ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

disertační práce

SOUHRNNÁ PALEOKLIMATICKÁ STUDIE ZMĚN KLIMATU OD VZNIKU ZEMĚ DO ZAČÁTKU PRŮMYSLOVÉ REVOLUCE

- s důrazem na změny klimatu způsobené vulkanismem

Ing. Jana Soukupová

školitel: Doc. Mgr. Marek VACH, Ph.D.

2013

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci zpracovala samostatně a uvádím všechny použité zdroje.

V Praze dne 17. 11. 2013

. . . . . .
Ing. Jana Soukupová

Poděkování
Děkuji především mým rodičům, dceři a přátelům, neboť mi svou podporou a trpělivostí pomáhali celé roky studia a i při tvorbě této práce.
Děkuji vedoucímu práce, panu Doc. Marku Vachovi a konzultantovi panu Doc. Zdeňkovi Vašků za rady a směrování při zpracování této studie a panu Jiřímu Svobodovi za poskytnutá data a zdroje. Děkuji p. prof. Pavlu Pechovi, vedoucímu katedry, za poskytnutí těch nejlepších podmínek pro tvorbu práce a za cenné rady.

OBSAH

Souhrn a klíčová slova 6
Zaměření a cíle práce 8
ÚVOD 10
Část I. METODY 11
1. Způsoby rekonstrukce klimatu v minulosti 11
2. Příčiny klimatických změn 18
2.1. Astronomické změny působící na klima 19
2.1.1. Kosmické katastrofy 19
2.1.2. Astronomická teorie klimatických změn 23
2.1.3. Změny sluneční aktivity 26
2.1.4. Kosmické záření 29
2.1.5. Pohyb Slunce kolem barycentra sluneční soustavy 30
2.2. Geofyzikální změny působící na klima 30
2.2.1. Pohyb kontinentů 30
2.2.2. Vulkanismus 32
2.2.3. Změny mořského dna a mořské proudy 34
2.2.4. Koloběh uhlíku 37
2.2.5. Metan 37
2.2.6. Atmosférická cirkulace 39
2.2.6.1. Základní cirkulace atmosféry 39
2.2.6.2. ENSO 41
2.2.6.3. NAO 42
2.2.6.4. AMO 43
2.2.6.5. AO 44
2.2.6.6. PDO 44
2.3. Antropogenní příčiny změn klimatu 44
2.3.1. Skleníkový efekt 45
2.3.2. Skleníkové plyny 45
3. Souhrn a závěr části I. 47

Část II VLASTNÍ KLIMATICKÁ STUDIE 49
1. Vznik Země 49
2. Starohory – Prekambrium 51
3. Prvohory - Paleozoikum 56
3.1. Kambrium 56
3.2. Ordovik 59
3.3. Silur 60
3.4. Devon 61
3.5. Karbon 64
3.6. Perm 66
4. Druhohory – Mezozoikum 70
4.1. Trias 71
4.2. Jura 72
4.3. Křída 73
5. Kenozoikum – Třetihory - Terciér 79
5.1. Paleogén 79
5.2. Neogén 81

6. Kenozoikum – Čtvrtohory – Kvartér *84*
6.1. Pleistocén *85*
6.2. Holocén *93*
6.2.1. Preboreál *94*
6.2.2. Boreál *95*
6.2.3. Atlantik *96*
6.2.4. Epiatlantik *97*
6.2.5. Subboreál *99*
6.2.6. Subatlantik *100*
6.2.7. Subrecent *101*
7. Souhrn a závěr části II. *113*

Část III. DOPADY SOPEČNÉ ČINNOSTI *115*
1. Velká vymírání *115*
2. Erupce *116*
3. Vulkanické události v dávné historii Země *119*
4. Erupce v lidské historii starověké *123*
4.1. Toba *123*
4.2. Campi Flegrei *124*
4.3. Laacher Sea *125*
4.4. Théra *126*
4.5. Vesuv a Etna *127*
5. Erupce středověké *127*
5.1. A.D. 536 „neznámá“ sopka *127*
5.2. A.D. 626 „neznámá“ sopka *128*
5.3. A.D. 1257 – pravděpodobně Samalas *129*
5.4. A.D. 1783 Laki *131*
6. Souhrn a závěr části III. *147*
7. Závěr *152*
8. Slovníček pojmů *155*
9. Literatura *178*
10. Přílohy

SOUHRN

Tato studie se zabývá ve své první části metodami zjišťování klimatických změn v minulosti a příčinami těchto změn. Je zde představeno několik metod získávání proxy dat a popsány přírodní děje, které mají vliv na chod zemského klimatu. Část druhá této studie je koncizním rozborem chodu klimatu za celou dobu existence Země, končí dobou historickou, před začátkem průmyslové revoluce. Hypotézy jsou zde hodnoceny z pohledu vlivu na klima, jejich pravděpodobnosti a představeny jsou i neobvyklé teorie, které dosud nebyly potvrzeny. Z celé části II. vyplývá, že přírodní síly jsou nevyzpytatelné a daleko silnější než antropogenní působení na planetě. Rozšiřující část III. pak se zabývá vulkanismem, který je hybnou silou změn klimatu. Představen je nejen v souvislostech paleoklimatického vývoje planety, ale také v historických souvislostech o kterých už existují záznamy. Velmi důležitou součástí této části III studie je výzkum vedený v unikátních historických dokumentech, jako jsou kroniky a dobový tisk, osobní deníky a rané záznamy o počasí z pražské Klementinské observatoře a jejich použití jako příkladu, jak by mohla sopečná činnost ovlivnit lidskou populaci v budoucnu.

Klíčová slova:

proxy data, vulkanismus, klimatická změna, vymírání organismů, metody zkoumání klimatu, historické záznamy

Abstract:

This study deals in the first part of climate change detection methods in the past and the reasons for those changes. It presents several methods of obtaining proxy data and describes the natural processes that affect the functioning of the Earth's climate . The second part of this study is climate gait analysis for the entire existence of the Earth, ends in historic times, before the industrial revolution. Hypothesis are evaluated in terms of the impact on the climate, their probabilities are presented and the unusual theories that have not yet been confirmed. From the whole of part II. ensue, that forces of nature are unpredictable and far stronger than the anthropogenic impact on

the planet. Part III . then deals with volcanism , which is the move force behind climate change. The performance is not only related paleoclimatic development of the planet , but also in historical context of which already exist records . Important part of this section III study research is conducted in the unique historical documents such as chronicles and contemporary prints, personal diaries and early records of the weather in Prague Clementina Observatory and use them as an example of how volcanic activity could affect the human population in the future.

Keywords:

proxy data , volcanism , climate change , dying of organisms , climate research methods , historical records

ZAMĚŘENÍ A CÍLE PRÁCE

Disertační práce bude koncízním rozkladem možných scénářů vývoje klimatu v minulosti a to formou hledání a porovnávání hypotéz a již přijatých teorií. Má za úkol vyhledat v literatuře co nejvíce souvislostí, informací a objevů. Práce bude zaměřena hlavně na změny klimatu, způsobené vulkanickou činností.

Vlastní a stěžejní část práce bude tato data porovnávat, zhodnocovat, třídit. Vyžaduje to nejen studium velkého množství literatury, ale také znalosti v příbuzných i nepříbuzných oborech, jako je geologie, paleontologie, astronomie a fyzika a v neposlední řadě botanika a dendrologie.

Ve třetí části budou využity pro příklad působení sopečných erupcí údaje z kronik, osobních deníků a dobového tisku, které autorka vyhledala a které jsou předmětem jejího současného výzkumu. Tyto unikátní historické záznamy budou použity především v případu erupce sopky Laki a jejím dopadu na chod klimatu v Evropě v letech 1783 – 1785.

Závěrem práce je zamyšlení, zda klimatické změny antropogenní jsou silnější než změny přirozené, vyplývající z geofyzikálních a kosmických dějů. Práce má poukázat na tyto změny a jejich působení na biosféru.

Práce je formována jako studie, vlastní myšlenky a výsledky práce jsou vkládány v textu a zároveň tvoří závěry – jak celkový, tak shrnutí jednotlivých částí.

…Ještě před několika sty lety měla většina myslitelů za to, že naše planeta představuje střed vesmíru, že vesmír je jen maličkatým místem, tvořeným několika sousedními světy, že těch relativně málo druhů se vejde na archu a že dějiny nejsou o moc starší, než zaznamenaná lidská paměť.

Od té doby se věda vyznačuje oním zneklidňujícím návykem nabourávat člověku jeho sebevědomí…

Peter Ward a Donald Brownlee – Život a smrt planety Země

ÚVOD

Naše Země je jedinečná planeta. Je plná života a jeho úspěšnost je dána pozoruhodnou sekvencí fyzikálních a geologických procesů, které vedly k jeho vzniku. Je nepravděpodobné, aby někde ve vesmíru existovalo úplné dvojče naší Země. Mnoho procesů totiž, zdá se, vzniklo pouhou šťastnou náhodou. Planety podobné Zemi mohou sice existovat, jen život zřejmě bude odlišný. Podívejme se například na tělesa v naší sluneční soustavě. Všechna začala vznikat z podobného materiálu, ve stejném čase, ale v konečné podobě se od sebe velmi liší a to přesto, že – třeba jako měsíce Jupiteru – mají podobnou polohu i velikost. K neskutečně složitému vývoji Země bylo třeba souboru neopakovatelných událostí v přesném časovém sledu.

Zemské klima je nesmírně křehký systém, který už od prvopočátku doprovází existenci naší planety jako celku. Je nedílnou součástí Země, v interakci s hydrosférou, litosférou a kosmickým prostředím se mění a vyvíjí a umožňuje život bytostem jako jsme my.

Historie vývoje klimatu nastiňuje věci budoucí, zemská atmosféra má své přirozené cykly, které jsou předmětem výzkumu – v poznání minulosti je pro nás klíč k budoucnosti.

část I. METODY

1. ZPŮSOBY REKONSTRUKCE KLIMATU MINULOSTI

Díky vědeckým objevům je možné si dnes udělat přibližný obrázek o tom, jaké bylo podnebí, co je zapříčinilo a jaké důsledky přinášelo stále se rozvíjejícímu životu na Zemi. V dávné minulosti se na Zemi střídaly doby ledové – glaciály – s dobami meziledovými, tzv. interglaciály. Dokazují to objevy horizontů půdních typů a zkamenělin ve stratigrafických sondách, nálezy v ledovcových vrtech, z pozdější doby například zachovaná pylová zrna vyšších rostlin. Střídala se období klidu a zániku. Období suchá i vlhká, příznivá pro život i zničující. Život na Zemi se se vším musel vyrovnat aby dal zelenou lidem a naší civilizaci.

Způsobů, jakými vědci určují klimatické změny je celá řada.
Mořské dno, pokud neleží v geologicky aktivním pásmu, může velmi dobře zachytit průběh změn klimatu. Organické a anorganické zbytky, které se usazují na dně vypovídají např.

- obsahem stabilních izotopů uhlíku a kyslíku o teplotě a biologické aktivitě
- zbytky chladnomilných a teplomilných mikroorganismů (např. rozsivek) o teplotě
- podle zrnitosti a způsobu nánosů sedimentů usuzujeme na rychlost a směr mořských proudů a větrů
- podle obsahu fosforu a kadmia se dozvíme o chodu tzv. „oceánského výměníku“ - tedy proudů vzduchových a vodních mas, kdy čím nižší je jejich teplota, tím větší obsah těchto prvků (Svoboda, Vašků, Cílek, 2003).
- mořské dno se zkoumá sondami, dno se „navrtává“ jádrovými vrtnými soupravami

Na získané vzorky horniny se např. používá moderní metodika TEX-86, což je způsob, jak lze určit teplotu prostředí v minulosti pomocí analýzy složení membránových lipidů mořských „prokaryot“, konkrétně archeí ze skupiny Crenarchaeota. Zjistilo se, že u nich lineárně vzrůstá množství cyklopentanových struktur v buněčné membráně, čímž si regulují její vlastnosti. Dá se to zjistit i ve fosilním materiálu a můžeme tak odhadnout teploty tehdejšího oceánu. Tato metodika například umožnila zjistit, že

povrchové teploty oceánu v dnešní Arktidě byly na konci křídy plus 15 ℃, zatímco dnes jsou mínus 15 ℃.

V severním Atlantiku v hlubokomořských vrtech jsou ve vrstvě náležející poslední době ledové odhalovány několik centimetrů silné světlé písčité vrstvičky, někdy dokonce i s drobnými kamínky, které kontrastují s okolními jemnozrnnými šedými bahny oceánských pánví. Jsou nazvány podle známého amerického oceánografa Heinrichovy vrstvičky. Jejich světlá barva a písčitost je způsobena drobnými úlomky vápenců a dalších hornin které prokazatelně pocházejí z Kanady. Jediným možným mechanismem, jak mohly tyto úlomky pokrýt větší část dna severního Atlantiku, je náhlý drift severských ledovců a jejich následné tání, při kterém se uvolnil materiál, který do sebe ledovce pohltily při zbrušování skalního podloží (Cacho et al, 1999 ; de Menocal, Alley, 1998). Heinrichovy vrstvičky souvisí s Dansgaard-Oeschgerovými oscilacemi – jsou to teplejší období v rámci dob ledových, kdy došlo k velmi prudkým oteplením – tím tání ledovců na pevnině a odnosu materiálu do oceánu, kde právě došlo k vytváření Heinrichových vrstviček. D-O oscilace jsou prokázány nejen díky těmto vrstvičkám, ale jejich odezvu pozorujeme i ve vrstvách ledových jader z průzkumů v Grónsku. Nutno říci, že se týkají hlavně severní polokoule a většinou po těchto událostech došlo opět k prudkému ochlazení díky zastavení oceánského výměníku a tím snížení přenosu tepla do severnějších oblastí (Wang, Mysak, 2006).
D-O události se s velkou pravděpodobností opakovaly v násobcích 1470 let, což je shoda s cykly chaotického režimu Slunce (viz box) a Gleissbergovým cyklem. Zdá se že k D-O událostem dochází vždy, když systém oceán-atmosféra dosáhne určité prahové hodnoty – především přítokem sladké vody do systému (Braun et al., 2008)

Sprašové půdy, které jsou důležitým indikátorem změn prostředí, vznikly zvětráváním podloží. Tyto zvětralé částice pak byly unášeny větrem a usazovány. I zde se vytvořily různé vrstvy, ale s poněkud obtížným datováním. Ze sprašových vrstviček usuzujeme např.:

- kdy se z vrstvy spraše vyvinul půdní profil, bylo nejspíše teplé období
- podle existence koster, vápnitých krust (skořápek živočichů) usuzujeme na teplotu

- písčité vrstvy indikují sucho a písečné bouře a hlavně chladné období, kdy se nevytvořil půdní profil
- tvar a složení minerálů – podle délky a směru transportu - ukazují přibližné směry a síly větru (Svoboda, Vašků, Cílek, 2003; Chlupáč, 1999)

Kontinentální a horské ledovce jsou studovány vrty. Můžeme v nich určit:

- mocnost přírůstkových vrstev – tady usuzujeme na změnu teplot vzduchu
- pH a zbytky sopečného popela indikují výbuchy sopek
- stopy izotopu berylia Be^{10} vypovídají o sluneční aktivitě
- stopy iridia mohou znamenat blízkost impaktu po pádu meteoritu (Dansgaard et al., 1993)

Grónské ledovce jsou podle odhadů staré přibližně 150 tisíc let. V roce 2006 japonští vědci dosáhli v Antarktidě vrtáním hloubky tří kilometrů kde je led podle počátečních odhadů starý milion let. Především z ledovců se dozvídáme o složení atmosféry v různých obdobích – z bublinek plynů, které jsou v ledu uzavřeny.

Ledová jádra tak umožňují přístup k paleoklimatickým datům a to jsou např. místní teploty a srážky, zdroj srážek, vítr, aerosoly, usazeniny vulkanického, pozemního, kosmogenního i antropogenního původu. Jednou ze stanic, která dodává data pro modely pro odvození empirického odhadu citlivosti globálního klimatu na změny koncentrace skleníkových plynů je stanice Vostok. Je to ruská stanice ve východní Antarktidě, vrtání se účastní Rusko, USA a Francie, ve velmi krutých podmínkách 3 488 m n.m. při průměrné teplotě – 55,8 ^{o}C. (Petit, Jouzel, Raynaud, 1999) Další stanice jsou např. v Grónsku, kde je výborná odezva klimatu na celé severní polokouli, můžeme jmenovat např. stanici DYE III. Grónský ledový příkrov pokrývá přibližně 1,7 milionu km^2, maximální délka je 2460 km od severu k jihu a 1100 km od východu na západ. Průměrná tloušťka ledu je přibližně 2 km, maximální 3 km. Grónský ledovec představuje 11 % z celkového objemu všech současných ledovců a obsahuje množství vody, které by způsobilo vzestup mořské hladiny o šest metrů. Firnová čára (hranice akumulační oblasti ledu) leží na severu Grónska v nadmořské výšce 200–400 m, na jihu 1600–1800 m. (Mikuláš, 2001)

Jezerní a říční sedimenty, zvláště kráterová jezera, mají ve vrtech ve dně velkou vypovídací schopnost, můžeme se v čase dostat hluboko přes celý holocén.

> *Z ukládání sedimentů na břehu jezer a v říčních terasách získáváme záznamy o osídlení, pozůstatky živočichů a pylů rostlin nám napovídají složení ekosystémů v jednotlivých historických obdobích a důležité jsou také stopy povodní. (Macklin, 2006; Svoboda, 2009)*

Z přírůstkových linií máme možnost vyčíst průběh teplot a vlhka či sucha u *dlouhověkých stromů*, případně u dobře zachovaných fosilizovaných (zkamenělých) stromů, které se nacházejí i u nás. Zatím největší naleziště je v Arizoně – Petrified Forest National Park. (Biondi, Waikul, 2004)

Zajímavou metodou je *zkoumání průduchů* na pozůstatcích listů a jehlic. Metoda je založena na mikroskopickém, fyzikálním a chemickém zkoumání pozůstatků listů v rašelinných vrstvách. Statisticky, pokud ubývá průduchů, lineárně stoupá i podíl CO_2 v ovzduší. Tento vztah je experimentálně ověřován v laboratořích, frekvence průduchů dobře koreluje s obecně platnou dynamikou CO_2 v době posledního glaciálu, dryasu a holocénu. Jako vhodnou dřevinu vědci používají především břízu. (Wagner, Bohncke, Dilcher et al., 1999)

Poměrně novou metodou je pak nástin možnosti vývoje teplot podle okrajů listů ve fosilním záznamu. Čím hladší – celokrajný list, tím teplejší podnebí v dané oblasti.

Změny podnebí, obzvláště pak změny hloubky moře můžeme pozorovat také na *vrstvičkách korálů*. Většinou neznáme čas kdy korál vznikl, pouze podle přírůstků můžeme usuzovat, jaké panovaly podmínky v době jeho růstu.

Podobně je možné podle vrstviček a v nich obsažených chemických látek zjišťovat chod podnebí u *krápníků*, tady se jedná hlavně o srážkovou činnost, která panovala v době jejich vzniku a růstu. Srážková voda se dostávala puklinami do země, rozpouštěla minerály a podílela se tak na vzniku krasových jevů.

> *Výborným ukazatelem vlhkosti klimatu je tzv. pěnitec. Je to vápnitý sediment, který se sráží ze studených vod, bohatých na $CaCO_3$. Nacházíme jej ve vstupních*

částech jeskyní a pod převisy. Díky tomu, že se usazuje výhradně ve velmi vlhkém prostředí, můžeme díky jeho výskytu a mocnosti usazených vrstev získat představu o holocénních výkyvech vlhkosti klimatu (Ložek, 2012, Mayewski, 2007)

Podle *pylových zrn* můžeme analyzovat, jaká vegetace v určité době pokrývala dané území. Základem jsou důležité vlastnosti pylu – rostlinné taxony mají rozdílná pylová zrna, lišící se tvarem, velikostí, buněčnou blánou a podobně, a dále zrna vydrží bez poškození ve vhodném prostředí až miliony let. Pylová zrna vhodná pro analýzu se nacházejí hlavně v chronologicky uložených sedimentech rašelinišť, slatinišť, jezer a některých půdních profilů. Pro indikaci klimatických změn se pak provádí vyhodnocení podle náročnosti rostlin, ze kterých pyl pochází, na teplo (Müller, Pross, Bibees, 2003).

Na základě pylových analýz byly s velkou přesností získány poznatky o vývoji našich lesů ze starších údobí v pozdním glaciálu a v postglaciálu. Zkoumány byly hlavně nálezy zbytků rostlin nejčastěji v organogenních půdách, jakými jsou vrchoviště a slatiny. Metoda pylových analýz využívá toho, že pyl většiny dřevin se v rašelině dobře konzervuje. Podle procentického zastoupení pylu jednotlivých dřevin je možné usuzovat na druhovou skladbu dřevin v okolí rašeliniště. Z výsledků rozboru různě starých vrstev rašeliny se pak může sestavit diagram zastoupení dřevin v jednotlivých obdobích holocénu. Metodu pylových analýz je možné považovat za exaktní a objektivní metodu historického výzkumu. Využívá se též zbytků rostlin a dřev, pupenových šupin a plodů v rašelinách k určení jednotlivých rostlinných druhů.Metoda pylových analýz se dá použít i ze sprašových zemin, je však náročnější a pracnější než rozbory z rašelin. (Ložek, 2007)

První pylový diagram byl vytvořen kolem r. 1916 Švédem E.J.L. van Postem. Německý botanik Karl Rudolph, pracující v Praze se s jeho prací seznámil a začal tuto metodu testovat na třeboňských rašeliništích. Měl několik následovníků a tak Československo bylo v období mezi světovými válkami zemí, kde se pylová analýza mnohostranně rozvíjela (Pokorný, 2011).

Stratigrafie je věda o vrstevném sledu v zemské kůře, biostratigrafie se zabývá zkamenělinami živočichů, které se v jednotlivých zemských vrstvách zachovaly. Pro

datování jsou důležité tzv. vůdčí zkameněliny, to jsou zkameněliny organismů, které jsou schopné se přizpůsobit různým prostředím, mají tedy velké plošné (horizontální) rozšíření a mají omezené časové (vertikální) rozložení (kambrium – trilobiti, jura – amoniti). Fosilie, které jsou velmi důležité pro paleoklimatologii jsou facie, to jsou zkameněliny organismů, které jsou vázány na určité prostředí (tj. sucho/vlhko, teplota a jiné). Podle nich je pak možné určit, jaké podmínky panovaly v tom kterém období v určité lokalitě (Kachlík, Chlupáč, 2008).

Novější výzkumy prozradily, že lze ve fosilním záznamu detekovat změny koncentrace oxidu uhličitého a vlhkosti v ovzduší i podle průduchů rostlin. Průduchy pomáhají regulovat a minimalizovat ztráty vody. Vysoká koncentrace CO_2 teoreticky způsobuje u rostlin méně průduchů (příp. jejich menší velikost).

Datování, které se používá, má mnoho metod. Chronologie podle rozpadu izotopu uhlíku C^{14} je vhodná jen asi pro posledních 45 000 let. Dává nám poměrně přesné údaje, protože víme, že radioaktivita C^{14} se za 5730 let sníží o polovinu (tzv.poločas rozpadu). Jiné způsoby datování jsou např. U^{238} – Pb^{206} (kdy olovo je výsledným produktem rozpadu přírodního uranu, poločas rozpadu U^{238} je 4,47 miliard let), uran-thorium, nebo draslík-argon, která se používá k datování hlouběji do minulosti. (Záruba, 2006)

Uhlík existuje jako dva stabilní izotopy C^{12} a C^{13}. Spolu s nimi ještě známe radioaktivní izotop C^{14}který má už zmíněný poločas rozpadu 5730 let. Všechny živé organismy si C^{14} vyměňují s prostředím. Tato výměna končí až smrtí organismu. Měřením je možno zjistit, kdy byla tato výměna izotopu uhlíku ukončena, pokud jsou známy koncentrace C^{14} v atmosféře. Z tohoto důvodu vědci vyvíjejí kalibrační tabulky a křivky, které jsou počítány většinou s dobrou přesností +- 1 rok na posledních asi 12 000 let.

Vědci předpokládají, že uhlík má svůj cyklus – zřejmě závisí na výměně ^{14}C mezi atmosférou a oceánem. Tento 2 400 letý cyklus byl zkoumán jednak z ledových jader z vrtů v Grónsku a pak také dendroklimatologickými metodami ve střední Evropě. Podobný cyklus potvrdily i palynologické (pyl) výzkumy na Sibiři. Tento cyklus má odezvu v ochlazeních ve stř. Evropě – 3200 – 2800 př. n. l., halštat 750 – 400 př.n.l. a malá doba ledová cca 1500 – 1800 n. l. (Vasiliev, Dergachev, 2002)

Další metodou je datování podle izotopů kyslíku. Izotopovou kyslíkovou metodu vynalezl již v roce 1947 americký nositel Nobelovy ceny Harold C. Urey. Zjistil, že pomocí izotopů atomu kyslíku lze vypočítat teplotu mořské vody v minulých dobách. Voda totiž obsahuje dva vyhraněné typy atomů kyslíku o různém počtu neutronů a oba dva jsou zastoupeny ve specifickém poměru v závislosti na teplotě (Behringer, 2010).

Voda - H_2O nemá vždy stejné vlastnosti díky izotopům. Oba prvky vody – kyslík i vodík je mají tři. V jádrech atomů kyslíku je určitě 8 protonů, ale neutronů může být 8, v případě nejběžnějšího izotopu ^{16}O (99,76 %), ale i 9 v případě velmi zřídkavého izotopu ^{17}O (0,039 %), nebo i 10 neutronů, když jde o izotop ^{18}O (0,201 %). U vodíku je situace podobná, nejčastější – 99,985 % - je vodíku bez neutronů, jen s jedním protonem v jádře. Velmi zřídkavý – 0,015 % - je deuterium, tedy vodík s jedním neutronem. Vodík může mít i dva neutrony v jádře, ale tento izotop, který je pojmenován jako tritium se v přírodě nachází vskutku ojediněle, protože je nestabilní, vzniká interakcí kosmického záření s atmosférickými plyny a opět se s poločasem rozpadu 12,33 let rozpadá na hélium. Z tohoto výčtu izotopů a jejich zastoupení je zřejmé, že molekula vody bude s největší pravděpodobností sestavena z atomu kyslíku ^{16}O a dvou atomů nejlehčího vodíku. Asi 500x méně bude takových molekul, jež obsahují izotop ^{18}O, a přes 3 000x méně takových, co vlastní atom deuteria. Těžší molekuly – tedy zejména ty, co vlastní těžší izotop kyslíku ^{18}O se hůř vypařují a naopak, rychleji kondenzují. Proto je jich nejvíce v oceánech a méně v atmosférické vlhkosti i ve vodách, které napájí atmosférické srážky. Celá řada výzkumů odhalila, jak se poměr ^{18}O :^{16}O mění v závislosti na podmínkách v dané oblasti, zejména pak na teplotě.

