

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Dopad erupce Laki na klima ve Skandinávii

Laki eruption impact on the climate in Scandinavia

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

Autor: Bc. Klára Malá

PRAHA 2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Klára Malá

Aplikovaná ekologie

Název práce

Dopad erupce Laki na klima ve Skandinávii

Název anglicky

Laki eruption impact on the climate in Scandinavia

Cíle práce

Popsat erupci sopky Laki v r. 1783. Přešetřit erupce sopky Laki, nebezpečnost a vliv na klima. Změny způsobené erupcí v r. 1783 ve skandinávských zemích, které byly přímo zasaženy.

Metodika

V literární rešerši obecně popsat projevy vulkanismu a vliv velkých vulkanických erupcí na klima v historii lidstva. Popsat erupci sopky Laki v r. 1783 a pokusit se dohledat i minulé erupce v této oblasti.

Vlastní šetření se bude týkat především hledání dokumentárních zdrojů, kronik, časných tiskovin, deníků a podobně. Z nich pak studentka vyjádří závěry o dopadech erupce.

Doporučený rozsah práce

60

Klíčová slova

Laki, erupce, změna klimatu, dokumentární zdroje

Doporučené zdroje informací

Acot, P. 2005 : Historie a změny klimatu. Karolinum Praha.

Barros, V 2006 : Globální změna klimatu. Mladá Fronta, Praha

Braniš, M. , Hůnová, I. a kol. 2009 : Atmosféra a klima. Karolinum Praha

Smidt, A., Ostro, B., Carslaw, K.S. et al. 2011 : Excess mortality in Europe following a future Laki-style Icelandic eruption. PNAS, Vol.108, No.38

Soukupová, J. 2012 : Dopady sopečné erupce v trhlině Laki. Biologie-Chemie-Zeměpis, roč.21, č.2, SPN Praha.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 12. 12. 2016

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 12. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2017

Prohlášení

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

V Praze 18.4.2017

.....

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Janě Soukupové, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a odborné vedení při zpracování mé práce. Velké poděkování dále patří моým rodičům za jejich podporu během studia.

V Praze 18.4.2017

.....

Abstrakt

Cílem této práce je nastínění problematiky sopečné činnosti, jaký vliv má sopečná činnost na atmosférické pochody, zmínit nejdůležitější erupce v historii lidstva. Stručně popsat základní klimatické a geografické charakteristiky Skandinávie. V druhé části této diplomové práce bude podrobně popsán průběh a důsledky erupce sopky Laki, která se stala roku 1783, kdy střed zájmů bude v rámci Evropy a zejména tedy Skandinávie. Na závěr bude samotný vliv erupce Laki doložen v podobě zpracovaných teplotních řad, celkového obsahu sulfátů získaný z ledovcových jader a úmrtnosti v rámci Švédska a Norska.

Klíčová slova:

Laki, erupce, změna klimatu, dokumentární zdroje

Abstract

The objective of this master's thesis is to outline the problems of volcanic activity, the influence of the volcanic activity on atmospheric processes, to describe the most important eruptions in the human history. Briefly to mention the basic climatic and geographic characteristics of Scandinavia. In the second part of this thesis is described in detail the process and consequences of the eruption of The Laki volcano which happend in 1783. The spotlight is on Europe and primarily those in Scandinavia. At the end of the thesis is defined impact of Laki eruption which is documented in the form of temperature ranges and the total content of sulfate obtained from the ice cores and the mortality rate within Sweden and Norway.

Keywords:

Laki, eruption, climate change, documentary sources

Obsah

Obsah.....	8
1 Cíle práce.....	10
2 Metodika práce.....	10
3 Úvod.....	11
4 Základní klimatická a geografická charakteristika Skandinávie	13
4.1 Norsko.....	14
4.2 Švédsko	14
4.3 Finsko.....	15
4.4 Island.....	15
4.5 Dánsko	15
5 Problematika sopečné činnosti.....	16
5.1 Sopečná činnost.....	16
5.2 Vznik sopek a jejich charakteristika	19
5.2.1 Rozdělení sopek.....	20
5.2.2 Index vulkanické explozivity (VEI).....	21
5.3 Sopečné plyny	21
5.3.1 Vodní pára H ₂ O.....	22
5.3.2 Oxid uhličitý CO ₂	22
5.3.3 Oxid siřičitý SO ₂	23
5.3.4 Sirovodík H ₂ S	23
5.3.5 Chlorovodík HCl, fluorovodík HF a bromovodík HBr	23
5.4 Faktor vymírání a sopečná činnost	23
5.5 Vliv sopečné činnosti na atmosféru	24
5.5.1 Vulkanický smog	25
5.5.2 Kyselá dešť.....	25
5.5.3 Destrukce ozonové vrstvy	25
5.5.4 Změna globálního klimatu.....	25
6 Důležité erupce v lidské historii	26
6.1 Vesuv	26
6.2 Tambora	26
6.3 Krakatoa.....	27
6.4 Pinatubo	27
7 Nejdůležitější klimatologické veličiny	28
7.1 Teplota vzduchu	28

7.2	Srážky	29
8	Sopka Laki.....	31
9	Průběh a dopady erupce Laki.....	31
9.1	Prvotní pozorování sopečné mlhy.....	32
9.2	Následky erupce	41
9.2.1	Evropa	41
9.2.2	Spojené státy americké.....	43
9.2.3	Území České republiky	43
9.2.4	Sousední země	44
9.2.5	Shrnutí následků.....	44
10	Důsledky erupce Laki na jednotlivé země Skandinávie	46
10.1	Teplotní řady	46
10.1.1	Norsko	47
10.1.2	Švédsko	48
10.1.3	Dánsko.....	49
10.2	Projekt GISP 2.....	50
10.2.1	Sulfát GISP 2	50
10.3	Úmrtí v souvislosti s erupcí Laki.....	52
10.3.1	Vliv vulkanického prachu na dýchací soustavu	52
10.3.2	Úmrtnost 1780-1790 v rámci Švédska a Norska.....	53
10.3.3	Úmrtnost pro vybrané lokality Norska	55
11	Diskuse.....	58
12	Závěr.....	59
13	Použitá literatura.....	61

1 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je nastínit obecně problematiku sopečné činnosti, vulkanismu, a s tím spojené doprovodné jevy, jako jsou sopečné plyny, jaký má vliv sopečná činnost na atmosféru či zdůraznit nejdůležitější erupce v dějinách lidstva.

Dalším dílčím bodem této práce je vyobrazit základní klimatickou a geografickou charakteristiku zemí Skandinávie. Podrobný popis erupce sopky Laki na Islandu, jenž se stala v roce 1783, její nebezpečnost a následný vliv na klima. Dále popis změny způsobené erupcí v roce 1783 ve skandinávských zemích, které byly přímo zasaženy.

2 Metodika práce

V rámci literární rešerše budou obecně popsány projevy sopečné činnosti (vulkanismu) včetně vlivu velkých vulkanických erupcí na klima v historii lidské existence. Dále popsání erupce sopky Laki v roce 1783 a její dopady na Skandinávii. Vlastní šetření se bude týkat především hledání dokumentárních zdrojů, časných tiskovin, deníků, popřípadě kronik. Dalším bodem bude zpracování dat do grafického znázornění a jejich vyhodnocení, konkrétně se bude jednat o zpracování teplotních řad pro určité země Skandinávie právě pro ukázkou, jaký vliv měla erupce Laki na teplotu. Dále bude v grafické podobě zpracován obsah sulfátu získaný z ledovcových jader jako další důkaz vlivu Laki a v neposlední řadě bude poslední část v rámci dopadů na země Skandinávie věnována úmrtnosti v rámci země Švédska a Norska. Veškeré grafické zpracování bude doplněno o komentáře.

3 Úvod

Klimatický systém je systémem komplikovaným vzhledem ke svému chaotickému a neuspořádanému rázu, klima na Zemi podléhá změnám již od svého vzniku a bude tomu, tak i nadále. Množství těchto změn je těžko představitelné, jelikož vznik planety Země se udává před 4,6 miliardy let. Téma globální změna klimatu je v současnosti hlavním tématem 21. století, tématem, čím dál více propíraným, důležitějším a na druhou stranu i velmi závažným (Barros, 2006). Důležité je zde podotknout, že roku 2007 byla udělena Nobelova cena Albertovi Goreovi, což je bývalý americký viceprezident, a to ve spolupráci s IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Právě IPCC, tedy Mezivládní panel pro změnu klimatu je nejdůležitějším orgánem v otázce klimatických změn. Touto problematikou se rovněž zabývá Rámcová úmluva OSN o změně klimatu UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), která vstoupila v platnost roku 1992 v Rio de Janeiru.

Mezi příčiny klimatických změn řadíme jednak faktory astronomické, především Milankovičovy cykly a sluneční aktivita. Mezi faktory pozemské je řazen kontinentální drift, lidská činnost a činnost sopečná.

Sopečná činnost neboli vulkanismus je důležitý faktor v rámci ovlivňování zemského klimatu, jelikož se během sopečné erupce uvolňuje enormní množství sopečných plynů, sopečného prachu a popílku. Vliv vulkanismu na atmosféru může být lokálního charakteru, regionálního či dokonce i v měřítku globálním. Mezi sopečné plyny se řadí vodní pára, oxid uhličitý, síra, fluór, chlór či dusík. V rámci lokálního měřítka zde vystupuje tzv. vog, což je vulkanický smog, v rámci regionálního měřítka problematika kyselých dešťů. V důsledku zvýšené sopečné činnosti může docházet k ochlazení (a to v globálním měřítku), jelikož pronikají do atmosféry již zmiňované sopečné plyny, jenž jsou posléze přeměněny na skleníkové plyny. Dále dochází ke změnám v důsledku obrovského množství prachu, které brání slunečnímu záření v dopadu na samotný zemský povrch. Dále v rámci globálního měřítka může docházet kromě ovlivňování celkového klimatu i k destrukci ozonové vrstvy.

Italská sopka Vesuv, sopka Tambora nacházející se na indonéském ostrově Sumbawa, dále sopka Krakatoa rovněž nacházející se v Indonésii či filipínská sopka

Pinatubo, všechny tyto vyjmenované sopky a jejich erupce patří k nejhorším a nejkatastrofálnějším erupcím v lidské historii.

Mezi velmi důležité erupce sopek patří i erupce islandské sopky Laki z roku 1783, konkrétně 8. června, v důsledku této katastrofální erupce zemřelo až 25% obyvatel a téměř 80% zvířectva na Islandu. Celosvětově měla erupce nejspíše přibližně dva miliony obětí po celém světě a to do dvou let po erupci. Dopad na klima nejen v rámci Evropy byl nepředstavitelný. Rok 1783 se tak stal pro Evropu rok plný zvratů počasí, kdy léto bylo plné bouřek a zima byla velmi krutá, následky na klima byly však viditelné i v roce 1784 a 1785. Nikdo nevěděl, co se vlastně stalo a proč se tomu, tak stalo. Obrovská sopečná mlha vyvolávala v lidech strašlivé myšlenky. Sopka Laki ukázala, jaký dopad může mít sopečná činnost na klimatický systém. Zajímavostí je, že se udává, že výbuch sopky je jedna z příčin Velké francouzské revoluce, což je opravdu otázka, zda tomu, tak opravdu je. Erupcí Laki, resp. jejími následky zřejmě pouze vyvrcholilo období nepříznivého počasí, což mělo vliv i na dlouhodobou krizi monarchie.

Mezi poslední výbuch sopky v Evropě se řadí sicilská sopka Etna, která se znovu ozvala 27.února 2017, která však neměla nikterak závažné dopady s porovnáním se sopkou Laki.

Musíme však konstatovat, že vlastnost sopek je těžce predikovatelná, rozmarná a nevypočitatelná, což velmi znesnadňuje v otázce budoucího vývoje nejen celosvětového klimatu.

4 Základní klimatická a geografická charakteristika Skandinávie

Název Skandinávie pochází od římského spisovatele Plinia Staršího (1.století n.l.) a to ve znění Scatinavia či Scadinavia, původ je pragermánský a překládá se jako tzv. ostrov stínů.

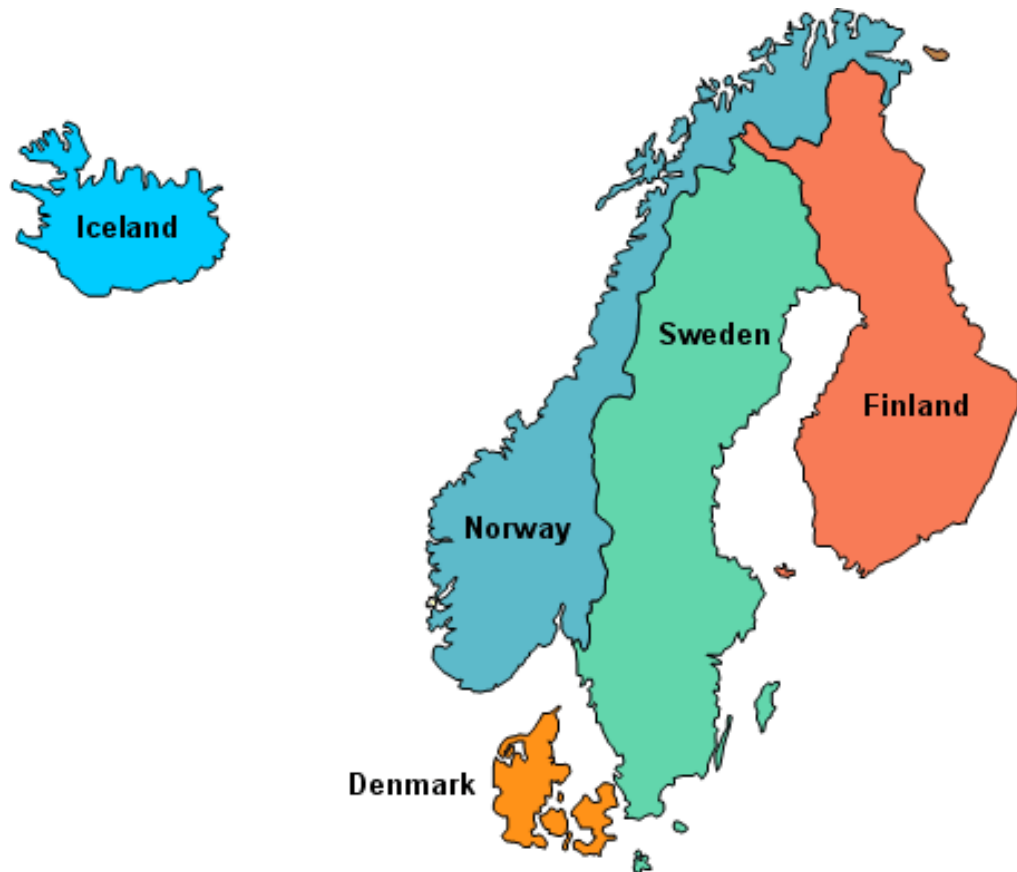
V rámci lingvistiky patří skandinávské jazyky (dánština, islandština, norština a švédština) mezi severogermánské jazyky. Finština, která společně s jazykem původních obyvatel - sámštinou patří mezi ugrofinské jazyky.

Skalní podklad Skandinávie je tvořen horninami, jenž vznikly již v prvním období vývoje Země. Skandinávskou oblast lze považovat za nejstarší součást evropské pevniny (Král, 1999).

Podle stáří a odlišného vývoje je třeba skandinávskou oblast rozdělit na dvě části, na Skandy a baltský štít. Baltský štít obsahuje tři nejstarší prahorní jádra, mezi které spadá kolský masiv, karelský masiv a tzv. jihoskandinávský masiv. Od prvohor až po současnost baltský štít zůstává trvale souší. Co se týče skand, ty jsou zbytkem obrovské horské soustavy, která vznikla kaledonským vrásněním. Významná etapa pro Skandinávii jsou však čtvrtohory, kdy při pleistocenním ochlazení došlo ke vzniku souvislého ledovcového štítu.

Obecně jsou skandinávské zimy dlouhé a naopak léta krátká, v cirkulaci atmosféry je typická převaha západních větrů a hojný je výskyt cyklón na arktické i polární frontě, tyto cyklóny přinášejí anomálie teplot, jako kupříkladu na pobřeží Lofot, kdy se teplota může pohybovat na +24 °C.

Skandinávie všeobecně má dosud největší rozlohu lesů v celé Evropě, kdy jak *uvádí Král (1999)* jsou skandinávské země v nynější době v přední linii, co se týče péče o životní prostředí. Zde stojí za zmínku švédský polární cestovatel A.E.Nordenskjold, který jako první přišel s nápadem ochrany skandinávské přírody v podobě zřízení chráněných území.



Obr.č.1. Zobrazení Skandinávie (Transitions abroad, 2017)

4.1 Norsko

Norsko popřípadě Norské království je konstituční monarchií s parlamentní demokracií, které leží na západní části Skandinávského poloostrova, jeho součástí jsou pevninské ostrovy Lofoty, Vesteraly, Bouventův ostrov v jižním Atlantiku, Medvědí ostrov, arktické souostroví Špicberky, ostrov Jan Mayen, teritorium Země královny Maud v Antarktidě a ostrov Petra I. nacházející se v jižním Pacifiku. Téměř třetina země leží za polárním kruhem. Často je zde možné vidět polární záře tzv. *Aurora borealis*. Klima je velmi různorodé díky své poloze a rozloze, kdy průměrná roční teplota na jihu je okolo 7,7°C a na severu se pohybuje kolem 3°C (Kostrzewa et Kostrzewa, 2002).

4.2 Švédsko

Švédsko či Švédské království je největším státem Skandinávského poloostrova a svou rozlohou (necelých 450 000 km²) se řadí mezi největší státy Evropy. Švédsko je konstituční monarchií a je rozděleno na 3 části - Norrland, Svealand a Götaland. Zajímavostí je, že je zde největší genderová rovnost a to

z hlediska celého světa (World Economic Forum, 2016). Převažuje zde mírné klima z důvodu ovlivnění podnebí teplým Golfským proudem. Průměrná roční teplota se velmi liší podle to v jaké části se ve Švédsku nacházíme, kdy za polárním kruhem dosahuje hodnot pod 0 °C, na jihozápadním pobřeží může teplota dosahovat až 8 °C.

4.3 Finsko

Finsko svým plným názvem Finská republika je republikou demokratickou. Jedná se o zemi, která je přezdívána „země tisíce jezer“. Finsko spadá do dvou hlavních klimatických oblastí, kdy na jihu Finska převládá mírné severské klima a na severu vládne již klima subarktické. Teploty na jihu dosahují obvykle okolo 20 °C v létě a okolo -5 °C v zimě, na severu je výrazně chladněji a sníh není rozhodně výjimkou ani v létě. Finsko leží poměrně vysoko, je zde proto velký rozdíl v denní době mezi létem a zimou. Ve finské provincii Laponsku je v létě prakticky pořád světlo a v zimě je v nejlepším případě šero (Kostrzewa et Kostrzewa, 2002).

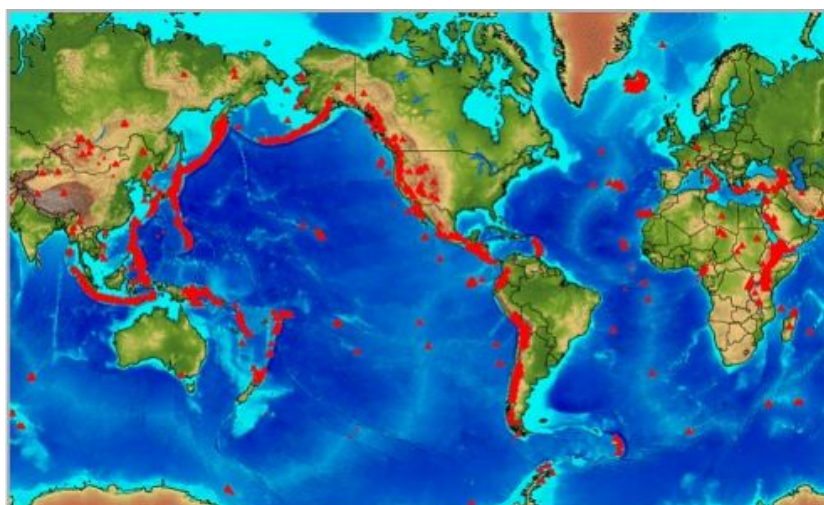
4.4 Island

Island s oficiálním názvem Islandská republika je zemí přírodní krásy z obrovské části nedotčená lidskou rukou. Island je hojný na ledovce, sopky, gejzíry, fjordy, vodopády a další přírodní krásy. Island má díky Golfskému proudu mírné oceánské klima s vydatnými dešti, k vidění je zde i *Aurora borealis*. Teploty na jihu se v zimě pohybují v nížinách okolo 2 až -1 °C, na horách poté okolo -5°C (v severní části je zima chladnější o cca 2°C) (Proctor et Leffman, 2011).

4.5 Dánsko

Dánsko neboli Dánské království je zemí nejmenší a nejjižnější ve Skandinávii, kterou však nenalezeme na Skandinávském poloostrově, ale na Jutském poloostrově a na dalších 406 přilehlých ostrovech. Dánskému království rovněž patří i Faerské ostrovy a Grónsko. Nejvýznamnější ostrovy Dánska jsou ostrovy Fyn, Sjælland, na jehož severovýchodním pobřeží se nachází hlavní město Kodaň, a Bornholm. Z důvodu ovlivnění podnebí teplým Golfským proudem panuje v Dánsku mírné klima, kdy teplotní průměr se v zimě pohybuje okolo 1,6 °C a v létě okolo 15,5 °C (Bain et Bonetto, 2015).

5 Problematika sopečné činnosti



Obr.č.2. Geografické vyobrazení činných sopek (Global Volcanism Program, 2013)

5.1 Sopečná činnost

Obecně sopečná činnost, popřípadě vulkanismus představuje jeden z nejvýraznějších faktorů v otázce změně klimatu, kdy se jedná o soubor projevů vnitřní energie planety. Vulkanismus je z hlediska člověka zvláštním přírodním procesem a představuje, tak velké hazardy a často i katastrofy. Sopečná činnost probíhala na Zemi ve všech obdobích její existence, jak v minulosti, tak i v současnosti a určitě bude i v budoucnosti. Pod pojmem sopečná činnost patří všeobecně všechny projevy magmatické aktivity, kupříkladu vlastní pronikání magmatu na zemský povrch či různé exploze plynů a par. Vedlejším projevem sopečné činnosti bývá často slabší zemětřesení, jež je způsobeno samotným pohybem magmatu (Kukal, 1983).

Mezi sopečnou činností nepatří pouze samotné stoupání magmatu ze spodních planetárních obalů do vyšších planetárních obalů, kdy může dojít až k proniknutí na samotný zemský povrch. Je zde výskyt i dalších doprovodných jevů, jak už bylo řečeno, kupříkladu zemětřesení. Místem proniknutí všech vulkanických produktů na povrch země se stává místem vzniku sopky (vulkánu). Více o vzniku samotných sopek bude probráno v další samostatné podkapitole.

V případě, kdy magma proniká na samotný zemský povrch, se magma označuje jako láva, při stékání po svazích vznikají lávové proudy. Při erupci sopky lze dojít i k vyvrhování množství pevných částic, které označujeme termínem

pyroklastika. Pyroklastika jsou při proniknutí na zemský povrch naopak označovány termínem tefra, kdy jejím zpevněním dochází ke vzniku pyroklastických hornin pojmenované termínem tufy. Pyroklastický sediment ve vodě společně s terigenním materiálem vytváří tzv. tufit.

Mezi další doprovodné jevy patří exhalace plyných látek a sopečných aerosolů, kdy se jedná o směs malých pevných popřípadě kapalných částic plynu. Tyto exhalace se dějí nejen při vlastní erupci činné sopky, ale řadí se také mezi posopečné aktivity. Sopečné plyny se uvolňují přímo z jícnu sopky nebo i z vlastního vulkanického materiálu-lávy (Kukal, 1983). Samotná sopečná erupce je vyvolána tlakem plynů uvolněných z magmatu a nastává v případě, kdy tlak plynů vyvolává takové napětí, kdy dojde k obrovskému proražení poslední překážky dělící magma od zemského povrchu (Soukupová, 2013). Povahu erupce do určitého bodu ovlivňuje právě složení magmatu. Z důvodu obsahu křemičitanů a plyných složek, směs těchto prvků mají markantní vliv na rozpínavost magmatické směsi a její tekutost. V rámci těchto vlastností rozlišujeme dva hlavní typy magmatu, felsické - kyselé a bazické – mafické.

Felsické magma je charakteristické vysokým obsahem SiO_2 a to konkrétně 70 %, toto složení zapříčiňuje vysokou viskozitu magmatu a velké zastoupení zachycených vulkanických plynů. Sopečné erupce s tímto typem magmatu má typický explozivní charakter a teplota felsického magmatu se pohybuje v rozmezí 900–1050°C.

Bazické magma obsahuje nižší obsah SiO_2 okolo 45–50 %. Toto magma je mnohem tekutější a je bohaté na minerály Mg (hořčíku) a Fe (železa). Co se týče zachycených vulkanických plynů, zde je mnohem menší zastoupení, z toho důvodu při erupcích nedochází téměř k žádným explozím. Teplota bazického magmatu bývá okolo 1050 – 1200°C (Textor et al., 2003).

Riziko erupce stoupá tím víc, čím více je magma natlakováno v magmaticém krbu. V případě, že tlak natolik vysoký, aby došlo k narušení okolní horniny a trhlina plná magmatu se šíří a vytéká směrem vzhůru, jedná se tak o tzv. puklinovou erupci. V případě sopky Laki se jednalo právě o erupci puklinovou. Pokud je však tlak stálý a je zde zastoupení těkavých látek dochází tak k tzv.

výbušné erupci (např. sopka Krakatoa). Dále lze zmínit tzv. hydrovulkanickou erupci, kdy dochází k nasycení okolí sopky podzemní vodou.

Pro náhlé klimatické změny jsou právě sopečné erupce jedny z největších spouštědel a to v důsledku radiačních, chemických, dynamických a tepelných poruch, které mají dopad na podnebí, přičemž dopad může být i globálního charakteru (Soukupová, 2013).

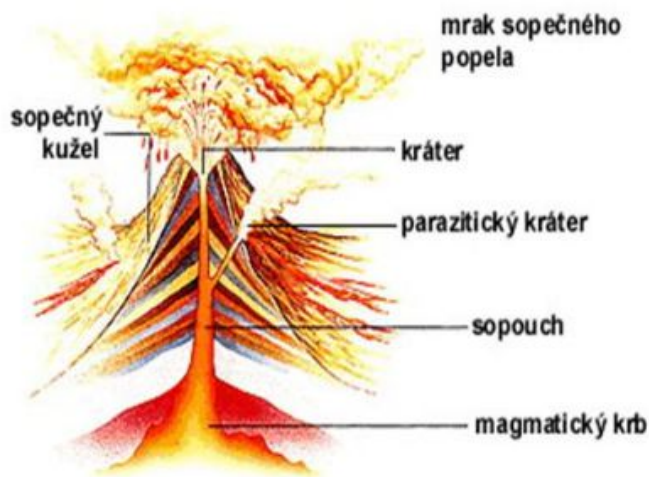
Charakter vulkanické činnosti je velmi rozmanitý a geografické rozložení – lokace vulkanické činnosti je rovněž velmi nerovnoměrná. Vše je vázáno na rozhraní litosférických desek, kdy v důsledku vysokých tektonických tlaků dochází k tavení hornin, což vede ke tvorbě magmatu. *Podle Kukala (1983)* rozlišujeme 4 stěžejní typy geologického prostředí, které jsou příznivé pro sopečnou činnost (viz. tab.č.1). Jedná se o rozdělení, které je na základě vlastností rozhraní litosférických desek. Mezi tyto geologická prostředí se řadí tzv. subdukční zóna. Jedná se o konvergentní rozhraní, kdy dochází k pohybu dvou litosférických desek směrem proti sobě. Opakem, kdy se dvě litosférické desky pohybují od sebe, mluvíme o tzv. riftové zóně, tedy tzv. divergentní rozhraní. Dalším typem jsou tzv. Hot spots, tedy horké skvrny vyskytující se uprostřed litosférických desek, v této oblasti dochází k vzestupu geotermální energie. Velmi obdobným typem jako jsou tyto horké skvrny jsou významné zlomy, které jsou čtvrtým a tedy posledním typem geologického prostředí.

Geologické prostředí	Charakter magmatu	Hlavní oblasti
subdukční zóny	felsické	Kurily, Kamčatka, Japonsko, Indonésie, střední Amerika, Středozeří
riftové zóny	bazické	Východoafrický rift, Island, Azory
významné zlomy	felsické, bazické	Karibská oblast, Kanárské a Kapverské ostrovy
horké skvrny	bazické	Havajské ostrovy, Galapágy

Tab.č.1. Geologické prostředí s určitým charakterem magmatu a hlavními oblastmi (Kukal, 1983)

5.2 Vznik sopek a jejich charakteristika

Sopky jsou mnohem starší než lidstvo samo, kdy jak uvádí *Soukupová (2013)* některé sopky jsou aktivní ve stavu neustálé erupce, jiné se ozvou jednou za krátký čas, další zahrozí za tisíce let jako je kupříkladu Yellowstone.



Obr.č.3. Řez sopkou

Dle Jirásk (1995) je „sopka tvořena ztuhlou lávou, která se při erupci vylévá na zemský povrch a vytváří charakteristický sopečný kužel, kdy kromě lávy, sopky chrlí množství plynů, dýmu a pevných látek.“

Stavební materiál sopek tvoří magma, které je obsaženo ve všech třech skupenstvích. Ve formě krystalů, představuje magma pevné skupenství. Ve fázi tekuté se jedná o taveninu, vodu a oxid siřičitý, oxid uhličitý a halogeny tvoří fázi plynou. Je nutné podotknout, že magma hraje podstatnou roli ve výbušném procesu erupce (Soukupová, 2013).

Základní prvky morfologie sopky (viz obr.č.3.) je sopečný kužel, který je zbudovaný vulkanickými horninami, kráter, což je místo erupční činnosti a sopouch, což je přívod do hlavního kráteru a dále magmatický krb, který představuje zdroj energie i materiálu pro sopečnou činnost. Magmatický krb bývá umístěn v hloubce 30 - 100 km. Důležité je podotknout, že sopka musí být pod zemským povrchem spojena s magmatickým krbem (Kukal, 1983).

V době před 3,4 miliardou let sopky vybuchovaly s mnohem větším zastoupením olivínu (peridotu) s porovnáním s dnešními sopečnými horninami, což je dokázáno mnohem vyššími teplotami erupce (Soukupová, 2013).

Téměř 70% světových vulkánů se vyskytuje v tropických oblastech a na severní polokouli (Textor et al., 2003), kde právě oblasti známé pod pojmem „kruh ohně“ nalezneme největší zastoupení sopek.

5.2.1 Rozdělení sopek

Sopky obecně můžeme rozdělit do několika skupin dle různých vlastností, kritérií. Podle průběhu erupce na explozivní, tedy výbušné a efuzivní neboli výlevné.

Explozivní sopky jsou způsobeny erupcí plynů. Zpravidla jsou charakteristické nízkými valy z pyroklastik okolo rozšířeného výbuchového hrdla v nálevkovitém tvaru. Po ukončení aktivní činnosti bývají tyto deprese ve většině případů zality vodou a označují se jako maary. Jak již z názvu vyplývá, tak efuzivní (výlevné) sopky jsou charakteristické právě pro výlevy lávy.

Podle materiálu lze rozdělit sopky na tufové, lávové a smíšené sopky tzv. stratovulkány.

Tufové sopky jsou tvořeny nesouvislými vulkanickými vyvrženinami, lávové sopky vznikají lávovými výlevy, smíšené sopky tzv. stratovulkány jsou tvořené střídáním samotných lávových výlevů a nahromaděným pyroklastickým materiálem.

Další rozdělení udává činnost sopek, kdy se jedná buď o sopky aktivní či vyhaslé.

Podle počtu erupcí na sopky monogenetické, které vzniklé pouhým jedním výbuchem a sopky polygenetické vzniklé více výbuchy.

Dále lze sopečné erupce rozdělit na centrální - středové, lineární - čárové a areální – plošné.

Centrální erupce jsou zastoupeny v nejvíce případech, jedná se o sopky, u kterých je magma přiváděno k povrchu sopouchem (viz obr.č.3.). V tomto rozdělení nalezneme čtyři podtypy sopek, konkrétně havajský typ tzv. štítová sopka, strombolský typ tzv. stratovulkán, vulkánský typ a peléiský typ sopky.

Lineární tedy čárové erupce vznikají v důsledku propuknutí magmatu k povrchu po hlubokých puklinách a tomu podobných tektonických strukturách, kdy pak láva vytéká na povrch a vytváří zde lávové příkrovy.

Erupce areální tedy plošné erupce vznikají v případě, kdy se magmatické těleso dostane k blízkosti povrchu, což povede k protavení nadloží a magma se, tak vylévá ve formě lávy do okolí – na zemský povrch (Bokr, 2004).

5.2.2 Index vulkanické explozivity (VEI)

Pro klasifikaci stupně erupce existuje několik stupnic, nejvíce používána je však stupnice VEI (Volcanic Explosivity Index), což je index vulkanické explozivity zavedený Chrisem Newhallem v roce 1982. Nejedná se o zhodnocení síly erupce, ale zhodnocení vyprodukovaného materiálu v důsledku erupce a dále bere v potaz výšku, v jaké se materiál nacházel a dobu trvání erupce. Tato stupnice je logaritmická a pohybuje se od hodnoty 0 po hodnotu 8, je tedy podobná Richterově škále pro sílu zemětřesení, každá interval reprezentuje zvýšení o faktor 10. Celkové hodnocení VEI záleží, jak na kvantitativních, tak i kvalitativních datech (Siebert et al, 2010).

5.3 Sopečné plyny

Magma obsahuje rozpuštěné plyny, které fungují jako hybná síla pro sopečnou erupci. Jedná se o princip, kdy magma stoupá směrem k povrchu, tlak klesá, plyny se uvolňují z tekuté části magmatu a dále putují směrem vzhůru, kde se uvolňují do atmosféry (USGS, 2016).

Mezi nejčastěji uvolňované plyny z vulkanického systému (viz tab.č.2.) patří vodní pára (H_2O), oxid uhličitý (CO_2) a oxid siřičitý (SO_2). V menším množství jsou zastopoupeny plyny jako je kupříkladu sirovodík (H_2S), vodík (H_2), oxid uhelný

(CO), chlorovodík (HCl), bromovodík (HBr) a fluorovodík (HF). Samozřejmě, že různé druhy sopečné aktivity mají za následek rozdílné hodnoty v chemickém složení plynů.

Sopečné plyny	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	H ₂ S	COS	CS ₂	HCl	HBr	HF
Zastoupení (%)	50-90	1-40	1-25	1-10	10 ⁻⁴ -10 ⁻²	10 ⁻⁴ -10 ⁻²	1-10	?	<10 ⁻³
Mt/rok	?	75	1,5-50	1-2,8	0,006-0,1	0,007-0,096	0,4-11	0,0078-0,1	0,06-6

Tab.č.2. Sopečné plyny a jejich zastoupení (Textor et al., 2003)

Exhalované vulkanické plyny lze rozdělit podle chemického složení a teploty na tři hlavní kategorie, konkrétně na fumaroly, solfatary a moffety *jak uvádí Kukul (1983)*. Fumaroly jsou vulkanické plyny s teplotou okolo 200-800°C a největší zastoupení je H₂O. Povaha fumarolů může být kyselá, neutrální nebo zásaditá. Exhalace vulkanických plynů, u kterých je převažující zastoupení S (síra) a teplota se pohybuje v rozmezí od 100-250°C se jedná o solfatary. Naopak u moffet převažuje oxid uhlíku a teplota je zhruba do 100°C.

5.3.1 Vodní pára H₂O

Vodní pára je, jak je vidět z tabulky č.2. nejčastěji uvolňovaný plyn z vulkanické činnosti a to z 50-90 %. Z toho důvodu, že se obrovské množství H₂O vyskytuje na povrchu Země v kapalném skupenství tvoří, tak i velkou část v roztaveném magmatu. Juvenilní voda je pak voda, která vzniká kondenzací sopečných plynů v zemské kůře. Nelze opomenout, že vodní pára je i součástí skleníkových plynů.

5.3.2 Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý představuje přibližně 0,04% vzduchu v zemské atmosféře. V průměru během roku, sopky uvolňují 180 až 440 milionů tun oxidu uhličitého, jedná se o bezbarvý plyn bez zápachu (USGS, 2016). Rovněž CO₂ se řadí mezi skleníkové plyny, které mají schopnost ovlivnit globální klima. Vědecké studie však ukazují, že vliv v průměru (v globálním měřítku) v rámci sopečné činnosti je zanedbatelný ve srovnání s emisemi z lidské činnosti (USGS, 2016). Oxid uhličitý může i způsobit smrt a to v případě, kdy dochází k proudění do níže položených poloh, jelikož je těžší než vzduch. Ve sníženinách v okolí sopky se nakumuluje a v jeskyních může takto setrvat. Dýchání vzduchu s více než 3% CO₂ může rychle vést

k bolesti hlavy, závratí, bušení srdce a problémům s dýcháním. V mísicích poměrech vyšší než asi 15%, oxid uhličitý rychle způsobí ztrátu vědomí a smrt. Vzduch s více než 30% obsahem CO₂ způsobí bezvědomí, a poté i smrt (USGS, 2016).

5.3.3 Oxid siřičitý SO₂

Jedná se o bezbarvý plyn s pronikavým zápachem, který dráždí pokožku a tkáň a sliznice očí, nosu a krku. Emise SO₂ může způsobovat kyselé deště a znečištění ovzduší. Při velmi velkých erupcích, oxid siřičitý SO₂ může vystoupit do výšky větší než 10 km do stratosféry. Zde je SO₂ převeden na síranové aerosoly, které odrážejí sluneční světlo a mají účinek na zemské klima (ochlazení). Rovněž hrají velkou roli v poškozování ozonové vrstvy, protože mnoho z reakcí, které ničí ozon se vyskytují na povrchu těchto aerosolů (USGS, 2016).

5.3.4 Sirovodík H₂S

Sirovodík H₂S je bezbarvý, hořlavý plyn se silným a nepříjemným zápachem, který se při směšovacím poměru nad 0,01% stává velmi toxickým, kdy způsobuje podráždění horních cest dýchacích a při dlouhé expozici až plicní edém. Vystavení 500 ppm může způsobit, že člověk upadne do bezvědomí do cca 5 minut a umírá do méně jak hodiny (USGS, 2016).

5.3.5 Chlorovodík HCl, fluorovodík HF a bromovodík HBr

Když magma stoupá blízko k zemskému povrchu, sopky mohou emitovat halogeny, chlor, fluor a brom ve formě halogenovodíků (HCl, HF a HBr). Jedná se o velmi silné kyseliny, které mají vysokou rozpustnost a přispívají ke vzniku kyselých dešťů. Ve formě částic popela mohou způsobit usychání a kontaminaci vegetace a tím také smrt pasoucích se zvířat (USGS, 2016).

5.4 Faktor vymírání a sopečná činnost

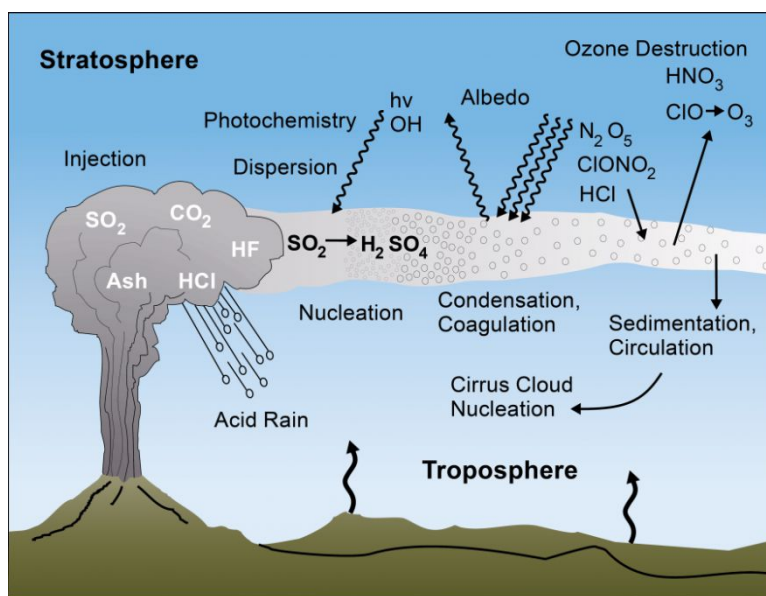
Hromadná vymírání jsou úzce spjata se sopečnou činností a *dle Soukupové (2013)* jsou definována jako „*geologicky krátké intervaly, obvykle méně než jeden milion let, kdy byla míra vymírání vyšší než normální výměna druhů a kdy zánik taxonů je globální a trvalý.*”

Samotná náhlá vyhynutí lze vyzorovat z nadložních vrstev, kde posléze vidíme úbytek diverzity. Taková katastrofické vymírání je proces složitý, který je hůře identifikovatelný, jelikož má v sobě spoustu faktorů.

V případě opakování některých z největších katastrof v nynější době by došlo k celkové destabilizaci civilizace. Je důležité podotknout, že tři největší katastrofy vztahující se k masovému vymírání jsou právě spjaty se sopečnou činností, tedy s masivními výlevy lávy, jež jsou v literatuře označovány jako tzv. velké magmatické provincie popřípadě trapy.

5.5 Vliv sopečné činnosti na atmosféru

Právě ony vulkanické erupce jsou největšími viníky v otázce náhlých klimatických změn z důvodu chemických, dynamických, tepelných a radiačních defektů (Soukupová, 2013). Dopad může být lokální, regionální, v horších případech i globálního charakteru. Spadá sem kupříkladu VOG tzv. vulkanický smog, kyselé deště, ničení ozonové vrstvy či již samotné ovlivňování globálního klimatu.



Obr.č.4. Sopečné plyny a jejich reakce v atmosféře (USGS, 2016)

Jak uvádí USGS (2016), během velkých výbušných erupcí se uvolní obrovské množství sopečného plynu, aerosolových částic a popelu do stratosféry. Uvolněné částice popela mají jen malý vliv na klima, zato sopečné plyny, jako je oxid siřičitý (SO₂) může způsobit globální ochlazování a naopak sopečný plyn oxid uhličitý (CO₂), což je mimo jiné skleníkový plyn, podporuje globální oteplování.

5.5.1 Vulkanický smog

Vulkanický smog neboli ve zkratce VOG působí lokálně a vzniká tak fotochemickou reakcí uvolňovaného oxidu siřičitého (SO_2), dále vodní páry a prachových částic. Jedná se o reakci, při které vznikají toxické sulfátové aerosoly. Jedná se o oblak, který snižuje viditelnost doprovázen oparem, tento vulkanický smog může způsobovat nejen zdravotní potíže (dráždění očí, špatné dýchání), ale může mít i za následek kontaminaci povrchových zdrojů vody. Právě tento smog byl jednou z příčin mnoha úmrtí po erupci sopky Laki a pozorován byl jako „suchá mlha“ nad Evropou.

5.5.2 Kyselé deště

V důsledku sopečné činnosti mohou vznikat kyselé deště, které vytvářejí sopečné plyny, zejména tedy oxidy síry, při kontaktu s vodou (vodní páry) v atmosféře. Jedná se o spíše i regionální dopad, tyto kyselé deště způsobují kontaminaci povrchových zdrojů vody, dochází k ničení úrody a v neposlední řadě i zdravotní problémy.

5.5.3 Destrukce ozonové vrstvy

K destrukci ozonové vrstvy dochází ve stratosféře (viz obr.č.4.), která je však z hlediska sopečné činnosti „nepřímá“, neboť kyselina chlorovodíková (HCl) a oxid siřičitý (SO_2) jsou pro samotnou ozonovou vrstvu neškodné, fungují jako určitá forma „přepravy“ pro freony, které se na ně chytají a putují, tak do stratosféry a dochází, tak k ničení ozonové vrstvy. Právě freony (CFC), člověkem vytvořené jsou ty, které přímo ničí ozonovou vrstvu (USGS, 2016).

5.5.4 Změna globálního klimatu

Co je velmi zajímavé je to, že sopečná činnost ovlivňuje globální klima ze dvou pohledů, sopečná činnost může zapříčinit jak oteplování, tak i ochlazování klimatu, přičemž globálního oteplování je z tohoto hlediska nepřímé (viz destrukce ozonové vrstvy). Aerosoly oxidu siřičitého brání dopadu sluneční energie na zemský povrch, jelikož tuto energii odrážejí a snižují tak celkovou teplotu. Velkou roli zde hrají samozřejmě i samotný vulkanický prach a popel, které rovněž blokuji sluneční záření.

Několik erupcí v průběhu minulého století způsobilo pokles průměrné teploty na zemském povrchu až o půl stupně Celsia na dobu od jednoho roku do tří let. Erupce sopky Pinatubo dne 15. června 1991, byla jedna z největších erupcí dvacátého století a došlo, tak k uvolnění až 20 milionů tun (metrická stupnice) oxidu siřičitého (SO₂) ve formě mraku do stratosféry do výšky více než 32 kilometrů. Tzv. "Pinatubo mrak" byl největší mrak oxidu siřičitého, kdy byl pozorován ve stratosféře od začátku pozorování pomocí satelitů v roce 1978. Všechny studie globálních vulkanických emisí oxidu uhličitého k dnešnímu dni naznačují, že současné sopky uvolňují méně než procento oxidu uhličitého uvolněného v současné době lidskou činností. Intenzivní uvolňování oxidu uhličitého v rámci sopečné činnosti v hluboké geologické minulosti způsobovaly globální oteplování a možná některá masové vymírání, jedná se však o téma vědecké debaty v současnosti (USGS, 2016).

Nyní si ve zkratce představíme vybrané erupce, konkrétně čtyři, které měly obrovský dopad na život na Zemi jako takový.

6 Důležité erupce v lidské historii

6.1 Vesuv

Vulkán Vesuv se nachází východně od Neapole, je 300 000 let starý a je pozůstatkem sopky, jenž byla aktivní před 17 000 lety. K velké erupci došlo 24.8.79 n.l., kdy došlo nejen ke zničení antických měst Pompeje a Herculaneum, ale i úmrtí až 10 000 lidí. Hodnota indexu vulkanické explozivity (VEI) se odhaduje na VEI 5, údaje dále hovoří o tom, že Vesuv byl aktivní až do roku 1036 a nepatrnými erupcemi se projevuje stále až do dnes. A na zajímavost na závěr, během druhé světové války chtěli spojenci uměle vytvořit erupci pomocí leteckých pum, které shazovali do kráterů Vesuvu a Etny (Soukupová, 2013).

6.2 Tambora

Jak uvádí Moldan (2015) výbuch sopky Tambora roku 1815 na indonésském ostrově Sumbawa je nejvíce známým výbuchem sopky vůbec v lidské historii. Odhady tvrdí, že exploze uvolnila až $3 \cdot 10^{17}$ g hmoty a vrchol samotné sopky poklesnul až o 1000 metrů, VEI odpovídá hodnotě 7. Jak již bylo řečeno, vulkanismus má markantní vliv na samotné klima, konkrétně tedy klima ochlazuje, kdy roku 1816, rok po erupci zde probíhal tzv. rok bez léta, což mělo katastrofální

důsledky na tamější úrodu. Nutno podotknout, že v důsledku této exploze zemřelo až 12 000 lidí (toto číslo se přisuzuje pouze v důsledku přímé exploze, konečné číslo bude zcela jistě vyšší v důsledku způsobených zranění a hladu).

6.3 Krakatoa

Sopka Krakatoa leží mezi ostrovy Jáva a Sumatra, Krakatoa ovlivnila na dalších téměř 5 let globální klima a řadí se, tak neodmyslitelně mezi nejdůležitější exploze sopek v naší novodobé historii. Erupce sopky začla dne 27. srpna roku 1883, samotný výbuch bylo slyšet více než 2500 mil daleko. Přístroje po celé Zemi zaznamenaly, že tlaková vlna obkroužila Zemi celkem sedmkrát. Došlo, tak samozřejmě k masivnímu zničení celého ostrova v důsledku obrovských vln tsunami (125 m s rychlostí 300 mil za hodinu), které zasáhly obydlené oblasti, kdy množství úmrtí se udává až 36 000 lidí. V důsledku sopečného popela byly vidět po dobu 13 dnů zajímavé atmosférické jevy, jako byly modré a zelené nádechy slunce v tropech a červeně zabarvené západy slunce ve vyšších zeměpisných šířkách. Teplota na Zemi se snížila o jeden stupeň na příští dva roky a k normálu se dostala až v roce 1888 (Hoyt, 2011).

6.4 Pinatubo

Místem sopky Pinatubo jsou Filipíny, kdy roku 1991 dne 15.června došlo k její erupci. Jak jsem již zmiňovala v předchozí kapitole erupce sopky Pinatubo byla jedna z největších erupcí dvacátého století, došlo tak k uvolnění až 20 milionů tun (metrická stupnice) oxidu siřičitého (SO_2) ve formě mraku do stratosféry do výšky více než 32 kilometrů.

„Pro ty, kteří se snaží pochopit přirozené i antropogenní procesy v rámci globální změny, erupce (sopky Pinatubo v roce 1991) představila snad jednou v životě příležitost pro toto pochopení“ (McCormick et al, 1995)

Množství aerosolu je považováno za největší, co se týče narušení stratosféry ve dvacátém století, ačkoli pravděpodobně menší než z erupce Krakatau v roce 1883 a Tambory v roce 1815 (USGS, 2016).

Další kapitola se zabývá tématem „nejdůležitější klimatologické veličiny“, jelikož v této práci bude právě teplota vzduchu graficky zpracována, je důležité si tuto problematiku objasnit.

7 Nejdůležitější klimatologické veličiny

Co se týče vývoje klimatu a změn klimatu v rámci regionu, je důležité si zmínit dva významné ukazatelé: teplota vzduchu a srážkový úhrn. Nyní si tyto dvě veličiny stručně vysvětlíme.

7.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je veličina, která má jak v klimatologii, tak i v meteorologii markantní význam. Společně se srážkovým úhrnem patří k nejdůležitějším indikátorům v otázce vývoje regionálního klimatu a jeho případných změn (Pretel, 2011). V meteorologii probíhá měření následovně: teplota vzduchu se měří na meteorologických stanicích, ve stínu a ve výšce 2 m nad zemským povrchem. Jednotce teploty vzduchu odpovídá stupeň Celsia ($^{\circ}\text{C}$), autorem jednotky Celsia je švédský astronom Anders Celsius. Měření teploty vzduchu probíhá za pomoci teploměrů, kterých existuje celá řada (kapalinové, bimetalové, plynové, odporové, termoelektrické či radiační). Za zmínku stojí první jednoduchý teploměr, který vymyslel jako první italský matematik Galileo Galilei mezi lety 1592-1603 (Malá, 2014).

Teplotních stupnic existuje též celá řada. Kelvinova stupnice pojmenována po irském fyzikovi a matematikovi Williamu Thomsonu lordu Kelvinovi. Jednotka stupnice odpovídá Kelvin značené K. Kelvinova stupnice je tzv. absolutní teplotní stupnice z toho důvodu, že její začátek leží v absolutní nule. Důležité v této soustavě je voda tzv. trojného bodu, kdy se jedná o bod udávající teplotu a tlak, v rámci kterých zde existuje rovnovážný stav mezi všemi třemi skupenstvími současně, tedy mezi kapalinou, plynem a pevnou látkou, která má hodnotu 273,16 K (Malá, 2014). Nejrozšířenější stupnicí a též neznámější stupnicí je stupnice Celsiova, která se rovněž opírá o dva základní body (0°C a 100°C). Jednotky stupnice jsou stupně Celsia ($^{\circ}\text{C}$). První je teplota 0°C , což je bod tuhnutí a druhý bod je 100°C , což je naopak bod varu, vše za podmínek rovnovážného stavu a za normálního tlaku vzduchu, což je 1013,16hPa, jak uvádí Malá (2014). Uvádí se, že v blízké historii se v Evropě používala Fahrenheitovou teplotní stupnice. V současnosti je tato teplotní stupnice používána především v angloamerických zemích jako je Kanada, Velká Británie a samozřejmě i ve Spojených státech amerických (Malá, 2014). Jedná se o stupnici, která rovněž vychází ze dvou bodů. Kdy první bod je 0°F , což je směs ledu,

vody a chloridu amonného a druhý bod odpovídá teplotě zdravého lidského těla, což je 96 °F. Jednotka této stupnice je tedy stupeň Fahrenheit (°F). Pro 0 °C se rovná 32 °F. Tato stupnice byla vytvořena roku 1724 a to polským fyzikem jménem Daniel Gabriel Fahrenheit. Za zmínku stojí i teplotní stupnice Rankinova a Réaumurova, která se v minulosti používala. Pro stanovení teploty vzduchu se však ve většině případů používá Celsiova a Fahrenheitova stupnice (Malá, 2014).

Co se týče obecné informovanosti, tak pár minut po východu slunce je nejnižší teplota, naopak nejvyšší teplota je zhruba kolem 14 hodiny odpoledne. Co se týče dnů podle teplot, tak arktický den nastane v případě, kdy bude maximální teplota vzduchu -10,0°C nebo nižší. Ledový den nastane, kdy maximální teplota vzduchu bude nižší než 0,0 °C. Letní den je zase takový, kdy teplota vzduchu bude 25,0 °C nebo vyšší. V případě kdy teplota vzduchu bude pohybovat k 30,0 °C a více tak se jedná o tropický den. Minimální teplota vzduchu nižší než 0,0 °C je charakteristická pro mrazový den jak uvádí Malá (2014).

7.2 Srážky

Srážkový úhrn, tedy atmosférické srážky jsou částice, jenž vznikají na základě kondenzace vodní páry v atmosféře. Částice se nacházejí buď v kapalném nebo v pevném skupenství, částice můžeme nalézt v atmosféře, na zemském povrchu, ale i na samotných předmětech (Malá, 2014).

Dle Soukupové (2007) můžeme srážky rozčlenit na čtyři třídy, a to podle skupenství, původu, délky trvání a podle příčiny vzniku. Podle skupenství můžeme srážky rozdělit na : kapalně (rosa, déšť), tuhé (rosa, jíní) a na smíšené (Soukupová, 2007). Podle původu můžeme rozdělit srážky na vertikální a horizontální. Vertikální srážky jsou takové srážky, které jednoduše padají z oblaků. Vznikají procesem kondenzace, kdy částice jsou už v takové fázi, kdy se už v ovzduší nadále neudrží a padají dolů - směrem k zemskému povrchu. Mezi vertikální srážky patří samotný déšť, mrholení, sníh či kroupy (Malá, 2014). Zajímavým případem vertikálních srážek jsou tzv. virga, které sice padají z oblaku, ale nedochází k dopadu až na samotný zemský povrch, neboť se vypaří ve vzduchu (Soukupová, 2007). Horizontální srážky, známé i pod atributem usazené (usazené z toho důvodu, že se tvoří těsně při zemi). Tyto horizontální srážky vznikají tak, že vodní páry kondenzují a posléze se usazují v důsledku kontaktu se studeným povrchem. Mezi tyto srážky

patří jíní, rosa, jinovatka, ovlhnutí, náledí, námraza či ledovka (Malá, 2014). Podle délky trvání rozdělujeme srážky na trvalé srážky a přeháňky, jak uvádí Soukupová (2007). Poslední třída, tedy čtvrtá třída rozděljuje srážky podle příčiny vzniku, kdy se jedná o srážky nefrontální, frontální a orografické.

V otázce samotného režimu srážek, je důležité zde zmínit srážkový úhrn. Srážkový úhrn je definován jako „*dlouhodobé průměrné množství srážek za zvolený časový interval*“, což uvádí Vysoudil (2006). Takové množství srážek, které dopadá na zemský povrch se vyjadřuje konkrétně v mm vodního sloupce. Dále, co je důležité zde poznamenat je informace o denním a ročním chodu srážek. Denní chod srážek rozlišuje typ pevninský, pobřežní a horský. Pevninský typ je charakteristický dvěma maximama srážek a dvěma minimama srážek, přičemž první maximum je časně po poledni a pak brzo ráno. První minimum nastává zhruba po půlnoci a posléze před polednem. Výhradně jedno maximum a jedno minimum má typ pobřežní, kdy maximum přichází ihned z rána a minimum nastává v odpoledních hodinách. Tzv. horský typ je charakterizován, že na vrcholcích je maximum po poledních hodinách nebo večer a naopak v údolích maximum nastává obvykle v nočních hodinách (Soukupová, 2007). Jak již bylo zmíněno kromě denního chodu srážek zde existuje i roční chod srážek, který je charakteristický vysokou proměnlivostí na daných geografických oblastech. Radíme sem tyto typy: polární, rovníkový, tropický, tropických monzunů, subtropický středomořský, pevninský mírných šířek, mořský mírných šířek a monzunový mírných šířek (Vysoudil, 2006).

Pro samotné pozorování a měření srážek jsou používány ombrografy a srážkoměry. Srážkoměr měří samotné množství srážek a ombrograf na rozdíl od srážkoměru měří jak srážkový úhrn, tak i průběh srážek v čase. Pro pozorování a měření srážek je nutné znát jak druhy srážek, srážkový úhrn, délku trvání srážek a v neposlední řadě i jejich intenzitu (Soukupová, 2007).

Právě teplotní a srážkový režim bývá ovlivňován sopečnou erupcí, v další části práce bude vliv sopečné činnosti na teplotu graficky znázorněn.

8 Sopka Laki

Sopka Laki se nachází v jižní části Islandu (viz obr.č.5.) na ostrově jež je geologicky aktivním územím ležící na rozhraní severoamerické a euroasijské litosférické desky. Sopka Laki dala jméno 25 kilometrů dlouhé řadě sopek (trhlinovému systému) tzv. Lakagígar.



Obr.č. 5. Lokace Laki na Islandu
(Google Maps, 2017)



Obr.č.6. Pohled do oblasti
Lakagígar (USGS, 2008)

V následující kapitole bude probrán průběh a dopady erupce Laki, nejprve tedy samotný průběh erupce, „putování“ sopečného mraku do okolí, dále jak se projevoval v rámci atmosféry vliv sopečné mlhy v různých zemích nejen Evropy, ale i na ostatních světadílech.

9 Průběh a dopady erupce Laki

Erupce sopky, která se stala roku 1783 patří k nejhorším sopečným katastrofám v samotných dějinách lidstva a stala se tedy i nejhorší sopečnou katastrofou na Islandu. Erupce Laki se svým výlevem lávy řadí mezi ty největší, hned po sopce Eldgja (pozn. sopky Laki , Eyjafjöll, Katla, Eldgja jsou součástí jednoho rozsáhlého sopečného systému) na severní polokouli.

Rok 1783 byl vůbec dle historiků sled podivných přírodních událostí - úkazů, od velmi silných bouří doprovázeny krupobitím na jaře a v létě přes zemětřesení v Anglii, Německu, Francii či Itálii (v italské Kalábrii až 40 000 zemřelých obyvatel), dále polárních září, objevení komety 226P/Pigott-LINEAR/Kowalski a v neposlední řadě sopečná činnost v rámci sopky Asama, Vesuv a již zmiňované sopky Laki.

Vše začalo v neděli konkrétně 8. června v devět hodin místního času v již zmiňovaném roce 1783, kdy došlo k otevření trhliny Laki a došlo, tak k první výbušné fázi její sopečné činnosti (Soukupová, 2013).

V důsledku erupce došlo k vychrlení až 122 Mt oxidu siřičitého (SO_2) během prvních šesti týdnů její erupce (80% všech zplodin bylo právě uvolněno během těchto prvních šesti týdnů) (Soukupová, 2013). Co se týče konkrétních čísel *dle autorů Thordarson a Self (2003)* došlo v důsledku erupce k uvolnění 122 Mt oxidu siřičitého (SO_2), ze kterého vzniklo téměř 200 Mt kyseliny sírové (H_2SO_4). Dále 6,8 Mt HCl a 15,1 Mt HF. Uvádí se, že 75% z celkového množství kyseliny sírové (H_2SO_4), tedy celých 175 Mt H_2SO_4 aerosolů bylo „odstraněno“ z atmosféry jako kyselé srážky a způsobilo extrémní sopečné znečištění tzv. suchou mlhu, která se byla nad Evropou a ostatními regiony v roce 1783. Zbývající 25%, tedy 25 Mt zůstalo na úrovni tropopauzy po více jak jeden rok. Jak uvádí *Thordarson a Self (2003)*, že kyselost srážek byla až taková, že kapky způsobily propálené díry v lodích v přístavu, lidem a zvířatům způsobovala až rány na kůži a neposlední řadě podráždění očí.

Tato explozivní erupce pokryla více než 8000 čtverečních kilometrů (3,089 milí čtverečních) společně se sopečným popelem a škvárou (USGS, 2008). *Dle Píska a Brázdila (2006)* byla hodnota indexu vulkanické explozivity (VEI) rovna 4, naopak *dle Global Volcanism Program* byla hodnota VEI 4+(což je tedy více jak 4 VEI). Důležité je podotknout, že i když je hodnota VEI 4 hodnotou nízkou, tak díky čedičovému složení magmatu to vedlo k obrovskému uvolnění síry.

9.1 Prvotní pozorování sopečné mlhy

V rámci erupce byli k vidění i zvláštní atmosférické jevy, jako je kupříkladu opalizace ovzduší („barvohra“), chvění nebeských těles, červené Slunce a v neposlední řadě byla přítomna „suchá mlha“ (Soukupová, 2013). Pro tuto suchou

mlhu existuje řada pojmenování od „*sol-röken*“ ze Švédska, „*Höhenrauch*“ z Německa či „*haze*“ z Islandu, angličtiny pak vychází z označení „*great dry fog*“ (Thordarson et Self, 2003).

Nesmíme zapomenout podotknout, že díky pastorovi jménem Jón Steingrímsson, který sloužil v kostele slavnou mši, máme svědectví, jak to vlastně všechno začalo „*uprostřed rána, na Boží hod svatodušní, 8.června 1783 za jasného a klidného počasí objevil se černý opar písku na severu hor, blízko farm oblasti Sída a Fljótshverfi, mrak byl natolik rozsáhlý, že pokryl celou oblast Sída a Fljótshverf a způsobil hustou temnotu*“.

Dále i samotný Benjamin Franklin, jeden ze zakladatelů americké demokratické kultury objevil správnou příčinu existence této mlhy a komentoval jej „*tato mlha byla trvalého charakteru, suchá, zdálo se, že sluneční paprsky mají pouze malý vliv na rozptylování se, na rozdíl od toho, když je mlha vlhká, tak se z vody sluneční paprsky odrážejí, bylo tomu, tak i dokázáno při testování průchodu slunečních paprsků sklíčkem*“.

Jón Steingrímsson dále pokračoval se svědectvím, ve kterém komentoval 12. červen - *den čtvrtý* slovy „*přival lávy se vylil z kaňonu řeky Skaftá, vylila se tak obrovskou a ničivou rychlostí, že vše bylo doprovázeno řevem a hřměním*“. „*Když se roztavená láva dostala do mokřadů a vodních toků, exploze byla tak hlasitá jako kdyby několik kanonů byly zapáleno najednou*“. Mezitím popel klesal a *šestý den* byl podle slov Jóna Steingrímssona klidný, ale celá oblast zde byla pokryta popelem (Oppenheimer, 2011).

Britský historik Gilbert White komentoval děsivé léto roku 1783 v knize nesoucí název *Natural History and Antiquities of Selbourn* (publikována roku 1789) slovy „*léto roku 1783 bylo úžasné a hrozivé zároveň, podivný opar či kouřová mlha převládala po mnoha týdnů nad ostrovem, visela nad každou částí Evropy a to i mimo její hranice, měla mimořádný vzhled a nikdo si nedokázal vysvětlit její původ, něco takového lidé nepamatovali*“. „*Podle mého deníku, jsem si všiml tohoto pozoruhodnému úkazu od 23.června a to až do 20.července, včetně ... slunce v poledne vypadalo čistě jako zamračený měsíc, ale zejména bylo křiklavě červeně zabarvené při jeho východu a západu*“ (Oppenheimer, 2011).

Co se týče prvotních pozorování, nejprve byl spatřen onen atmosférický fenomén - sopečný mrak – suchá mlha, jak jinak než na Islandu, dále námořníky v blízkosti Faerských ostrovů okolo 10. června, dále jsou datovány záznamy z norských měst Bergen a Trondheim rovněž okolo 10.června, z obou měst záznamy mluví o kyselých deštích, přítomnosti padajícího popela, jak tráva a listy pomalu uvadaly. Další záznamy pozorování sopečné mlhy pocházejí ze Skotska a následně i z observatoře Klementinum v Praze 16. června 1783. Ve stejný den ji zaznamenaly obyvatelé ve městě Stykkishólmur na Islandu, dle jejich slov vše začalo 8 dní po Božím hodě svatodušním, kdy byla celá zem pokryta tmou v důsledku přítomnosti kouře, písku, popela, Slunce připomínalo při západu a východu obrovskou ohnivou kouli (Thordarson et Self, 2003). Den poté 17. června se mezi další pozorovatele řadí Ženeva ve Švýcarsku. Dále v rozmezí od 17.-18.června záznamy z Německa společně s Polskem 17. června, s Francií (18.-21.června), Velkou Británií v rozmezí od 22.-25.června a Itálií v rozmezí od 16.-19. června (Stothers, 1996).

Noviny *The London Gazette* (1787) přišly dne 23. září se zprávou, ve které píše o této katastrofální události, informace čerpaly z dopisu, který doputoval z Islandu 24. července do Kodaně.

V hlavním městě Německa v rozmezí od 15. do 29. června byl lesk Slunce prakticky matný kvůli přítomnosti sopečné mlhy, Slunce při západu a východu bylo zbarvené do ruda jako kdyby bylo „*nasáklé krví*“. Atmosféra byla tak plná silných výparů, že došlo k zabránění dopadu slunečních paprsků a nebylo možné pozorovat vůbec nic a to zejména 22., 23., 24., 26. a 28. června. Od července až do října bylo Slunce rudě zbarvené a mlha se držela „*vysoko v oblacích*“.

Dne 23. června ji zaznamenali v Budapešti a popsali „*obloha byla konstantě plná kouřem, která byla podobně husté mlze*“. V Ženevě chápali tento úkaz jako jedinečný druh, který nebyl kdy pozorován žádnými předchozími studenty přírody. Sopečná mlha byla dle jejich slov natolik hustá, že bránila paprskům Slunce, měla modrou barvu a pronikala až k nejvyšším vrcholům Alp.

Když ráno 17. června dorazila mlha do polského města Zaháň vypadalo to, jako kdyby mlha adsorbovala veškerou vlhkost, vláhu. Bylo hrozné sucho až do začátku listopadu. Silné bouřky s blesky ani husté deště neměly na tuto mlhu žádný

vliv. Některé dny v červenci bylo sotva Slunce viditelné, kdy barva byla až rudá a okolo poledne žlutozelená (Thordarson et Self, 2003).

Dne 19.června profesor fyziky a průkopník v meteorologii jménem Jan Hendrik van Swinden z University Franeker ve Frísku (dnes součást Nizozemska) si právem zasloužil o bystré tvrzení a rozeznal tak tento sopečný mrak od mraku typického právě „*svou stálostí, hustotou a zejména svým velmi suchým charakterem*“. Dále dle jeho slov „*sopečný mrak dosáhl úrovně země dne 24. června, což sebou přineslo sirný zápach velmi dobře vnímaný smysly, plazil se všude ... lidé s křehkými plícemi nebyli schopni zastavit kašel, jakmile se ocitli na vzduchu ... já sám jsem to zažil a mnoho dalších ve městě, na světě ... uzemnění tohoto mraku způsobil dále i viditelné poškození vegetace ... z rána 25. června listy mnoha stromů byly objeveny, jak padají ... listy padaly jako na podzim ... vzhled polí byl opravdu pohledem smutným ... zelená barva stromů a květin naprosto zmizela ...*“ (Oppenheimer, 2011).

Zajímavostí je, že v Paříži se kupříkladu nesly zvěsti, že se znečištěním přijde i epidemie. Vědci obyvatelům doporučili, že před odchodem do ulic si mají přičichnout k octu a neodcházet ven s prázdným žaludkem. Co se týče další záludnosti v rámci Francie, udává se, že právě erupce Laki je jedna z příčin Velké francouzské revoluce (rok 1789). Autor *Oppenheimer (2011)* v tom nevidí spojitost a komentuje její, že první známka nepokojů se objevila roku 1788, rok příznivého i nepříznivého počasí. Nicméně až okolo 90% francouzské populace žilo pod životním minimem. Velkou souvislost k tomu autor nepřisuzuje.

V novinách *Gazette van Antwerpen (1787)* ze dne 18. července z Paříže bylo uvedeno, že zde bylo obrovské množství bouřek přítomné v mnoha oblastech, což se zdálo být výsledkem tehdejšího stavu atmosféry, která panovala určitou dobu. Ze stejnojmenných novin jen o číslo později přišla 22.července zpráva o hrozivé bouřce, která zasáhla 29. června české město Klatovy. Dále co se týče informací z tiskovin, *Berlinsche Nachrichten (1787)* přichází dne 14. července 1783 s informací z města Regensburg, kde došlo jak k masivním bouřkám, tak i záplavám a dokonce byly zaznamenány otřesy v oblasti Bavorska. Rovněž *Gazzetta universale (1787)* udává v září roku 1783, že v italském městě Livorno proběhla dne 30. srpna další prudká bouřka s deštěm a blesky. Zprávy z Milána dne 30. července také uvádí, že

v posledních dnech byly bouřky mnohem více časté a silně doprovázené blesky a to na různých místech.

Autor Sylvanus Urban ve svém The Gentleman's Magazine and historical chronicle (1783) popisuje, že město Ženeva zažilo, tak intenzivní bouřky s blesky, kdy v důsledku úderu do kostela, zde zemřelo 15 věřících. Dále byly zaznamenány silné bouřky ze španělského města, Cádizu.

Okolo 20. července přišly informace z tamějších tiskovin z jižní části města Halland, že ona sopečná mlha setrvávala na obzoru mnoho týdnů, byla natolik hustá, že Slunce bylo do ruda zbarvené při východu a západu.

Na ostrově Sjælland a v Kodani si všimli neobvykle rudě zbarveného Slunce, a to zejména v době od začátku června do 8. srpna. V průběhu července bylo ovzduší plné kouře a prachu tak, že Slunce bylo viditelné pouze do osmé či deváté hodiny večerní (Thordarson et Self, 2003).

A zpět k pohybu hrozivé „*great dry fog*“, mlha dle *Oppenheimera (2011)* dorazila 25.června do Moskvy, autoři *Thordarson et Self (2003)* se k tomu vyjadřují, že do Moskvy definitivně sopečná mlha dorazila 30. června, ale je dost možné, že již 25. června byl spatřen první možné zpozorování této „*great dry fog*“.

Dne 26.června byla mohla být spatřena v Lisabonu, což je popsáno slovy portugalským meteorologem jménem Jacob Crisóstomo Pretorius „*Ale to, co dělá tento rok, rok 1783 více pozoruhodným než léta předešlá, bylo mlhavé letní počasí ... Od 22. června do 6. července došlo během 14 dnů k výskytu permanentní mlhy, den a noc, a na krátkou dobu poté, co od 12. července do 20. července se stalo to stejné pro dobu 8 dní: a co je ještě, stejné mlhavé počasí se zde udrželo a vládlo ve velké části na naší polokouli ... i přes tuto kontinuální mlhu, celé léto bylo velmi suché: lze říci, zvláštní, že po dobu 70 dní, od 19. června do 27. srpna nepršelo, s výjimkou, s malou vlhkostí uvedených mlh: ačkoli tento nedostatek deště byl poté kompenzován, ...*“ (Demarée et al, 2007).

V rozmezí od 23. do 27. června dorazila do finského města Turku. Okolo 24. června byla spatřena v Kodani a ke konci června dorazila mlha do hlavního města Grónska, do města Nuuk (Thordarson et Self, 2003). Dále tento strach přinášející úkaz zaznamenala Sýrie 30.června společně s Bagdádem. A 1. července dorazila mlha do

pohoří Altaj na západu Číny (Oppenheimer, 2011). Hustá mlha, silné vichřice, špatně viditelné Slunce rudě zbarvené to vše bylo pozorováno od konce června v Sýrii v městě Tripolis. V pohoří Altaj setrvala mlha až do 17. července, 12. července byla taková zima, že teploměr v poledne na Slunci neukazoval více jak 11°C a posléze následovaly dny s nočními mrazíky (Thordarson et Self, 2003).

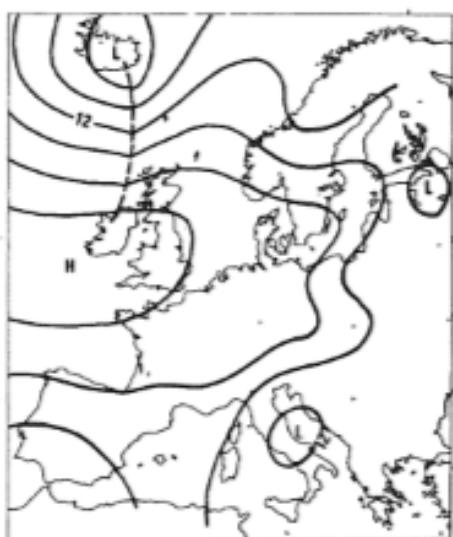
Celé aerosolové znečištění po severní polokouli se poté rozšířilo na konci července. Množství oxidu siřičitého (SO₂) způsobil skleníkový efekt, které přidalo ke globálnímu oteplování – zvýšil nadprůměrně teplo v létě v roce 1783, k čemuž pomohly i aerosoly kyseliny sírové ze sopečné exploze (aerosoly absorbují sluneční záření). Co se týče počasí v době erupce, tlaková výše se nacházela nad Islandem a kvazistacionární tlaková výše nad Evropou, v důsledku produktů ze sopečné erupce vznikaly četné bouře doprovázené krupobitím a velkou rychlostí větru. V důsledku polohy tlakových útvarů a proudění vzduchu můžeme usuzovat, že právě teploty v době erupce byly neobvyklého charakteru (Soukupová, 2013).

Data z historických meteorologických protokolů udávají, že neprůhlednost mlhy se výrazně měnila v průběhu léta a podzimu roku 1783. Obecně platí, což dokazují i záznamy, že vysoká neprůhlednost byla spojena s obdobími, kdy se mlha rozšířila až do spodní troposféry. V období, kdy byla relativně nízká neprůhlednost, mlha přetrvávala ve vyšších nadmořských výškách a nejvíc zřetelná byla při východu a západu slunce.

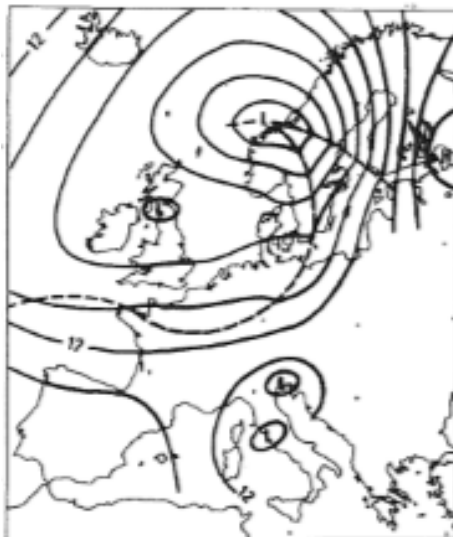
Popis šíření mlhy indikuje směr čistě na východ, kdy jak záznamy uvádějí, že nejčastější je právě šíření na východ ze zdroje v západním tryskovém proudění ve výšce více jak 15 kilometrů. Zprávy v rámci historických erupcí na Islandu napovídají, že produkty erupce putují do Evropy okolo 16 hodin přímou cestou, ale okolo 50 hodin v důsledku tryskového proudění. Pro představu, rychlost tohoto proudění odpovídají rychlostem v řádu 15 až 18 m/s. Dále historické záznamy ukazují, že atmosférické odchytky – úkazy jako je „*great dry fog*“ (sopečná mha), rudě zbarvené Slunce či neobvyklé stmívání jsou k vidění až mnohem později, obvykle až jeden až tři týdny po začátku erupce (Thordarson et Self, 2003).

V důsledku západního proudění, které panovala během erupce Laki mělo za následek rychlý pohyb – přesun sopečného mraku směrem na Evropu. Následující obrázky (viz.obr.č.7.) ukazují stav a polohu tlakových útvarů v rámci roku 1783, kdy

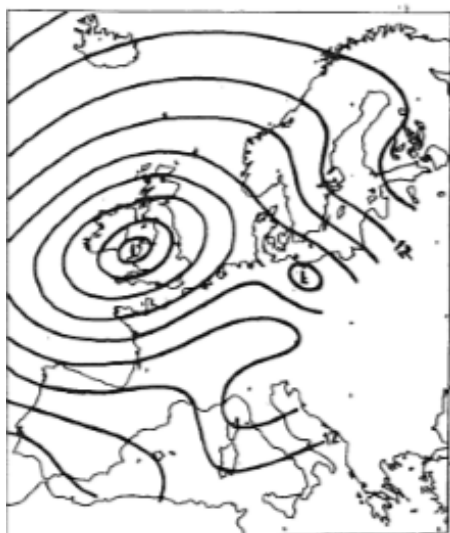
byly pro ukázkou použity jen určité dny (konkrétně 8., 12., 16. a 22. června). Pro tlakovou výši (H) platí, že vzduch proudí po směru hodinových ručiček a naopak pro tlakovou níži (L) vzduch proudí proti směru hodinových ručiček. Mapa (viz.obr. č.8) vychází z dostupných dat od *Kingtona (1988)* a souhrnně, tak značí postupný pohyb sopečného mraku právě v důsledku západního proudění, které se stalo kritické v souvislosti s erupcí Laki.



8. 6. 1783



12. 6. 1783



16. 6. 1783



22. 6. 1783

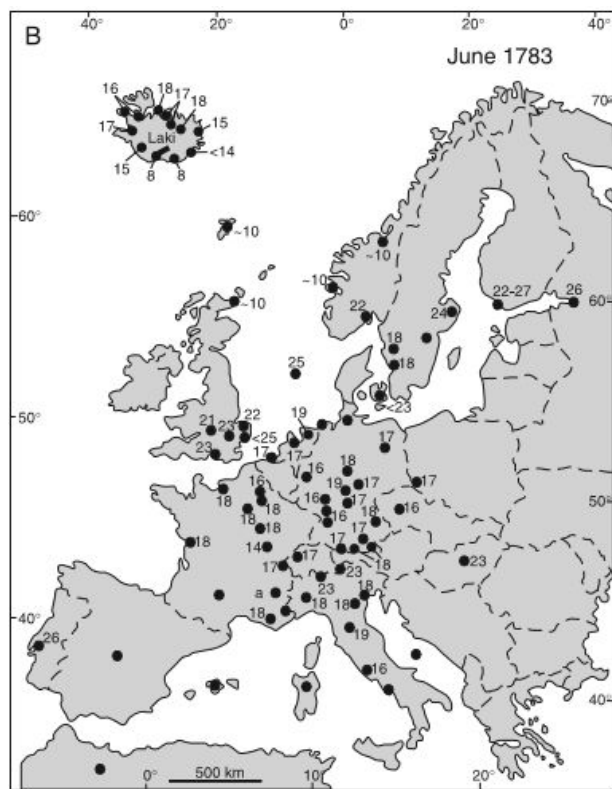
Obr.č. 7 Poloha tlakových útvarů (Kington, 1988)



Obr.č.8.Směr rozšíření sopečného mraku napříč Evropou (Kington, 1988)

Mapa zobrazuje směr postupného zasažení sopečnou mlhou napříč celou Evropou, kdy jak bylo popsáno výše, daná mapa vychází z údajů od autora *Kingtona* (1988), výše jsou rovněž uvedené přesná data a lokace, kde byla „*great dry fog*“ zpozorována.

Právě v důsledku západního proudění došlo prakticky ihned k pohybu sopečné mlhy na celou Evropu.



Obr.č.9 Mapa Evropy značená písmem B znázorňující umístění a načasování prvního výskytu tzv. suché mlhy v důsledku erupce Laki v červnu 1783, naopak mapa značená písmem D znázorňuje poslední výskyt mlhy na podzim a v zimě na přelomu roku 1783/1784 (Thordarson et Self, 2003).

Jak Thordarson et Self (2003) uvádí (viz.obr.č.9.D) zprávy o posledním výskytu sopečné mlhy jsou velmi nejednoznačné. Většina zdrojů naznačuje, že mlha zmizela v období od poloviny září do konce října, což se shoduje s dobou, kdy se výrazně snížil výlev magmatu z prasklin Laki. Informace v současných klimatických protokolech uvádí, že od poloviny září do konce října se data vztahují k poslednímu výskytu znatelně nižší troposférické mlhy. Některé záznamy hlásí přítomnost mlhy blízko k obzoru, výskyt rudého Slunce, nebo tenkou horní vrstvu atmosférické mlhy v průběhu listopadu a prosince 1783. Rudé Slunce bylo vidět v Kodani do konce února roku 1784. Dostupné údaje naznačují, že nižší složka sopečné mlhy v troposféře zmizel z atmosféry nad Evropou na konci podzimu 1783, zatímco složka sopečné mlhy ve stratosféře velmi dobře přetrvávala do zimy 1783/1784. V rámci konkrétních dat, poslední výskyt v Norsku se datuje ke 12. říjnu 1783, Švédsko k září 1783, Finsko udává srpen 1783. Země Island tvrdí, že poslední výskyt je k podzimu 1784.

9.2 Následky erupce

Velké množství dobových záznamů popisuje dalekosáhlé atmosférické efekty a důsledky této erupce. Tyto záznamy ukazují, že sopečný mlha, tedy tzv. great dry fog měla závažný dopad na životní prostředí, který se ozval téměř okamžitě, stejně jako generování déle trvajících klimatických odchylek (Thordarson et Self, 2003).

9.2.1 Evropa

Existuje mnoho záznamů o tom, že západní a centrální Evropu pohltilo horké léto roku 1783, jako například *Natural History and Antiquities of Selbourne* „*po celý čas bylo léto, tak horké, že maso od řezníka mohlo být stěží snědno den po zabíjení ...lidé začali být pověřiví při pohledu na červené slunce ... mysl lidí je vždy ohromena zvláštními a neobvyklými úkazy*“. Z hlavního města Holandska, přišla zpráva ze dne 11. července 1783, že po dobu 8 dní měli mimořádné horko, ovzduší bylo tak husté, že slunce nebylo viditelné již po sedmé hodině. Veškerá vegetace uvadala a začalo již padat listí. Vlna veder dosáhla vrcholu v červenci 1783, ve Francii, v Německu, v jižní Skandinávii a Anglii (Oppenheimer, 2011). Kupříkladu měsíc červenec 1783 je druhým nejteplejším v historii v Anglii hned po roce 1995. Dle autorů *Thordarson a Self (2003)* tato vlna veder začala, když intenzita sopečné mlhy byla největší v západní Evropě. Po velmi horkém létu následovala krutá zima,

na což mimo jiného poukazuje dopis z Edingburgu z data 21.února 1784 „řeka Clyde je celá pokrytá ledem, kvůli čemuž nedošlo k žádné komunikaci mezi městy Glasgow a Greenock po dobu 7 týdnů ... podle informací ze severu se dozvídáme, že sněhové bouře jsou krutější než kdy jindy, takže chudí lidé se ocitají ve velmi nepříznivých a nešťasných podmínkách ...trpí nedostatkem jídla a mnoho dobytka umírá ...“ (Oppenheimer, 2011).

Velmi tuhou zimu na přelomu roku 1783/1784, která panovala v Evropě i mimo ni popsal Benjamin Franklin. Byl to právě Benjamin Franklin, který odhalil spojení mezi těmito dvěma fenomény, tedy mezi sopečnou činností a klimatem, v tomto případě právě globálním ochlazováním. Jeho slova zněla „ *efekt slunce (slunečních paprsků) v rámci oteplení země byl neobyčejným způsobem snížen ... z toho důvodu byl povrch země rychleji zmražen, sníh zůstával zmražený, neodtával, naopak přibýval ... vzduch byl mnohem více studenější a vítr krutý ... možná právě proto byla zima roku 1783/1784, tak krutá, jako nikdy předtím*“ (Oppenheimer, 2011). Rovněž podle Hoyta (2011) byla zima krutá na přelomu roku 1783/1784, sníh zůstával na místě po dobu 80 dní v Bucklandu, Hertfordshiru, v Anglii, mráz v Anglii trval celkem 89 dní.

Na Islandu zima začala až nezvykle brzy (od září až října) a byla velmi krutá, charakterizována neobvyklými povětrnostními podmínkami s intenzivními a dlouhotrvající mrazy, které zcela pokryly nížiny a fjordy tlustým ledem. Fjordy v severní části Islandu zůstaly nezměněny až do začátku června 1784. Zprávy ze západního a severního Islandu udávaly, že povrchové teploty vzduchu byly pod -15 °C po většinu zimy, s opakovanými výskyty hodnot tak nízkých jako -25°C. Léto roku 1784 bylo na Islandu velmi chladné, kdy se během noci v nížinách teploty pohybovaly pod bodem mrazu. Na západu, severu a na východě Islandu byla půda na obdělávaných polích zmrzlá až do měsíce července. Zima byla rovněž neobvykle studená v západním Norsku. Zdroje z města Bergen ukazují, že léto bylo také studené, s častým výskytem nočních mrazíků. Dokonce kvůli ledovému pokryvu v lednu nemohly lodě překročit úžinu mezi dánskými ostrovy. Zprávy z Paříže popsali dlouhotrvající mráz v lednu a únoru s přetrvávajícími teplotami okolo -4°C. V hlavním městě Francie byl přítomen mráz po dobu 69 dnů, rovněž italská města jako Řím, Janov či takové Benátky potkaly hrozné mrazy (Marusek, 2010). Rovněž led a sníh bránil v přepravě, což způsobovalo vážný nedostatek palivového dříví ve

městě. Z Vídně přišly podobné zprávy o nedostatku dřeva a jiného zboží, jelikož Dunaj byl zcela pokryt ledem a došlo, tak k znemožnění veškeré dopravy. Zima byla velmi závažná i v Itálii tak, že úroda citronů v severní Itálii byla totálně zničena intenzivními mrazy kolem Nového roku. Podobné zprávy týkající se závažnosti zimy jsou také známy z Mnichova, Prahy a Moldávie. Zima 1783/1784 byla jedna z nejkřutějších v Evropě a Severní Americe za posledních 250 let, s obdobími neobvyklých a dlouhotrvajících mrazů hlášených z obou kontinentů.

Příchod jarního tání zvedlo hladinu vodu všech hlavních řek ve střední a jižní Evropě do té míry, že povodně způsobily obrovské škody na majetku. Například Praha (viz. obr.č.10.) a Míšeň utrpěly velké škody po povodni. Nutno dodat, že se jedná o největší povodně v historii těchto měst. V Drážďanech, povodně zničily více než 100 lodí, které byly zrovna ve výstavbě. Mannheim byl zcela zaplaven povodní z Rýna a k dalším povodním došlo v řekách Dunaj a Dněstr koncem února. Španělských městech Sevilla a Cádiz byly popisovány jako „pod vodou“ pravděpodobně v důsledku povodní řeky Guadalquivir (Thordarson et Self, 2003).

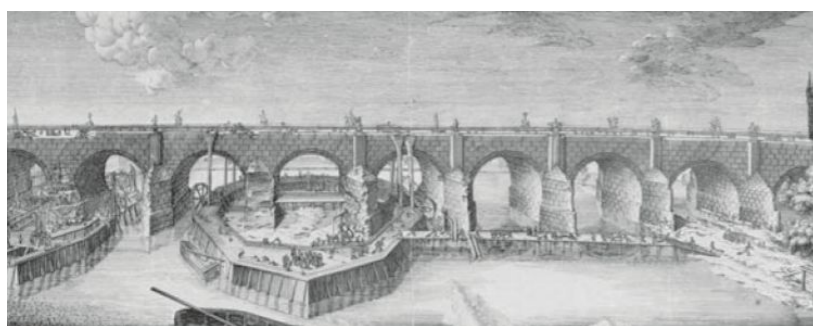
9.2.2 Spojené státy americké

Krutá zima panovala i přes oceán na americkém kontinentu, což je doloženo slovy Thomase Smitha (1849) v jeho díle *Journals of the Rev. Thomas Smith and Rev. Samuel Deane* „31. Ledna ... první týden tohoto měsíce bylo mírné počasí, ale zbytek byla hrozná zima a bouřlivě sněžilo“. „Únor ... studený měsíc a opravdu studený po celou dobu, nejdelší a nejstudenější, co jsem kdy zažil“. „Březen byl mírný, nebylo, tak moc větrno jako obvykle“. „6. dubna ... včera sněžilo“. „17. dubna ... to je třetí den, kdy je chladno, deštivo a zasněžené počasí ...“.

9.2.3 Území České republiky

Co se týče blíže našeho území, dle záznamů z jihočeské kroniky „Paměti o Velešíně“ se zaznamenávalo že „roku 1783 okolo dne 19. června začaly být vidět strašlivé a hrozné mlhy, které trvaly okolo šesti neděl a to takovým způsobem, že slunce bylo mnohdy od té mlhy zastíněno a pouze, tak na způsob kolečka zbarveného do červena ke spatření mohlo být spatřeno ... Kaple sv. Jana, která leží dost blízko, nesčetněkrát za den ke spatření být nemohla ... Mezitím byly bouřky strašlivé až neslychané, tak že i škodlivé byly“ (Cílek, 1999). Toto dokazuje i autor *Dobrovolný et al* (2010), kdy bouřky na našem území byly opravdu neobvyklé právě svou

četností, svou silou doprovázené krupobitím a povodněmi a v neposlední řadě i svými škodami. Povodeň datována ke dni 28. února 1784 je vůbec jedna z největších povodní u nás, v rámci které byl velmi poškozen Karlův most (Soukupová, 2013). Velký klenot v sobě nese pražské Klementinum, kde byla zahájena roku 1752 pravidelná meteorologická měření (instrumentální měření se datují již o cca 40 – 50 let dříve, ale nebyla publikována). Vznik klementinské řady se považuje rok 1775 (CHMI, 2017). Právě z deníku Klementina lze vyčíst, že léto roku 1783 doprovázelo velké množství bouřek, krupobití, ale i atmosférické úkazy jako kupříkladu „červené slunce“.



Obr.č.10. Rekonstrukce Karlova mostu po záplavách z února 1784 (Oppenheimer, 2011)

9.2.4 Sousední země

Anglický spisovatel Edward Cave, známý pod svým pseudonymem Sylvanus Urban přichází v The Gentleman's Magazine and historical chronicle (1783) se zprávou, že polské město Krakov dne 6. července zažil obrovskou ničivou bouří, kdy zemřelo několik lidí a celkem bylo zapáleno 12 domů. Od našich sousedů Slováků, z města Kremnice přišla zpráva, že u nich dne 13. července proběhla bouřka, která způsobila smrt 50 obyvatel, celkem 7 vyhořelých domů a v důsledku deště vznikly lokální povodně.

9.2.5 Shrnutí následků

V otázce klimatického systému došlo *dle Oppenheimera (2011)* k totálnímu kolapsu, kdy došlo k oslabení, jak africké monzunové cirkulace, tak i indických monzunů a zemřelo až v oblasti Indického oceánu až 11 milionů lidí.

Obyvatelé Islandu si stěžovali na slabost, dušnost a bušení srdce. V důsledku suché mlhy došlo k více jak desetitisíce úmrtí a to zejména ve Francii a Anglii, kam se dostala i druhá vlna zplodin. Populace na Islandu byla v té době zcela závislá

na zemědělství a rybolovu, katastrofální následky erupce vedla k hladomoru trvající od roku 1783 do roku 1786. Což může být dohledáno v islandských kronikách jako „*Haze Famine*“ (hladová mlha). Tento hladomor vedl k těžké podvýživě u lidí (což je patrné ze širokého výskytu kurdějí) a spolu s dalšími chorobami způsobil smrt až 20% populace na Islandu (Thordarson et Self, 2003).

Docházelo k tomu, že nejenom umírali lidé nemocní a staří, ale i lidé v produktivním věku. Zejména na následky onemocnění dýchací soustavy, jelikož se síra (S) nasáta z ovzduší se měnila v plicních sklípcích na samotnou kyselinu sírovou (H₂SO₄), která je leptala a způsobila, tak od kašle, astma přes samotné zápalý plic (Soukupová, 2013).

Většina stromů, keřů a mechů bylo na Islandu nenávratně zahubeno, tyto rostliny zmizely z mnoha regionů na Islandu po dobu 3 až 10 let po výbuchu do některých oblastí se již nikdy nevrátily. Rovněž ve zbytku severní a západní Evropy došlo k velkému poškození vegetace. Kukuřice a další rostliny uschly, když se objevila mlha v Dánsku a ve Švédsku, což ve spojení s dlouhotrvajícím obdobím sucha mělo za následek selhání letní sklizně. V Anglii došlo k poškození vegetace mezi 23. až 25. červnem v důsledku kyselých dešťů. Dále i Norfolk a Selbournu si všimli vadnutí kukuřice a pšenice.

Letální nemoc u hospodářských zvířat představovala symptomy charakteristické pro chronickou fluorózu, jako je změkčení a deformace kostí a kloubů, zubní léze a rozrůstání stoliček (známá na Islandu jako nemoc „*gaddur*“). Ve většině částí země byla tato nemoc nejvíce patrna od konce léta do začátku zimy 1783. Nicméně, na jihovýchodní části Islandu byla země pokryta částicemi jemného popela, kde bylo velké obsahové zastoupení tzv. Vlasů bohyně Pele (jedná se o specifický typ pyroklastického materiálu, který může být větrem formován do podoby dlouhých vláken připomínající chomáče vlasů), byla tato nemoc zaznamenána téměř okamžitě a vedla k masovému úmrtí mezi 8 a 14 dnem po začátku erupce. A více než 60% hospodářských zvířat uhynulo v kratší době než jeden rok, a to především z důvodu chronické fluorózy (Thordarson et Self, 2003).

Samotný výlev lávy skončil dle *Oppenheimer* (2011) 7. února 1784, tedy až osm měsíců po erupci. Až v září roku 1783 se teprve rozšířilo povědomí o erupci Laki díky obchodní lodi, která putovala z Islandu do Kodaně (Demarée et Ogilvie,

2001). Informace o erupci kolovala zprvu pouze mezi vzdělanými lidmi, lidé jednoduše nerozuměli, nevěděli, co a proč se tak stalo. Jednoduše si to vysvětlovali jako boží trest. Zajímavé je, že po roce 1783 se v českých kronikách často objevovaly zmínky o stavbě či přestavbě církevních svatostánků a to i přes reformy Josefa II., jako každá katastrofa, i tato prostřednictvím církve vedla k posílení víry v Boží hněv (Soukupová, 2013).

10 Důsledky erupce Laki na jednotlivé země Skandinávie

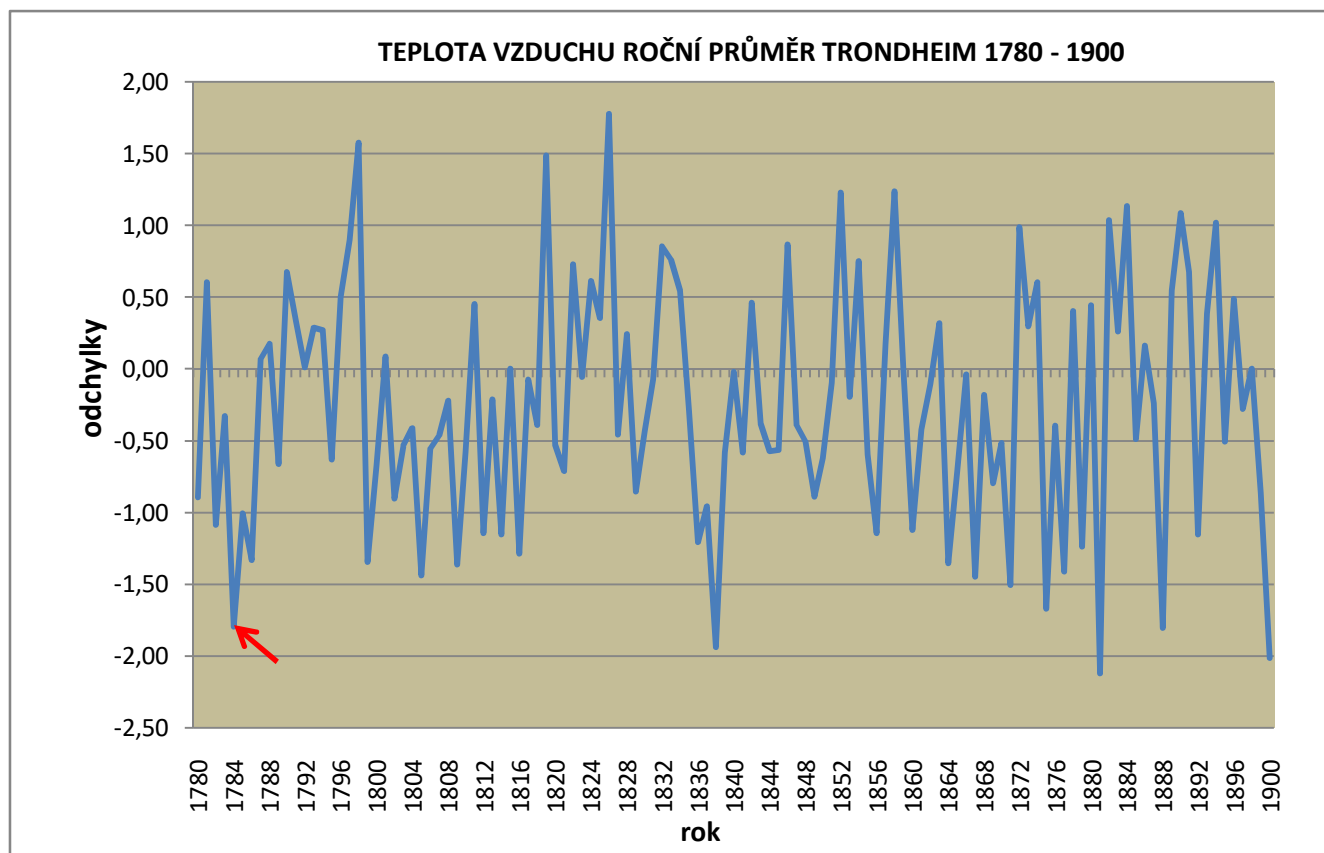
Jak je již patrné, vliv erupce Laki přesahuje rámec do jaké míry může ovlivnit samotná sopečná činnost chod atmosférických procesů. Nyní budou zpracovány teplotní řady pro důkaz poklesu teplot v nadcházejících letech, v další části bude zobrazen graf obsahující celkové množství sulfátů od roku 1780 až po rok 1900 získaný z vrtů grónských ledovcových jader v rámci projektu GISP 2, třetí a tedy poslední část je věnována úmrtnosti, která rovněž značí, jaký vliv měl výbuch sopky Laki, úmrtnost je v rozmezí od roku 1780 – 1790 a to konkrétně pro Švédsko a Norsko. Co se týče dat teplotních řad a množství sulfátů, veškerá data jsou použita a následně zpracována dle potřeby pro danou tematiku z agentury NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), agentura NOAA nejenže disponuje s daty historickými, ale poskytuje i informace jako jsou denní předpovědi, varování proti závažným bouřím, podpůrné data k řízení rybolovu a mnoho dalších. Jejich rozsah zájmu začíná z povrchu Slunce a zasahuje až do hlubin oceánu. Produkty a služby NOAA podporují ekonomickou vitalitu a ovlivňují více než jednu třetinu amerického hrubého domácího produktu (NOAA, 2017). Pro grafické zpracování úmrtnosti byla použita data z oficiálních statistik Švédska a Norska. Konkrétně tedy ze Statistic Sweden a Statistic Norway, pro vybrané lokality Norska byly použity data z Arkivverket Digitalarkivet..

10.1 Teplotní řady

Pro vyobrazení vlivu erupce Laki na samotné klima Skandinávie budou v této kapitole graficky zpracovány teploty vzduchu do teplotních řad, na kterých bude vždy velmi patrný důsledek erupce Laki, v tomto případě se bude jednat o prudký pokles teplot. Teplotní řady se pohybují vždy v rozmezí od roku 1780 až po rok 1900.

10.1.1 Norsko

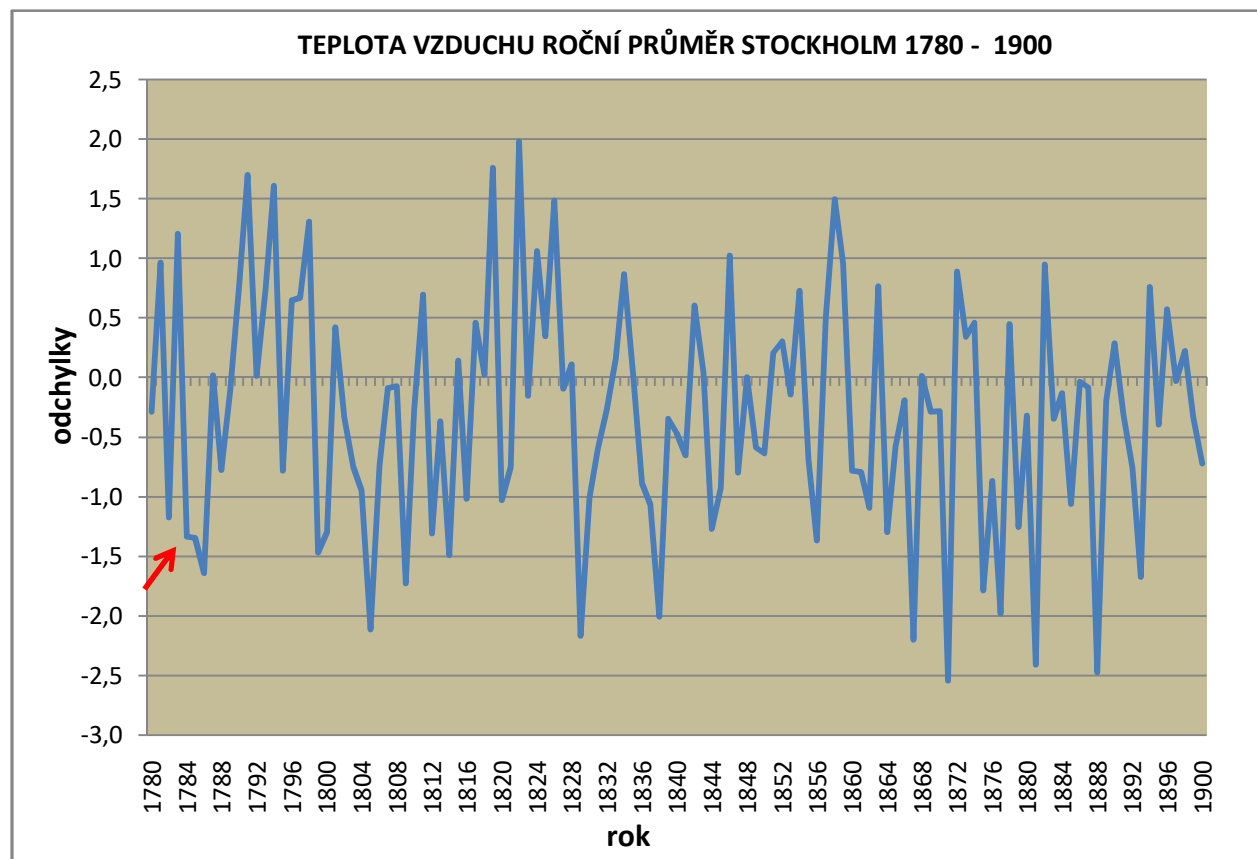
Teplotní řada obsahuje data z města Trondheim nacházející se v samotném centru Norska. Jak můžeme vidět z grafu roku 1784 nastal prudký pokles teplot zapříčiněn erupcí Laki, tedy přítomností aerosolů kyseliny sírové (H_2SO_4) v podobě suché mlhy „*great dry fog*“ a je, tak vidět onen „zub“.



Obr.č.11. Teplotní řada Trondheim

10.1.2 Švédsko

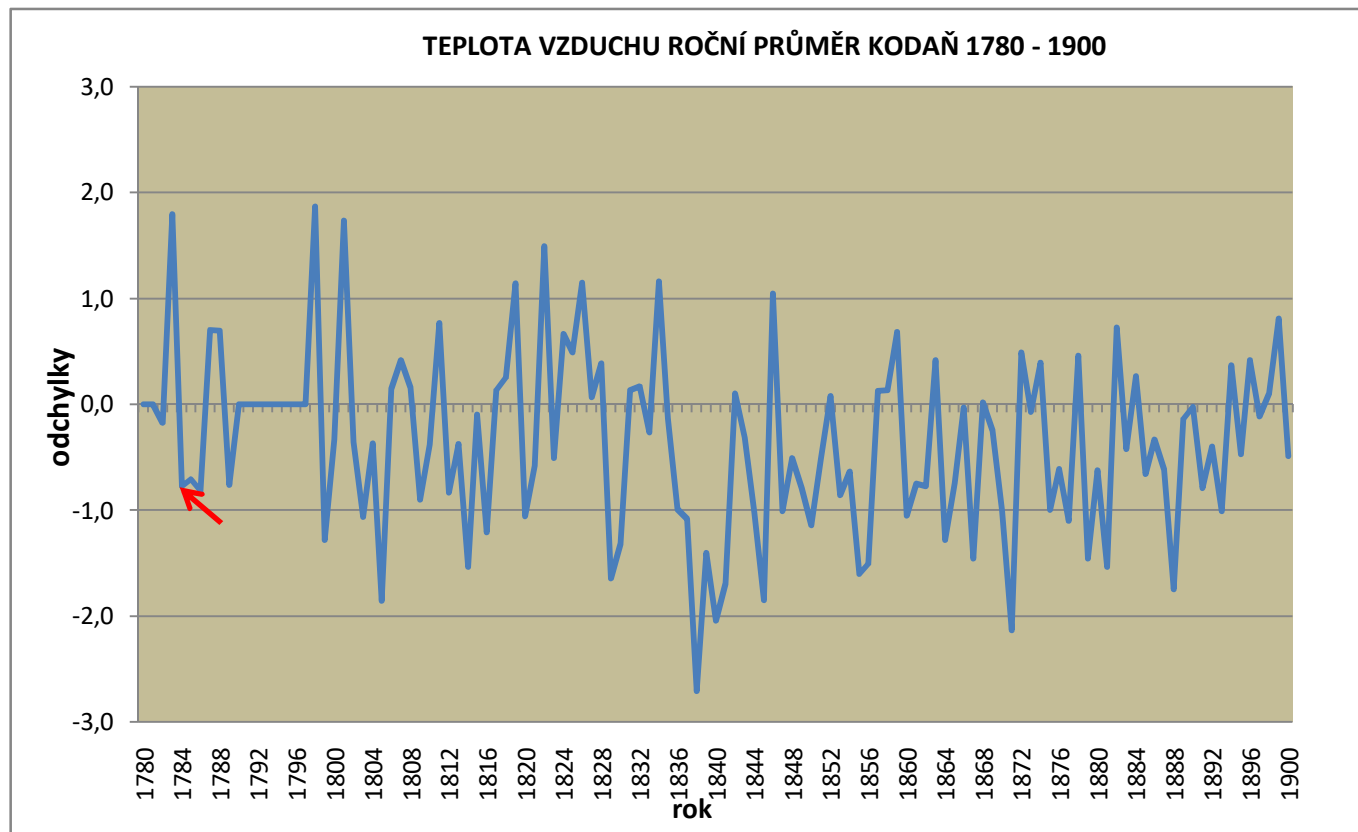
Teplotní řada znázorňuje průměrné teploty vzduchu naměřené v hlavním městě Švédska Stockholmu, který se nachází na jihovýchodním pobřeží jihovýchodního Zde rovněž vidíme prudký pokles teplot roku 1784, tedy rok po erupci Laki stejně jako u předchozí teplotní řady pro Trondheim.



Obr. č.12. Teplotní řada Stockholm

10.1.3 Dánsko

Pro teplotní řadu v rámci Dánska byly použity data z hlavního města Kodaně, které nalezneme na východním pobřeží ostrova Sjælland. Zde není pokles teplot natolik markantní jako v předchozích teplotních řadách, ale i tak zde pokles teplot vidíme.



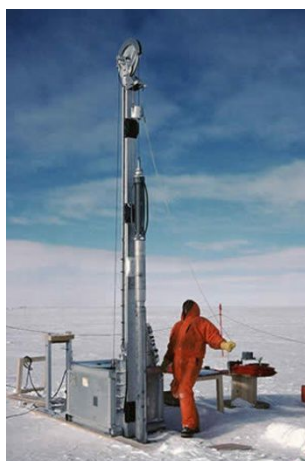
Obr..č. 13. Teplotní řada Kodaně

10.2 Projekt GISP 2

Od roku 1989 se uskutečnil mezinárodní projekt GISP 2 (Greenland Ice Sheet Project) pro získání paleoklimatologických záznamů, díky kterým lze velmi přesně charakterizovat klimatické změny v minulosti a pomoci odhalit vývoj v budoucnosti. Za pomoci systematických parametrů se podařilo dostat do hloubky více jak 3000 metrů. Ledové jádro v hloubce 2800 m je datováno k 110 000 BP (před přítomností). Samotné datování probíhá pomocí ledovcových jader, kdy parametry používané k datování zahrnují vizuální stratigrafii, zastoupení izotopů kyslíku v ledu, měření elektrické vodivosti (ECM), laserový rozptyl světla (LLS) či sopečné signály - analýza skleněných úlomků a částic popela z vulkanické erupce (Meese et al, 1997).

10.2.1 Sulfát GISP 2

Během sopečných erupcí dochází mimo jiné k úniku kyseliny sírové H_2SO_4 , tedy oxidu siřičitého SO_2 a oxidu sírového SO_3 směrem do horních vrstev atmosféry, dochází k následnému usazení na povrchu ledovce, kde je sulfát posléze zakonzervován v ročních přírůstkových vrstvách ledu. Každá erupce má, tak díky svému specifickému chemickému složení svůj „otisk“, díky kterému lze posléze určit, o jakou erupci se přesně jednalo.

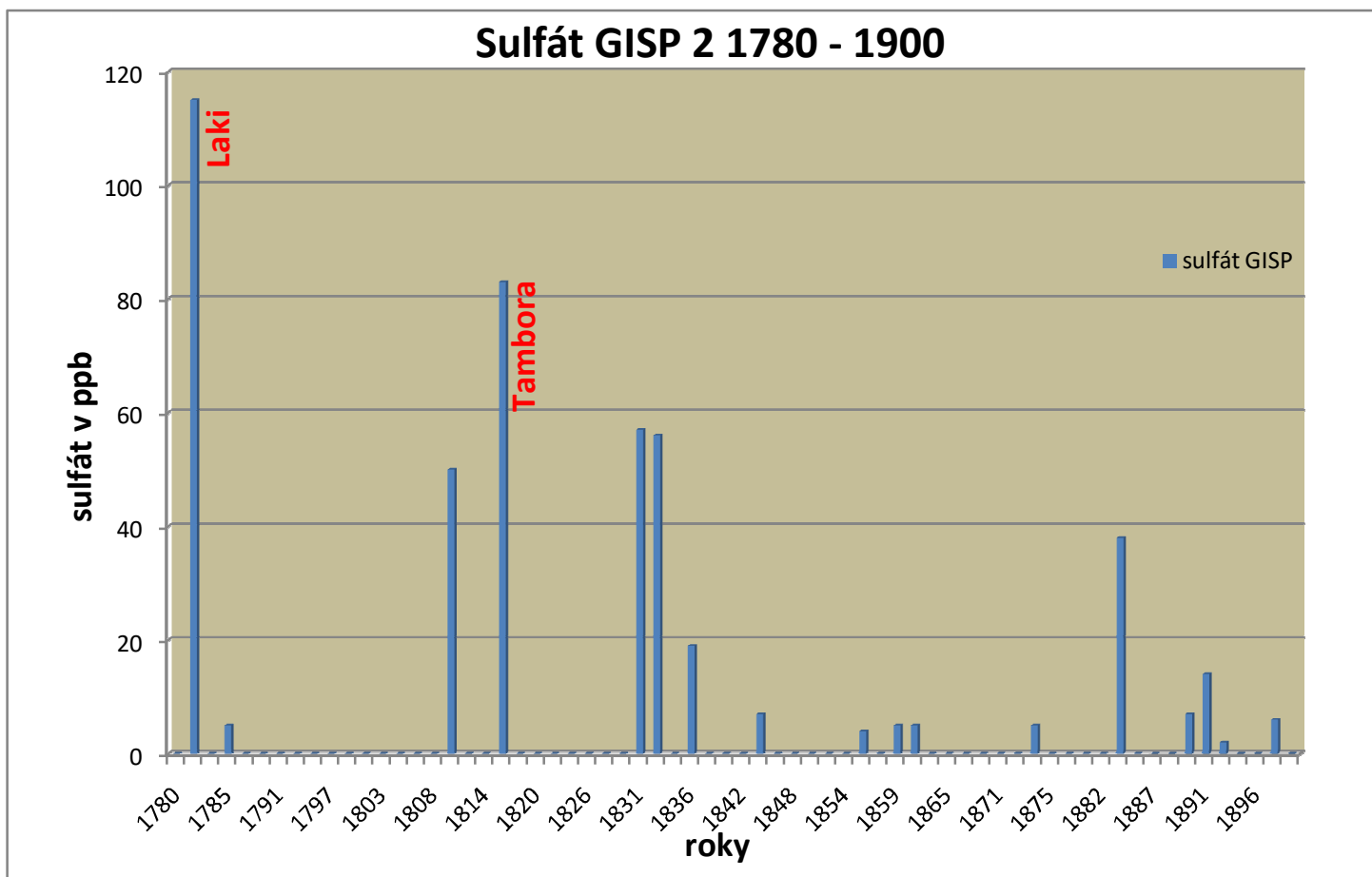


Obr.č.14. Příprava vrtu (Riebeck, 2005)



Obr.č.15. Vzorek ledu (Riebeck, 2005)

Sulfát GISP 2 v rozmezí 1780 až 1900, jak je již z grafu patrné, největší množství sulfátů je přisuzováno erupci sopky Laki.



Obr. č. 16. Sulfát GISP 2

10.3 Úmrtí v souvislosti s erupcí Laki

Dle Hoyta (2011) v důsledku erupce sopky Laki, též známá pod názvem Skaptar Yokul zemřelo až 20% populace na Islandu, což se shoduje i s údaji *dle Diamonda (2005)*, který rovněž udává, že v důsledku vyhladovění umřela 1/5 lidské populace. Rovněž *Schmidt et al (2001)* udává, zemřelo okolo 21% lidské populace a 75% zvířat celkem zahynulo. *Dle Finnssona (1796)* byl příčinou úmrtí zejména hladomor, který vedl k těžké podvýživě (patrně ze širokého výskytu kurdějí – nedostatek vitamínu C) a společně s dalšími chorobami (především onemocnění dýchací soustavy) se odhaduje, že došlo k úmrtí až 24% obyvatel Islandu.

V mlhách byl cítit velmi sirný zápach způsobený oxidem siřičitým (SO₂), který u populace, která se ho hodně nadýchala, způsobila plicní edém a došlo, tak úmrtí.

Účinky byly pravděpodobně kumulativní. Těla lidí se musela vyrovnat, jak s intenzivním teplem, tak i se silně znečištěným vzduchem. Tato kombinace vedla ke stresu, podráždění očí a rtů, zhoršení dýchání a v některých případech až k selhání srdce.

Zvýšení úmrtnosti byly pozorovány v celé Evropě. Farní záznamy ukazují, že byla v Anglii roku 1783 úmrtnost větší o 10-20% než byl průměr, se zvýšenou mírou úmrtnosti se rovněž setkaly státy jako Nizozemsko, Itálie či Francie. Ve Francii, úmrtnost byla v létě roku 1783 o 38% nad běžným průměrem (Grattan et al, 2005).

10.3.1 Vliv vulkanického prachu na dýchací soustavu

Sopečné erupce jsou odlišné od jiných druhů přírodních katastrof v tom, že mohou mít za následek širokou škálu zdravotních problémů (Horwell et Baxter, 2006). Je odhadováno, že více než 500 milionů lidí z celého světa žije na potenciální úrovni ohrožení výbuchem sopky (100 km), která byla v historii aktivní (Small et Neumann, 2001).

Mezi faktory důležité při posuzování účinků na lidské zdraví v rámci vlivu sopečného prachu řadíme především koncentraci a velikost částic popela, zejména

množství jemnějších částic schopné jednoduše pronikat hluboko do plic a hrubších částic ovlivňující horní cesty dýchací.

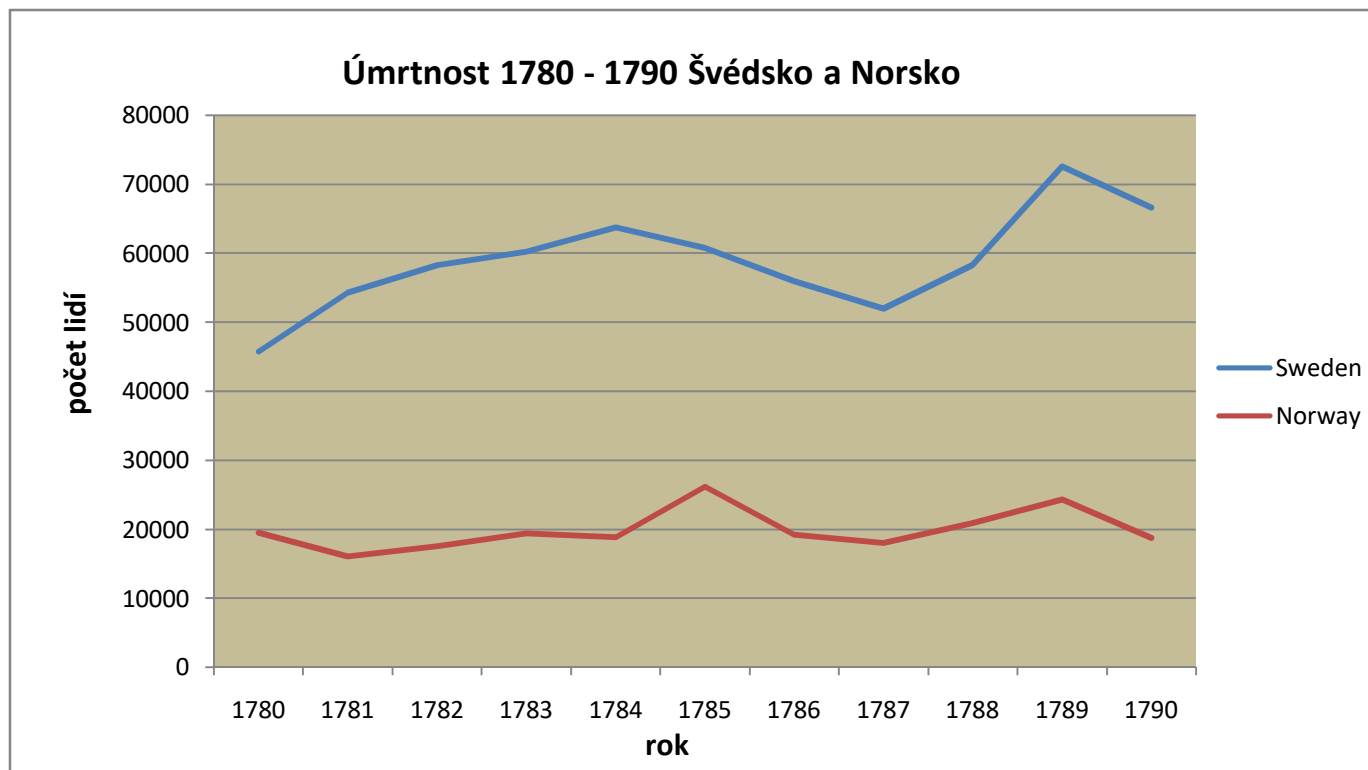
Dle Gudmundssona (2011) dochází po vystavení sopečnému prachu k akutním respiračním příznakům od bolesti na hrudi, nosnímu a krčnímu podráždění, přes akutní zhoršení astmatu a bronchitidu (zánět průdušek). Inhalace jemnějších částic popela může zhoršit onemocnění jako je chronická obstrukční nemoc či chronické srdeční problémy jako je ischemická choroba srdeční. V rámci dlouhodobých problémů, může pak hrozit silikóza, což je druh plicní fibrózy.

10.3.2 Úmrtnost 1780-1790 v rámci Švédska a Norska

Co se týče grafu zobrazující úmrtnost ve Švédsku a Norsku (celostátně), z obou řad je patrné, že okolo roku 1783 došlo k nárůstu počtu mrtvých a to, jak ve Švédsku, tak i Norsku. S tím, že ve Švédsku vzrostla úmrtnost roku 1784 o téměř 5000 úmrtí s porovnáním s rokem 1782. Pro Norsko to platí rovněž, zde celková úmrtnost v roce 1783 vzrostla o necelé 2000, největší hodnota se přisuzuje k roku 1785.

rok	Norsko	Švédsko
1780	19523	45731
1781	16051	54313
1782	17563	58247
1783	19353	60213
1784	18825	63792
1785	26144	60770
1786	19164	55951
1787	18034	51998
1788	20834	58320
1789	24315	72583
1790	18731	66598

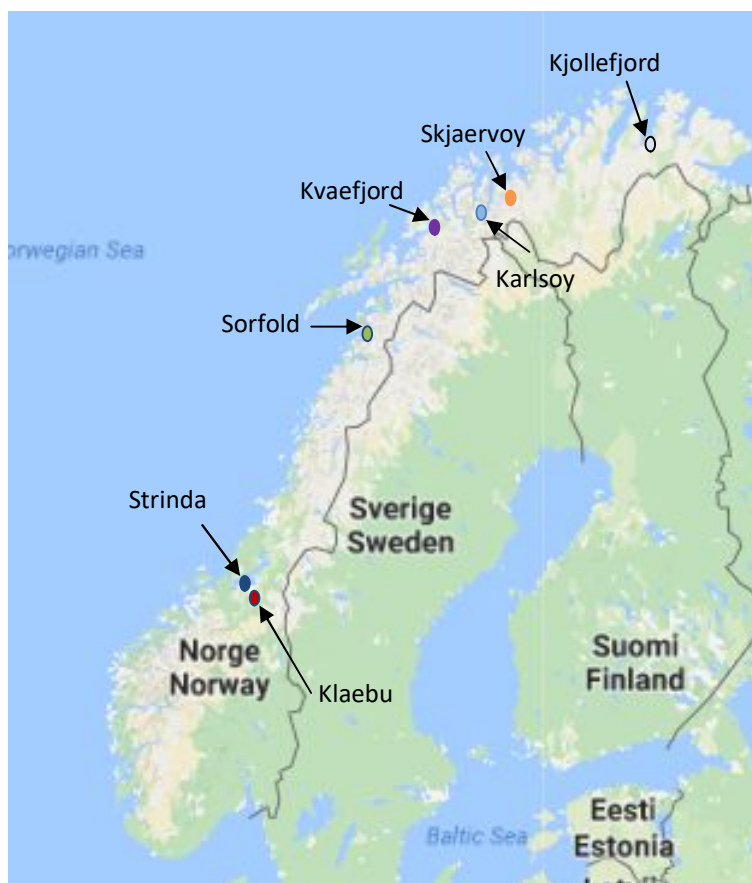
Tab.č.3 Hodnoty pro úmrtnost Švédska a Norska



Obr.č.17 Úmrtnost v rámci Švédska a Norska (celostátní)

10.3.3 Úmrtnost pro vybrané lokality Norska

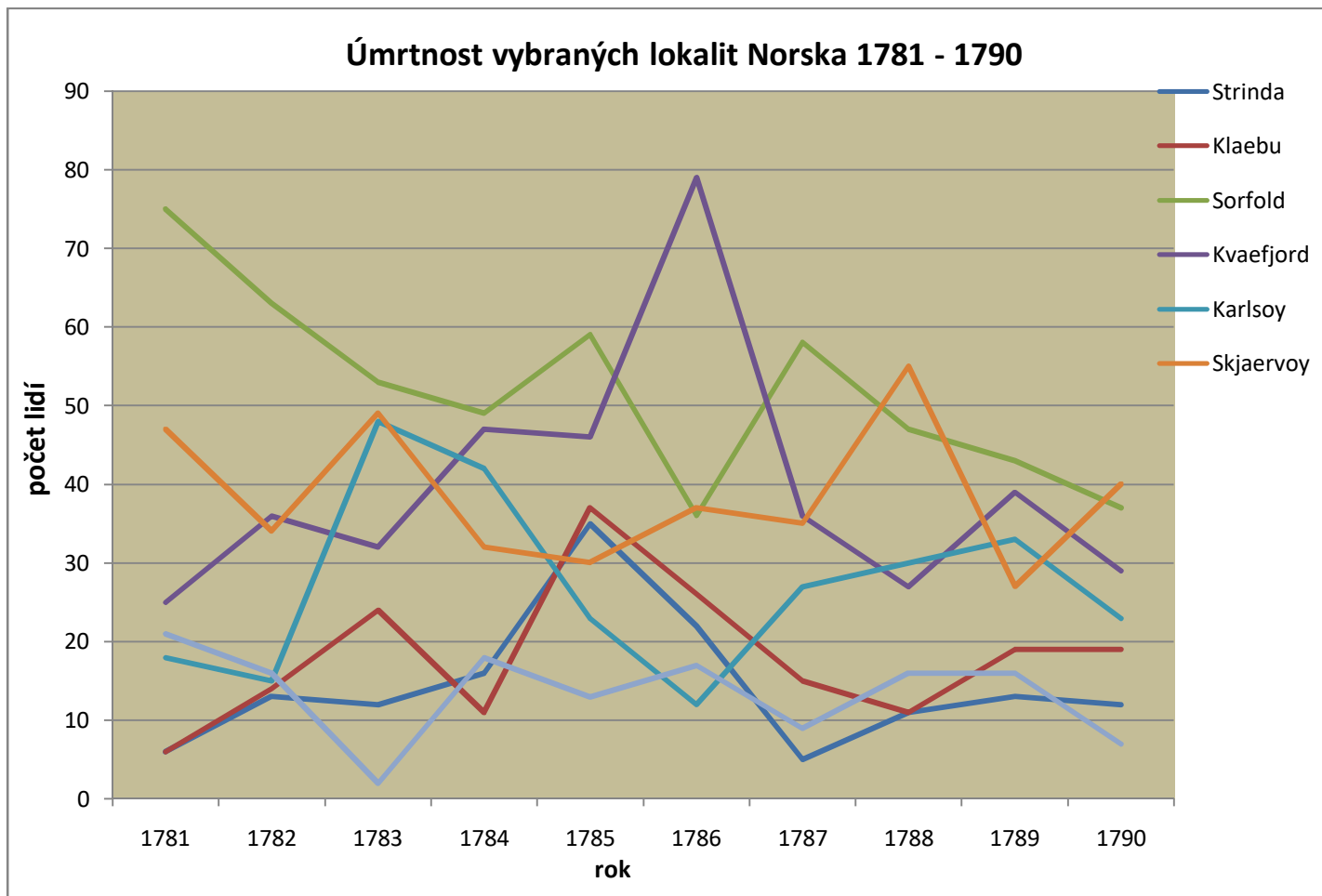
Pro důkaz vlivu erupce bylo vybráno 7 lokalit, které mají matriky tak staré, aby pokryly rok 1783 a roky následující. Jedná se o lokality, které se nacházejí (viz obr.č.18) na norském pobřeží, některé dokonce i za polárním kruhem. Právě svým umístěním byly nejspíše zasaženy dané lokality vlivy erupce společně pod vlivem západního proudění mezi prvními a to obzvlášť lokality přímo na norském pobřeží. K nejvíce znatelnému nárůstu úmrtnosti došlo v městečku Klaebu, Karlsoy a Skjaervoy. Nárůst úmrtí těsně po erupci Laki nevypadá náhodný, v prvním roce mohlo jít o úmrtí v důsledku respiračních chorob, u severněji položených sídel pak změnou klimatických podmínek k horšímu. Lokalit je ale málo pro další výzkum, většina záznamů pochází až z dalších staletí.



Obr.č.18 Umístění vybraných lokalit (Google Maps, 2017)

rok	Strinda	Klaebu	Sorfold	Kvaefjord	Karlsoy	Skjaervoy	Kjollefjord
1781	6	6	75	25	18	47	21
1782	13	14	63	36	15	34	16
1783	12	24	53	32	48	49	2
1784	16	11	49	47	42	32	18
1785	35	37	59	46	23	30	13
1786	22	26	36	79	12	37	17
1787	5	15	58	36	27	35	9
1788	11	11	47	27	30	55	16
1789	13	19	43	39	33	27	16
1790	12	19	37	29	23	40	7

Tab.č.4. Hodnoty úmrtí pro vybrané lokality Norska



Obr.č.19 Úmrtnost pro vybrané lokality Norska

11 Diskuse

Dle Píska a Brázdila (2006) byla hodnota indexu vulkanické explozivity (VEI) rovna 4, naopak *dle Global Volcanism Program* byla hodnota VEI 4+. I když je hodnota VEI 4, popřípadě 4+ nízká, tak díky čedičovému složení magmatu došlo k obrovskému uvolnění síry. S emisemi síry souvisí pak obsah sulfátu v ovzduší, který svým zastoupením v rámci sopky Laki patří mezi nejvíce katastrofální, což dokazuje i grafické zpracování dat (viz obr.č.16). V důsledku erupce došlo k uvolnění 122 Mt oxidu siřičitého (SO₂), ze kterého vzniklo téměř 200 Mt kyseliny sírové (H₂SO₄), která v podobě sopečného mraku způsobila rozsáhlé vulkanické znečištění (Thordarson et Self,2003). Kyselina sírová v podobě mikroskopických kapiček aerosolu vydrží v atmosféře i několik let.

Erupce Laki erupce měla obrovský vliv na ovzduší a celkový stav životního prostředí na severní polokouli v roce 1783/1784 a i pár let poté, následky se neprojevily pouze na evropském kontinentě, ale i globálně po celém světě. Aerosol kyseliny sírové v podobě sopečného mraku zapříčinil odraz slunečního záření, čímž došlo k prudkému ochlazení klimatu (Oppenheimer, 2011). Tyto teze prokazatelně dokládají zpracované teplotní řady (viz.obr.č.11., 12., 13) v rozmezí 1780 - 1900 Norska (Trondheim), Švédska (Stockholm) a Dánska (Kodaň).

Pro země Skandinávie je typické západní proudění vzduchu, které se stalo kritické (viz obr.č.8. a 9.) v době erupce sopky Laki, k pohybu obrovské masy, tedy „*great dry fog*“ na celou Evropu došlo velmi rychle, mezi první pozorovatelé patří námořníci na Faerských ostrovech.

Autoři jako Hoyt (2011, Diamond (2005), Schmidt et al (2001) či Finnsson (1796) zmiňují, že v důsledku erupce zemřelo přes 20% lidské populace na Islandu a až 75% zahynulo zvířat. Příčinou byl zejména hladomor a onemocnění dýchací soustavy, docházelo k tomu, že nejenom umírali lidé nemocní a staří, ale i lidé v produktivním věku. Dle Soukupové (2013) zejména na následky onemocnění dýchací soustavy, jelikož se síra (S) nasáta z ovzduší se měnila v plicích sklípčích na samotnou kyselinu sírovou (H₂SO₄), která je leptala a způsobila, tak od kašle, astma přes samotné zápaly plic.

Jsou však záznamy, že ke zvýšení úmrtnosti došlo po celé Evropě. Například v Anglii se úmrtnost zvýšila v roce 1783 až o 10-20%, Francie zaznamenala úmrtnost až o 38% (Grattan et al, 2005). Zvýšení úmrtnosti dokládají i grafická zpracování v rámci Švédska a Norska (viz.obr.č.17., 19.). Dané teze uvedených autorů souhlasí s grafickým zpracováním, jak teplotních řad, obsahu sulfátů a úmrtnosti. Což potvrzuje fakt, že se opravdu jednalo o jednu z nejhorších erupcí v lidské historii.

12 Závěr

V této diplomové práci jsem se pokusila shrnout problematiku sopečné činnosti, důkladně objasnit průběh erupce Laki na Islandu, která se stala roku 1783 a na závěr graficky tyto důsledky vyobrazit.

První částí část se zabírala nejprve stručným výkladem základních informací o Skandinávii pro přiblížení lokace zájmu. Větší část zde bylo objasnění problematiky sopečné činnosti a s tím spojené doprovodné jevy, jako je i mimo jiného vliv vulkanismu na atmosférické procesy či samotná charakteristika sopečných plynů. Pro úplnost jsou zde i zmíněny důležité erupce v lidské historii jako je kupříkladu Vesuv, Tambora, Krakatoa či Pinatubo. Závěr této první části tvoří objasnění nejdůležitějších klimatologických veličin jako je teplota vzduchu a srážkový úhrn.

Druhá část se zabírá samotnou Laki, jelikož i ta se řadí mezi nejdůležitější výbuchy sopek v lidské historii. Zpočátku jsou probrány základní informace a posléze je podrobný popis průběhu a důsledků této erupce. Pro odkrytí, jaký katastrofální dopad měla sopka Laki na svědomí je na závěr grafické zpracování dat. Přičemž jsou řešeny teplotní řady pro město Trondheim, Stockholm a Kodaň, což prokazatelně dokazuje, že v důsledku erupce došlo k následným prudkým poklesům teplot. Dále grafické znázornění sulfátů z ledovcových jader, které rovněž rapidně vstouplo a dále úmrtnost v rámci celého Norska a Švédska, což také podporuje názor, že erupce Laki měla katastrofální dopad.

Je zcela viditelné a prokazatelné, že erupce Laki měla neuvěřitelný dopad na naši civilizaci. To do jaké míry došlo k ovlivnění klimatického systému bylo katastrofální a to i z hlediska časového charakteru. Než se zpět dostalo vše do

normálního stavu trvalo pár let.dále pro představu, jaký vliv opravdu erupce Laki měla je, že nebyla zasažena pouze Evropa, ale došlo k projevům i v jiných koutech světa, kde samozřejmě nebyly důsledky natolik viditelné, ale přesto.

I přes technologické pokroky nynější doby se zdá, že se nelze na podobný výbuch sopky připravit, jedna věc je to, že jedna z hlavních vlastností sopek je jejich nepředvídatelnost a za druhé se můžeme vrátit pát let do minulosti, přesně o sedm let, kdy došlo k erupci sopky Eyjafjallajökull a došlo, tak k zastavení leteckého provozu nad celou Evropou, což mělo za následek až miliardové ztráty ve společnostech. Na konci února tohoto roku se znovu ozvala sopka Etna, můžeme jen hádat, jaký další vulkán ukáže svou sílu příště.

13 Použitá literatura

Acot P., 2005: Historie a změny klimatu. Karolinum, Praha, 237 s.

Arkivverket Digitalarkivet 2017: Dostupné online:
<http://www.arkivverket.no/eng/Digitalarkivet/About-the-Digital-Archives/News-Archives> [staženo dne 12.4.2017]

Bain C., Bonetto C., 2015: Dánsko.Praha.Svojtka& Co, 320 s.

Barros V., 2006 : Globální změna klimatu. Mladá fronta, Praha, 165 s.

Berlinsche Nachrichten,1783: Berlinsche Nachrichten.Berlin,PreuBischer Kulturbesitz, No.50.

Bokr P., 2004: Sopečná činnost a sopky. Gweb. Online dostupné na :
<http://www.gweb.cz/clanky/clanek-60/>

Braniš, M. , Hůnová, I. a kol. 2009 : Atmosféra a klima. Karolinum Praha, 352 s.

Cílek, V., 1999: I dnes zapadá slunce nad Atlantidou. Přírodovědecký časopis Vesmír 78, 103-105 str.

CHMI, 2017: Český Hydrometeorologický ústav. Dostupné online:
<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum> [staženo dne 26.3.2017]

Demarée G.R., Ogilvie A.E.J., 2001: Bon baisers d'Islande: climatic, environmental and human dimensions impacts in Europe of the Lakagígar eruption (1783–1784) in Iceland. In: Jones P.D., Ogilvie A.E.J., Davies T.D., Briffa K.R. (ed.): History and climate: memories of the future? Kluwer, New York, 219–246 str.

Demarée, G.R., Nordli, Q., Malaquias, I., Lopo, D. G., 2007:Volcano, Eruptions, Earth and Seaquakes, Dry Fogs vs. Aristotle's Meteorologica and the Bible in the Framework of the Eighteenth Century Science History. Bull Séanc. Acad.R.Scién.Overzeese Wet.53, 337-359 str.

Diamond J., 2005: How societies choose to fail or succeed. Penguin group, Praha, 570str.

Dobrovolný, P., Brázdil, R., Kotyza, O., Valášek, H., 2010: Extreme summer and winter temperatures in the Czech Lands after A.D. 1500 and their Central European kontext. *Geografie*, 115, No.3, 266-283str.

Gazette van Antwerpen, 1787: *Gazette van Antwerpen*.Antwerpen, Belgium, No.57

Gazette van Antwerpen, 1787: *Gazette van Antwerpen*.Antwerpen, Belgium, No.58

Gazzetta universale, 1787: *Gazzetta universale*.Florence, Italy, No.62.

Global Volcanism Program, 2013: Smithsonian National Museum of Natural History. Dostupné online: <http://volcano.si.edu/> [staženo 19.3.2017]

Grattan J., Rabartin R., Self S., Thordarson T., 2005: Volcanic air pollution and mortality in France 1783–1784. *Comptes Rendus Geosci.*337, 641–51 s.

Gudmundsson G., 2011: Respiratory health effects of volcanic ash with special reference to Iceland, a review. *The Clinical Respiratory Journal* 5., 2-9 s.

Google Maps, 2017: dostupné online: <https://www.google.co.uk/maps> [staženo dne 4.4.2017]

Horwell C.J., Baxter P.J., 2006: The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bull Volcanol.*69, 1–24 s.

Hoyt V.D., 2011: *A Chronology of notable weather events*, 427str.

Jirásek J., 1995 : *Planeta Země. Svojtka a Vašut*, Praha, 160 s.

Kington, J., 1988: *The weather of 1780s over Europe*.Cambridge University Press, Cambridge, 88 s.

Kostrzewa, R., Kostrzewa A., 2002: *Skandinávie: Norsko, Švédsko, severní Finsko : cestování a kultura : poznávání zvířat a rostlin*. Baset, Praha, 288 s.

Král V., 1999 : *Fyzická geografie Evropy*. Praha Academia, Praha, 348 s.

Kukal, Z., 1983: *Přírodní katastrofy*. 2 vyd. Brno. Horizont, Brno, 260 s.

London Gazette, 1787: *The London Gazette*. London, No. 9/23 – 9/27.

Malá, K., 2014: Klimatické změny:dopady a možné příčiny. Česká zemědělská univerzita v Praze, 45 str.

Marusek J.A., 2010: A Chronological Listing of Early Weather Events. Dostupné online : <http://www.breadandbutter-science.com/Weather.pdf> [staženo dne 12.4.2017]

McCormick, M.P., Thomason, L.W. & Trepte, C.R. 1995: Atmospheric effects of the Mt Pinatubo eruption, Nature, 373, 399-404 str.

Meese D. A., Gow A. J., Alley R. B., Zielinski G. A., Grootes P. M., Ram M., Taylor K. C., Mayewski P. A., Bolzan J. F., 1997: The Greenland Ice Sheet Project 2 depth-age scale: Methods and results. Journal of Geophysical Research, vol. 102, No. C12, 26,411-26,423 s.

Moldan B., 2015: Podmaněná planeta. Univerzita Karlova. Karolinum. Praha, 497s.

Oppenheimer, C., 2011: Eruption that shock the World. Cambridge University Press, Cambridge, New York, 408 str.

Pretel J., 2011: Vývoj základních klimatických indikátorů v období 1961-2010. In: Pretel, J. (ed.): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Český hydrometeorologický ústav, Praha:54-61 s

Proctor J., Leffman D., 2011: Island. Jota, Brno, 351s.

Písek, J., Brázdil, R., 2006:Response of large volcanic eruptions in the instrumental and documentary climatic data over Central Europe. International Journal of Climatology vol. 26, Issue 5, 349-459.

Riebeek H., 2005: Paleoclimatology:The ice Core Records. NASA. Dostupné online: https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Paleoclimatology_IceCores/ [staženo dne 10.4.2017]

Schmidt, A., Ostro, B.,Carlaw, K.S. Wilson M., Thordarson T., Mann G.W., Simmons A.J.,. 2011 : Excess mortality in Europe following a future Laki-style Icelandic eruption. PNAS, Vol.108, No.38, 15710-15715 s.

Siebert L., Simkin T., Kimberley P., 2010:Volcanoes of the World.Smithsonian institution. Washington D.C., 479 str.

Small C., Naumann T., 2001: Holocene volcanism and the global distribution of human population. Environ Hazards 3., 93–109 s.

Smith, T., 1849 : Journals of the Rev. Thomas Smith and Rev.Samuel Deane - pastors of the first church in Portland : with notes and biographical notice, summary history of Portland 1849. Dostupné online : <https://archive.org/details/journalsofrevtho00lcsmit> [staženo dne 26.3.2017]

Soukupová J., 2007: Srážky. In: Soukupová J.(ed.): Atmosférické procesy:základy meteorologie a klimatologie). Česká zemědělská univerzita, Praha :174-185 str.

Soukupová J., 2013: Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na Zemi. Praha: Powerprint Praha, s.r. o. , Brandejsovo nám. 1219/1, 165 00 Praha - Suchdol, 2013, 170 s.

Statistic Norway, 2017: Birth and Deaths. Dostupné online: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/saveelections.asp> [staženo dne 1.4.2017]

Statistic Sweden, 2017: Population and Population Changes 1749–2016. Dostupné online: <http://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/population/population-composition/population-statistics/pong/tables-and-graphs/yearly-statistics--the-whole-country/population-and-population-changes/> [staženo dne 1.4.2017]

Stothers, R.B., 1996: The great dry fog of 1783, Climate Change 32, 79-89str.

Textor, Ch., Graf, H.F., Timmreck, C., Robock, A., 2003: Emissions from volcanoes. In Granier, C., Reeves, C., Artaxo, P. (eds): Emissions of Chemical compounds and Aerosols in the Atmosphere. Dordrecht. Kluwer, 32 s.

Thordarson T., Self, S., 2003: Atmospheric and environmental effect of the 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment. Journal of Geophysical Research vol. 10, 1-29 str.

Transition abroad, 2017, dostupné online:
<http://www.transitionsabroad.com/listings/work/shortterm/scandanavia.shtml>

USGS, 2016: Volcanic Gates can be harmful to health, vegetation and infrastructure.
Dostupné online: <https://volcanoes.usgs.gov/vhp/gas.html> [staženo 15.3.2017]

USGS, 2016: Volcanoes can affect the Earth's climate. Dostupné online:
<https://volcanoes.usgs.gov/vhp/gas.html> [staženo 19.3.2017]

USGS, 2008 : Laki and Eldgj?—two good reasons to live in Hawai`i. Dostupné online :
https://tux.wr.usgs.gov/volcanowatch/archive/2008/08_11_26.html [staženo 10.3.2017]

Urban S., 1783: The Gentleman's magazine and historical chronicle. London, 545 s.

Vysoudil M., 2006: Meteorologie a klimatologie. Univerzita Palackého, Olomouc, 277 s.

World Economic Forum, 2016 : The Global Gender Gap Report : Rankings.
Dostupné online: <http://reports.weforum.org/global-gender-gap-report-2016/> [staženo dne 5.3.2017]