

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Pavčina Kazdová

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

ROK BEZ LÉTA – DOPADY ERUPCE TAMBORA
V DOKUMENTÁRNÍCH ZDROJÍCH
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Pavlína Kazdová

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavλίna Kazdová

Vodní hospodářství

Název práce

Rok bez léta – dopady erupce Tambora v dokumentárních zdrojích

Název anglicky

The year without summer – Tambora eruption in documentary sources

Cíle práce

Popsat erupci sopky Tambora a obecně vliv velkých sopečných erupcí na klima. Zmínit se o dopadech erupce ve světě. Vlastní badatelská činnost studentky bude vyhledání vzácných dokumentárních zdrojů – částečně ve světě, ale hlavně v Čechách, které se dotýkají změn klimatu po této velké erupci. Práce bude obsahovat také vhléd do budoucnosti – možnost změn klimatu po erupci některé z aktivních sopek ve světě.

Metodika

První část práce je literární rešerše, vlastní vklad studentky je badatelská činnost – v archivních pramenech dohledat zmínky o změnách klimatu způsobených erupcí Tambory a zpracovat především možné změny v chodu klimatu a počasí v Čechách. Práce dle rámcové osnovy:

- 1) Sopečná činnost a rizika s ní spojené
- 2) Vliv velkých sopečných erupcí na klima a příklady masivních sopečných erupcí, které měly vliv na změnu klimatu
- 3) Erupce sopky Tambora a její význam
- 4) Dopady erupce ve světě
- 5) Vliv erupce na klima v českých zemích a události spojené s dopady erupce v archivních pramenech
- 6) Rok 1816 v kontextu let 1810 – 1820 z pohledu sledování hodnot teplot a srážek na meteorologické stanici Praha-Klementinum
- 7) Krátké zhodnocení a vhléd do budoucnosti, pokud by došlo k masivní sopečné erupci

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

Tambora, erupce, počasí, klima, úroda

Doporučené zdroje informací

Dokumentární zdroje – kroniky apod.: Kronika Mikuláše Střelce z Domažlic.

Klingaman W. K. et Klingaman N. P., 2013: The Year without Summer: 1816 and the Volcano that Darkened the World and Changed History. St. Martin's Griffin, New York.

Oppenheimer C., 2011: Eruptions That Shook The World. Cambridge University Press, Cambridge.

Soukupová J., 2013: Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na Zemi. POWERPRINT, Praha.

Wood G. D., 2014: Tambora: The Eruption That Changed the World. Princeton University Press, Princeton.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 27. 11. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 11. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2018

Prohlášení

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

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 25.4.2018

.....

Poděkování

Chtěla bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Janě Soukupové, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

V Praze dne 25.4.2018

.....

Abstrakt

První část práce je řešena jako literární rešerše. Text se zabývá sopečnou činností a riziky, která vulkanismus přináší, a to z pohledu změn krátkodobých i dlouhodobých, jež se týkají především změny klimatu. Hlavním tématem je erupce sopky Tambora a její význam a dopady, které měl tento sopečný výbuch ve světě. Primárním úkolem je popsat vliv erupce Tambory na klima a obecně způsob, jakým velké sopečné exploze působí na atmosféru a tím mění globální klima. Práce se dále zabývá narušením chodu klimatu a počasí v Čechách a důsledky, které tato teplotní anomálie v českých zemích způsobila. Výkyvy počasí a klimatu v Čechách jsou řešeny na základě zpracování vzácných dokumentárních zdrojů a badatelské činnosti, tedy vyhledávání zmínek a zápisů v archivních pramenech o změnách klimatu a neobvyklých projevech počasí. V závěru práce je stanoven odhad situace, která by v dnešní době pravděpodobně nastala, pokud by došlo k masivní sopečné erupci. Z práce by mělo být jasně patrné, jakým způsobem ovlivňují velké sopečné erupce klima a jaký měla sopka Tambora vliv na klima v Čechách. Na základě této práce je možné si uvědomit, jak mohou masivní sopečné výbuchy měnit globální klima, zhoršovat počasí na vzdálených místech a jaká rizika hrozí dnešní společnosti v případě vulkanické události podobných rozměrů, jako byla erupce Tambory.

The first part of the thesis is solved as a literary research. The text deals with the volcanic activity and the risks posed by volcanism in terms of both short and long-term changes, particularly those of climate change. The main theme is the eruption of the Tambora volcano and its significance and the impact of this volcanic eruption in the world. The primary task is to describe the effect of Tambora's eruption on the climate and, in general, the way in which large volcanic explosions work on the atmosphere and thereby change the global climate. The thesis also deals with the disruption of the climate and weather conditions in Bohemia and the consequences caused by these temperature anomalies in the Czech lands. Weather and climate fluctuations in Bohemia are solved by the elaboration of rare documentary sources and research activities, i.e. searching for references and recordings in archive sources about climate change and unusual weather patterns. The conclusion of the thesis is an estimate of the situation that would probably occur nowadays if there was a massive

volcanic eruption. It should be clear from the thesis how large volcanic eruptions affect the climate and how the Tambora volcano had an influence on the climate in Bohemia. Based on this work, it is possible to understand how massive volcanic eruptions can change the global climate, worsen the weather at distant locations, and what risks to today's society in the event of a volcanic event of a similar magnitude like the Tambora's eruption.

Klíčová slova

Vulkanismus, sopečné erupce, Tambora, změna klimatu

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce.....	2
3. Sopečná činnost a rizika s ní spojené	
3.1 Počátky působení vulkanismu na Zemi.....	3
3.2 Vulkanismus jako příčina masových vymírání.....	3 – 4
3.3 Oblasti působení vulkanismu na Zemi.....	4 – 6
3.4 Lidské poznání o vulkanismu v minulosti a dnes.....	6 – 7
3.5 Zničení měst Pompeje a Herculaneum sopkou Vesuv.....	7 – 8
3.6 Ohrožení lidské existence erupcí sopky Toba.....	8 – 9
3.7 Hrozby spojené se sopečnými erupcemi.....	9 – 11
4. Vliv velkých sopečných erupcí na klima a příklady masivních sopečných erupcí, které měly vliv na změnu klimatu	
4.1 Vulkanismus a další faktory ovlivňující klima na Zemi.....	11 – 12
4.2 Působení oxidu siřičitého v atmosféře.....	12 – 14
4.3 Význam erupce sopky Pinatubo.....	14 – 15
4.4 Produkce skleníkových plynů vulkanismem a lidskou činností.....	15 – 16
4.5 Významné erupce s vlivem na klima v minulosti.....	16 – 17
5. Erupce sopky Tambora a její význam	
5.1 Rozsah důsledků erupce Tambory.....	17 – 18
5.2 Průběh a dopady erupce Tambory.....	18 – 20
5.3 Ovlivnění klimatu erupcí Tambory.....	21 – 22
6. Dopady erupce ve světě	
6.1 Situace ve Spojených státech amerických.....	22 – 23
6.2 Vznik a šíření bengálské cholery.....	23
6.3 Další nepřímé dopady erupce Tambory ve světě.....	24
6.4 Následky erupce v Evropě.....	24 – 26
6.5 Graf zobrazující zvýšenou hodnotu vulkanického sulfátu v grónském ledovci korespondující s obdobím erupce Tambory.....	27
6.6 Graf zobrazující snížený počet slunečních skvrn v době korespondující s obdobím erupce Tambory.....	28

6. 7 Grafy zobrazující pokles teplot v období po erupci Tambory na různých místech světa.....	29 – 47
6. 8 Grafy zobrazující nízké hodnoty ročních průměrů měsíčních teplotních indexů a dolní část amplitudy 11-letého klouzavého průměru teplotních rozdílů v období po erupci Tambory.....	48 – 49
7. Vliv erupce na klima v českých zemích a události spojené s dopady erupce v archivních pramenech	
7. 1 Vliv erupce Tambory na počasí v Čechách.....	49 – 50
7. 2 Záznamy o průběhu počasí a jeho důsledcích v dokumentárních zdrojích.....	50 – 57
7. 3 Meteorologická pozorování z období po erupci Tambory.....	57 – 58
8. Rok 1816 v kontextu let 1810 – 1820 z pohledu sledování hodnot teplot a srážek na meteorologické stanici Praha - Klementinum	
8. 1 Počátky sledování počasí a meteorologická měření na území ČR...58 – 59	
8. 2 Přínos meteorologické stanice Praha – Klementinum.....	59
8. 3 Grafy ukazující snížení teplot v letním období roku 1816	59 – 66
9. Krátké zhodnocení a vhled do budoucnosti, pokud by došlo k masivní sopečné erupci	
9. 1 Monitoring sopečné činnosti.....	67 – 68
9. 2 Ohrožení dnešní společnosti sopečnými erupcemi.....	68 – 69
9. 3 Život v blízkosti vulkánů.....	69 – 70
9. 4 Vývoj situace po masivní sopečné erupci.....	70 – 72
9. 5 Hodnocení síly sopečných erupcí na stupnici VEI.....	72 – 74
9. 6 Významné vulkanicky aktivní oblasti Země.....	74 – 75
10. Výsledné zhodnocení a diskuse.....	76 – 77
11. Závěr a přínos práce.....	78 – 79
12. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	80 – 84
13. Seznam obrázků.....	85 - 89

1. Úvod

Sopečná činnost působí na Zemi již několik miliard let. První vulkanické projevy utvářely povrch Země dávno před příchodem prvních lidí. Sopky v minulosti Země dokázaly zcela pozměnit či ukončit existenci celých živočišných druhů. Vulkanická aktivita jako přírodní fenomén zcela nezávislý na lidské činnosti probíhá neustále a v dnešní době ovlivňuje životy milionů lidí po celém světě. S rozvojem moderních technologií přichází snaha o co nejpřesnější monitoring aktivních sopek s cílem předejít možné katastrofě. V blízkosti mnoha činných sopek leží početná lidská sídla, která jsou v případě výbuchu sopky ohrožena vulkanickými projevy. Z historie je dobře známo, že velký sopečný výbuch dokáže zničit celá města i civilizace. Masivní sopečné výbuchy navíc představují další, a ještě mnohem větší riziko, než jsou krátkodobé projevy v období po explozi. Množství sopečného materiálu uvolněného erupcí do atmosféry zde ve velkých výškách nad zemským povrchem odráží sluneční záření, postupně se rozprostírá kolem planety a následně ochlazuje globální klima. To může mít podle síly erupce až fatální následky pro vše živé na Zemi. Jedním z příkladů takové masivní erupce byl i výbuch indonéské sopky Tambora v roce 1815, který významným způsobem poznamenal vývoj 19. století. Erupce Tambory, označovaná za největší sopečný výbuch v lidské historii, zahubila tisíce lidí ve svém okolí a měla také mnohé dopady ve světě. Následkem výbuchu došlo k pandemii cholery či lokálnímu oteplování v oblasti Arktidy. Nejhorším důsledkem však bylo výrazné ochlazení globálního klimatu. Některé oblasti byly natolik v následujícím roce zasaženy výrazně nižšími teplotami, než bylo obvyklé, a nejrůznějšími extrémními projevy počasí, že se pro rok 1816 vžilo označení Rok bez léta. V důsledku toho, že teplotní anomálií byla značně zasažena oblast Evropy, projevovaly se změny počasí i v Čechách. Jak je možné se přesvědčit z mnohých dokumentárních zdrojů v období po výbuchu Tambory panovalo chladné a vlhké počasí. Vlhko ničilo úrodu a díky nedostatku potravin a vysokým cenám nastala všeobecná krize. Podobná situace panovala v mnohých oblastech světa.

2. Cíle práce

Cíle práce jsou rozebrat dopady sopečné činnosti, z pohledu jednak krátkodobého, ale především rizika z pohledu dlouhodobého, týkající ze změny klimatu. Dále popsat erupci sopky Tambora, její dopady ve světě a vliv, jaký měl tento sopečný výbuch na klima. Následně se blíže zaměřit na situaci týkající se změn v chodu klimatu a počasí v Čechách na základě vyhledávání informací v dokumentárních zdrojích. Nakonec se pokusit nastínit situaci, ke které by mohlo dojít v dnešní době po masivní sopečné erupci.

3. Sopečná činnost a rizika s ní spojené

3. 1 Počátky působení vulkanismu na Zemi

Sopečná činnost představuje celý souhrn přírodních procesů, které působily na planetě Zemi dávno před tím, než ji začal obydlovat člověk. Povrch Země byl ovlivňován vulkanismem již před zhruba 4,2 až 3,9 miliardami let. V prekambriu, prvotním období vývoje Země, tedy od vzniku zemské kůry do nástupu doby kambria asi před 600 až 570 milióny let (Petránek 2007), působil na Zemi intenzivní vulkanismus, který v tomto období znamenal především dynamickou sílu velkou měrou se podílející na utváření a formování zemského povrchu. Stejně tak byla sopečná činnost pravděpodobně důležitým faktorem pro vznik a vývoj prvních forem života. Plyny při ní uvolňované, které se dostávaly z hloubi země na povrch vývody v oblasti styku zemských desek, reagovaly s mořskou vodou bohatou na minerální látky a tím vytvářely příhodné podmínky pro rozvoj a strukturalizaci prvních živých organismů. Během prekambria zaznamenala významný vývoj také zemská atmosféra. Již zde probíhaly klimatické změny, které se nelišily od podobných výkyvů v pozdějších dobách a v některých obdobích byla planeta rozsáhle zaledněna (Petránek 2007). Pracuje se zde s myšlenkou, že to byl právě vulkanismus, který zapříčinil v důsledku zakrytí oblohy velkým množstvím zplodin uvolňovaných při sopečných erupcích první velké zalednění. Avšak díky sopečným výbuchům a popelu při nich uvolňovaném, který pokryl led a způsobil zvýšení albeda, a díky oxidu uhličitému, který dopomohl ke skleníkovému efektu, mohlo dojít opět k oteplení klimatu a následnému roztátí Země (Soukupová 2013).

3. 2 Vulkanismus jako příčina masových vymírání

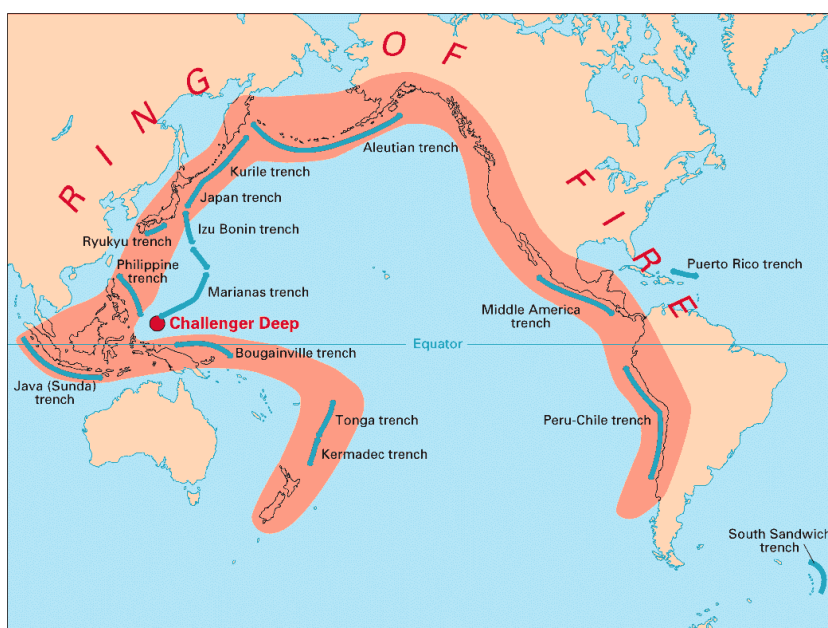
V historii Země došlo k několika velkým či menším masovým vymíráním. Tyto ničivé katastrofy zásadním způsobem poznamenaly další biosférický vývoj na planetě. Objasnit příčiny globálního vymizení celých druhů není jednoduché a ve většině případů stojí za jejich vyhubením souhra více faktorů. Nicméně předpokládá se, že u několika největších hromadných vymírání hrál zásadní roli právě mohutný vulkanismus. Příkladem může být permské vymírání před 251,4 miliony let, které je považováno za nejhorší a při kterém bylo vyhubeno 90–95 % druhů žijících v moři a až 70 % suchozemských druhů. V jedné z hypotéz se jako o možné příčině tohoto vymírání pracuje s verzí mohutného výronu oxidu uhličitého pocházejícího ze silné

sopečné činnosti probíhající v oblastech odpovídajících dnešní Sibiři, který se dostal do atmosféry a tím živé organismy nejen otrávil, ale způsobil rovněž skleníkový efekt, který byl poté důvodem změny klimatu. Dalším nepříznivým efektem sopečných plynů v atmosféře pak pravděpodobně byly jimi vyvolané kyselé deště, které zmenšily pH mořské vody a vytvořily tak nehostinné prostředí zejména pro organismy s vápenitými schránkami. Na základě objevu silných vrstev popela nacházejících se v texaském jezeře Buchanan se navíc odborníci domnívají, že masivní lávové výlevy zapálily uhelná ložiska a hořící uhlí pak jen dokonalo zkázu živých organismů v podobě dalšího množství jedovatého popela a skleníkových plynů uvolňovaných do atmosféry. Vulkanismus mohl být rovněž původcem asi nejznámějšího masového vymírání, tedy v křídě, které se datuje do doby před 65 miliony let. Během této globální katastrofy bylo nenávratně ztraceno až 85 % všech druhů a vymřela většina zástupců dinosaurů. Za nejpravděpodobnějšího viníka se v tomto případě považuje dopad chicxulubského meteoritu oblasti dnešního poloostrova Yucatán v Mexickém zálivu. Svou roli zde však mohl hrát i výlevný vulkanismus, konkrétně se spekuluje o tom, zda mohly masivní lávové výlevy ovlivnit globální klima. Je zde řeč o trapech, deskovitě členěných tělesech, vzniklých výlevy bazaltů na ploše 2 000 000 km², v oblasti Dekánské plošiny v Indii. Pokud k nim došlo v relativně krátkém období, mohly mít skutečně na klima v křídě vliv (Mihulka et Voldřichová 2011). V případě, že by se dnes situace s výlevy těchto velkých magmatických provincií opakovala, pravděpodobně by došlo k rozkladu civilizace a přežila by jen malá část lidské populace. Naštěstí od dob vzniku dekánských trapů je známo pouze už jen několik případů, kdy výlevný vulkanismus způsobil masová vymírání. Rod *Homo sapiens* již nebyl podobnou katastrofou zasažen, to však neznamená, že by k něčemu podobnému nemohlo dříve či později dojít i v dnešní době (Soukupová 2013).

3. 3 Oblasti působení vulkanismu na Zemi

Předchozí příklady působení vulkanismu v historii Země ukazují, že podle typu erupce můžeme rozlišovat mezi způsoby, jakým se dostává materiál a tepelná energie Země na povrch. Termínem sopečná činnost se označují pochody mající spojitost se sopkami a další doprovodné jevy, kterými mohou být například sopečná zemětřesení nebo výrony plynů. V širším slova smyslu pak tímto pojmem rozumíme veškeré procesy související se stavebním prvkem sopek magmatem (Demek 1987).

Často se kolem sebe můžeme setkat s představami, že magma proniká na povrch ze samotného nitra Země. Vzhledem k zemskému poloměru však tento materiál pochází z hloubky pouhých 20 až 300 kilometrů pod povrchem a má tedy původ v roztavených horninách zemské kůry či pláště (Jakeš 2005). Ve větším množství se magma soustřeďuje do podzemních rezervoárů, které nazýváme magmatickými krby. Tlak v magmatické komoře poté může vést k sopečné erupci. V případě, že dojde následkem vysoké tlaku k porušení okolních hornin a vzniku trhliny, kterou magma vytéká na povrch, mluvíme o puklinové erupci. K erupci explozivní dochází, pokud se v magmatu nachází těkavé plyny či obsahuje velké množství vody (Soukupová 2013). Jak uvádí JAKEŠ (2005), voda tvoří nejhojnější těkavou součást magmatu. Většina sopek se nachází na rozhraní litosférických desek na středoocéánských hřbetech pod hladinou moře, kde vysoký hydrostatický tlak vodního sloupce zamezuje explozivním typům erupce (Soukupová 2013). JAKEŠ (2005) udává, že 75 % veškeré vulkanické aktivity se soustřeďuje právě na středoocéánském dně. Podobnými útvary jako rozhraní desek v oceánských hřbetech jsou riftové zóny, kde dochází k rozpínání zemské kůry a vyklenování a posouvání pláště k povrchu. Uvedený proces je doplněn vznikem sopek podél této zlomové struktury. K velmi častým projevům vulkanismu a zemětřesení dochází na subdukčních zónách. Příkladem může být pásmo okolo Tichého oceánu nazývané Ohnivý kruh. Podél těchto oblastí dochází k částečnému tavení a zatahování oceánské kůry do pláště.



Obr. 1: Ohnivý kruh (USGS ©1999)

Ne všechny oblasti silné sopečné činnosti však mají vztah k litosférickým deskám. Jedná se o jevy nazývané hot spots neboli horké skvrny, tedy místa zakotvená ve spodnějších vrstvách pláště, nad nimiž se díky zvýšenému toku energie taví plášťové horniny a následně pronikají k zemskému povrchu na dně oceánu či na pevnině. Jako dobrá ukázka zde poslouží Havajské ostrovy, které ač jsou od rozhraní desek dostatečně vzdáleny, vykazují dlouhodobě intenzivní vulkanickou aktivitu. Podobně jako horké skvrny ani velké vyvřelé provincie neboli trapy nesouvisí s tektonikou litosférických desek. Jedná se o velké komplexy vyvřelých většinou bazaltických hornin nacházejících se nejčastěji na dně oceánů. O nebezpečnosti těchto masivních výlevů jsme se mohli přesvědčit na příkladu možného vlivu Dekánských bazaltů, jednoho z příkladů trapů situovaných na kontinentě, na změnu klimatu a jím způsobené velké vymírání v období křídy (Jakeš 2005).

3. 4 Lidské poznání o vulkanismu v minulosti a dnes

Jak již bylo řečeno, sopečná činnost a procesy s ní spojené ovlivňují naši planetu již několik miliard let. V prvopočátcích tohoto působení představovala velmi intenzivní tvořivou sílu, která rovněž přispívala ke vzniku života na Zemi, v dobách pozdějších mohl být naopak vulkanismus příčinou vymření četných druhů organismů. V dnešní době, a především v souvislosti s lidskou populací, vnímáme vulkanické projevy zejména jako velké riziko. Z historie víme, že supererupce jsou schopny vymazat z mapy celá města a zničit vyspělé civilizace, ohrožují lidské životy a lidstvo se proti nim nemůže bránit. Masivní sopečné výbuchy se nesmazatelně zapsaly do lidské historie a poznamenaly její další vývoj. Zatímco vulkanickou aktivitu, která probíhala na Zemi dávno před příchodem moderních lidí, můžeme dnes studovat pouze na základě nejrůznějších vědeckých výzkumů, týkajících se například studia geologických vrstev, či paleoklimatologie, o událostech spojených se sopečnými katastrofami, které lidstvo postihly v nedávné historii, se již máme možnost dozvídat i z mnohých historických pramenů. Například první zmínky o vulkánech v oblasti Evropy a Blízkého východu se nachází ve starověké řecké kultuře (Jakeš 2005). Kromě zápisů o vulkanických projevech je samozřejmě možné nalézt i záznamy o zemětřesení, které je způsobováno pohybem litosférických desek. Je to další jev, jehož silné projevy mají rovněž jako vulkanismus velký dopad na životy lidí v zasažené oblasti. Dříve v minulosti prostý lid mezi těmito dvěma přírodní pochody nehledal žádnou spojitost, většinou si je neuměl ani vysvětlit a

vykládal si toto dění například jako boží trest. Ba co víc, ani lidé vzdělaní mezi nimi díky odlišným projevům nejspíše neviděli žádnou souvislost. Významný rozvoj zaznamenala nauka o Zemi, včetně vulkanologie, až v 17. a poté hlavně v 18. století. A dnes už díky teorii tektoniky litosférických desek můžeme jasně říci, že oba tyto procesy jsou vzájemně propojené (Jakeš 2005). Ukazuje na to kupříkladu fakt, že většina aktivních sopek a ohnisek zemětřesení je svou polohou vázána na hranice litosférických desek (Soukupová 2013).

3. 5 Zničení měst Pompeje a Herculaneum sopkou Vesuv

I v dnešní době moderních technologií je zcela mimo lidské možnosti sopečným erupcím nějakým způsobem zabránit. Na světě stále existují aktivní sopky, které permanentně vybuchují a přinášejí obyvatelstvu nemalé problémy, od jiných již nepředpokládáme žádné nebezpečí, některé vulkány se probouzí k životu jednou za dlouhou dobu (Soukupová 2013). Zde může například hrozit nebezpečí, že tento interval dalece přesahuje paměti mnoha a mnoha lidských generací, a proto mohou být tyto sopky mylně považovány za již nečinné. V takovém případě pak může dojít k rychlé a nečekané katastrofě. Dnes mají odborníci z řad vulkanologů a geologů snahu sopečnou činnost co nejpřesněji monitorovat, a i když není možné se před dopady mohutného výbuchu zcela ochránit či mu zamezit, informace o tom, že k takové situaci dojde, získaná nějakou dobu před erupcí, může poskytnout čas, který je možné využít přinejmenším k evakuaci obyvatelstva a záchraně alespoň toho nejdůležitějšího, tedy lidských životů. Ne vždy však měli lidé podobnou možnost mít dopředu zprávu o tom, že se blíží pohroma. Rovněž mohlo dojít k situaci, že obyvatelé žijící v blízkosti sopky byli na určité projevy spojené s vulkanismem zvyklí a nevěnovali pozornost varovným signálům, které s probouzením vulkánu přicházely. Naneštěstí právě oblasti pod sopkami bývají také velmi často hustě osídleny zejména kvůli půdě, které je delší dobu po erupci díky spadu sopečného popela měkká, úrodná a hluboká (Jakeš 2005). Podobně tomu bylo například při známé erupci Vesuvu, k níž došlo 24. srpna roku 79 n.l. Občané přilehlých osad v úrodné oblasti Neapolského zálivu, nepovažovali mírné otřesy za nic neobvyklého, stejně tak měli v živé paměti velké zemětřesení z roku 62 n.l., které zasáhlo a z velké části zničilo jejich města, proto nevěnovali probouzejícímu se Vesuvu, který byl po staletí považován za vyhaslý, zvýšenou pozornost nebo i přes určité obavy nechtěli opustit své domovy. O to tragičtější byla situace, která po výbuchu nastala.

V prvních hodinách po erupci pohltilo okolí obrovské množství sopečného popela a žhavých plynů. Následně se přes Pompeje opakovaně přehnala smrtící žhavá mračna zvaná pyroklastické proudy a město Herculaneum bylo zasaženo vroucími bahnotoky neboli lahary, došlo tak k jejich úplné destrukci a v troskách našlo smrt tisíce lidí. Města byla poté na několik dlouhých století pohřbena pod silnou vrstvou sopečného materiálu, a díky tomu, že se kromě zápisků Plinia Mladšího nedochovaly žádné písemné zprávy o této tragédii, Vesuv na ně tak dal zapomenout celým příštím generacím. K náhodnému objevení měst skrytých a konzervovaných pod vrstvou vulkanické suti tak došlo až za více než 1500 let (Novák 2011).



Obr. 2: Zkamenělé tělo jedné z obětí erupce Vesuvu v roce 79 (Česká televize ©2016)

3. 6 Ohrožení lidské existence erupcí sopky Toba

Na příkladu Pompejí je jasně patrné, že velký sopečný výbuch přináší zkázu svému okolí velmi rychle a nečekaně. Tím to ale v případech supererupcí vulkánů mnohdy nekončí a další katastrofální dopady teprve přicházejí. Dobrou ukázkou toho, že mohutný sopečný výbuch mohl dokonce zcela ukončit lidskou existenci na Zemi je například erupce Toby na ostrově Sumatra v Indonésii, která se nej přesnějším odhadem datuje do období před 73 000 lety. Dle nej různějších vědeckých výzkumů se zdá, že po této události došlo díky obrovskému množství

vyvrženého sopečného popela do atmosféry k hlubokému ochlazení klimatu, které mohlo činit 5 – 15 °C. JAKEŠ (2005) udává, že supervulkán vychrlil 800 krychlových kilometrů popela a následná vulkanická zima trvala 1800 let. Důsledky byly obrovské, právě v tomto období nastalo vážné ohrožení lidské populace, došlo k prudkému poklesu počtu jedinců a odhady říkají, že obrovský výkyv klimatu přežilo asi jen 5000 – 10000 zástupců lidského druhu. Tento zbytek populace se poté uchýlil směrem k tropickým oblastem Afriky v okolí rovníku (Soukupová 2013).

3. 7 Hrozby spojené se sopečnými erupcemi

Sopečné erupce s sebou vždy přinášejí rizika pro obyvatele žijící v okolí vulkánu. K prvotnímu ohrožení dochází prakticky ihned po výbuchu sopky. Mezi velmi nebezpečné patří sopky s tak zvaným dómem, tvořeným silně viskózní lávou, který působí jako zátka vulkanického systému pod ním. Pokud je sopka aktivní, dochází zde k hromadění vody případně páry, a při kritickém nárůstu tlaku je poté dóm vystřelen směrem nahoru často do velké výšky. K tomuto typu výbuchu došlo například roku 1980 v případě sopky St. Helens, nacházející se v Kaskádovém pohoří ve státě Washington v USA, kde spouštěčem bylo odstranění zátky v důsledku sesunutí svahu a odvalení nadložní vrstvy hornin. Nemalé škody v mnoha oblastech způsobuje také sopečný popel. Pokud dojde po erupci k dešti, vznikají ze směsi vody a čerstvě napadaného popela bahnotoky neboli lahary, které jsou díky vysokému obsahu částic těžší než voda a mají tak i mnohem destruktivnější účinky. O pohřbení města Herculaneum bahnotoky po erupci Vesuvu v roce 79 n.l. již byla zmínka. Ke vzniku podobných ničivých proudů dochází i v případech, kdy vrchol sopky leží ve vyšších nadmořských výškách a je pokryt sněhem a ledem. Díky zvýšené aktivitě sopky před erupcí a unikajícimu teplu dochází k rychlému tání vrcholového ledovce a vznikající voda s sebou unáší dolů ze svahu sopky kousky materiálu. Postupně se vytváří mohutná ničivá masa jako v případě katastrofy z roku 1985 na svazích kolumbijské sopky Nevado del Ruiz s nadmořskou výškou přes 5000 metrů. Bahnotok zpustošil obrovské území o rozloze více než 2000 km² a vyžádal si přes 20000 lidských životů. Devastujícími účinky působí sopečný popel při masivním výbuchu na zemědělskou půdu a v oblastech dopravní infrastruktury, nebezpečné důsledky má zejména pro leteckou dopravu. Dalším jevem doprovázejícím sopečné erupce jsou kromě pomalu tekoucích lávových proudů, které

způsobují velké požáry, mnohem rychlejší pyroklastické proudy, které rovněž dosahují značných vzdáleností.