Další důležitou metodou je historická klimatologie, tedy věda na těsném rozhraní historie a klimatologie. Zkoumá historické souvislosti, zranitelnost civilizací i jejich vývoj v těsné vazbě s vývojem klimatu v minulosti. Používá proxy dat z kronik, hospodářských zápisů, osobních deníků a podobně, a i když jsou tato data vždy zatížena subjektivními vjemy, lze je použít pro dokumentaci změn klimatu. Platí tu, že čím extrémnější událost, tím větší je její odezva v písemných i ústních pramenech (Pfister, Brázdil, Barriendos, 2002). Tyto údaje dělíme na přímá data, tj. listiny, kroniky, zápisky, soukromou korespondenci a historický tisk – jsou to záznamy, které popisují

chování počasí přímo, a dále nepřímá data jako jsou např. ceny potravin, pojišťovací knihy, lodní deníky. Dokonce je k dokumentaci o chování klimatu možné použít i obrazové důkazy – malby, lepty, později fotografie a epigrafické prameny – značky, letopočty (týkají se většinou výšky hladiny při povodních) (Brázdil et al., 2010; Brázdil, 2001).

Všechny tyto indicie vedou k odhadům a teoriím, podle kterých si můžeme udělat obrázek o vývoji klimatu na naší Zemi.

2. PŘÍČINY KLIMATICKÝCH ZMĚN

Rozpor mezi tím, zda se reálné klima dá stěsnat do určitých pravidel či rovnic a tím, že se chová nepředvídatelně, trápí vědce už celá staletí. Věda soustředila mnoho údajů o změnách podnebí na Zemi v minulosti, o jejich příčinách však zatím existují jen teorie, které lze verifikovat jen v poměrně krátkém období z kterého máme přístrojová měření, hlouběji do minulosti je to více a více obtížné.

Změny zemského klimatu v minulosti, přítomnosti i budoucnosti mají na svědomí přírodní síly ale také činnost člověka. Přírodní síly se v mnoha případech řídí přirozenými cykly, které souvisí s astronomickou polohou Země, se Sluncem, všeobecnou cirkulací oceánu a atmosféry a deskovou tektonikou Země.

Základní přirozené cykly mající vliv na klima:

5 – 6 (7) let – tento cyklus souvisí s povrchovou oceánskou cirkulací v Atlantiku, ale zřejmě také se slunečními cykly – je to polovina základního 11-ti letého chodu sluneční aktivity. Už naše babičky říkávaly „jednou za sedm let přijde sucho a studená zima“

11 a 22 letý cyklus sluneční aktivity

30 – 40 letý cyklus hlubokomořské cirkulace v Atlantiku (AMO)

90 letý Gleissbergův cyklus sluneční aktivity

180 letý cyklus – pohyb Slunce kolem těžiště sluneční soustavy

19, 44 a 100 letý cyklus Milankovičových parametrů

1470 letý cyklus Dansgaard – Oesgherových oscilací

500 000 000 let – Wilsonův cyklus – pohyb a srocování kontinentů

Přírodní faktory, které působí na změny klimatu můžeme rozdělit na astronomické a geofyzikální.

2.1. Astronomické změny působící na klima

2.1.1. Kosmické katastrofy

Současná astronomie díky výzkumu zákonitostí v kosmu podává přehled o možných katastrofách, které mohly zasáhnout do vývoje Země a jejího klimatu v minulosti, dokáže však i částečně předvídat, jak by tomu mohlo být v budoucnosti.

Z přírodovědného hlediska mohly být některé katastrofy, které postihly Zemi v dlouhodobé perspektivě životodárné. Například vznik sluneční soustavy – vědci předpokládají, že vznikla z částic plyno-prachové mlhoviny po výbuchu supernovy. Vědci předpokládaný tečný střet Země s Praměsícem způsobil sklon rotační osy Země šikmo k oběžné rovině, což se v klimatu projevilo střídáním ročních dob (Ward, Brownlee, 2004).

Otázkou pro budoucí pokolení je, zda jsou pravdivé teorie, které tvrdí, že k nám život byl zanesen meteority ve formě mikroorganismů z kosmu. Další katastrofou, která zřejmě měla vliv na vývoj planety, byla srážka s meteoritem před 65 miliony let, která, jak vědci předpokládají, má na svědomí vyhynutí značné části živočišných druhů. Díky ní se evoluční prostor uprázdnil pro nástup savců, kteří se začali rychleji vyvíjet a osídlili planetu (Ziegler, 2002; Levy, 2007).

Dnes by ale dopad meteoritu byl katastrofou. Během poslední miliardy let byla Země zasažena cca 130 000 meteority, které byly tak velké, že vytvořily krátery min. 1 km v průměru. Pozůstatky těchto kráterů nacházíme různě ve světě. Mnoho nám napoví Měsíc, kde díky absenci geologických pochodů krátery můžeme pozorovat a časem i zkoumat díky sondám nebo letům s lidskou posádkou.

Nám nejblíže je nejspíš kráter Ries (o průměru 24 km), způsobilo ho těleso o průměru 1 km, spadl před cca 15 mil. let. Kráter v Arizoně před 50 000 lety způsobil meteorit o průměru 12 km, našlo se několik částí složení nikl/železo, jeho výbuch odpovídal 20 milionům tun TNT, pro srovnání atomová bomba, svržená na Hirošimu měla účinek jen 15 000 TNT. Pozorovaný ale dosud vyvolávající

spoustu záhad a teorií byl dopad tělesa v r. 1908 v Tunguzce, kráter nebyl nalezen, jen spoušť pokácených stromů na ploše cca 2 000 km^3.
Katastrofa není ale vyloučená ani nyní. 7. ledna 2002 astronomům skutečně zatrnulo. Zemi minul asteroid o průměru 300 m a dostal se k Zemi na vzdálenost 800 tisíc km, což není tak daleko, navíc byl objeven až několik dnů poté, co se přiblížil Zemi nejvíce.

Většina meteoritů jsou úlomky asteroidů či komet. Když meteorit narazí na zem, stlačí horniny přibližně 3x více než odpovídá jejich hustotě, stlačená hornina se pak navrátí do původního stavu, tím se vymrští v úlomcích spolu s pozůstatky meteoritu a s prachem. Katastrofický scénář by nastal, pokud by se Země srazila s meteoritem o průměru zhruba 10 km. Do atmosféry by se vymrštilo obrovské množství prachu a silný vítr by ho roznesl kolem světa. Prachová mračna by blokovala sluneční svit a Země by se stala temnou a zmrzlou planetou. Po vyjasnění by pak zaplavil atmosféru oxid uhličitý, vytvořil by skleníkový efekt a ohřál klima až o 15 ^{o}C. Dopad by vyvolal silná zemětřesení a pokud by směřoval do moře či do oceánu pak nepředstavitelně mohutné vlny tsunami, které by na pobřežích zpustošily vše živé.
Při dnešní úrovni astronomie a astronautiky je možné s několikaletým předstihem najít těleso větších rozměrů a tak by bylo možné i odklonit včas dráhu nebezpečného objektu aby minul Zemi.

Výzkum planetek křižujících dráhu Země či naopak těles za drahou Neptunu patří v současnosti mezi nejrychleji se rozvíjející obory astronomie. Většina nových těles je objevována v zahraničí dalekohledy o průměru zrcadla kolem jednoho metru či dokonce větších. Část z jejich objevů je pozorovatelná (alespoň brzy po objevu) i malými 0,3 - 0,5-m přístroji vybavenými ovšem CCD kamerami, jaké využívají i mnozí amatérští pozorovatelé v USA, Evropě a Japonsku. Část nově objevených těles je však velmi slabá či velmi rychlá a pro jejich následnou astrometrii, nezbytnou pro určení přesné dráhy, je třeba užívat 1-m či větší profesionální dalekohledy.U nás se takovým pozorováním zabývají astronomové na Kleti – projekt se jmenuje KLENOT.

Podíváme-li se na Měsíc, posetý krátery po bombardování meteority, určitě člověka nenapadne, že nebýt deskové tektoniky, hydrologického cyklu, eroze a vegetace, naše Země by vypadala podobně.

Jak se tedy detekují dopadové struktury na Zemi a co provází výzkum v této oblasti? Nejviditelnější známkou impaktu je kráter. Na Zemi existuje mnoho dobře zachovaných impaktních kráterů, ale daleko větší množství z nich zničila desková tektonika spolu s erozí. Krátery jsou zahlazeny a zaplněny mladšími sedimenty, další se nacházejí na dně moří a oceánů či pod ledovci. Pokud se kráter zachoval, bývá to eliptická nebo kruhová sníženina s centrálním pahorkem ve svém středu. Podmořské krátery bývají odhaleny díky průzkumu ropných společností (Jiránek, 2012). Tak byl objeven kráter Chicxulub, také Šiva u indického subkontinentu a Bedout u australských břehů. Další fyzikální metodou hledání a potvrzování kráterů jsou gravimetrická měření tíhových anomálií. Dopadem rozdrcené horniny mají totiž nižší hustotu než okolní prostředí. Dnes je tímto způsobem potvrzeno na Zemi už kolem 200 dopadových struktur. Tíhové anomálie nám prozradí i centrální pahorek impaktu a soustředné okrajové valy, jichž bývá i několik. Uveďme znovu příklad kráteru Chicxulub v Mexickém zálivu, u něho byla dokonce nalezena ještě jedna struktura, svědčící o pádu dvojice asteroidů, z nichž první byl o průměru až 15 kilometrů, druhý o mnoho menší. V současnosti se na tato měření používá velmi přesný model EGM 2008, jehož uživateli jsou i čeští vědci (Klokočník et al., 2009; Klokočník et al., 2010).

Mimozemský impakt dále prozradí vrty do hornin. Chemickým rozborem vzorků se dá prokázat iridium, je to prvek, který je v zemské kůře zastoupen ve velmi mizivém množství, bývá ale součástí impaktorů z kosmu. Mimo iridium se nachází další vzácné prvky – platina, osmium, palladium, rhuttenium a rhenium. Jedni z prvních, kdo detekovali iridium a další vzácné prvky a správně usoudili na dopad velkého mimozemského tělesa, byli Luis a Walter Alvarezové z Kalifornské univerzity. Stopy iridia byly díky nim nalezeny všude ve vrstvách mezi křídou a třetihorami (tedy na K/T rozhraní, jak vědci označují tuto událost) a pozdější nález kráteru byl už jen potvrzením jejich teorie.

Dalším zajímavým nálezem z vrtů impaktových struktur jsou nanodiamanty. Jsou to velkým tlakem a vysokou teplotou přeměněné uhlíkaté sloučeniny, někdy dokonce

s uzavřeninami neroztaveného grafitu. Od běžných kimberlitových diamantů se liší prasklinami a nejsou zdaleka tak kvalitní a velké. Příkladem těchto nálezů je kráter Popigaj na Sibiři.

Ve vrtech a okolí impaktů se nachází také šokově přeměněné horniny. Pokročilé technologie – elektronové mikroskopy a spektrální analýza – dovolují i ta nejmenší zrnka dokonale prozkoumat. Zrna minerálů, šokově metamorfovaných, mívají především různé deformace dislokace, rovinné zlomy a lamely. Některé minerály ztratí úplně svou strukturu – mění se jejich štěpnost nebo se stávají amorfními, také může být proměněna jejich magnetická orientace a polarizace. Mohou se mezi nimi objevit dvojkrystaly („dvojčata“).

Z křemene bývají přeměněna diaplektická skla stišovit a coesit, z olivínu wadsleyit a ringwoodit. Z kapek taveniny po nárazu mohou vznikat sférule – kuličky roztavené horniny. V podloží se často vytvoří žíly tavenin, tzv. pseudotachylity.

Dalším ze zajímavých mikroskopických nálezů jsou zvláštní uhlíkaté struktury zvané fullereny. Jsou vzhledem podobny fotbalovému míči a v sobě uzavírají především mimozemské hélium.

Nepřímými důkazy pádu velkého tělesa jsou vrstvy popela v horninách – tzv. „černá matrace“, jak ji vědci nazývají, je tu proto, že dopad meteoritu zpravidla doprovázejí katastrofické požáry a tepelná vlna. Stopy sazí se pak mohou objevit i ve vrstvičkách vrtných jader při zkoumání ledovců. Na pevnině po dopadu impaktoru do moře můžou vědci najít stopy po tsunami – vrstvy usazenin, písku a rozbitých korálů.

Poslední nepřímou stopou, kterou zmíním, jsou nálezy tektitů. Tektity jsou také roztavené podložní horniny, ale spolu s vegetací a ornicí. Spadnou na zem ve směru letu meteoritu, pokud je dostatečně velký a po šikmé dráze. Povrchové horniny z místa dopadu totiž zvedne stlačený rozžhavený vzduch na čele tlakové vlny. K nejznámějším tektitům patří tzv. lybijské sklo a pak naše vltavíny. Vltavíny se zrodily nejspíše díky dopadu meteoritu Ries v Německu před 14,5 miliony let.

Kráter byl původně považován za kryptovulkanickou strukturu. Spory o jeho původu trvaly až do nalezení tzv. šokových křemenů, jsou to kameny poškozené vysokým tlakem a teplotou po nárazu vesmírného tělesa. Kráter je sice ve zlomové, seisimicky aktivní oblasti, ale vulkanická činnost by toto nezpůsobila.

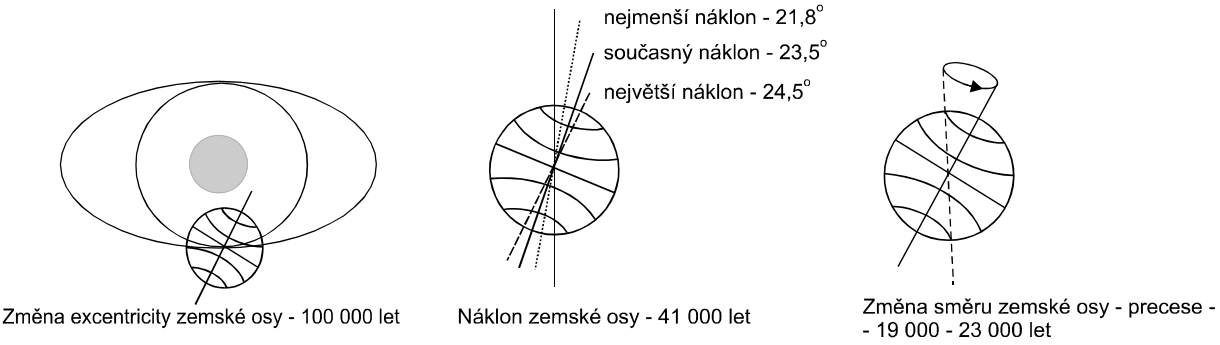
Podívejme se trochu na zajímavé myšlenky, které publikuje ve svých knihách Petr Rajlich (Rajlich, 2004). Vychází sice také z prací světových autorů, ale stvořil hypotézu o předpokládaném dopadu obrovského meteoritu (před přibližně 1300 miliony let) do míst budoucího Českého masivu. Je skutečným faktem, že Čechy tvar kráteru, včetně středového vrcholku, mají. Teorie je podporována nálezy šokových křemenů a dalších hornin. Nicméně – je kritizována a nebyla dosud potvrzena ani vyvrácena.
V blízkosti Země se pohybuje téměř 20 000 planetek nad průměr 400 metrů, schopných ohrozit Zemi. Mnohem více je ale těch menších. Můžeme hovořit o štěstí, že naše rozvinutá civilizace ještě kataklyzma spojené s dopadem tělesa mimozemského původu nezažila. Posledním velkým a dobře zdokumentovaným pádem velkého tělesa byl tunguzský meteorit, naštěstí spadl do neobydlených končin Sibiře a nedávný dopad maličkého tělesa v Rusku, který naštěstí neohrozil lidské životy. Bohužel v budoucnu takové štěstí mít nemusíme (Soukupová, 2013).

Nebezpečí pro Zemi by představoval také výbuch supernovy, vědci předpokládají, že život by ohrozila supernova ve vzdálenosti menší než 30 světelných let od Slunce. V budoucnu podle astronomů takový výbuch nehrozí. Nejvíce zkoumaní červení obři, kteří už jsou na hraně svého života – Antares a Betelgeuze, jsou naštěstí dostatečně vzdáleni. Ovšem např. Betelgeuze by při své přeměně v supernovu ozářil i naši denní oblohu, ač je vzdálený asi 500 světelných let.
Když se podíváme do mnohem vzdálenější budoucnosti, jediným závažným kosmickým fenoménem, proti němuž jsme zatím bezmocni, je vývoj Slunce. Slunce prochází evolucí jako každá jiná hvězda svého druhu a podle výpočtů se za 6,5 miliardy let změní v červeného obra. Země spolu s ostatními planetami pak zaniknou.

2.1.2. Astronomická teorie klimatických změn

Během existence Země se klima několikrát měnilo, celkově bylo průměrně teplejší než dnes, ale v prehistorii a i v rámci posledních milionů let byly doby ledové, kdy klima na Zemi výrazně ochladilo. Vědci dlouho zkoumali zákonitosti a souvislosti proč tomu tak bylo.

Jedním ze způsobů poznání zákonitostí chodu klimatu jsou astronomické teorie klimatických změn. V polovině 19. století se tomuto tématu věnoval francouzský matematik Joseph Alfonse Adhémar. Vyslovil hypotézu, podle níž by doby ledové mohly souviset s faktorem, že zemská osa nemá stále stejný sklon, ale opisuje kružnici. Na jeho práci částečně navázal James Croll. Ve své práci rozvedl mechanismy a příčiny globálních změn, oceánické proudění a jeho vliv na klima a v neposlední řadě i podíl CO_2 při oteplování klimatu. Hlavně ale přišel s teorií, podle níž má větší excentricita (výstřednost) oběžné dráhy Země za následek krutější zimy.
Nejúplnější model vlivu sluneční činnosti na klima naší planety zpracoval začátkem minulého století srbský astrofyzik Milutin Milankovič. Jeho výzkum si vyžádal spoustu výpočtů a mravenčí práce, takové práce, kterou bychom si dnes bez pomoci výkonné výpočetní techniky těžko mohli představit. Přesto mohl vytvořit teorii, které dnes říkáme Milankovičovy cykly, případně Milankovičovy parametry. Ústředním bodem Milankovičovy teorie je myšlenka, že k cyklickým změnám klimatu dochází působením tří vesmírných faktorů, které samy mají cyklický charakter.



Milankovičovy parametry

První z nich je změna excentricity zemské dráhy, tj. vzdálenost ohniska od středu eliptické dráhy. Dochází k ní každých zhruba 100 000 let.

Druhá je sklon zemské osy. Odklon od kolmice k rovině ekliptiky se pohybuje mezi 21,8 a 24,5 stupni. Úhel svírá rovina ekliptiky s rovinou rovníku. Tato změna má cyklus přibližně 41 000 let.

Třetím faktorem je precese, odehrává se v cyklu 19 000 – 23 000 let, je to změna směru zemské osy (osa sleduje plášť kužele).

Jsou to faktory, odpovědné za rozdělení slunečního záření dopadající na Zemi podle roční doby a zeměpisné šířky.

Excetricita způsobuje, že oběžná dráha Země není kruhová, ale elipsovitá. Odchylka se může pohybovat od kruhu (nulová excentricita) do 6 %. Nyní je přibližně 1,67 %. Kolísání excetricity vede ke změnám průměrné vzdálenosti Země od Slunce. Na kruhové oběžné dráze získává Země méně energie, na elipsovité se střídají maxima a minima, má to ale vcelku malý efekt, jen několik desetin stupně Celsia. Pohyb Země na oběžné dráze je rychlejší v periheliu než v afheliu, zrychlení kompenzuje silnější působení slunečního svitu v periheliu.

Sklon osy se pohybuje mezi 24,5^{o} a 21,9^{o} , v současné době činí 23^{o}27´ . Když se náklon zvětší, dopadá v ročním průměru na rovník méně slunečního svitu a na póly více. Významný je rozdíl mezi ročními dobami na protilehlých místech Země – mírnější léto na severním pólu znamená drsnější zimu na pólu jižním. Je-li sklon menší, jsou sezónní kontrasty slabší a to usnadňuje zalednění.

Precese zemské osy, je pohyb, při němž se země při otáčení kolem své osy vyklání do stran jako dětská káča, to znamená že osa pólů opisuje kužel. Tato osa dnes směřuje k Polárce a za 26 000 let opíše kruh. Tento pohyb může způsobit, že zeměpisné šířky severní polokoule se ocitnou například v afheliu dál od Slunce, jindy naopak blíž. Milutin Milankovič v letech 1911 – 1957 spočítal kolísání oslunění mezi 55 – 65 rovnoběžkou severní zeměpisné šířky za posledních 600 000 let. Tyto výpočty odhalily kolísání s minimy, která zřejmě spadala do známých dob ledových, není snadné ale dokázat tyto vlivy u dávno minulých dob paleoklimatu.

Milankovičovy parametry se objevily v knize „Klima geologické minulosti“ (1924) klimatologa Vladimíra Köppena a geofyzika Alfreda Wegenera. Tato kniha v sobě spojuje dva epochální objevy své doby – myšlenku pohybu kontinentů a astronomické příčiny ledových dob (Acot, 2005).

Dnešní stav Milankovičových parametrů napovídá, že doba velkého ochlazení by mohla přijít cca za 5 000 let, jsou to ale jen zatím teorie. Excentricita oběhu Země kolem Slunce je malá, náklon zemské osy je 23,5^{o} a perihelium je 4. ledna. Zimní perihelium spolu s větším náklonem zemské osy způsobují ochlazování severu a oteplení tropů. (Braniš, Hůnová, 2009)

Vědci uvažují ještě o další domněnce, tou je orientace zemské dráhy vůči rovníku Slunce. Když se oběžná dráha Země shoduje s rovinou odpovídající slunečnímu rovníku, prochází zřejmě naše planeta oblakem tzv. zodiakálního prachu, což je odpad komet a asteroidů. Tento prach obíhá kolem Slunce právě v rovině slunečního rovníku a brání průchodu slunečních paprsků.

2.1.3. Změny sluneční aktivity

Slunce je naší nejbližší hvězdou. Je to běžná hvězda hlavní posloupnosti, spektrální třídy G2. Nachází se přibližně v polovině cyklu svého vývoje. Vzdálenost od Země je zhruba 150 milionů km, průměr Slunce je 1,4 miliony km, teplota na povrchu dosahuje 5 500 ^{o}C. Nejvýraznější projevem aktivity Slunce, majícím vliv na změny klimatu jsou sluneční skvrny. Sluneční skvrny jsou tedy viditelné projevy magnetických toků na povrchu Slunce. Příčiny jejich vzniku nejsou dosud dobře objasněny. Jsou velké, mají až 50 tisíc km v průměru. Vyskytují se po skupinách a na povrchu Slunce se stěhují. Jsou lemovány tzv. fakulemi, což jsou vláknité struktury, teplejší než povrch Slunce (cca 7 000 ^{o}C), a také jasnější, takže i když jsou na povrchu slunce skupiny skvrn, Slunce září téměř stejně jasně. Astronomové měří velikost slunečních skvrn v miliontinách viditelného povrchu. Běžně velké skvrny zabírají plochu asi 300 – 500 miliontin. Největší skvrna v pozorovatelské historii měla 6132 miliontin a byla pozorována v roce 1947.

Sluneční skvrny byly člověkem pozorovány celá staletí, ale k systematičtějšímu sledování začalo docházet až od doby kolem r. 1610, po vynálezu dalekohledu. (Dvořák, Křivský, 1989).

Cyklus sluneční aktivity byl pozorován celých 400 let. V dnešní době k jeho vyjádření používáme jednak tzv. Wolfovo číslo což je mezinárodní číslo slunečních skvrn. Tvoří základní řady pro definici sluneční aktivity. Kontinuální řady existují už od roku 1749. Od počtů slunečních skvrn odvozujeme další důležité cykly – Haleův cyklus, což je doba za kterou dojde k přepólování globálního magnetického pole Slunce – je to dvojnásobek cyklu slunečních skvrn, tedy 22 let. Dále se uvádí tzv. Gleissbergův cyklus (90 let) který moduluje intenzitu 11-letého slunečního cyklu a má významný potenciál shromažďovat přebytky dopadajícího záření nebo způsobit snížení toku energie. (Mursula, et al, 2001; Li, 2005; Landscheidt, 2009)

Čím více je slunečních skvrn na Slunci, tím větší je jeho aktivita. Počty skvrn a tím také aktivita se pohybují v základním jedenáctiletém cyklu, astronomové pak uvažují ještě o 22-letém a 90-letém (Gleissbergově) cyklu což je modulace hlavního 11-letého cyklu slunečních skvrn (Landscheidt, 2009).

Jedenáctiletý cyklus aktivity Slunce byl potvrzen i různými metodami zkoumajícími účinky slunečního záření přímo tady na Zemi. První z nich vychází z prostého pozorování. Astronom Andrew Ellicot Douglas kolem r. 1901 začal systematicky zkoumat souvislost mezi tloušťkou letokruhů stromů a slunečním zářením. Na počátku 30. let 20. století měl shromážděn soubor více než 1900 spolehlivě změřených vzorků s letokruhy. U dlouhověké sekvoje a kanadské borovice našel právě 11 cyklů, přesně vystihující hlavní jedenáctiletý cyklus aktivity Slunce. Letokruhy jsou silnější, čím příhodnější je klima. Douglas se ale podivil, když pro roky 1645 – 1710 nenašel žádné periodické změny. Záhada byla brzy osvětlena – jde o roky kdy sluneční cyklus zřejmě vysadil. Tomuto období říkáme Maunderovo minimum. Sluneční skvrny byly v tomto období výjimečně vzácné a sluneční cyklus byl potlačen. Časově toto minimum odpovídá tzv. „malé době ledové“.

Pozorování letokruhů, jejich tloušťky, bylo později obohaceno o metodu datování vzniku letokruhů radiouhlíkovou metodou. Tato metoda je založena na mapování výskytu radioaktivního ^{14}C ve dřevě. Čím větší je sluneční aktivita, tím méně radioaktivního uhlíku se vytváří.

