.php>

Vladimír Wagner, 2011: Rekonstrukce množství oxidu uhličitého v atmosféře, Osel
http://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/research/climatechange/glacial_interglacial/the_glacial_instability/

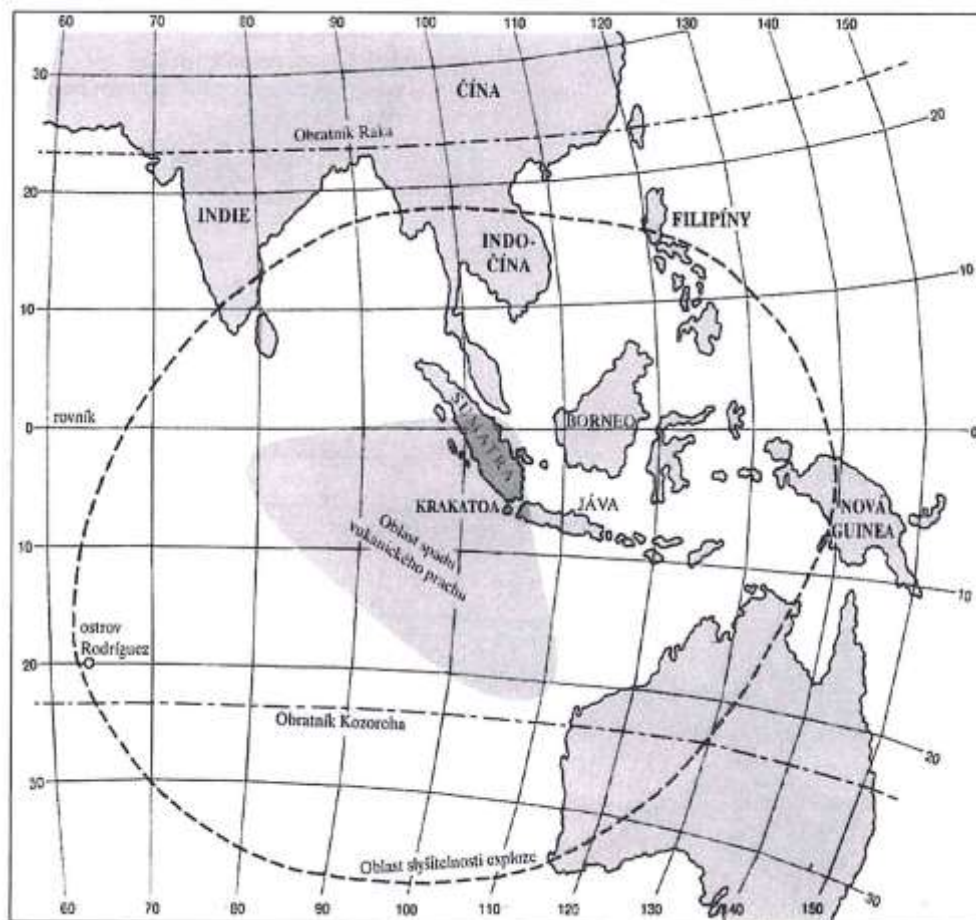
<http://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/obrazky/morske-proudy.gif>

http://images.slideplayer.cz/10/2733455/slides/slide_1.jpg

http://images.slideplayer.cz/10/2723927/slides/slide_12.jpg

<http://hvezdy.astro.cz/slunce/744-slunecni-skvrny>

Přílohy



Obr. č. 32 :Erupce vulkánu Krakatoa vyznačení oblasti slyšitelnosti výbuchu v roce 1883 zdroj: Svoboda 1998