Obr. 3: Pyroklastický proud při erupci Soufrière Hills v roce 2010 (Photovolcanica ©2010)

Tato žhavá mračna se tvoří při laterálním výbuchu. Jedná se o velké množství popela a úlomků hornin, unášených vysokou rychlostí extrémně horkým plynem, které se valí údolními a rýhami po svazích vulkánu. Navíc často bývá vznik jednoho pyroklastického proudu následován několika dalšími a ještě intenzivnějšími. Před touto smrtící lavinou téměř není úniku, ničí vše, co jí stojí v cestě a člověk je schopna usmrtit během malého okamžiku. Rozsáhlý pyroklastický proud vzniklý v roce 1883 při erupci Krakatau, ležící na ostrůvku v Sundském průlivu mezi indonéskými ostrovy Jáva a Sumatra, byl například schopen překonat vzdálenost 100 km od sopky po hladině oceánu a ještě po 60 km měl takovou sílu, že zapaloval rostliny na pobřeží (Jakeš 2005). Ohrožení lidských životů mohou způsobovat i další doprovodné jevy sopečné činnosti jako jedovaté vulkanické emise či zemětřesení a tsunami, která bývají způsobena propadnutím centrální části sopky za vzniku kaldery (Soukupová 2013). V případě mimořádně velkých sopečných výbuchů však kromě těchto bezprostředních nebezpečí nastává i mnoho dalších nepřímých dopadů způsobených změnou klimatu po erupci, které se následně dostávají v řádu měsíců a

let po sopečné katastrofě a které ohrožují nejen lidi žijící v okolí vulkánu, ale celý svět. Z nejrůznějších historických pramenů se můžeme přesvědčit, že v případě vulkanické zimy způsobené ochlazením klimatu, dochází k podobné situaci, jaká by v dnešní době nastala po jaderné válce způsobující tak zvanou nukleární zimu. V obou těchto případech díky velkému množství sopečného prachu vyvrženého při explozích do atmosféry a dýmu z požárů dojde k zastínění slunce a zpětnému odražení mnohem většího množství slunečních paprsků. Následuje prudké ochlazení klimatu, které má za následek neúrodu zemědělských plodin, navíc jak bylo řečeno, již samotný spad sopečného popela vede k devastaci půd. Pokud je tento stav dlouhodobý, postupně se dostávají katastrofální následky v podobě hladomoru, hrozí epidemie nejrůznějších nemocí a války o zmenšující se zdroje. Podobná katastrofa tak může být viníkem rozpadu celých vyspělých civilizací. V kronikách je možno nalézt zápisy o zakaleném slunci, velmi hustých suchých mlhách, sněžení vyskytujícím se v letních měsících, prachu padajícím z nebe, vydatných kyselých deštích nebo naopak dlouhodobých suchách. Obyvatelstvo trpělo v důsledku dlouho trvajících a krutých zim, léta byla velmi chladná a deštivá. Všechny tyto jevy postihovaly i lidi žijící daleko od centra sopečného výbuchu. Toto neobvyklé chování počasí muselo být pro tehdejšího člověka jistě těžko pochopitelné a nikoho by nenapadlo přisuzovat ho ohnivě hoře vzdálené na tisíce kilometrů daleko (Novák 2011).

4. Vliv velkých sopečných erupcí na klima a příklady masivních sopečných erupcí, které měly vliv na změnu klimatu

4.1 Vulkanismus a další faktory ovlivňující klima na Zemi

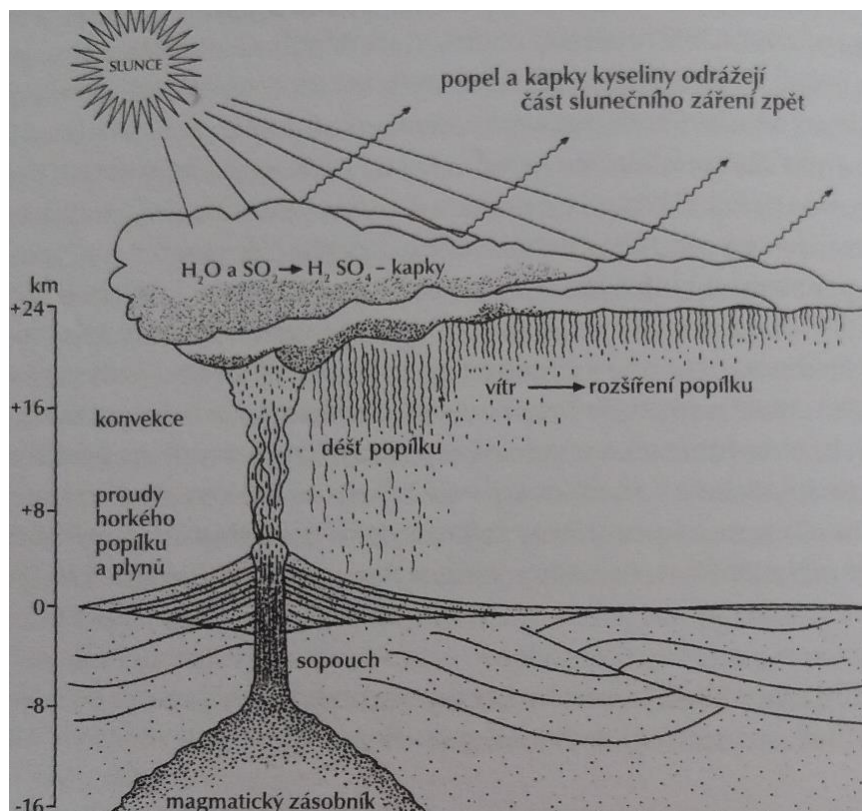
Existuje celá řada činitelů, které ovlivňují klima na Zemi. Slunce jako zdroj energie způsobuje na naší planetě nejrůznější biologické, chemické a klimatické procesy. Ačkoliv byla intenzita slunečního záření dlouho dobu považována za konstantní, ve skutečnosti kolísá. Zjištěná souvislost mezi slunečními skvrnami a tepelnou bilancí poté vysvětluje skutečnost, že období, kdy se sluneční skvrny zmenšují či chybí, většinou koresponduje s fázemi ochlazení klimatu na Zemi. Mimo jiné mají na fáze snížené intenzity slunečního záření vliv také výkyvy parametrů oběžné dráhy Země kolem Slunce. Dále působí na změny klimatu složení

zemské atmosféry, které ovlivňuje míru slunečního vyzařování. Výzkumy v antarktických ledovcích dokázaly úzkou souvislost mezi stopovými prvky, a především skleníkovým plynem oxidem uhličitým, obsaženými ve vzduchu a změnami teploty. S klesajícím množstvím oxidu uhličitého dochází k ochlazení a naopak. Tektonika litosférických desek poté působí při vzniku dob ledových. Přiblížení zemské kůry ve svrchní vrstvě pláště k pólům Země způsobí, že v těchto nejchladnějších místech ustane volné proudění vody v oceánu a tím dochází ke vzniku ledu a následně ke zvýšení albeda. Jakmile se odráží v důsledku zvětšené ledové a sněhové pokrývky vyšší množství slunečního záření zpět do vesmíru, dochází automaticky ke snižování globální teploty na Zemi. S tektonikou zemských desek je spjat vulkanismus. Při explozivních sopečných erupcích je do výšky vyvrhováno velké množství prachu, popela, aerosolů a plynů. V případě, že se jedná o masivní explozi, mračna vulkanického materiálu doputují až do stratosféry, odkud jsou pak výškovými větry rozneseny kolem celé zeměkoule. Silný vítr nazývaný jako jet stream je schopný roznést sopečné částice během tří až čtyř dní kolem celé zeměkoule. V minulosti se odborníci zabývali otázkou, které faktory ze sopečných erupcí a jakým způsobem klima na Zemi ovlivňují. Nejprve se předpokládalo, že ochlazení způsobují pouze pevné částice, které se dostaly do stratosféry a vytvářejí filtr pro sluneční záření. Teprve v roce 1963 vědci zjistili, že jako stejně účinný filtr působí v atmosféře i plyny uvolněné při sopečném výbuchu. Více než 80 procent tvoří vodní pára, dalších zhruba 10 procent je oxid uhličitý. Dále se v těchto plynech vyskytuje proměnlivý obsah oxidu siřičitého, sirovodíku, oxidu uhelnatého, vodíku, dusíku, chlorovodíku a bromovodíku. Nejvýznamnější roli na atmosféru však mají sloučeniny obsahující síru, především oxid siřičitý (Behringer 2010).

4. 2 Působení oxidu siřičitého v atmosféře

Pokud látky produkované při sopečném výbuchu, především oxid siřičitý, jehož se uvolňuje při erupci velké množství, neproniknou výše než do troposféry, jsou v řádu několika dnů až týdnů po erupci postupným vymýváním srážkami z atmosféry odstraněny. V případě, že je exploze dostatečně silná, aby sopečný mrak vystoupal do výšek nad 15 kilometrů, oxid siřičitý se dostane až do stratosféry. Zvrstvení teploty ve stratosféře je výrazně stabilnější než níže v troposféře, z tohoto důvodu se zde plyn zdržuje delší dobu a je schopen ovlivňovat celosvětové klima. Postupně dochází za spolupůsobení vlhkosti a slunečního záření k jeho přeměně na

mikroskopické kapky, které vydrží v atmosféře i několik následujících roků. Jak uvádí KADLEC (2010), oxid siřičitý ve vzduchu oxiduje a dochází ke slučování s vodou za vzniku kyseliny sírové. Ta poté ve stratosféře rychle kondenzuje a vytváří se jemný sulfátový aerosol (USGS ©2018). Díky tomuto nově vzniklému aerosolu je následně odraženo větší množství přicházejícího slunečního záření zpět do vesmíru, dochází ke stínění zemského povrchu a v důsledku dopadu menšího množství energie k jeho následnému ochlazení. Aerosoly kyseliny sírové jsou schopné se díky své malé hmotnosti udržet ve stratosféře až několik let. Období, než aerosolové částice narostou natolik, aby spadly k zemi, může trvat až tři roky (Žák 2017). Při sopečných erupcích vznikající kyselinu sírovou, mohou vědci rovněž použít jako určitý ukazatel toho, jak v minulosti probíhala na Zemi vulkanická činnost, jaká byla četnost a síla sopečných výbuchů. Využívají skutečnosti, že aerosol kyseliny sírové, jenž se po sopečném výbuchu v atmosféře vytvoří, je pomocí srážek postupně vymyt a uložen na zemský povrch. Aerosol se dostává také na povrch grónského ledovce. Zde se usazuje a poté je zakonzervován ročními přírůstky ledových vrstev. Díky zvýšení koncentrace kyseliny sírové se zvětšují hodnoty elektrické vodivosti ledu. Odborníci pak mohou díky měření elektrické vodivosti v ledovém profilu obdržet informace o obdobích a síle sopečné činnosti, a tak si udělat představu o průběhu sopečných výbuchů v historii Země (Kadlec 2010). Podobné účinky jako aerosoly mají i do stratosféry vyvržené částice sopečného prachu a popela. Ty jsou však těžší a klesají k zemi mnohem rychleji než sírové aerosoly (Žák 2017). Větší částice popela rychle padají k zemi a nemají tak výraznější účinek. Malé částice vytvářejí v troposféře tmavý mrak, který zastiňuje a ochlazuje oblast přímo pod ním. Většina z těchto částic vypadá z atmosféry spolu s deštěm v řádu několika hodin až dní po erupci. Nejmenší částice prachu proniknou až do stratosféry, kde mohou setrvávat několik měsíců. Díky nízké hmotnosti jsou schopny obkroužit celou planetu, odrážejí sluneční záření a tím ochlazují rozsáhlé oblasti Země (UCAR, ©2018). Rozhodujícím faktorem, do jaké míry bude sopečnou katastrofou změněno klima na Zemi, je však množství oxidu siřičitého uvolněného při erupci, a stejně tak záleží na výšce, kam plyn vystoupá (Žák 2017).



Obr. 4: Působení sopečných plynů a popela v atmosféře (Behringer ©2010)

4.3 Význam erupce sopky Pinatubo

Při erupci vulkánu Pinatubo na Filipínách 15. června roku 1991 bylo do atmosféry vyvrženo 3 až 5 krychlových kilometrů popela a 20 milionů tun oxidu siřičitého. Jedná se o největší sopečný výbuch druhé poloviny 20. století, po němž se dostavilo v následujícím roce velmi chladné léto a pokles teploty činil asi 0,3 stupně Celsia. Například tuzemští vinaři považují sezonu v roce 1992 z pohledu produkce vína za velmi špatnou. Je velice pravděpodobné, že svou roli zde sehrála právě exploze sopky Pinatubo (Kadlec J., 2010). Sopečný mrak z této erupce je zatím největším oblakem oxidu siřičitého, který odborníci od začátku snímání družicemi v roce 1978 ve stratosféře měli možnost změřit. Ačkoliv se jedná pravděpodobně o menší poruchy než po katastrofách způsobených sopkami Tamborou v roce 1815 a Krakatau v roce 1883, jsou následky exploze vulkánu Pinatubo v atmosféře právem považovány za její největší aerosolové narušení minulého století (USGS ©2018). Vývoj, složení a efekt sopečného mraku zaznamenávala celá řada pozemních a družicových zařízení. Vzorky z tohoto oblaku byly pořízeny dokonce i pomocí

speciálních vojenských letounů schopných letů ve stratosféře. Velmi důležité informace o složení a pohybu mraku, které přispěly k hlubšímu porozumění dynamiky a vlivu sopečných materiálů na změny klimatu, poskytla družice UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) v rámci programu NASA (National Aeronautics and Space Administration), jež byla na oběžnou dráhu vypuštěna v období erupce. Až do prvních známek probouzení vulkánu Pinatubo na začátku dubna roku 1991, nebyla tato sopka považována vulkanology za potenciálně aktivní a žádným způsobem monitorována. O několik týdnů později byla v důsledku její erupce zničena oblast o rozloze 400 čtverečních kilometrů a velká část jihovýchodního Asie zasypána sopečným popelem. Díky rozsáhlosti sopečného mraku bylo na základě satelitního monitorování možné sledovat jeho růst a šíření po celém světě. Deštníkový pokryv ze sopečného materiálu vyvrženého při erupci dosáhl v 16:40 tamního času ve stratosféře šířky 500 kilometrů a pokrýval asi 300 tisíc čtverečních kilometrů. O tři hodiny později se 10 až 15 kilometrů silný mrak, jehož vrchol dosahoval výšky 35 kilometrů nad mořem, rozrostl do maximálního průměru, a to přes 1100 kilometrů. Po uplynutí necelých 40 hodin od začátku erupce potom sopečný oblak dosahoval rozlohy 2,7 milionu čtverečních kilometrů (Oppenheimer 2011). K podobnému efektu jako při výbuchu vulkánu Pinatubo došlo i při trhlínové erupci islandské sopky Laki s masivními výlevy lávy v letech 1783 a 1784. Do atmosféry se při ní uvolnilo přibližně 120 milionů tun oxidu siřičitého, tedy asi šestkrát více než vychrlila sopka Pinatubo. Přestože se erupce obou sopek lišily typem i délkou trvání, obrovské množství vyprodukovaného oxidu siřičitého, jež se dostal do atmosféry, způsobilo na stejně dlouhou dobu efekt regionálního ochlazení v Evropě a Severní Americe (USGS ©2018).

4. 4 Produkce skleníkových plynů vulkanismem a lidskou činností

Na základě snadnějšího rozptylování sopečného kouře a plynů jak na severní, tak na jižní polokouli, hrozí větší riziko ovlivnění globálního klimatu u vulkánů, které se nacházejí v tropických pásmech než u sopek ležících v oblastech polárních. U polárních sopek často brání tomuto šíření i tryskové proudění. To může v těchto zeměpisných šířkách obepínat i celou zeměkouli, proto se většina sopečného materiálu nedostane z oblasti pólů. V nižších zeměpisných šířkách se navíc vliv zastínění zemského povrchu projevuje daleko více díky vyšší intenzitě slunečního

záření, jež zde dopadá (Žák 2017). Vulkány při svých erupcích produkují rovněž velký objem skleníkových plynů, jakými jsou vodní pára a oxid uhličitý. Uvolněné množství ani při masivním výbuchu nijak výrazně nemění obsah těchto plynů v atmosféře, avšak v obdobích historie Země, kdy na planetě probíhala intenzivní vulkanická činnost, velké množství oxidu uhličitého v atmosféře způsobilo éry globální oteplování (UCAR, ©2018). I když se díky velkým sopečným erupcím může do atmosféry vstřebávat značné množství oxidu uhličitého, dnes se jako mnohem větší problém jeví nadměrná produkce tohoto plynu antropogenní činností. Například při výbuchu sopky Mount St. Helens v roce 1980 se po dobu 9 hodin do atmosféry uvolnilo asi 10 milionů tun oxidu uhličitého. V dnešní době však lidstvu trvá pouhé 2,5 hodiny, než vyprodukuje ten samý objem skleníkového plynu. Zatímco velké sopečné erupce, při kterých by se do plynného obalu Země dostalo významnější množství oxidu uhličitého se vyskytují zřídka, globálně jednou za deset let, emise tohoto plynu lidstvem celosvětově každým dalším rokem nebezpečně vzrůstají ((USGS ©2018).

4. 5 Významné erupce s vlivem na klima v minulosti

Kromě explozí sopek Pinatubo, Laki či Tambory můžeme uvést několik dalších sopečných erupcí, které v minulosti výrazně ovlivnily klima, a to mnohdy zcela fatálním způsobem. Již například byla řeč o katastrofálních důsledcích erupce Toby před 73 tisíci lety, která ve své době téměř vyhubila lidskou rasu. Další významná vulkanická aktivita se udála v období asi před 39 tisíci lety v oblasti Campi Flegrei na území dnešní Itálie. Erupce, při níž bylo vyvrženo zhruba 200 krychlových kilometrů magmatu a která měla 120krát větší sílu než výbuch sopky Pinatubo, zesílila svými důsledky právě probíhající dobu ledovou. Někteří autoři dokonce přichází s myšlenkou, že masivní erupce mohla podpořit vymření neandrtálců na území Evropy. K následující sopečné aktivitě zde došlo před 12 tisíci lety a je velmi pravděpodobné, že se zde schyluje k další katastrofální erupci. Odborníci navíc varují, že výbuch by mohl přijít dříve, než se předpokládalo. Na konci posledního glaciálu probíhala vulkanická činnost ve větší míře. Jednou z událostí tohoto období je například erupce v místě německého jezera Laacher datovaná do doby 12 900 lety. Makroskopické zbytky po výbuchu, při kterém bylo vyvrženo 1,9 megatun síry a 6,6 megatun chlóru, je možno nalézt uloženy

v sedimentech po celém evropském území na ploše přibližně 300 000 čtverečních kilometrů. Jak dokládají výzkumy ve změnách tehdejšího osídlení v Evropě pravděpodobně došlo k významnému snížení teploty doprovázené kyselými dešti a vulkanickým spadem. Při erupci sopky Théry na ostrově Santorini v Egejském moři pravděpodobně okolo roku 1650 př.n.l. se do atmosféry dostalo zhruba 60 kilometrů krychlových sopečného popela a zplodin. Výška sopečného sloupce mohla dosahovat výšky až 36 kilometrů, sopečný popel a zplodiny potom v atmosféře zamořily plochu o rozsahu až 2 miliony krychlových kilometrů. Popel z této erupce byl nalezen při vykopávkách až v oblastech u Černého moře. Erupce byla rovněž doprovázena obrovskou vlnou tsunami, která se pravděpodobně stala námětem k nejrůznějším bájím či legendám, například o potopě světa. Na základě zkoumání výskytu síry konzervované v ledovcích a historických písemných zdrojů popisujících nejrůznější důsledky sopečných výbuchů je možno odhalit mnoho dalších velkých explozí, u kterých si odborníci nejsou jisti, o jakou sopku se vlastně jednalo (Soukupová 2013).

5. Erupce sopky Tambora a její význam

5.1 Rozsah důsledků erupce Tambory

Mnoho velkých sopečných erupcí v historii Země poznamenalo globální klima takovým způsobem, že jejich význam si začínáme plně uvědomovat až v dnešní době. Příkladem takového masivního výbuchu s dalekosáhlým dopadem na dění a vývoj událostí po celém světě je i erupce sopky Tambora. Jedná se o největší zaznamenanou sopečnou explozi v lidské historii. Výbuch Tambory a zejména klimatické změny, které následně vyvolal, poznamenaly životy milionů lidí po celém světě. Tato nepředvídatelná katastrofa zcela zásadním způsobem ovlivnila vývoj světových dějin. Ač není tato událost v lidském povědomí zcela jistě tak známá jako některá jiná přírodní neštěstí, jež lidstvo postihly, její důsledky jsou mnohem rozsáhlejší. I v porovnání se silnými zemětřeseními můžeme mluvit o sopečné události těchto rozměrů jako o katastrofě s mnohem fatálnějšími následky. Přímé dopady erupce Tambory se například v porovnání s tragickým zemětřesením následovaným vlnou tsunami, jež v roce 2004 postihly Indonésii spolu s dalšími zeměmi a připravily o život více než 200 tisíc lidí a jsou považovány za jednu z nejhorších přírodních katastrof v lidských dějinách, jeví jako podstatně méně ničivější. Avšak i přes obrovské ztráty na životech a miliardové škody na majetku při

zemětřesení v Indickém oceánu, má tato událost spíše lokální charakter a výrazným způsobem se materiálně nedotýká lidí žijících tisíce kilometrů daleko. Přímými důsledky erupce Tambory sice zahynulo podstatně méně lidí, ovšem poté se rozpoutal kolotoč dalších nepřímých dopadů vyvolaných následným ochlazením klimatu. Lidé po celém světě, jež ani netušili o výbuchu indonéské sopky, se tak díky ní potýkali s neúrodou, hladomorem, šířením chorob a celkovou sociální krizí. Výbuch Tambory, tak můžeme přirovnat spíše ke katastrofě podobné světové válce.



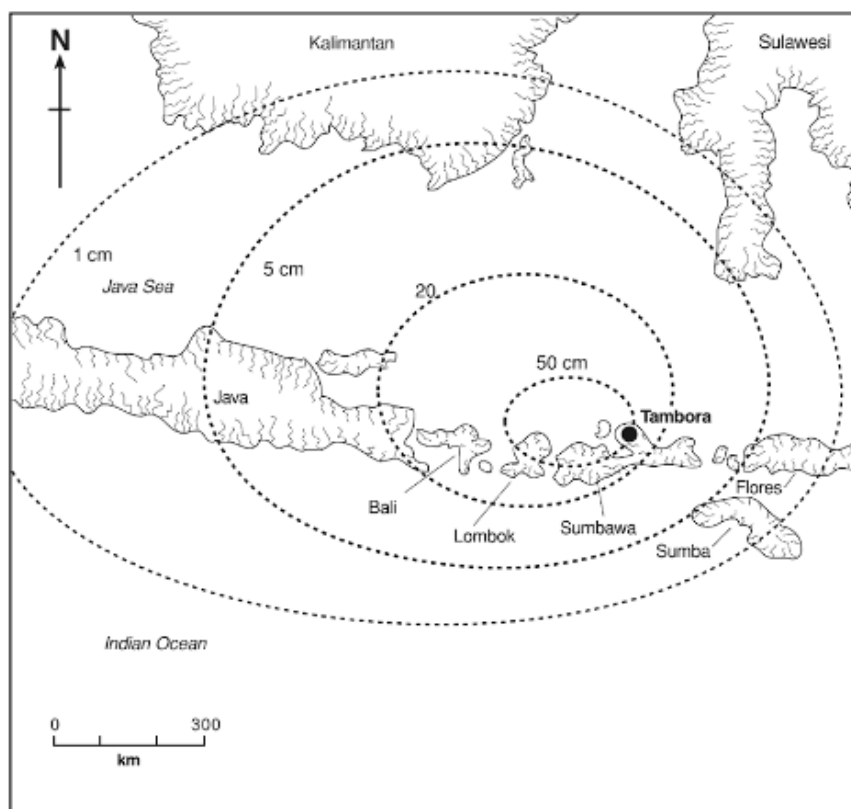
Obr. 5: Poloha sopky Tambora (National Geographic ©2016)

5. 2 Průběh a dopady erupce Tambory

Tambora, patřící mezi nejpozoruhodnější vulkány světa, leží na 280 kilometrů dlouhém a 90 kilometrů širokém ostrově Sumbawa v Indonésii. Patří k početné sopečné skupině, jež je součástí Ohnivého kruhu. Sopka se za ohlušujícího dunění, slyšitelného daleko od indonéského souostroví, probudila k životu na jaře roku 1815 a po krátkém klidnějším období se zde začalo schylovat k obrovské sopečné erupci o síle VEI 7, jež by se podle výpočtů dnešních odborníků dala přirovnat k energii uvolněné při výbuchu nejméně 170 000 atomových pum hirošimského typu. Tambora projevovala známky neklidu již několik let před rokem 1815, pravidelně se ozývalo hřmění, z kráteru stoupal hustý černý kouř a země se v určitých intervalech otrásala. K prvnímu výbuchu došlo 5. dubna a v následujících dnech proběhlo ještě několik dalších menších erupcí (Vigué J. et Vaccaro J., 2007). Největší exploze

Tambora pak nastala 10. dubna 1815. Byla desetkrát silnější než u sopky Pinatubo v roce 1991 a stokrát větší než erupce sopky Mount St. Helens z roku 1980 (Greshko 2016). Zemětřesení a tlaková vlna, vyvolané výbuchem, otřásaly domy až na východní Jávě, ve vzdálenosti 800 kilometrů (De Boer et Sanders 2002). Sopečný sloupec vystoupal do výše přes 40 kilometrů. Tambora vychrlila do atmosféry více než 100 kilometrů krychlových vulkanického materiálu. Mohutný přetlak pak přes čtyři kilometry vysokou Tamboru při explozi rezonující až na 2500 kilometrů západně vzdálené Sumatře doslova roztrhl a vytvořil na jejím místě kalderu obrovských rozměrů. Mohutný kužel hory se z původních 4300 metrů zmenšil na výšku 2800 metrů. Kapitán Eatwell na 350 kilometrů od místa erupce vzdálené válečné lodi Benares patřící britské Východoindické společnosti si do svých zápisků poznamenal poznatky o ohlušujícím zvuku doprovázející výbuch: „*Jako kdybyste současně vystřelili ze tří čtyř děl*“. A dále o tmě, která se uprostřed dne rozhostila: „*Je kolem větší černo než v nejtemnější noci*“. Posádka Benaresu musela z paluby odklízet obrovského množství z nebe padajícího popela, aby se pod jeho tíhou loď nepřevrátila. Když Benares dorazil k Sumbawě, jakmile co se rozptýlil sopečný mrak, posádka nemohla uvěřit vlastním očím, výbuch proměnil ostrov k nepoznání (Vacek Z, 2015). Místní vládce v malém městě Sanggaru, ležícím asi 40 kilometrů východně od centra erupce, později popisoval, že spatřil tři ohnivé sloupce, které vyšlehly k nebi a vytvořily nad Tamborou doslova ohnivou bouři. Poté moře ohnivé lávy, jak spatřoval pyroklastický proud, roztrhlo celou horu. Podle jeho odhadů, po hodině této hrůzy černý mrak sopečného popela zahalil město a z nebe padaly kameny často dosahující velikosti lidské pěsti. Vrstva vulkanického spadu rychle narůstala, a navíc byla doplňována větrem o síle hurikánu, který trhal bambusová obydlí, vyvracel stromy a odnášel lidi a dobytek. Celé pobřežní vesnice jím byly smeteny do moře. Pyroklastický proud, jež se přihnul k pobřeží, poté vyvolal v moři vlnu tsunami dosahující výšky až pěti metrů. Obrovské vlny převrhovaly lodě a přinášely trosky zpět do vnitrozemí. Lidé ve vesnici Bima, vzdálené 65 kilometrů východně od výbuchu, byly otřeseny explozí vyvolaným hlukem. Noc způsobená sopečným popelem je provázela několik dalších dní. Usazená vrstva popela poté bořila ve vesnici střechy většiny domů. I další indonéské ostrovy zasypalo velké množství popela z erupce, byly to Lombok, Sulawesi, Flores či Bali. Sopečný prach a popel padal se snižující se intenzitou od výbuchu až do 17. dubna a pokryly rozlohu více než 500 tisíc čtverečních kilometrů. (De Boer et Sanders 2002). Indonésii tak

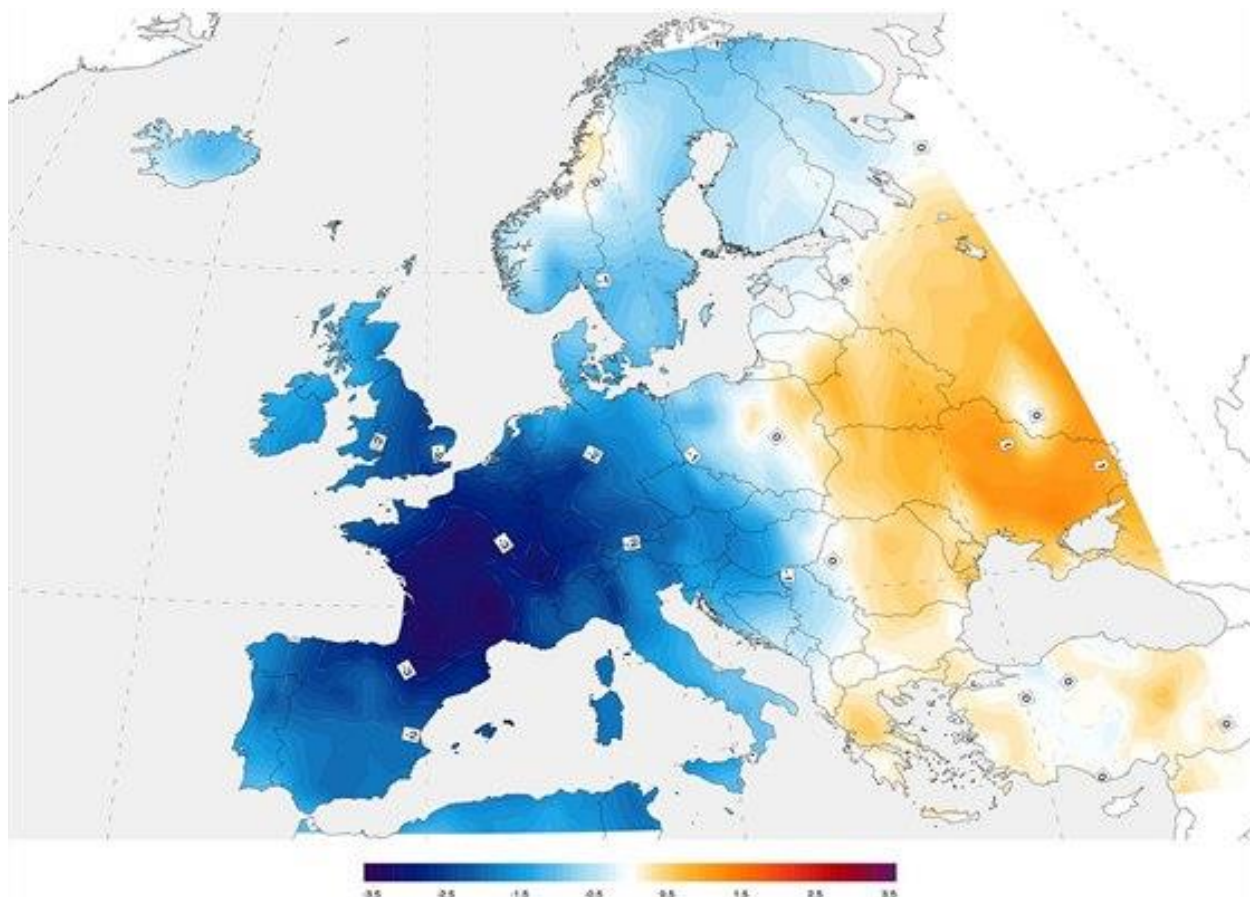
zahalila na tři dny tma. Sumbawa byla výbuchem kompletně zpustošena, poškozeny byly lesy i vegetace. Sopečná katastrofa způsobila rozvrat tehdejšího království Tambora, a dokonce došlo i k zániku jazyka, kterým se zde mluvilo. Později z holandské kolonie vznikl dnešní státní útvar Indonésie. Díky této vulkanické události přišlo o život asi 10 tisíc lidí přímo a následně podle odhadů až 100 tisíc dalších následky ekologické katastrofy, kterou výbuch v následujících dnech a měsících rozpoutal. Místní obyvatelé žili pouze ze zdrojů, které si sami vypěstovali. Komunikační systémy v této době neexistovaly, takže po tom, co sopečný popel zamořil veškerou vodu a zničil úrodu na celé Sumbawě, nastala krize. Na následky hladu zemřelo asi 38 tisíc lidí a dalších 36 tisíc z ostrova emigrovalo. Zahynulo rovněž 75 procent domácích zvířat, které nebylo čím krmit. Ani sousední ostrovy na tom nebyly lépe. Na Bali zemřelo hladem 25 tisíc lidí a na Lomboku to bylo 44 tisíc (Behringer 2010).



Obr. 6: Rozsah a síla vrstvy sopečného popela z erupce Tambory (De Boer et Sanders ©2002)

5. 3 Ovlivnění klimatu erupcí Tambory

Sopečný prach a popel vířící ve vzduchu se za nějakou dobu po erupci postupně usadil. Ovšem výbuch Tambory uvolnil obrovské množství tohoto materiálu také do atmosféry. Díky jeho mohutnosti doputovaly vulkanické částice až do stratosféry. A co především, do vyšších vrstev atmosféry proniklo i více než 55 miliónů tun oxidu siřičitého. Zde tento plyn v kombinaci se snadno dostupným hydroxidovým plynem, v kapalné formě nazývaným peroxid vodíku, v krátké době vytvořil více než 100 milionů tun kyseliny sírové. Kyselina poté zkonzovala do nepatrných kapiček, asi dvěstěkrát jemnějších, než je šířka lidského vlasu, jež se následně uskupily do aerosolového mraku. Díky silnému stratosférickému větru nazývaným jet stream, který částičky aerosolu uvedl do pohybu, získaly tento mrak rychlost téměř 100 kilometrů v hodině. Aerosolový oblak se začal primárně šířit východním a západním směrem a postupně díky proudění v atmosféře během dvou týdnů obkroužil celou planetu kolem rovníku. Rozdíly v rychlosti větrů a velikosti aerosolech částic způsobily, že některé části mraku se pohybovaly rychleji nebo naopak pomaleji než jiné. Jižním a severním směrem se oblak šířil mnohem pomaleji, dosažení severního a jižního pólu tak trvalo více než dva měsíce. Díky vyšší stabilitě stratosféry a faktu, že se v ní neformují jako níže v troposféře dešťové kapky, jež by aerosoly vymývaly, zde zůstaly aerosolové částice po dobu několika let. Ve spodní části stratosféry se nachází oblast studeného vzduchu a nad ní je vrstva teplejší, proto sem vzduch z troposféry téměř neproudí. Stratosféra je tak díky absenci vlhkosti, jež by sem teplejší vzduch z nižších vrstev přinášel, sušší než většina pouští a prakticky se zde nevytvářejí dešťové mraky. Aerosoly se tedy zpět na zemský povrch dostávají pouze velmi pomalu působením gravitace a díky občasnému proudění vzduchu mezi stratosférou a troposférou. Po dobu, jež se držely ve stratosféře, odrážely na Zemi přicházející sluneční záření zpět do vesmíru. Vlivem tohoto procesu došlo k výraznému poklesu globální teploty a celkovému zhoršení chodu počasí v mnoha oblastech světa a k výskytu nejrůznějších anomálií, ať už extrémnímu suchu na obvykle vlhkých místech či naopak nebo výskytu sněhu a mrazu v letním období. Například v Evropě byla v roce 1816 teplota až o 3 °C nižší, než je dlouhodobý průměr (Behringer 2010). Díky těmto extrémním projevům počasí je následující rok po erupci nazýván jako Rok bez léta (Klingaman et Klingaman 2013).



Obr. 7: Teplotní anomálie v oblasti Evropy během roku 1816 (Technet ©2014)

6. Dopady erupce ve světě

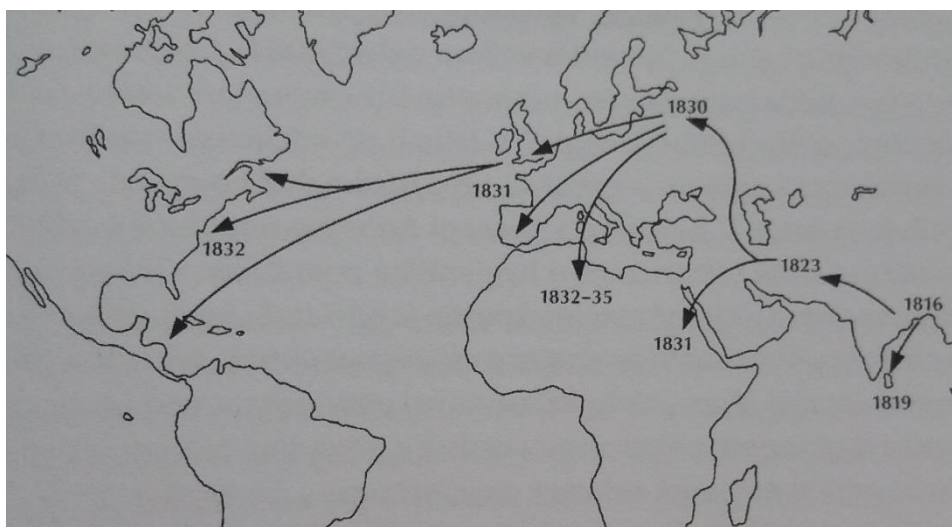
6.1 Situace ve Spojených státech amerických

Důsledky erupce Tambory v následujících letech pociťovali lidé prakticky po celém světě, i když ani netušili, že podivné projevy počasí a jimi způsobenou neúrodu by mohla mít na svědomí tisíce kilometrů vzdálená sopka. Tambora rozpoutala ekologickou katastrofu a téměř globální socioekonomickou katastrofu. Tambora je jeden z nejznámějších a hojně zaznamenaných případů extrémních projevů počasí v 19. století. Léto roku 1816 se stalo rokem s nejkratším vegetačním obdobím v zaznamenané historii. Východní pobřeží Spojených států amerických v červnu dokonce zasáhly sněhové bouře, během kterých napadlo až 40 centimetrů sněhu. Zoufalí venkovští obyvatelé ze států Maine a Vermont tak ve velkém počtu utíkali před touto pohromou směrem na západ, který nebyl extrémní počasí způsobenými výbuchem Tambory, v takové míře zasažen. Velký počet obchodníků z východních zemí se po roce 1816 rozhodl investovat své peníze do zemědělství na

západě, protože díky pšenici ze západních zemí vydělávali investoři na chudých trzích východu mnoho peněz. Po třech letech se ovšem zemědělské trhy pomalu navracely do normálu a ceny produktů se začaly propadat. To mělo za následek rozsáhlý krach, první větší ekonomickou krizi Spojených států, se kterou se obyčejní Američané potýkali ještě ve 20. letech 19. století (Wood 2014).

6. 2 Vznik a šíření bengálské cholery

Obrovské škody napáchala Tambora v okolí výbuchu v tehdejší Nizozemské východní Indii, ale ještě více se podepsala na mikroorganismech žijících v Bengálském zálivu. Zde přežívala bakterie *Vibrio cholerae* (Vacek 2015). Abnormální projevy počasí v letech 1816 až 1817, kdy nejdříve panovalo extrémní sucho a poté přišly nečekané deště, které způsobily záplavy, narušily ekologii těchto mikroorganismů. Obecně jinak velmi přizpůsobivé bakterie cholery díky tomu zmutovaly do nového smrtícího kmenu. Místní obyvatelstvo nemělo proti tomuto patogenu vyvinuté obranné látky, a tak se cholera začala rychle šířit do celé Asie a následně i po celé zeměkouli. S britskými koloniálními jednotkami pronikla cholera do Nepálu a Afghánistánu, od Kaspického moře směřovala podél řeky Volhy až k Baltskému moři. Například v Paříži si vyžádala 18500 životů. Z Anglie pak choroba pronikla do Severní Ameriky (Vacek 2015). Odhaduje se pak, že do konce devatenáctého století epidemie bengálské cholery zahubila desítky milionů lidí a měla tak na jeho průběh podobně zásadní vliv jako epidemie moru, jež ve středověku zasáhla Evropu (Wood 2014).



Obr. 8: Rozšíření pandemie cholery po světě (Behringer ©2010)

6. 3 Další nepřímé dopady erupce Tambory ve světě

Sopečný mrak obsahující sloučeniny síry, jež sopka při explozi vypustila, během následujících dvou let po erupci navíc zavinil zpožděný příchod indických monzunových dešťů a tím vyvolal na indickém subkontinentu sucho a neúrodu. Odlehlou hornatou provincií Yunnan v jihozápadní Číně naopak sužovalo chladné počasí, větry a déšť, které ničilo rýžová pole. Mezi zemědělci odkázanými na obživu z rýže zavládl hladomor. Během tohoto krutého období trvajících tři roky se místní obyvatelé byli nuceni žít bílým jílem, někteří rodiče prodávali na trzích své děti nebo je z milosti sami připravovali o život. Po skončení tohoto období se vesničané ve velké míře uchýlili k pěstování máku a jeho zpracování na výrobu opia. Snažili se tak vysokou tržní hodnotou této látky pojistit pro případ, že by přišlo další období krize. Za několik desítek let byla maková pole rozseta již po celé oblasti a umění výroby opia se šířilo i dále směrem na jih do oblastí dnešních Laosu a Barmy. Tím byl položen základ modernímu obchodu s drogami. Dalším nepřímým dopadem erupce Tambory je i její poměrně paradoxní účinek na Arktidu. Navzdory tomu, že aerosolový oblak šířící se v atmosféře kolem rovníku i k pólům způsobil na celé zeměkouli ochlazení, díky změnám v rozložení větrů a oceánského proudění v severním Atlantského oceánu, se samotná oblast Arktidy začala výrazně zahřívat. K objevení této anomálie došlo po erupci sopky Pinatubo na Filipínách v roce 1991, jež byla jako první sopečný výbuch v historii pozorována s pomocí moderních klimatologických nástrojů. V letech 1817 a 1818 přicházely od kapitánů velrybářských lodí zprávy o neobvyklém úbytku mořského ledu v okolí Grónska. Obrovské ledovcové kry bylo možno spatřit až u pobřeží Irska a New Yorku. Ledy začaly znovu zamrzat v roce 1818 v období první polární expedice na Arktidu (Wood 2014).

6. 4 Následky erupce v Evropě

Situace v Evropě byla v roce 1816 na mnoha místech opravdu kritická. Slunce se v létě tohoto roku objevovalo pouze výjimečně. Rýn i Seina se vylily z koryt do měst a vesnic. Paříž čelila ničujícím záplavám. V Anglii na začátku července sněžilo, a ještě před koncem srpna byla úroda pokryta sněhem a spálena mrazem. Anglické úřady z hrozby všeobecných nepokojů mezi zoufalými rolníky, zprávy o stavu zemědělství v zemi musely tajit. Ve Švýcarsku během dubna 1817

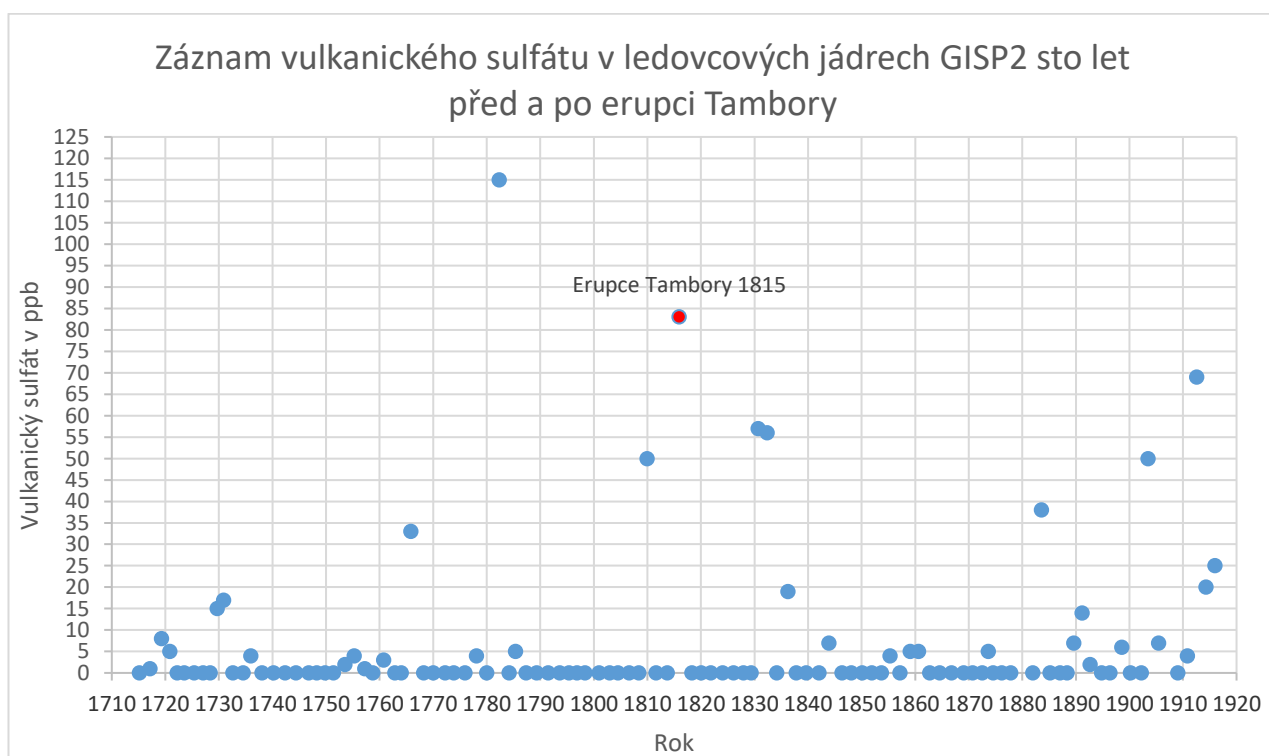
enormně vystoupaly ceny pšenice. V Irsku vypukne hladomor a na začátku roku 1817 je navíc zasaženo epidemií skvrnitého tyfu, jež na ostrově zahubila desetitisíce zubožených obyvatel. V Sasku se dobytek pod přívaly deště topil na pastvinách. Holanďtí rolníci přiváželi svým zvířatům poslední zásoby sena přes zaplavené pastviny na člunech a poté je museli porazit. Z Velkovévodství Bádensko emigrovala do dubna roku 1817 pětina všech obyvatel do Ameriky. I zde však zuřila katastrofa. Již v polovině dubna 1816 postihly Kanadu několikadenní sněhové vánice. V květnu sevrou Spojené státy americké po Maine až po Tennessee sníh a mráz. V červnu dokonce zmrznou ve Vermontu čerstvě ostříhané ovce a ze stromů padají mrtví ptáci. V červenci se situace s výskytem sněhu opakuje, mrzne i v srpnu. Podobné výjevy potom probíhají i v roce 1817. Lidé z nejvíce postižených oblastí houfně prchají na západ či na jih do míst, kde jsou přece jen příhodnější podmínky. Populace v Illinoisu mezi rokem 1815 až 1818 vzrostla o 160 procent. V Ohiu se počet obyvatel zvětšil z 200 na 400 tisíc a v Indianě populace stoupla dokonce čtyřnásobně. Tyto oblasti začnou naopak trpět přelidněním a nadměrným využíváním půdy (Vacek 2015).

Historické záznamy mluví rovněž za vše. Milota Zdirad Polák ve svém cestopise *Cesta do Itálie* popisuje velmi chladné počasí, které v roce 1815 zaznamenal na své cestě do Itálie, kde působil jako důstojník rakouské armády. Ve svém díle píše o červnu jako velmi chladném a deštivém měsíci, v kterém byli lidé nuceni topit: „*Chladno velmi nepříjemné v měsíci červnu tak na mne doráželo, že jsem ze SIENY stále v plášti zabalený jel, a časem tak mne v nohy záblo, že jsem byl přinucen z koně slézt a pěšky jíti. Včera po dešti velikém, zima počala, že jsem v komíně oheň zapáliti dal, slovem přiznati musím, že teplo italské, jak jsem o něm četl a o kterém se mi tak mnoho vypravovalo, až potud mne velmi netrápilo, a přece v měsíci červnu i v našich zemích již patrného tepla zkusíme a nepamatují se, že by kdo byl v červnu kdy topil. Čili hory to působí? Ale vždyť jsem již uprostřed ITALIE tak daleko v poledni u přirovnání k mé vlasti. Všeobecný déšť trval stále a všickni zimou pláště vzíti přinuceni jsme byli.*“ A dále o veliké bouři na moři, kterou pozoroval v Neapoli v listopadu téhož roku: „*Na otevřeném moři větší zkázu bouře nastrojila (jde o bouři ze dne 19.11.1815); dba kupečtí korábové s plným nákladem a sedm lodí korálolovců utonulo. Viděl jsem lodě s smrtí zápasit, na které se sto tisíc lidí dívalo, a žádná pomoc jim nebyla. Jiná brzy na výsost vlnou vynešená, v okamžení se z očí*

*ztratila; za šest i sedm minut zmizela, pak zas na vejšce se okázala. Viděl jsem též v
bledých tvářích zkormoucené oči marinářů na korábích přístavu šťastně
doplynulých. Takové bouře jsou nečasté a za tak dlouhý čas svého v NEAPOLI
přebývání, jen jedinké jsem se dočkal. V rovnodennosti často moře bývá nepokojné,
ne však tak velice nebezpečné.“ Můžeme se rovněž dočíst o výskytu hustých mlh
provázejících velmi studená rána: „Jitro počalo po tak tlačícím nočním vedru velmi
chladné býti a z bažin husté, špinavé mlhy v chumáčích svalených se vytáčely; jeden
druhého jsme neviděli až teprv pak po osmé hodině již vysoko na nebi vytočené
slunce, mocně ohněm ty nezdravé mlhy rozehnal. Tu teprv oko vidělo dalekou
rovinu bez lidu a dědin, vlevo a vpravo kanály naplněné smrdutou vodou. Všickni
druhé jedovatých bylin po celých rovinách se rozseli a nečistotu a nezdravým
povětrím naplnili.“*

6. 5 Graf zobrazující zvýšenou hodnotu vulkanického sulfátu v grónském ledovci korespondující s obdobím erupce Tambory

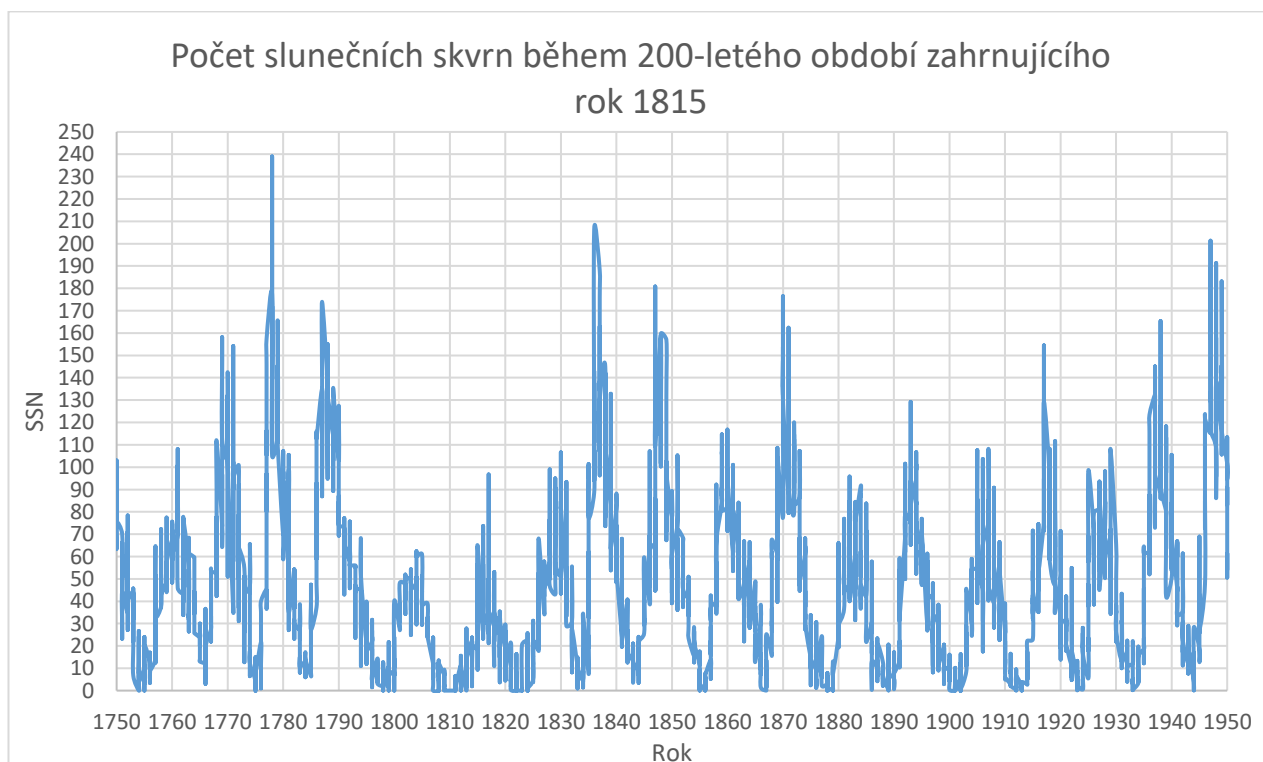
Následující graf zobrazuje hodnoty vulkanického sulfátu na základě analýzy vzorků z vrtných jader v grónském ledovci GISP2. Vulkanický sulfát je vypočítaný celkový sulfát (hodnota naměřené koncentrace sulfátu v ppb), založený na empirické ortogonální funkční analýze na celé glaciochemické časové řadě (EOF 5) (Mayewski et al., 1997a). Záznam odpovídající erupci Tambory má hodnotu vulkanického sulfátu 83 ppb. Ve vybraném období 200 let (sto let před a po erupci Tambory) tuto hodnotu převýšila pouze erupce Laki v roce 1783 (115 ppb).



Obr. 9: Záznam vulkanického sulfátu v ledovcových jádrech GISP2 sto let před a po erupci Tambory

6. 6 Graf zobrazující snížený počet slunečních skvrn v době korespondující s obdobím erupce Tambory

Sluneční záření je jedním z faktorů ovlivňující klima na Zemi. Souvisí s ním také počet tak zvaných slunečních skvrn (SSN), tmavých oblastí na povrchu Slunce, v nichž magnetické pole zabraňuje proudění, a které tak mají nižší teplotu než okolí. Z dlouhé časové řady množství slunečních skvrn, měřeného již od počátku 17. století, odborníci mohou posuzovat vliv Slunce na zemské klima. Při dlouhodobě sníženém počtu skvrn, a tedy nízké sluneční aktivitě, je Země méně ohřívána, naopak vysoký počet skvrn znamená teplejší období. Dochází také k pravidelné oscilaci zářivého výkonu Slunce s hlavním, jedenáctiletým, cyklem sluneční aktivity (Věda a technika ©2007). Jak je patrné z následujícího grafu, erupce Tambory proběhla v asi 40-letém období celkově sníženého množství slunečních skvrn. Zhruba pět let před erupcí probíhalo lokální minimum v rámci desetiletí 1810 – 1820, v roce 1817 pak dosáhl počet skvrn lokálního maxima ve stejném období.



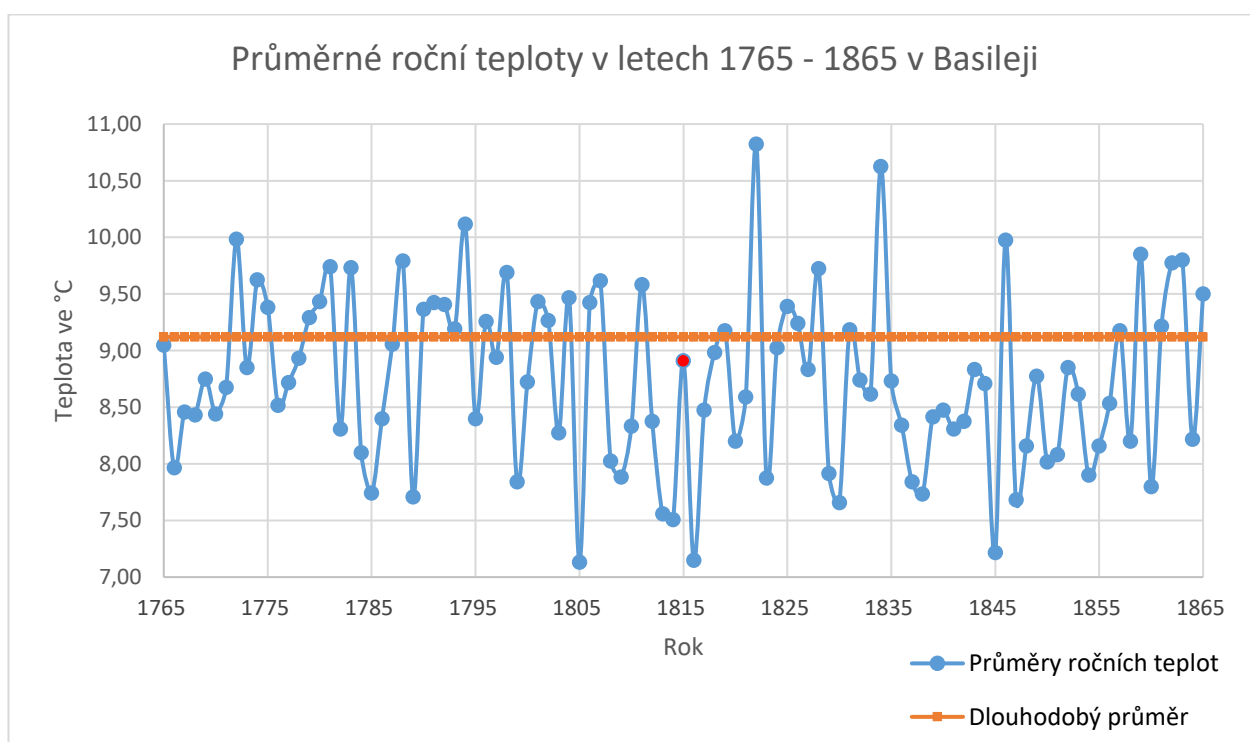
Obr. 10: Počet slunečních skvrn během 200-letého období zahrnujícího rok 1815

6. 7 Grafy zobrazující pokles teplot v období po erupci Tambory na různých místech světa

Z dlouhých teplotních řad si lze snadno udělat představu o vývoji teploty v minulosti a rovněž lze pozorovat vyskytující se teplotní anomálie, které se objevují po masivních sopečných erupcích. Následující grafy zobrazují průměrné roční teploty na určitých místech během 100-letého období s dostatečným rozmezím let před (podle počátku souvislého měření teplot) a po erupci Tambory, aby bylo možné sledovat snížení teplot v období po výbuchu v roce 1815. Patrně největší teplotní pokles po erupci Tambory je možné pozorovat na základě následujících grafů v oblasti měření ve Velké Británii, Itálii a USA. Ve většině případů můžeme toto období označit spíše jako teplotně podprůměrné a v několika případech s průměrnými ročními teplotami hluboko pod dlouhodobým průměrem.

Basilej, Švýcarsko

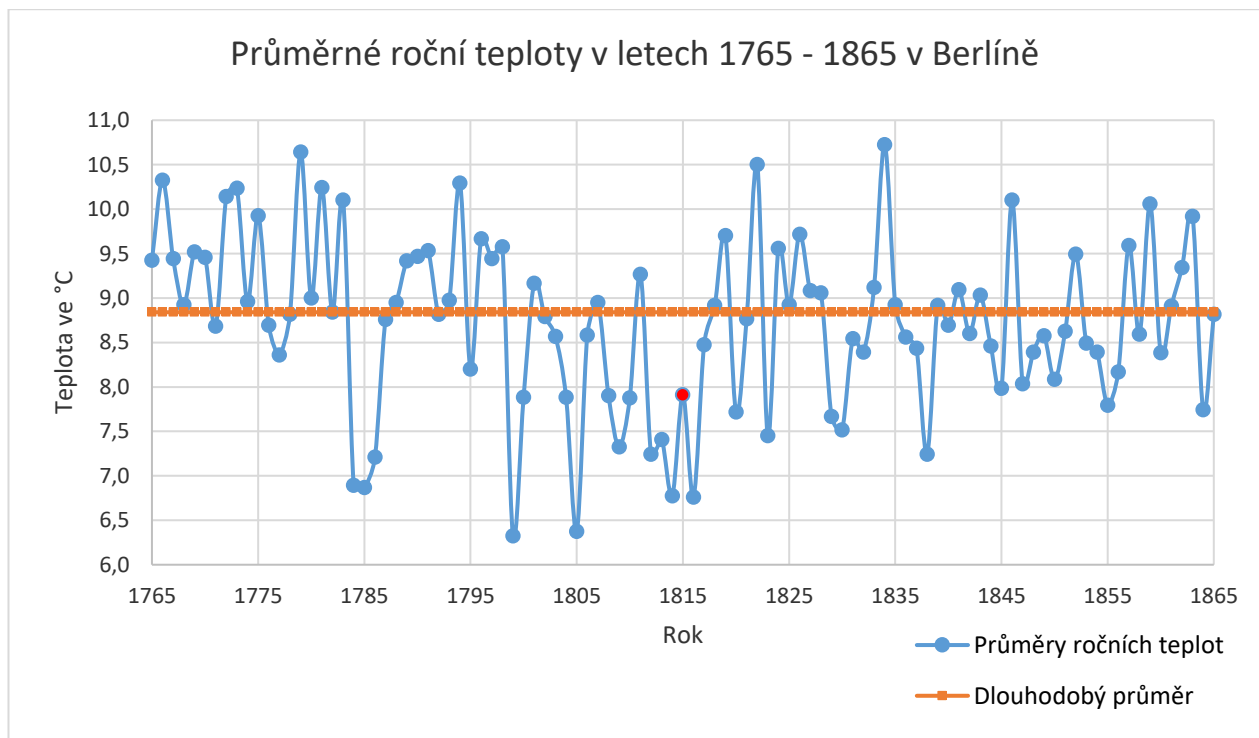
V roce 1815 průměrná roční teplota dosahovala 8,9 °C a pohybovala se tak lehce pod dlouhodobým průměrem, největší ochlazení přišlo v roce 1816, kdy průměrná roční teplota klesla až k 7,2 °C, což je jedno ze tří největších ochlazení v daném období 1765 – 1865. V roce 1817 byla průměrná roční teplota již vyšší, bylo to 8,5 °C.



Obr. 11: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Basileji

Berlín, Německo

Celé období 1815 – 1817 se pohybovalo teplotně poměrně nízko pod dlouhodobým průměrem. V roce 1815 dosahovala průměrná roční teplota necelých 8°C. Nejchladněji bylo v roce 1816, kdy průměrná roční teplota klesla na 6,7 °C, v roce 1817 bylo znatelně tepleji, průměrná roční teplota byla 8,5 °C.

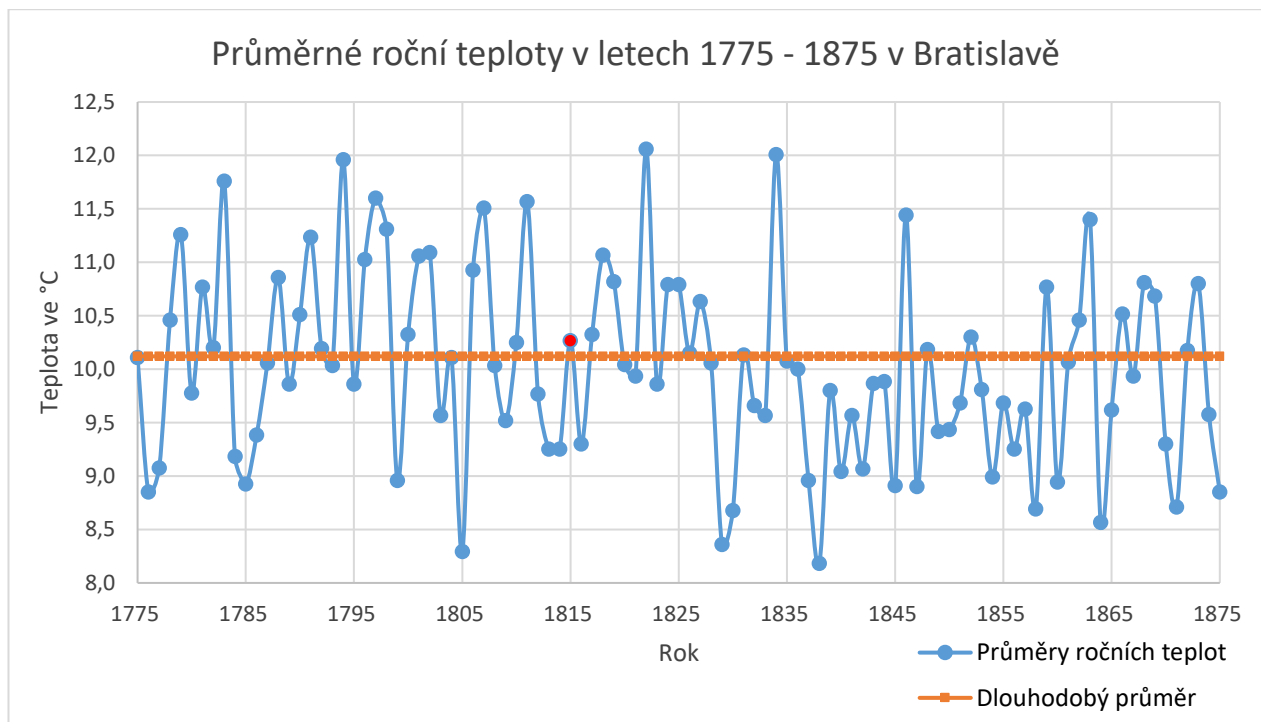


Obr. 12: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Berlíně

Bratislava, Slovensko

Ochlazení zde není příliš znatelné. V roce 1815 a 1817 se průměrná roční teplota pohybovala nad dlouhodobým průměrem a její hodnota byla přes 10 °C.

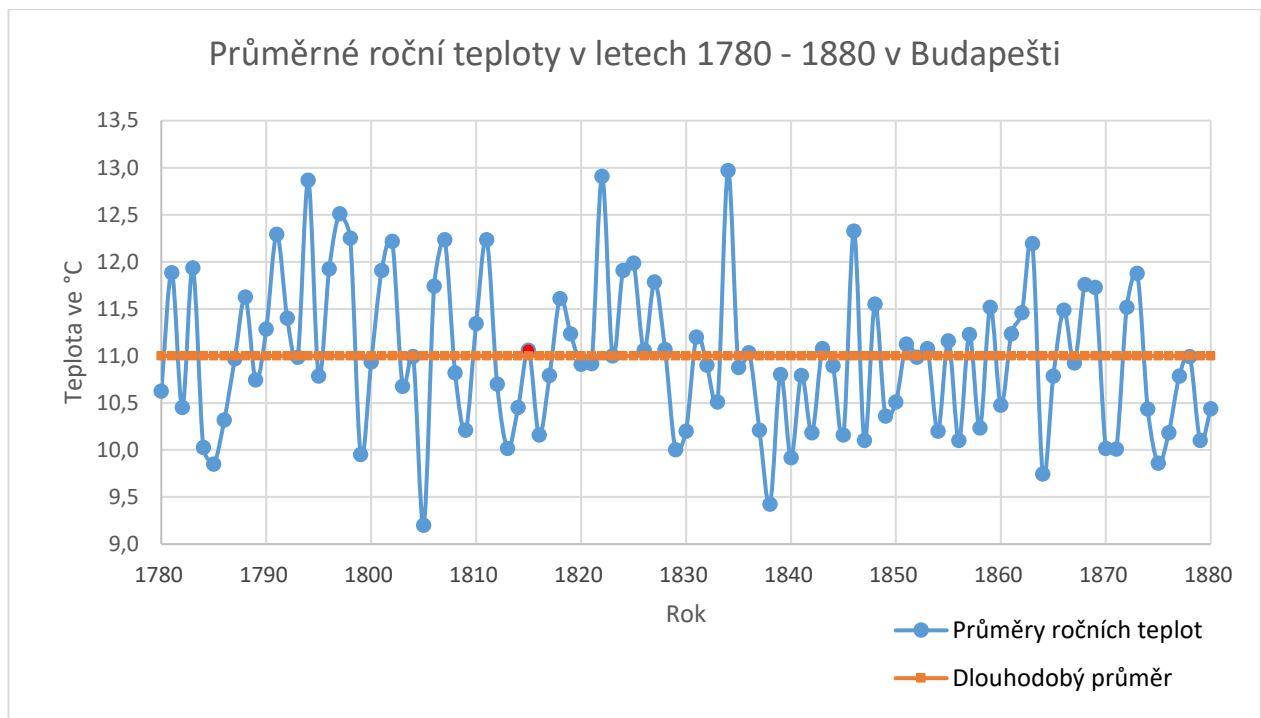
Menší ochlazení, které však v rámci referenčního období není nijak extrémní přišlo v roce 1817, průměrná roční teplota klesla na 9,3 °C.



Obr. 13: Průměrné roční teploty v letech 1775 - 1875 v Bratislavě

Budapešť, Maďarsko

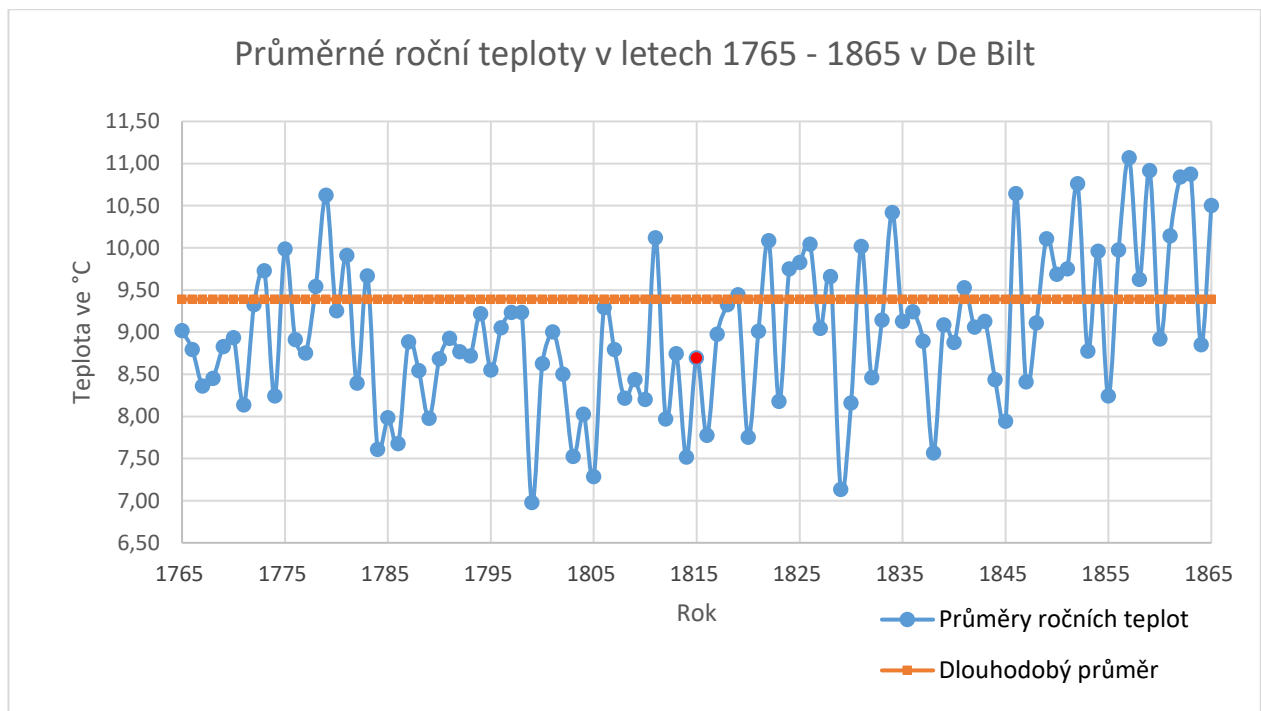
Není zde znatelné výraznější ochlazení. V roce 1815 se průměrná roční teplota pohybovala na hodnotě dlouhodobého průměru, tedy 11 °C. V roce 1816 se ochladilo a hodnota klesla na 10,1 °C, v roce 1817 se teplota opět přiblížila k dlouhodobému průměru.



Obr. 14: Průměrné roční teploty v letech 1780 - 1880 v Budapešti

De Bilt, Nizozemsko

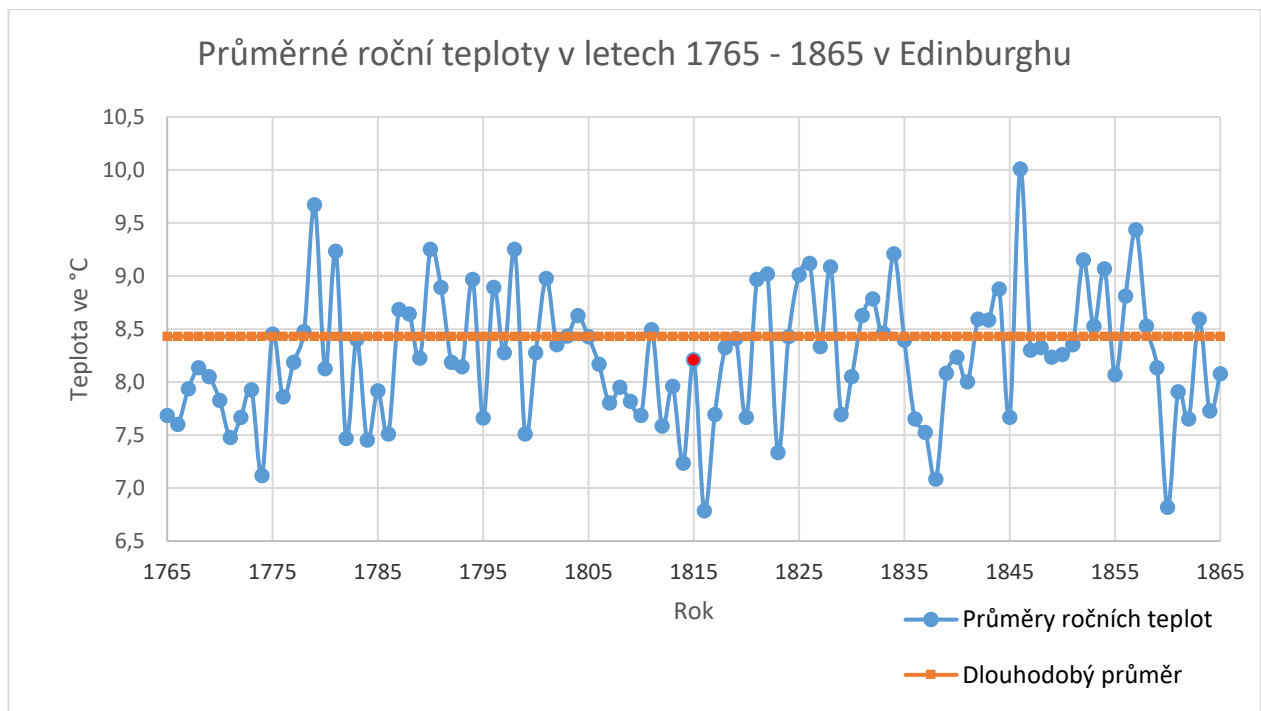
Je zde patrné mírné ochlazení. V roce 1815 byla průměrná roční teplota 8,7 °C, v roce 1816 se ochladilo a její hodnota byla 7,8 °C a v roce 1817 hodnota vystoupala na 9 °C. Všechny tři roky se průměrná roční teplota pohybovala pod dlouhodobým průměrem.



Obr. 15: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v De Bilt

Edinburgh, Velká Británie

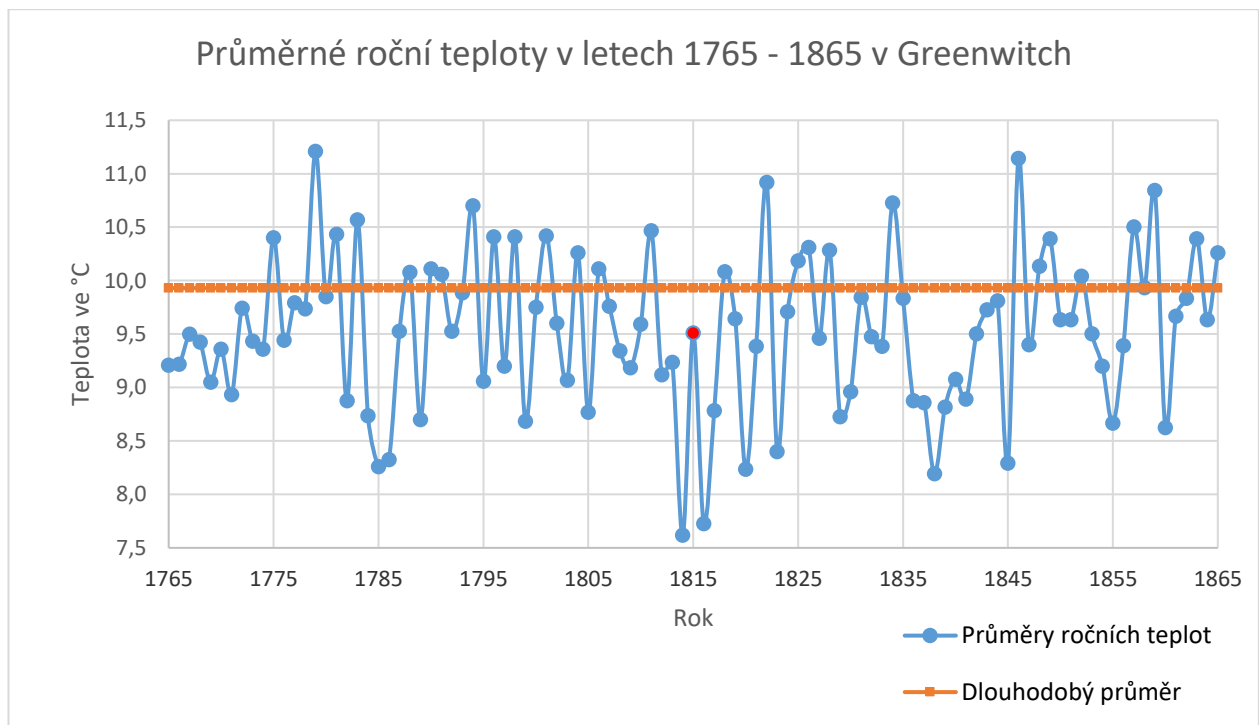
Je zde dobře vidět významné ochlazení, a to především v roce 1816, kdy byla průměrná roční teplota pod 6,7 °C a tato hodnota je nejnižší za celé 100-leté zkoumané období. V roce 1815 byla teplota 8,2 °C, mírně pod dlouhodobým průměrem. V roce 1817 bylo chladněji a hodnota byla 7,6 °C.



Obr. 16: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Edinburghu

Greenwich, Velká Británie

Opět je zde patrné extrémní ochlazení v roce 1816. Průměrná roční teplota byla 7,7 °C a je to druhá nejnižší hodnota ve zkoumaném období. V roce 1815 a 1817 byly teploty také poměrně nízko pod dlouhodobým průměrem a dosahovaly hodnot 9,5 °C a 8,8 °C.

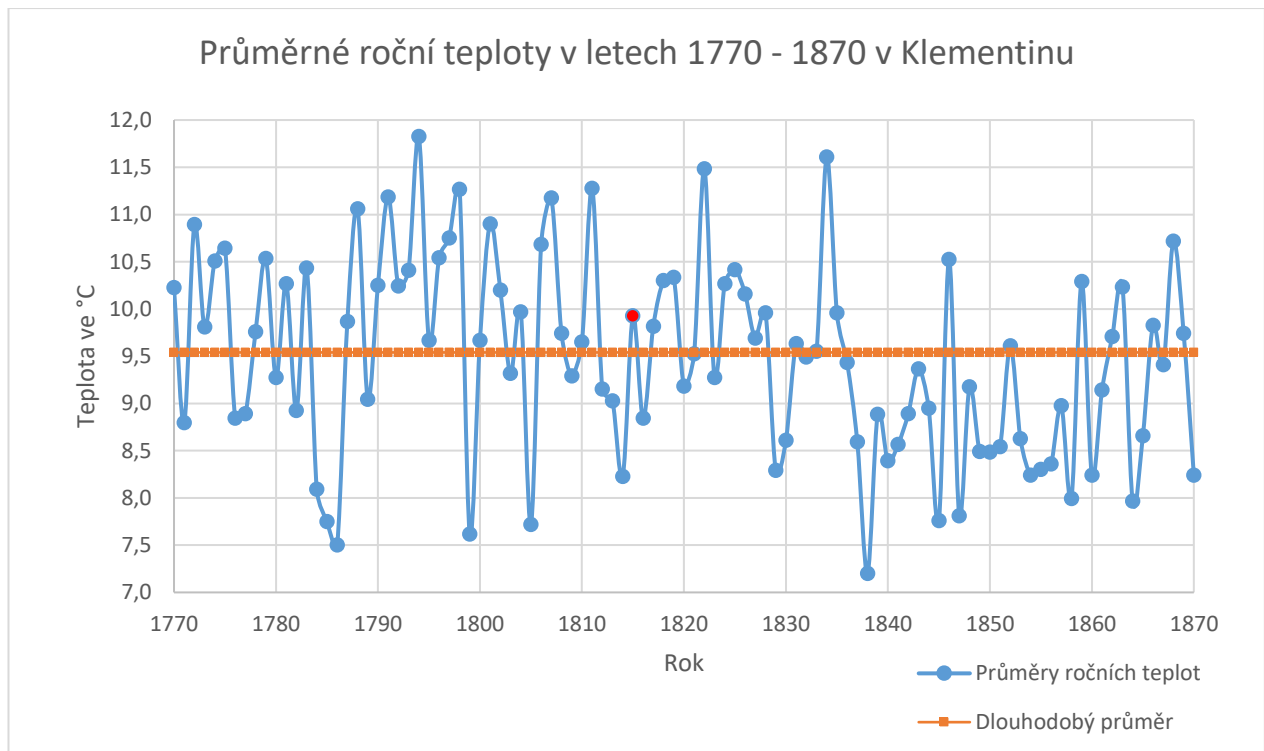


Obr. 17: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Greenwich

Klementinum, Praha

Není zde vidět výraznější ochlazení, pouze v roce 1816. V roce 1815 i 1817 se hodnoty průměrných ročních teplot pohybovaly nad dlouhodobým průměrem a byly 9,9 °C a 9,8 °C. V roce 1816 teplota klesla na 8,8 °C, ale z hlediska pozorovaného období se nejedná o extrém.

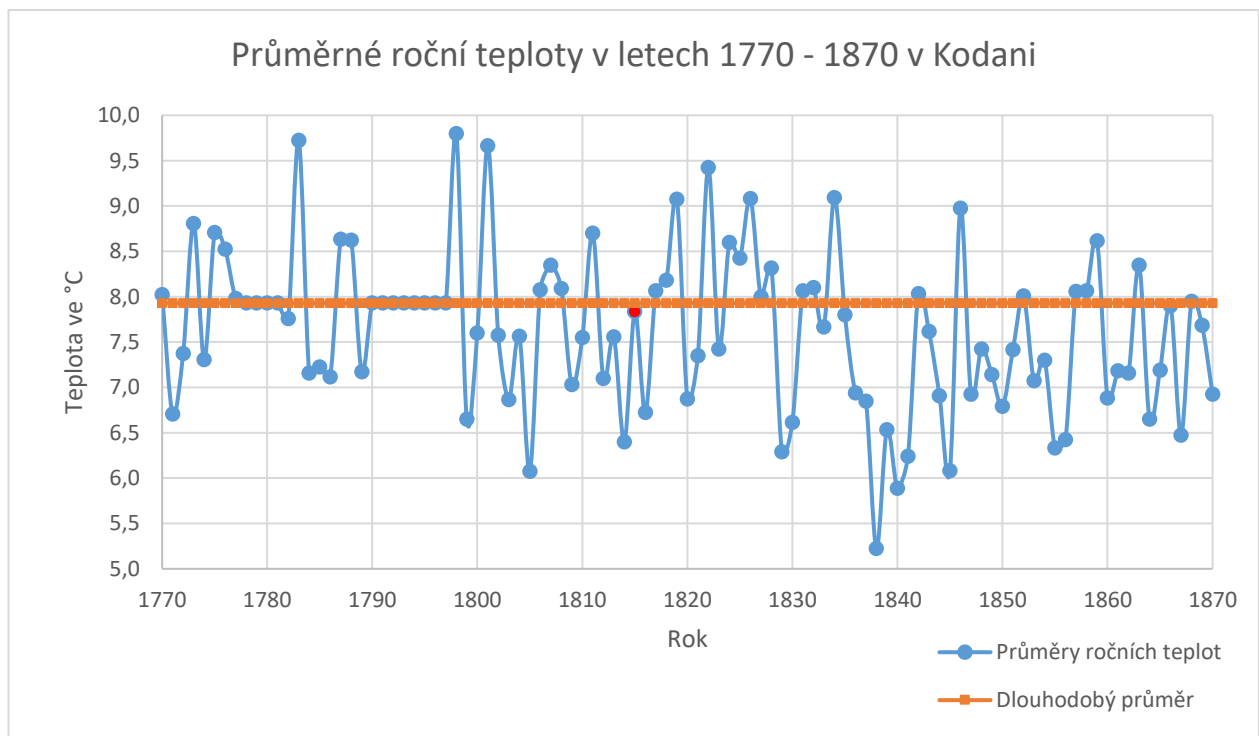
Nejvíce se pravděpodobně, jak je patrné i z dokumentárních zdrojů, projevila změna počasí v Čechách po erupci Tambory v letním období, které bylo v chladné a deštivé, a to především v roce 1816. Průměrná teplota v červnu v roce 1815 byla 18,7 °C, v roce 1816 dokonce 16,7 °C a v roce 1817 to bylo 19,7°C. Pro měsíc červenec jsou odpovídající hodnoty: 17,6 °C; 18,4 °C; 19,3 °C a pro srpen poté: 17,9 °C; 17,3 °C; 18,6 °C. Ani v jednom případě tak průměrné měsíční letní teploty nepřekročily hodnotu 20 °C, což svědčí o ochlazení.



Obr. 18: Průměrné roční teploty v letech 1770 - 1870 v Klementinu

Kodaň, Dánsko

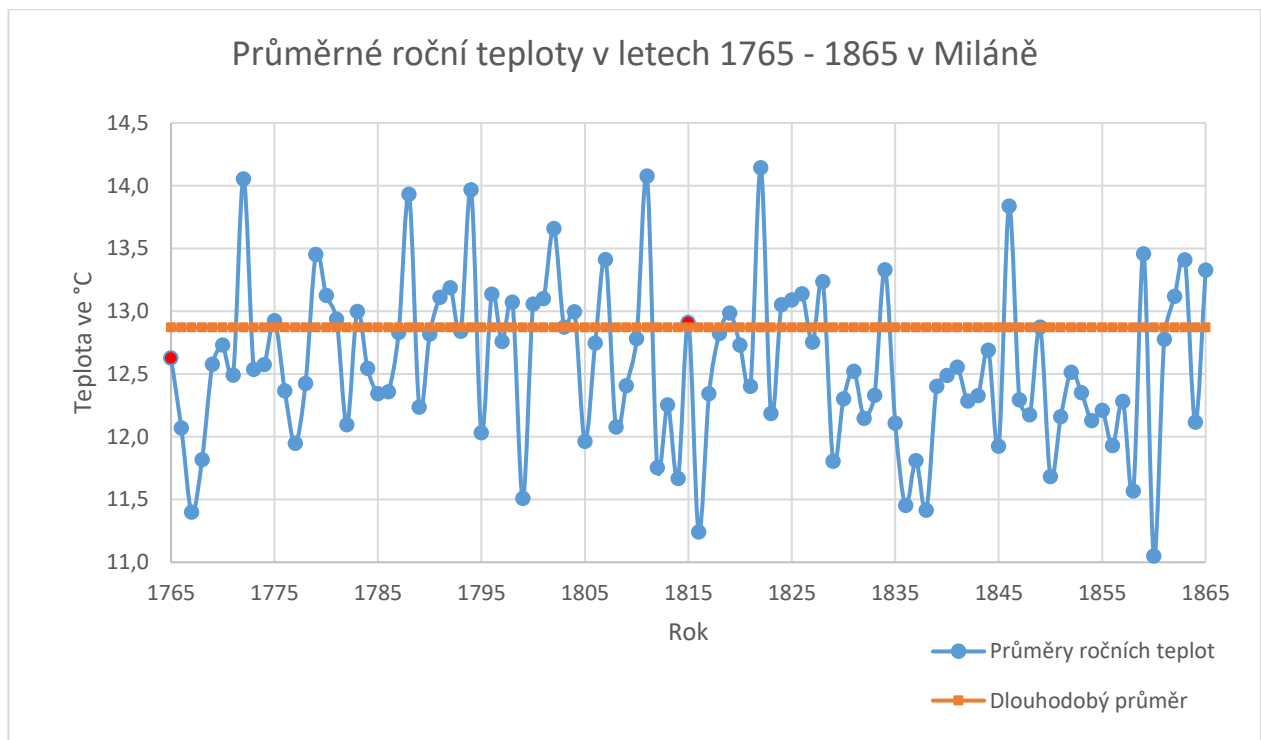
Není zde vidět výraznější ochlazení, jen v roce 1816 klesla průměrná roční teplota na 6,7 °C. V roce 1815 byla její hodnota 7,8 °C, tedy lehce pod dlouhodobým průměrem. V roce 1817 vystoupala naopak lehce nad dlouhodobý průměr.



Obr. 19: Průměrné roční teploty v letech 1770 - 1870 v Kodani

Milán, Itálie

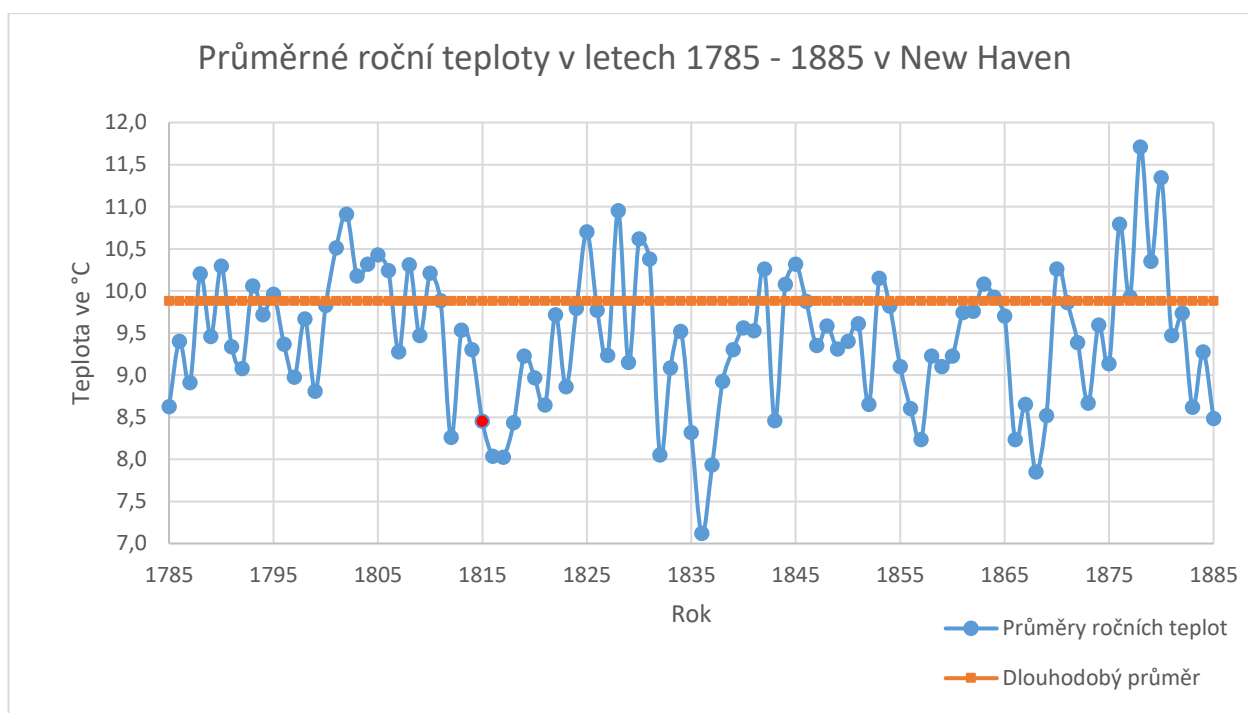
V roce 1816 zde nastalo výrazné ochlazení, průměrná roční teplota byla 11,3 °C, což je zároveň druhá nejnižší teplota během referenčního období. V roce 1815 se průměrná roční teplota pohybovala na hodnotě dlouhodobého průměru, tedy 12,8 °C. V roce 1817 bylo také chladněji a teplota byla 12,3 °C.



Obr. 20: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Miláně

New Haven, USA

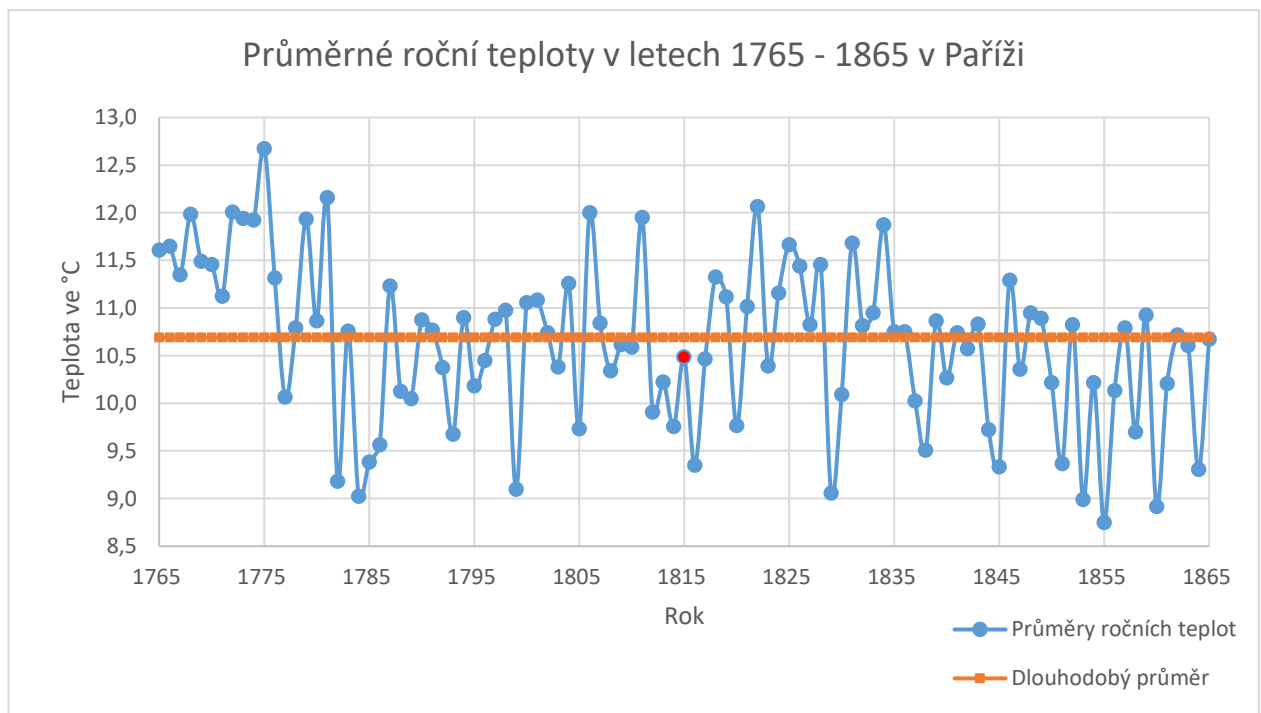
Ochlazení je patrné na celém období 1815 – 1817. Teploty ve všech třech letech byly mnohem nižší, než je dlouhodobý průměr. V roce 1815 to bylo 8,4 °C, v roce 1816 a 1817 dokonce 8 °C, tedy o 2 °C pod dlouhodobým průměrem. Jedná se o jedno z největších ochlazení během zkoumaného období.



Obr. 21: Průměrné roční teploty v letech 1785 - 1885 v New Haven

Paříž, Francie

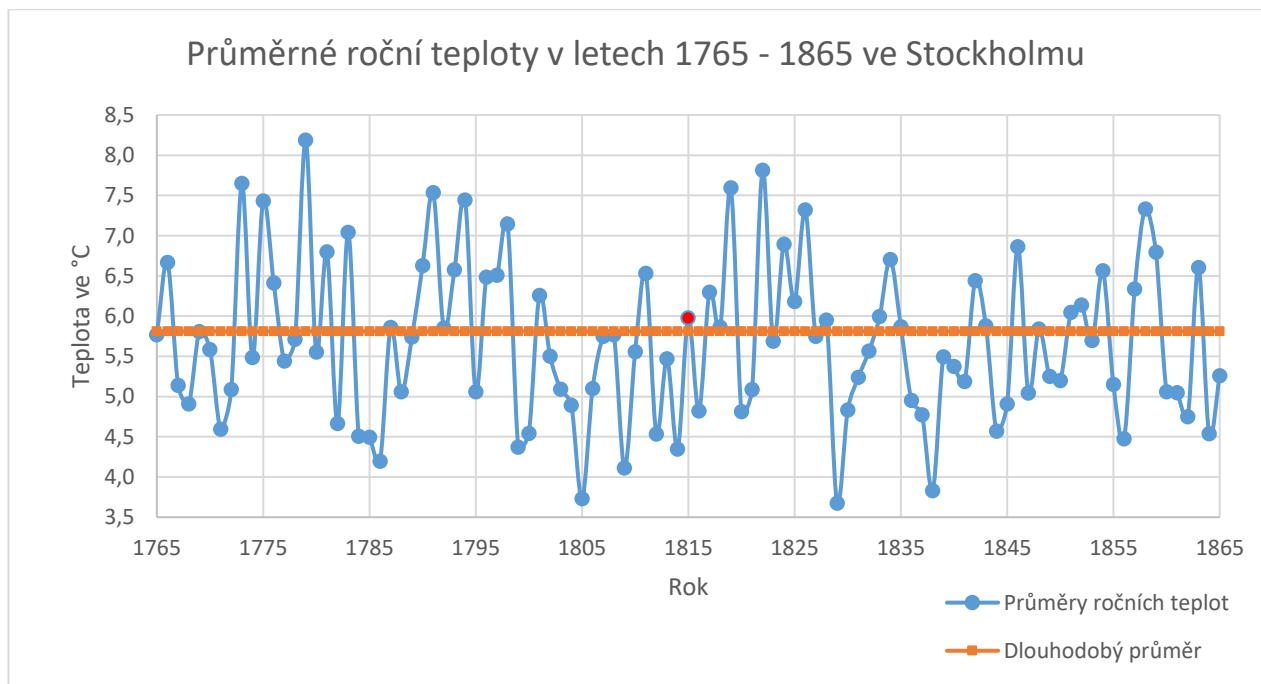
Výraznější ochlazení je zde patrné pouze v roce 1816, kdy byla průměrná roční teplota 9,4 °C. V roce 1815 a 1817 byly průměrné roční teploty mírně pod dlouhodobým průměrem, a to v obou případech na hodnotě 10,5 °C.



Obr. 22: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Paříži

Stockholm, Švédsko

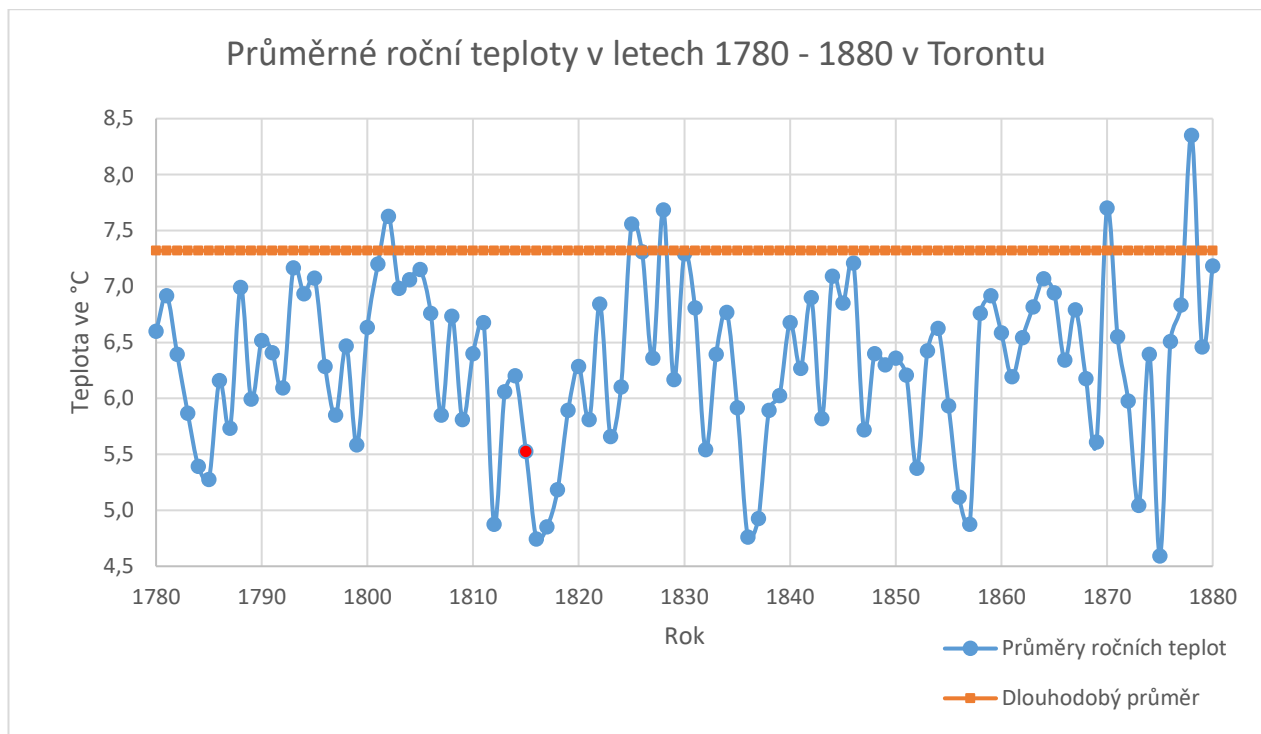
Není zde vidět významnější ochlazení, průměrná roční teplota klesla pod dlouhodobý průměr pouze v roce 1816 a to na hodnotu 4,9 °C. V roce 1815 se pohybovala lehce nad dlouhodobým průměrem 5,8 °C a v roce 1817 bylo ještě tepleji.



Obr. 23: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 ve Stockholmu

Toronto, Kanada

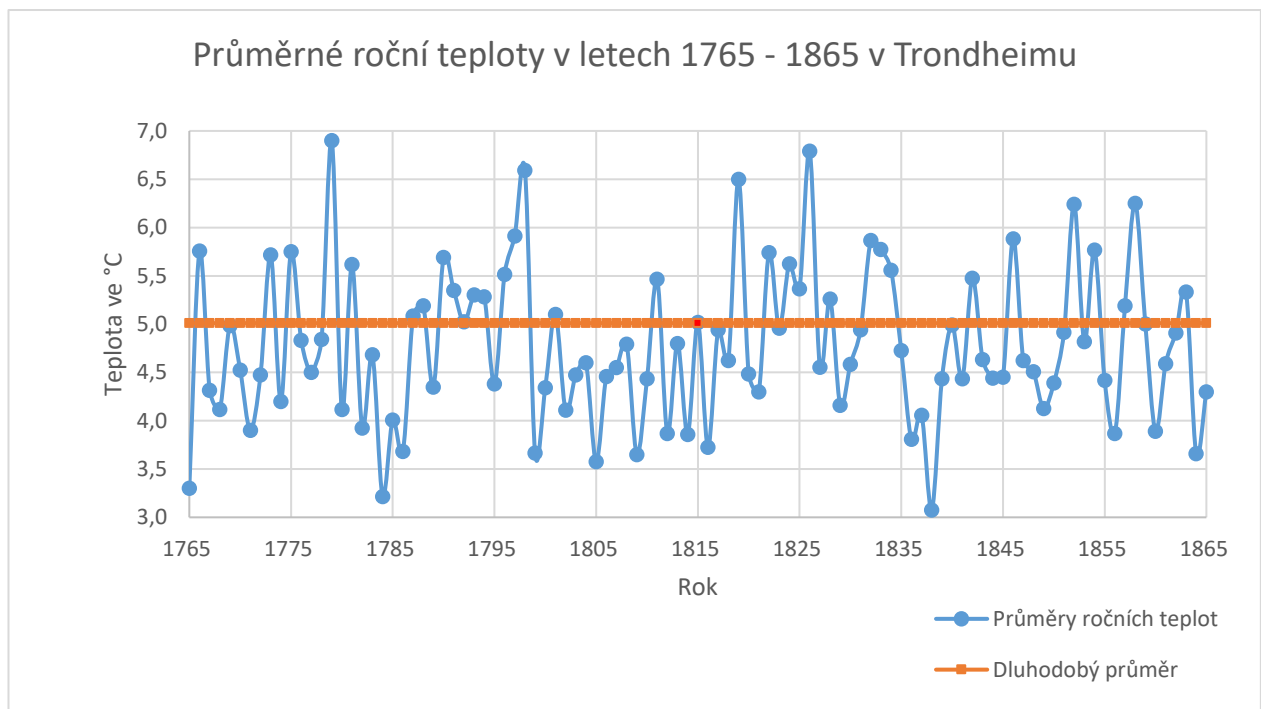
I když v rámci referenčního rozmezí let se nejedná o jedinou výjimku, celé období 1815 – 1817 bylo velmi chladné a teplotně hluboko pod dlouhodobým průměrem. V roce 1815 byla průměrná roční teplota 5,5 °C a v následujících dvou letech bylo ještě chladněji, hodnoty byly 4,3 °C v roce 1816 a 4,4 °C v roce 1817.



Obr. 24: Průměrné roční teploty v letech 1780 - 1880 v Torontu

Trondheim, Norsko

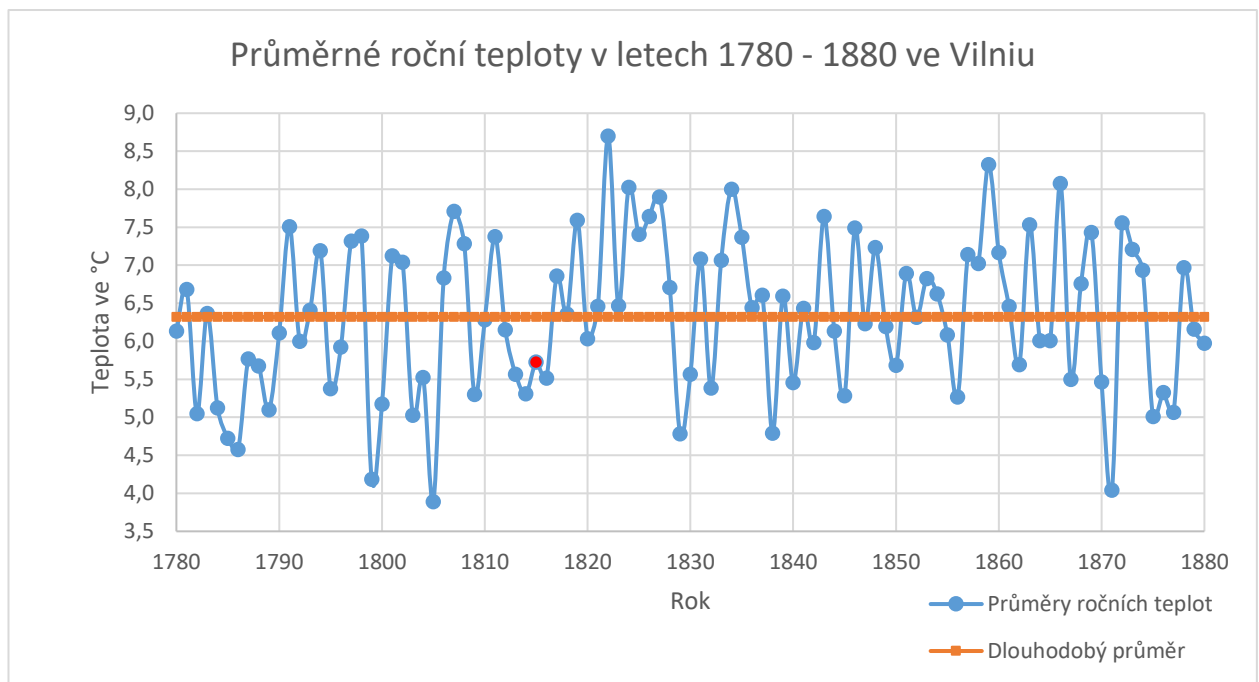
Významnější ochlazení zde bylo v roce 1816, průměrná roční teplota byla 3,7 °C. V roce 1815 se její hodnota pohybovala na dlouhodobém průměru, tedy 5 °C a v roce 1817 byla mírně pod dlouhodobým průměrem, na hodnotě 4,9 °C.



Obr. 25: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Trondheimu

Vilnius, Litva

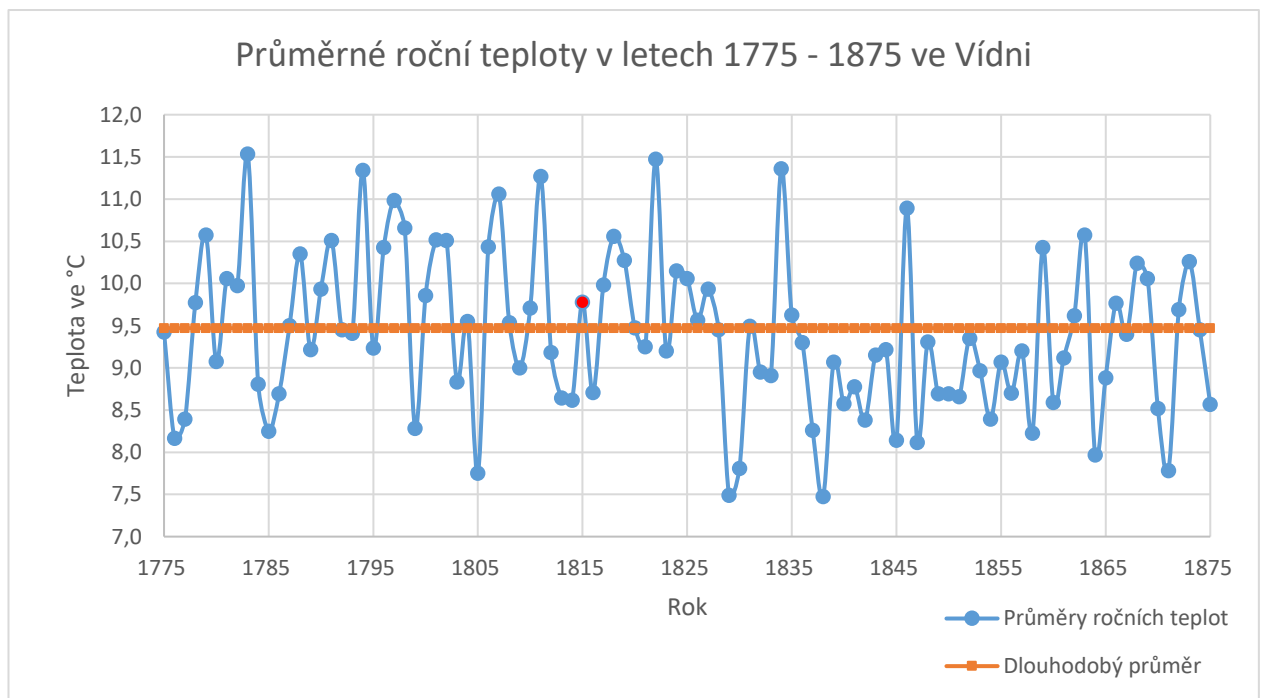
Mírnější ochlazení nastalo v roce 1815, kdy byla průměrná roční teplota 5,7 °C a v roce 1816 ještě o něco méně, 5,5 °C. V roce 1817 již hodnota vystoupala poměrně vysoko nad dlouhodobý průměr.



Obr. 26: Průměrné roční teploty v letech 1780 - 1880 ve Vilniu

Vídeň, Rakousko

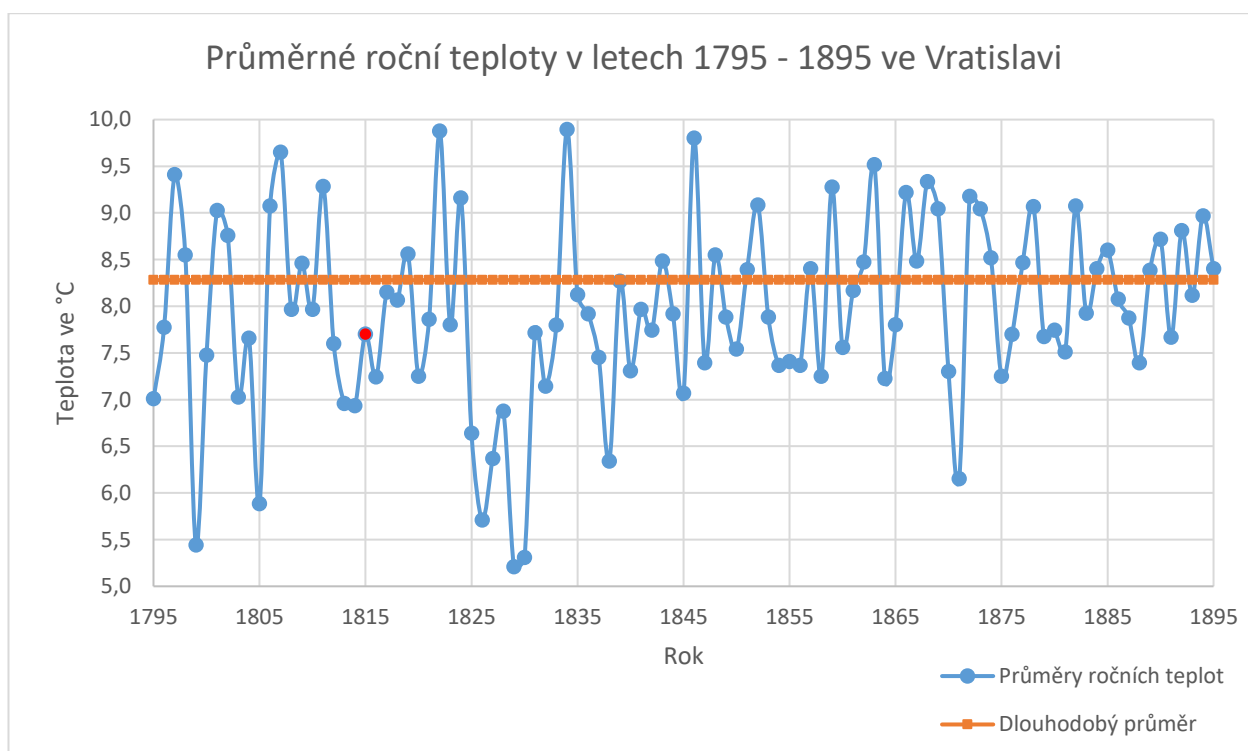
Není zde patrné významnější ochlazení. V roce 1815 a 1817 se průměrná roční teplota pohybovala nad dlouhodobým průměrem. V roce 1816 se ochladilo a hodnota klesla pod dlouhodobý průměr na 8,7 °C.



Obr. 27: Průměrné roční teploty v letech 1775 - 1875 ve Vídni

Vratislav, Polsko

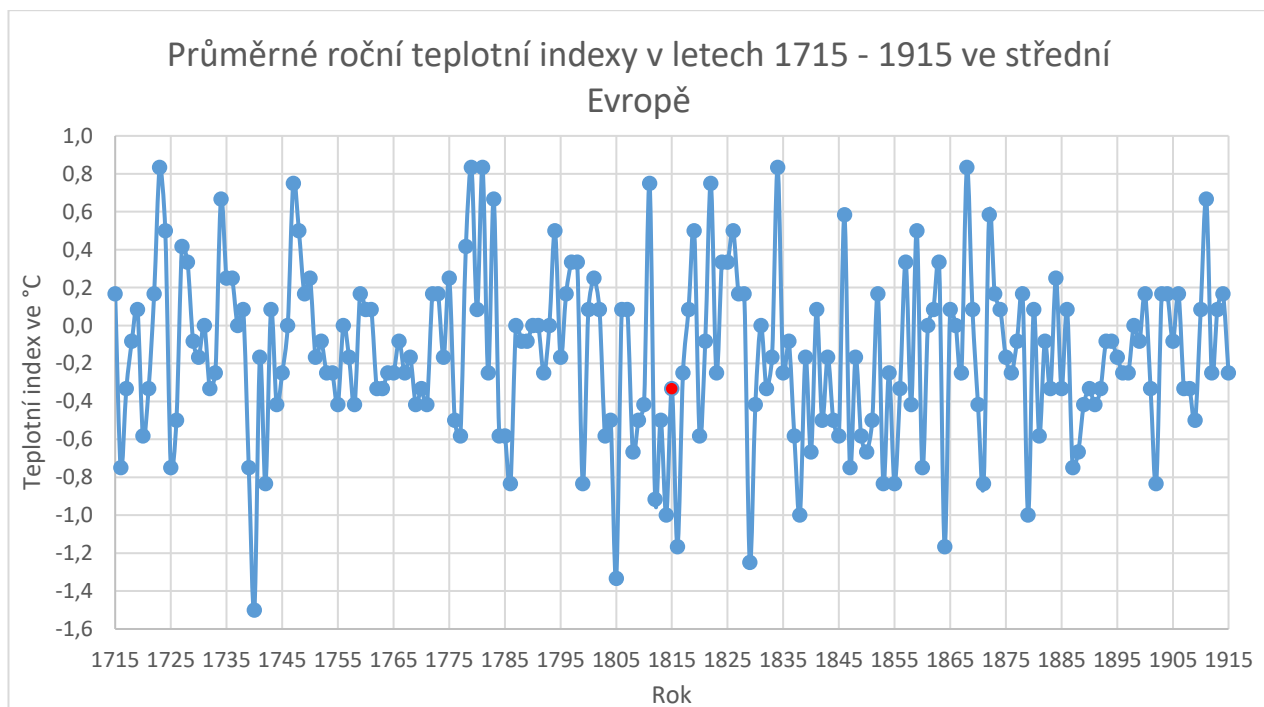
Je možné pozorovat mírné ochlazení, ve všech třech letech se průměrná roční teplota pohybovala pod dlouhodobým průměrem. V roce 1815 byla 7,7 °C, v roce 1816 se ochladilo a hodnota byla 7,3 °C. V roce 1817 bylo tepleji a průměrná roční teplota měla hodnotu jen lehce pod dlouhodobým průměrem, tedy 8,2 °C.



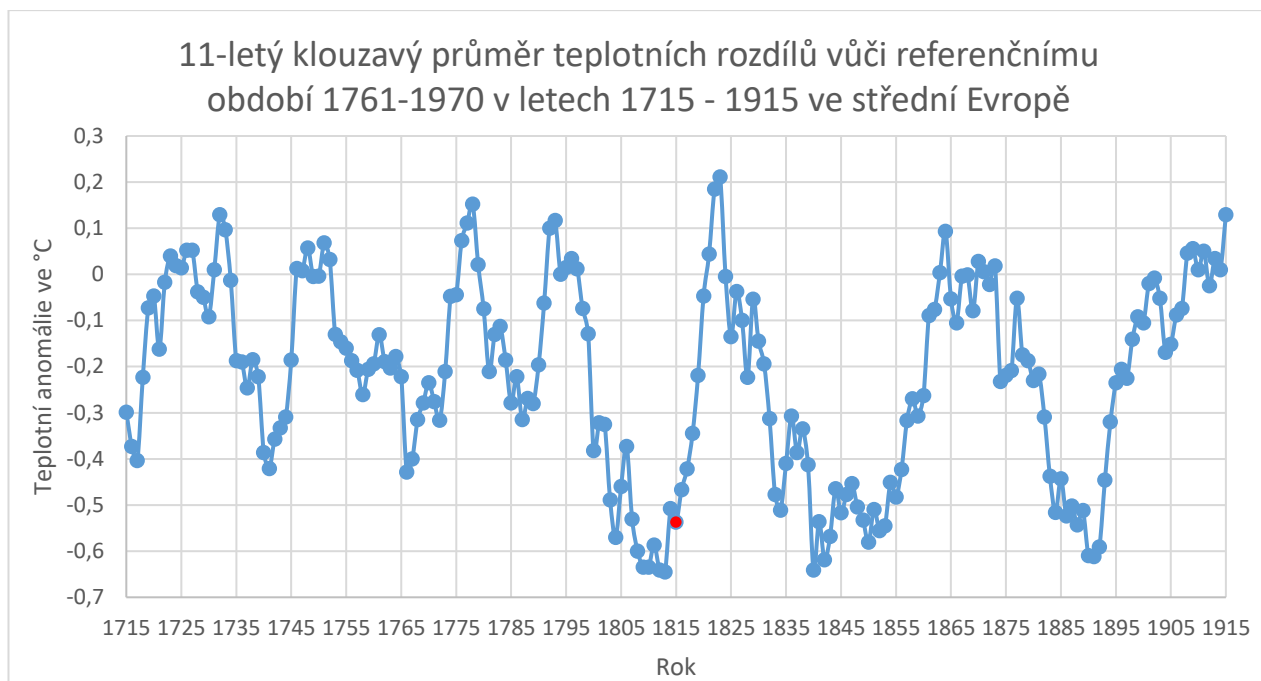
Obr. 28: Průměrné roční teploty v letech 1795 - 1895 ve Vratislavi

6. 8 Grafy zobrazující nízké hodnoty ročních průměrů měsíčních teplotních indexů a dolní část amplitudy 11-letého klouzavého průměru teplotních rozdílů v období po erupci Tambory

Následující grafy zobrazují roční průměry měsíčních teplotních indexů vytvořených pro období 1500 až 2006 a 11-letou rekonstrukci vývoje teploty vytvořenou pro období 1000 až 2000 ve střední Evropě. Teplotní indexy nabývají hodnot 0 (pro průměrné měsíce nebo chybějící data), +/- 1 (pro měsíce s teplotou nad/pod průměrem), +/- 2 (pro teplé/chladné měsíce) a +/- 3 (pro velmi teplé/velmi chladné měsíce). 11-letý klouzavý průměr teplotních rozdílů je vytvořen vůči referenčnímu období 1761-1970. Zdroje hodnot jsou založeny na dokumentárních údajích a klimatologických databázích (Glaser et Riemann 2009). U teplotních indexů nabývá rok 1815-1817 záporných hodnot, což značí, že se jednalo o chladné období. Zejména rok 1816 dosahuje jedné z nejnižších hodnot ve zkoumaném období. Období po erupci Tambory se podle druhého grafu 11-letého klouzavého průměru nachází v dolní části amplitudy, což potvrzuje výsledky z prvního grafu.



Obr. 29: Průměrné roční teplotní indexy v letech 1715 - 1915 ve střední Evropě



Obr. 30: 11-letý klouzavý průměr teplotních rozdílů vůči referenčnímu období 1761-1970 v letech 1715 - 1915 ve střední Evropě

7. Vliv erupce na klima v českých zemích a události spojené s dopady erupce v archivních pramenech

7. 1 Vliv erupce Tambory na počasí v Čechách

Jak již bylo řečeno, výbuch Tambory z roku 1815 významným způsobem ovlivnil globální klima a tím zapříčinil celosvětovou katastrofu. V Evropě v následující roce panovaly výrazně nižší teploty, než bylo obvyklé, doprovázené vydatnými dešti či sněžením. Důsledky erupce se projevily i českých zemích. Stačí například nahlédnout do záznamů srážkových a teplotních dat nejdéle měřící stanice na našem území v Praze Klementinu. Představu o charakteru počasí, jež po sopečné katastrofě a v roce bez léta na našem území panovalo, si lze snadno udělat rovněž z mnohých archivních pramenů. V českých dokumentárních zdrojích sice přímo nenajdeme zmínky o erupci Tambory, jež by si lidé spojovali s abnormálními projevy počasí, ovšem z mnohých zápisků z tohoto období se můžeme se dočíst o špatném počasí v letních měsících, tuhé zimě, velkém vlhku, jež ničilo úrodu, hrozivém krupobití či velkých bouřkách. Především z nedostatku obilí poté nastal mezi lidmi hlad, navíc ceny všech produktů byly díky všeobecné krizi velmi vysoké. Tato situace pokračovala i nadále až do sklizně v roce 1817, kdy se stav zlepšil.

Vydatnější deště rovněž zvedaly hladiny řek. Například k povodním na Vltavě a Labi došlo v srpnu roku 1815, v březnu a červnu 1816 a následně v březnu 1817. Jde o povodně zaznamenané na Labi v Drážďanech a na Vltavě v Praze (Svoboda et Vašků et. Cílek 2003).

7. 2 Záznamy o průběhu počasí a jeho důsledcích v dokumentárních zdrojích

Těžkou situaci a období bez léta, které v českých zemích v období po výbuchu Tambory panovala, popisuje krátce před smrtí v listopadu 1816 ve svém díle Paměti Františka Jana Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770-1816 písmák a milčický rychtář František Jan Vavák: *„Pane Bože všeho světa, račiž už nám dáti léta, po vojně zas pokojnější též tu minci stálejší. Od osmistého již roku máme v minci tolik skoků, brzy malé, brzy větší, nám však nepotěšenější.“* A dále o vysokých cenách, jež díky všeobecnému nedostatku potravin panovaly: *„Koukej na to, brachu, sice, jaká je zas kontribuce: Já jsem platil 45, nyní platím 300 a pět. Podle toho si pomysli a předlož všecké v tý svý mysli, co tu koštujou sedláka, řemeslníci a čeládka. Bože rač se smilovati, svou milostí pomáhati, časy stálejší nám dáti!“*

Český vlastenecký kněz, spisovatel a sběratel lidové slovesnosti Václav Krolmus píše ve svém chronologickém přehledu povodní, sucha a dalších přírodních katastrof v Čechách a Praze od 10. století do roku 1845 také o špatné úrodě a charakteru počasí, jež nastalo v českých zemích v období po výbuchu Tambory. V roce 1815 panovala vlhká zima a suché jaro. Úroda obilí byla ještě docela dobrá. Vína se urodilo méně, ale kvalitního: *„R. 1815 byla wlhká zima, a garo bylo suché, málo pice, obili ale přece dosti bylo. Gařiny a wozimy byly bidné. Podzimek byl obyčegný, obili urostlé na podzim. Toho r. wina bylo málo, ale dobré, sud se za 500 zl., w. č. neb 150 zl. na stříb. na Melnice prodáwal.“* V roce 1816 pak byla průměrná zima a velmi vlhké jaro s velkými mrazíky. Půda byla rozbahněná a díky tomu zaseté ozimé obilí odumřelo. Přes den ho znehodnocovala mokrem způsobená hniloba a v noci jej zasáhly mrazy: *„R. 1816 byla prostředni zima, garo welmi mokré a přimrazky byli welici, w noci zima a we dne teplo, půda rozkwassená a tudy ozimni obili se wyřisilo čili wyhynulo. Na den w rozkwassené zemi mokrem uhnulo, a nočním mrazem z kořene wytržené bylo, tudy korec žita 7 zl. w č. stál. Gařin bylo r. t.*

dosti a podzimiek dobrý. “ Václav Krolmus popisuje rok 1816 jako velice neúrodný. Zima byla mokrá s proměnlivým počasím, díky tomu docházelo místy k znehodnocení ozimého obilí. V důsledku výskytu mrazů bylo jen málo žita a pšenice. I přes dostatek jarního obilí, píce a ovoce byly produkty velmi drahé. Na Mělnicku byla rovněž malá úroda vína. Znehodnotily ho kroupy a bylo nekvalitní: „R. 1816 byl welmi neaurodný; zima wlhká, měniwá, sem a tam ozim wyhynul, mraz wytáhl, a spálil, tedy zase weliký nedostatek na žitech a pssenicich i ač dosti gařin bylo i pice a owoce, tak předce drahota se nemohla zameziti. Toho roku přissel korec žita na 50 zl. a pssenice na 60 zl., přede žněmi. Žito neyméně mokra snese, wice pssenice wydrží. Roku toho byla malá auroda okolo Melnika na wině; protože ge kraupy potlaukly; přitom bylo nedobré. Sud stál 70 zl. w. č.“ Zima roku 1817 je dále popisována jako průměrná. I když byla na jaře dobrá úroda obilí, ceny byly kvůli nedostatku z minulého roku až do žní stále vysoké. Úroda i kvalita vína na Mělnicku bylo téhož roku průměrná: „Zima r. 1817 byla prostředni. Z gara krásná se ukázala auroda; ale obili wstaupilo (z nedostatku roku 1816) korec žita na 50 zl. a okolo sw. Ducha, korec pssenice na 60 zl., ale po žnich r. t. na polowičku spadlo obili, tak že pssenice korec 30 zl. a žita korec 25 zl. platil. Na wině u Melnika byla r. t. (1817) auroda prostředni, a wino bylo také prostředně dobré. Sud se za 380 zl. w. č. prodával, wssak r. 1818 hnedle bylo na některých mistech winičných, tak dobré gako r. 1811. Sud 350 zl. w. č. stál. Též r. 1819, bylo réwi aurodné a wino chutné. Sud 210 zl. w. č. platil.“ Úrodu v letech 1817 až 1820 popisuje autor jako průměrnou: „Od roku 1817 až do r. 1820 byla gsau léta prostředně aurodná.“ Dále se mluví o „Wichřici a zátopě 8 osob“, kdy 29. června v roce 1817 postihla Čechy obrovská vichřice, která vyvracela a lámala stromy a trhala střechy a ohrožovala lidi i jejich majetek. U Vyššího Brodu ležícího na řece Vltavě dokonce způsobila náraz lodí do skály, po kterém utonulo osm pasažérů: „Na den sw. Petra a Pawla o slawnosti a pauti Wyssibradské nad Wltawau r. 1817 dne 29. w čerwnu, spoledne okolo 4 hodin strhla se ukrutná wichřice, kteráž w Čechách w 1 hodině na tisice stromů rozlámala, z kořene wywrátila, na tisice střech snesla, bud a wozů zwrátila, na tisice lidi na zem porazila a pod Wyssibradem loď s lidmi naplněnou do skály wrazila, z nichžto se 8 osob utopilo, a ostatni těžce wyplauli; gakož Krawařik, přewoznik, genž posud žige. Přitom se utopil p. lékař Kasius se synáčkem swým. Giný otec sstastně z lodě wyskočiw, ale widěl dítě swé ano se topi, skočil po něm a utopili se oba.“