Dále do minulosti jde metoda používaná vědci z Curyšského institutu pro astrologii. Vyhodnocuje historickou aktivitu Slunce na základě studia ledových jader z vrtů do Grónských ledovců. V hloubce ledu trvalého zalednění jsou zaznamenány důkazy o klimatických změnách daleké minulosti. Metoda vychází ze zkoumání izotopů berylia ^{10}Be v ledu. Jeho izotop vzniká působením kosmických paprsků a vysokoenergetických částic z hlubin vesmíru a je významným způsobem ovlivňován silou slunečního větru, nabitých částic, které opouští sluneční povrch a vanou pryč od Slunce rychlostí 300 – 500 m/s. Síla tohoto slunečního větru se prokazatelně mění

s množstvím slunečních skvrn a proto lze množství berylia v ledu považovat za poměrně přesný odhad sluneční aktivity.

Měřením koncentrace izotopu ^{10}Be nelze rekonstruovat každý předmětný rok, ale díky šumu v datech spíše celá 11-ti letá období. Zkoumání probíhá zjednodušeně takto:

- *z měření koncentrace ^{10}Be se určí tok kosmického záření do horních vrstev atmosféry*
- *průměrná intenzita kosmického záření byla změřena a je známa, pomocí modelu průchodu kosmického záření heliosférou se určí, jak bylo toto záření heliosférou, tedy magnetickým polem Slunce, ovlivněno – tzv. modulační intenzitu*
- *modulační intenzita tedy závisí na toku magnetického pole Slunce, který je z ní možné určit a z tohoto toku se dá spočítat intenzita zdroje čili zdrojový člen*
- *z velikosti zdrojového členu je možný odhad sluneční aktivity a tedy také počet skvrn na Slunci (Hoffman,2005; Usoskin, 2003)*

Rekonstrukce těchto dat poukazuje nejen na Maunderovo minimum ale i na další minima v dávné minulosti (Youself, 2000).

Sluneční cykly nejsou z hlediska statistického matematicky přesné. Až 4. ledna 2008 se ve sluneční fotosféře objevila aktivní oblast s opačnou magnetickou polaritou. Tento moment značil skutečný nástup nového slunečního cyklu, modely předpovídaný už v druhé polovině roku 2007. Tento cyklus je označován jako 24. v pořadí. Byl původně předpovídán jako silnější (až o polovinu) než předchozí cyklus a maxima by měl dosáhnout v roce 2012. Následující cyklus pak by měl být velmi slabý. Rok 2009 ale prokázal, že nynější sluneční cyklus je oproti předpokladům slabý, v srpnu 2009 např. nebyly na Slunci žádné skvrny.

Dalším projevem sluneční aktivity jsou erupce a koronární ejekce sluneční hmoty. Souvisejí také se slunečním větrem.

Při slunečních erupcích létají částice až kolem 1000 km/s. Rychlost a hustotu slunečního větru měří automatické sondy v blízkosti Země (ACE, SOHO). Naštěstí Země je jako obrovským deštníkem chráněna magnetosférou. I tak za určitých podmínek mohou ionizované částice ze Slunce proniknout do atmosféry a zapříčinit geomagnetické bouře (Shaviv, 2005; Hofman, 2005).

Geomagnetické bouře mohou narušit zemskou ionosféru, která je důležitá pro radiovou komunikaci. Kolabují různé rádiové přístroje, telefony, družice. Indukuje se velké množství energie zvláště do dálkových rozvodů vysokého napětí a rozvodná síť může tím být poškozena. Průvodcem těchto bouří bývají silné polární záře.

Se sluneční aktivitou těsně souvisí i vulkanická aktivita Země. Vědci zjistili, že maxima erupcí sopek na Zemi bývají ve slunečním minimu, tak ještě přispívají k ochlazení klimatu.

Vědci zkoumali tuto souvislost v historických záznamech a pak hlavně pomocí sledování bahenních sopek, které se nacházejí v kolizních a subdukčních zónách a tudíž dobře odrážejí aktivitu komprese zemských desek. Mechanismus vyplývá z toho, že při snížení sluneční aktivity konvekční proudy v zemském plášti slábnou, snižuje se tam teplota a tím nastane komprese doprovázená procesem subdukce. Naopak při zvýšené sluneční činnosti roste intenzita slunečního magnetického pole a zvyšuje se proud korpuskulárních částic – tím se navozuje aktivita konvekčních proudů v litosféře a astenosféře, plasticita pláště se zvyšuje a tento mechanismus může přinést množství povrchových zemětřesení (zatímco počet hlubokých zemětřesení v maximu klesá). (Khain, Khalikov, 2008)

Zdá se že výbuch sopky Eyjafjallajökull a Mount Sinabung (mimo jiné) v roce 2010 navazuje časově na sluneční minimum, lépe řečeno pomalý nástup 24. slunečního cyklu.

2.1.4. Kosmické záření

Kosmické záření pokud není zachyceno slunečním větrem (při nízké sluneční aktivitě) dopadá na Zemi a zřejmě přispívá ke vzniku vulkanické aktivity. Někteří vědci se domnívají - a poslední výzkumy jim možná dají za pravdu – že zvýšený tok

kosmického záření má vliv na oblačnost na Zemi. Vyšší podíl kosmických částic může totiž zvýšit počet velmi drobných částic aerosolu a tím změnit charakteristiky oblačnosti – větší odrazivost, delší doba než vzniknou srážky. Zdá se, že ve slunečních minimech přibývá hlavně střední a vyšší oblačnosti, která houstne a cloní sluneční paprsky. (Hollan, 2006) Jedním z důkazů by možná bylo – v dnešním hlubokém minimu sluneční činnosti – objevení nových oblaků, která vypadají jako hladina moře, vyskytují se ve střední vrstvě a vědci pro ně navrhují název asperatus.

2.1.5. Pohyb Slunce kolem barycentra sluneční soustavy

Vliv tohoto pohybu na zemské klima není ještě úplně prokázaný, ale je intenzivně zkoumán. V podstatě jde o inerciální pohyb – pohyb kolem těžiště sluneční soustavy. Průměrný prostor, ve kterém se při tomto kmitání Slunce pohybuje je 4,4 sluneční poloměry (tj. 2,2 poloměru Slunce na každou stranu). Vliv na tento sluneční kmit mají velké planety sluneční soustavy, hlavně Jupiter. Pokud se Slunce pohybuje po uspořádané dráze, vytváří jeho trajektorie jakýsi trojlístek. Neuspořádaný pohyb pak vykazuje chaotickou dráhu. Perioda mezi těmito dvěma stavy je 190 let. Pokud je Slunce v neuspořádaném, chaotickém pohybu, jeho aktivita bývá nízká, cykly trvají déle a jsou nepravidelné. Wolfovo, Spörerovo, Maunderovo i Daltonovo minimum sluneční činnosti souhlasí s neuspořádaným pohybem Slunce. V dnešní době – přibl. od r. 1985 do r. 2040 se Slunce nachází v chaotickém pohybu (Charvátová, 2000).

2.2. Geofyzikální změny působící na klima

Ke geofyzikálním příčinám změn klimatu patřil v minulosti pohyb kontinentů (kontinentální drift), s ním spojený vulkanismus, zdvihání nebo pokles horských masivů a změny mořského dna, atmosférická cirkulace a mořské proudy.

2.2.1. Pohyb kontinentů

Kontinenty se od pradávné minulosti Země „stěhovaly“ a seskupovaly, znovu dělily a znovu srážely v různých místech planety. Tím se také měnilo klima na nich v různých obdobích, například pokud ležely u rovníků, panovalo na nich tropické klima a podobně.

Zdvih a pokles horstev různě ovlivňoval vzdušné proudy. Například po vyvrásnění Himálaje se začalo odklánět vzdušné proudění od Indického oceánu. Jižní okrajová pohoří zadržují vlhké větry a prakticky v celém Tibetu způsobují velmi suché kontinentální klima. Zbytky vláhy, které přešly přes Himálaj, jsou zadržovány jižními svahy Transhimálaje. Na Tibetské vysočině dosahují roční srážky pouze 100 mm, průměrná roční teplota je hluboko pod bodem mrazu, nejteplejší srpen má průměr 3 - 4 ^{o}C.

V období před 70 miliony lety se mohutná pevninská deska indického subkontinentu začala pohybovat na sever, kde narážela na desku vnitroasijskou. V té době se mezi nimi rozkládalo Tibetské moře. Asi před 7 až 10 miliony lety se obě desky srazily a došlo k vyzvednutí jak Himálaje, tak i rozlehlých náhorních plošin v místě bývalého Tibetského moře. Následné himálajské vrásnění pak dále celou oblast modelovalo.

Pohyb kontinentů mohl také zapříčinit potopy, na které najdeme „vzpomínky“ v mytologii mnoha starobylých národů (ve Středomoří epos o Gilgamešovi, bible – Noe). Tyto dávné události přenesené do mýtů mohly být pravdivé. Například Středozemní moře – vytvořilo se na místě pravěkého moře Tethys a předpokládá se, že to byla sníženina, kterou naplnil vodou Atlantik přes Gibraltarskou úžinu. Vědci předpokládají, že se vysychání a následné plnění vodou mohlo stát několikrát.

Zajímavou hypotézu mají vědci (W. Ryan a W. Pitman z Kolumbijské university v USA) o vzniku Černého moře. Černé moře bylo původně sladkovodní jezero, napájené řekami ze severu. Před cca 14 tisíci lety z něj po tání ledovců (ledovec ve würmu dosahoval až k Moskvě) přetékaly vody do Egejského moře. Poté co v mladším dryasu došlo k opětovnému ochlazení a ledovce mohutněly, odtok se zastavil. Spojení s Egejským mořem se přerušilo a vody z ledovců si našly cestu východo-západním směrem. Na úrodné půdě na březích Černého moře se usadili lidé. Po skončení studeného období došlo opět k tání ledovců, hladina Středozemního moře se plnila Gibraltarem, hladina Egejského moře se zvedala a dostala se nad úroveň hladiny Černého moře. Voda si našla cestu Bosporskou úžinou. Katastrofa mohla nastat asi před 7600 lety, kdy rozdíl hladin činil stovky

metrů. Bosporem se řítil obrovský vodopád, na plochém pobřeží Černého moře stoupala voda denně o desítky centimetrů. Taková událost mohla ve starověkých národech v té oblasti zanechat trauma „potopy světa" a stát se vzdálenou vzpomínkou, ze které vznikly mýty.

2.2.2. Vulkanismus

Následky masivního vulkanismu pro klima jsou prokázány ve všech historických epochách. Po výbuchu větší sopky se do ovzduší uvolní velké množství prachu a díky energii výbuchu pronikne nejen do troposféry (kde se vymyje dešti), ale hlavně do stratosféry. Prachové částice pak obíhají celou Zemi a velmi pozvolna sedimentují.

Vulkanické erupce jsou jedním z nejdůležitějších spouštědel náhlých klimatických změn. Radiační, chemické, dynamické a tepelné poruchy mají dopad na podnebí na velkých částech Země, někdy mají i globální dopad. Vzhledem k tomu že erupce vyvíjejí krátkodobý vliv na podnebí, jsou ideální ke studiu signálu – odezvy klimatu. Velký vliv má především průnik velkého množství SO_2 do spodní stratosféry a dále prach a popel do vyšších vrstev atmosféry. Odezvou bývá ochlazení a to u velkých erupcí v průměru až o 1 – 3 stupně (Fischer, 2007).

V poslední době je už možno ze sedimentů a stop v ledových vrtech datovat sopečný výbuch ale podle složení popela jej lze přiřadit i k určité sopce. Nejzávažnější dopady mají náhlé silné erupce, které uvolňují velmi jemnozrnný popel, který pronikne až do stratosféry, odkud velmi pomalu sedimentuje.

Jako jeden z příkladů můžeme jmenovat výbuch sopky Toba na Sumatře před 73 000 lety. Bylo uvolněno 2800 km^3 popela, který ochladil zemskou atmosféru minimálně na několik desetiletí a vedl ke zničení části vegetace na velké části zeměkoule. Odezvu výbuchu vědci nacházejí například až v Indii, kde vyhynuly mangrovové pobřežní lesy. (Braniš, Hůnová, 2009)

Silné sopečné výbuchy, po kterých následovalo ochlazení, měly pravděpodobně vliv na krize starověkých civilizací. Jako příklad můžeme uvést Mínojskou kulturu na Krétě. Kolem let 1500-1800 př. Kristem tam byla velká vulkanická aktivita. Zánik ostrova Théry (Santorin) někteří historikové starověku spojovali s katastrofou bájné Atlantidy. Tento ostrov byl někdy kolem roku 1500 př. Kr. téměř celý zničen

sopkou Strongyli a i když podle archeologických nálezů obyvatelstvo stačilo utéci, ovlivnila tato přírodní katastrofa národy v širokém okolí.

Výbuch sopky Krakatoa vyvolal apokalypsu v Tichomoří. Při jejím výbuchu v roce 1883 byla doslova smetena celá severní část ostrova. Území s průměrnou nadmořskou výškou 214 metrů se náhle propadlo do hloubky 275 m pod mořskou hladinu. Zvláštní zvuk exploze byl slyšet na vzdálenost 5000 kilometrů a moře v dalekém okolí pokrylo velké množství popela. Odhaduje se, že exploze vynesla asi 25 km^3 kamení a popela do výšky 27 kilometrů. Vzdušnými proudy roznesený sopečný prach se rozptýlil v atmosféře kolem celé zeměkoule a tlumil sluneční svit, což ovlivňovalo počasí (ochlazení) na celém světě ještě i mnoho let po výbuchu. Velké množství prachu se usazovalo ještě i na palubách lodí vzdálených 2600 km od místa exploze. V jejím důsledku vzniklé tsunami, které se místy nakupily až do výše 30 metrů, zničily 295 měst a vesnic na Jávě a Sumatře, kde tehdy utonulo více než 36 800 lidí. (Svoboda, 1998)

Erupce sopky Pinatubo na Filipínách 12. června 1991 se dostalo do ovzduší 20 – 30 milionů tun oxidu siřičitého. V roce 1992 v důsledku této události poklesly průměrné teploty na Zemi o 0,5 stupně Celsia.

Sopky ještě zdaleka neřekly své poslední slovo. I když většina činných sopek je monitorována a lidé by byli včas varováni, existují spící sopky, o kterých nevíme. Existují podmořské sopky, které jsou pro nás skryty. Výbuch síly jako Krakatoa by měl v dnešním zalidněném světě katastrofické následky.

Nejen výbuch sopky je ale pro civilizaci a klima nebezpečný. Událost na jezeře Nyos v Kamerunu, ke které došlo 21. srpna 1986, je jednou z největších katastrof způsobených v přímé souvislosti se sopečnými plyny. Zapříčiněna byla zdánlivě neškodným oxidem uhličitým, který se ve velkém množství náhle uvolnil ze spodních vod jezera a díky své hmotnosti (1,5x těžší než vzduch) zaplnil nižší polohy přilehlého údolí až do výšky 100 m. Udušeno tak bylo v krátkém okamžiku celkově 1746 lidí a více jak 8300 kusů dobytka. Dalších 3460 místních obyvatel muselo být z důvodu bezpečnosti evakuováno, smrtící mrak totiž doputoval až do vzdálenosti 10 km od svého zdroje. Koncentrace CO_2 v atmosféře se přitom

pohybovala mezi 20-30%, přičemž smrt hrozí už při koncentraci 10 % za cca 10 – 15 minut. Jezero Nyos je klasickým příkladem maaru, který vznikl hydrovulkanickou erupcí přibližně před 400 roky. I když se od té doby neprojevuje jako aktivní vulkán, na dně jezera pravděpodobně dochází k posopečné činnosti, při níž je produkován CO_2, buďto přímo ve formě mofet (u nás se mofety vyskytují např. v rezervaci SOOS), nebo vázaný v rámci vystupujících termálních pramenů. Plyn se v obou případech následně rozpouští ve vodách jezera a díky tlaku horních vrstev je akumulován při jeho dně a jakýkoli podnět může plyn uvolnit. U jezera Nyos a podobně situovaných vodních těles je proto nebezpečí opakovaných podobných smrtících výronů.

Podmořské zemětřesení či výbuch sopky je nebezpečný jev hlavně kvůli vlnám tsunami, které tu vzniknou, šíří se a přílivová vlna při nárazu na pevninu zničí celá pobřeží.

Ještě v živé paměti je podmořské zemětřesení na konci prosince r. 2004 které vzniklo v Indickém oceánu podsunutím indické desky pod sundskou, kdy se severozápadně od Sumatry propadlo dno oceánu. Vyvolalo obrovské vlny tsunami, které zpustošily celé okolní pobřeží a připravily o život čtvrt milionu lidí.

Nejen příroda je ale člověku hrozbou. Stejně ničivé účinky jako pád meteoritu či sopečný výbuch by na klima mělo válečné použití jaderných zbraní.

2.2.3. Změny mořského dna a mořské proudy

Mořské dno se v pradávné minulosti formovalo poklesem, vzestupem a posuny litosférických desek. Změny mořského dna významně přispívaly ke změně tras a teploty oceánských proudů. Mořská voda je neustále v pohybu, je ovlivňována a sama ovlivňuje klima na naší planetě.

Procesy odpařování a srážek nad oceánem nejsou rovnoměrně rozloženy, jsou součástí přirozeného hydrologického cyklu. Je to důležitá součást klimatického systému a její narušení může mít dalekosáhlé následky. Jedním z důkazů může být „Great Salinity Anomaly“, která souvisí s velkým množstvím sladké vody, která se v 60 letech objevila na východním pobřeží Grónska. Hluboká konvekce – výstup

teplých vod, která umožňuje udržovat teplé klima v Evropě, zeslábla, na povrchu oceánu zůstávala lehčí sladká voda. Došlo k ochlazení , hlavně Grónska a severního Islandu. Tyto sladkovodní impulsy nejsou snadno pozorovatelné. Teplotu oceánů lze měřit i družicově, ale slanost vyžaduje více nákladnějších prostředků. Některé pulzy sladké vody zřejmě zůstaly nepozorovány, ale na cirkulační systémy a hlavně na NAO měly nepochybně vliv. (Schmitt, 1996)
GSA, čili Great Salinity Anomaly způsobilo asi 1600 km^3 sladké vody, která se vylila do moře přes Fram Strait (Häkkinen, 1993).

Obecně se vody moří a oceánů pohybují jednak slapovými jevy (přitažlivost Měsíce) a dále právě mořskými proudy, které jsou ovlivněny ohříváním vody slunečními paprsky, prouděním vzduchu a tím spojenou teplotou a salinitou mořské vody.

Teplé oceánské proudy oteplují pevninu, např. zimní teploty v Reykjavíku jsou vyšší než v New Yorku. Příkladem je Golfský proud, proud Kurošijo, který otepluje Japonsko a Východoaustralský, který mírní chladnou Tasmánii.
Studené oceánské proudy obecně pokud směřují ve východních částech oceánu k rovníku ochlazují vzduch a omezují výpar – tím způsobují klesání suššího vzduchu z vyšší atmosféry – dochází ke tvorbě pouští, sousedící s východními okraji oceánů – např. poušť Namib, pobřeží Chile.
Ke studeným proudům patří např. Kalifornský proud u záp. pobřeží Ameriky a Humboldtův proud díky kterému je velmi studená voda kolem Galapág (i když leží na rovníku) – umožňuje to život tučňáků.

Chodu oceánického proudění, tzv. oceánického teplotního výměníku říkáme „systém globální termohalinní cirkulace“ (Svoboda, Vašků, Cílek, 2003).
Jádro THC tvoří systém cirkumantarktických proudů. Má dvě větve – Atlantický výměník a protivýměník Tichého a Indického oceánu. Oceánský výměník v zásadě teče v nejhlubším patře oceánu ale zároveň přibírá vody ze středního patra a pak v dlouhých úsecích vystupuje na povrch a zase sestupuje dolů. Srdcem výměníku je antarktická cirkulace. U Antarktidy se stáčí hlubinné proudění do velkého oválu, obepínajícího celý kontinent. V subtropické oblasti jižního Atlantiku dochází k obrovskému odparu vody. Odpařovaná voda je nahrazována studenou vodou

proudící středním patrem od Antarktidy. Tato voda se v rovníkové atlantické oblasti rychle otepluje, ale díky odparu je hustší a ponořuje se do hloubek až 800 m. Směřuje dále k Islandu. Díky silným západním větrům které vanou nad Evropu ztrácí Atlantik odparem povrchové vrstvy vody a na jejich místo nastupuje teplý proud směřující od Antarktidy, který se ohřál v rovníkové oblasti. Vystupuje na povrch a hlavně v zimě otepluje západní Evropu. Atlantický výměník tu tedy odevzdá teplo, voda se ochladí, ztěžkne a ponoří se. Putuje pak nazpátek podél dna Atlantiku, až konečně jižně od Mysu dobré naděje narazí na srdce výměníku – Antarktický proud. Obohacený o sladké chladné vody z antarktického šelfu se pak podél dna putuje do Tichého oceánu, kde vytváří opačně orientovanou cirkulační smyčku – výměník Tichého a Indického oceánu. Proud se dostává na povrch u pobřeží Jižní Ameriky, kde mořské větry, narážející na hřebeny And rozeženou teplou svrchní vrstvu vody. Studený proud je úživný, nese sebou minerály tak potřebné pro rozvoj planktonu. Dostatek planktonu je základem produktivity mořského ekosystému. Proud dále pokračuje na západ k Indonésii a zde se stáčí zpět k oblastem proudu poblíž Antarktidy.

Pro tento systém je důležitá funkce spojnic – jakýchsi zdviží, o jejichž zákonitostech se ví ještě velmi málo. Atlantický výměník má nejméně tři tyto zdviže, říkáme jim konvekční cely – v Sargasovém, Labradorském a Grónském moři. Jsou to víceméně ohraničené oblasti, v nichž dochází k vertikálnímu mísení pomocí sestupného a výstupného proudění. Jevu, kdy se chladná voda z hlubinných vrstev, obohacená minerály, dostává do vyšších vrstev se říká upwelling. Jakákoli změna na mořském dně – posun zemských desek a s ním spojené zemětřesení, podmořská sopka, a v současné době značně hrozící příliv sladké vody do oceánů může termohalinní výměník změnit – jak, to bohužel nemůžeme předvídat.

Golfský proud je nejdůležitějším výměníkem tepla a tedy „spouštěčem“ klimatu pro Evropu. Průtok Golfským proudem se mění – kolísá ve zhruba 70 letých cyklech.Podle tohoto cyklu by měla intenzita proudu od sedmdesátých let minulého století vzrůstat, ale měření dokázala, že naopak klesá. V roce 2004 byl zaznamenán zatím největší pokles ze 20 sverdupů (1sverdup= průtok 1milionu tun vody za sekundu) na pouhých 14 sverdupů. O zastavení hlavní větve

Golfského proudu v minulosti existuje už dostatek důkazů, například období, kterému říkáme mladší. dryas, k jejímu zpomalení podle propočtů stačí přítok dvou sverdrupů sladké vody! Pokud by se hlavní větev zpomalila, zkrátila by se zřejmě i trasa jejího dosahu, v důsledku jejího kolapsu by se severozápadní Evropa mohla ochladit až o 5 stupňů.

Celý tento cirkulační proces je velmi citlivý na jakékoli podněty a bude záviset na změnách teplot v tropických a subtropických oblastech a změnách teplot a tání ledovců v oblastech polárních.

2.2.4. Koloběh uhlíku

Oceánické termohalinní proudění úzce souvisí s atmosférickou cirkulací a také s koloběhem uhlíku. Oceány obsahují nejvíce CO_2 na Zemi. Jsou dokonce velmi důležitou zásobárnou CO_2 vyprodukovaného lidskou činností, protože tento skleníkový plyn je v oceánské vodě velmi dobře rozpustný. Biologickými i chemickými procesy pak mění CO_2 na kyselinu uhličitou, bikarbonánové ionty a také uhličitan vápenatý, který se ukládá v sedimentech a nebo bývá součástí schránek a koster mořských živočichů. Otevřený oceán v rovnováze s atmosférou obsahuje při 0 ^{o}C asi 2200 mikromolu CO_2/litr, což je asi 75 x více než čistá sladká voda. Mořská voda má normální pH přibližně 8, zvýšený podíl oxidu uhličitého v atmosféře znamená okyselování oceánů, kdy je ohroženo jeho další ukládání. Zjednodušeně koloběh uhlíku v oceánech vypadá tak, že studené vody obklopující Antarktidu a okolí Severního ledového oceánu pohlcují oxid uhličitý z atmosféry, ten klesá do těžší a chladnější vody ke dnu a je dopravován po celém světě. V blízkosti rovníku může pomocí teplých „zdviží“ vystupovat a zahřátá voda jej uvolňuje. Je zajímavé, že pokud by se všechen pozemský CO_2 rozpustil v mořské vodě, nasycena by byla jen svrchní vrstva asi 14 cm (Goldberg, 2010; Barros, 2006).

2.2.5. Metan

Další časovanou bombou při potenciálním oteplování oceánů je hydrát metanu (tzv. klatrát). Je to látka, která se v některých oblastech vyskytuje hlavně v mořském dně. Teplejší voda ale už tuto látku není schopna udržet a metan se může dostávat do atmosféry. Metan je 20x účinnější skleníkový plyn než oxid uhličitý a tak jeho

nadbytek v atmosféře může způsobit další oteplování planety. Obsah metanu v oceánech se odhaduje na 3000 násobek jeho obsahu v atmosféře a uvolněním jednoho kubického metru hydrátu metanu se do ovzduší dostane 160 m^3 metanu plynného. Je možné, že v dávné historii došlo několikrát k náhlému uvolnění metanu a tím změně atmosféry a klimatu. Gregory Riskin ve svém výzkumu předpokládá že masová vymírání mohou mít tuto příčinu. Metan je stále a dlouhodobě produkován pod mořským dnem. Většina je spotřebována archeami a bakteriemi v horní vrstvě sedimentů, zbytek uniká v podobě bublinek k mořské hladině. Je zajímavé, že tyto bublinky se cestou ode dna zmenšují – metan je totiž částečně rozpouštěn v mořské vodě. Pokud je voda dobře okysličená, tedy pohyblivá, rozpouští se dobře, ve stojaté vodě s nedostatkem kyslíku dochází k jeho hromadění. Důkaz této kumulace byl zjištěn nejen proxy daty ale také přímým měřením. Pokud se metan díky nasycení vodního sloupce u dna hromadí, je v určité rovnováze – metastabilním stavu. Jakákoli porucha v okolí – zemětřesení, výbuch sopky či lidská činnost ho destabilizuje a dojde k uvolnění plynu. Velké množství metanu bylo např. prokázáno na dně Černého moře, kde je proudící a aktivní pouze svrchní vrstva vody (Ryskin, 2003).

Pro zajímavost, metanovými „kapsami“ a jejich únikem jsou částečně vysvětlována i záhadná zmizení lodí v mořích, hlavně v tzv. Bermudském trojúhelníku. Bublina plynu vyruší vztlak lodi a loď se potopí. Hypotéza je to zajímavá, ale bublina plynu by u některých plavidel musela být nečekaně obrovská. Tolik na okraj.

Pokles hladiny metanu v ovzduší vždy podle výzkumů vědců znamenal ochlazení. Prakticky vždy v interglaciálu stoupá podíl metanu po roztátí ledu (mokřady) a pak pomalu klesá. Není ale tomu tak v holocénu. Pozorujeme jej v době zvané „mladší dryas“, ve studeném výkyvu 8,2 tis. let BP a 5,3 tis. let BP. Navíc více metanu je měřeno na severní polokouli, podle vrtů z ledových jader, bude tedy na kolísání metanu citlivější. Přirozená křivka metanu začala být měněna už s počátky zemědělství lidskou činností (8 tis. let BP) – metan začal stoupat díky neefektivnosti prvotního zavlažování rýže, která byla jednou z prvních plodin, ale také a to především díky odlesňování, žďáření a pastvě zvířat (Ruddiman, 2003).

Velmi zajímavý je výzkum W. Ruddimana, klimatologa, který sleduje vzestupy a poklesy oxidu uhličitého i metanu v souvislosti s vývojem lidské civilizace. Prokázal, že např. mezi lety 520-542 n.l. poklesla produkce oxidu uhličitého a dává to do spojitosti s Justiniánovým morem, kdy se citelně zredukovala lidská populace. Pokles zaznamenává i v letech 1347-1352, kdy byl svět zasažen další morovou epidemií. Podle měření v arktické stanici Taylor Dome pokles oxidu uhličitého byl až o 10 ppm.

V podstatě je to logické, po vylidnění krajiny v důsledku epidemií či válek a hladomoru, který morové rány doprovázel, dochází k návratu vegetace, která je samozřejmě hustší než kulturní plodiny a odebírá více CO_2 z ovzduší. Nepřibývá metan, protože tu není dobytek ani pole. Je prokázáno pokusně, že po opuštění zemědělských pozemků se krajina vrátí do stavu přirozeného lesa v horizontu 50 let. Zpětné zkulturnění krajiny a osídlení trvalo v těžkých dobách moru velmi dlouho, až 100 let.

Obecně vlna moru ve čtrnáctém století mohla přispět k chladu v období tzv. „Malé doby ledové".

2.2.6. Atmosférická cirkulace

Nerovnoměrné ohřívání Země vytváří rozdílný charakter proudění vzduchu a tím i různé klima v různých zeměpisných šířkách. Základ cirkulace tvoří velké systémy atmosférické cirkulace – ENSO a NAO. ENSO znamená El-Niño – Southern Oscillation, čili El-Niño – jižní oscilace. NAO je North Atlantic Oscillation, čili severoatlantická oscilace. Dalším systémem, který periodicky zasahuje do klimatu je atlantická dlouhodobá cirkulace, arktická cirkulace a pacifická dlouhodobá cirkulace. Tyto systémy jsou zodpovědné za klimatické změny na velkých částech naší planety.

2.2.6.1. Základní cirkulace atmosféry

Základní cirkulace vzduchových hmot vytváří kolem planety cirkulační buňky. Na rovníku jsou to tzv. Hadleyovy buňky (podle anglického vědce George Hadleye, který je poprvé popsal kolem r. 1753). Teplý vlhký vzduch vytváří kolem rovníku pás nízkého tlaku vzduchu, stoupá, vyvolává silnou konvekci, dosahuje tropopauzy a začne se rozprostírat směrem k pólům, postupně se ochlazuje a klesá někde kolem 30^o severní

a jižní šířky. Sestupující vzduch způsobuje vzrůst tlaku a přináší teplé a suché počasí (v těchto šířkách najdeme většinu světových pouští). Zatímco většina teplého vzduchu, který klesal na 30^o se vrací k rovníku, část pokračuje v pohybu směrem k pólům. Přibližně kolem 60^o sev. a již. šířky se tento vzduch setkává se studeným polárním vzduchem. Rozdíl teploty mezi těmito dvěma vzduchovými hmotami vede k tomu, že teplý vzduch stoupá vzhůru. Většina tohoto vzduchu sestupuje k zemi na 30^o severní a jižní šířky a přispívá ke vzniku oblastní vysokého tlaku vzduchu v těchto oblastech. Cirkulace mezi 30^o a 60^o sev. a již. šířky se nazývá Ferrelovy buňky (podle Wiliama Ferrela, který se touto cirkulací zabýval). Zbytek vzduchu pokračuje v pohybu k pólům , když se k nim přiblíží, ochladí se a sestupuje, vrací se k 60^o sev. a již. šířky. To jsou polární Hadleyovy buňky, jsou slabší než tropické, protože v polárních oblastech přijímají méně sluneční energie.

Popsané vzdušné proudy nemají přímou severojižní dráhu, ale stáčejí se na severní polokouli doprava a na jižní doleva. Tento jev poprvé identifikoval Gustave Gaspard de Coriolis v r. 1835, a je po něm nazván Coriolisova síla.

Působení Coriolisovy síly se označuje jako Coriolisův efekt. Jedná se o viditelné odchylování přímočaře se pohybujících objektů od přímého směru, pokud je pozorujeme z neinerciální vztažné soustavy. Na zeměkouli se jakákoliv hmota díky rotaci Země, pohybující se ve směru poledníků, odklání na severní polokouli doprava, na jižní polokouli pak doleva. Na severní polokouli se otáčejí tlakové níže vždy doleva a tlakové výše doprava, na jižní přesně opačně. Zemský povrch se pohybuje jinou rychlostí, než vzduch proudící nad ním.

V souvislosti s výraznými tlakovými a teplotními rozdíly ve vyšších hladinách vznikají silné větry, tzv. tryskové proudění. Vyskytuje se ve výškách kolem 10 000 m a jejich rychlost dosahuje až 300 km/h. Tato proudění jsou spjata s rozdíly tlaku a teploty vzduchu. V zimě, kdy jsou teplotní rozdíly větší, jsou trysková proudění výraznější a pohybují se blíže k rovníku.

Cirkulace atmosféry je samozřejmě ovlivněna různým albedem oceánů a kontinentů a také vlivem horských masivů, v posledních staletích i antropogenními vlivy (obecně – teplejší vzduch nad městy, smog).

2.2.6.2*. ENSO*

Podstatou jižní oscilace jsou rozdíly atmosférického tlaku přibližně nad Jižní Amerikou a východním Tichomořím a Austrálií. Poprvé tento jev popsal ve dvacátých letech minulého století britský meteorolog sir Gilbert Walker. Byl ředitelem Indické meteorologické služby a snažil se objasnit mechanismus monzunů pro předpověď suchých let v Indii. Zkoumal meteorologické údaje ve velmi širokém měřítku a našel vztah mezi monzuny v Asii a obdobím sucha v Austrálii, Indonésii a Indii. Právě Walker po podrobném zkoumání údajů o chování Tichého oceánu odhalil to, že když tlak ve východním Tichomoří roste, na západě (v severní Austrálii) klesá a opačně. Jev pojmenoval „jižní oscilace". Potvrzená hypotéza byla nazvána „Walkerova buňka" či Walkerova atmosférická cirkulace. Funguje tak, že ve vyšších hladinách troposféry vanou teplé suché pasáty od západu k východu. Vzduch se přitom stává chladnějším a těžším, takže když se dostane k Peru a Ekvádoru, nepřekročí Andy a začne klesat. Nízko nad hladinou oceánu tak vznikne systém vysokého tlaku vzduchu. Část vzdušných proudů se odkloní na sever. Vlhké vzdušné proudy pak proudí v nízké nadmořské výšce zpět na západ směrem k Indonésii, čímž se okruh uzavře.

Walkerovy závěry potvrdil norský meteorolog Jacob Bjerknes, navíc prokázal souvislost jevu El – Niño s jižní oscilací.

V normální, Walkerově cirkulaci tedy silné pobřežní proudění u peruánských břehů odtlačuje povrchovou vrstvu teplé vody a umožňuje tak výstup hlubších chladných vrstev (Humboldtův, neboli Peruánský proud), které jsou úživné a vytvářejí dobré podmínky pro rybolov. Zároveň se vytvoří silný proud teplé vody směřující na západ, tam se voda odpaří, vlhký vzduch stoupá a voda vypadává ve formě monzunových dešťů. Jev El-Niño je vlastně porucha Walkerovy oscilace.

El-Niño zřejmě spouští nepatrné zeslabení východních pasátů v rovníkovém Pacifiku, které okamžitě vyvolá obrácení cyklu. Oslabení větrů způsobí, že se množství teplé vody náhle valí ze západu na východ a vrstva teplé vody se ocitá blízko břehu Jižní Ameriky. Od ní se ohřívá vzduch a tím klesá atmosférický tlak, pasáty nadále slábnou. Na východ proniká ještě více teplé vody a cirkulace se rázem převrátí. Celý Pacifik přikrývá neobvyklá vrstva tepla a proudění v atmosféře se na základě toho upraví do

opačného směru. Monzuny, přinášející vláhu do Indonésie zeslábnou, hrozí sucho, naopak v Jižní Americe způsobuje vrstva teplé vody větší výpar a tím více deště. Rolníkům na pobřeží Jižní Ameriky to přináší zvýšení úrody, ale mohou (jako v r. 1998) přijít i intenzivní srážky a záplavy. Naopak pro rybáře na pobřeží to má neblahé následky, neboť vlivem oteplení se chladnější voda bohatá na živiny drží pod vrstvou teplé vody, tím uhyne plankton a ryby buď opustí pobřeží a vydají se k jihu za potravou, nebo uhynou.

El-Niño je jev, opakující se po 3 – 7 letech, jeho trvání může být 1 – 2 roky. Vědci stále ještě neznají příčinu zeslabení pasátů, které jev nastartují. El-Niño se stal jedním z nejsledovanějších fenoménů klimatických změn a zároveň představuje jednu z největších hrozeb. Neznáme mechanismus vzniku tohoto jevu, ale následky mohou být pociťovány daleko od tichomořských břehů, a dokonce mohou působit i meteorologické anomálie ve světovém měřítku.

El-Niño je jev popsaný už v 16. století, kdy ještě neexistoval problém zesilujícího skleníkového efektu a globálního oteplování planety, ale zdá se, že v průběhu dvacátého století, kdy došlo k zvýšení četnosti tohoto jevu, zesiluje fenomén El-Niño v souvislosti s tímto oteplováním. Existují dokonce teorie, zda důsledek není příčina, zda El-Niño nepřispívá ke globálnímu oteplování.

Jev, související s El – Niňém nazvali meteorologové La Niňa (děvčátko).Je to děj, který následoval přibližně po 15 ze 23 případů El Niňa, popsaných v minulém století. Místo pokojného návratu k běžné Walkerově cirkulaci v Pacifiku nastane druhý extrém. Nad západním Pacifikem se prohloubí tlaková níže, následkem toho mimořádně zesílí pasáty, u Jihoamerického pobřeží se objeví obrovský výstupný proud chladné vody (upwelling) a teplá voda se nakupí na západě. Dochází tím k zesílení Walkerovy oscilace. Jev La Niňa bývá označován jako studená epizoda El-Niňa.

2.2.6.3. NAO

Severoatlantická oscilace (NAO) je založena na rozdílu tlaků oblasti Azorské výše a Islandské níže. Projevuje se zejména v zimním období, kdy je rozdíl teplot mezi severním Atlantikem a rovníkem největší.

Pokud je rozdíl tlaků mezi Azorskou výší a Islandskou níží vysoký, dochází k silnému západnímu proudění, které přináší od Atlantiku vlhké a mírné zimy do střední Evropy, sucho je ve Středomoří a na severovýchodě Spojených států převažují kruté zimy a sněhové bouře. Silný jet stream (tryskové proudění, viz kap.9) vane ve výšce přes sever Evropy, doprovází zimní bouře a frontální systémy.

Když je rozdíl tlaku minimální, omezené západní proudění přináší málo teplého a vlhkého vzduchu z oceánu do Evropy, vlivu nabývá Sibiřská tlaková výše, převládají východní větry a s nimi suché a mrazivé zimy pro střed a sever Evropy a vlhko a teplo pro jih Evropy. Jet stream vane jižněji.

Tato oceánská oscilace v kombinaci s účinky Golfského proudu umožňuje vysvětlit změny klimatu v Evropě. Z řady měření je dobře patrná přibližně 8-letá perioda změn atmosférických tlaků a směrů větru, někteří autoři hovoří o kvaziosmiletém cyklu.

Pro klima střední Evropy, tedy i naší republiky, je NAO důležitý proces, který nám přináší změny počasí (Hurrel et al., 2009).

2.2.6.4. Atlantická dlouhodobá oscilace - AMO

Anglická zkratka AMO znamená „Atlantic multidecadal Oscillation“ a používá se proto, že změny, které tato oscilace přináší, trvají dvě až čtyři desetiletí. Byla rozeznána poměrně nedávno, v roce 2002. Její příčinou je zrychlení oceánské cirkulace, takže se více teplé vody dostává z teplého jihu na sever. Je to dlouhodobá přirozená změna teplot v Atlantiku. Je zřejmé – podle analýz sedimentů – že tato oscilace funguje nejspíše od konce poslední doby ledové – tedy celý holocén. Pravděpodobně od roku 2003 se teplota Atlantiku snižuje. Chladnější cirkulace částečně snižuje hurikánové nebezpečí, působí proti zvyšování mořské hladiny a co je nejdůležitější pro Evropu, přináší vlhkost do středomořské oblasti. Snižuje se tím riziko sucha, ale zvyšuje riziko záplav, protože deště, které do středomoří přicházejí bývají spíše přívalové letní srážky (Cílek, 2010). Pravděpodobnost současného příchodu dlouhodobé chladné fáze AMO je dost vysoká, navíc za situace, kdy je sluneční aktivita na jednom z nejnižších minim za velmi dlouhou dobu. Pokud AMO je ve shodné fázi s PDO (pacifickou dlouhodobou oscilací), dostává se ke slovu změna proudění. Tryskové proudění k nám pak vstupuje přes Maroko a pak se stáčí na sever. V létě může

přinášet teplé a vlhké počasí se spoustou bouřek, v zimě je Evropa otevřena východnímu a severovýchodnímu studenému proudění.

2.2.6.5*. Arktická oscilace - AO*

Arktická oscilace je rozdíl atmosférického tlaku nad polární oblastí a středními šířkami. V pozitivní fázi oscilace je tlak nižší než normálně nad Arktidou a vyšší nad středními šířkami. V negativní fázi je tomu naopak. V pozitivní fázi je tedy chladná Arktida, vlhčí klima je ve střední Evropě, frontální systémy směřují přes Anglii do Skandinávie a vysušuje se Středomoří. V negativní fázi je Arktida teplejší, Evropa je vystavena přílivu studeného vzduchu ze severu a severovýchodu, a také sem proniká velmi teplý a vlhký vzduch od Atlantiku přes severní Afriku. Arktická oscilace není dlouhodobá, může se projevovat v rozmezí týdnů i dnů. Nejpatrnější působení AO je v zimních měsících. I přes sezónní charakter by se v AO daly vysledovat delší cykly – zhruba od 70 let minulého století byla téměř stále v pozitivní fázi, zatímco v současné době se očekává přechod do fáze negativní.

2.2.6.6*. Pacifická dlouhodobá oscilace - PDO*

Pacifická oscilace byla definována až v roce 1996 na základě úlovků aljašského lososa. Teplejší moře totiž znamená na severu větší produkci fytoplanktonu a tím zvýšené úlovky ryb. Naopak, v tropické části Pacifiku je třeba chladnějších úživných vod a pokud se voda oteplí, úlovky klesají. Základní cyklus pacifické oscilace je stejně jako u AMO semdesátiletý a dá se dělit na 30 – 40 let chladné a stejně dlouhé období teplé fáze. Hlavní výkyvy PDO začínají na počátku nového 22letého cyklu slunečních skvrn, tedy Haleova cyklu, kdy se sluneční magnetické pole vrací po normální a obrácené fázi nazpět do výchozí polohy.

2.3. Antropogenní příčiny změn klimatu

Průmyslovou revolucí koncem 18. století začala působit na světové klima nová síla, která v průběhu dvou staletí přivedla lidstvo před životně důležité otázky a rozhodnutí. Klima bylo lidskou činností ovlivňováno již před počátky průmyslu – a to zemědělstvím – odlesňováním při zakládání polí, cíleným množením hospodářských zvířat (produkce

metanu), rozšiřováním ploch rýže (opět metan), spalováním fosilních paliv a dřeva. Rychle se rozvíjející průmysl a doprava začaly produkovat velké množství exhalací a způsobily tak nelehkou situaci - kdy teď na začátku 21. století musíme v mezinárodním měřítku řešit problémy našeho poničeného životního prostředí.

2.3.1. Skleníkový efekt

Největším hnacím motorem oteplení naší planety je tzv. skleníkový efekt. Jeho mechanismus je možno ve stručnosti popsat takto: elektromagnetické záření dopadající na Zemi ze Slunce se zčásti odráží a zčásti proniká na povrch Země. Nepatrné množství pohltí atmosférické plyny, větší část je pohlcována a odrážena zemským povrchem a oblaky. Vyzářené teplo od zemského povrchu by unikalo do kosmu, nebýt přirozených složek atmosféry – skleníkových plynů. Patří mezi ně vodní pára, oxid uhličitý, metan a oxidy dusíku. Tyto plyny mají schopnost pohlcovat toto záření a tím oteplovat atmosféru. Skleníkový efekt tu byl vždy, bez jeho přítomnosti by průměrné teploty na Zemi dosáhly sotva -15^{o}C. Zvýšením koncentrace skleníkových plynů působením lidstva se přirozený skleníkový efekt zvyšuje a roste jako největší hrozba oteplování naší planety.

2.3.2. Skleníkové plyny

Objem vodních par není přímo ovlivněný emisemi, způsobenými lidskou činností, ale lidé výrazně změnili koncentrace ostatních skleníkových plynů.

Hlavním skleníkovým plynem je vodní pára (H_2O), která odpovídá přibližně za dvě třetiny přirozeného skleníkového efektu. Molekuly vody v atmosféře zachycují teplo vyzařované ze zemského povrchu a pak je dále vyzařují všemi směry, čímž se znovu ohřívá zemský povrch, než je nakonec teplo vyzářeno zpět do vesmíru. Vodní pára v atmosféře je součástí hydrologického cyklu, uzavřeného systému oběhu vody - jíž je na Zemi konečné množství - z oceánu a půdy do atmosféry a zpět vypařováním a transpirací, kondenzací a srážkami. Lidská činnost vodní páry do atmosféry nepřidává. Ovšem teplejší vzduch může pojmout mnohem více vlhkosti, takže rostoucí teploty změnu klimatu dále zintenzivňují.

Hlavním přispěvatelem ke zvýšenému (a člověkem vyvolanému) skleníkovému efektu je oxid uhličitý (CO_2). Na Zemi je konečné množství uhlíku, který je

podobně jako voda součástí uhlíkového cyklu. Systém, v němž uhlík cirkuluje atmosférou, pozemní biosférou a oceány, je velmi složitý. Rostliny absorbují CO_2 z atmosféry při fotosyntéze. Uhlík používají ke stavbě svých tkání, a když zahynou a rozloží se, uvolňují jej zpět do ovzduší (ve formě metanu). Těla zvířat (a lidí) rovněž obsahují uhlík, protože jsou vybudována z uhlíku ze zkonzumovaných rostlin - nebo ze zvířat, která se rostlinami živí. Tento uhlík se uvolňuje jako CO_2 při dýchání (respiraci), a také po smrti při rozkladu. Fosilní paliva jsou fosilizované zbytky mrtvých rostlin a zvířat vzniklé za určitých podmínek během milionu let, a proto obsahují hodně uhlíku. Obecně řečeno je uhlí zbytek pohřbených lesů, zatímco ropa vznikla přeměnou mořských rostlin. (Oceány absorbují CO_2, který v rozpuštěné podobě využívají k fotosyntéze mořské organismy).

Druhým nejdůležitějším skleníkovým plynem pro zvýšený skleníkový efekt je metan (CH_4). Metan produkují převážně bakterie, které se živí organickým materiálem za nedostatku kyslíku. Uvolňuje se proto z různých přírodních a člověkem ovlivňovaných zdrojů, přičemž emise způsobené člověkem představují většinu jeho emisí. Přírodními zdroji jsou mokřiny, termiti a oceány. Mezi lidmi ovlivněné zdroje patří těžba a spalování fosilních paliv, chov dobytka (dobytek konzumuje rostliny, které fermentují v žaludku, a proto vylučuje metan, který je obsažen i v hnoji), pěstování rýže (zaplavená rýžoviště produkují metan, protože se organické látky v půdě rozkládají bez dostatečného přísunu kyslíku) a skládky (zde se opět rozkládá organický odpad bez dostatečného přístupu kyslíku).

Oxid dusný (N_2O) se uvolňuje přirozenou cestou z oceánu a deštných pralesů a činností půdních bakterií. Mezi lidmi ovlivněné zdroje patří dusíkatá hnojiva, spalování fosilních paliv a průmyslová chemická výroba využívající dusík, například zpracování odpadních vod.

Fluorované skleníkové plyny jsou jediné skleníkové plyny, které se nevyskytují přirozeně, ale byly vyvinuty člověkem pro průmyslové účely. Jsou ale mimořádně výkonné - mohou zachycovat teplo až 22 000krát účinněji než CO_2 - a mohou v atmosféře zůstat tisíce let. Mezi fluorované skleníkové plyny patří fluorované uhlovodíky (HFC), které se používaly k chlazení a mražení včetně klimatizací, fluorid sírový, který se používá například v elektronickém průmyslu, a perfluorouhlovodíky (PFC), které se uvolňují při výrobě hliníku a používají se rovněž v elektronickém průmyslu. Pravděpodobně nejznámějšími z těchto plynu

jsou chlorofluorouhlovodíky (CFC), které nejenže patří mezi fluorované skleníkové plyny, ale také narušují ozónovou vrstvu. (IPCC, 2007)

Emise oxidu uhličitého rostou od počátků průmyslové revoluce exponenciálně. Část CO_2 je zachycována oceány, biosférou a půdou, ale zhruba polovina vyprodukovaného oxidu uhličitého se hromadí v atmosféře. Za posledních 150 let se koncentrace CO_2 zvýšila asi o 30 %. Metan stoupl ještě výrazněji a to o 150 % a koncentrace oxidů dusíku o 16 %. Průměrné setrvání (životnost) emisí skleníkových plynů v atmosféře je také alarmující – metan jen 15 let, ale oxid uhličitý zůstává v atmosféře 100 – 150 let a oxid dusný 120 let. Vyplývá z toho, že i kdyby se dnes emise snížily na nulu (což není technicky možné), atmosféra by si ještě řádově desítky až stovky let uchovávala koncentrace skleníkových plynů, převyšující daleko hodnoty před vznikem lidské civilizace. Skleníkové plyny se tedy v klimatickém systému akumulují a jejich zvýšené koncentrace se projeví až po několika desetiletích. To co nyní produkujeme, budou muset řešit naše děti a vnoučata.

Průměrná teplota se za posledních 150 let zvýšila o 0,6 stupně Celsia a současně se zvyšuje teplota moří a zrychluje se hydrologický cyklus. Tyto nejpozorovanější změny jsou důsledkem tendence patrné v posledních 100 letech, jejich bezprostřední příčinou tedy nejsou astronomické změny (změny parametrů oběžné dráhy), ani geofyzikální změny – obojí jsou velmi pozvolné a znatelné až v horizontu tisíců let (Kadrnožka, 2008).

3. Souhrn a závěr části I.

Metody zjišťování chodu klimatu v minulosti se v současné době zpřesňují a rozšiřují. Je jich mnoho, kromě přímých důkazů, jako jsou data z prvních raných měření existuje velké množství nepřímých metod, které pouze vedou výzkum správným směrem a odtevírají prostor pro nové hypotézy. Je nesmírně těžké postihnout všechny metody i hypotézy u každého z historických období, protože jich je velké množství. Úžasné možnosti nám dává pokrok dnešního vědeckého poznání. Nové přístroje nám dávají možnosti dostat se až na atomární úroveň hmoty, chemické metody se zpřesňují. Objevují se nové indicie díky průzkumu dříve nepřístupných míst v hloubce oceánů,

vědci objevují nové postupy.Dává to naději, že otazníky kolem chodu klimatu v minulosti budou vyřešeny.

Klimatické změny, změny běžného chodu počasí a změny v atmosféře mají mnoho příčin, přirozených i antropogenních, mnoho jich ve skutečnosti neznáme a právě účelem této studie je upozornit alespoň na některé.

Závěrem si dovolím prezentovat myšlenky předních světových vědců na toto téma: Matematik Ian Stewart z univerzity v Coventry píše ve své knize Čísla přírody: **„***Zvykli jsme si myslet, že jednoduché příčiny musí vyvolat jednoduché následky a složité následky musí mít složité příčiny. Nyní však víme, že jednoduché příčiny mohou mít složité následky. Chápeme už, že když známe pravidla, neznamená to ještě, že jsme schopni předpovědět budoucí vývoj.***"** Tato věta neplatí jen pro matematiku, ale dobře vystihuje také efekt motýlích křídel, který popsal v r. 1979 meteorolog a matematik Edward Lorenz: „*Mávnutí křídla motýla na jednom konci světa může způsobit tajfun na konci druhém*“ a zároveň dokonale popisuje sled příčin a následků ve změnách klimatu.

část II. VLASTNÍ KLIMATICKÁ STUDIE

1. Vznik Země

Minulost Země poskytuje model pro pochopení, jak se může vyvíjet budoucnost. Planeta Země vznikla před 4,6 miliardami let z oblaku prachu a plynů, které zbyly po vývoji Slunce. Jak Země postupně rostla – akrecí, čili nabalováním hmoty ze svého okolí, sílilo její gravitační pole. Došlo ke smrštění a zhutnění planety a gravitační energie se přeměnila na teplo. Nahromaděním tepla došlo k vytavení železa z hornin a těžké železo začalo klesat do středu Země („železná událost“) (Sorotkhtin, 2011). Vzniklo zemské jádro, vnitřní zdroj tepla Země. Nad jádrem se usadily křemičitany. Teplo se ze zemského nitra přenáší konvekcí, konvektivní proudy fungují jako dopravník energie v hlubinách zemského nitra. Země tedy byla zpočátku rozžhavenou koulí, postupně však vychládala a začal se vulkanismem a vrásněním proměňovat její povrch. V době vychládání prošla Země intenzivním bombardováním částic a asteroidů z kosmu. Hlavní období těchto srážek skončilo až před 3900 miliony let. Vznikala zemská kůra – rozdílná oceánská a kontinentální. Oba typy kůry díky své nižší hustotě „plavou“ po těžkých horninách svrchního pláště. Oceánská kůra má vyšší hustotu, proto leží níže, má tloušťku nanejvýš 11 km a složena je hlavně z bazaltu. Je geneticky starší než kůra kontinentální, která se z ní vyvinula. Kontinentální kůra je složena ponejvíce z křemene, vznikla opakovaným tavením a ochlazováním oceánské kůry nad plášťovými konvekčními buňkami. Četné menší konvekční buňky, které daly vzniknout prvním blokům kontinentální kůry se s ochlazováním pláště postupně měnily ve velké konvekční buňky. Bloky kontinentální kůry se spojovaly do větších celků a v oslabených zónách oceánské kůry vznikaly rifty, které kůru rozdělily na rozsáhlé desky. Těžší oceánská kůra se začala podsouvat pod lehčí kontinentální, vytvořily se subdukční zóny. Začala pracovat desková tektonika.

Nejstarší nalezené částečky, staré 4300 milionů let, představují zrnka zirkonu. Byla nalezena v severní Kanadě v geologicky mladších vrstvách (3600 milionů let), kam se geologickými pochody přemístila. (Záruba, 2006)
Zirkon je vlastně křemičitan zirkoničitý, přijímá do svého krystalu prvky skupiny 4b

Mendělejevovy tabulky. Mezi nimi je také uran a thorium. Tyto prvky přijaté do krystalu zirkonu se pak radioaktivně rozpadají a tudíž je podle poločasu rozpadu možné určit stáří zrnka zirkonu. Zirkon navíc je mimořádně tvrdý a vydrží teploty kolem 1400 ^{o}C. Analýza těchto nepatrných zrnek využitím radioaktivního rozpadu thoria a uranu poskytuje důkazy, že již před 4300 – 4200 miliony let existovaly na Zemi oceány i kontinenty (Markoš, Hajnal, 2007).

Země se změnila z místa, které bylo velmi horké v mnohem chladnější svět pokrytý vodou. První oceány vznikly před více než 4000 miliony let. Voda v nich pocházela jednak z hornin, přetvářených chemickými pochody a také z prvotní atmosféry. Mnohé studie naznačují, že část vody přinesly na zemský povrch komety. Koexistence pevniny a oceánu je ve sluneční soustavě unikátní a je podmínkou, která umožňuje Zemi být planetou relativně stabilní a obyvatelnou. Kombinace vody a pevniny umožňuje koloběh CO_2 – tento koloběh funguje jako dlouhodobý termostat který mírní teplotní výkyvy (Ward, Brownlee, 2004).

Země se nalézá v ideální vzdálenosti od Slunce, kdy si ještě dokáže udržet oceány vody. Voda má tu jedinečnou vlastnost, že si zachovává kapalné skupenství v teplotním rozmezí, ve kterém může existovat život. Je také pozoruhodným rozpouštědlem, které se účastní mnohých chemických pochodů, důležitých pro život na planetě. Prostřednictvím eroze vytváří půdu, ohřívá atmosféru a mírní teplotní výkyvy. Zmrzlá voda pluje na vodě kapalné, tím kapalnou vodu izoluje a udržuje v obyvatelné teplotě. Umožňuje tedy život pod hladinou i při teplotách pod bodem mrazu. Jak jedinečná a vzácná je to kapalina ukazuje to, že podíl hmotnosti vody na celkové hmotnosti Země je pouhá necelá desetina procenta, účastní se ale všech dějů na planetě a bez ní by nebylo života. (Ward, Brownlee, 2004)

První primitivní atmosféra, byla složená převážně z vodíku a hélia. Nejtěkavější prvky se postupem času začaly uvolňovat do kosmu. Druhotná, neboli „druhá“ atmosféra se utvářela nejspíše po vzniku Měsíce.

Teorií o vzniku Měsíce je několik, vědci se dnes přiklánějí k mechanismu jeho vzniku oddělením od Země, způsobeným srážkou s planetesimálou velikosti Marsu. Existence Měsíce patří mezi mimořádně šťastné události, které provázely budoucí vznik života na Zemi. Náš Měsíc patří ve sluneční soustavě k největším, pokud jde o jeho poměr k hmotnosti planety. Stabilizuje sklon zemské osy, tím zajišťuje stálé klima, střídání ročních období a cyklické pohyby vody v oceánech. Tím že v oceánech existují slapové jevy, vytvořily se přílivové zóny, které se střídavě ocitají pod vodou a na souši. Tato skutečnost napomohla přechodu života z moře na pevninu. (Ward, Brownlee, 2004)

Druhotná atmosféra se skládala z dusíku, oxidu uhličitého, sirovodíku, oxidu siřičitého a vodní páry, tj. z látek, které se uvolnily ze zemského pláště. Tato atmosféra se pak po miliony let přetvářela za spolupůsobení slunečního větru, vulkanismu, kosmického záření a později i činností živých organismů v atmosféru současnou. Dnešní atmosféra je z velké části řízena biologickými procesy a značně se odlišuje od atmosféry jiných terestrických planet. Bez života, který zabezpečuje stálý přísun kyslíku, by množství volného O_2 nebylo doplňováno – část by spotřeboval oxidující povrch různých materiálů a další část by zřejmě reagovala s dusíkem.

2. Starohory - Prekambrium

Podmínky v prekambriu byly velmi nepříznivé, teplota atmosféry se odhaduje na 55 - 85 ^{o}C, probíhá silná vulkanická činnost, voda na Zemi má vysokou kyselost. Země se pomalu ochlazuje, počíná se uplatňovat dynamika deskové tektoniky a přibývá kyslíku (stopy oxidického zvětrávání se nalezly v tzv. červených pískovcích a páskovaných železných rudách).

Teorie kontinentálního driftu – čili pohybu kontinentů přímo souvisí s vývojem dob ledových a vůbec vývojem klimatu v prehistorii. Je tedy dobré seznámit se s ní.
Když se v 16. století na globusech a mapách objevilo první zakreslení Nového světa, mnozí vědci si všimli nápadné shody pobřeží Afriky a Jižní Ameriky. Myšlenku, že se Amerika oddělila od Afriky a Evropy vyslovil první francouzský

geograf Antonio Snider. Po něm několik vědců připustilo možnost horizontálního posunu kontinentů. V r. 1912 vystoupil poprvé na veřejnosti německý geofyzik a meteorolog Alfred Wegener se svou teorií.

Wegener vypracoval teorii, které dnes říkáme „teorie kontinentálního driftu". Vychází z poznatků, že zemská kůra a svrchní část pláště (litosféra) „plave" na vnitřní „tekuté" části pláště. Ve své teorii se Wegener opíral o geologickou návaznost dnes již oddělených kontinentů, stopy zalednění na nich a nápadnou shodu karbonské a permské fauny a flóry (kapraďosemenné rostliny rodu Glossopteris a Gangamopteris, a plazů – suchozemského Lystrosaura a vodního Mesosaura). Wegenerovy myšlenky byly prohloubeny až v šedesátých letech minulého století (Hess 1962, Wilson 1965, Le Pichon 1968, Isacs, Oliver, Sykes 1968). Výzkumy prováděné na dně Atlantiku výzkumnou ponorkou Alvin dokázaly, že se kontinenty skutečně pohybovaly a dále pohybují.

Kyselost vodního prostředí postupně začíná klesat a to vede k sedimentaci dolomitů a sádrovce. Probíhají horotvorné procesy, vznikají tzv. staré štíty (kanadský, baltický, africký, indický, čínský, brazilský, arktický a antarktický). Ve spodním proterozoiku, před 2200 – 2300 miliony let nacházíme nejstarší stopy zalednění (Kanada) (Kachlík, Chlupáč, 2008).

Mechanismus této změny není znám, hypotézy naznačují několik možností – potemnění oblohy vlivem prachu ze sopečných výbuchů, možnost průchodu Země mračnem mezihvězdného plynu a další teorie. První zalednění trvalo cca 300 milionů let. Druhá doba ledová pak začala koncem prekambria. Trvala 400 milionů let a byla vlastně sledem tří zalednění po sobě. Její stopy se nacházejí v Evropě, Africe, Austrálii a sev. Americe.

Podle některých hypotéz došlo v době zalednění ke stavu úplného zamrznutí naší planety. Tento proces, pokud by bylo prokázáno, že led byl skutečně všude, by byl možná nevratný, Země by se ze sevření ledu už vůbec nedostala.

Tato doba, označovaná „země jako sněhová koule" nebo v anglosaské literatuře „Snowball Earth" je nejchladnější v dějinách planety. (Behringer, 2010, Hoffmann et al, 1998)

Někteří vědci ovšem v současné době propagují spíše teorii „slushball Earth" čili Zemi připomínající kouli rozbředlého sněhu (Moczydlowska, 2008). Argumentují tím, že mořská hladina měla být alespoň v tropech volná, aby přežily organismy. Naštěstí vulkanická činnost pak produkcí skleníkových plynů napomohla pozvolnému znovuoteplení planety.

Nevíme přesně, kdy, jak a proč vznikl na Zemi život. Teorií je několik – mohl vzniknout v hlubinách oceánů v blízkosti činných podmořských vulkánů, v mělkých vodních zálivech v blízkosti pevnin nebo také mohl být zavlečen prostřednictvím meteoritů z kosmu. Prvními posly života by mohly být stopy organického uhlíku v nejstarších horninách skupiny Isna v jihozápadním Grónsku, staré 3800 milionů let (Kachlík, Chlupáč, 2008). Primitivní prokaryotické bakterie se objevily na Zemi před 3600 miliony let, další stopy bezjaderných mikroorganismů nacházíme v křemitých horninách (silicitech) v jižní Africe a záp. Austrálii, jsou staré 3500 – 3400 milionů let. (Kachlík, Chlupáč, 2008). V té době už ustal katastrofický déšť meteoritů, který planetu mohl sterilizovat, ale také život přinést. Stopy těchto impaktů nacházíme dodnes na povrchu Měsíce. Rané bakterie měly podobu prokaryotických buněk a byly podobné svým potomkům, které i v současnosti osidlují i ta nejnepříznivější místa na Zemi. Byly malé, 0,2 – 10 mikrometrů, měly jedinou šroubovici DNA, umístěnou volně v cytoplasmě. Jádro tyto organismy neměly a chyběly také organely a veškeré membrány. Je zajímavé, že tyto baktérie osidlovaly naši planetu velmi dlouho, déle než dinosauři a savci dohromady. Vlastně můžeme konstatovat, že baktérie jsou po celou dobu existence planety Země dominantní formou života (Ward, Brownlee, 2004).

V době vzniku prvních organismů sluneční záření dosahovalo zřejmě o 25 % nižší intenzity než dnes. Díky fenoménu, kterému říkáme „paradox slabého Slunce" bylo ale na Zemi velmi teplo proto, že atmosféra obsahovala velké množství skleníkových plynů (oxidu uhličitého, vodní páry a metanu), které propouštěly sluneční záření, ale zadržovaly tepelné paprsky, vyzařované Zemí. Tato pro život příznivá okolnost se mohla stát pro život také smrtelnou, kdyby se teplota stále zvyšovala. Planeta Země mohla v podstatě následovat model Venuše, kde teploty atmosféry dosahují neuvěřitelných 450^{o}C. Naštěstí deště vymývaly z atmosféry

skleníkové plyny – hlavně CO_2, jejich obsah se snižoval a teplota Země začala klesat.

Před asi 3000 miliony let začaly vznikat na Zemi první organizované živé struktury – stromatolity. Vrchní vrstva stromatolitu je tvořena fotosyntetizujícími bakteriemi (sinice, neboli modrozelené řasy). Tyto primitivní organismy začaly do vody produkovat kyslík. Kyslík se stal látkou, která přispěla ke vzniku rychlejších a složitějších biochemických reakcí. Měnil se chemismus oceánů a pevniny, přítomnost kyslíku vedla k vývoji pokročilejších organismů (Ward, Brownlee, 2004).

Bohatěji diferencované bakterie a řasy, podobné dnešním mikroorganismům známe z Kanady ze souvrství Gunflint – jejich stáří je 2200 milionů let (Kachlík, Chlupáč, 2008).

Kyslík původně reagoval se železem a to jak na pevnině, tak i v mořích. Tím byl spotřebováván a z oceánské vody se ztrácelo železo. Vedlo to ke vzniku tzv. „páskovaných železných rud“. Situace takto probíhala až do doby přibližně před 2200 miliony let, kdy se nastolila rovnováha a kyslík se začal hromadit v atmosféře.

Atmosféra založená na CO_2 se zhroutila a anaerobní organismy vymřely. Bylo to první vymírání z několika dalších v dějinách Země. Konec skleníkového efektu přivodil globální ochlazení v tzv. huronské, neboli archaické době ledové (Behringer, 2010).

Přibližně před 1800 miliony let dosáhla pravděpodobně koncentrace kyslíku 2 % atmosféry a začala vznikat ozónová vrstva. Přítomnost kyslíku napomohla rozvoji eukaryotické buňky, kde je genetický materiál uzavřen v jádře, tato eukaryota se začala vyvíjet před 900 miliony lety. Nejstarší známá eukaryotická buňka byla nalezena v ložiscích páskovaných železných rud v Michiganu. Tyto rané eukaryotické buňky jsou nalézány velmi vzácně, zkameněliny dalších byly objeveny až za dalších 500 milionů let (Ward, Brownlee, 2004).

Druhým velkým vymíráním v dějinách Země bylo stadium „Země jako sněhová koule“, asi před 650 miliony let. Došlo k tomu, že zemské masy superkontinentu Rodinia se shromáždily v oblastech kolem rovníku. Pevnina byla holá a měla vysoké albedo,

klesající teplotu doprovázel vznik ledovců na pólech a Země se na nějakou dobu ocitla v sevření ledu.

Zástupci mnohobuněčných organismů – metazoa, se začali vyvíjet na konci proterozoika. Známe je z nalezišť v Jižní Austrálii a jsou označována jako Ediacara, čili ediakarská fauna. Tato jedinečná skupina živočichů, která nemá obdoby v celém dalším vývoji Země, byla proměnlivou skupinou organismů s ohebným a stahovatelným tělem, jejichž otisky se zachovaly v mělkovodních mořských písčitých usazeninách. Byli to možná předchůdci láčkovců, červů a mořských hub (Kachlík, Chlupáč, 2008). Podobné fosílie pocházejí z Nowfoundlandu a Namibie, ale byly do ediakarské fauny zařazeny až po hlavním nálezu v roce 1947 (Mikuláš, 1997).

Geologické procesy velmi úzce souvisí s vývojem podnebí. Koncem prekambria došlo ke kadomskému vrásnění. Stopy tohoto vrásnění nacházíme i na našem území, jsou to nejstarší soubory Barrandienu a moldanubikum. Paleozoické, čili prvohorní horniny pak nasedají diskordinantně na tyto zvrásněné proterozoické horniny (Němec, Ložek, 1997). Geologická stavba Českého masivu obsahuje horniny cca od proterozoika, tj. staré 700 – 900 milionů let. Zachovaly se přeměněné celky hornin vulkanických i hlubinných plutonických, které mohou obsahovat relikty z archaika. Soudíme tak podle nálezů zirkonů (2,5 miliardy let starých). Můžeme tedy předpokládat, že Český masiv, nebo alespoň jeho podstatná část, je velmi starou částí zemské kůry. (Chlupáč et al., 2011).

Od dob vzniku deskové tektoniky se na Zemi stále pohybují kontinentální desky. V archaiku byla desková tektonika na svém prvopočátku, probíhala intenzivněji než v současnosti, dochází ke vzniku prvních kratonů, tj. už konsolidovaných prvků zemské kůry. Před 3300 miliony let se kontinenty spojily v první superkontinent nazývaný Vaalbara. Její existence je pouze předpokládaná, protože horniny z té doby jsou nalézány velmi vzácně.

Rozpad Vaalbary nastává před 3200 – 2200 miliony let. Části Vaalbary se znovu spojují před 2500 – 1600 miliony let v superkontinent Columbia. Ta se po 500 milionech let rozpadá a nastává tvorba dalšího superkontinentu – Rodinie. Rodinia se rozpadá cca před 750 miliony let na proto-Laurasii, proto-Gondwanu a kraton Kongo. Tyto části na krátký čas (v geologickém měřítku) 50 milionů let vytvoří

superkontinent Pannotia, který se rozpadá 600 milionů let před současností na Laurentii, Baltiku, Siberii a Gondwanu. Před 413-350 miliony let se sráží Laurentia a Baltika a vzniká subkontinent Larussia. Tyto geologické děje jsou již lépe popsány na základě výzkumů. Subkontinenty míří k sobě a před 275 miliony let utvoří jediný superkontinent Pangea.
Rozpad Pangey počíná v juře, tedy před 199 – 145 miliony let a to na Laurasii a Gondwanu, později v křídě před 145 miliony let se i tyto subkontinenty rozpadají na kontinenty v přibližné podobě jak je známe dnes. (Coenraads, 2007, Pokorný, 2008, Cronin, 2010)

3. Prvohory - Paleozoikum

3.1. Kambrium (545-490 milionů let BP)

Prvohorní éra začala teplým a suchým podnebím v kambriu. Spodní hranice kambria je definována ve stratotypu na mysu Fortune Head na New Foundlandu podle objevení první ichnofosilie Treptichnus pedum. Jsou to stopy činnosti živočicha, který mohl být podobný červu, zařazuje se jako článek mezi ediakarskou a kambrickou faunu. Našly se pouze stopy činnosti – živočich tedy neměl zřejmě vůbec pevnou schránku, která by se uchovala ve fosilním záznamu. V blízkosti nálezů těchto ichnofosílií se pak už nacházely zkameněliny patřící kambriu – s pevnými schránkami. Rozložení kontinentů v kambriu není ještě zcela zřejmé – rekonstrukce předpokládají superkontinent Gondwana, který zasahuje z jihu přes rovník až do severního mírného pásma.
Gondwana, jejíž součástí byl i formující se Český masív byla spíše na jižní polokouli a v průběhu starších prvohor prodělala několik rotačních pohybů (po směru hodinových ručiček), takže se na jejím území vystřídala různá klimatická pásma od jižních polárních oblastí až po tropy (Kachlík, Chlupáč, 2008). Další samostatné kontinentální desky tvořila Laurentia (dnešní sev. Amerika a Grónsko), Baltika (severní Evropa a část Ruska) a Siberia (část Asie). Později došlo ke kolizi Laurentie a Baltiky a vytvořila se Laurasia. Kontinenty byly omývány teplými mělkými moři se spoustou života. Že

kontinenty ležely v teplé zóně předpokládáme podle rozšíření evaporitů a červených pískovců.

Český masiv v prvohorách zažíval erozi, snižování vyvrásněných horstev a snos hornin. Od středního kambria pak nacházíme na našem území stopy mořských usazenin – zřejmě probíhala mořská transgrese. Předpokládáme tedy, že Český masiv ležel na pobřeží, nebo na mořem zaplaveném šelfu Gondwany. Mořská sedimentace byla doprovázena vulkanickou činností.

Kambrické klima bylo jedním z nejteplejších a nejstabilnějších. Svědčí o tom uloženiny biogenních vápenců s útesy, ale i další geologicky průkazné indikátory jako jsou ložiska kamenné soli a oolitické železné rudy (Kachlík, Chlupáč, 2008). Organismy v té době prodělal obrovský vzestup, hovoříme o „kambrické explozi života“. Dobře prosluněná teplá šelfová moře jsou domovem řas, které slouží jako potrava, pohyby dna vynášejí fosfor, který je důležitý jako biogenní prvek. Není bez zajímavosti, že první schránky živočichů byly tvořeny fosforečnanem vápenatým, uhličitan vápenatý přišel až později. První malé organismy, objevené v kambriu se v angličtině nazývají small shelly fossils (Chlupáč et al., 2011). Současně s nimi žijí v moři archeocyáti, živočichové zřejmě příbuzní mořským houbám. Vytvářeli jemné vápnité kuželovité schránky, skládající celé útesy ale koncem kambria vymřeli. Velikost organismů v kambriu pomalu rostla a zvyšovala se i složitost stavby jejich schránek.

Mělká teplá moře byla plná tvorů z nichž se pak vyvinula většina známých kmenů dnešního světa, láčkovci, měkkýši, červi, brachiopodi, členovci. Nejznámějším nalezištěm zkamenělin těchto tvorů jsou tzv. „burgeské břidlice“.

Na našem území najdeme zkameněliny kambrického stáří hlavně v Barrandienu, dále pak v Železných horách a ojediněle také v Moravskoslezské oblasti. Kambrické celky v Barrandienu nasedají diskordantně na podložní vrstvy a vyplňují především deprese po kadomských horotvorných procesech. Hlavním a největším sedimentačním prostorem je příbramsko – jinecká pánev, kterou také označujeme jako Brdské kambrium. Velmi důležité lokality jsou tu např. Vinice, Vystrkov. Zajímavé je že z Brd pochází i nejstarší doložené zkameněliny z brakického a sladkovodního prostředí, život si tedy našel cestu i do sladkých vod. Nacházejí se v tzv. paseckých břidlicích. V tomto souvrství je ostře oddělená vrstva zelených břidlic, které v nadloží přecházejí

do prachovců. Z velmi mála zachovaných živočichů nejčastější je Kodymirus vagans, dále pak Kockurus grandis a korýš Vladicaris subtilis. Doprovázejí je vláknité řasy Marpolia spissa, mikrofosilie z rodu Acritarcha a některých dalších živočichů, ale také stopy po jejich činnosti – ichnofosílie. V nadloží, jak už padla zmínka, jsou prachovce, slepence, pískovce a droby s vulkanickou příměsí – tedy zřejmě kontinentálního původu. Časově mladší je jinecké souvrství, vzniklé po zániku pionýrských mořských společenstev ramoenonožců a především trilobitů, vše velmi dobře zachovalé v prachových břidlicích tohoto pásma. Jako úplný sled logického vývoje můžeme v těchto vrstvách pozorovat ingresi teplého moře s vývojem života (a jedním krátkým přerušením – viz box) a dále ubývání diverzity poklesem mořské hladiny. Následné nadložní vrstvy Ohrazenického souvrství, složené ze slepenců a pískovců, jsou už zřejmě suchozemského původu.

Přerušení vývoje kambrické fauny v jineckých souvrstvích je předmětem výzkumu. Jisté je, že ve sledu vrstev je znát asi deset centimetrů mocná jalová hornina, která je dá se říci kompaktnější než ostatní vrstvy a nejsou v ní žádné zkaměliny. Zdá se že je následkem náhlé mořské regrese a opětné transgrese.

Skryjsko – týřovické kambrium má podobný sled i vývoj, ovšem skryjské vrstvy jsou následně překryty vyvřelinami křivoklátsko-rokycanského komplexu, které jsou typicky suchozemské, datované 500 milionů let BP. Vulkanická činnost tu tedy začala ve svrchním kambriu a zasahovala až do ordoviku. Tento vulkanismus je podle chemického složení pravděpodobně vulkanismem aktivních okrajů kontinentálních desek nebo ostrovních oblouků (Chlupáč et al., 2011).

Na našem území je zřejmě Spousta dalších lokalit, kde je pravděpodobný výskyt hornin, pocházejících z kambria, ale dosud nejsou prokázané.

Vůdčí zkamenělinou kambria je trilobit. Podle nálezů a rozšíření různých druhů těchto členovců je možné usuzovat na vzájemné vazby kontinentů a přírodní podmínky. Ve spodním kambriu pozorujeme měkkýše, ramenonožce, ostnokožce, červy a členovce, ve středním kambriu byli nejhojnější trilobiti. Ve svrchním kambriu přibyli láčkovci, koráli, hlavonožci, konodonti, foraminifery a další. Už ze spodního kambria pocházejí nejstarší pozůstatky bezčelistných praobratlovců (chengjiangská fauna – Haikouichtys, Myllokunmingia). Za zmínku stojí ale především tvoreček, nalezený v Britské Kolumbii

v tzv. burgesských břidlicích – Pikaia gracilens. Sice o tom ještě probíhají pře mezi vědci, ale většina z nich uznává tohoto strunatce za předchůdce dnešních obratlovců, tedy našeho předka. Kambrický rostlinný život byl omezen na vodní prostředí – byly to hlavně řasy.

Vulkanismus v kambriu

Především ve svrchním kambriu probíhala v oblasti Českého masivu silná sopečná činnost – možná díky tříštění severního okraje Gondwany riftovými pásmy (Chlupáč et al., 2011). Podle některých autorů pak mohlo být v té době oddělené jádro Českého masivu od Gondwany – jako mikrokontinent. Důkazy zatím chybí, teorie je předmětem výzkumu.

3.2. Ordovik (490 – 440 milionů let BP)

Spodní hranice ordoviku byla definována na New Foundlandu ve stratotypu Green Point podle prvního výskytu konodonta Iapetognathus fluctivagus. Rozložení kontinentů navazuje na kambrium – Gondwana se otáčí, její jižní část zasahuje až k jižnímu pólu a okraje kontinentu se tříští podél riftových (zlomových) linií. Jádro Českého masivu leží v mírném až chladném pásmu jižní polokoule na periferii šelfového lemu Gondwany (nebo podle nových, nepotvrzených hypotéz poblíž něj jako samostatný mikrokontinent) (Chlupáč et al., 2011).

Střídání mořské transgrese a regrese napovídá tomu, že v ordoviku se střídala teplá a chladná období. Mořská hladina byla nejvýše ve svrchním ordoviku (caradoku podle britského členění, stupni beroun podle českého regionálního členění). Nejvyšší ordovik pak znamenal výraznou regresi, doprovázenou nejspíše silným zaledněním podstatné části jižní Gondwany a ochlazením. Ochlazení sebou přineslo rozsáhlé vymírání mořských organismů. Ordovická doba ledová začala přibližně před 438 miliony let. Je pravděpodobné, že příčinou této katastrofy byly rotační pohyby Gonwany, že se v té době přesunula přes jižní pól (Behringer, 2010).

Ordovické uloženiny tvoří centrální část Barrandienu. Vznikaly v lineární depresi protažené SV-JZ směrem, zřejmě v okrajovém moři Gondwany. Nejmladší – kosovské souvrství odráží ve svém vývoji právě výrazné ochlazení. Nacházejí se zde valounky z odtávání ledových ker (Chlupáč et al., 2011). Vulkanická činnost v ordoviku je silná a

dlouhodobá. Jako příklad můžeme jmenovat komárovský komplex v blízkosti Barrandienu, podél kadomských zlomových linií. Zůstaly po něm ložiska železných rud, ale velmi chudých. Tyto železné rudy byly zpracovávány ještě v minulém století hutěmi a hamry na Červeném potoce a na Litavce v podhůří Brd. Jen pro zajímavost – pahorek, na němž stojí naše Hradčany, je tvořen právě ordovickými horninami.

V ordoviku byly nejvíce rozšířeni graptoliti, zvláštní organismy, které byly charakteristické dlouhými rameny a nautiloidi, předchůdci dnešních chobotnic a sépií. Pozůstatky graptolitů a nautiloidů se nám dochovaly v Barrandienu, také i na území Prahy. Mění se zastoupení trilobitů – mnoho rodů vymírá, ale objevují se vývojově dokonalejší formy (dokonce některé mají složené oči jako dnešní hmyz). Předpokládá se, že koncem ordoviku už začaly první organismy vystupovat na souš. Nicméně morfologicky jednoduché spóry, které by mohly patřit suchozemským rostlinám nejsou dosud dostatečně prozkoumány, i když nalezeny byly (Chlupáč et al., 2011). Následoval silur s poměrně teplým klimatem.

3.3. Silur (440 – 410 milionů let BP)

Spodní hranice je definována podle výskytu graptolita Parakidograptus acuminatus (stratotyp leží ve Skotsku – naleziště Dob´s Linn).

Gondwana putuje k rovníku, dochází k tání ledovců a svět pokryla hlubší moře. Český masiv na SZ okraji Gondwany se posunuje k severu. Dochází k mořské transgresi, jako následku prudkého oteplení (příčiny zatím nedokážeme určit). Jižní Gondwana má stále poměrně chladné klima o čemž svědčí i nalezené stopy zalednění v Brazílii, Bolívii a Argentině, které ležely jako součást superkontinentu v daných šířkách. Ve svrchním siluru zaznamenáváme mladokadomské vrásnění – horotvornou a vulkanickou činnost. Dochází také ke kolizi menších kontinentů – Laurentie a Baltiky (vzniká Laurussia). Toto vrásnění a kolize se nedotkly Českého masivu, v té době na něm předpokládáme vodní prostředí. Ze zkamenělin nacházených u nás můžeme vyčíst, že nejčastějšími živočichy tu byli planktonní graptoliti spolu s řasami, mlži a hlavonožci, dále ramenonožci, korály, ostnokožci (zejména lilijce), první členovci. Bývají zastoupeny mj. v černých graptolitových břidlicích a ve zvláštním druhu vápenců, tzv. ortocerových vápencích, nyní zvaných cefalopodové, velmi dekorativních

díky světlým schránkám hlavonožců v černošedé základní hmotě. Vápence jsou častější ve svrchním siluru.

Vulkanická činnost v siluru dále pokračuje. Intenzivní podmořský vulkanismus je doložen například z okolí Sv. Jana pod Skalou. Zde se pak usazovaly bioklastické vápence. Existují dokonce domněnky, že svatojanské vulkanické centrum mohlo být vynořeno jako vulkanický ostrov (podobný dnešní Havaji). Vulkanismus tedy má vnitrodeskový charakter (Chlupáč et al., 2011).

Moře v siluru zaplavovalo části souše, byl větší příliv než je známý dnes a to usnadnilo výstup rostlin a živočichů z vodního prostředí. Život, vyvíjející se od prekambria začal – chráněný ozónem před škodlivým UV zářením – masově osidlovat souš. Předtím kyslík produkovaly jen bakterie a řasy pod vodní hladinou, nové podmínky tedy umožnily fotosyntézu a tím i další vzestup procentuálního podílu kyslíku v atmosféře. Prvními pionýry na zemském povrchu byly zřejmě zelené řasy. Později se začaly rozvíjet primitivní rostliny, hlavně mechorosty (Ziegler, 2002). Objevují se první cévnaté rostliny rodu Cooksonia (Chlupáč et al., 2011). Bylo třeba vývoje vnější kutikuly, aby na slunci nevysychaly, kořenů, aby dosáhly k minerálům a průduchů, potřebných k dýchání. U živočichů byl vývoj velmi postupný, museli se naučit vzdorovat vysoušení, dýchat vzdušný kyslík, pohybovat se (Ward, Brownlee, 2004).

3.4. Devon (410 – 354 milionů let BP)

Spodní hranice devonu se určuje dle stratotypu na Klonku u Suchomast podle nástupu graptolita Monograptus uniformis. Severozápadní okraj Gondwany spolu s Českým masivem se posouvá pomalu k severu do tropického pásma jižní polokoule, asi na 10 – 20^{o} jižní zeměpisné šířky. Zajímavé je, že podle současných měření přírůstků korálů se délka dne v té době odhaduje na pouhých 21 hodin, rok měl přibližně 400 dnů. Většina kontinentů leží v teplém pásmu, pouze jižní část Gondwany je chladná, malé stopy zalednění známe z famenu (Brazílie, Peru, Bolívie). Podnebí není stabilní, jsou známy chladné výkyvy – hlavně na hranici frasn-famen. Vodní regrese, čili ústup moře (lochkov – prag) se střídají s transgresí (dalejská, chotečská, kačácká). Nejvyšší stav hladiny je v givetu a frasnu.

Důvodem, proč jsou názvy eventů odvozeny z okolí Barrandienu je to, že v této oblasti lze velmi dobře vystopovat eustatické změny mořské hladiny, jsou zde velmi dobře vyjádřené hlubokovodnější velmi jemnozrnné mikritové vápence a mělkovodní vápence bioklastické. Sedimenty vzniklé v hlubokomořském prostředí obsahují pyrit, neboť tam pravděpodobně existovaly anoxické podmínky. Sedimenty vzniklé v mělkém moři leží ponejvíce v areálech bývalých silurských sopek (Chlupáč et al., 2011).

Podívejme se na tyto změny, které jsou důležité ve vývoji Barrandienu a Českého masivu:

Mezi souvrstvím lochkov a prag je znatelná hranice (zesvětlení hornin), která odráží dočasný pokles moře. Do stupně prag také patří útesový komplex Koněpruských vápenců s obrovským množstvím (asi 500 druhů) zkamenělin.

Ve stupni dalej zaznamenáváme zdvih hladiny. také začíná podmořský vulkanismus (Chýnice, Choteč – JZ od Prahy)

V samém závěru chotečského souvrství pozorujeme globální kačácký event – velmi výrazný zdvih mořské hladiny doprovázený poklesem druhové rozmanitosti zřejmě díky anoxii v hloubce moří.

Roblín je pak důležitý vysokým podílem pevninských splavenin a usazenin a poklesem salinity moří. Barrandienská oblast začala být zanášena materiálem ze zdvíhající se pevniny – zřejmě zaviněno už nastupujícím variským vrásněním.

Od konce siluru opět existují mělká a prohřátá moře. Pokračuje vápnitá mořská sedimentace, moře ovládají koráli, lilijce, daří se ramenonožcům a hlavonožcům, kteří vytvářejí dále tzv. ortocerové vápence (druh Ortoceras). V devonu můžeme pozorovat v místech Českého masivu vodní prostředí právě s vysokým podílem vápenců. Hlavní oblastí devonu je v Čechách Barrandien, ojedinělé ostrůvky jsou například na Ještědském hřbetu a v podloží České křídové oblasti a Moravskoslezské pánve. Moravský kras je tvořen karbonátovými sedimenty po mořské transgresi ve středním devonu, ostatní devonské uloženiny na Moravě vznikaly pravděpodobně v kontinentálním prostředí, mořský původ má na Moravě až svrchní devon. Devonské usazeniny na našem území vznikaly v tropickém pásmu – moře ustupovalo a opět

zaplavovalo rozsáhlá území a spolu s mělkými šelfy a blízkostí Laurussie a Gondwany podmínky umožňovaly migraci živočichů.

Od konce siluru existují rybovití obratlovci, kteří se v devonu více rozvíjejí – objevují se všechny podtřídy ryb – paprskoploutví, lalokoploutví i dvojdyšní. Postupně vymírají graptoliti, nastupují hlavonožci Ammonoidea, tentakuliti, konodonti. Klesá diverzita trilobitů. Na souš míří členovci a hmyz. Nejstarší čtvernožci, kteří se vyvinuli z ryb, jsou popsáni ze svrchního devonu – frasnu, nalezeni byli ve zkamenělinách ve Skotsku a Východní Evropě.

Velmi zajímaví čtvernožci z vodního prostředí byli popsáni ve zkamenělinách famenu Grónska. V podstatě když se nad touto skutečností zamyslíme, máme dalšího člena dlouhé vývojové větve, která směřuje k nám, lidem. Zatím tito čtvernožci připomínají spíše ryby, ale anatomicky už s dobře vyvinutými končetinami. Acanthostega – pro zajímavost – měla na končetinách osm prstů, Ichthyostega pak sedm. Oba dva druhy byli nejspíše dravci.

Devon je také dobou, kdy se začalo překotně vyvíjet suchozemské rostlinstvo. Spolu s primitivními Psilofyty, což jsou cévnaté výtrusné rostliny, přizpůsobené životu na souši, se objevují první plavuňovité, přesličkovité a kapradiny. Pro svrchní devon jsou dále typičtí první zástupci rostlin, z nichž se začaly vyvíjet nahosemenné. Rostliny na souši si konkurují v boji o sluneční paprsky a to vede k vývoji silnějších pletiv, která pomáhají rostlinám dostat se na slunce. Vyvíjí se první xylém, z vrcholného devonu známe podle zkamenělin dřeviny vysoké až 10 metrů (Ziegler, 2002).

Na konci devonu začínají kolize kontinentálních desek, tehdejší pevniny spějí k pozdějšímu vzniku superkontinentu Pangea. Probíhá variské (hercynské) vrásnění. Na konci devonu došlo k velkému vymírání organismů, především mořských živočichů. Událost se nazývá frasnian/famennian rozhraní. Jsou ještě pochybnosti, zda vymírání bylo jen ojedinělou událostí a nebo to byl sled vymírání v delším časovém úseku. Jedním z vysvětlení pro tuto krizi je pád meteorického roje či komety, s další teorií přišli vědci zkoumající mořské dno. Mohlo dojít k velkému výbuchu podmořských sopek a tím ke změně chemismu vody. Tyto teorie jsou stále předmětem výzkumu (Sallan, Coates, 2010). Dokladem pro tuto událost jsou mj. náhlá přerušení tvorby korálových útesů.

3.5. Karbon (354-298 milionů let BP)

Spodní hranice karbonu je definována ve stratotypu v jižní Francii (La Serre, Montagne Noire) prvním výskytem konodonta Siphonodella sulcata. Gondwana pokračuje v pomalé rotaci a během karbonu se sráží s Laurussií. Této události říkáme variské (hercynské) vrásnění. Během variského vrásnění překračuje Český masiv přes rovníkové pásmo k severu (Chlupáč et al., 2011). Podnebí se zprvu částečně ochladí. Stopy zalednění nacházíme v Jižní Americe a na jihu Afriky a Indie, zdá se, že původní Gondwana byla zaledněna až po 30^{o} jižní šířky. Spodní karbon má vlhké podnebí a mohou se tak tvořit usazeniny typické pro toto období – černé uhlí, vápence a kulm (slepence s prachovci a jílovitými břidlicemi). Kulm se vyskytuje v tektonických oblastech, vápence vznikají mělkovodní karbonátovou sedimentací a uhelné sloje se tvoří v prostředí močálů nahromaděním rostlinných zbytků a jejich překrytím sedimenty. Tyto podmínky jsou typické pro tektonické pánve. Ve svrchním karbonu pak se podnebí vysušuje, stává se aridnější hlavně kolem rovníkové oblasti, ubývá míst s tvorbou uhlí.

Ve spodním karbonu v Českém masivu převažují usazeniny mořského prostředí.

> *Cykličnost proměn karbonu nám představuje např. Ostravské souvrství. Mořské záplavy přicházely ze severu a usazovaly materiál, splavený z pevniny, v době tektonického klidu zarůstaly mělké laguny a jezera bujnou vegetací, ze které pak při překrytí těmito sedimenty vznikalo uhlí.*

Po ukončení variského vrásnění ve svrchním karbonu se začala krajina Českého masivu měnit, mezi vyvrásněnými pohořími vznikaly pánve, ve kterých bujela vegetace. Ke konci svrchního karbonu se podnebí náhle zvlhčilo. Předpokládáme tak z velkého množství jezerních usazenin. Pro zajímavost – velké jezero zřejmě sahalo ze západních Čech až do Sudetské pánve a mohlo být hluboké až 100 metrů. Nebylo ojedinělé, další jezera na území Čech byla v oblasti Boskovské brázdy a mezi Louny a Boleslaví.

Vlhká a suchá období se tedy v karbonu střídala periodicky, karbon pak končí obdobím suchým, po variském vrásnění byl už Český masiv souší s aktivními sopkami a několika jezerními pánvemi, přesunul se přes rovník a dále se vysušuje.

Variské vrásnění vzniklo po kolizi Gondwany a Laurussie. Vytvořilo se variské pásemné horstvo, které nechalo své pozůstatky od Maroka, přes Iberský poloostrov a jižní Anglii až po střední Evropu (Chlupáč et al., 2011). Jižněji se stalo součástí alpinského vrásnění. Český masiv do své konečné podoby utvořilo vlastně toto variské vrásnění. V době vrásnění a po něm nastala častá tektonická a vulkanická činnost a variské horstvo bylo rozlámáno sérií zlomů. Snižovat je pak začala rychlá eroze. Variské horstvo zformovalo Český masiv do pevného celku – kratonu, který už později nebyl vrásněn. Od mezozoika je Český masiv elevačním prostorem vznikajícího moře Tethys. Nástup variského vrásnění datuje většina vědců do devonu – givetu, hlavní část do frasnu, doznívalo až v karbonu. Vzniklé horstvo mohlo dosahovat výšek až několika tisíc metrů. Velice rychle erodovalo už během středního karbonu.

V období karbonu se velmi překotně se vyvíjela flóra i fauna. Na Zemi existovaly rozsáhlé pralesy, vlhké a plné života. Živočišstvo se překotně rozvíjí a obsazuje nové niky. Objevují se obojživelníci, vývojem z lalokoploutvých ryb. Dochází k jejich rozčlenění – někteří se stále zdržují spíše ve vodě, jiní vystupují na souš (krytolebci). Objevují se první plazi a rychle se vyvíjejí – dobré podmínky mají ke konci karbonu díky vysoušení klimatu. Během svrchního karbonu se vyvíjí velmi zvláštní skupina tzv. savcovitých plazů (Synapsida), z nichž někteří mají dokonce už diferencované zuby – ve vývoji se objevují řezáky, špičáky a stoličky (Chlupáč et al., 2011). Zbytky těchto živočichů se našly dokonce i na našem území – na Plzeňsku. Rozšiřuje se hmyz. V karbonu dosahuje své největší velikosti a druhová rozmanitost je velmi vysoká, vyskytují se švábi, stonožky, jepice, vážky.

V karbonu tedy musel být i dostatek kyslíku (nejspíše 35 %), když hmyz dorůstal takových rozměrů. Velikost hmyzu je úměrná velikosti jeho průdušnic a omezena endoskeletem, v současné době je to asi 17 cm. Karbonské stonožky měřily až 3 metry. Pravážka Meganeura má rozpětí křídel 75 cm a patří tak k největšímu létajícímu hmyzu vůbec.

Pokusy na muškách octomilkách (Drosophila) prokázaly skutečně zvětšování populace v atmosféře nasycené kyslíkem.

V mořích žijí stále lilijce, mechovky a ramenonožci, rozšířeni jsou koráli. Běžné jsou ryby a vodní plazi.

Dominantou krajiny jsou obří stromovité plavuně, přesličky a kapradiny. Tyto výtrusné rostliny dorůstají velikosti až 30 metrů. Rostou v bažinaté půdě - zde z těchto dřevin pocházejí ložiska černého uhlí. Nejsou tu totiž mikroorganismy, které by rozkládaly lignin (Leisola, 2012). Velmi důležité rody – Glossopteris a Gangamosperis, byly jedním z vodítek při výzkumu hranic kontinentů po objevu deskové tektoniky. Ve svrchním karbonu se objevují se první jehličnany. Probíhá silná sopečná činnost, v ovzduší je tedy dostatek CO_2, Zemi ovlivňuje silný skleníkový efekt a toto vše vyhovuje rostlinám, které produkují kyslík. Na konci karbonu došlo k rozšíření pouští. Pokračovalo poměrně teplé klima, s tím rozdílem, že na pevnině bylo kontinentální se suchým teplým létem a chladnou zimou.

3.6. Perm (298 – 250 milionů let BP)

Perm je vymezen stratotypem Aidaralaš na Urale, kde v mořských usazeninách odpovídá objevení konodonta Streptograthodus isolatus a v kontinentálních vrstvách kapraďovitou rostlinou Autunia conferta (Chlupáč et al., 2011).

V permu se část pevniny dostala do blízkosti jižního pólu, což znamenalo začátek dalšího zalednění a pokles hladin oceánů. I to přispělo k vysoušení pevniny, z pralesů zůstal pouze pruh v okolí rovníku. Kontinenty se nadále srocují, sráží se Laurussie a Siberie (vzniká pohoří Ural). Na konci permu se Gondwana spojila s ostatními pevninami a vytvořila obrovský kontinent – Pangeu. Podíváme-li se na hypotézy o klimatu, panujícím na tomto rozsáhlém kontinentu, můžeme Pangeu rozdělit na severní chladné, tropické a jižní chladné oblasti. Srážkou kontinentů tedy zmizela většina mělkých šelfových moří, navíc střed kontinentu se vysušoval, zanikla tedy i epikontinentální moře a jezera, po nichž zbyly solné usazeniny (např. v Polsku). Území Českého masivu leží tedy v blízkosti rovníku v tropické zóně Pangey. Převládající eolitická sedimentace ukládá červené pískovce, ve vlhčích okrajových částech Pangey začíná tvorba uhlí (např. Ural). Velmi poklesla biodiverzita. Koncem permu vymírají trilobiti, redukováni jsou čtyřčetní a tabulární koráli, mechovky a další mělkovodní společenstva (Chlupáč et al., 2011). Kolem Pangey existuje obrovský, hluboký oceán, menší plochu pak tvoří pobřežní šelfová moře. Permské vymírání je vlastně pomalý a dlouhodobý proces, jehož vrchol a nejkritičtější část klademe do konce permu.

Podívejme se na život v permu. Vysokou kontinentalitu klimatu, sucho a větrno lépe ustáli plazi, vymřely některé skupiny obojživelníků. Z větve plazů se postupně vyčlenila skupina savcovitých plazů (viz konec karbonu), nyní se vyvíjejí. Zdá se že byli teplokrevní, ale hlavně hodně pohybliví, díky tomu, že během evoluce se jim nohy podsunuly pod tělo. Rostlinstvo se díky aridnímu klimatu mění, objevují se nahosemenné rostliny a začínají se šířit na úkor rostlin výtrusných, které zatím obývají jen severní a jižní okraje Gondwany, kde je klima chladnější.

Český masiv se s Gondwanou stěhoval na sever nad rovníkové oblasti. Je důležité, že Český masiv dostal v době od devonu do permu a v průběhu hercynského (variského) vrásnění svou konečnou podobu, která se následující miliony let pouze dotvářela do současné podoby. V permu probíhala na jeho území dost silná vulkanická činnost (stratovulkánem byl např. Kozákov). Štítové sopky nám zanechaly zajímavé dědictví v podobě melafyrů s dutinami s výskytem polodrahokamů, které se nacházejí v okolí už zmíněného Kozákova, Nové Paky a Jilemnice (Ziegler, 2002). Pokračuje eroze variského horstva. Český masiv je souší, snad občasně zaplavovaný epikontinentálním mořem, než toto zanikne. Je dokonce pravděpodobné, že v mladším permu byla naše krajina pouští. Máme z té doby také velmi málo nálezů fosílií. Zachovaly se stopy obojživelníků, žraloků a paprskoploutvých ryb a to jen z počátečních vlhkých období. Jsou to snad většinou pozůstatky z jezer, která vždy zbyla po vpádu a ústupu jezer. Byla nejspíše slaná, o čemž svědčí nálezy solných bakterií a stromatolitů (Chlupáč et al., 2011).

Jak tedy mohl vypadat perm na našem území? V horkém a suchém pouštním klimatu se sotva objeví kousíček zeleně a pár živočichů. Stratovulkány chrlí popel všude kolem sebe. V soustavě zlomů pukající zemské kůry se tvoří dočasná jezera či vodní toky. Přívalové deště, velmi náhlé ale zřídkavé, se střídají se suchými a větrnými událostmi.

Zřejmě takto bude vypadat Pangea Ultima za 250 milionů let. Wilsonův cyklus, tedy 500 milionů let trvající hypotetický cyklus, některými výzkumy potvrzený, dospěje do stadia, kdy na Zemi bude opět jediný superkontinent. Pokud zde ještě jako lidstvo budeme, bude to nesmírně obtížná doba. Obyvatelné bude jen pobřeží superkontinentu, vnitřek bude pouští, bičovanou bouřemi a silným větrem. Pěstování rostlin bude prakticky nemožné, spoustu živočišných druhů vymře. Takto nastupovalo

velké permské vymírání – pomalu a plíživě v průběhu svrchního permu změnami v rozložení kontinentů a tím i podnebí a zánikem ekologických nik, na konci permu pak velmi rychle v důsledku procesu, který se vědci nyní snaží rozklíčovat. Je to jedno z nejvýraznějších vymírání v historii Země.

Došlo k němu na hranici perm–trias, která je též přechodem mezi érami paleozoika a mezozoika. Tento fakt sám o sobě svědčí o důležitosti této události, protože hranice mezi érami odpovídají hlubokým změnám ve složení živočišstev: na hranici perm–trias přecházíme od „pravěkých“ forem živočichů Podle odhadů zaniká až 95 % mořských druhů. Skupiny, které již byly na ústupu, jako například trilobiti, vymírají a po nich následují další, které až do té doby prospívaly. Jak je tomu často během velkých vymírání, zanikají útesotvorné organismy, a zejména pak celé skupiny korálů typických pro paleozoikum, čili čtyřčetní a deskatí koráli (Ziegler, 2002). Z dalších koloniálních organismů jsou hromadně ničeny mechovky. Některé skupiny druhů se nalézají na pokraji úplného vyhlazení a unikají mu jen díky přežití malého počtu druhů: jedná se například o ostnokožce a amonoidy. Těžce postiženi jsou ramenonožci, plži a mlži a také dírkonožci. Na pevnině zaznamenáváme značná vymírání mezi rostlinami, zvláště zasaženy jsou velké rostliny. Významnou skutečností je, že na rozhraní permu a triasu zjišťujeme „vrchol výtrusů hub“, což nám připomíná vrchol výtrusů kapradin z rozhraní křídy a terciéru. Houby podle některých výzkumů ovládly na čas pevninu. Vymírání postihlo i hmyz, některé plazy a obojživelníky. Je zajímavé, že zřejmě klesl obsah kyslíku v ovzduší a tudíž došlo ke stěhování vyšších živočichů do menších nadmořských výšek. Stoupla hladina moří a také tím se zmenšila plocha biotopů pro přežití (Huey, Ward, 2005).

K dosahu tohoto hromadného vymírání je třeba přičíst jeho nenadálost, i když přišlo po období úpadku a snížení biodiverzity. Velmi podrobné stratigrafické studie, nedávno provedené v Alpách americkým badatelem Michaelem Rampinem a jeho spolupracovníky, dokonce naznačují, že změny týkající se živočišstva mohly proběhnout za méně než 10 000 let, což je samozřejmě v geologických termínech velmi krátká doba a ukazuje to na příčinu katastrofické povahy. Často se v nich věnovala pozornost zvláštnímu rozložení kontinentů na konci permu: tvoří jedinou pevninou masu – takzvanou Pangeu. V takovém geografickém prostředí

mohlo kontinentální podnebí hrát čím dál větší roli při vymíráních (alespoň na pevnině). Ve svrchním permu navíc dochází k velmi důležité regresi moře; badatelům, kteří v tomto jevu vidí možnou příčinu tohoto hromadného vymírání, se zde příčina zániku druhů nabízí sama – zejména kvůli zmenšení povrchu kontinentálních desek a současné ztrátě životního prostoru. Oceán se velmi otepluje a nedochází tedy k jeho cirkulaci, zeslábnou mořské proudy. Doprava kyslíku a živin v tomto prostředí je snížená, teplá voda velmi málo váže kyslík. Vznikají anoxické případně dokonce euxinické podmínky (euxinické= silně ochuzené o kyslík a obsahující někdy i sirovodík H_2S) (Kiehl, Shields, 2005; Meyer et al., 2008).

Pyritové uloženiny, nalezené mimo jiné v horninách v Číně, Grónsku a Indii, napovídají vysokému obsahu síry ve vodním prostředí. Je možné, že dotace síry do systému je dílem sibiřských sopek, činných v tomto období (viz dále). Vysoká koncentrace síry a dalších znečišťujících látek do vyšších vrstev atmosféry mohla způsobit podle některých autorů (Meyer et al., 2008) kolaps ozónové vrstvy a tím další ránu ekosystémům.

Bakterie které redukují sulfát ve svém metabolismu produkují H_2S. Dnešní sulfidické vody jsou odděleny od atmosféry vrstvou okysličené vody, pod níž se nachází chemoklina, pod kterou koncentrace kyslíku klesne na nulu. Při nahromadění sirných sloučenin samozřejmě tato hranice stoupá k povrchu. Tím se pak může uvolňovat sirovodík do ovzduší. Množství sirovodíku, vzniklého v permu, dokládá uložený pyrit a jeho množství mohlo být až 1000 násobek dnešních hodnot. Navíc se v permských usazeninách v geologickém záznamu našly biomarkery těchto bakterií (Isorenierateny, což je typ karotenů) (Kump et al, 2005; Pancost, 2004). K podobné situaci v mořích došlo, i když v menší míře, na hranici frasn/famen (Joachimski et al, 2001)

Na rozhraní permu a triasu dochází k důležitým čedičovým výlevům, které vytvářejí sibiřské trapy. Sibiřské erupce mohou být docela dobře spojeny s výronem plynů do atmosféry a následným skleníkovým efektem, což mohlo vést k oteplení planety (Buffetaut, 2005). Sibiřské trapy je plocha cca $2{,}5.10^6$ km^3 čediče v 100- 3000 metrů mocné vrstvě pokrývající plochu přibližně 2/3 Spojených Států Amerických (Erwin et al, 2002). Dalšími z příčin mohou být – díky oteplení oceánů- i obrovské zničující výrony

metanu, který je v oceánské vodě vázán v tzv. hydrátech. Erupce by vynesla na povrch hluboké anoxické vody, které by způsobily vymírání v mořské oblasti, na souši pak mohlo dojít k explozi a požárům, protože směs vzduchu a metanu exploduje již při koncentraci metanu mezi 5 a 15%. Vše je ještě ve stádiu výzkumu ale je to velmi důležité pro budoucnost, protože hydráty metanu jsou v oceánské vodě obsaženy stále a dodnes (Ryskin, 2003).

Permská katastrofa může mít ale také mimozemské příčiny. V roce 2001 skupina amerických badatelů vedená Luann Beckerovou zjistila na hranici perm–trias v japonských a čínských nalezištích přítomnost fulerenů (velkých molekul uhlíku zvláštní struktury) obsahujících hélium a argon, jejichž izotopické složení svědčí o mimozemském původu. Tyto podklady hovořící ve prospěch takové události jsou zatím velmi křehké a dříve než budeme moci prohlásit tuto tezi za platnou, bude nutné je mnohonásobně ověřit (Buffetaut, 2005; Becker et al., 2004, Becker, 2004). Také je možné, že náraz mimozemského tělesa spustil pozemský vulkanismus.

O nárůstu CO_2 v permské atmosféře svědčí pak také nálezy zkamenělin – konkrétně ginkgo, čili jinan, podle počtu průduchů na rostlinách mohl být obsah oxidu uhličitého až 3 x vyšší než dnes. Biodiverzita se zlepšila až v triasu (Botjer et al, 2008).

O příčinách této katastrofy víme zatím velice málo, jisté je to, že se velmi snížila diverzita, zaznamenává se nástup hub a jejich nadvláda nad planetou, dále se rozšířili amonoidi a pak že uvolnila cestu vývoji druhohorní nahosemenné flóry a fauny pod nadvládou dinosaurů.

4. Druhohory – Mezozoikum

Druhohory trvaly asi 180 milionů let. Český masiv už nebyl vrásněn, patří ke zpevněné, konsolidované části Evropy. Rozpadem Pangey se pak postupně dostává na severní polokouli. Alpinské vrásnění se pak u nás projevuje pouze pomalými zdvihy a poklesy zemské kůry a tvorbou zlomů.

Druhohorní klima bylo poměrně stabilní ve všech útvarech (trias, jura, křída). V triasu bylo poněkud sušší, rozšířené byly pouštní a polopouštní oblasti. Hromadné vymírání na rozhraní permu a triasu mělo významné a dlouhodobé následky.

4.1. Trias (250 – 199,6 mil. let BP)

Spodní hranici triasu určuje nástup konodonta Hindeolus parvus. Všechna tři oddělení triasu jsou skvěle sledovatelná v Alpách, kde je zastoupen trias v mořském vývoji. Superkontinent Pangea se na počátku permu ještě drží pohromadě, ale jsou tu už náznaky budoucího rozpadu. Klínovitě se šíří moře Tethys a v místech východního okraje dnešní Severní Ameriky se objevují zlomy.

> *Horniny severních Alp a Dolomitů vznikly právě v triasu, kdy se usazovaly na dně rozšiřujícího se moře Tethys. Později se tato krajina zvedla v důsledku pokračujícího alpinského vrásnění. Pozůstatky mořské fauny zde zkoumal např. sám Leonardo da Vinci, v podstatě nesouhlasil s církví vykládanou hypotézou velké potopy světa, ale přítomnost mořských živočichů si ve své době ani v úrovni znalostí nedokázal vysvětlit.*

Triasové klima se vyznačuje velmi vysokou ariditou, stejně jako předchozí perm. Opět zaznamenáváme změny hladiny moří – mořskou regresi a ve svrchním triasu pak transgresi. Český masiv je prakticky ostrovem, odděluje jej na jihu moře Tethys od severní hranice oceánu (Chlupáč et al., 2011). Rostlinstvo a živočišstvo na začátku triasu se vyznačuje slabou diverzitou; dominuje mezi nimi omezený počet druhů, které však jsou velmi početně zastoupeny a často osídlují rozsáhlé oblasti. Druhy, které přežily katastrofu, vládnou jak v mořích, tak i na kontinentech. Jako dobrý příklad slouží Lystrosaurus, který na hranici triasu osídluje početné oblasti, od kontinentu Gondwany až po Čínu a Rusko. Tito „savcovití plazi“ střední velikosti byli velmi početní, jak to dosvědčují zejména bohatá naleziště v Karoo v Jižní Africe. Během spodního triasu dochází velmi pozvolna k obnovování živočišstva a rostlinstva, nejčastěji z tohoto malého počtu druhů, které přežily krizi. Vůbec nás tedy nepřekvapí, že svět triasu (a obecněji celé mezozoikum) se od světa permu velmi liší (Buffetaut, 2005). Objevují se první belemniti, početnější jsou plži a mlži a také ježovky. Po ústupu trilobitů se vyvíjejí raci. Nejdůležitější vůdčí zkamenělinou se stávají amoniti. Na souši se rozvíjí kromě savcovitých i další plazi – hadi, krokodýli, také želvy. Koncem permu se vyvíjejí ze savcovitých plazů první savci. První kroky k obrovské expanzi dělá

nadřád Dinosauria (Chlupáč et al., 2011). Rostlinný pokryv v triasu tvoří převážně nahosemenné – jehličnany, cykasy a gingkovité.

Na přelomu triasu a jury - přibližně před 200 miliony let – dochází ke krizi. Odhaduje se, že zaniklo asi 48 % druhů (Ward et al., 2001). Vymírání mohlo být důsledkem mořské regrese, kterou na začátku jury vystřídala transgrese, spojená s anoxií ve vodním prostředí. Biotická krize 201,5 milionů let BP může souviset s masivním vulkanismem v centrální Atlantické magmatické provincii – byly to nesmírně rozsáhlé plošné výlevy čediče, vztahující se k rozpadu Pangey, kdy se do ovzduší dostalo velké množství oxidu uhličitého a dalších zplodin (Bonis, Kürschner, 2012). CAMP, tedy Central Atlantic Magmatic Province je oblast která zaujímá plochu 11.10^6 km^2, podstata a rozsah tohoto vulkanismu je stále ještě předmětem výzkumu (Rampino, 2010). Před tímto vulkanismem mohlo dojít ještě díky pohybu pevnin (rozpad Pangey) k uvolnění hydrátů metanu. Na některých místech byly zjištěny anomálie iridia a šokové krystaly křemene, mluvící pro srážku s mimozemským objektem nebo objekty (Langenhorst, 2002). V úvahu přichází kráter Manicouagan v Kanadě a Rochechouart ve Francii. Tato krize je předmětem výzkumů, jisté je, že se změnou podmínek se ke slovu dostaly vyspělejší skupiny živočichů, hlavně velkých masožravých dinosaurů. (Buffetat, 2005; Olsen et al., 2002). Vymírají savcovití plazi, zajímavá ale bohužel slepá větev zřejmě poměrně inteligentních teplokrevných živočichů. Hodně jsou zasaženy útesové taxony a mořské houby (polovina z jejich rodů) (Kiessling et al, 2007). U rostlin je pozorováno zmenšení druhové rozmanitosti, zřejmě díky kolísání vlhkosti – odklonění tras monzunů a následnému suchu.

Český masiv díky své poloze a silné erozi a snosu materiálu nemá mnoho památek na trias v podobě usazenin. Nezaznamenáváme tu ani vymírání na hranici jury.

4.2. Jura (199.6 - 145 milionů let BP)

Jméno tento útvar druhohor získal podle švýcarského pohoří Jura v předhůří Alp.

Ještě na počátku jury je Pangea téměř jednotná pevnina, ale ve střední juře se tvoří na rozhraní Afriky a severní Ameriky rozsáhlý rift, který kontinenty od sebe oddělí. Z Tethys do prostoru vnikne mořská voda - vyvíjí se Atlantický oceán. Jižně dochází k rozpadu Gondwany na Antarktidu, Jižní Ameriku, Afriku a Indii. Jura je svým

podnebím velmi příjemná, přibylo vlhkosti. Pohoří vytvořená starými vrásněními se zarovnávají erozí, pevninou tečou vodnaté meandrující veletoky. Při rozpadu kontinentů vznikají mělká šelfová moře, jaká známe z kambria, tato příznivá teplá prostředí jsou známá svou vysokou biodiverzitou. Jako stopy se nám po těchto mořích a zálivech díky karbonátové sedimentaci dochovaly nádherné vápencové útvary. V juře jsou vůdčími zkamenělinami amoniti, ale celý svět si toto období vybavuje v souvislosti s dinosaury. Tito živočichové ovládli nejen souš, ale i vzduch a teplá moře. Plavuně, kapradiny a přesličky se v juře zmenšují, začínají se vyvíjet jejich bylinné formy. Na vrcholu rozvoje jsou nahosemenné rostliny – hlavně cykasy a jinany. Ve svrchní juře se Pangea již úplně rozpadá, hladina moře se zdvihá (označovaná někde jako kellowayská potopa), jurské moře se dostává i na území Čech, které dosud byly souší. Zdá se, že Český masiv má v juře velmi příjemné, vlhké prostředí díky blízkosti moří (na severu a na jihozápadě), která podél zlomů zasahovala do pevniny. Díky absenci vrásnících pochodů tu není ani silný vulkanismus a podnebí je teplé a stálé.

4.3. Křída (145 – 65 milionů let BP)

Křída jako útvar je obecně dělena na svrchní a spodní, trvala asi 80 milionů let a název jí daly charakteristické usazeniny. Spodní hranice je určena nástupem amonita Beriasella jaccobi.

Křídu od jury odděluje hranice ústupu epikontinentálního moře v Evropě. Kontinenty se už od sebe oddělily, také jižní Amerika od Afriky a Atlantik se rozšiřuje směrem k jihu. Antarktida se vzdaluje jižněji, Austrálie na severovýchod, na sever putuje Indický subkontinent a to neobvykle rychle (kontinenty se stěhují běžně v centimetrech ročně, u Indie šlo o desítky centimetrů). Od Afriky se odděluje část pevniny – dnešní Madagaskar. Tím je vysvětlena unikátní flóra a fauna, která se od té doby vyvíjela prakticky samostatně bez kontaktu s pevninou. Se zvětšením plochy moří a oceánů v křídě se vytvářejí lepší podmínky pro účinnější pohlcování slunečního světla. Velká vodní plocha má vysokou tepelnou setrvačnost, lépe teplo pohlcuje a pak je pomalu vydává do prostoru, tím lépe se ohřívá i atmosféra. Proto se v křídě rozšířily tropy a subtropy a i přes krátká chladná období nebylo ani v polárních oblastech trvalé

zalednění. Hladina moří a oceánů kolísá, v raném aptianu a na začátku cenomanu byla podle mořských usazenin (zkoumáno metodikou TEX86 paleometer) teplota oceánu kolem 30^{o}C. Tuto teplotu hlavně ve spodní křídě lze vysvětlit intenzivní sopečnou činností, kdy se zvýšil podíl oxidu uhličitého a stoupala teplota ovzduší a tudíž pak i oceánů (Dumitrescu et al., 2006) . Během spodní křídy pomalu stoupala hladina moří, na přelomu spodní a svrchní křídy došlo k výraznému zvýšení hladiny (cenoman - cenomanská záplava) – možná až o 200 metrů (Chlupáč et al., 2011). Dochází nejspíše k výstupu chladných proudů, promísení vod a tím částečnému vymírání mělkovodních biot. V cenomanu a spodním turonu měla souše pravděpodobně podíl pouhých 18 % zemského povrchu (dnes je to 29 %). Klima bylo velmi teplé, pouze ve spodní křídě zaznamenáváme chladné výkyvy. Koncem křídy hladina oceánů a moří poklesá.

V křídě opět začíná intenzivní horotvorná činnost v Alpsko- Karpatské oblasti, alpinské vrásnění na pomezí spodní a svrchní křídy.

Český masív se posouvá v křídě od rovníku k severu. Byl nejspíše poloostrovem, jeho okraje omývaly vody teplého moře Tethys. Na jeho území existují jezera a pralesy teplého středomořského pásma. Krajina je zřejmě zarovnaná erozí. Uprostřed křídy, v cenomanu, přichází cenomanská záplava i sem. Při pohybu desek v Tethydě došlo k výzdvihu mořského dna a na území Českého masivu se opět vrací moře. Mělké velmi teplé moře je domovem stovek druhů živočichů, podnebí tu je stabilní a tak „česká křídová pánev“, jak je v literatuře označována tato fáze vývoje Čech, je obdobím plným života. Můžeme to poznat z množství zkamenělin, které se z té doby dochovaly. Evropa leží v subtropickém pásmu na severní polokouli a Český masiv je v křídě prakticky parovinou, která následně byla vertikálními pohyby saxonské tektogeneze rozlámána, nejznámějším zlomem je tzv. Lužická porucha. České křídové pánve skrývají zdroje pitné vody, některé uloženiny z té doby – pískovce a opuky – jsou používány dodnes jako stavební či sochařský materiál. Při saxonské zlomové tektonice vznikají třeboňská a českobudějovická pánev. Na konci křídy začíná Český masiv stoupat. Moře ustupuje, v okolí se díky subhercynskému a laramijskému vrásnění (součást alpinského vrásnění) zdvihají pohoří – Alpy a Karpaty. Malá část vod se pravděpodobně zdrží jen v jihočeských pánvích. Vedle Alp a Karpat začala

vznikat i další horstva, v Americe Kordillery, Andy, na východě Kavkaz. Začíná silná vulkanická činnost. Vše mělo vliv na klima v té době, ústup moří znamenal změny cirkulace v oceánech ale i v atmosféře, sezónní výkyvy se vyostřují. Vše to má vliv na biodiverzitu, začíná postupné vymírání některých skupin dinosaurů. Vše ještě urychluje zlom v podobě celosvětové katastrofy, o tom dále.

Během křídy se rozšířily krytosemenné rostliny. Došlo k novému velkému rozvoji hmyzu a postupem vývoje jeho koevoluci s kvetoucími rostlinami. Rozšiřují se také savci, i když jsou velmi drobní a nenápadní (Ziegler, 2002) .

Stratigraficky jsou velmi důležití mlži, jsou výbornými paleoekologickými indikátory přírodních podmínek. Z mikrofauny jsou velmi důležité foraminifery, které jsou velmi citlivými na odezvy klimatických podmínek díky jejich celoplanetárnímu rozšíření a rychlému vývoji (Kachlík, Chlupáč, 2008). Nastává úpadek amonitů, kteří pak na konci křídy vymřou úplně. Dinosauři v křídě dosahují své největší velikosti. Objevují se ceratopsidi s různě rohatou bizarní hlavou. Z některých dinosaurů se postupně vyvíjejí ptáci. Představa, že dinosauři zažívali vrchol svého rozvoje a pak najednou při náhlé katastrofě vyhynuli všichni, je mylná, některé druhy dinosaurů se ztrácí z paleontologického záznamu během křídy, jiné se nově vyvíjejí. Množství dinosauřích druhů před koncem křídy není nijak závratné, nicméně konec jejich nadvlády nad planetou se blíží. V té době se ale už - nejspíše v nočních hodinách – pohybovali po Zemi dobře vyvinutí savci. Nebyli větší než kočka, ale získali ve svém vývoji několik výhod, které jim pomohly přežít. Jednak byli všežravci a noční živočichové, žijící v norách v podzemí. Stavba těla jim dovolovala rychlý pohyb, bránice jim umožňovala plné dýchání. Obrovskou evoluční výhodou byl vývoj mláďat v matčině těle – objevují se tzv. placentálové. Mláďata se rodí dokonaleji vyvinutá a lépe se rozvíjí jejich mozek a smysly. Na samém konci křídy se na severoamerickém kontinentu objevuje rod Purgatorius (pozůstatky se našly v Montaně), jež je pravděpodobný předchůdce primátů, tedy vývojové linie nás, lidí.

Na konci křídy přichází velká ekologická katastrofa. Velmi pravděpodobnou příčinou byl pád vesmírného tělesa a silná vulkanická činnost – došlo k prudkému ochlazení a následně velkému ohřátí planety, spojené s vymíráním druhohorních druhů. Příčiny ochlazení klimatu se shrnují do dvou hypotéz. První z nich – pád planetky nebo

komety o průměru přibližně 10 km (pro představu – Halleyova kometa má rozměry cca 15 km x 18 km) do moře u Yucatánského poloostrova. Druhá dává do souvislosti s katastrofálním hynutím obrovské výlevy láv v místech budoucí Indie – trappy na Dekánské plošině, tedy silnou sopečnou aktivitu. Je možné, a někteří vědci to připouštějí, že právě dopad velkého tělesa způsobil následnou vulkanickou činnost.

Asteroid, který dopadl na naši Zemi, narazil rychlostí, o které víme, že se pohybovala od 20 – 80 km/s. Vyhloubil hluboký kráter, jehož stěny se ve vteřině bortily a vznikl mělčí ale širší kráter – 150 – 200 km. Uvolněná energie mohla odpovídat výbuchu 100 milionů vodíkových pum o váze 1 megatuny. Tato obrovská energie zvýšila teplotu v místě dopadu na 10 000 – 20 000 ^{o}C, horniny na obrovské ploše se roztavily nebo vypařily a způsobily obrovské lesní požáry. Vysoké teploty vyvolaly reakci atmosférického kyslíku a dusíku a následkem toho se v deštích objevila kyselina dusičná (HNO_3). Náraz byl tak silný, že vyvolal zemětřesení o síle 12 stupňů Richterovy stupnice a mohl vyprovokovat sopečnou činnost na Zemi. Kilometr vysoká vlna tsunami pronikla několik kilometrů do vnitrozemí. Po dopadu asteroidu neklesly všechny částice k zemi, ale rozptýlily se v atmosféře kde bránily průchodu slunečních paprsků. Zpomalila nebo zastavila se fotosyntéza a ochlazení, kdy teplota klesla až o 40 ^{o}C ochromilo celou planetu až na několik měsíců. Po prudkém ochlazení nastalo silné oteplení, meteorit odpařil obrovské množství vody, vodní pára začala pohlcovat značné množství infračerveného záření, odráženého Zemí a vznikl skleníkový efekt.

Teorii o dopadu tohoto mimořádně velkého tělesa přednesli koncem 70. let minulého století laureáti Nobelovy ceny Luis Alvarez a jeho syn Walter Alvarez. Byli odmítáni, ale Walter Alvarez spolu se svým týmem předložil přijatelné důkazy. Téměř na celém zemském povrchu je totiž mezi vrstvami, pocházejícími z křídy a třetihorními vrstvami slabá vrstva jílu v řádu 1 cm, která obsahuje v neobvyklém množství deformovaná křemenná zrnka a dále jsou v tomto jílu stopy iridia, které je v zemské kůře vzácné, ale běžné je v meteoritech. Také se našly sedimenty se stopami popela z požárů, hypotézu potvrzují také vrty v nalezeném kráteru Chicxulub, kde souhlasí stáří i velikost impaktu (Keller, Adatte, Stinnesbeck, 2004) Chicxulub je jeden z největších kráterů za posledních 600 milionů let.

Definitivně se stala hypotéza uznávanou po nálezu malých sklovitých kuliček – kapek roztavené horniny podobající se českým vltavínům ve vrstvě odpovídající K/T rozhraní a zejména přítomnost tzv. niklspinelů (magnetitů bohatých na nikl) – mikroskopických krystalů, které vznikají za přesně daného tlaku a teploty následkem oxidace meteoritu při průchodu atmosférou za velmi vysoké rychlosti. Niklspinely byly rozloženy v jediné vrstvě v přesném časovém úseku, odpovídajícím K/T rozhraní. (Buffetat, 2005)

Místo, kam dopadl meteorit na Yukatánském poloostrově je tvořeno skálou s vysokým obsahem uhličitanů a síranů, které se nárazem „vypařily do ovzduší", zde je také prapůvod kyselých dešťů, které provázely dlouhý čas po nárazu prachové usazeniny. Modely ukazují že minimálně 12 let byl navíc na 50 % blokován sluneční svit. Vliv na rostlinstvo a biodiverzitu i ve vzdálenějších oblastech byl fatální. (Pope, D'Hont, Marshall, 1998)

Další hypotetický kráter pro dobu před 65 miliony let je Shiva v Indickém oceánu. Je to ale struktura tak nesmírně velká, že by to byl největší kráter na Zemi (o průměru 500 km) a následky pádu tělesa, které ho vytvořilo, by byly nedozírné (Chatterjee et al, 2006). Vědci nyní uvažují o možnosti, že se tyto dvě hypotézy doplňují. Je možné, alespoň vědci to nevyvracejí, že vlna vzniklá nárazem asteroidu u Yucatánského poloostrova mohla způsobit takové pochody v zemském nitru, že se zvýšil vulkanismus a vznikl také výlev lávy (trappy) na Dekánské plošině.(Weber, 2008, Addate, Keller, 2012)

Podívejme se podrobněji na vulkanickou činnost na Dekánské plošině.

Iridium může být také v sopečném prachu, což odkazuje na druhou hypotézu – o působení mimořádně silného vulkanismu, jehož pozůstatkem jsou například trappy na Dekánské plošině. Jsou to velmi rozsáhlé stupňovité svahy, tvořené překrývajícími se plošnými čedičovými výlevy. Rozkládají se na území velkém jako Francie a mají objem více než milion km^3. Při jejich vzniku unikalo do ovzduší obrovské množství prachu a oxidu uhličitého a situace mohla být stejně katastrofální jako dopad meteoritu. Existují tři možné příčiny vzniku těchto struktur: plášťový chochol, desková tektonika a nebo jak už bylo psáno, aktivace nárazem vesmírného tělesa. Pokud by v tomto případě šlo o „hot spot", čili horkou skvrnu nad plášťovým chocholem, kde magma vystupuje k povrchu, je tu několik ostrovů, které by mohly být pozůstatkem činnosti tohoto

vulkanismu – mj. dnešní ostrov Réunion (Chatterjee et al, 2006) . Desková tektonika pak bývá spojována s rozpadem mikrokontinentu Seychely, který se oddělil od Indie, oddělily se ale až 63 milionů let BP, čili daleko později než začal dekánský vulkanismus, navíc takto silný vulkanismus by tato událost zřejmě nezpůsobila. Po většinu mezozoika se Indická deska klidně stěhuje k severu, rychlostí 2 – 5 cm za rok. Náhlé zrychlení na 15 – 20 cm za rok je hádankou pro paleontology. Stalo se tak mezi stř. křídou a paleocénem (80 – 53 milionů let BP), ke zpomalení došlo zase až po nárazu do Asie. Může být tato rychlost příčinou dekánského vulkanismu? Případně není tu souvislost s hypotetickým dopadem asteroidu Shiva (viz box). Tyto hypotézy jsou stále předmětem zkoumání.

Koncem křídy tedy musíme hledat globální příčinu, která mohla způsobit vyhlazení rozdílných tvorů. Došlo ke krizi potravní pyramidy. Palynologické důkazy svědčí o zkáze vegetačního porostu (na K/T rozhraní je nedostatek pylu kvetoucích rostlin, zvyšuje se množství výtrusů kapradin) a zánik planktonních organismů (důkaz – pokles ukládání vápenatých sedimentů v mořích, tvořených právě jejich schránkami). V moři jsou více postiženi pelagické organismy než bentické, vymřeli tedy mnohé skupiny amonitů, zatímco loděnky na dně přežily až do dnešních dnů. Na souši byli nejvíce postiženi býložravci, masožravci vymírali v druhém sledu. Přežívají malí obratlovci, živící se hmyzem, který hledá potravu v organické hmotě v půdě.

Jedna z teorií se opírá právě o to, že K/T rozhraní mělo nápadně selektivní vliv na obratlovce. Nabízí důvod – „ohnivou vlnu“ která mohla smést vše živé, co se nemohlo schovat do vody či do doupat nebo brlohů pod zemí. (Novacek., 1999, „Kdo přežije Armageddon“- seriál BBC, 2009)

Ve sladkovodních jezerech přežily ryby, obojživelníci, vodní želvy i krokodýli. Zánik postihl prakticky podle některých vědců organismy vážící více jak 25 kg, ale život jako takový nevymizel, cesta k evoluci se otevřela savcům (Buffetaut, 2005).

Velké krize spojené s vymíráním se někdy dávají do souvislosti a vědci se snažili najít odpovídající periodu, nebo cyklus, v němž se opakují. Snažili se dokázat, že

k takovýmto událostem dochází jednou za 26 milionů let a dávali do souvislosti např. uvolňování komet z Oortova oblaku, případně návrat planety či hvězdy Nemesis, která má být naším spolupoutníkem ve sluneční soustavě. Tyto hypotézy jsou ale fakticky nepodložené.

5. Kenozoikum – Třetihory - Terciér

Třetihory čili terciér dělíme na paleogén a neogén, kdy paleogén se dále rozděluje na paleocén, eocén a oligocén, neogén na miocén a pliocén.

V terciéru zaujímají světadíly už téměř dnešní polohu, s výjimkou postupu Indického subkontinentu, který v té době zrychluje cestou na sever a jeho kolize s Asijskou pevninou před 50 miliony let způsobuje vyvrásnění Himaláje. Australský kontinent se pohybuje pomalu k severu. Kromě moří v západní Evropě, části Ruska a na Sibiři nejsou mělká moře, převažuje hlubokomořský oceán. Pokračuje alpinské vrásnění, počátek třetihor je provázen velkou vulkanickou aktivitou jak na pevnině, tak i ve zlomových oblastech. Rozložení kontinentů v třetihorách se blíží dnešnímu stavu..

5.1. Paleogén

Obecně paleogén rozdělujeme na tři období – paleocén, eocén a oligocén.

Třetihory začaly poměrně teplým obdobím, např. korálové útesy jsou doloženy i v zeměpisných šířkách Evropy. Okraj mírného pásu je o 10 – 15 stupňů severněji než dnes. Vytvářejí se podmořská ložiska ropy. V paleocénu byla průměrná teplota na pólech ještě 6 – 8 ^{o}C, ale dochází k postupnému ochlazování (Kachlík, Chlupáč, 2008). V Antarktidě, která je v té době ještě spojena s Austrálií začíná před 65 – 55 miliony let zalednění. Rozšiřuje se mírné klimatické pásmo. Dochází k velkému kolísání hladin moří. Terciérní fauna prodělává velkou změnu, má výrazně mladý ráz, protože přežila jen některá společenstva, mnohé rody už jsou souhlasné s dnešními. Souš ovládají savci, přizpůsobují se i životu ve vodě (kytovci) a ve vzduchu (netopýři). Během paleocénu a eocénu se rozvíjejí všechny dnešní savčí řády. Terciérní rostlinstvo je blízké dnešním druhům subtropického a tropického pásma. V průběhu paleogénu dochází k ústupu tropických lesů k rovníku a rozšiřují se, hlavně

v oblastech stř. Afriky a amerických savan, suché zóny. Objevují se opadavé lesy a suché lesostepi. Obrovský rozmach prodělávají trávy. Evropa se ochlazuje z průměrných přibližně 20 ^{o}C na 12 ^{o}C, podnebí má proměnlivé se střídáním teplot. Po vyvrásnění Alp a Karpat vzniká na jižním a východním okraji Českého masivu mořská předhlubeň. Moře zasahuje do oblasti dnešní jižní Moravy, jak nám ukazují sedimenty. V oligocénu byla Karpatská i Alpská oblast velmi tektonicky aktivní. Vulkanismus vždy na nějakou dobu utichal aby propuknul zase v plné síle. Velmi aktivní sopečná činnost byla v pozdním paleocénu – raném eocénu (Pearson, Palmer, 2000). V Českém masivu pokračuje saxonská tektogeneze, po obvodu masivu vystoupila horstva, která byla během druhohor snesena (Krkonoše, Jizerské a Krušné hory a další). Na jejich temenech zůstala zachována stará parovina. V oblasti Doupovských hor vybuchuje obrovský stratovulkán. Obnovují se jihočeské pánve, které mohly částečně alespoň přechodně splývat s mořským zálivem v blízkosti Alp (Kachlík, Chlupáč 2008) a také pánve v podkrušnohoří. Ty se naplňují vodou a pomalu klesají, vytváří se zde močály a rašeliniště – základ budoucích slojí hnědého uhlí.

Koncem eocénu pronikly díky změnám dna chladné oceánské proudy ze severu do Atlantiku. Austrálie se po oddělení od Antarktidy stěhuje k severu a tím se uvolňuje moře kolem Antarktidy a vznikají tu cirkumatlantické proudy, které později v eocénu usnadňují zalednění. Pokračuje alpinské vrásnění. Moře Tethys zaniká, v jeho prostoru vznikají sladkovodní i slaná jezera. Prostor dnešního Středozemního moře při tzv. messinské krizi ve svrchním miocénu zaniká díky zdvihům dna – bylo odtrženo od Atlantiku na západě a od mělkých moří Paratethys na severu. Vylučují se zde evapority jako je vápenec a kamenná sůl, z toho usuzujeme, že šlo o nesmírně suchou oblast (Chlupáč et al., 2011). Prostor Středozemního moře se začal plnit až začátkem pliocénu po uvolnění Gibraltaru. Klima třetihor bylo plné výkyvů ale obecně směřovalo k ochlazení. Nejvýraznější chladná událost je datována asi 33 milionů let BP na rozhraní eocénu a oligocénu. Je to i doba slabšího vymírání některých organismů ze společenstva savců, dále foraminifer a nanoplanktonu. Došlo také k výrazné regresi hladin moří.

5.2. Neogén

České středohoří začíná být velmi vulkanicky aktivní. V té době už z moře Tethys zůstaly jen vnitřní mořské pánve, zanášené sedimenty z vodnatých řek. Jediná prohlubeň existuje východně od Gibraltaru, jak už bylo řečeno, z té se daleko později vytvoří Středozemní moře (Ziegler, 2002).

V miocénu vrcholí vulkanická činnost. Na našem území je to České středohoří, Český ráj a Jizerské hory, kde je tato činnost nejsilnější. Ustupuje moře, které zasahovalo chobotovitými výběžky na jižní Moravu, zůstala po něm ložiska lignitu, zemního plynu a ropy u Břeclavi. Miocén znamenal poměrně teplé období, oproti chladnému výkyvu v rozhraní eocén/oligocén teplota mohla stoupnout až o sedm stupňů, podotýkám, že stejně i ve studených výkyvech třetihor bylo tepleji než dnes – například Island měl teploty srovnatelné s dnešním středem Evropy.

V miocénu v důsledku pohybů na významných regionálních zlomech došlo k výzdvihu a poklesům mnohých území. Jedním z příkladů je pokles oherského (ohárecké)ho) riftu v SZ Čechách, kam směřovaly od oligocénu po celý miocén řeky z jihu a tvořily zde rozsáhlé močály. V těchto souvrstvích tedy vznikly hnědouhelné sloje. Výzdvih Krušných hor a vyplnění pánví sedimenty ukončily tento proces. Předpokládá se, že hlavní řeka Čech v té době sbírala vody v Českomoravské vysočině, zhruba sledovala tok Sázavy, jižně od Prahy Všenorskou branou tekla na sever a přes oblast Českého krasu na severozápad pod Krušné hory. Její významný přítok odvodňoval Plzeňsko. Z jižní části Čech řeky směřovaly na jih. (Cílek,Ložek,Žák, 2004)

Někdy v této době dopadá do blízkého rakouského území velký asteroid, který vytvoří kráter Ries. Tento impakt spojujeme se vznikem jedněch z nejkrásnějších nerostů Čech a Moravy – vltavínů.

Tektity nacházíme vzácně na některých místech na zeměkouli – na Pobřeží Slonoviny, v Libyjské poušti, jihovýchodní Asii. Jedním z velkých nalezišť je právě jih Čech a Moravy. O původu těchto tektitů, které jsou vlastně přírodním sklem, se dlouho diskutovalo. Dnes se dává jejich vznik do souvislosti s dopadem meteoritů. Mají vznikat roztavením hornin vlivem energie při dopadu meteoritu – tím se

vysvětluje také to, že mohou být vymrštěny do značných vzdáleností od místa dopadu. České tektity, vltavíny neboli moldavity, mají pocházet z kráteru Ries v Bavorsku, který vznikl dopadem meteoritu před 15 miliony lety. (Houzar, 2005)

V pliocénu už u nás moře neexistuje, pouze se vyskytují sladkovodní jezera. Stále se ochlazuje. Před 3 miliony let se objevují první kontinentální (horské) ledovce. Na severovýchodě Afriky se otvírá rift – postupně zde vzniká Rudé moře. Před 5,3 miliony lety dochází k poklesu pevniny u Gibraltaru a naplňuje se Středozemní moře. Před 2,5 miliony let se panamskou šíjí spojují obě Ameriky (Acot, 2005).

Uzavřením Panamského průlivu dochází k reorganizaci mořských proudů. V Atlantiku vzniká Golfský proud, který dodnes přináší větší vlhkost a teplo severu Atlantického oceánu a také otepluje severní a severozápadní Evropu (Marsh, 2010).

K ochlazení dochází z mnoha příčin ale nejzávažnějšími jsou pokles sopečné aktivity (a tím spojený přísun sopečných plynů do ovzduší) a také rozvoj rostlinstva, rozšíření opadavých lesů a velké plochy travnatých stepí spotřebovávají hlavní skleníkový plyn – CO_2. Tropické lesy se stahují k rovníku a v přilehlých stepích jižní Afriky začíná vývoj hominidů (Ziegler, 2002). Poslední dvě studené fáze v pliocénu mohou být v podstatě nastartováním glaciálních cyklů, které budou pak provázet celý kvartér.

Podívejme se na třetihorní faunu a flóru. V moři během třetihor prosperují foraminifery, plaktonní i bentičtí, typičtí jsou nummuliti, kteří stojí za vývojem nummulitových vápenců. Po KT rozhraní se velice rychle vyvíjí mořští živočichové – mlži, ježovky, krabi. Vyčleňuje se skupina mořských savců – žraloků a kytovců, kteří se vrátili do mořského prostředí a jejich velikost i druhová skladba vzrůstala. Velmi rychlý rozvoj pozorujeme u hmyzu. Nedosahoval už takových velikostí jako v karbonu, ale druhově byl rozmanitější. Rozvíjí se ptáci, v paleogénu se objevila zajímavá skupina nelétavých dravců Diatryma (tzv. hrůzoptáci). Savci jsou zpočátku velmi malí, ale začínají se rozvíjet nové a nové druhy. Zaznamenáváme už řády lichokopytníků, sudokopytníků, chobotnatců, hlodavců, netopýry, šelmy. Velikost stoupá, k největším suchozemským savcům z řádu masožravců patří Indrichotherium s výškou 5,5 metru. Přelom mezi eocénem a oligocénem, kdy dochází k velmi studenému výkyvu, znamená pro savce radikální změnu ve vývoji – došlo k vytvoření Turgajského prolomu – tj. odstranění

překážky severojižních migrací na asijském kontinentu a moře také odkrylo díky regresi Beringovu úžinu, která otevřela cestu výměně druhů mezi Asií a Americkým kontinentem. Mísení a migrace druhů vede k tomu, že rozložení fauny se blíží dnešnímu stavu. Zdá se, že díky konkurenci velkých šelem vymřeli v severní Americe tzv. hrůzoptáci. Díky ochlazení mizí spousta teplomilných druhů, mezi nimi např. skupina Prosimii, což jsou nižší primáti. V oligocénu probíhá velký rozvoj opic od nichž se oddělují hominidé. První zástupci čeledi lidoopovitých jsou známi z pozdního miocénu. Předkem člověka, podle dosavadních výzkumů, je nejspíše Australopithecus, pliocenní hominid obývající Afriku, cca od 4 mil. let BP. Nacházíme po nich už i nástroje z kamene (kultura Oldowan). Z jejich řad vzešel předek Homo Erectus, který se počátkem kvartéru dal z Afriky na pouť celým světem.

V terciéru pokračuje rozvoj krytosemenných rostlin, jak už bylo zmíněno, díky ochlazování a vysušování se ale po celém světě velmi rozšířily trávy. Pokles teplot také napomohl zajímavému fenoménu – v rostlinné říši se šíří opadavé druhy (Chlupáč et al., 2011). Shrňme si co víme o terciéru na území Čech. K/T rozhraní podle všeho nenechalo stopy v tomto území, nebo zatím nebyly nalezeny. Český masiv je v třetihorách souší, která je částečně v různých dobách zaplavována mořem. Je rozpraskán v sérii zlomů a propadlin, v jejichž blízkosti probíhá vulkanická činnost. Díky zlomovým strukturám také probíhá pánevní sedimentace. Ve spodním miocénu prosperují uhlotvorné močály, s chudším společenstvem vlhkomilných stromů a bylin. Jehličnany tu zastupuje druh Glyptostrobus , dále tu najdeme duby, vrby, vavříny, dokonce i nízké palmy. Časem během třetihor vzrůstá kontinentalita klimatu. Dubovavřínové teplomilné lesy subtropického pásma ustupují rozšiřující se borovici, rostlinstvo se v podstatě v celé oblasti mění z flóry teplého pásma na flóru mírně chladného pásma – tedy z průměrných teplot 12-14 stupňů roční průměrná teplota klesá na 6 – 7 stupňů Celsia.

Vulkanismus v prostoru Českého masivu stále ještě souvisí s alpinským vrásněním. Jedná se o tzv. neoidní vulkanismus. Horní hranice zemského pláště se předpokládá na tomto území v hloubkách 30 – 40 km. Díky vrásnění došlo k sérii velmi hlubokých zlomů, což vedlo k průniku magmatu do zlomů a živení vulkanismu po dlouhou dobu. Hlavní centra nalézáme v oherském (ohárecké) riftu. Největším stratovulkánem pak

byly Doupovské hory tehdy s plochou aktivní vulkanické činnosti přes 1200 km^2, aktivní od eocénu až po miocén. Dnes jsou výrazně sneseny erozí.

Jedním z našich nejmladších vulkánů je Komorní Hůrka. Její vulkanický původ byl rozeznán F.J. Kinským a I. Bornem už v r. 1773. Na popud J.W. Goetha byla do ni ražena i průzkumná štola. K dalším neovulkanitům patří Vinařická hora u Kladna, Slánská hora, Říp, Bezděz, Vlhošť, Kunětická hora a jiné.

6. Kenozoikum – Čtvrtohory - Kvartér

Kvartér odlišil od terciéru italský badatel G. Arduino, název pochází od Švýcara A. de Morlota z r. 1856. Prvotní dělení (uvedené v závorkách) je diluvium a aluvium, dnešní pleistocén a holocén. Spodní hranice je definována stratotypem Vrica v jižní Itálii, 1,64 – 1,81 milionů let BP. Hranice mezi pleistocénem a holocénem se uvádí pro střední Evropu přibližně 10 000 – 10 300 let BP. Nejdůležitějším rázem klimatu kvartéru je střídání glaciálů a interglaciálů. V glaciálu dosahovaly průměrné teploty ve střední Evropě asi 0^oC, možná i méně, v interglaciálech to bylo 10 – 15 stupňů (dnešní hodnoty se pohybují mezi osmi a devíti stupni).

Sedimenty glaciálních a interglaciálních období jsou velmi různorodé, proto neexistuje přesný profil celým pleistocénem. Vědci na tom pracují už léta. Podívejme se na základní události střídání glaciálů a interglaciálů:

- posun klimatických pásem v severojižním směru, současně vzrůstá nebo klesá maritimita ve směru západ – východ
- glacieustáze = kolísání hladin světového oceánu
- zdvih a pokles pevniny díky tíze ledu (Skandinávie se zvedla až o 250 metrů, zdvih pokračuje o 9 milimetrů ročně, zdvihá se např. také oblast Velkých jezer v Americe)

Všechny tyto fyzikální změny měly za následek intenzivní rozrušování , následný přenos a usazování hornin a v neposlední řadě migraci živočišných a rostlinných druhů a posléze i člověka.

V sedimentech čtvrtohor je velmi dobře zachován sled ledových dob. Je zajímavé, že intenzita studených období – glaciálů, je přibližně stejná po celý holocén, ale

interglaciály se od sebe liší. Starší meziledové doby jsou výraznější, teplejší a vlhčí.

Náš největší znalec kvartéru Vojen Ložek uvádí cykly I. řádu – jsou to dřívější cykly, trvající kolem 100 000 let a cykly II. řádu v ml. pleistocénu, kdy se intervaly zalednění zkracují, glaciály se dělí na teplejší interstadiály a chladnější stadiály, a dále cyklus III. řádu, ve kterém žijeme a představuje velké výkyvy teploty a vlhkosti klimatu v rámci posledního interglaciálu (Juybers, 2005).

6.1. Pleistocén (diluvium)

Na počátku čtvrtohor se stále pohybují litosférické desky, Antarktida se významně posunula k jihu do polárního pásma. Části Severní Ameriky, Evropy a Asie se dostaly za severní polární kruh. Snížením hladin moří vznikají pevninské mosty – např. mezi Anglií a Francií (nález pravěkých artefaktů v mořských usazeninách), Japonsko a Sundy byly spojeny s Asií a Austrálie s Novou Guineou. Pevninský most v Beringově úžině existoval před 30 000 lety (podle některých autorů před 70 000) a díky tomuto mostu byla osidlována Severní Amerika prvními zástupci rodu Homo. Je prokázán přechod skupiny kmenů kultury Clovis (podle naleziště v Novém Mexiku), ale také se podle nejnovějších výzkumů dostávali na Americký kontinent původní obyvatelé Japonských ostrovů, kteří pluli kolem pobřeží k novým domovům.

V podstatě ještě do konce třetihor zasahuje první doba ledová, bieber. Je nejkratší ze všech dalších dob ledových. Na světě je stále chladněji, z mas studeného vlhkého vzduchu padá sníh, rostou kontinentální horské ledovce. Rozšiřuje se pásmo tajgy a tundry a posunuje se k jihu (Ziegler, 2002).

Na základě výzkumu usazenin v alpských ledovcích německý geolog Albrecht Penck (1858-1945) napsal monografii s teorií tzv. polyglacialismu – tedy pravděpodobně víceméně pravidelného střídání glaciálů a interglaciálů. V této práci byla popsána čtveřice ledových dob – Günz, Mindel, Riss a Würm, později byly tyto glaciály rozšířeny ještě o Donau a Biber. V současné době se předpokládá, že za poslední dva miliony let bylo těchto ledových dob více – osmnáct až dvacet dva. V pleistocénu tedy tradičně rozlišujeme 6 hlavních dob ledových –biber, donau, günz, mindel, riss a würm – podle alpských řek, kde byly

poprvé zjištěny pozůstatky glaciálů. Jsou od sebe odděleny výraznými interglaciály.

Detailnější dělení je: biber, donau I. před 3 miliony let, donau II. před 2,5 miliony let, donau III. před 2 miliony let; günz I. před 1 milionem let, günz II. před 700 tisíci lety; mindel I. před 600 tisíci lety a mindel II. před 400 tisíci lety; riss I. před 300 tisíci lety, riss II. před 200 tisíci lety a riss III. před 100 tisíci lety; würm I. před 80 tisíci lety, würm II. před 45 tisíci lety, würm III. před 32 tisíci lety a würm IV. před 18 tisíci lety (Acot, 2005).

Díky výzkumu v podmořských vrtech – kde vědci zkoumali střídání vrstev s chladnomilnými a teplomilnými rozsivkami – se zjistilo právě osmnáct vrstev ukazujících na chlad. Tato teorie byla podpořena výzkumem českého geologa J. Kukly, který při zkoumání sprašových vrstev (studená období) oddělených půdami (teplá období) v jámě cihelny na Červeném kopci u Brna objektivně prokázal patnáct vrstev poukazujících na chladné období.

Celková plocha zalednění v dobách ledových dosáhla 32 % (oproti dnešním 10 %), hladina moří kolísala až o 120 metrů, její povrchová teplota poklesla až o 7 ^{o}C. Naproti tomu v dobách meziledových byla průměrná roční teplota až 3 ^{o}C nad dnešními hodnotami (Ziegler, 2002). Každé ochlazení v době ledové přineslo silné srážky jak v zimě, tak také v létě. V ovzduší se vždy snížil objem CO_2, např. v poslední době ledové před 18 tisíci lety bylo v ovzduší méně než 200 ppm. (Loehle, 2006).

Jako základ stratigrafického členění jsou u čtvrtohor použity klimatické změny – za nástup se určuje začátek ochlazení. Pouze hranice spodního a středního pleistocénu (780 tisíc let před dneškem) je v sedimentálním záznamu dobře zjistitelná, protože časově souhlasí s poslední hlavní změnou orientace magnetického pole Země (Cílek, Ložek, Žák, 2004). Příčiny výrazného kolísání klimatu v pleistocénu nejsou ještě jednoznačně vysvětleny. Patří k nim astronomické vlivy (Milankovičovy parametry) a sluneční činnost, také rozložení kontinentů a režim atmosférické a oceánské cirkulace (Kachlík, Chlupáč, 2008).

Zpočátku glaciální cykly přicházejí v delších intervalech, později se ustálí na 100 tisíc let dlouhém intervalu a naposledy pak je to interval přibližně 40 tisíc let. Podle vědců to velmi dobře koresponduje právě s Milankovičovými parametry (Huybers, 2005).

Zalednění částí kontinentů vytvářejí ve svém okolí také periglaciální pásma, k nimž patří i Český masiv. V těchto oblastech dochází účinkem mrazu a teplotních změn k silnému zvětrávání a transportu usazenin a pozorujeme tu jevy spojené se zaledněním, stejně jako v zaledněných oblastech.

Jako stopy zalednění můžeme jmenovat spousty neutříděného materiálu, který ledovce hrnuly před sebou – na území Frýdlantska se například dostaly pazourky ze Severního a Baltského moře. Při ústupu pak materiál ledovce nechávaly na místě – vznikaly tzv. morény. Někdy tento materiál přehradil pouť vod vytékajících z ledovce a vznikla ledovcová jezera. Ta také vznikala ve sníženinách, které ledovec vyhloubil. Dalšími stopami jsou obroušené skalní podloží, bludné balvany a údolí ve tvaru U. Hluboké promrzání půdy způsobovalo, že i při malém oteplení se rozehřáté vrchní vrstvy dávaly do pohybu i na velmi mírných svazích, říkáme tomu soliflukce. Vznikaly mrazové klíny a polygonální půdy, v horských oblastech také kary, ze kterých vytékaly ledovce (Ziegler, 2002).

Koryta řek jsou zaplněna uvolněným materiálem, který je pak transportován a ukládá se v podobě říčních teras. Řeky vytvářejí většinou velmi široká a plochá údolí v relativních výškách 70 – 100 metrů nad dnešními toky. Zařezávání údolní sítě ve středních, západních a jižních Čechách bylo mimořádně rychlé – zhruba 80 metrů za necelých 800 tisíc let. Přesnou příčinu této dramatické změny v chování řek neznáme, kromě klimatických vlivů se tu projevily asi také změny spádových poměrů. Stále dochází také k větrné erozi. Materiál přenášený větrem se hromadí jako váté písky a u nás pak častěji jako spraše. V teplých obdobích se při procesu zvětrávání uplatňovaly mimo mechanických i chemické a hlavně biologické vlivy, docházelo tedy ke tvorbě půd, ve vlhkých oblastech pak rašelinišť. V glaciálech existuje pouze chudá květena tunder a stepí s travinami, mechy a lišejníky, vyskytují se pouze drobné druhy dřevin – polární břízy a vrby. V interglaciálech pak převládá les. Doby ledové nebyly obdobím zpomalení rozvoje zástupců rodu Homo. Zdá se, že tvrdší podmínky formovaly lidský rod a podněcovaly vynalézavost a hledání nových cest k přežití.

Vývoj druhu Homo sapiens sapiens probíhal během fáze dějin klimatu, která nebyla příliš příznivá. Jsme „dětmi doby ledové“. Veškeré lidstvo pochází od jedné

prarodičky, která zcela jistě žila před 150 – 200 tisíci lety ve východní Africe a rozpoznána byla díky dědičnosti ženskou linií přenášených mitochondrií. Homo sapiens sapiens se nemísil se staršími hominidy, jinak by v dědičné substanci byly stopy tohoto křížení. Zmíněná „mitochondriální Eva" nebyla jedinou osamělou matkou lidstva, spíše se jednalo o populaci asi 10 000 jedinců, která v prostředí východoafrické příkopové prolákliny prošla příznivým vývojem a odtud se rozšířila do celého světa. Před 40 tisíci lety přes suchozemský most na Bosporu přišel Homo sapiens sapiens do Evropy (Behringer, 2010).

V průběhu zalednění riss lidé ovládli oheň. Pleistocénní fauna je velmi rozmanitá, závislá také na klimatických podmínkách. Existují jak velké šelmy, tak i drobná fauna, která se během klimatických výkyvů stěhuje za podmínkami, které jí vyhovují. Příkladem jsou mamuti, kteří upřednostňují volné stepi a v interglaciálech se tedy stahují na sever z pásma lesů do oblastí trav (Acot, 2005). Změny teplot samozřejmě vyvolávaly hynutí určitých organismů, ale úhyn nebyl tak rozsáhlý jako v předešlých érách. V Evropě vymíraly choulostivější druhy protože pohoří jsou příčně ke směru zalednění a pro některou faunu tedy nebylo úniku na jih. Naproti tomu Severní Amerika, kde jsou horstva severojižním směrem, umožňovala přesun biocenóz k jihu, je tedy biologicky rozmanitější. Stepi a pouště se rozšířily také v subtropickém pásu a prales se zredukoval na oblast kolem rovníku.

Nejcitlivějšími indikátory teplot na zemském povrchu, nejen ve střední Evropě jsou plži, čili malakofauna.
Příklad – před 100 000 lety na jihu Egypta, tam kde se dnes už rozprostírá poušť Sahara, panovaly velmi vlhké podmínky. Oblast byla zřejmě zásobena vláhou jak od Atlantiku, tak také monzuny Indického oceánu. Dnešní srážky tam dosahují sotva 20 mm/rok, ale satelitní snímky, ukazující historická koryta řek, a nálezy vlhkomilných plžů potvrzují vlhké prostředí (Bradbury, Hill, 2008).

Krajina jak ji známe se vytvořila právě ve čtvrtohorách. Český masív se během čtvrtohor (kvartéru) zdvihá, tudíž se zvyšuje spád vodních toků a dochází k erozi. Vzhledem k poloze mezi dvěma centry zalednění – sever a Alpy – byly změny

vegetace ovlivněny jak rozdíly mezi severem a jihem, tak také mezi oceánským západem a kontinentálním východem – výsledkem je vysoká pestrost naší přírody a existence častých reliktů různých klimatických fází (Ložek, 2007). V období maximálního zalednění dosahoval ledovec do okrajových částí našeho území. Dokazují to stopy zalednění (viz box). V mindelu a rissu dosáhl ledovec až k našim pohraničním horám. Na severu v Lužických horách a na Frýdlantsku vstoupil na naše území, také na Moravě v Nízkém Jeseníku, na Opavsku a Ostravsku. V české kotlině stejně jako v ostatním periglaciálním území bylo během dob ledových na našem území chladno, tvořily se spraše a váté písky. Je tu studená step, kde hledají potravu stáda mamutů, srstnatých nosorožců a koní, jsou tu jeleni, sobi, vlci a hyeny. V jeskyních sídlí medvědi a jeskynní lvi. V interglaciálech se vytvářely půdní horizonty, ve sníženinách se místy tvořily vápnité usazeniny jezerní křídy. Na naše území proniká les, s ním teplomilnější fauna jako je nosorožec a dokonce sloni. Před 700 tisíci lety s u nás objevuje Homo erectus (doklady osídlení z Přezletic u Prahy) po něm člověk neandertálský a později člověk dnešního typu (Ziegler, 2002).

Rozdělení na moderní lidi a neandertálce před 500 000 lety rozpůlilo svět hominidů na dvě větve, nicméně genetický příspěvek naší populaci od člověka neandertálského činí 1 – 4 % - k mísení populace docházelo nejspíše na Středním východě či v Evropě. Zajímavý a dosud nevysvětlený je zánik populace neandertálců, údaje z fosilního záznamu naznačují, že k jejich vymření došlo poměrně rychle, přitom byli srovnatelně inteligentní a zruční jako člověk dnešního typu. Zajímavou hypotézu vyslovili vědci zkoumající pozůstatky lidí na Kavkazu. Člověk neandertálský podle všeho mohl doplatit na klimatickou změnu způsobenou náhlou intenzivní sopečnou činností, které se díky méně početné populaci (odhady tvoří 7000 jedinců) neubránil. Nejmladší , ale dosud nepotvrzené, pozůstatky po člověku neandertálském byly nalezeny na Gibraltaru, pochází z doby před 24 000 lety. