

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Fakulta životního  
prostředí

# **KLIMATICKÉ ZMĚNY PO ERUPCI SOPKY TAMBORY V R. 1815**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

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

**Zpracovala:** Shuran Zhao

Praha, 2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Shuran Zhao

Aplikovaná ekologie

Název práce

Klimatické změny po erupci sopky Tambory v r. 1815

Název anglicky

Climatic Changes After The Eruption of Tambora in 1815

---

### Cíle práce

Cílem práce je obecně vypsát změny klimatu, které provázejí velké erupce. Dále pak se zaměřit přímo na erupci sopky Tambora, popsat ji a vyhodnotit následky, které se projeví po celém světě. Zhodnotit především dopady, které pocítily České země – z hlediska chodu počasí.

### Metodika

Práce bude literární rešerše na dané téma. Vlastní vklad studenta spočívá v hledání dokumentárních zdrojů v archivech, především v kronikách, ale také v dobovém tisku. Součástí práce bude graf teplot z raných měření v ČR.

Rámcová osnova (studentka si ji může přizpůsobit):

1. Úvod
2. Obecně změna klimatu po velkých erupcích
3. Tambora – erupce, následky ve světě, vliv na klima, rok bez léta, vyhodnotit změny teploty v letech 1815 – 1817.
4. Následky erupce projevující se v Českých zemích
5. Závěr a zhodnocení

## Doporučený rozsah práce

40

## Klíčová slova

Tambora, erupce, klima, počasí, teploty, 1815,

---

## Doporučené zdroje informací

C. Oppenheimer, Eruptions that Shook the World. Cambridge University Press, 2011.

J. A. Marusek, A chronological listing of early weather events, Sci. Public Policy Institute, Repr. Ser., roč. 580, 2010

J. Vigué, J. Vaccaro, J. Wark, A. Tkáčová, a S. Alderliesten, 100 největších přírodních katastrof: ničivá síla přírody na pěti kontinentech. Rebo, 2007

S. Cao, Y. Li, a B. Yang, Mt. Tambora, Climatic Changes, and China's Decline in the Nineteenth Century, University of Hawaii Press, roč. 23, č. 3, s. 587–607, 2012

Z. Kukul, Přírodní katastrofy. Horizont, 1982.

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 10. 12. 2015

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 12. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2016

**Prohlášení**

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

V Praze, dne 09. 04. 2016

.....

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala mé vedoucí bakalářské práce, Ing. Janě Soukupové Ph.D. za odborné vedení práce, cenné připomínky a rady a především za poskytnutá data a informace pro vypracování práce. Děkuji také svým rodičům za jejich podporu po celou dobu studia.

V Praze, dne 09. 04. 2016

## Abstrakt

Sopečná činnost na planetě Země patří mezi nejběžnější přírodní jevy. Mají stejné stáří jako planeta Země. Některé sopky mají dlouhý životní cyklus, sopčí v intervalech několik desítek až stovek tisíc let nebo ještě déle. Platí, že čím menší frekvence, tím větší erupce. Supererupce 8. stupně VEI jsou schopné zničit celé lidské společenstvo na této planetě. Naštěstí k nim dochází velice řídko z hlediska lidské populace.

Ale k erupcím na nižších stupních už docházejí častěji. Za posledních 10 000 let lidská civilizace zažila jednu největší sopečnou erupci 7. stupně VEI a následkem toho bylo globální ochlazování a hladomor v 19. století. Je to erupce sopky Tambora v roce 1815.

Sopka Tambora během své erupce uvolnila obrovské množství magmatu a sopečných plynů, na které žádná jiná sopka nedosahuje. Také následky způsobené touto erupcí byly závažné, více lidí zemřelo na následné nemoci a hladomor než na přímou erupci. Celé dva roky po erupci byly neklidné na severní polokouli. Ochlazování vyvolané velkým množstvím sopečných plynů a popela ve stratosféře zničilo zemědělská pole, zdevastovalo lidské společnosti a zabilo lidi. Rok 1816 byl proto nazván „rok bez léta“. V bakalářské práci jsem porovnávala počasí v jednotlivých zemích v letech 1815-1817, kdy v dubnu došlo ke gigantickému výbuchu. Řada zdrojů potvrdila neobvyklé počasí v Severní Americe a Asii, ani Evropa nebyla výjimka. Zaznamenané extrémní počasí spočívá především ve vytrvalém dešti, snižování teploty a zvyšování oblačnosti, která jako závoj zahalila celou oblohu. České země byly jedním ze států, které byly ovlivněny erupcí. V českých archivech bylo zaznamenáno ochlazení v letech 1815-1817 a s tím související zdražování hlavních zemědělských produktů, které mělo negativní vliv na tehdejší obyvatele.

Takové erupce představují pro celé lidstvo katastrofální nebezpečí. Nelze se jim vyhnout, ale lze snížit dopady na minimum prostřednictvím monitoringu sopek a jejich aktivit.

Cílem této práce je snažit se popsat a co nejvíc napodobit a obnovit tuto sopečnou erupci z roku 1815 a jí způsobené následky, aby se čtenářům lépe vybavovalo, jak vypadá takový život postižený erupcí a jejími následky. Mou snahou je upozornit na nebezpečí sopečné činnosti a důležitost monitoringu vulkánů.

### Klíčová slova

Sumbawa, vulkány, vulkanická činnost, 1815, 1816, 1817, neúroda, hladomor, oxid siřičitý, sopečný popel, sopečné plyny

## **Abstract**

Volcanic activities belongs to the most common natural events on this planet. They are as old as our planet. Some volcanoes have very long life cycle, their interval of eruptions can be up to tens or hundreds of thousands years. In general, the long interval the large eruption. The super-eruptions on VEI 8 are able to destroy the whole human civilization on the world. Fortunately this kind of eruptions is very rare from the human perspective.

Other weaker eruptions (VEI  $\leq 7$ ) happen more frequently. Human civilization experienced an eruption of VEI 7 in 1815, which was the biggest eruption during last 10 000 years and led to global cooling and famine. That was the biggest volcanic eruption in human history – eruption of volcano Tambora in 1815.

Tambora during its eruption released a tremendous amount of magma and volcanic gases. It has been unsurpassed till now. It had severe consequences, many people were killed by the eruption but even more people died as a result of diseases or starvation related to eruption. In next 2 to 3 years after eruption, Northern Hemisphere was in an unstable condition. A huge amount of volcanic gases and ash released by this eruption was transported into stratosphere that led to global cooling. Just the cooling destroyed many fields and killed lots of people. So that year 1816 get a name as “year without summer”. In my work I collected information and data of weather during 1815-1817 around Northern Hemisphere to compare them and to find out whether the eruption changed the climate after 1815. Many sources recorded an unusual weather in North America, Asia and Europe. In these years, it was always cloudy and persistently rained. The Czech lands were also affected by this eruption. Many Czech sources recorded cold weather in 1815-1817 that related with widespread rise in price of agricultural products. It undoubtedly worsened the already grave situation.

Such these eruptions are big threat to human civilization. We cannot avoid them, but we can reduce the consequences to a minimum by monitoring volcanoes and their activities.

The aim of this work is describe the climatic changes accompanied with the big volcanic eruption of 1815 and its consequences. I'm trying to restoring the details of volcanic eruption. My aim is to draw attention to the danger of volcanic activity and the importance of monitoring volcanoes.

### **Key words**

Sumbawa, volcanoes, volcanic activities, 1815, 1816, 1817, crop failure, famine, sulfur dioxide, volcanic ash, volcanic gases

# Obsah

1.	Úvod: .....	9
2.	Sopky a sopečná činnost .....	9
2.1.	Index sopečné výbušnosti - VEI .....	10
2.2.	Typy sopečných erupcí .....	10
2.3.	Krakatoa .....	11
3.	Tambora .....	13
3.1.	Největší erupce za posledních 10 000 let .....	13
4.	Následky erupce a dopad na klima .....	16
4.1.	Může erupce ovlivnit klima? .....	16
4.2.	Jak erupce ovlivňují klima .....	17
4.3.	Optické jevy .....	18
4.4.	Dopad na klima: .....	19
4.4.1.	Rok 1815 .....	19
4.4.2.	Rok 1816 .....	20
4.4.2.1.	Asie .....	20
4.4.2.2.	Čína .....	20
4.4.2.3.	Amerika .....	20
4.4.2.4.	Evropa .....	22
4.4.2.5.	Irsko .....	23
4.4.2.6.	Francie .....	24
4.4.2.7.	Německo .....	24
4.4.2.8.	Itálie .....	25
4.4.2.9.	Švýcarsko .....	25
4.4.3.	Rok 1817 .....	26
4.4.4.	České země: .....	26
4.4.4.1.	Rok 1815 .....	27
4.4.4.2.	Rok 1816 .....	27
4.4.4.3.	Rok 1817 .....	31
5.	Předpověď a varování .....	31
6.	Diskuze a závěr .....	33
7.	Seznam použité literatury .....	35
7.1.	Historické archivy .....	37
7.2.	Seznam obrázků: .....	38



## 1. Úvod:

Naše planeta Země vznikla zhruba před 4,6 miliardami let a zažila za tu dobu již spoustu přírodních katastrof. Sopečná činnost je právě jedna z těch katastrof, která pro nás představuje velké hrozby. V dávných dobách během pleistocénu docházelo mnohokrát k supererupcím, které měly gigantické dopady na klima, některé se dokonce podílely na nevratné změně klimatu na této planetě. V moderní historii, zhruba posledních 10 000 let, nedošlo k žádné supererupci. Ale v roce 1815 došlo k jedné erupci, která sice nebyla považována za supererupci, není srovnatelná se supererupcemi odehrané v pleistocénu, ale měla katastrofální dopady na klima v globálním měřítku. Je to erupce sopky Tambora v dubnu 1815. Cílem této práce je zaměřit se na tuto největší sopečnou katastrofu v novodobé historii, prozkoumat průběh erupce, produkty erupce a následný dopad na klima a lidské společnosti.

## 2. Sopky a sopečná činnost

Sopka Tambora se nachází v Indonésii, v zemi sopek. Nachází se zde přes 400 sopek, z nichž přibližně 130 činných sopek. 24 je pak nebezpečných natolik, že jsou neustále sledovány (Steele 2003).

Ničivé výbuchy sem patřily a stále patří. Roku 1772 došlo k ničivé explozi sopky Papandayan. Jde o první zaznamenanou erupci této sopky, během které bylo zničeno přes 40 vesnic v okolí (Novák 2011).

Rok 1883 se stal dalším důležitým rokem v historii díky erupci sopky Krakatoa. Ohlušující burácení výbuchu sopky bylo slyšet až na ostrově Rodriguez vzdáleném 4776 km. Erupce vyvolala i vlny tsunami. Počet obětí dosáhl až 36 000.

Sopečná činnost představují pro celé lidstvo katastrofální nebezpečí. Pro naši planetu Zemi v dlouhém časovém horizontu to však není nic obvyklého. V průměru za 100 000 let se vyskytne jedna obrovská erupce s globálním dopadem. Pro lidskou civilizaci je to ale jednoznačná katastrofa. Erupce takového rozsahu může klidně zdevastovat celou Evropu a ještě změnit klima na několik následujících let (Sparks et al. 2005).

Roku 1999, David Keys (1999) ve své knize Catastrophe napsal, že nikoliv pád západořímské říše ukončil věk antiky, ale právě až dramatické globální ochlazení způsobené erupcí sopky Ilopango v letech 535 a 536 definitivně ukončilo toto legendární období a nastartovalo vývoj civilizace novým směrem: začal středověk.

Naštěstí v lidské historii se neobjevila žádná další obrovská erupce. Poslední známé supererupce se silou VEI 8, což je nejvyšší stupeň indexu sopečné výbušnosti, se odehrávaly v pleistocénu, dvě z nich byly zaznamenané během posledních 100 000 let. Velmi známá sopečná erupce Toba se odehrála cca před 75 000 lety, během níž se vyprodukovalo přes 2 500 km<sup>3</sup> magmatu (Chesner a Rose 1991). Nejnovější erupce se silou VEI 8 byla zaznamenána na Novém Zélandě zhruba před 25 000 lety. Sopka Taupo během své erupce vychrlila až 530 km<sup>3</sup> tefry (Vandergoes et al. 2013).

Zde platí, čím je větší erupce, tím je menší její frekvence. Jednou či dvakrát do

sta let se vyskytne erupce VEI<6 např. erupce Krakatoa či Pinatubo. Erupce s několika desítkami kilometrů krychlových magmatu jako erupce Tambora VEI 7 se objeví tři až pětkrát za tisíc let (Sparks et al. 2005).

## 2.1. Index sopečné výbušnosti - VEI

Pro vyhodnocení síly sopečné erupce a také pro sjednocení popisu sopečné erupce, v roce 1982 sestavili Chris Newhall a Stephen Self index sopečné výbušnosti – Volcanic Explosivity Index (dále jen VEI). Index vyhodnocuje sílu sopečné erupce na základě množství a výšky vyvrženého materiálu. Stupnice je v rozmezí 0-8. Je to logaritmická stupnice, znamená to, že každý další stupeň je desetkrát silnější než předchozí. Za největší sopečné erupce, na stupnici VEI 8, jsou považovány takové erupce, které vyvrhly víc jak 1 000 km<sup>3</sup> materiálu (Mason et al. 2004). V moderní historii našťestí nedošlo k žádné obrovské erupci VEI 8, která by byla nebezpečná pro celé lidstvo. Největší riziko během posledních 10 000 let představilo několik sopečných erupcí, které jsou klasifikovány 7. stupněm VEI. Byly to např. erupce sopky Tambora na indonéském ostrově Sumbawa v roce 1815, Krakatoa v roce 1883 a Pinatubo v roce 1991.

## 2.2. Typy sopečných erupcí

Sopky jsou rozlišeny podle typů erupcí na základě toho, jakým způsobem je magma vyvrženo ven. Přestože existuje řada kombinací sopečných erupcí, lze najít pravidla a určit hlavní typy erupcí. Na začátku 20. století byly popsány 4 hlavní typy erupcí, dostaly jméno: havajská, strombolská, vulkanická a péléská. Liší se především vývojem pyroklastického oblaku. Na Obr. 1 je vidět, jaké výšky dosahují pyroklastické oblaky u jednotlivých typů erupcí. S vývojem techniky a vědy bylo objeveno více erupcí, které neodpovídaly těmto 4 hlavním typům, proto se doplnilo o další typy erupcí. Dnes stále existuje mnoho nepopsaných typů erupcí, které nemají jasné hranice, může se jednat o kombinaci více typů (Scarth 1994).

Zde je popis 4 základních erupčních typů:

- Havajská je méně častá, zpravidla klidná erupce. Po nízkotlaké erupci vytéká obrovské množství horké lávy a vytváří dlouhé proudy (Steele 2003).

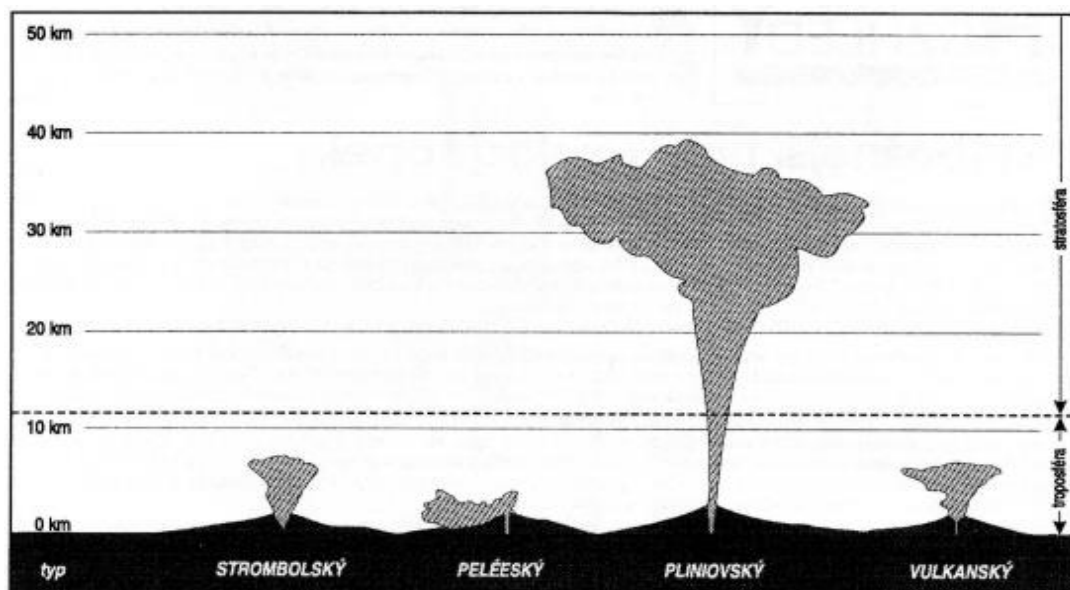
- Strombolská erupce představuje jednoduchý typ erupce, která je charakterizována častými, periodickými nízkotlakými erupcemi vyvrhujícími kameny, kapky lávy a plyny (Steele 2003). Dostala jméno po italské sopce Stromboli. Tato sopka je nepřetržitě činná, vykazuje neustálou aktivitu. Kromě sopky Stromboli sem patří taky italská sopka Etna (Steele 2003).

- Vulkánská: pravidelné vysokotlaké erupce vyvrhují hustou lávu a obrovské kvádry.

- Péléská erupce obsahuje velké množství plynů, exploduje za nízkého tlaku. Mohutný mrak žhavých plynů, popela a kamení se valí dolů po svahu hory. Tento typ erupce dostal jméno po sopce Mt. Pelée na ostrově Martiniku, Francie (Steele 2003).

- Plinijská erupce: magma bohaté na plyny exploduje uvnitř hory. Uhlíky, popel a

plyny jsou vystřeleny až do výše 30 km (Steele 2003).



Obr. 1: Nejběžnější typy explozí sopek (URL 1)

Sopky se dále dělí na činnou, dřímající a vyhaslou.

Činná sopka je taková, která má zaznamenanou aktivitu v historii. Sopky, u kterých jsme nezaznamenali žádnou aktivitu v historii, považujeme za dřímající či vyhaslou (Jakeš 2005). Dřímající na rozdíl od vyhaslé sopky má stále zásobu magmatu, i když nedošlo nikdy k erupci v historické době.

Nelze ale stoprocentně určit charakter sopky. Některé vulkány soplí jednou za 100 000 let a lidé to nemusí vůbec tušit. Časový horizont, kdy se na Zemi vyskytují lidé, je příliš krátký. Tambora je právě tento případ. Tambora byla považována za dřímající sopku až do roku 1812 (Oppenheimer 2003). Vzbudila se po 5 000 letech klidu a dala světu najevo o svou existenci.

### 2.3. Krakatoa

Krakatoa je anglický název pro tuto indonéskou sopku. Zároveň se používá název Krakatau přeložený přímo podle indonéského hláskování. Oba názvy jsou platné. Zde používám název Krakatoa.

Sopka se nachází v Indonésii, stejně jako Tambora. V roce 1883 došlo k sérii výbuchů, která vyvolala i vlny tsunami.

Tato erupce představila velkou katastrofu pro lidstvo nejen díky síle erupce ale i následkům na lidstvo. Avšak byla možnost snížit následky na minimum. Příroda již před erupcí dala spoustu znamení, že se bude dít něco hrozného. Kdyby tehdy vědci disponovali znalostmi, které jsou k dispozici dnes, mohli by předvídat tuto erupci a udělat vše pro minimalizaci následků erupce. Avšak se nenašel nikdo, kdo by se té aktivní sopce věnoval soustavně.

Už jen to místo nepředstavovalo nic bezpečného. Sopka Krakatoa se nachází na jedné z nejneklidnějších oblastí zemské kůry. Eurasijská deska se tu sráží

s indoaustralskou, z nichž každá se pohybuje odlišným směrem. Málokdy existuje měsíc, během kterého neproběhl aspoň malý otřes (Novák 2011).

Varování přišlo už několik let před erupcí. Vyskytlo se několik zemětřesení, která dala najevo, že se v podzemí něco děje. Právě díky zemětřesením se postupně naplňovala zásobárna magmatu (Novák 2011). Období před velkou erupcí bylo zvláště neklidné. První známky zvýšené vulkanické aktivity se objevily v květnu 1883. 20. května posádka lodě „Elisabeth“ spatřila oblak vystupující z kráteru, který dosáhl výšky až 11 km. Ve stejný den proběhl také několik zemětřesení (Schröder 2003). Od té doby se země neustále chvěla. Nad sopkou stál nepřetržitě vysoký sloup dýmu a všude padal prach, až zahalil i Slunce. Lidé měli stále více a více strach.

Najednou to vše přestalo, erupce se postupně oslabovaly a odhalilo se Slunce. Lidé si tehdy mysleli, že to mají již za sebou. Avšak nevěděli, že to nejhorší je teprve čeká (Novák 2011).

Samotná erupce začala již v noci mezi 26. a 27. srpnem 1883 a postupně zesílila. Až v 10 hodin přišla poslední a nejsilnější erupce. V tom okamžiku se uvolnila energie srovnatelná s explozí 13 tisíc jaderných pum svržených na Hirošimu. S tak obrovským množstvím energie dvě třetiny ostrova vyletěly do povětří a posléze spadly do moře. Ohlušující burácení výbuchu sopky bylo slyšet až v Austrálii. Erupce vyvolala i vlny tsunami, které zabily nejvíce lidí (Novák 2011). Odhady přesáhly 36 000 obětí, celkově bylo vymršťeno 18 km<sup>3</sup> sopečného materiálu, který však představuje necelou polovinu množství, které vychrlila sopka Tambora v roce 1815. I tak způsobilo takové množství sopečného materiálu globální ochlazení na pár měsíců (Whyte 2013).

Avšak to nebyl konec. Dlouho dobu tu vládl klid, až přišel rok 1927. V tomto roce vyrostl z moře kráter soptícího vulkánu a je na světě nová sopka Krakatoa. Lidé tento kráter považují za syna Krakatoy, proto dostal jméno Anak Krakatoa – Syn Krakatoy (Novák 2011).

Přestože její erupce nepatřila mezi největší erupce v historii, sopka Krakatoa patří mezi nejnebezpečnější sopky na světě a je pod stálým dohledem vulkanologů kvůli častým sopečným aktivitám.

Léto a podzim roku 2010 bylo pro sopku Krakatoa zvláště aktivní rok. Sopka během pouhého dne soptila několiksetkrát. Družice Earth Observing-1 (EO-1) zachytila její soptící moment v 17. listopadu 2010 (viz Obr. 2).



Obr. 2: *sopťící Krakatoa. Listopad 2010 (URL 7)*

### **3. Tambora**

Sopka Tambora se nachází na ostrově Sumbawa v Indonésii. Její erupce v roce 1815 doslova šokovala celý svět. Tato erupce je vůbec nejsilnější erupce za posledních 10 000 let.

Tambora byla nejvyšší bod ve Východní Indii. Stothers (1984) předpokládal, že její výška musela přesáhnout 4300 m. Nikdy už nelze zjistit, kolik přesně měřila, protože celá horní část kužele sopky byla vystřelena do povětří a propadla zpět během její největší erupce, v dubnu roku 1815 (Tanguy et al. 1998). V místě po propadnutí vznikla kaldera o průměru 7 km a hluboká 700 m (Kukal 1982).

Kaldera se moc neliší od sopečného kráteru. Též vzniká zhroucením vrcholu sopečného kužele. Za kalderu jsou považovány krátery měřící v průměru více než kilometr. Některé kaldery mohou být naplněny vodou a změní se v jezera (Řezníčková 2003).

Sopka Tambora patří mezi stratovulkány. Název tohoto typu pochází od slova strata, což znamená vrstvu. Je to vulkán vrstvený, kde se střídají vrstvy popela s lávami. Tento typ vulkánu nevzniká jednou erupcí, ale více erupcemi, aby se vytvořily vrstvy (Jakeš 2005).

#### **3.1. Největší erupce za posledních 10 000 let**

Velká erupce v roce 1815 nebyla bez žádné přede hry. Sopka již několik let před samotnou erupcí jevila známky neklidu. V roce 1812 bylo slyšet časté hřmění a z kráteru stoupal hustý černý dým. Byla to známka toho, že se magma postupně naplňovalo a vystupovalo k povrchu Země. O 3 roky později, 5. dubna 1815, pár dní před největší erupcí, začala první série malých otřesů, které trvaly zhruba 2 hodiny. Poté byl chvíli klid a začala další série. Tak to trvalo až do druhého dne.

Místním obyvatelům to ze začátku připomnělo střelbu z děl. Ale všudypřítomný sopečný prach jim tu myšlenku vyvrátil. Obyvatelé požádali úřad o pomoc v prozkoumání sopky a úřad vyhověl. Muž jménem Israel dorazil 9. dubna na ostrov Sumbawa. Než stihl něco vyzkoumat, už bylo pozdě. 10. dubna, večer kolem 19. hodin, vše vypuklo (Oppenheimer 2003).

Z místa cca 30 km od sopky na ostrově Sanggar byly vidět 3 „ohnivé“ sloupce lávy vystřelující z kráteru sopky Tambora do velké výšky. Během malé chvíle už tekla všude láva. Kolem 20. hodiny na Sanggar začaly padat až 20 cm velké kousky tufu a poté následoval popel. Ohlušující výbuchy byly slyšet až za 2600 km na ostrově Sumatra (Stothers 1984).

Série erupcí trvaly déle než 3 dny a smrtelná láva, tuť, plyn a popel se šířily rychlostí 600 km/hod (400 miles/hour) a zničily vše, co jim stálo na cestě (Tarshis 2014).

Foden (1986) zkoumal dlouho erupci Tambora a sestavil model pro tuto erupci. Jeho teorie spočívá v tom, že v období před erupcí docházelo v magmatickém rezervoáru k postupnému chladnutí magmatu za přítomnosti velkého množství vody. Magmatický rezervoár byl umístěn zřejmě v hloubce 1,5 až 4,5 km. Vytváří se tu velký tlak plynné fáze.

Cesta ven ze sopouchu byla uzavřena, tlak stále stoupal, ale nemohl unikat. Teplota se v tu chvíli pohybovala kolem 700 – 850 °C. V okamžiku, kdy byl dosažen tlak uvnitř sopky 4-5 Kbaru, došlo k erupci (Foden 1986). Při obrovské explozi vyhodila dóm do 1 300 m výšky a v místě vznikla 1 100 m hluboká, 7 km široká kaldera (Whyte 2013). Energie uvolněna během této erupce byla podle Fodena (1986) srovnatelná s 30 000 megatunami TNT.

Síla erupce přesáhla kteroukoliv erupci za posledních 10 000 let. Na indexu VEI je hodnocena 7. stupněm. Zvuk výbuchu se dostal až za 2 600 km; sopečný popel až za 1 300 km (viz Obr. 3). Byla to také jedna z erupcí, během které se uvolnilo nejvíc sopečného popela. Popel pokryl spoustu ostrovů, sousední ostrov Lombok byl dokonce pokryt 60 cm vrstvou popela (viz Obr. 4). Vesnice byly zdevastovány, všechna lidská sídla byla zakryta popelem. Pyroklastický oblak vystoupil do výšky 43 km a zatemnil oblast do 600 km daleko po celé dva dny. Během 24 hodin uvolnila 150 km<sup>3</sup> popela a 25 km<sup>3</sup> tefry (Stothers 1984).

Celkem vulkán vystříkl 50 km<sup>3</sup> magmatu v ekvivalentu horniny o stejné hustotě, které během erupce vyprodukovalo a uvolňovalo do stratosféry přes 64 Mt síry. Následkem toho bylo, že se ve stratosféře vytvořilo 200 Mt aerosolu z oxidu siřičitého, který přetrvával a volně se přenášel ještě dlouhou dobu po erupci, a který způsobil v následujících letech optické jevy i ochlazení na celé severní polokouli (Oppenheimer 2003).



Obr. 3: Mapa Tambory a okolí. Kruh obklopuje všechna místa, kam se dostal sopečný popel po erupci Tambory v roce 1815 (Stothers 1984)

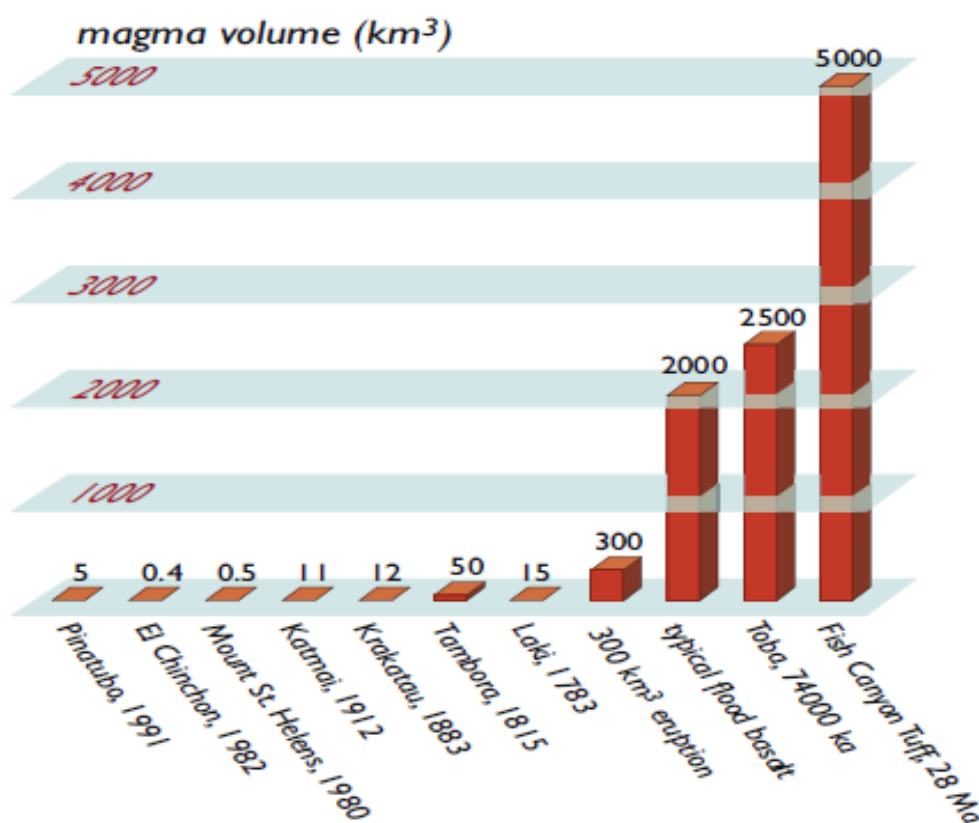
Lokalita	Vzdálenost od Tambory (km)	čas dopadu sopečného popele	tloušťka vrstvy popela (cm)
		<b>10. dubna</b>	
Tambora	<20	19:00	90
Sanggar	30 (východ)	22:00	tlustá
		<b>11. dubna</b>	
Bima	90 (východ)	7:00	10
Makassar	380 (sever)	11:00	4
Sumbawa (město)	60 (západ)		tlustá
Lombok	200 (západ)		60
Bali	300 (západ)	ráno	tlustá
Banjuwangi	400 (západ)	13:00	22
Panarukan	450 (západ)		5
Sumenep	470 (západ)	16:00	5
Besuki	500 (západ)	16:00	5
Probolinggo	530 (západ)		5
Surabaja	590 (západ)	22:00	tenká
Gresik	600 (západ)	večer	tenká
Rembang	740 (západ)		tenká
Surakarta (Solo)	790 (západ)		tenká
Jogjakarta	830 (západ)		tenká
Semarang	840(západ)		tenká
Tagal	890 (západ)		nepatrná
Jakarta (Batavia)	1260 (západ)		nepatrná
Banten	1330 (západ)		nepatrná

Obr. 4. místa, kam se popel dostal při erupci Tambora v dubnu 1815 (Stothers 1984; Zollinger 1855)

Škody na lidských životech byly nesmírně velké, přestože není známo přesné číslo. Je možné setkat se s odhadem na 100 000 lidí, avšak toto číslo nemusí odpovídat skutečnosti. Van den Broeck (1834) zveřejnil toto číslo ve svém článku, přestože neposkytl žádný důvěryhodný zdroj, proto nelze spoléhat na toto číslo (Tanguy et al. 1998).

Jediný, kdo poskytl spolehlivá data, byl Raffles (1817) a zejména Zollinger (1855), který pobýval několik měsíců na ostrově Sumbawa. Na základě jeho údajů se navrhlo přibližné číslo: 11 000 lidí zemřelo přímo po sopečné erupci a zhruba 49 000 lidí zemřelo později na následky erupce – hladomor a epidemii (Tanguy et al. 1998).

Avšak to není konec. Na tu samotnou erupci lidé brzy zapomněli, ale co nemohli ignorovat, byly následující 2-3 roky, během kterých bylo klima silně ovlivněno, došlo k ochlazení klimatu v globálním měřítku, které se týkaly i Evropy a s tím související hladomor a epidemie.



Obr. 5 Porovnání množství magmatu uvolněného během historických erupcí (Sparks et al. 2005)

## 4. Následky erupce a dopad na klima

### 4.1. Může erupce ovlivnit klima?



Jedno a půl století později (po erupci Tambora), americký oceánograf Henry Stommel a jeho manželka Elizabeth vydali spolu článek „Rok bez léta“ (Stommel a Stommel 1979), ve kterém zveřejnili jejich názor na vliv a dopad erupce na klima. Psali o tom, že hned v následujícím roce se objevily vražedné mrazy v Nové Anglii a Evropě, což mělo za následek nedostatek potravin a ceny potravin se několikanásobně zdražily. Rok 1816 dostal zároveň jméno „Eighteen Hundred and Froze to Death“.

Manželé Stommelovi nebyli první, kdo položil otázku: zda má erupce vliv na klima. Již v roce 1901 dvojice švýcarských vědeckých pracovníků upozornil na tuto problematiku: během erupce se uvolní spousta plynů a popela do ovzduší, které mohou bránit dopadu slunečních paprsků a způsobit tak dobu ledovou. Bohužel tehdejší vědci neměli dost důkazů, resp. změřených dat o globálních teplotních výkyvech.

Poté jedna sopečná erupce z roku 1912 znovu vzbudila pozornost několika vědců na souvislost mezi erupcí a klimatem. William Jackson Humphreys se vrátil proto zpátky k erupcím sopky Tambora a Krakatoa a přišel na názor, že erupce Tambora nese zodpovědnost za ochlazení klimatu rok poté. Avšak ani jeho argumenty nebyly přijímány širokou veřejností a od roku 1912 až do 1963 zůstala tato diskuze bez výsledku. Poté až objevení vodíkové pumy vrátil vědce k této diskuzi. V sedmdesátých letech dvacátého století začali vědci NASA (Národní úřad pro letectví a kosmonautiku) soustavně studovat souvislost mezi erupcemi a klimatem. Štěstí bylo, že krátce poté, co začali vědci zkoumat tuto souvislost, došlo k sérii sopečných výbuchů: sopka St. Helens (1980), El Chichón (1982) a konečně ten největší výbuch dvacátého století – sopka Pinatubo v roce 1991. Tyto sopečné výbuchy vědcům poskytly spoustu dat k průzkumu a konečně přišli na odpověď: sopečné exploze způsobují globální ochlazení. Ovšem závisí také na různých faktorech např. VEI, umístění sopky a chemické složení plynů sopky (Tenenbaum 2009).

## 4.2. Jak erupce ovlivňují klima

Sopečné aktivity často přináší negativní dopad na naše životní prostředí, z toho sopečný popel a plyny představují největší riziko pro klima, protože brání dopadu slunečního záření na zemi a dochází k ochlazení zemského povrchu (Sparks et al. 2005).

Složení sopečných plynů se velice liší od jednotlivých erupcí. Největší zastoupení sopečných plynů tvoří vodní pára, poté oxid uhličitý a oxid siřičitý. Dále sopečné plyny mohou obsahovat fluorovodík, chlorovodík, metan, oxid uhelnatý atd.

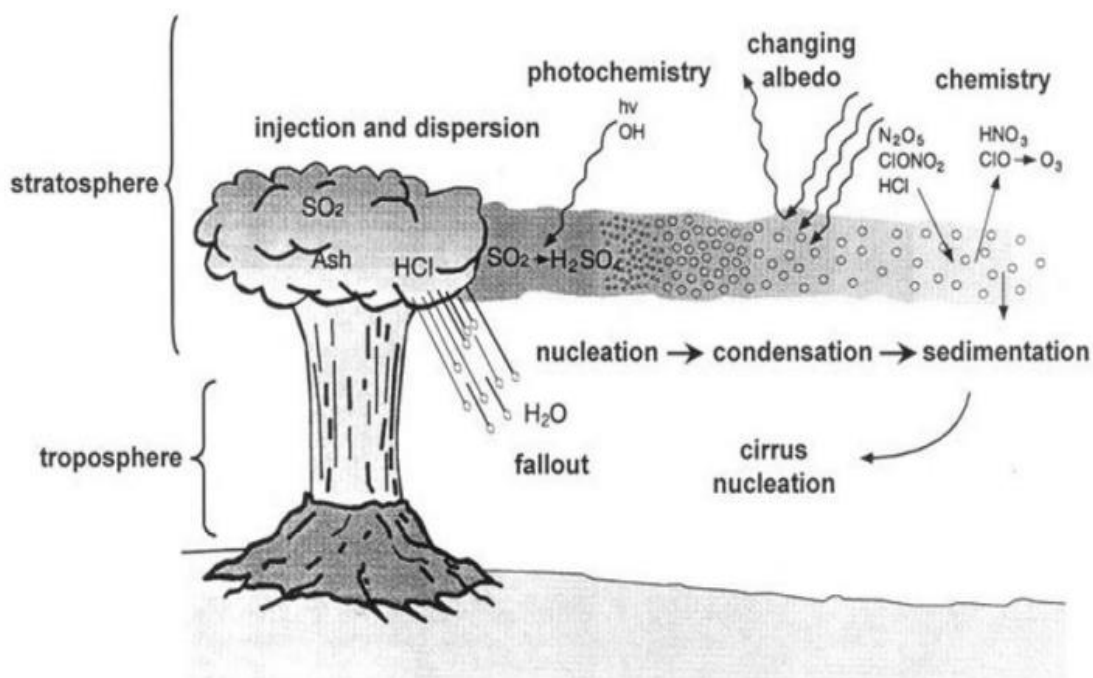
Oxid uhličitý je hlavním skleníkovým plynem, který propouští sluneční paprsky dopadající na povrch Země, ale naopak brání jejich úniku, což vede k ohřívání Země.

Oxid siřičitý se po erupci přemění v aerosoly a pohybuje se v atmosféře. Tyto aerosoly mají schopnost odrážet sluneční záření dopadající na planetu, čímž zabraňuje pronikání paprsků k povrchu. Důsledkem velkého množství oxidu siřičitého v atmosféře je ochlazování zemského povrchu (viz Obr. 6).

Sopečné plyny jsou většinou jedovaté pro lidi a ostatní organismy, např. zvířata,

rostliny, zemědělské plodiny. Sopečné plyny většinou postihují oblasti v bezprostřední blízkosti erudované sopky. Pokud se jedná o velkou erupci, během které se uvolní velké množství sopečných plynů, může mít mnohem rozsáhlejší, někdy i globální dopad (McGee et al. 1997).

Velká erupce nemusí vždy způsobit velké škody na klima, např. velká erupce sopky Krakatoa v roce 1883 neměla až tak velký dopad na klima. Sopečná erupce s největším množstvím uvolněných emisí  $\text{H}_2\text{SO}_4$  za posledních 500 let patří sopce Laki na Islandu v roce 1783, celkem bylo uvolněno  $280 \cdot 10^6$  tun  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Ale měla mnohem nižší dopady na klima než Tambora s o něco nižším množstvím  $220 \cdot 10^6$  tun, protože se do stratosféry dostalo mnohem méně emisí (Clausen a Hammer 1988).



Obr. 6: Dopad vulkanické erupce na klima (Mathez a Webster 2004)

### 4.3. Optické jevy

Na základě řady dat a jevů z erupce sopky Tambora lze tvrdit, že se sopečné plyny dostaly do stratosféry a přetrvávaly dost dlouho.

Při erupci pyroklastická oblaka vystoupají vysoko do ovzduší. Během pár dní až týdnů hrubší částice spadnou na zemský povrch díky atmosférické cirkulaci, ale jemné částice, sopečný popel a plyn obsahující především oxid siřičitý přetrvávají ve stratosféře a jsou volně přenášeny větrem. Optické jevy pak vznikají odrazem slunečních paprsků na sopečném popelu (Stothers 1984).

Po erupci Tambora se právě objevily typické optické jevy spojené se sopečným popelem. Na přelomu června a července, pak později celé září roku 1815 mohli obyvatelé Londýna pozorovat zvláštní krásně zbarvené západy Slunce a soumraky. Bylo jasně poznat, že se nejednalo o častý jev v Londýně – smog (Stothers 1984). Soumrakové záře měly oranžovou či červenou barvu v blízkosti horizontu, nad tím fialová až růžová barva, někdy doprovázeny tmavými pruhy (Oppenheimer 2011).

Optický jev byl právě zachycen J. M. W. Turnerem na jeho obraze (viz Obr. 7)



Obr. 7: Chichester Canal – obraz znázorňuje optický jev po sopečné erupci. (URL 11)

#### 4.4. Dopad na klima:

Při erupci Tambora bylo vyvrženo až 60 milionů tun síry do stratosféry a nebe zahalil hustý aerosolový závoj, který zabraňoval slunečním paprskům dopadat na zemský povrch. Vzhledem ke gigantickému množství aerosolu ve stratosféře, jeho vliv na klima se neomezoval pouze v rámci regionu, ale rozšířil se na celou severní polokouli včetně Evropy (Oppenheimer 2003).

##### 4.4.1. Rok 1815

V roce 1815 po erupci Tambora došlo na více státech ke zvláštní změně počasí. V Londýnském archivu (1771-1821) bylo zaznamenáno, že roční období v tomto roce v Kanadě se výrazně posunulo. Sníh padal v Kanadě v květnu a listy na stromech se objevily až po 4. června V městě Quebec se objevil silný mráz v srpnu (Fagan 2007).

Severní Amerika nebyla jediný kontinent, který byl postižen ihned po erupci Tambora. V Itálii lidé museli topit v létě. Ve svém cestopise Polák (1979) napsal takto: „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 zábilo, 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 nepamatuji 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 všichni zimou pláště vzíti přinuceni jsme byli.“*

#### **4.4.2. Rok 1816**

Rok 1816, rok po erupci Tambora, se choval velmi divně. V řadě zemí zaznamenali neobvyklé počasí, které se velice lišilo v různých regionech (Mathez a Webster 2004).

Zvlášť chladné počasí v následujícím roce po erupci zasáhlo severovýchodní část USA, pobřežní provincie Kanady a Evropu. Rok 1816 se tak stal „rokem bez léta“ díky neobvykle chladnému počasí (Oppenheimer 2003).

Frekventované severozápadní chladné proudy vzduchu často přinášely mráz a sních do Nové Anglie a Kanady a deště do Evropy. Mnoho oblastí postihla neúroda, erupce měla také za následek zrychlení migrace z Nové Anglie a vypukla epidemie tyfu. Hladomor, epidemie a sociální problémy ještě více ztížily životy obyvatel po Napoleonových válkách. Tyto události nám poskytují velmi důležité informace o vlivu sopečné erupce na klima a o celosvětových rizicích budoucích erupcí podobného měřítká (Oppenheimer 2011; Stothers 1984).

##### **4.4.2.1. Asie**

Na Indickém subkontinentu bylo klima v období od léta 1815 do 1818 totálně rozrušené.

V Indonésii kvůli nedostatečné hygieně, znečištěným zdrojům vody a nedostatku potravin hrozily lidem, kteří přežili tuto historicky největší erupci, nakažlivé nemoci. Průjmy spojené s pitím ze sopečným popelem znečištěného vodního zdroje se objevily ihned po erupci (Oppenheimer 2011).

V Japonsku a velkých částech Číny lidé zažili extrémní počasí v tomto období. Naopak v Jižní Americe a Severní Africe, tamní zdroje nepotvrdily nijak extrémní počasí. Ochlazení bylo jen nepatrné (Mathez a Webster 2004).

##### **4.4.2.2. Čína**

Hladomor přetrvával v mnoha oblastech Číny po celé 3 roky od 1815 do 1817. V řadách archivů je uvedeno neobvyklé sucho a s tím související nedostatek vláhy pro zemědělské plodiny jako důvod nedostatku potravin. Avšak skutečná příčina byla neobvyklá zima po celé tři roky a s tím spojená neúroda. Rok 1816 byl v Číně mimořádně studený. V městě Kunming zaznamenali snížení teploty v srpnu o 2,5-3°C. V jiných městech či vesnicích mohlo být ochlazení ještě výraznější. Ochlazování v letech 1815-1817 zasáhlo celou Čínu, avšak pouze v některých oblastech způsobilo velké škody a to např. v podhorských oblastech, kde bývalo v létě chladněji než v nížinách a v severních oblastech, kde zemědělcům vadily podzimní mrazy (Yang et al. 2005).

##### **4.4.2.3. Amerika**

Lidé v Severní Americe vnímali léto 1816 jako velmi studené a suché. Krutá zima

zasáhla Novou Anglii od června do srpna, v době dozrávání a sklizně zemědělských plodin. Způsobilo to velké škody na zemědělských plochách, sklídilo se daleko méně plodin a lidé v tomto a následujícím roce trpěli na nedostatek potravin.

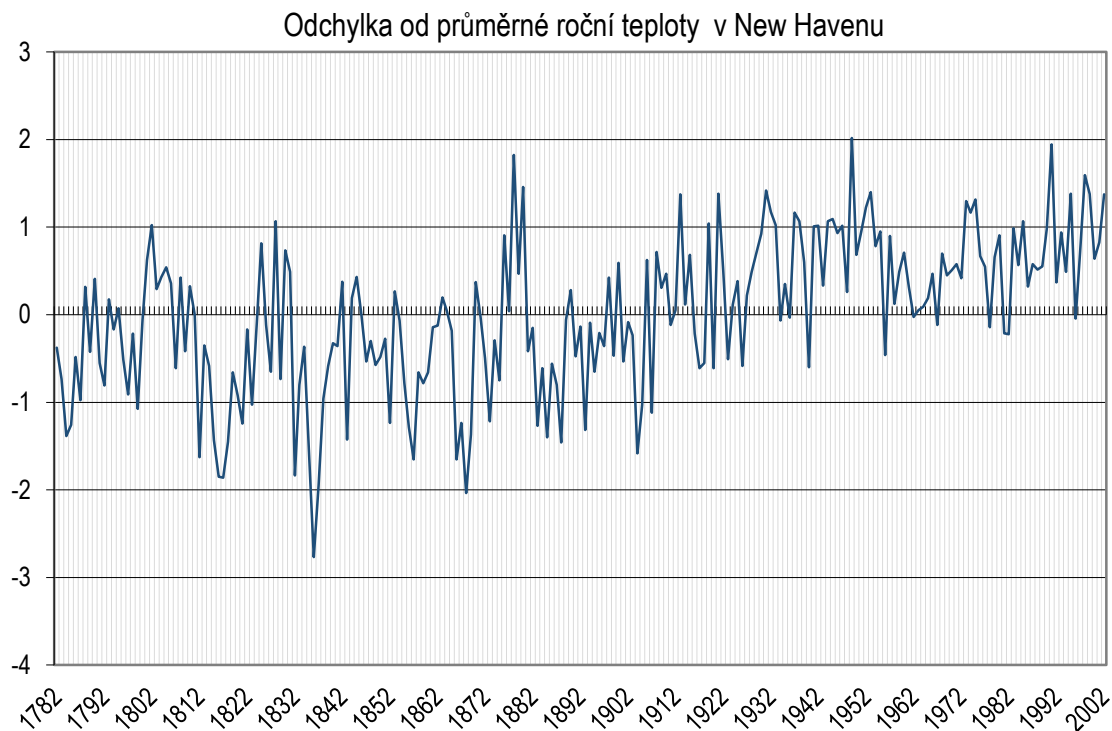
Na území Koloradské plošiny byly změřeny letokruhy stromů, které indikují nižší růstové tempo v tomto období, což potvrzuje chladnější a mokřejší počasí (Mathez a Webster 2004).

Profesor Jeremiah Day, děkan fakulty v Yale v New Havenu, Connecticut, měl v létě roku 1816 na starosti pořizovat na této univerzitě teplotní záznamy, jakousi trvalou kroniku počasí, jež měla počátek už v roce 1779 (viz Obr. 7). Dayovy údaje za červen 1816 jsou tak nízké, až to bere dech: s průměrem 18,4°C byla teplota o 2,5°C nižší, než činil průměr v letech 1780 až 1968. V New Havenu nebylo onoho měsíce tepleji než v Quebecu v Kanadě. Byl to vůbec nejstudenější zaznamenaný červen.

Suché jaro se toho roku zpozdlilo a ještě uprostřed května uhodily mrazy. Přesto bylo zaseto obilí. Když vyrašilo, z Kanady se přihnaly tři vlny neobvyklého chladu a rozšířily se po Nové Anglii. Pět dní od 5. do 10. června vanul v kraji výjimečně studený vítr. V severní Nové Anglii napadalo osm až patnáct centimetrů sněhu, než se počasí umoudřilo. Na Vermont se snesl prudký déšť, jež 9. června vystřídal dokonce sníh. Sněhová pokrývka se rozprostřela po návrších, kde uvázly desítky ovcí.

V New Havenu udeřily poslední jarní mrazíky 11. června, o dvacet dní později než ve všech ostatních letech tohoto desetiletí. První podzimní mrazy přišly o pětatřicet dní dřív, už 22. srpna. I kdybychom nevzali v úvahu výjimečný červencový mráz, vegetační období roku 1816 bylo o pětapadesát dní kratší než obvyklých sto padesát pět dní, z velké části v důsledku erupce Tambory na opačné straně světa.

Pravou obětí léta se stala kukuřice, základní potravina Nové Anglie v 19. století. Pro lidskou spotřebu byla v roce 1816 vhodná pouhá čtvrtina kukuřičné úrody. Zbytek byl nezralý a plesnivý, sotva se hodil i pro skot a prasata. Ceny potravin všeho druhu se prudce zvýšily. Brambory z Maine podražily ze čtyřiceti centů za bušl (cca 27 kg) na jaře 1816 na pětasedmdesát centů příští rok (Fagan 2007).



Obr. 8: Odchylky od průměrné roční teploty v New Haven v období od 1782-2002 (data převzata z: [URL 2, 3,4](#))

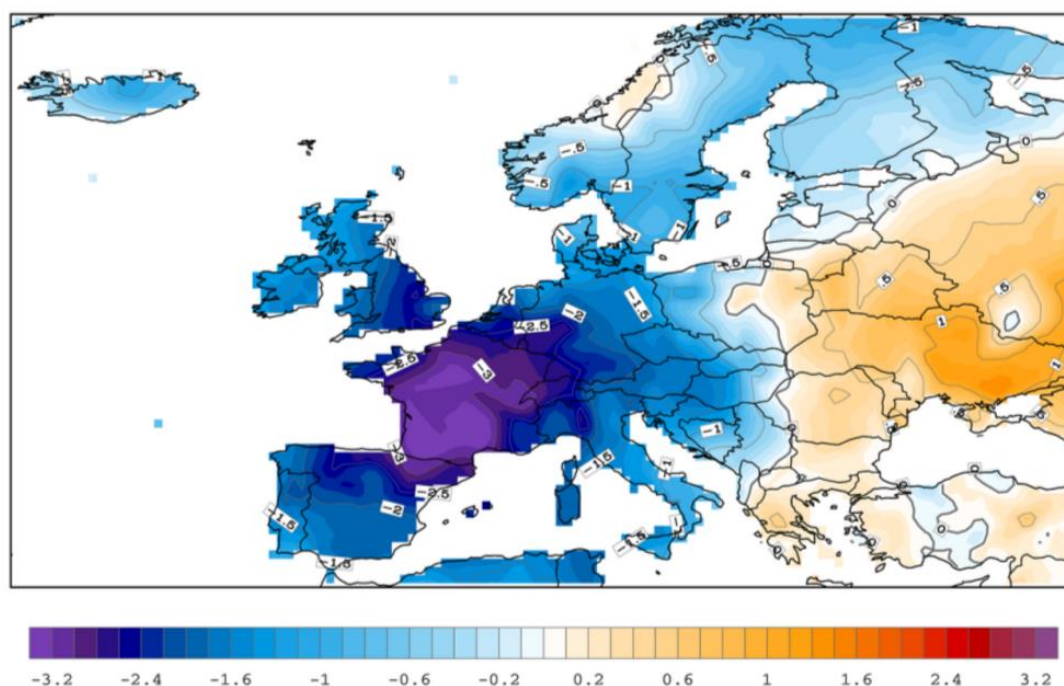
#### 4.4.2.4. Evropa

Ve všech kritických měsících vegetačního období byly prudké deště doprovázeny abnormálně nízkými teplotami v západní a střední Evropě (viz Obr. 9). Onoho léta se měsíční teploty snížily o 2,3 až 4,6°C pod průměr. V severní Anglii nastal nejstudenější červenec za sto devadesát dva let, kdy se pořizovaly záznamy. Krupobití a prudké bouře s hromobitím ničily dozrávající plodiny. Londýnské Times (1816) napsaly 20. července, že „potvrá-li současné počasí, obilí nevyhnutelně polehne a následky takové pohromy v takové době pak nemohou být jiné než zhoubné pro rolníky, a dokonce pro lid obecně“.

Neklid ve společnosti, drancování, vzpoury a rozmach násilné kriminality se v roce 1816 prudce šířily po Evropě – vrcholu dostoupily následující jaro. Na neúrodu a hladomor lidové masy po staletí reagovaly horlivými modlitbami nebo narušováním veřejného pořádku. To mělo staré známé formy – shlukování před pekárny, což bylo doprovázeno žhářstvím, pleněním a vzpourami. Obilné bouře v letech 1816-1817 se vyznačovaly vysokou mírou násilí, od Francouzské revoluce nevídanou (Post 1977).

Většina dobytka zemřela na hlady. I když nezemřeli na hlady, lidé je museli zabít, aby mohli nakrmit své děti. Koně byli v 19. století hlavním dopravním prostředkem. Ani to nemohl zachránit jejich životy. Toto právě indikuje, jak závažná potravinová krize lidem tehdy hrozila.

## 1816 Summer temperature anomaly



Obr. 9 Odchylky teplot v létě 1816 po erupci Tambora. Je patrné, že ochlazování postihlo nejvíce Francii a Německo (URL 8)

Léto 1816 ve Velké Británii bylo vůbec nejstudenější od roku 1750. Ve střední Evropě bylo naopak druhé nejstudenější po roce 1814. Ve Skandinávii se teplota blížila normálu (Mathez a Webster 2004).

Při dvoudenní prudké bouřce v Uhrách koncem ledna 1816 se objevil hnědý a načervenalý sníh.

Neúroda zakrátko vyhnala ceny obilí a chleba do výšin, jež byly pro tyto rodiny nedosažitelné. Výnos anglické pšenice v roce 1816 byl nejnižší za období 1815 až 1857, a to v době kdy na jídlo a pití připadaly dvě třetiny rodinného rozpočtu nádeníka (Post 1977).

V Kentu, jednom z nejteplejších krajů Anglie, skončila nevalná sklizeň pšenice 13. října ve srovnání s obvyklým 3. zářím. Toto obilí bylo „v tak vlhkém stavu, že ho nebylo možno ihned využít“ (Post 1977).

### 4.4.2.5. Irsko

Nedostatek potravin byl ještě citelnější v Irsku, zemi, která tehdy mimořádně závisela na bramborách. Stovky rodin drobných rolníků z hrabství Tyrone na jaře roku 1817 opustily domovy a živily se žebrotou. Sbíraly kopřivy, hořčici a zelí. Potravin bylo tak málo, až „byly ze země vybírány vysázené brambory, jen aby se lidé uživil; kopřivy a další jedlé rostliny byly horlivě vyhledávány, aby zahnalý pocit hladu (Post 1977).“

#### 4.4.2.6. Francie

Po studeném létu, jež se vyznačovalo rozsáhlými záplavami a krupobitím, se v celé zemi snížily výnosy na polovinu normálního stavu (Post 1977).

V předměstí Toulouse, Francie, bylo celé jaro a léto velmi chladné a deštivé. Jedině září a říjen byly o něco tepleji a bez deště.

Ta samá situace postihla i severní část Francie. Vlhké a deštivé počasí opozdilo sklizně ve většině severních regionů.

V Paříži zaznamenali 167 deštivých dní a roční úhrn srážek dosáhl 546 mm (Fuster 1845).

V regionu Burgundy začali sklízet hroznové víno až 15. října. To bylo nejpozdější termín sklizně od roku 1809. Hrozny dosáhly malých velikostí a nízké kvality. V Burgundách přelo nepřetržitě od května do prosince. Déšť postihl i zemědělské plodiny, kterých bylo také nedostatek v tomto roce (Arago 1860).

Ve Verdunu hrozny vůbec nedozrály. Vyspělejší dopravní síť než před jednou generací v četných oblastech poněkud snížila hrozbu hladu. Nenastal hladomor, jako spíše potravinová nouze. Ceny ve Francii prudce vzrostly ve venkovských oblastech, kdežto politicky motivované subvence v Paříži udržoval laciný chléb.

Ve Francii se tehdy mluvilo o „nedal se ani jíst chléb, tak se lepil na nůž“ (Post 1977).

#### 4.4.2.7. Německo

Vliv sopečné erupce zastihl i Německo, zprávy z tamních novin potvrdily negativní dopad po celé německé území.

Zpráva z místních novin Freiburger Zeitung 6. července. 1816 poskytla informaci o počasí v první polovině r. 1816. Na velikonoce padal sníh, krásné jarní dny se objevily až v druhé polovině tohoto roku.

20. července. 1816 vyšla zpráva o dlouhotrvající vlhkosti, která měla nepříznivý vliv na zemědělství a včelařství.

V únoru další zpráva z Freiburger Zeitung (12. února. 1817) informovala o mimořádně nízké teplotě v roce 1816, bývalo pořád zataženo a zamlženo i během letních měsíců. Léto bylo také chladné a deštivé, počasí proměnlivé s častými extrémními bouřkami oproti předchozím letům. Většina hroznů pod vlivem námrazy nemohla vůbec dozrát.

V květnu r. 1817, kdy už 2. rokem Německu hrozil hladomor, vyšel 24. května. 1817 jeden velice užitečný článek. Autor nejdřív podotkl velmi nepříznivé počasí v předchozím roce, které zřejmě přetrvávalo do roku 1817. Píše v něm: „Bezprecedentně nepříznivé počasí loni postihl všechny oblasti Německa, byla špatná úroda a nakonec to vedlo k hladomoru a chudobě. V horských oblastech byly podmínky k přežití dvojnásobně náročnější.“ Cílem tohoto článku byl ale navrhnout řešení v době potravinové krize. Autor ve zprávě doporučil obyvatelům v době chudoby náhradní potravu tzv. islandský mech - puklérka islandská (*Cetraria islandica*). Tento lišejník tehdy rostl všude v Německu a má vysokou výživovou hodnotu. V době nedostatku potravin by mohl pomoci obyvatelům překonat těžké



období. Z toho lze vyvodit, jak chyběla lidem potrava, že si museli doplňovat lišejníkem.

Poměry se rychle horšily i ve vzdálenějších a horských oblastech. Jižní Německo zažilo v roce 1816 úplnou neúrodu. Měla takový rozsah, že příští zimu nastal „opravdový hladomor..., jak jen je vůbec možný v civilizovaných poměrech, ve kterých se nyní nacházíme“. Autor těchto slov Karl von Clausewitz líčil chudé vesnice a odlehlá městečka, kde „zubožené postavy, sotva se podobající lidem, se plíží po polích ve snaze najít něco k snědku u dosu nesklizených a napůl shnilých brambor, které vůbec nedorostou“ (Post 1977).

#### 4.4.2.8. Itálie

Obyvatele Tarentu v jižní Itálii vyděsil pohled na červené a žluté sněhové vločky na místě, kde je vzácností i normální sníh. Hnědý, namodralý a červený sníh napadal v dubnu a květnu v Marylandu. Všude visel prach jako hustá mlha. Jak napsal jistý anglický vikář: „Po celé roční období vycházelo slunko každé jitro, jako by bylo zahaleno do mraku kouře, rudé a zbavené paprsků. Přinášelo jen maličko světla a tepla. Večer zapadalo za hustý oblak oparu, a tak sotva zanechalo stopu, že vůbec prošlo nad zemským povrchem.“(Stommel a Stommel 1983).

Pan Milota Zdirad Polák (1979) právě v tu dobu pobýval v Itálii a ve svém cestopise popsal tehdejší neobvyklé počasí. Napsal takto: *“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 rozešlo. Tu teprv oko vidělo dalekou rovínu bez lidu a dědin, vlevo a vpravo kanály naplněné smrdutou vodou. Všichni druhové jedovatých bylin po celých rovinách se rozseli a nečistotu a nezdravým povětrím naplnili.“*

#### 4.4.2.9. Švýcarsko

Dopad na Evropu nebyl tak drastický jako to bylo v USA či Kanadě. Vědci ze Švýcarska porovnali léto v roce 1816 s obdobím od 1799 do 1821 a zjistili skutečné ochlazování v létě roku 1816. Nejvýraznější pokles teplot býval v odpoledních hodinách. Naopak v ranních hodinách byl pokles teplot méně výrazný. Výrazně také přibýval oblačné dny a tlak v létě byl mimořádně nízký. Množství srážek přibylo o 80% oproti průměru z důvodu zvýšené frekvence přeháněk o 80% nikoliv z důvodu zvýšené intenzity srážek. Z analýzy vyplývá, že na změně klimatu se podílely následující faktory:

- sopečný plyn ve stratosféře, který brání dopadu slunečních paprsků na zemský povrch
- regionální cirkulace
- změna počasí
- změna klimatu ve větším měřítku, např. snižování teploty oceánů

Teplotní rozdíly zaznamenané analytiky z Peirce ukazují, že ochlazování způsobené erupcí Tambory se objevilo až v březnu roku 1816, po 11 měsících od erupce. Chladné počasí přetrvávalo celých devět měsíců, než se navrátilo k normálu.

Největší odchylku tvořil 7,7 stupňový rozdíl uchýlený od měsíčního průměru Daltonova minima (Marusek 2010).

Průměrné letní teploty v Ženevě, kde se anglický básník Lord Byron usídlil ve vile Diodati poté, co opustil manželku v Londýně, byly nejnižší od roku 1753. Byronovo bydliště u jezera se zaplnilo hosty, mezi nimiž byli i Percy Bysshe Shelley a jeho žena Mary. Ceny obilí a brambor se ztrojnásobily a více než 30 000 Švýcarů strádalo nedostatkem chleba a práce. Chudí jedli šťovík, mech a kočky. V curyšských ulicích se to hemžilo tolika žebrajícími dospělými dětmi, že rok 1817 vešel do dějin jako „rok žebráků“. „Živí je soukromé a veřejné dobročinné instituce a přiděly polévky pro chudé“ (Post 1977).

#### **4.4.3. Rok 1817**

V roce 1817, 2 roky po erupci, už pomalu odeznívají následky erupce. Kromě nejvíce postižených oblastí jako jsou Indonésie, Indie a Čína, v ostatních oblastech už docházelo pomalu k obnovení teplotního normálu. Avšak hrozil dál nedostatek potravin, než se sklídily první nepoškozené plodiny.

V roce 1817 byly největší problémy s povodněmi spolu se silným krupobitím, které postihly řadu evropských zemí – Švýcarsko, Anglii, Francii. Zejména v Anglii měli tehdy velké problémy s opakovaným krupobitím, které způsobilo velké škody na zemědělských plochách (Walford 1878).

V březnu roku 1817, hladina vody na řece Seiny dosáhla 6,3 m nad stupnici 0 (nejnižší hladina od roku 1719).

V Německu a Francii přetrvával hladomor. Ale už nebylo zaznamenáno nadměrné srážky či studené počasí (Gantt 1936).

V USA bylo stále zaznamenáno extrémně chladné období. V svém dopise v únoru roku 1817 John Pintard napsal, že byla krutá zima, že dopis psal celou dobu u ohně, aby oheň rozmrazoval inkoust (Adams 2008).

#### **4.4.4. České země:**

České země jako ostatní v Evropě byly taky silně zasaženy sopečnou erupcí Tambora.

V českých historiích bylo zaznamenáno extrémně studené a vlhké léto v letech 1815-1816 (viz Obr. 11 a 12). V roce 1815 bylo léto zvláště deštivé z hlediska množství srážek. Obr. 14 indikuje, že v létě napršelo o 80% víc než průměr. Obr. 13 zas indikuje velký počet deštivých dní v roce 1816, zejména na přelomu jara a léta bylo naměřeno přes 25 deštivých dní za měsíc. Srážky jsou obvykle dobrým pomocníkem zemědělců, ale musejí spadnout ve správnou chvíli. V letech 1815-1816 spadlo nejvíc srážek právě v době sklizně, což vedlo k plošným neúrodám a zvyšování cen u zemědělských plodin. Lidé tehdy ale tuto událost nespojili s erupcí Tambora či vůbec s jakýmkoliv přírodním jevem.

#### 4.4.4.1. Rok 1815

Šimon Hausner z Buchlovic (1803-1831) pořizoval v první polovině 19. století teplotní záznamy v Buchlovicích. V jeho záznamu je vidět, že již v květnu roku 1815 bylo velmi chladno s častým deštěm a mrazy. Červen také hodnotil za větrný a deštivý. Počasí v červenci bylo sice proměnlivé, přesto chladnější než obvykle. Srpen byl deštivý až na pár dní, vyskytly se často lijáky. Zemědělci byli přinuceni provést sklizeň za deště a tomu odpovídalo i nedostatkové množství sklizených plodin.

V Opavě bylo období června 1815 až prosince 1816 považováno za extrémně studené období (Kreuzinger 1862).

Chladné počasí jen tak neopustilo české země. V následujícím roce byla také zaznamenána chudá sklizeň a s tím spojená velká nouze. Souviselo to jak s květnovými mrazy, které zničily obiloviny, tak s deštivým létem, které opozdilo sklizeň a snížilo úrodu (Písek a Brázdil 2006).

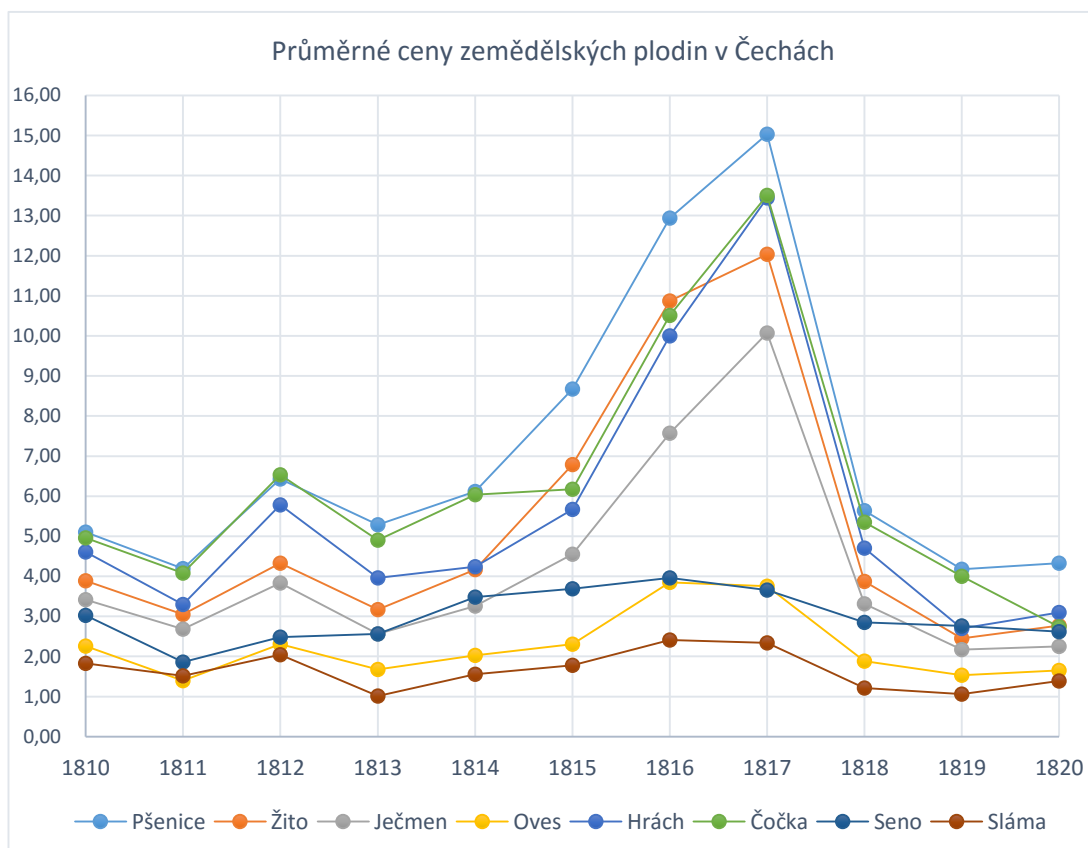
#### 4.4.4.2. Rok 1816

V Čechách lidé zimou třásli ještě v dubnu a květnu. V Kronice Mikuláše Střelce z Domažlic se uvádí: *“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 (Mikuláš Střelec z Domažlic in Robek).“*

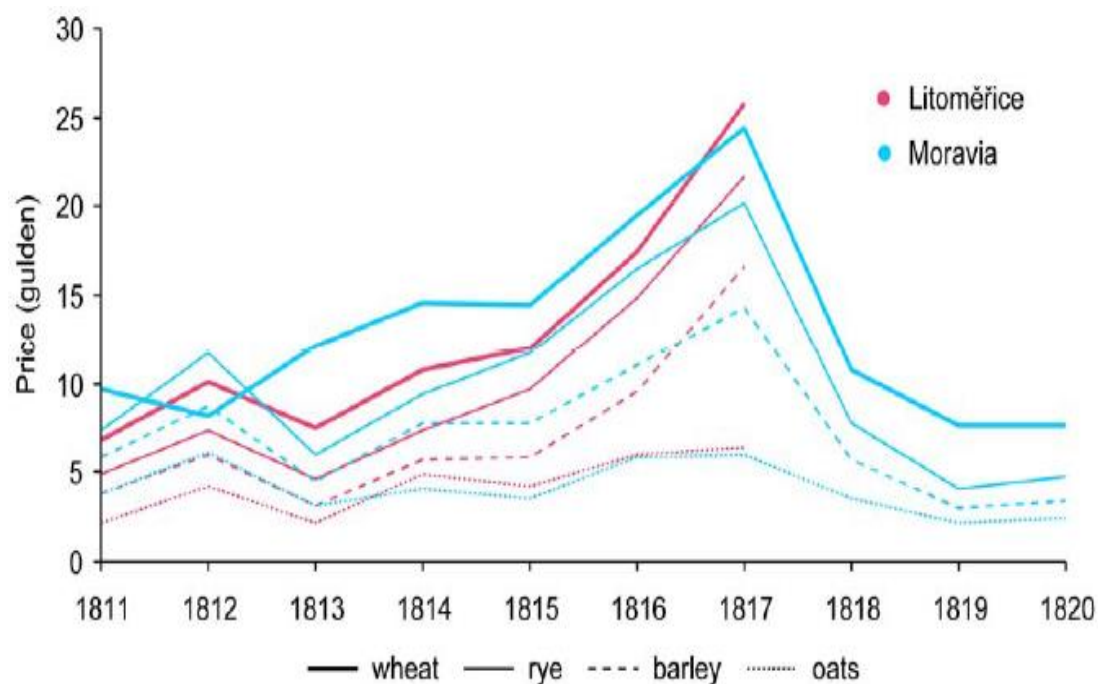
Uprostřed léta by měl být teplejší a přinášet lidem naději, avšak lidé se toho v roce 1816 nedočkali. V Kronice Mikuláše Střelce z Domažlic je vylíčeno: *“Dne 7. juli v poledne ve 12 hodin počalo pomalu pršet, najednou se začaly sypat kroupy a toto velké krupobití zouplna do dvouh hodin odpoledne trvalo, 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 (Mikuláš Střelec z Domažlic in Robek).“*

Takové počasí potvrdil záznam z Kroniky Martina a Františka Nováka z Dřínova u Zlonic. Bylo v ní napsáno: *„Toho roku (1816) byla špatná úroda na vobilí, na ovoce též skoro žádná, neboť nám všecko v tom roku bylo velmi zle, neboť všechno vobilí skrze mrazy zakženo bylo a nic k dozrání přijíti nemohlo skrze mokro a deště. Takže jsme pšenici sklídili teprve při sv. Matouši (21.9.) 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 z toho zlo pošlo, že máme zač boha všemohoucího prositi, aby nám žádnému véce takového roku dočkati nedal, neboť hned před žněma se již taxa v obilí pořád vejšila, že byla 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 z počátku žní viděli, že žita nedostatek bude (Randák in Kronika Martina a Františka Nováka z Dřínova u Zlonic).“*

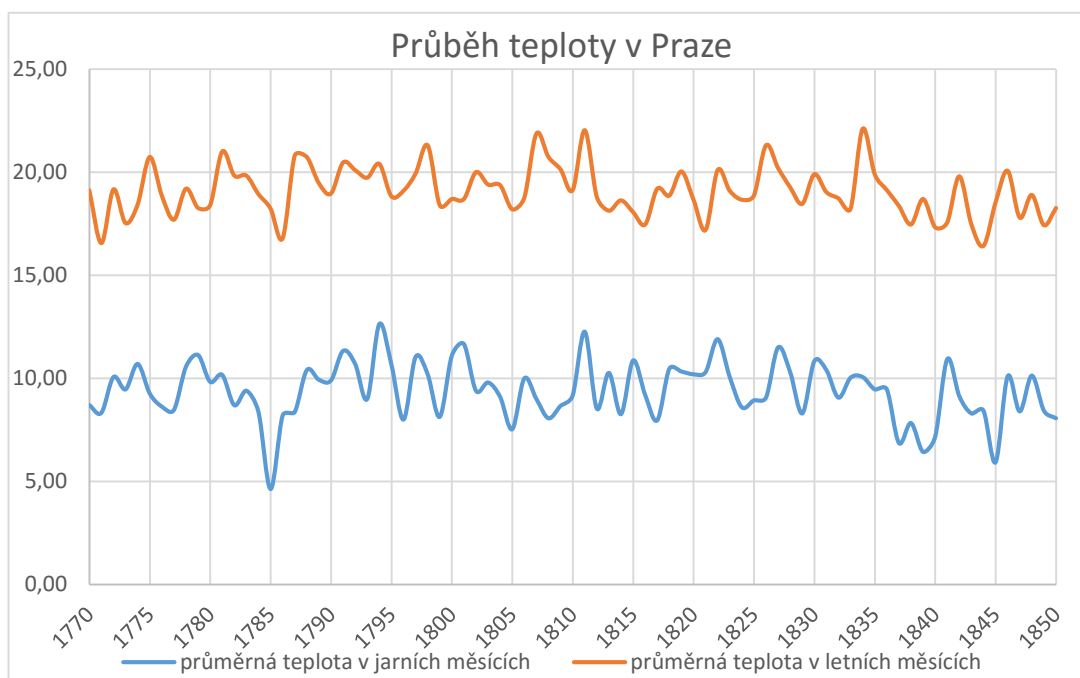
Obr. 10 ukazuje vývoj cen v letech 1810-1820. Je patrné, že v letech 1815-1817 byly ceny hlavních zemědělských plodin až trojnásobně vyšší než jiné roky.



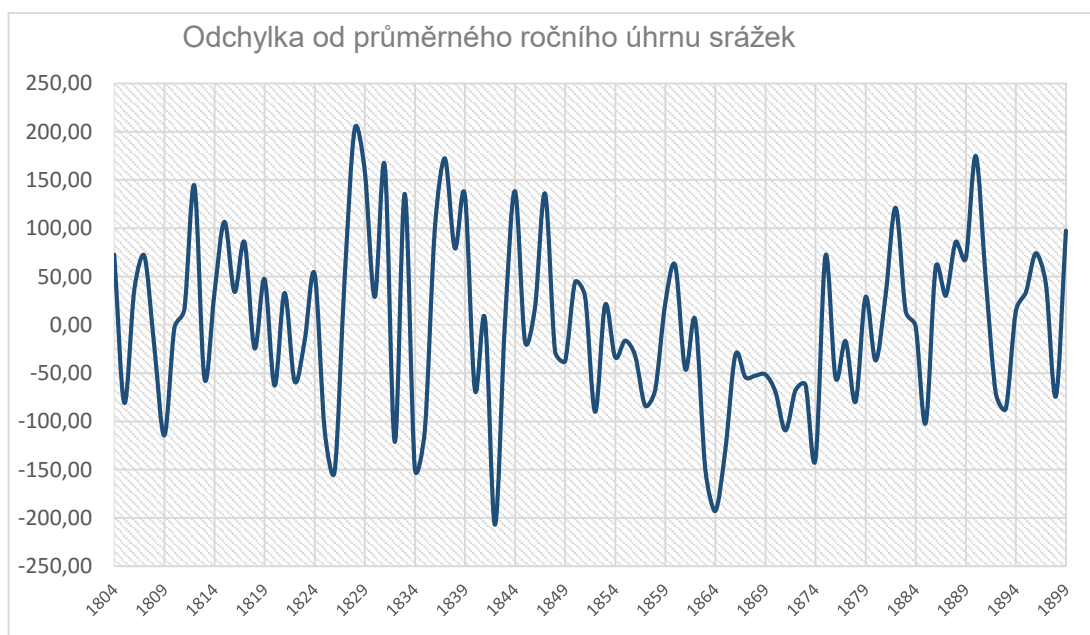
Obr. 10: Vývoj cen zemědělských produktů v Čechách v letech 1810 až 1820. K prudkému zvyšování cen došlo právě na přelomu 1815 a 1816, které trvalo až do začátku 1818 (Batovcův kalendář na rok 1895)



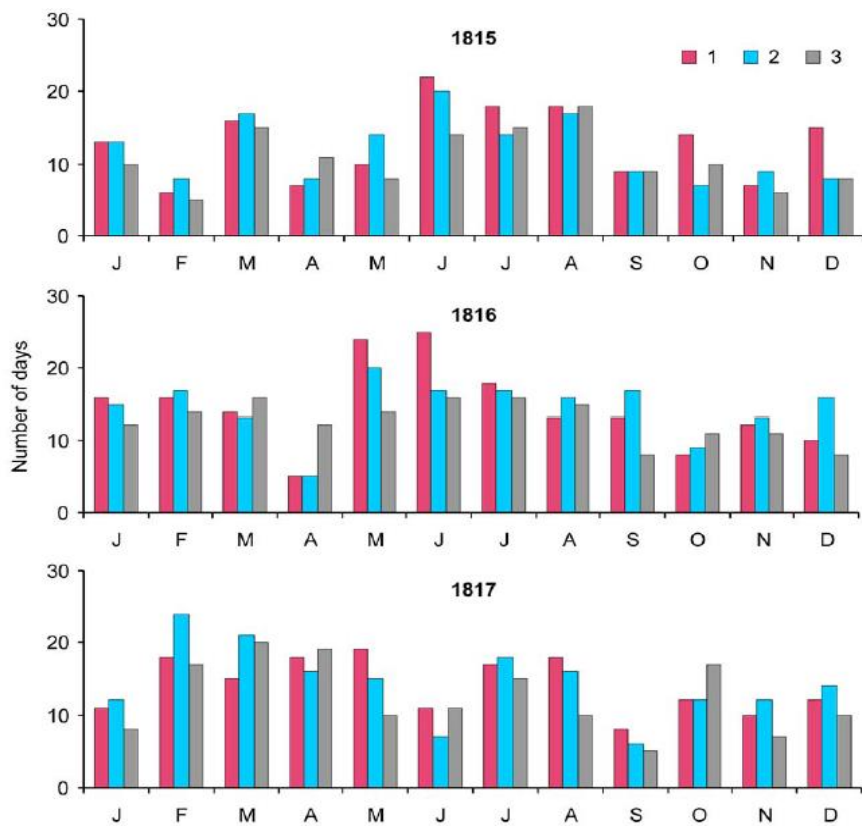
Obr. 11: Vývoj cen u hlavních zemědělských produktů na Moravě a v Litoměřicích (Brázdil et al. 2016)



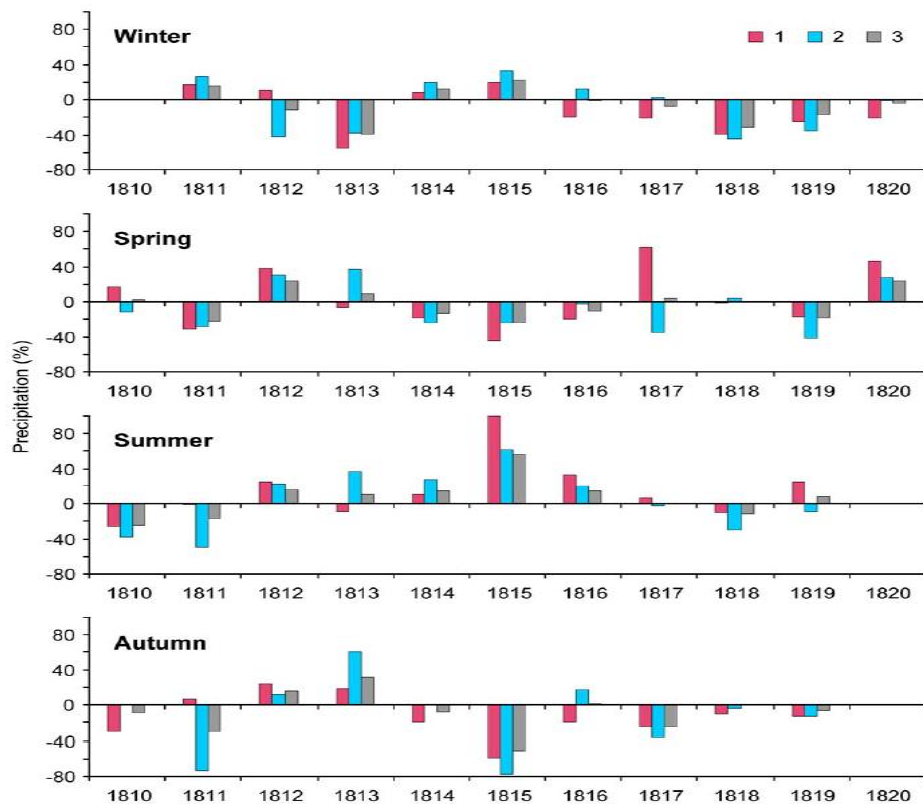
Obr. 12: Průměrná čtvrtletní teplota v jarních a letních měsících v období 1770-1850, měřeno v Praze v Klementinu. Jarní měsíce: březen až květen, letní měsíce: červen až srpen (data převzata z: [URL 2](#), [3,4](#))



Obr. 13: Průměrné měsíční srážky v jarních a letních měsících v období 1804-1899, měřeno v Praze v Klementinu (data převzata z: [URL 2](#), [3,4](#))



Obr. 14: Počet deštivých dní v jednotlivých měsících, 1) Praha–Klementinum, 2) Žitnice, 3) Buchlovice (Brázdil et al. 2016)



Obr. 15: srážkové anomálie porovnané mezi jednotlivými ročními obdobími, 1) Praha – Klementinum, 2) Brno, 3) české země (Brázdil et al. 2016)

#### **4.4.4.3. Rok 1817**

Tento rok byl podle Šimona Hausnera (1803-1831) zvlášť proměnlivý. Březen popsal jako nevidaný měsíc, během kterého každý den se objevily mrazy, sníh a déšť. Takové počasí překračovalo do dubna. Až na pár krásných dní byl celý měsíc studený s nepřetržitými námrazami a sněhem. Považoval tento duben za nejhorší od roku 1803 (Brázdil et al. 2016).

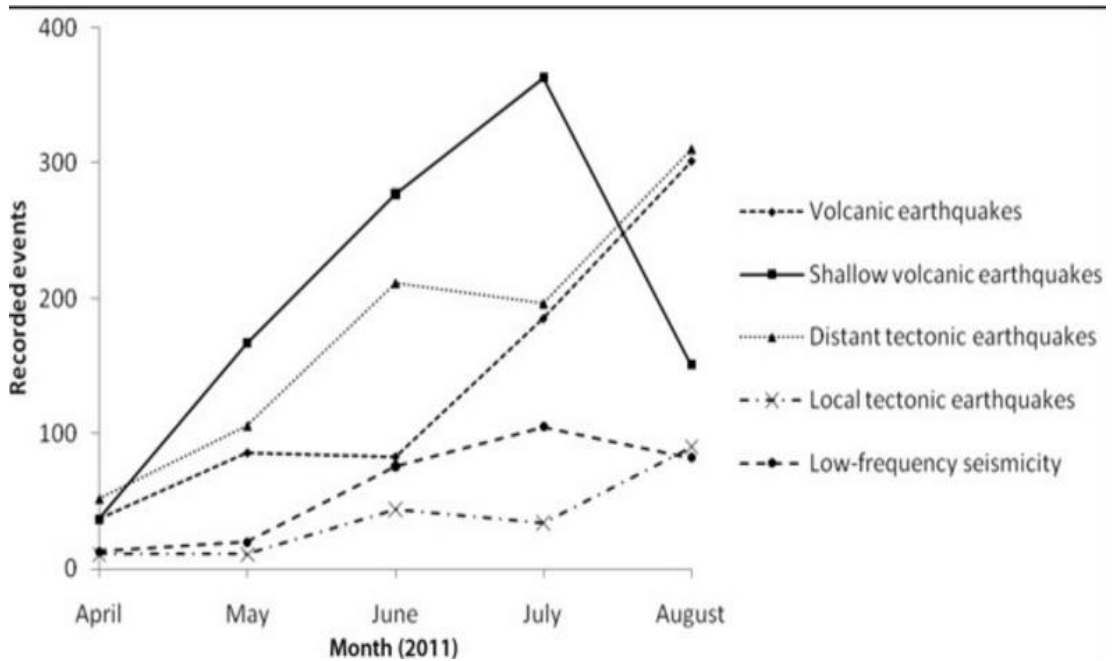
V Kronice obce Zahrádka u Ledče (1782-1887) se psalo o zlepšení v letech 1817 až 1818. Konečně se dočkali úrody a postupně se snižovala cena potravin.

Přestože měla erupce Tambory obrovský vliv na klima, počasí v poerupčním období nebylo zvlášť extrémní v porovnání s ostatními studenými lety. To právě odpovídá závěrům Briffy a Jonese (1992), kteří hodnotili léto 1816 jako extrémní pouze ve 2. dekádě 19. století.

### **5. Předpověď a varování**

Současná Tambora vypadá úplně jinak než před erupcí. Zbavila se horní části kužele, zůstala tam pouze 7 km kaldera. Dnes je již kaldera uzavřena dómem a vyplněna vodou (viz. Obr. 16).

Tambora je nyní považována za aktivní sopku, pár let po erupci v r. 1815 došlo zde k další erupci. Tato erupce nebyla přesně datována, přibližné datum erupce je okolo r. 1880. Oproti erupci z roku 1815 byla tato erupce velmi mírná. Dosáhla pouze 2. stupně VEI. Od té doby již nebyla zachycena žádná vulkanická erupce. V roce 2011 bylo zaznamenáno trvalé zvyšování seismicity od dubna do srpna. Celkem bylo nahlášeno 6 seismických signálů a postupné zvyšování je vidět na Obr. 15. Zvýšená seismická aktivita byla provázená hustým bílým kouřem vystupujícím z kaldery v měsících duben a červen. 29. srpna se objevily vulkanické otřesy a každým dnem to stupňovalo. Taky to provázel rozptylujícím kouřem dosahujícím výšky 10 – 20 metrů nad kalderou. Na základě těchto údajů vulkanologický ústav v Indonésii Center of Volcanology and Geological Hazard Mitigation (dál jen CVGHM) zvýšil stupeň výstrahy na druhý stupeň (stupnice od 1 do 4) a vydal zákaz výstupu na vrchol sopky. Na začátku září došlo k sérii zemětřesení. CVGHM zvedl stupeň výstrahy na 3. stupeň a rozšířil zakázanou zónu na 3 km od sopky Tambora (GVP 2011).



Obr. 16: Nahlášené seizmické aktivity sopky Tambora v roce 2011 (URL 10)



Obr. 17: Současná Tambora – kaldera částečně pokryta krátkodobým sladkovodním jezerem, depozity z poslední erupce a uzavřena dómem z 19. a 20. století., foceno v 2009 (URL 6)

Populace v Indonésii vzrostla od 19. století a lidé se postupně usadili i v blízkosti sopky Tambora. Kdyby došlo k erupci podobného měřítka, představovaly by to pro lidskou populaci mnohem rozsáhlejší a bolestivější škody. Vulkány jsou součástí přírody, stejně tak i vulkanická činnost. Nelze se jim vyhnout, ale lze se vyhnout či minimalizovat jejich následky. Erupce z roku 1815 nebyla nárazová, již 3 roky dopředu vulkán dal najevo o svém probouzení. Tehdy neexistovali vulkanologové či nebyli vulkanologové, kteří v tu dobu sledovali sopku Tambora. Proto erupce způsobila tak velkou škodu na lidských životech.



V současnosti je tomu úplně jinak. Nebezpečné sopky jsou pod neustálým dohledem vulkanologů, sledují se jejich aktivity. Kdyby se zjevila známka erupce většího rozměru, mohli by včas evakuovat obyvatele v blízkosti vulkánu a tím snížit počet obětí zasažených erupcí na minimum.

Existují různé způsoby monitoringu. Vulkanologové sledují signály ze satelitu umístěných v kosmu, které laserovými paprsky měří pohyb tektonických desek. Další monitoring se provádí přímo v mořském prostředí – zkoumání mořského dna (Steele 2003).

Kolem nebezpečných vulkánů bývají seizmické stanice, které registrují otřesy pomocí seismografů. Jsou to přístroje sloužící k měření zemětřesení a otřesů. Roztahuje-li se magma pod povrchem, vyplňuje-li pukliny a trhlinky, otřásá povrchem. Téměř každou erupci provází seizmické otřesy. Nárazové vlny se dramaticky zvyšují právě těsně před velkým zemětřesením.

Dnes nejpoužívanější a snad nejspolehlivější metodou předpovědi je sledování náhlých změn povrchu kolem vulkánu. Vyklenování povrchu často značí blížící se erupci. Vyklenutí se měří většinou na centimetry, ale citlivé přístroje je snadno zachytí. Novou metodou je letecké fotografování sopky infračerveným spektrem. Tím se zjistí, zda nedošlo k ohřívání povrchu sopky. Lze takto vyzorovat výstup horkého magmatu. Také sopečné plyny jsou dobrými indikátory přicházející erupce. Pokud dojde ke zvýšení koncentrace sirných a chlorovodíkových par, může to znamenat stoupání magmatu k povrchu a možnost další sopečné erupce (Kukal 1982).

Současná technologie je již mnohem vyspělejší než sto let zpátky. Nelze říct, že je už dost vyspělá. Lidé stále vynalézají stále a stále nové a vhodné metody pro předpověď a monitoring vulkánů. Zatím neexistuje jedna nejvhodnější metoda, ale kombinací více metod zvyšuje přesnost a snižuje pravděpodobnost chyb.

Dnes existuje teorie, že je 10% šance, že dojde znovu k obrovské erupci v rozsahu podobném erupci Tambora v dalších 50 letech. Nejpravděpodobněji k tomu dojde v Indonésii (Oppenheimer 2003). Ať je to šance velká či malá, Tambora je teď pod stálým dohledem vulkanologů z CVGHM, kteří pečlivě zkoumají a sledují její aktivitu.

## 6. Diskuze a závěr

Erupce sopky Tambora v roce 1815 byla bez pochyby největší za posledních 10 000 let. S podílem celkových 50 km<sup>3</sup> magmatu během erupce se umístila na 1. místě na žebříčku erupcí s nejméně vyvrženými materiály. Pyroklastický oblak vystoupil do výšky 43 km, což dostatečně zajistilo transport sopečného popela a plynu do stratosféry. Také je sopka, která během své erupce uvolnila největší množství oxidu siřičitého.

Pokud se oxid siřičitý dostane do jisté výšky stratosféry a je jeho v dostatečně velkém množství, mohl by způsobit velký dopad na klima, např. snížení teploty zemského povrchu, přibývání oblačnosti za přítomnosti velkého množství sopečného popela a časté přeháňky. Veškeré požadavky erupce z roku 1815 splnila a právě proto došlo ke katastrofálním následkům po celé severní polokouli.

K ochlazení došlo téměř okamžitě po dubnové erupci. Stothersovo (1984) tvrzení a informace z Londýnského archivu (1771-1821) potvrzují výskyt neobvyklého počasí

a přírodních jevů těsně po erupci. Často lidé neměli potuchu, co se odehrávalo, teplota už klesla.

Evropa sice nebyla v bezprostřední blízkosti sopky, dopad se na ni také vztahoval. Nejvíce postižené země byly Francie a Německo. V německých novinách Freiburger Zeitung (1816/1817) mohli čtenáři dočíst spoustu zpráv o podivuhodném počasí v letech 1816-1817.

Časté přeháňky a neobvykle nízká teplota měly vliv nejen na lidské zdraví, ale také na úrodu. Zemědělci byli často nuceni sklízet plodiny za deště, protože pořád se z nebe lilo a zdálo se, že se obloha nikdy nevyjasní. Pořád to byla lepší volba než nechat dešti zničit plodiny.

Bylo jasné, že přijde potravinová krize. Jídlo nestačilo ani lidem, vůbec nic nezbylo na dobytek. Někteří přistoupili k tomu, že zabili svůj dobytek, aby mohli přežít to temné období.

Pak přišel rok 1817. V první polovině lidé neviděli žádné zlepšení. Pomalu ale jistě se blýskal už na lepší časy. Avšak v Německu, Francii, Švýcarsku a Velké Británii se objevily nové hrozby – povodně a krupobití. Řada tamních novin přinesla špatné zprávy o ničivých povodních a krupobití, které opět znemožnily sklízň.

V současnosti je sopka Tambora monitorována vulkanology z ústavu CVGHM, kteří neustále sledují aktivitu nejen sopky Tambora, ale i řady dalších sopek v Indonésii. Sice nemůžeme se vyhnout sopečným aktivitám úplně, ale včasné odhadnutí jejich erupce může snížit škody na minimum, zejména škody na lidských životech.

## 7. Seznam použité literatury

1. ADAMS, S. P., 2008: Warming the Poor and Growing Consumers: Fuel Philanthropy in the Early Republic's Urban North. *The Journal of American History*.
2. BACHMANN, J., 1912: Aufzeichnungen eines Alt-Leitmeritzers. *Mitteilungen des Vereines für Geschichte der Deutschen in Böhmen* 50: 107–131, 254–281.
3. BRÁZDIL, R., ŘEZNÍČKOVÁ L., VALÁŠEK H., DOLÁK L., KOTYZA O., 2016: Effects on the Czech Lands of the 1815 eruption of Mount Tambora: responses, impacts and comparison with the Lakagígar eruption of 1783. *Climate of the Past Discussions*. Brno.
4. BRIFFA, K., JONES, P., 1992: The climate of Europe during the 1810s with special reference to 1816. In: *The Year without a Summer? World Climate in 1816*, Canadian Museum of Nature, Ottawa.
5. CLAUSEN, H. B., HAMMER, C. U., 1988: The Laki and Tambora eruptions as revealed in Greenland ice cores from 11 locations. *Annals of Glaciology*.
6. FAGAN, B. M., 2007: Malá doba ledová: jak klima formovalo dějiny v letech 1300-1850. Academia, Praha.
7. FODEN, J., 1986: The petrology of Tambora volcano, Indonesia: A model for the 1815 eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Amsterdam.
8. FUSTER, J. J. N., 1845: *Des Changements dans le Climat de la France, Histoire de ses Révolutions Météorologiques*. Bibliothèque nationale de France, Paris.
9. Global Volcanism Program, 2011: Most Recent Bulletin Report: August 2011. Smithsonian Institution, National Museum of Natural History, Washington DC, online: <http://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=264040>, cit. 23.03.2016.
10. HAYLOCK, M. R., HOFSTRA, N., KLEIN TANK, A. M. G., KLOK, E. J., JONES P. D., NEW, M. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*.
11. HORSLEY GANTT, W., 1936: A Medical Review of Soviet Russia. *The British Medical Journal*.
12. HUTH, R., KYSELÝ, J., POKORNÁ, L., FARDA, A., MLÁDEK, R., KLIEGROVÁ, S., METELKA, L. 2004: One month-long integrations of the Aladin model in the climate mode: effect of selected parameters (in Czech). *Meteorological bulletin*, 57: 41–46.
13. CHESNER, C. A., ROSE, W. I., 1991: Stratigraphy of the Toba Tuffs and the evolution of the Toba Caldera Complex, Sumatra, Indonesia. *Bulletin of Volcanology*.
14. JAKEŠ, P., 2005: *Vlny hrůzy: zemětřesení, sopky a tsunami*. Nakladatelství Lidové noviny, Praha.
15. KEYS, D., 1999: *Catastrophe: An Investigation into the Origins of the Modern World*. The Ballantine Publishing Group, New York.

16. KREUZINGER E., 1862: Chronik der alten und neuern Zeit Troppau's, oder Troppau und seine Merkwürdigkeiten. Im Selbstverlage des Herausgebers: Troppau.
17. KUKAL, Z., 1982: Přírodní katastrofy. Horizont, Praha.
18. MARUSEK, J. A., 2010: A chronological listing of early weather events. Science & Public Policy Institute.
19. MASON, B. G., PYLE D. M., OPPENHEIMER C., 2004: The size and frequency of the largest explosive eruptions on Earth. Bulletin of Volcanology.
20. MATHEZ, E. A., WEBSTER J. D., 2004: The Earth Machine: The Science of a Dynamic Planet. Columbia University Press, New York Chichester.
21. MCGEE, K. A., DOUKAS M. P., KESSLER R., GERLACH T. M., 1997: Impacts of volcanic gases on climate, the environment, and people. U.S. Geological Survey Open-File Report, U.S. Geological Survey, online: <http://pubs.usgs.gov/of/1997/of97-262/of97-262.html>, cit. 23.3.2016.
22. NOVÁK, J. A., 2011: Smrtící sopky. XYZ, Praha.
23. OPPENHEIMER, C., 2003: Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815. Progress in Physical Geography, Cambridge.
24. OPPENHEIMER, C., 2011: Eruptions that Shook the World. Cambridge University Press, Cambridge.
25. PÍSEK, J., BRÁZDIL, R., 2006: Responses of large volcanic eruptions in the instrumental and documentary climatic data over Central Europe. International Journal of Climatology.
26. POST, J.D., 1977: The last great subsistence crisis in the Western World. The Johns Hopkins University Press.
27. RAFFLES, T. S., 1817: The History of Java. Black, Parbury, and Allen, Booksellers to the Hon. East-India Company, Leadenhall street, and John Murray, Londýn.
28. ŘEZNÍČKOVÁ, D., 2003: Země: poznáváme naši planetu. Fortuna Print, Praha.
29. SCARTH, A., 1994. Volcanoes : An Introduction. GBR: CRC Press, Londýn.
30. SCHRÖDER, W., 2003: The Krakatoa event and associated phenomena - A historical review. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica.
31. SPARKS, S., SELF, S., GRATTAN, J., OPPENHEIMER, C., PYLE, D., RYMER, H., 2005: Super-eruptions: global effects and future threats. The Geological Society of London, Londýn.
32. STEELE, P., 2003: Sopky. Computer Press, Brno.
33. STOMMEL, H., STOMMEL E., 1979: The year without a summer. Scientific American.
34. STOMMEL, H., STOMMEL E., 1983: Volcano Weather: The Story of 1816, the Year Without a Summer. Seven Seas Press.
35. STOTHERS, R. B., 1984: The great tambora eruption in 1815 and its aftermath. Science, New York.
36. TANGUY, J. C., RIBIÈRE CH., SCARTH A., TJETJEP, W. S., 1998: Victims

- from volcanic eruptions: a revised database. *Bulletin of Volcanology* 60: 137–144.
37. TARSHIS, L., 2014: *The Volcano That Changed the World*. Scholastic Scope. *Scholastic* 63: 22-25.
  38. TENENBAUM, L. F., 2009: The year without a summer: Peering through volcanic veils, online: <http://climate.nasa.gov/blog/183/>, cit. 19. 3. 2016.
  39. VAN DEN BROECK, 1834: *Verslag nopens het Eiland Bali*. De Oosterling.
  40. VANDERGOES, M. J., HOGG, A. G., LOWE, D. J., NEWNHAM, R. M., DENTON, G. H., SOUTHON, J., BARRELL, D. J. A., WILSON, C. J. N., MCGLONE, M. S., ALLAN, A. S. R., ALMOND, PETCHEY, P. C., F., DABELL, K., DIEFFENBACHER-KRALL, A. C., BLAAUW, M., 2013: A revised age for the Kawakawa/Oruanui tephra, a key marker for the Last Glacial Maximum in New Zealand. *Quaternary Science Reviews*.
  41. WALFORD, C., 1878: *The Insurance Cyclopaedia*. Volume V, London.
  42. WHYTE, I., 2013: *Dictionary of Environmental History*. I.B. Tauris, Londýn.
  43. YANG, Y., MAN Z., ZHENG, J., 2005: A Serious Famine in Yunnan (1815-1817) and the Eruption of Tambora Volcano. *FUDAN JOURNAL (Social Sciences)* 2005/1: 7.
  44. ZOLLINGER, H., 1855: *Besteigung des Vulkanes Tambora auf der Insel Sumbawa und Schilderung der Erupzion desselben im Jahr 1815*. J. Wurster and Co., Winterthur.

## 7.1. Historické archivy

1. ANONYMUS, 1771-1821: *Chronology of Public Events and Remarkable Occurrences within the Last Fifty Years or from 1771 to 1821*. Londýn.
2. ANONYMUS, 1782-1887: *Kronika obce Zahrádka u Ledče*.
3. ANONYMUS, 20. 7. 1816: *Freiburger Zeitung*
4. ANONYMUS, 20. 7. 1816: *The Times*, Londýn.
5. ANONYMUS, 24. 5. 1817: *Ueber die Anwendung des isländischen Mooses als Nahrungsmittel*. *Freiburger Zeitung*, online 23. 3. 2016
6. ARAGO von F., HANKEL, W. G., 1860: *Franz Arago's Sämmtliche Werke*. Verlag von Otto Wigand, Leipzig.
7. BATOVEC, 1895: *Batovcův kalendář na rok 1895*.
8. BÖCKMANN, 12. 2. 1817. *Freiburger Zeitung*. *Freiburger Zeitung*, online: [https://www.tambora.org/index.php/grouping/event/show?event\\_id=319403](https://www.tambora.org/index.php/grouping/event/show?event_id=319403), cit. 23. 3. 2016
9. HAUSNER, Š., 1494–1945: *Denní sledování počasí buchlovským farářem Šimonem Hausnerem 1803–1831*. *Rodinný archiv Berchtoldů, Moravský zemský archiv, Brno*.
10. POLÁK, M. M. Z., 1979: *Cesta do Itálie. Živá díla do minulosti*, Odeon.
11. RANDÁK, J., 2000: *Kronika Martina a Františka Nováka z Dřínova u Zlonic. Vlastivědný sborník Kralupska, Kralupy nad Vltavou*.
12. ROBEK: *Kronika Mikuláše Střelce z Domažlic*.

## 7.2. Seznam obrázků:

1. BRÁZDIL, R, ŘEZNÍČKOVÁ L., VALÁŠEK H., DOLÁK L., KOTYZA O., 2016: Effects on the Czech Lands of the 1815 eruption of Mount Tambora: responses, impacts and comparison with the Lakagígar eruption of 1783. *Climate of the Past Discussions*. Brno. MATHEZ, E. A., WEBSTER J. D., 2004: *The Earth Machine: The Science of a Dynamic Planet*. Columbia University Press, New York Chichester. SPARKS, S., SELF, S., GRATTAN, J., OPPENHEIMER, C., PYLE, D., RYMER, H., 2005: *Super-eruptions: global effects and future threats*. The Geological Society of London, Londýn.
2. STOTHERS, R. B., 1984: *The great tambora eruption in 1815 and its aftermath*. Science, New York.
3. ZOLLINGER, H., 1855: *Besteigung des Vulkanes Tambora auf der Insel Sumbawa und Schilderung der Erupzion desselben im Jahr 1815*. J. Wurster and Co., Winterthur.
4. URL 1: Typy sopečných erupcí (online) [cit. 2016.03.21], dostupné z <[http://www.geografie.kvalitne.cz/soubory/Typy\\_erupci.jpg](http://www.geografie.kvalitne.cz/soubory/Typy_erupci.jpg)>
5. URL 2: Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment (online) [cit. 2016.03.21], *Int. J. of Climatol.*, EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D), Klein Tank, A.M.G. and Coauthors, 2002., dostupné z <<http://www.ecad.eu>>
6. URL 3: Wetter und Klima – Deutscher Wetterdienst (online), [cit. 2016.03.21], Klimadatenzentrum – KKDZ, dostupné z <[http://www.bmvbs.de/DE/Home/home\\_node.html](http://www.bmvbs.de/DE/Home/home_node.html)>
7. URL 4: Historical Weather Records (online) [cit. 2016.03.21], dostupné z <<http://www.tutiempo.net/en/Climate/europe.htm>>
8. URL 5: Tambora, Mount (online) [cit. 2016.03.21], dostupné z <http://media.web.britannica.com/eb-media/13/181513-004-D3DCE4ED.gif>
9. URL 6: Mount Tambora Volcano, Sumbawa Island, Indonesia (online) [cit. 2016.03.21], dostupné z <[http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/39000/39412/ISS020-E-06563\\_lrg.jpg](http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/39000/39412/ISS020-E-06563_lrg.jpg)>
10. URL 7: Krakatau, Indonesia (online) [cit. 2016.03.21], dostupné z <[http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/47000/47143/krakatau\\_ali\\_2010321\\_lrg.jpg](http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/47000/47143/krakatau_ali_2010321_lrg.jpg)>
11. URL 8: Mount Tambora and the Year Without a Summer (online) [cit. 2016.03.23], dostupné z <<http://scied.ucar.edu/shortcontent/mount-tambora-and-year-without-summer>>
12. URL 9: Mount Tambora, Sumbawa Island, Indonesia (online) [cit. 2016.03.23], dostupné z <[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Tambora\\_EFS\\_highres\\_STS049\\_STS049-97-54.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Tambora_EFS_highres_STS049_STS049-97-54.jpg)>

13. URL 10: Reported seismic activity at Tambora cumulative by month from April through August 2011 (online) [cit. 2016.03.23], dostupné z <<http://volcano.si.edu/volcanoes/region06/sunda/tambora/3608tam2.jpg>>
14. URL 11: Chichester Canal circa 1828 by J. M. W. Turner (online) [cit. 2016.03.23], dostupné z <[https://en.wikipedia.org/wiki/Year\\_Without\\_a\\_Summer#/media/File:Chichester\\_canal\\_jmw\\_turner.jpeg](https://en.wikipedia.org/wiki/Year_Without_a_Summer#/media/File:Chichester_canal_jmw_turner.jpeg)>