Situace v letech 1815 až 1817 spojená s neúrodou a nedostatkem obilí a vysokými cenami je hojně zachycena i v Kronikách novoměstských, kde v Části II František Trnka zachycuje texty z kronik Kunstmullerových, Chládkových I. a II. části a dalších kronik a listin. V kronikách Kunstmullerových jsou popisovány vysoké ceny obilí i jiných produktů, jež panovaly kvůli vlhku, které zničilo úrodu v roce 1815: „*A hrozná dražota se ve všem strhla, jak ve vobilí, tak všecko jiný, cokoliv jmenováno. V mněsíci máji bylo žito míra za 11 zl., pšenica za 15 zl. 30 kr. cent, jahle za 20 zl., ječmen za 7 zl. 45 kr., kroupy za 18 zl., mírka mouky bílej za 40 kr., krupice za 1 zl. 15 kr., cent lenu za 100 zl., tlustá příza za 4 zl., tenká za 3 zl. Po žních v tomto roce bylo všecko obilí dražší; žito bylo dražší o 5 zl., pšenica o 2 zl. 30 kr., jahle o 10 zl., ječmen o 3 zl. A to s příčiny tej, že přišlo mokro na žně, všecko žito všudy porostlo.*” Dále se situace opakovala v roce 1816, byla neúroda a draho, lidé neměli dostatek potravy, panovalo velmi vlhké léto a na podzim hodně přšelo: „*Roku 1816 bylo veliký draho a to s příčiny tej, že byla neouroda; bylo to leto velice mokrý, žita přes zimu obstály a vyrostly; však ale přišlo na kvjet zle, takže vostaly prázný, takže se z mandela 4 mírky aneb 8 mírek namlátilo, a zemský jabka vymokly, takže mnohej nedostal aneb nesklidil, co vysázel, a to bylo v celé Moravě a Rakousích; v Čechách ale byla lepší ouroda; zde v Novém Mněstě přišlo žito za 24 zl. míra, pšenica za 30 zl., ječmen za 17 zl., oves za 8 zl., jahle za 36 zl., kroupy za 32 zl, hrách za 24 zl. V podzim klizení bylo hrozně zlý, takže se některý ovse až o sv. Havle klidily a to dost mokrý, protože dost pořát přšelo; s toho následoval mezi lidma hlad a nouza; zemský jabka vozili s Čech a za 8 zl. míru prodávali.*“ Draho pokračovalo i v roce 1817, až do první sklizně trpěli lidé hladem: „*Tato dražota trvala i v roku 1817 a hlad byl veliký mezi lidmi, takže i schnilej oves draho kupovali, na mouku mleli a jedli. To trvalo až do žní aneb sklidu v tom roce bylo požehnání, takže spadlo všecko na malej peníz aneb cenu. Žito na setí kupovali za 10 zl., avšak ale když lidi namlátili, tak přišlo žito na 5 zl., a ostatní obilí taky tak nisko, zemský jabka z osmi (8) zl. na 8 groší přišly.*“ V první části Chládkových kronik je řeč o dlouhotrvající zimě a pozdním výsevu obilí na jaře roku 1817: „*Snih dlouho ležel. Roku 1817 tak toho roku z jara u nás dlouho snih ležel; tak jsme dlouho nemohli set jarní obilí. Zatím potom hned zas najednou stál a hned brzo pole vysychaly, tak sme zas myslili, že fšící nebudeme moc zaset a to skrzevá dělníky, nebo aš 15. máje teprvá sme začali set.*“ A v druhé části je poté zmínka o všeobecně vysokých cenách v důsledku neúrody obilí v celé Evropě v předcházejícím roce: „*Tež poznamenání draha. V roku*

1817 bylo takový draho: míra žita za 25 zl. šejnu, míra pšenice bylo sic za 34 zl., míra ječmene za 23 zl., míra jáhel byla za 50 zl., míra ovsa 7 zl. 30 kr., jedna míra zemských jablek byla za 7 zl.; a to bylo proto draho, že v celej Efrogje byly v roku 1816 žita a ovse prázny, takže se nic s toho nenamlátilo, za mandela $\frac{1}{8}$ míry a všeho obilí tak málo se namlátilo. Tak chléb vážil za 12 kr. 12 lotu, žemlička za 3 kr. 1 loth. V tomto roku 1817 byly kroupy míra za 36 kr. “

Ve své kronice píše felčar (chirurg) Jan Čupík z Olešnice podrobně o vlhkém létě roku 1816, neustálém dešti a neúrodě v tomto období, z nichž pramenily vysoké ceny i daně, kteří museli poddaní platit: „*Toto léto jest příliš mokrý a napořád prší a jest to všemu obilí škodno, obzlášče na žita; na květy zle přišlo, napořád prázny zůstaly a to dalekým krajem. A u nás nejhůře jest. Mnoho jest sedláků, že na setí žita ze své ourody nemá. Já sem sám 4 míry koupil před Narození Marije Panny. Taky sem ho hned sel. A ostatní žita sme ten tejden po ní klidili a jest tuze neplyně; já namlácím z mandele $\frac{1}{4}$, z kopy 1 míru. Proto žádný hospodář nesel, co by set mněl. Já sem jen ouhory zasel, nebo jest kupovat drahé. Ten čas jest žito za 24 zl. míra, pšenice za 25 zl. míra, ječmen za 15 zl. míra, oves za 10 zl. míra. A ješče za tejden po sv. Václavě mnohý hospodář nemá snop ovsa doma, jenom kdo nějaký rychlík mněl. Potom se všechno bídně klidilo, nebo časy žádné nebyly. Leny pozni k špatnému konci přišly, a kdo jaký má, ješče žádný ho koupit nechce; a jestli koupí, jen kór laciný jest, že se ani ty práce nevyplatí, které len potřebuje. A daně veliké dávat musíme, nebo ve všech daních musíme čtyrykrát toliko platit, jak v dobrých peněžích a my, co prodáváme, jenom za šajny, a jiné peníze žádné nedostáváme. A některé daně se musí stříbrem platit, jako jest z hlav a z hřemesel. “* Krize pokračovala i v dalším roce, autor popisuje katastrofální nedostatek obilí, lidé byli v některých případech dokonce odkázáni živit se pouze mlékem a borůvkami, místo žita na chléb lidé zpracovávali hlavně oves a jablka: „*Tento rok jest zase takový. Ty daně jako minulého roku dávat musíme a draho stejně trvá. Žito za 25 zl., pšenice 28 zl., ječmen za 18 zl., oves za 7 zl., to tak až do svatýho Jana; tehdy jest každý den dráže. Před svatým Jakubem po 2 trhy v Brně bylo žito za 39 zl. míra, pšenica za 42 zl. a prosná kaše 50 zl. míra a jiné všechno dle toho spůsobu. Co jen do huby jest, všechno draho se koupit musí. Já sem v tom roku jen za zdravu vydal 512 zl. jen do svatýho Jakuba a od toho dne ješče 2 neděle jako na hospodě na hotový peníz sme živi byli, to ani nečítám, nebo den za dnem bylo všechno lacinější a předce skoro 5 zl.*

na den se projedlo. V tom roku celém nekteří lidé chleba nepekli, jenom ovesné pekáče z japkama zemskýmá dělali a tím podivně živi byli Oves toho roku byl velice vážený, nebo každý jen na něj držel. Nejprve hledali mynáře, který ho načisto bez šupek mlel, ale naposledy všechno i ze šupkama mlet žádali. Posledně k novému nekteří lidé jen mlékem a borůvkama živi byli, ale předce žádný hladem neumřel, ani žádné nemoce se nebyly. Ty ovesné šupiny dobře lidem žaloudky pucovaly! Pán Bůch rač nás dále zachovat od takového soužení!“

Zápis v Kronice Martina a Františka Nováka z Dřínova u Zlonic zachycuje situaci z konce léta a podzimu roku 1816. Mluví se zde o špatné úrodě obilí i ovoce, kterou zničily mrazy a vlhko a o neustále rostoucí ceně obilí: *„Toho roku byla špatná ouroda na vobilí, na ovoce též skoro žádná. Všecko v tom roku bylo zlé, neboť všechno vobilí skrze mrazy zkaženo bylo a nic k dozrání přijíti nemohlo skrze mokro a deště. Takže sme pšenici sklídili teprve při svatým Matouši a taky ještě sejkpa toho roku nebyl žádná. Neboť když nic k vzrůstu a k vyžrání přijíti nemohlo, tak sypalo žito na jeden věrtel a vesměs všecko málo sypalo. Takový taky zlo z toho pošlo, že máme zač boha všemohoucího prosit, aby nám žádnému více takového roku dočkati nedal, neboť hned před žněma se již v obilí taxa pořáde vejšila, že byla již pšenice za 28 zl. a žito bylo za 24 zl. a ječmen za 17 zl., oves za 12 zl., ale to všecko nic nebylo, neboť lidé hned s počátku žní viděli, že žita nedostatek bude. Tehdy hned mleli ječmeny do chleba, kterých něco více bylo. - Však ale od vánoc již v mnohých gruntech ani ječmene nebylo, takže již od toho času chléb jinde pohledávati museli. Mnozí zase vikve, hráchy, vovsy a všecko, co jen méno má, do chleba mleli a dávali a ještě hůře bylo, neboť jak pravím, hnedle od nového léta, totiž v 1817 roce na začátku pořáde větší zlo se rozmáhalo, neboť v plzeňském kraji a elpogenským, když se taky Eger zavírá, v těch krajích pekli chleba tak že vařili brambory a mleli stůh, žaludy a tu mouku do chleba dávali, takže jen z bramborů a z mechu chléb pozůstával.“* A dále: *„A předci bud' bohu čest a chvála, u nás lidi nestonali, ale okolo Egru mnoho lidí vymřelo, že tak říkajíc, celý vesnice zůstaly prázdný. Příčina tý velký drahoty byla ta největší, že nikdež v celej Evropě vobilí neurodilo. Peníze toho roku byly šajny.“* V další části textu *„CO SE V OBCI DŘÍNOVSKÉ ZA ČASU MÉHO PŘIHODILO“* je řeč o výskytu pramenů v blízkosti vesnice, jež se objevovaly pouze zřídka, pravděpodobně ve velmi deštivých letech: *„Poznamenání pramenů na naší stráni nad kostelem, které ne vždy jdou: Roku 1770 tekly dvě léta.“*

První rok tekly tak na dvoje složení vody, druhý rok ale už jen na jedno složení vody. Podruhé tekly zase v roce 1788 asi tak na jedno složení. Potřetí tekly 1771 tak asi čtvrt roku. Počtvrté 1804 půl roku. Popáté 1812 půl roka. Tolikrát za mojí paměti šly, ale nikdy nic dobrého z nich napocházelo, jak vejš v letopisech už k nalezení jest. Roku 1815 zas tekly na půl, 3/4 kola a roku 1816 zas tekly 3/4 kola. Roku 1812 půl kola. Roku 1822 2. února zas tekly a roku 1840 tekly za kostelem prameny na půl kola a roku 1841 zas na půl kola.“

O chladném počasí v měsících dubnu a květnu roku 1816 píše ve své kronice Mikuláš Střelec z Domažlic: „*Hned ze začátku apríle a celý máj byla nesmírná zima. Juni byl teplejší, ne ale tak jak by býti měl, tak že jarní obilí velkou zkázu trpělo a také byly nočního času mrazy. v horách tento rok nic nesklízeli, jedině drobet lenu a bramborů.*“ A dále o velmi studených žních v červenci, kdy lidé museli mít při práci dokonce rukavice a o ničivém krupobití, jež znehodnotilo veškerou úrodu: „*Toho roku taky lidé v rukavicích žali, však přece všecko toho by celou zkázu neučinilo, kdyby nebylo potlouklo. Dne 7. juli v poledne ve 12 hodin počalo pomalu pršet, najednou se začaly sypat kroupy a toto velké krupobití zouplna do dvouh hodin odpoledne trvalo, což na kolik hodin cesty, všecko v nic uvedeno bylo. Pšenice, žita, ječmeny, ovsy, hráchy, jetele, leny, brambory, tráva na lukách, slovem všecko jako mlat utlučený, smutně vyhlíželo, což nárek a pláč povstal může každý sobě pomysliti. Od té doby hned živobytí o mnoho bídňější bylo a dráž počalo býti.*“

V Kronikářských zápiscích Jana Lůžka, učitele ve Vorasicích a Hřivicích, se zase můžeme dočíst o výskytu mrazů v květnu roku 1816, jež poničily úrodu a díky tomu vzrostly ceny obilí: „*Pomrzlo žito v květu, málo sypalo. Pak na to žito strich za 50 - 52 zl. šajnů, za 21 zl. ve stříbře, ječmen za 32 zl. 35, pšenice za 62 zl.*“

Záznam o neúrodě obilí a vysokých cenách nalezneme i v obecní kronice zaniklého města Zahrádka u Ledče na řece Želivce: „*Nad to roku 1816 byla neúroda zvlášt na obilí ozimném, která neúroda nejen v Čechách, ale i v mnohých jinších krajinách lid velmi hubila. U nás tehdy jedna rakouská Míra Žita a sice v šajnech byla za 20 f až do 23 i 24 f po hranicích slezských a saských strych Žita platil 50 f v Bavořích a jinde ještě více, ano pravilo se že v Říši německé strych Žita přišel v stříbrných peněz na 50 i více zlatých. V roku 1817 a 1818 jsme v obilí Boží požehnání dosáhli, tak že hned po žních roku 1817 míra Žita přišla na 10 f pak pořád*

níž a níž až roku 1818 platila toliko 2 f.“ Krátký zápis o velké zimě a vydatném sněžení v polovině května si můžeme přečíst v Kronice Anny Koliskové z Jakubovic: „L.p.1816 byla taková zima, v zimním čase, že dne 17. měsíce máje se tak chumelilo a takový kusy sněhu padaly jako v zimním čase.“ Vysoké ceny obilí v roce 1816 pokračující až do dalšího roku zase zmiňuje ve svém díle Augustin Kalach: „1816. Téhož roku hned po žních platilo obilí: žito 40 zl., pšenice 50 zl., ječmen 30 zl., oves 17 z., to jest bylo v šajnech, a to draho trvalo přes celou zimu až do 1817 roku.“

Jsou zaznamenány i extrémní projevy počasí v těchto letech, jako například ničivé krupobití z roku 1816 v Pamětech Rumíšků z Javorníků, které poničilo úrodu a lidé měli díky drahým produktům nouzi: „Anno 1816 dopustil pán bůh veliké neštěstí na strážnickém panství, totiž velmi velké krupobití, takže velmi mnoho škody nadělalo v chotárech. Vytluklo hned strážnický chotár, potom kněždubský, sásovské vinohrady, kněždubský, chotár vrbenský aj malovrbecký, kuželovský a náš javornický. Stalo se to právě před Marií Majdalenú tu sobotu v těch chotároch, které jsú tuto. Jak na zbožú, tak i na sadoch velmi velká zkáza se učinila, takže lidé přinuceni byli o žebrotě jíti, poněvadž i veliké draho bylo.“ Gymnasiální profesor v Litoměřicích, zabývající se klimatologií, Wenzel Katzerowski, který mimo jiné studoval periodicitu povodní, poté píše o katastrofálním nahromadění ledu na Labi u Litoměřic v prosinci roku 1816, díky kterému došlo ke zničení mostu: „Dne 15. prosince byl pro nakupení ledu na Labi u Litoměřic na kusy rozbit most přes řeku.“

V obecní kronice Paměti města Bechyně, kterou sepsal bechyňský učitel a kronikář Josef Šatra se píše o velkém nedostatku obilí a vysokých cenách v roce 1817 a způsobu, jakým si šlechta nárokovala obilí od vesničanů: „R. 1817 objevil se opět veliký nedostatek obilí, následek toho drahota všeobecná. Při všech těchto zažitých útrapách a nedostatcích zaváděla bechyňská vrchnost po vesnicích opět dávno již zrušenou a zakázanou dávku „ovsa pro myslivecké psy“ vylouvajíc se na sem tam v lesích objevivší se vlky. Toť byl zoufalý vrchol vši bídy mezi vesnickým lidem na zdejším panství. Rolníci se bránili, jak jen mohli, zamikali stodoly, aby panští drábové nemohli si oves mlátit. Ale panští pochopové násilím uráželi zámky u stodol“ V Kronice Františka a Josefa Tadrý z Hostína se mluví také o drahém obilí po neúrodě v roce 1816 a dlouhotrvající zimě: „Toho roku byla levná zima a žádná velká voda nebyla. Obilí platilo až do žních toho roku po neúrodě předešlého roku:

pšenice 45 zl., žito 37 zl., ječmen 32 zl., hrách 40 zl. – Ale toho roku byla hojná úroda na obilí obzvláště v horách a hned po žních obilí spadlo. Pšenice na 20 zl., žito na 18 zl., ječmen na 13 zl., hrách 18 zl., oves 6 zl., na chmel byla špatná ouroda a platil za 7 zl. 30kr. Toho roku na jaře trvala dlouho zima. Ještě o svatém Jiří se pořád chumelil sněh, ale obilí mnoho neuškodil, přeci tak prostřední ouroda.“

Ve výpisech z paměti Federsellových v Pamětech bysterských z Bystrého u Poličky můžeme nalézt zmínky o hustém sněžení a mrazu z konce dubna roku 1817: *„1817 dne 25. dubna brzo zrána nastala při velmi mrazivém větru krutá chumelenice, a jak obyčejně na ten den sv. Marka měl se konati prosebný průvod na bysterské panské pole; ohledně toho když v zámku o tom spraveni byli, že p. p. farář Josef Prokeš do pole jíti nemíní, dána jemu velitelská odpověď: „Jen aby to vykonal.“ I stalo se tak a jak: místo zpěvu a modlení bylo slyšeti od lidí jen samý pláč a nářek, že již ani nebude žádné léto, zimou a hladem že zahynouti musí. Zimou skřehlí a zasněžení někteří z nich již z Hradčan a od kříže domů jíti museli. Toho dne sněhu výše napadlo na jeden loket.“* A dále o vysokých cenách a nedostatku potravy v roce 1816 a ještě větší krizi na jaře roku 1817, kdy lidé trpěli velkým hladem: *„Jakkoliv roku 1816 zavládla drahota a s tou spojený hlad, bylo tím hůře roku tohoto, když nastalo jaro. Jedna měřice pšenice stála za 32 zl., žita za 25 zl., ječmene za 20 zl., ovsa za 9 zl., zemčat za 8 zl. Jedna mírka mouky stála za 1 zl. 6 kr., jahlí až 1 zl. 36 kr., pekařský chléb 14 lotů až 12 kr. a žemlička 9 lotů 12 kr. Taková bída nastala, že lidé byli přinuceni dost málo jen jednou za den něco jíst, při tom žádný výdělek nebyl, žádný nezjednal na práci domovní ani polní, protože nebyl hospodář vstavu tolik zaopatřit, a který musil, mnoho set peněz pozbyl, až naplet hodně dluhů.“*

7. 3 Meteorologická pozorování z období po erupci Tambory

Chladné počasí a velké množství srážek v letech 1815, 1816 a 1817 potvrzují rovněž meteorologická pozorování Zachariáše Melzera z let 1803 - 1818 v Brně. Roční počet srážkových dní v letech pozorování byl kromě roků 1803 a 1804 nejvyšší právě v období po výbuchu Tambory. Ve třech zmíněných rocích překročil počet 150 srážkových dnů za rok, a to nejvýrazněji v roce 1815. V roce 1815 se pak za celé pozorované období vyskytovaly první podzimní mrazy nejdříve, a to v období před 10. zářím. Naopak poslední jarní mrazy v roce 1816 probíhaly ještě v polovině měsíce května (Brázdil et Valášek et Macková 2005).

Zajímavé údaje lze vyhledat také v meteorologických pozorováních tehdejšího předního pedagoga v oblasti přírodních věd a představitele piaristického řádu Ambrose Khoma z let. Rukopis obsahuje denní záznamy počasí z let 1814 – 1815. Podle Khomových údajů bylo v roce 1815 dokonce 190 srážkových dnů, z toho asi 45 dnů se sněžením. Nejdeštivější byly v tomto roce letní měsíce. Téměř ve dvou třetinách všech dnů letního období přšelo. V červnu se srážky vyskytovaly po dobu 21 dnů, v červenci 19 dnů a v srpnu to bylo 20 dnů. Khom dále uvádí poslední zaznamenané sněžení na 18. až 19. dubna. Počet dnů s bouřkou vzrostl oproti předcházejícímu roku z 19 na 29 dnů, a to včetně blýskavice, jež byla pozorována 17. září. Poslední jarní mráz připadal podle Khoma v roce 1815 na 29. května (Brázdil et Valášek et Macková 2005).

8. Rok 1816 v kontextu let 1810 – 1820 z pohledu sledování hodnot teplot a srážek na meteorologické stanici Praha – Klementinum

8. 1 Počátky sledování počasí a meteorologická měření na území ČR

Lidé sledují počasí od pradávna. V prvopočátcích byl tento jejich zájem spojen především se zemědělským hospodařením a snahou co nejlépe načasovat výsev semen či výsadbu rostlin do půdy nebo naopak odhadnout ideální období pro sklizeň plodin. Rolníci byli, a i v dnešní době stále jsou vázání na potřebu kvalitní půdy a stejně tak projevy počasí příznivé pro jejich hospodářství. Již počátky zemědělství na Blízkém východě a orientovaní se lovecko-sběračských společností na domestikaci a kultivaci rostlin jsou spojovány s významnou změnou klimatu po poslední době ledové zhruba před 10000 lety. Následná období s často dlouhými suchy více vyhovovala pouze některým druhům jednoletých rostlin, jako byly například divoké obiloviny. Tento nadbytek snadno uskladnitelných zrn poté přispěl k zakládání trvale obydlených vesnic (National Geographic 2018). Jak můžeme vidět na příkladu nejrůznějších pranostik, lidé si rovněž na základě dlouhodobých zkušeností a pozorování, které můžeme považovat za jisté předchůdce meteorologických modelů, všímali souvislostí mezi určitými meteorologickými jevy a ročními obdobími. S rozvojem techniky a vědy samozřejmě přišel jako v jiných oborech i rozvoj meteorologie. Člověk začal nejen sledovat, ale i zaznamenávat základní meteorologické veličiny jako je teplota, tlak a vlhkost vzduchu, srážky či

vítr. Dnes již považujeme za samozřejmost každodenní předpověď počasí na základě radarových snímků. Meteorologická a klimatologická měření v současné době probíhají na více než 800 stanicích ČHMÚ. Nejdůležitější roli a největší program pozorování má síť 38 profesionálních meteorologických stanic. Rozsáhlá klimatologická měření probíhají na téměř 180 dobrovolnických klimatologických stanicích, z nichž většina je plně či částečně automatizována. Doplňkové měření potom poskytuje pozorovací program dobrovolnických srážkoměrných stanic s měřením srážek a vlastností sněhové pokrývky. Do obtížně přístupných horských lokalit jsou poté pro získání údajů o ročním úhrnu srážek umístěny totalizátory (ČHMÚ ©2008).

8. 2 Přínos meteorologické stanice Praha - Klementinum

Pomocí přístrojů se teplota v našich zemích začala měřit počátkem 18. století. Cenným poskytovatelem informací o klimatu ve střední Evropě je meteorologická stanice v Praze Klementinu, kde byla meteorologická měření zahájena již v roce 1752. Tato nejdéle souvisle měřící stanice na našem území představuje díky dlouhodobému měření, od roku 1784 splňující moderní klimatologické podmínky pozorování (údaje zjišťovány v časech 7, 14 a 21 hodin), světově ojedinělý zdroj dat o vývoji teploty v minulých stoletích (In-počasi ©2017). Stopy masivní sopečné erupce jsou v klimatickém systému znatelné následující dva až tři roky po výbuchu, statisticky se dozvuky velké sopečné exploze dají dokázat ještě po pěti letech. Podrobně se tímto tématem zabýval například historický klimatolog Jiří Svoboda. Jako podkladová data mu sloužila klementinská teplotní řada. Studium odchylek, vyskytujících se v oblastech výjimečně nadnormálních extrémů, velmi přesvědčivě dokázal, že velké sopečné výbuchy mimořádně silně ovlivňují vývoj klimatu v dalších třech až pěti letech po erupci. Svoboda prokázal, že všechny extrémy objevující se na klementinské řadě, je možné dát do souvislosti s velkým sopečným výbuchem (Svoboda et. Vašků et. Cílek 2003).

8. 3 Grafy ukazující snížení teplot v letním období roku 1816

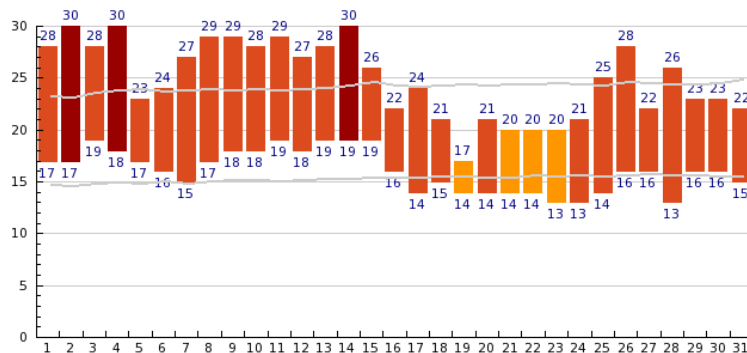
Následující grafy ukazují průběh nejvyšších a nejnižších denních teplot ve stupních Celsia a denní srážkové úhrny v milimetrech v letních měsících červenci a srpnu v roce 1816 (Na vertikální ose se nachází stupnice s hodnotami teplot a srážkových úhrnů, horizontální představuje jednotlivé dny v měsíci). Pro porovnání

možných změn v chodu klimatu a počasí v Čechách způsobených erupcí Tambory je dále zahrnuto 5 dalších roků z příslušného desetiletí. Grafy zobrazují nejvyšší a nejnižší denní teploty během celého měsíce, šedá čára znázorňuje dlouhodobé průměry pro daný den. Data pochází z meteorologické stanice Praha - Klementinum. I když není možné zaměňovat výsledky měření na jedné stanici s vývojem teploty a srážek na celém území, stejně jako považovat výsledky z tak krátkého období za směrodatné, přesto mohou tyto grafy poskytnout zajímavé informace. Průměrná roční teplota se v Česku pohybuje mezi 5,5 °C až 9 °C. Červenec je s průměrnou teplotou okolo 20 °C nejteplejším měsícem roku a rovněž na něj spolu s červnem připadá nejvíce srážek (In-počasí ©2017).

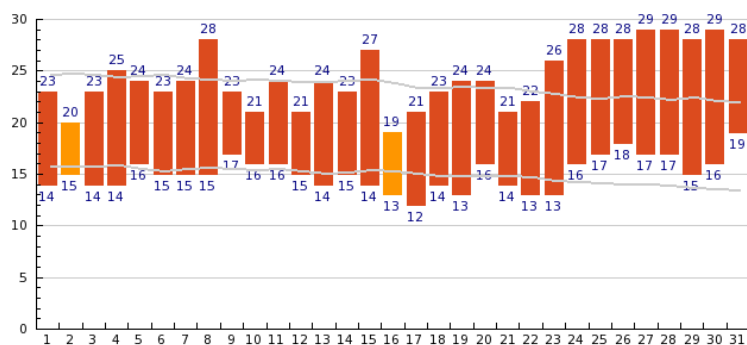
Podle vývoje teploty během července a srpna 1816 je možné tvrdit, že v porovnání s teplotami v letech před a po tomto roce, je zmíněné léto tím nejstudenějším za celé období. Nejvyšší denní teploty se na rozdíl od ostatních roků pohybují konstantně po většinu obou měsíců hluboko pod dlouhodobým průměrem, pouze v několika případech překročí 25 °C a ani jednou za celou dobu nedosáhnou 30 °C. Rovněž je zde znatelný pokles nejnižších denních teplot, které se téměř trvale pohybují pod 15 °C. Celkově se zdá být letní období v roce 1816 permanentně chladné bez větších teplotních výkyvů s minimem letních dnů a s absencí dnů tropických.

Srážkově se měsíce červenec a srpen 1816 příliš neliší v porovnání s ostatními roky. Srážky se zdají být během obou měsíců rozloženy rovnoměrněji bez větších srážkových úhrnů během jednoho dne, většina hodnot se pohybuje do 10 mm. Dá se předpokládat, že se v tomto roce vyskytovalo méně konvektivních srážek, lokálních a krátkodobých „dešťů z tepla“, které významně ovlivňují hodnoty srážkových úhrnů v letním období.

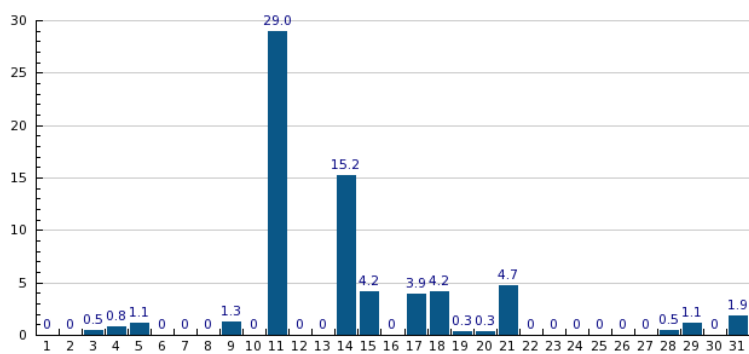
Rok 1810



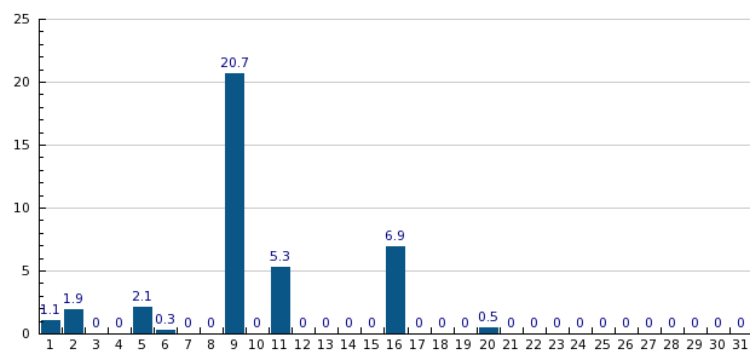
Obr. 31: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1810 (In-počasí ©2017)



Obr. 32: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1810 (In-počasí ©2017)

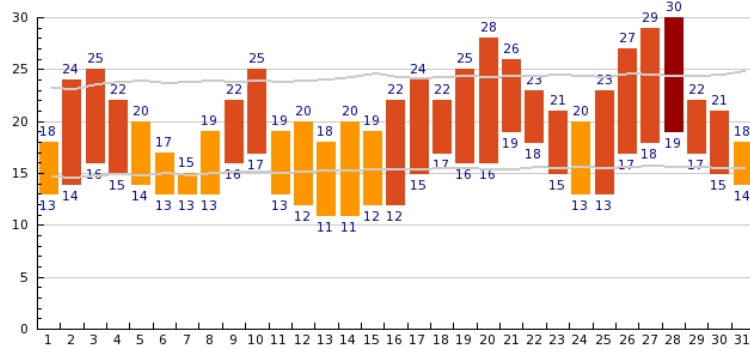


Obr. 33: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1810 (In-počasí ©2017)

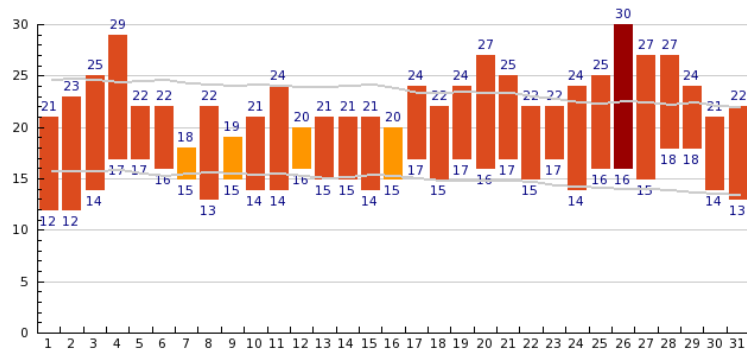


Obr. 34: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1810 (In-počasí ©2017)

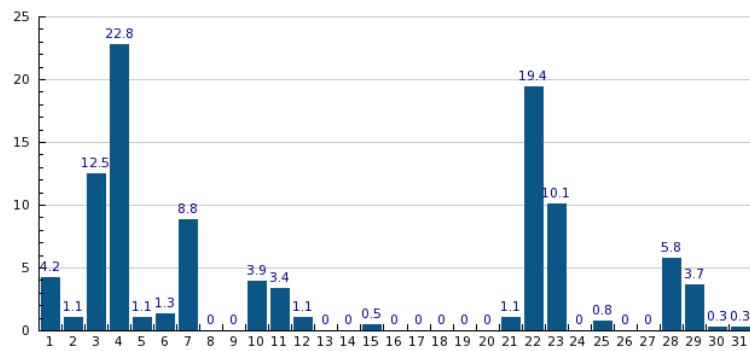
Rok 1812



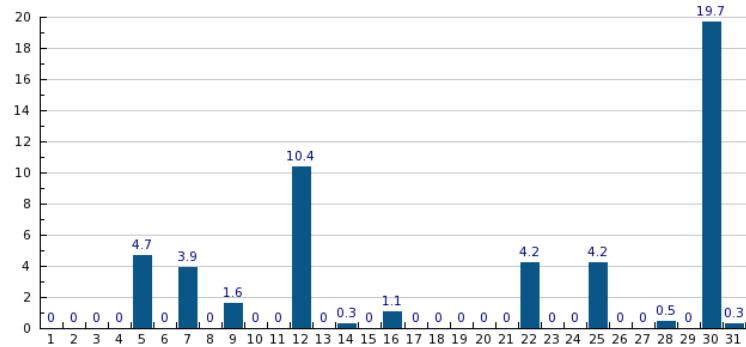
Obr. 35: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1812 (In-počasí ©2017)



Obr. 36: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1812 (In-počasí ©2017)

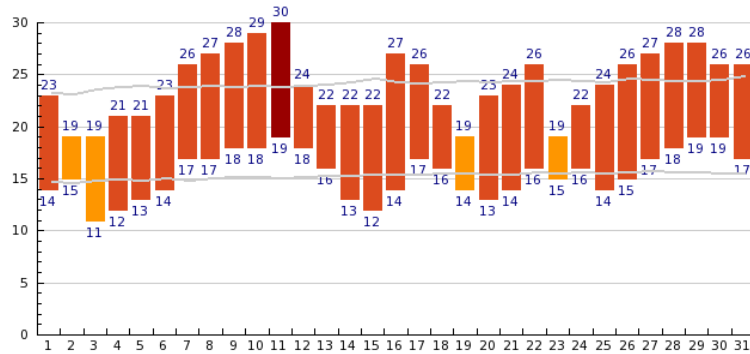


Obr. 37: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1812 (In-počasí ©2017)

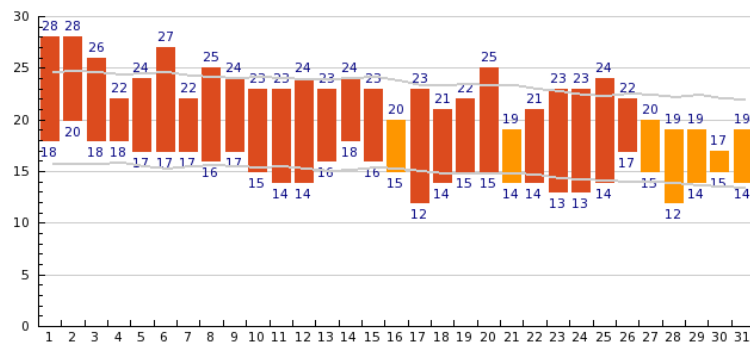


Obr. 38: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1812 (In-počasí ©2017)

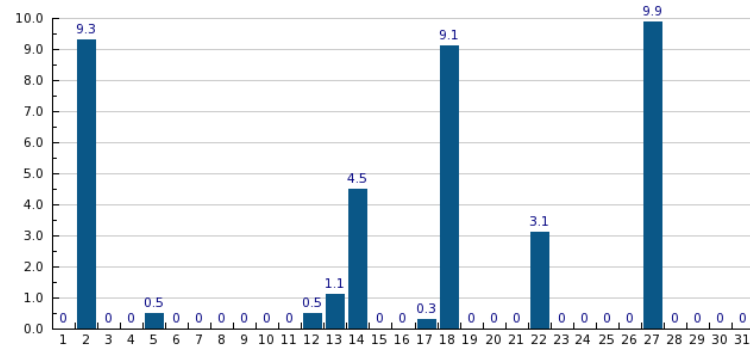
Rok 1814



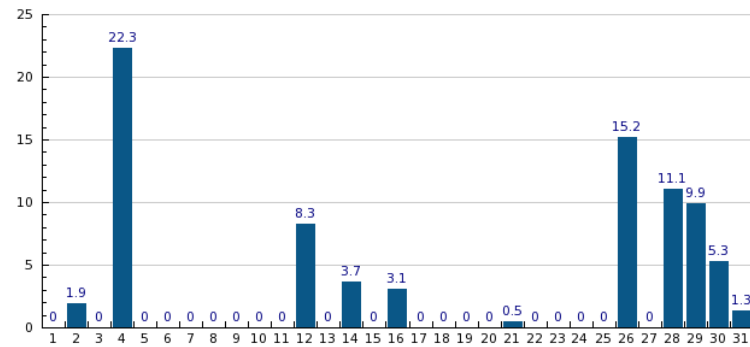
Obr. 39: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1814 (In-počasí ©2017)



Obr. 40: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1814 (In-počasí ©2017)

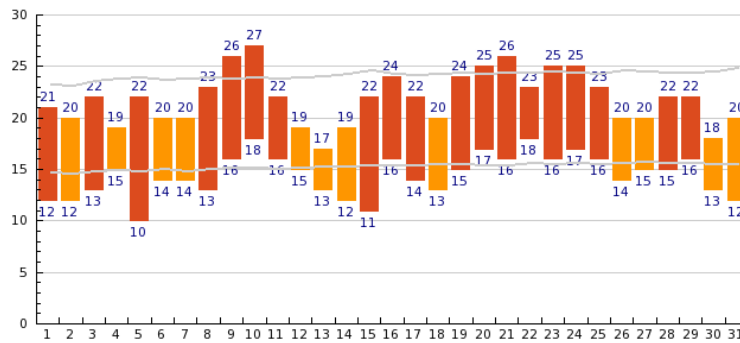


Obr. 41: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1814 (In-počasí ©2017)

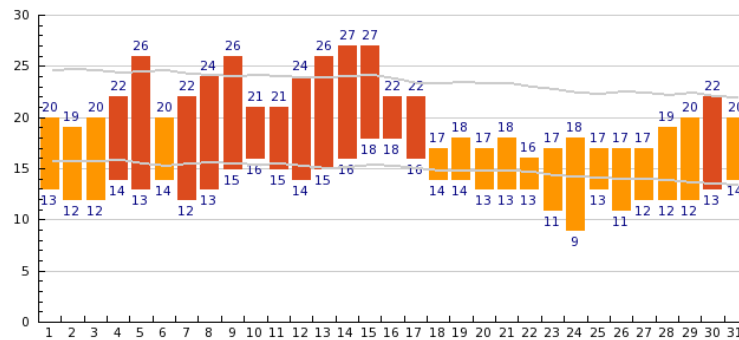


Obr. 42: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1814 (In-počasí ©2017)

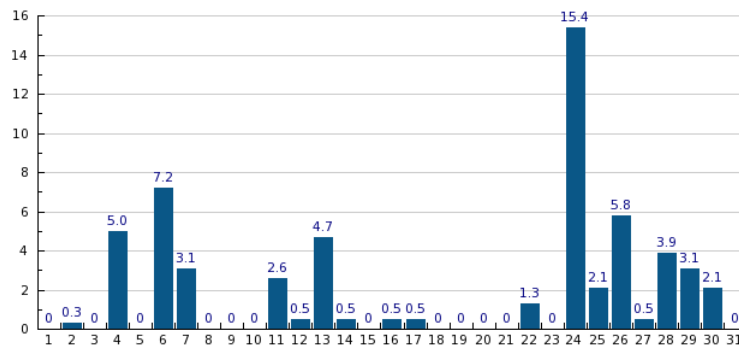
Rok 1816 – Rok bez léta



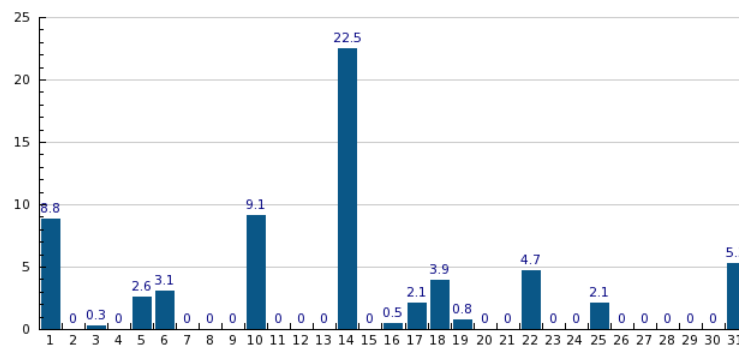
Obr. 43: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1816 (In-počasí ©2017)



Obr. 44: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1816 (In-počasí ©2017)

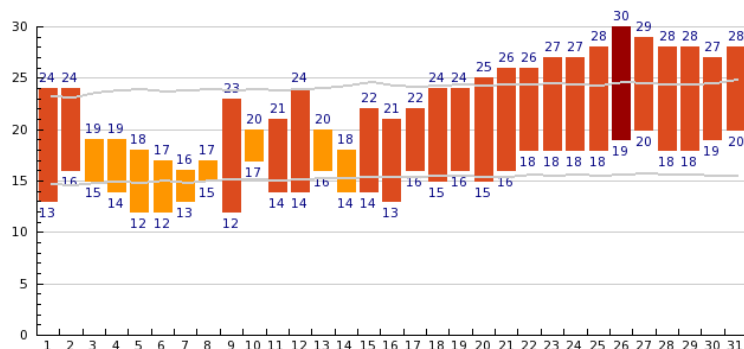


Obr. 45: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1816 (In-počasí ©2017)

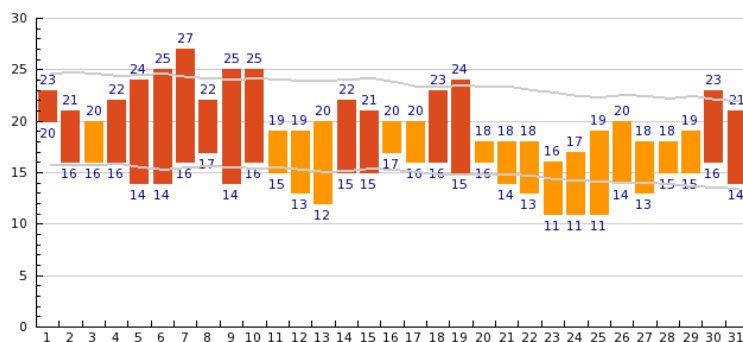


Obr. 46: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1816 (In-počasí ©2017)

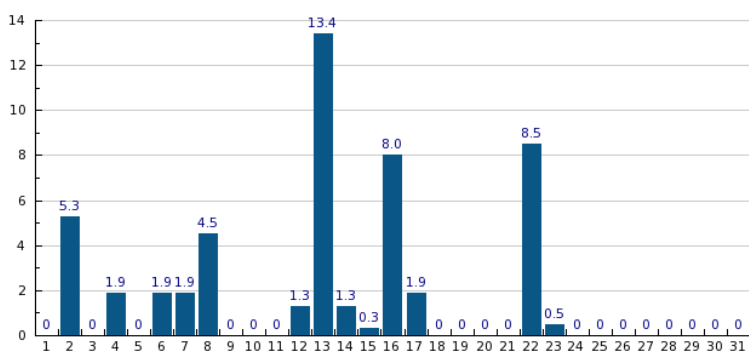
Rok 1818



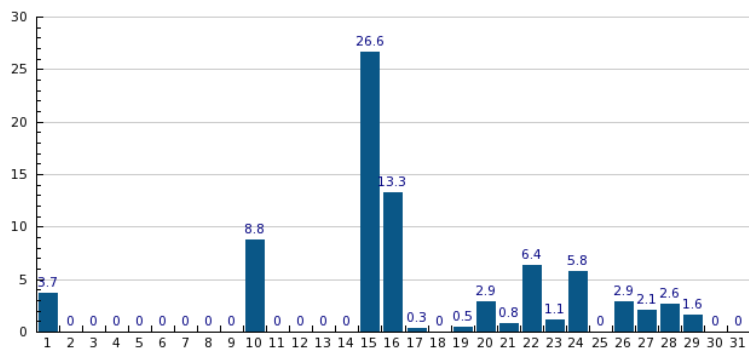
Obr. 47: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1818 (In-počasí ©2017)



Obr. 48: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1818 (In-počasí ©2017)

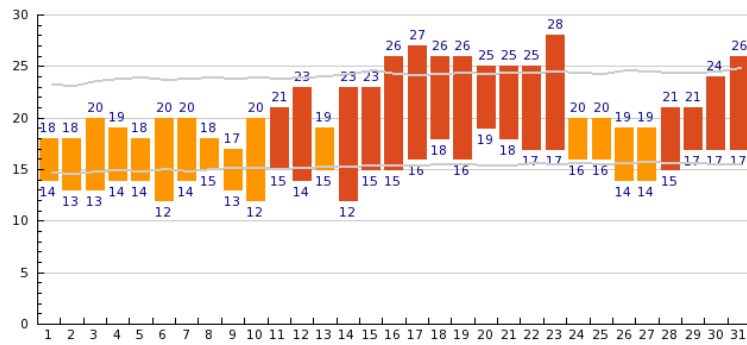


Obr. 49: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1818 (In-počasí ©2017)

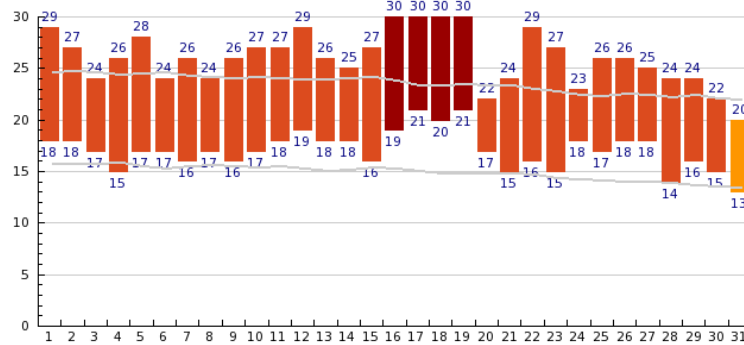


Obr. 50: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1818 (In-počasí ©2017)

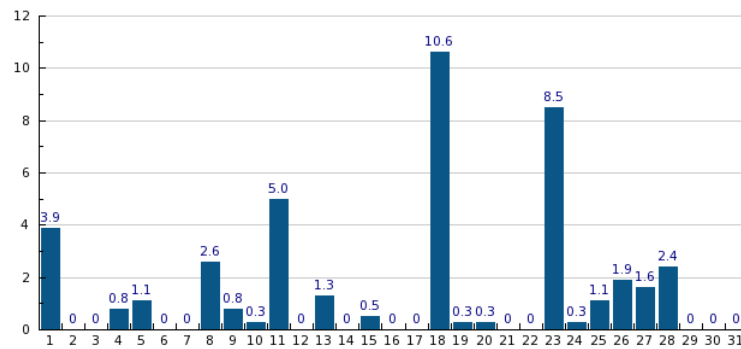
Rok 1820



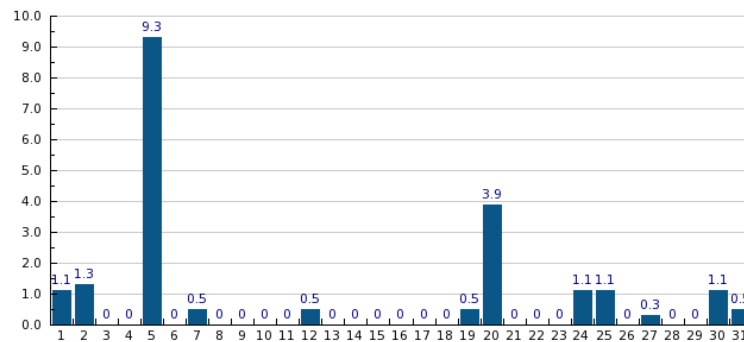
Obr. 51: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1820 (In-počasí ©2017)



Obr. 52: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1820 (In-počasí ©2017)



Obr. 53: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1820 (In-počasí ©2017)



Obr. 54: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1820 (In-počasí ©2017)

9. Krátké zhodnocení a vhléd do budoucnosti, pokud by došlo k masivní sopečné erupci

9.1 Monitoring sopečné činnosti

Odedávna přitahují sopky svými projevy pozornost lidí na celém světě. Zatímco v minulosti si neuměli jejich chování dost dobře vysvětlit, v moderních časech se naše poznání o podstatě vulkánů výrazně rozšířilo. Máme dobrý přehled o tom, kde se nacházejí všechny aktivní sopky, které by mohly znamenat riziko pro obyvatele žijící v jejich blízkosti. Můžeme říci, že známe příčiny sopečných erupcí a rovněž si dokážeme představit a popsat i jejich důsledky. Zásadním problémem v dnešní době zůstává tedy především fakt, že je za potřebí určit, kdy se schyluje k sopečnému výbuchu. Co možná nejpřesněji odhadnout, kdy k erupci dojde, jaká bude její síla a také jak dlouho bude trvat, je jedním ze základních a největších úkolů vědců zabývajících se tímto tématem. Odpověď na zmíněné otázky však není jednoduchá a je zapotřebí sopky neustále sledovat. Odborníci z řad vulkanologů monitorují výskyt otřesů či výronu plynů unikajících z kráteru sopky, u kterých sledují jejich množství a složení. Mohou tak zjistit, že magma v hlubinách sopky se dává do pohybu vzhůru směrem k zemskému povrchu, a tedy že se schyluje k sopečné erupci. Pro hodnocení síly sopečné erupce je používána škála označovaná jako VEI (Volcanic Explosivity Index). Jedná se o osmibodovou stupnici, na které se hodnotí několik kritérií, z nichž největší důraz je kladen na objem materiálu, který sopka během erupce vychrlí. Za první stupeň je považována erupce, při níž dochází k volnému výlevu lávy a jejíž průběh nemá explozivní charakter. Objem vyvrženého materiálu nepřesahuje 10 tisíc krychlových metrů. Jak stoupáme po stupnici směrem nahoru, erupce má stále větší rozměry a destruktivnější účinky, až se dostáváme na nejvyšší stupeň, za který je považován mohutný sopečný výbuch tak zvaných supervulkánů. Při explozi tohoto typu je do zemské atmosféry do výšky přes 25 kilometrů vyvrženo více než 1000 krychlových kilometrů sopečného materiálu, což má za následek změnu klimatu celé planety (Novák 2011). Ve snaze o předpovídání případné sopečné katastrofy je důležité ohlížet se na dřívější projevy vulkánu. Někdy ale k podchycení chování sopky nestačí ani záznamy za desetiletí a je třeba se podívat dále do historie, což nám může pomoci odhalit obrovské destruktivní schopnosti sopky. Stejně tak je tomu i v případě Tambory. Na katastrofu, která se odehrála před více než dvě stě lety by bylo třeba paměti několika lidských generací.

Avšak díky kombinaci moderních vědeckých technik a záznamů v nejrůznějších dokumentárních zdrojích si můžeme představit obrovskou sílu erupce a dokážeme pochopit, jak velké důsledky pro tehdejší svět měla. Z pohledu historie Země nalézáme důkazy o ještě větších a ničivějších erupcích, než je ta z roku 1815. Výbuch Tambory ale můžeme považovat za největší sopečnou erupci moderní doby a jednu z největších ekologických katastrof, jaké kdy postihly lidstvo. Často se mluví o počtu obětí válek, jež se v minulosti odehrály či o významných panovnících, kteří svou vládou ovlivnily historii, erupce sopky Tambory však změnila svět způsobem, kterému dokážeme v širší perspektivě porozumět až teprve dnes. S jistotou tak můžeme říci, že nebýt tohoto výbuchu, dějiny devatenáctého století by se ubíraly zcela jiným směrem. Tato významná geologická událost si nejenže přímými následky erupce vyžádala tisíce lidských životů, rozpoutala také obrovskou sérii dalších katastrof, které postihly i obyvatele žijící daleko od místa výbuchu. Díky citelnému ochlazení klimatu v důsledku obrovskému množství sopečného materiálu vyvrženého do atmosféry se rozběhla téměř po celém světě řetězová reakce, spojená s neúrodou, hladomorem a šířením chorob, jež připravila o život další desetitisíce lidí.

9. 2 Ohrožení dnešní společnosti sopečnými erupcemi

Na příkladu výbuchu Tambory z roku 1815 i dalších masivních erupcí, které v minulosti na Zemi proběhly, se můžeme přesvědčit, že sopečná událost podobných rozměrů není pouze lokální záležitostí, ale týká se lidí po celém světě. Často pohlížíme na tyto události jako dávnou historii a nepřipouštíme si fakt, že by k něčemu podobnému mohlo dojít i v dnešní době moderních technologií. Opak je však pravdou, lidstvo nemá k dispozici žádnou techniku schopnou zabránit sopečným erupcím. Díky špičkovým přístrojům a neustálému monitoringu aktivních vulkánů jsme sice schopni předpovědět, že se schyluje k sopečné erupci, ale v případě výbuchu nám hrozí úplně stejné nebezpečí jako lidem žijícím před dvě stě či tisíci lety. Ba naopak, snad je naše současná civilizace i přes lepší životní podmínky a vědecké poznatky více zranitelná než v minulosti a my jsme jako lidstvo následky sopečné erupce ohroženi ještě v mnohem větší míře než naši předkové. Technický pokrok a závislost na výtocích moderní doby se nám v případě působení ničivých přírodních sil může snadno stát osudným. Běžný chod denních činností člověka žijícího ve vyspělé zemi je podmíněn dodávkou elektřiny, neumíme

si téměř představit život bez mobilních telefonů a počítačů a internetu, lidé jsou odkázáni na možnost nákupů potravin a přívod pitné vody do domácnosti považujeme za samozřejmost. Myslíme si, že sopky známe díky nejrůznějším vědeckým metodám a poznatkům z minulých erupcí. Vědci jsou si vědomi destruktivních schopností sopky a dokáží zaznamenat varovné signály. Nabízí se otázka, zda jsme tedy v dnešní době díky této informovanosti připraveni na možnost masivní sopečné erupce. Zkázy celých měst a zániky civilizací po sopečných erupcích, které známe z historie, dokazují, že lidstvo na něco podobného nikdy připraveno nebylo a stejně tak není ani v současné době. Dokonce i menší sopečný výbuch může způsobit potíže dalekosáhlých rozměrů. Dokazuje to například výbuch islandské sopky Eyjafjallajökull, který proběhl na jaře roku 2010. Mluvíme zde o erupci, jejíž vrcholnou fází hodnotí většina odborníků na stupnici VEI číslem 3, tedy explozi, při které je vyvrženo do 10 milionů krychlových metrů materiálu a výška sopečného mraku se pohybuje v rozmezí od 1 až 5 kilometrů (Novák 2011). Erupce trvala poměrně dlouho dobu a zapříčinila obrovské komplikace a peněžní ztráty především v letecké dopravě. Oblak sopečného prachu a popela se šířil převládajícími větry jihovýchodně přes Atlantik do severní Evropy. Silnější vrstva sopečného materiálu při průletu obrušuje povrch letadla, zanáší a snižuje výkon proudových motorů, ucpává a přehřívá klimatizační systémy. Mnoho evropských zemí tak bylo nuceno kvůli těmto hrozbám po dobu několika dní zcela uzavřít svůj vzdušný prostor a zastavit veškerou leteckou dopravu (Rafferty 2017). Navíc mnozí odborníci varují, jak historie obou vulkánů dokazuje, že činnost sopky Eyjafjallajökull by mohla být následována mnohem ničivějším výbuchem nedaleko se nacházející Katly. Jak tomu dosud vždy bylo, erupce Eyjafjöll znamenala předzvěst blížící se erupce Katly, záleželo jen na tom, za jak dlouho se sopka ležící pod masivním ledovcem probudila k životu. Aktivita Katly, u které dochází k explozivním typům erupce, by znamenala ohrožení rozsáhlých rovinatých oblastí katastrofálními záplavami (Helgason et Dodds 2010). Sopka, která v minulosti již několikrát ukázala svou sílu, je právem považována za jednu z nejbezpečnějších vulkánů na Islandu.

9.3 Život v blízkosti vulkánů

Aktivní sopky se nacházejí po celém světě a mnoho z nich je rozmístěno v těsné blízkosti početných lidských sídel. V okolí velkých vulkánů žijí v dnešní

době miliony lidí. Jak uvádí JUNG-HÜTTLOVÁ (2006) zhruba před deseti lety to bylo asi 500 miliónů obyvatel z celého světa, tedy přibližně 10 % tehdejší populace. Společně s nárůstem celkového čísla udávajícího, kolik lidí žije na Zemi, se dá očekávat i zvyšování počtu obyvatel, kteří jsou přímo konfrontováni s působením sopečných sil. Důvodů, proč se lidé dobrovolně vystavují takovému riziku i přes veškeré povědomí o možné katastrofě, lze najít hned několik. Často lidem prostě nic jiného nezbyvá, navíc se v sopečných oblastech vyskytují velmi úrodné půdy ideální pro zemědělství. Obvykle jsou zdokumentovány spíše ničivé účinky vulkánů, nicméně mnoho lidí využívá sopečné projevy ve svůj prospěch. Obyvatelé například využívají geotermální energie k výrobě elektrické energie. Nejen vulkány samotné, ale i další doprovodné jevy sopečné činnosti jako jsou horké prameny, gejzíry, či výrony plynů přitahují miliony návštěvníků po celém světě. Místní obyvatelé tak mohou najít uplatnění v odvětví cestovního ruchu. Avšak přes veškeré výhody, které život v blízkosti sopek lidem poskytuje, je stále nutné mít na paměti, k jaké katastrofě by mohlo v případě sopečné exploze dojít. Velká města, kterým hrozí bezprostřední nebezpečí, jako je například Neapol, jež leží v červené zóně a v případě erupce Vesuvu by ji zasáhl smrtící pyroklastický proud, mají plán, jak v případě blížícího se výbuchu postupovat. Ten předpokládá, že k erupci nedojde náhle a závisí na včasném upozornění odborníků na varovné signály při probouzení sopky k životu. Větším problémem, než je předpověď erupce, se tak jeví samotná organizace evakuace velkého počtu lidí. Pravděpodobně by v takové situaci nastal chaos a nebylo by možné včas dostat všechny obyvatele do bezpečné vzdálenosti. V případě, že by se to nějakým způsobem podařilo, nastaly by následně obtížně řešitelné problémy s dodávkou potravin, pitné vody a léků pro velký počet uprchlíků před sopečným výbuchem.

9. 4 Vývoj situace po masivní sopečné erupci

Rozsáhlé okolí vulkánu by při masivní sopečné explozi bylo zničeno ihned v první fázi erupce. Lávové proudy patří k jednomu z primárních vulkanických hazardů. Zemi by zachvátilo zemětřesení a v pobřežních oblastech by vyvolalo ničivé vlny tsunami. Pyroklastický proud, směs popela a rozžhavených plynů, pak ničí vše, co mu stojí v cestě a v plné síle je schopen dosahovat vzdálenosti mnoha desítek kilometrů. Všeobecná panika by znemožňovala evakuaci měst a bezpečný přesun velkého počtu obyvatel. Životy lidí žijících dále od sopky by ohrožoval

vulkanický spad. Vdechování sopečných částic by způsobovalo zhoršování zdravotního stavu lidí trpících kardiovaskulárními potížemi, onemocněním plic a dýchacího ústrojí, astmatem či alergiemi. Více ohroženi by byli starší lidé a děti. Sopečný prach rozptýlený ve vzduchu by se rovněž negativně podepsal na zdraví ostatních jedinců. Pravděpodobně by docházelo k prudkému zvyšování výskytu nejrůznějších respiračních onemocnění, oslabování imunity a celkovému zhoršování kondice organismu. Vysoká vrstva sopečného prachu a popela usazená na zemi v obydlených oblastech by způsobovala obrovské potíže v infrastruktuře a znemožňovala pozemní dopravu, docházelo by k rozsáhlým požárům a budovy by se pod tíhou vulkanického materiálu řítily. Lidé by nemohli cestovat na větší vzdálenosti, letecká doprava by byla kompletně vyřazena z provozu. Působení vulkanických částic by kontaminovalo pitnou vodu, zemědělská půda by byla vážně poškozena a pěstované plodiny znehodnoceny, konzumací toxických látek obsažených v sopečném spadu by byla ohrožena domácí, hospodářská i divoce žijící zvířata. Došlo by k vážnému narušení vegetace a destabilizaci či zániku řady přírodních ekosystémů. Při masivní erupci by se dostal velký objem sopečného materiálu do atmosféry, obloha by byla na dlouhou dobu zastíněna a vytvořila by se hustá siričitá mlha, zemi by pak sužovaly kyselé deště. Míra vlivu, jenž by měla tato exploze na celosvětové klima, by se odvíjela od toho, jak velký objem prachu, popela a plynů z exploze by byl do atmosféry vyvržen. Stejně tak by záleželo, do jakých vrstev by se vulkanický materiál rozšířil. Sopečný mrak by putoval vzhůru do té výše, než by se jeho hustota dostala na úroveň hustoty okolního prostředí. Pak by již nemohl stoupat dál a šířil by se do stran. Při silné erupci by tímto způsobem pronikl oblak sopečného materiálu až do stratosféry a odtud by pak mohutná mračna byla schopna obkroužit celou planetu. Taková situace by na Zemi vyvolala vulkanickou zimu s fatálními dopady pro všechny její obyvatele. Sopečná zima je často přirovnávána k situaci, jež by nastala po skončení ozbrojenému konfliktu, při kterém by byly použity jaderné zbraně. Obě tyto události by znamenaly zánik civilizace, jak ji známe v dnešní podobě. Globální klima by se prudce ochladilo, velká část lidí na Zemi by nepřežila a ti ostatní by se pravděpodobně byli nuceni vrátit k primitivnímu způsobu života v teplejších oblastech Země. Chod společnosti by se v tomto novém ponurém světě rychle hroutil, nastal by kolaps prakticky ve všech jejích sférách. Zásoby potravin a pitné vody by se rychle zmenšovaly, postupně by došly pohonné hmoty. V přeplněných nemocnicích by nebylo dostatek místa, léků ani

zdravotnického materiálu. Byly by přerušeny dodávky elektřiny a odvětví služeb, průmyslu a obchodu by zcela zkolabovalo, krize by dopadla na oblast zemědělství. Banky a finanční systém by přestaly plnit svou funkci, ekonomiky států by se zhroutily. Vzdávající sociální neklid by postupně vedl k čím dál tím větším sporům mezi obyvateli, lidé by mezi sebou bojovali o ztenčující se zdroje, násilí a rabování by se stalo běžnou součástí života. Morální hodnoty a solidarita by se z mezilidských vztahů rychle vytrácely. Z dlouhodobého hlediska by však pravděpodobně za účelem přežití došlo k semknutí přeživšího zbytku populace. Je tak docela možné, že lidský druh by si znovu prošel efektem hrdla lahve. Ačkoli o tom, jak by vypadal náš svět po explozi některého z vulkánů, jež by mohla způsobit i novou dobu ledovou, lze jen spekulovat, můžeme si být jisti skutečností, že ničivá sopečná erupce se Zemi v budoucnosti nevyhne. Záleží jen na tom, kdy a kde k ní dojde.

9.5 Hodnocení síly sopečných erupcí na stupnici VEI

Většina z aktivních sopek na Zemi se probouzí v určitých časových intervalech, které mohou být různě dlouhé. Často o sobě po mnoho let klidný, ne však vyhaslý vulkán, dává mezi jednotlivými fázemi erupce vědět pouze výrony horkých pramenů a sopečných plynů. Některé sopky jsou aktivní velmi často a důsledky jejich činnosti nemusí být příliš velké. Jedním z takových vulkánů je Mauna Loa, jejíž erupce mají charakter VEI 1 (Novák 2011). Mauna Loa je s vrcholem stoupajícím zhruba 17 kilometrů nad svou základnou největší aktivní sopkou na Zemi. Obrovský vulkán se rozkládá na polovině ostrova Havaj a sám o sobě tvoří asi 85 procent území všech ostatních Havajských ostrovů. Sopka se řadí k neaktivnějším na Zemi, od první historické erupce v roce 1843, jež je dobře zdokumentována, došlo již k dalším třiceti třem případům sopečné aktivity. Při erupcích se vytvářely mohutné lávové toky. Je jisté, že Mauna Loa začne soptit znovu, při zatím poslední erupci v roce 1984 se proud lávy dostal do vzdálenosti několika kilometrů od centra ostrova. Sopka je nyní kvůli známým neklidům pozorně monitorována (USGS ©2017). Mezi pravidelně soptící vulkány, při jejichž erupcích často nedochází k výraznějším škodám patří sopky s erupcemi o síle VEI 2. Objem vyvrženého materiálu se pohybuje v rozmezí 10 tisíc až milion metrů krychlových a sopečný mrak se nedostává do výšky přesahující 1 kilometr. Tímto se způsobem se projevuje například sopka Stromboli v Itálii. Již katastrofický průběh mívají exploze charakterizované jako VEI 4, při kterých jsou sopky schopny vyvrhnout až 1

krychlový kilometr tefry do výšky 10 až 25 kilometrů. K takovým událostem dochází v průměru jednou za deset let. V roce 79 pro probuzení Vesuvu, došlo k ještě mohutnějšímu výbuchu, kteří dnes odborníci označují jako VEI 5. O tom, že taková erupce již dokáže zničit celá města, tedy není pochyb. Podobně jako Vesuv explodovala například sopka St. Helens v roce 1980. Při takových sopečných erupcích se dostane do atmosféry 1 až 10 krychlových kilometrů vulkanického materiálu, a to již do výšky větší než 25 kilometrů stejně jako při všech dalších podle stupnice VEI mohutnějších explozích. V dnešní době by podobná erupce v oblastech s velkou hustotou zalidnění připravila o domov a bezpečí miliony lidí. K takovým katastrofám s globálními dopady jako byla exploze trhlínového systému Laki z 8. června roku 1783, potom dochází méně než jednou za sto let (Novák 2011). Množství fluoru uvolněného při erupci spálilo vegetaci a otrávil mnoho zvířat i lidí. Jen na Islandu kvůli hladomoru v následných měsících po výbuchu zahynula až třetina tehdejší populace a přibližně 20 procent obyvatel bylo kvůli nepříznivým podmínkám nuceno emigrovat. Silná siričitá mlha zahalila do týdne po erupci Anglii, Francii a pak i zbytek Evropy, rovněž západní Sibiř a oblasti na severu Afriku. Vdechování vzduchu obsahujícího oxid siričitý si vyžádalo další lidské životy. Kyselé deště, kterými byla Evropa poté zasažena, poškodily lesy a další vegetaci. Došlo k poklesu průměrné teploty o 1,3 stupně Celsia a toto ochlazení klimatu trvalo tři roky. Léto v roce výbuchu Laki se stalo v některých oblastech severní polokoule nejstudenějším za posledních 500 let a zima v následujícím roce, kdy se ledové kry objevily dokonce ve vodách Mexického zálivu, na severoamerickém kontinentu nejdělsí a nejchladnější v historii, jež lidé zaznamenali. Spolu s výbuchem sopky Krakatoa v roce 1883 a Tambory v roce 1815, patří erupce Laki k největším sopečným událostem za minulých 300 let (Kukliš 2006). Za posledních 10 tisíc let lze nasčítat přibližně 50 podobných jevů. Vulkanologové posuzují tyto erupce s až 100 krychlovými kilometry vyvržených vulkanických hmot jako VEI 6. Po sopečných erupcích o takové síle se na několik následujících let ochladí klima Země, což způsobí neúrodu a má dalekosáhlý sociální dopad. Pokud by se opakovala erupce stejné síly jako měl výbuch Tambory v roce 1815, vážně by ohrozila pokračování civilizace v její současné podobě. Při takovéto tak zvané superkolosální explozi o VEI 7 se do atmosféry dostane 100 až 1000 krychlových kilometrů sopečného materiálu. K podobné sopečné katastrofě dochází méně než jednou za tisíc let a poslední takovou událostí je právě výbuch Tambory. Exploze některého ze

supervulkánů by dramaticky změnila klima celé planety a pravděpodobně by Země uvrhla do nové doby ledové. Výbuch hodnocený na stupnici VEI číslem 8, při kterém je do atmosféry vyvrženo více než 1000 kilometrů krychlových vulkanické hmoty, by znamenal totální změnu veškerého života na naší planetě a zcela jistě by zapříčinil vymírání celých živočišných a rostlinných druhů. Je těžké odhadovat budoucnost lidstva po katastrofě takových rozměrů, pravděpodobně by přežila jen malá část populace, jež by byla nucena se přizpůsobit nehostinnému prostředí, které by na Zemi panovalo. K podobnému megakolosalnímu sopečnému jevu na naší planetě za posledních 10 tisíc let nedošlo. Naposledy se tímto způsobem projevila sopka Taupo na Novém Zélandu (Novák 2011).

9. 6 Významné vulkanicky aktivní oblasti Země

K sopečně nejaktivnějším zemím patří bezesporu Island. Jako jedna z mála lokací na světě spojuje ledovce a sopečnou činnost na stejném místě. Nachází se zde více než 30 aktivních vulkánů. K největším a v minulosti nejaktivnějším sopkám patří Katla. K poslední velké erupci u ní došlo v roce 1918 a o té době se země v jejím okolí pravidelně otřásá. Z historie víme, jak velkou katastrofu je schopna napáchat Laki. V posledních měsících se po dlouhém spánku probudila k životu sopka Öraefajökull, vědci zaznamenali významné otřesy země v okolí vulkánu a zjistili, že v jeho epicentru se vytvořila díky teplu přicházejícímu z nitra sopky kaldera obrovských rozměrů. Öraefajökull se stejně jako Katla nachází pod ledovcem a jedná se o jednu z největších sopek na Islandu. V minulosti patřila tato sopka se svými projevy k nejničivějším na Islandu a v současné době je díky varovným signálům rostoucí aktivity odborníky bedlivě monitorována. V pohotovosti jsou vulkanologové i kvůli sopce Bárðarbunga, u které se rovněž zabývají zvýšenou seismickou aktivitou. Stejně tak je možné, že jako další na řadě je erupce Hekly, jedné z nejznámějších a nejaktivnějších sopek Islandu, která naposledy explodovala v roce 2000 (Arcanum ©2018). Antarktida je další zaledněnou oblastí, na níž se vyskytuje mnoho sopek, které vyčnívají nad povrch. V nedávné době však vědci objevili dalších 91 vulkánů skrytých 2 kilometry pod vrstvou ledu. Jedná se tak o objev největší sopečné oblasti na Zemi. V případě erupcí některé z těchto sopek, ačkoliv by její účinek nemusel dosáhnout povrchu, by hrozilo v důsledku uvolnění tepelné energie rozsáhlé tání a destabilizaci antarktických ledovců. V důsledku toho by pak došlo k výraznému zvýšení hladiny světového oceánu (McKie 2017). Velice

aktivní a nebezpečné sopky můžeme nalézt v oblastech nacházejících se po celém světě. Jednou z nich je i Vesuv, jediná činná sopka nacházející se na evropské pevnině. Ačkoliv k poslední erupci došlo naposled v roce 1944, stále představuje díky svému rozsáhlému magmatickému krbu velké riziko pro své okolí, zejména metropoli Neapol. V okolí Vesuvu žijí miliony obyvatel, a proto je jedním z nejmonitorovanějších vulkánů na Zemi (Ball 2018). Jedna z nejhorších pravděpodobných sopečných katastrof, které by mohly Zemi v budoucnu potkat, je výbuch supervulkánu v Yellowstonském národním parku. V Yellowstone již došlo k nejméně třem masivním erupcím. K poslední explozi, při které se vytvořila kaldera obřích rozměrů tvořící nyní velkou část parku, zde proběhla zhruba před 600 tisíci lety, avšak gejzíry, horké prameny a výrony plynů jsou známky stálé sopečné aktivity pod zemským povrchem v této oblasti (MyYellowstonePark.com ©2018).

10. Výsledné zhodnocení a diskuse

Sopečná činnost s sebou přináší celou řadu rizik, a to nejprve krátkodobých, za které můžeme považovat především ohrožení lávovými a pyroklastickými proudy či bahnotoky. Lávové proudy dosahují obrovských teplot a ničí vše živé, pohybují se však relativně pomalu. Větší nebezpečí představují spíše pyroklastická mračna, směs žhavých plynů, sopečného popela a úlomků hornin, která dosahují obrovských rychlostí a jsou schopna urazit vzdálenost až několik desítek kilometrů od epicentra výbuchu. Podobně destruktivní účinky mají i bahnotoky neboli lahary, které vznikají, pokud je vrchol vulkánu pokryt sněhem či ledem a zvyšováním teploty uvnitř sopky dojde k roztátí materiálu, jež se poté valí dolů jako lavina. Velké problémy v mnoha oblastech lidské činnosti způsobuje také velké množství sopečného popela, uvolněného při erupci. Potíže nastávají zejména v oblasti infrastruktury, a to hlavně v letecké dopravě. Navíc i slabší vrstva popela dokáže na dlouhou dobu znehodnotit zemědělskou půdu. Poškozuje vegetaci a má negativní dopad na zdraví lidí i zvířat. Navíc nebezpečí představují i doprovodné jevy sopečných erupcí, kterými jsou zemětřesení či vlny tsunami. Velké sopečné erupce mají také dlouhodobé dopady, a to díky výraznému vlivu sopečného materiálu vyvrženého do atmosféry na klimatický systém Země. Pokud je síla erupce dostatečně velká, vyvržený sopečný materiál je schopen doputovat až do stratosféry, v opačném případě je z troposféry během krátké doby v řádů dnů či týdnů vymyt srážkami. Pokud však pronikne vulkanický materiál do stratosféry, dokáže výrazně ovlivnit globální klima. Největší roli zde hraje oxid siřičitý, který se chemickými reakcemi mění na kyselinu sírovou, jež kondenzuje do jemného aerosolu. Ten je schopen díky výškovým větrům ve stratosféře obkroužit celou planetu a setrvat zde několik let. Aerosolové částice odrážejí přicházející sluneční záření z vesmíru a tím dochází k ochlazení zemského povrchu. Erupci Tambory, největší sopečný výbuch v zaznamenané lidské historii, jenž měl sílu VEI 7, doprovázely ničivé pyroklastické proudy i vlny tsunami. Sopka vyvrhla obrovské množství popela, jež zasypalo ve vysoké vrstvě rozsáhlé okolí. Tambora vychrlila tako obrovské množství materiálu a plynů do atmosféry. Z více než 55 milionů tun vyrobeného oxidu siřičitého se vytvořilo ve stratosféře přes 100 milionů tun kyseliny sírové. V podobě aerosolu poté v následujících letech významně ochlazovala globální klima. Na mnoha místech světa docházelo ke extrémním projevům počasí, velmi chladnému letnímu období

často s výskytem vydatných dešťů či sněžení a mrazů. To vše mělo negativní vliv na úrodu a zemědělství, proto docházelo k hladomorům a všeobecným krizím. Výrazně bylo zasaženo například východní pobřeží USA, v létě roku 1816 zde došlo k silným sněhovým bouřím, anomálie v počasí působily také na ekologii mikroorganismů v Bengálském zálivu, došlo k jejich mutaci a vzniku nového smrtícího kmene cholery, jež se začala následně šířit do celého světa, situace v Evropě byla na mnoha místech kritická, docházelo k záplavám, hladomoru a šíření nemocí. V Čechách se změny v chodu klimatu v období po erupci Tambory projevovaly, jak je z archivních pramenů jasně patrné, poměrně výrazně. Počasí od roku 1815 do roku 1817 bylo špatné. Nejhorší situace pravděpodobně panovala v roce 1816. Bylo velmi vlhko a chladno, prakticky neproběhlo léto, obilí hnilo v zemi a často zkázu úrody podpořily i překvapivě se vyskytující mrazy. Pršelo více než bylo obvyklé, v roce 1816 došlo na Vltavě a Labi ke dvěma povodním. Ceny všech produktů se výrazně zvýšily a lidé neměli dostatek peněz, zmínky o všeobecném drahotě jsou velmi časté. Obrovská krize nastala na jaře roku 1817, kdy došly po zimě poslední zásoby a lidé tak často trpěli hladem. Situace se již zlepšila s první úrodou toho roku. Můžeme nalézt zmínky i o extrémních projevech počasí z této doby, velkých krupobitích či bouřích. Ačkoliv se může zdát, že pokud by došlo k podobně silnému sopečnému výbuchu v dnešní době, situace by nebyla tak katastrofální, myslím že opak je pravdou. Lidé žijící v rozvinutých oblastech světa jsou až příliš odkázáni na komunikační sítě, dodávku elektřiny a vody. Zásoby potravin by v případě krize rychle došly a chod společnosti, včetně morálních hodnot, by zkolaboval. I menší sopečný výbuch dokáže způsobit velké potíže. Lidstvo není připraveno na situaci, která by nastala po erupci o síle VEI 7, která by se podobala důsledkům jaderné války. Exploze VEI 8 by poté pravděpodobně svět uvrhla do nové doby ledové, což by znamenalo konec civilizace, jak ji známe v dnešní podobě.

11. Závěr a přínos práce

Masivní sopečné erupce v minulosti často velmi významným způsobem pozměnily tvář celé planety. Po dobu existence lidstva tomu nebylo jinak. Avšak zatímco naši předkové si uvědomovali spíše bezprostřední riziko, ohnivé proudy lávy či ořesy země doprovázející erupce, které při sopečném výbuchu hrozí v okolí vulkánu, s rozvojem vědy a technologií se postupně zjistilo, že sopky mají na Zemi ještě další a mnohem globálnější efekt. Vyvržením obrovského množství sopečného materiálu do atmosféry jsou totiž schopny změnit celoplanetární klima. V případě velmi silného výbuchu jsou vulkanické částice dopraveny až do stratosféry, odkud je výškové větry roznesou kolem zeměkoule. První předpoklad odborníků byl takový, že největší dopad mají do stratosféry uvolněné pevné částice. Později se však ukázalo, že zásadním faktorem, který určuje míru změny klimatu, je množství oxidu siřičitého, jež sopka do vyšší vrstvy atmosféry vypustí. Sopečný plyn se zde po chemických reakcích a kondenzaci přemění na aerosol kyseliny sírové a v této podobě odráží dopadající sluneční paprsky, a tím dochází k ochlazení zemského povrchu. Jak prokázaly výsledky této práce, stejně tak tomu bylo i u erupce sopky Tambora v roce 1815. O dopadech této erupce se můžeme dozvídat zprostředkovaně z mnohých zápisů v dokumentárních zdrojích. Záznamy z Čech o nepříznivém počasí v období po erupci, především v letním období roku 1816, neobvyklém vlhku, vydatných srážkách a mrazech, a všech důsledcích, které z negativní změny počasí pramenily, neúrodě, vysokých cenách, hladu a sociální krizi, potvrzují vliv erupce Tambory v místech vzdálených tisíce kilometrů daleko od epicentra výbuchu. Stejně tak vědci mohou určit sílu exploze díky analýzám vzorků z ledovcových vrtů, odhalující vysoké hodnoty vulkanického sulfátu, které odpovídají době erupce Tambory. Použitím moderních technologií a pátrání v archivních pramenech, je tak možné dobře popsat více než 200 let starou významnou globální katastrofu, kterou výbuch Tambory způsobil. Přesto, že v dnešní době mají odborníci přehled o síle a dopadech mnoha dalších erupcí, které v minulosti proběhly, jsou si vědomi toho, jakými procesy masivní sopečné exploze ovlivňují klima, a dokonce dochází i k přesnému monitorování aktivity vulkánů, je zcela mimo lidské možnosti budoucí velké sopečné erupci zabránit. I když není jasné kdy, můžeme si být jisti, že k takovému výbuchu dojde. Bude záležet na tom, o jak mohutnou explozi se bude jednat. K menším sopečným erupcím dochází relativně často a škody nejsou

z globálního hlediska nijak fatální. Je těžké předvídat, jaké dopady by ale mohl mít na dnešní svět sopečný výbuch o síle VEI 6 či VEI 7, patrně by byla vážně ohrožena existence společnosti v současné podobě. Situaci, která by na Zemi nastala po explozi VEI 8, si pak nedokáže představit asi nikdo z nás. Takový sopečný výbuch by radikálně změnil klima planety a zahubil většinu lidí. Došlo by k zhroucení společenského řádu a přeživší zbytek populace by byl uvržen do nehostinného prostředí doby ledové. Na něco takové lidstvo nebylo a ani v dnešní době nejmodernějších technologií není připravené. Můžeme říci, že na podobnou situaci se lidé ani připravit nemohou, mají-li vést běžný způsob života. Je však zcela jistě užitečné pohlížet na možnou budoucí hrozbu s respektem a vědomím, že k podobné události může reálně dojít.

12. Přehled literatury a použitých zdrojů

Arcanum, ©2018: Top 3 most active volcanoes in Iceland at the moment (online) [cit. 2018.02.25], dostupné z <<https://www.arcanum.is/arcanum-blog/posts/2018/january/top-3-most-active-volcanoes-in-iceland-at-the-moment/>>.

Ball J., 2018: Geology.com: Mount Vesuvius – Italy (online) [cit. 2018.02.25], dostupné z <<https://geology.com/volcanoes/vesuvius/>>.

Behringer W., 2010: Kulturní dějiny klimatu: Od doby ledové po globální oteplování. Paseka, Praha – Litomyšl.

Brázdil R. et Valášek H. et Macková J., 2005: Meteorologická pozorování v Brně v první polovině 19. století: Historie počasí a hydrometeorologických extrémů. Archiv města Brna. Brno

ČHMÚ, ©2008: Historická data - meteorologie a klimatologie (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>>.

De Boer J. Z. et Sanders D. T., 2002: Volcanoes in Human History: The Far-Reaching Effects of Major Eruptions. Princeton University Press, Princeton.

Demek J., 1987: Obecná geomorfologie. Academia, Praha.

Glaser R. et Riemann D., 2009: A thousand-year record of temperature variations for Germany and Central Europe based on documentary data. Journal of Quaternary Science, Vol. 24: 437-449.

Greshko M, 2016: National Geographic: 201 Years Ago, This Volcano Caused a Climate Catastrophe (online) [cit. 2018.03.12], dostupné z <<https://news.nationalgeographic.com/2016/04/160408-tambora-eruption-volcano-anniversary-indonesia-science/>>.

Helgason G. et Dodds P., 2010: NBCNews: Iceland volcano could have world consequences (online) [cit. 2018.02.19], dostupné z <<http://www.nbcnews.com/id/35988484/#.WoqPDeciHIU>>.

Hempel, L. et Thyssen F., 1992: Deep radio echo soundings in the vicinity of GRIP and GISP2 drill sites, Greenland. Polarforschung 62: 11-16.

In-pocasi, ©2017: Archiv počasí, klima České republiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <<http://www.in-pocasi.cz/archiv/klementinum.php>>.

- Jakeš P., 2005: Vlny hrůzy: zemětřesení, sopky a tsunami. Lidové noviny, Praha.
- Jung-Hüttlová A., 2006: Skrytá síla ohně: Mé cesty k činným sopkám Země. Brána, Praha.
- Kadlec J., 2010: Meteor: Sopečná činnost a krátkodobé změny klimatu (online) [cit. 2018.02.27], dostupné z <http://www.rozhlas.cz/meteor/prispevky/_zprava/sopecna-cinnost-a-kratkodobe-zmeny-klimatu--730560>.
- Karolinum (ed.), 2009: Paměti Františka Jana Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770 – 1816. Kniha VI – VII (1810 – 1816).
- Katzerowski, W., 1887: Periodic,t der Überschwemmungen...Leitmeritz: 156 - 171.
- Klingaman W. K. et Klingaman N. P., 2013: The Year without Summer: 1816 and the Volcano that Darkened the World and Chnged History. St. Martin´s Griffin, New York.
- Konček M., (?): Priebeh teploty v Bratislave za 190 rokov. MZ 6/1972.
- Krolmus W., 1845: Kronyka čili děgepis wssech powodni poslaupných let, suchých a mokrých, aurodných a neaurodných na obili, ovoce a wina, hladů, morů, a giných pohrom w králowstwi Českém: Od přichodu nassich pradědů Českoslowanských až po letossni powodně hrůzně s výstrahami poučliwými a prawidly opatrnosti. Wetterl. Praha: 96 – 97.
- Kukliš L., 2006: Gnosis9.net: Sopečné erupce: Katastrofální erupce na Islandu v roce 1783 (online) [cit. 2018.02.25], dostupné z <<http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2006030002>>.
- McKie R., 2017: The Guardian: Scientists discover 91 volcanoes below Antarctic ice sheet (online) [cit. 2018.02.25], dostupné z <<https://www.theguardian.com/world/2017/aug/12/scientists-discover-91-volcanos-antarctica>>.
- Mihulka S. et Voldřichová M., 2011: Masová vymírání v historii Země. Vesmír 90. S. 564-568.
- MyYellowstonePark.com, ©2018: Yellowstone Volcano (online) [cit. 2018.02.25], dostupné z <<https://www.yellowstonepark.com/things-to-do/yellowstone-supervolcano>>.
- Nahodil O. et Robek A., 1960: České lidové kronikářství. Paměti Rumíšků z Javorníků. Orbis. Praha: 40 – 41.

National Geographic, ©2018: The Development of Agriculture (online) [cit. 2018.02.06], dostupné z <<https://genographic.nationalgeographic.com/development-of-agriculture/>>.

Novák J. A., 2011: Smrtící sopky: Putování do středu Země. XYZ, Praha.

Oppenheimer C., 2011: Eruptions That Shook The World. Cambridge University Press, Cambridge.

Palais J.M. et Germani M. S. et Zielinski G.A., 1992: Interhemispheric transport of volcanic ash from a 1259 A.D. volcanic eruption to the Greenland and Antarctic ice sheets. Geophysical Research Letters 19: 801-804

Palais J.M. et Taylor K. C. et Mayewski P.A. et Grootes P.M., 1991: Volcanic ash from the 1362 A.D. Oraefajokull eruption (Iceland) in the Greenland ice sheet. Geophysical Research Letters 18: 1241-1244.

Petránek J., 2007: ČGS: Česká geologická služba (online): Geologické encyklopedie on-line [cit. 2017.11.06], dostupné z <<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>>.

Polák M. Z., 1979: Cesta do Itálie. Praha. Odeon sv. č. 88, Živá díla minulosti.

Rafferty J. P., 2017: Encyclopædia Britannica: Eyjafjallajökull volcano (online) [cit. 2018.02.11], dostupné z <<https://www.britannica.com/place/Eyjafjallajokull-volcano>>.

Redakce Selského archivu (ed.): Paměti starých pismáků moravských. I. svazek.

Kronika Jana Čupíka z Olešnice 1786 - 1819. Velké Meziříčí: 54.

Redakce Selského archivu (ed.): Paměti starých pismáků moravských. I. svazek. Paměti Bysterské III. Výpisy z pamětí Federsellových. Velké Meziříčí: 116 – 117.

Robek, A., (?): Kronika Mikuláše Štělce z Domažlic. Edice XX. a I. rukopis.

Robek A., 1974: Lidové kronikářství na Kralupsku a Mělnicku. Kronika Martina a Františka Nováka z Dřínova u Zlonic. Praha: 100 - 102.

Robek A., 1974: Lidové kronikářství na Kralupsku a Mělnicku. Kronika Františka a Josefa Tadry z Hostína. Praha: 44.

Robek A., 1978: Městské lidové kronikářství na Rychnovsku II. Kronika Anny Koliskové z Jakubovic. Praha: 174.

Robek A., 1979: Lidové kronikářství na Lounsku. 1834. Poznamenání dějících se věcí od roku 1778, pro mě Augustina Kalacha. Praha: 11.

Robek A., 1979: Lidové kronikářství na Lounsku. Kronikářské zápisky Jana Lůžka, učitele ve Vorasicích a Hřivicích. Praha: 116

Soukupová J., 2013: Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na Zemi. Powerprint, Praha.

Staněk V., 2002: Kronika obce Zahrádka u Ledče 1782-1887. Humpolec: 40.

Svoboda J. et Vašků Z. et. Cílek V., 2003: Velká kniha o klimatu Zemí Koruny české. Regia. Praha

Šatra J., 1922: Kronika města Bechyně II. Paměti města Bechyně 1700 – 1914. Rukopis: 136.

Trnka, F., 1912: Kroniky novoměstské Část II. Kroniky Chládkovy I., II. část. Nákladem a tiskem A. Veselého. Nové Město na Moravě: 64 – 65.

Trnka, F., 1912: Kroniky novoměstské Část II. Kroniky Kunstmullerovy. Nákladem a tiskem A. Veselého. Nové Město na Moravě: 62 – 65.

UCAR, ©2018: How Volcanoes Influence Climate (online) [cit. 2018.03.02], dostupné z <<https://scied.ucar.edu/shortcontent/how-volcanoes-influence-climate>>.

USGS, ©2017: Volcano Hazards Program: Mauna Loa (online) [cit. 2018.02.20], dostupné z <https://volcanoes.usgs.gov/volcanoes/mauna_loa/>.

USGS, ©2018: Volcano Hazards Program: Volcanoes can affect the Earth's climate (online) [cit. 2018.03.02], dostupné z <https://volcanoes.usgs.gov/vhp/gas_climate.html>.

Vacek Z., 2015: Reflex: Tambora (online) [cit. 2018.03.12], dostupné z <<http://www.reflex.cz/clanek/causy/73290/tambora.html>>.

Věda a technika, ©2007: Sluneční skvrny a změny klimatu (online) [cit. 2018.03.31], dostupné z <<http://veda-technika.blogspot.cz/2007/09/slunecni-skvrny-zmena-klimatu.html>>.

Vigué J. et Vaccaro J., 2007: 100 Největších přírodních katastrof: Ničivá síla přírody na pěti kontinentech. Rebo, Čestlice

Wood G. D., 2014: Tambora: The Eruption That Changed the World. Princeton University Press, Princeton.

Zielinski G. A. et Mershon G. R., 1997: Paleoenvironmental implications of the insoluble microparticle record in the GISP2 (Greenland) ice core during the rapidly changing climate of the Pleistocene-Holocene transition. *Geological Society of America Bulletin* 109: 547-559.

Zielinski, G.A. et Fiacco R.J. et Mayewski P.A. et Meeker L.D. et Whitlow S.I. et Twickler M.S. et Germani M.S. et Endo K. et Yasui M., 1994: Climatic impact of the A.D. 1783 Asama (Japan) eruption was minimal: Evidence from the GISP2 ice core. *Geophysical Research Letters* 21: 2365-2368.

Žák M., 2017: In-počasi: Jak sopečné erupce ovlivňují klima Země (online) [cit. 2018.02.27], dostupné z <<https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/sopecne-erupce-klima-15.12.2017/>>.

13. Seznam obrázků

- Obr. 1: Ohnivý kruh (USGS ©1999: Understanding plate motions (online) [cit. 2018.02.09], dostupné z <<https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/fire.html>>.
- Obr. 2: Zkamenělé tělo jedné z obětí erupce Vesuvu v roce 79 (Česká televize ©2016: Pompeje: Tajemství zkamenělých těl (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <<http://www.ceskatelevize.cz/porady/10609211537-pompeje-tajemstvi-zkamenelych-tel/21438255802/>>.
- Obr. 3: Pyroklastický proud při erupci Soufrière Hills v roce 2010 (Photovolcanica ©2010: Soufriere Hills Volcano (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.photovolcanica.com/Pictures_V2/Picture_MS10_0717.html>.
- Obr. 4: Působení sopečných plynů a popela v atmosféře (Behringer ©2010: Kulturní dějiny klimatu: Od doby ledové po globální oteplování. Paseka, Praha – Litomyšl).
- Obr. 5: Poloha sopky Tambora (National Geographic ©2016: 201 Years Ago, This Volcano Caused a Climate Catastrophe (online) [cit. 2018.03.12], dostupné z <<https://news.nationalgeographic.com/2016/04/160408-tambora-eruption-volcano-anniversary-indonesia-science/#/Tambora2.jpg>>.
- Obr. 6: Rozsah a síla vrstvy popela z erupce Tambory (De Boer et Sanders ©2002: Volcanoes in Human History: The Far-Reaching Effects of Major Eruptions. Princeton University Press, Princeton).
- Obr. 7: Teplotní anomálie v oblasti Evropy během roku 1816 (Technet ©2014: Největší sopečná erupce moderní doby zabila miliony lidí po celém světě (online) [cit. 2018.03.18], dostupné z <https://technet.idnes.cz/foto.aspx?foto1=MLA528f50_1816_anomalie2.jpg>.
- Obr. 8: Rozšíření pandemie cholery po světě (Behringer ©2010: Kulturní dějiny klimatu: Od doby ledové po globální oteplování. Paseka, Praha – Litomyšl).
- Obr. 9: Záznam vulkanického sulfátu v ledovcových jádrech GISP2 sto let před a po erupci Tambory
- Obr. 10: Počet slunečních skvrn během 200-letého období zahrnujícího rok 1815
- Obr. 11: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Basileji
- Obr. 12: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Berlíně

- Obr. 13: Průměrné roční teploty v letech 1775 - 1875 v Bratislavě
- Obr. 14: Průměrné roční teploty v letech 1780 - 1880 v Budapešti
- Obr. 15: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v De Bilt
- Obr. 16: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Edinburghu
- Obr. 17: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Greenwich
- Obr. 18: Průměrné roční teploty v letech 1770 - 1870 v Klementinu
- Obr. 19: Průměrné roční teploty v letech 1770 - 1870 v Kodani
- Obr. 20: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Miláně
- Obr. 21: Průměrné roční teploty v letech 1785 - 1885 v New Haven
- Obr. 22: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Paříži
- Obr. 23: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 ve Stockholmu
- Obr. 24: Průměrné roční teploty v letech 1780 - 1880 v Torontu
- Obr. 25: Průměrné roční teploty v letech 1765 - 1865 v Trondheimu
- Obr. 26: Průměrné roční teploty v letech 1780 - 1880 ve Vilniu
- Obr. 27: Průměrné roční teploty v letech 1775 - 1875 ve Vídni
- Obr. 28: Průměrné roční teploty v letech 1795 - 1895 ve Vratislavi
- Obr. 29: Průměrné roční teplotní indexy v letech 1715 - 1915 ve střední Evropě
- Obr. 30: 11-letý klouzavý průměr teplotních rozdílů vůči referenčnímu období 1761-1970 v letech 1715 - 1915 ve střední Evropě
- Obr. 31: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1810 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1810&typ=teplota>.
- Obr. 32: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1810 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1810&typ=teplota>.

pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1810&typ=teplota>.

Obr. 33: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1810 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1810&typ=srazky>.

Obr. 34: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1810 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1810&typ=srazky>.

Obr. 35: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1812 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1812&typ=teplota>.

Obr. 36: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1812 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1812&typ=teplota>.

Obr. 37: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1812 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1812&typ=srazky>.

Obr. 38: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1812 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1812&typ=srazky>.

Obr. 39: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1814 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1814&typ=teplota>.

Obr. 40: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1814 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1814&typ=teplota>.

Obr. 41: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1814 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1814&typ=srazky>.

Obr. 42: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1814 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1814&typ=srazky>.

Obr. 43: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1816 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1816&typ=teplota>.

Obr. 44: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1816 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1816&typ=teplota>.

Obr. 45: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1816 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1816&typ=srazky>.

Obr. 46: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1816 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1816&typ=srazky>.

Obr. 47: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1818 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1818&typ=teplota>.

Obr. 48: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1818 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1818&typ=teplota>.

Obr. 49: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1818 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1818&typ=srazky>.

Obr. 50: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1818 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1818&typ=srazky>.

Obr. 51: Přehled extrémů denních teplot v průběhu července roku 1820 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1820&typ=teplota>.

Obr. 52: Přehled extrémů denních teplot v průběhu srpna roku 1820 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1820&typ=teplota>.

Obr. 53: Denní srážkové úhrny v průběhu července roku 1820 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=7&historie_bar_rok=1820&typ=srazky>.

Obr. 54: Denní srážkové úhrny v průběhu srpna roku 1820 (In-počasí ©2017: Měsíční statistiky (online) [cit. 2018.02.07], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_klementinum&historie_bar_mesic=8&historie_bar_rok=1820&typ=srazky>.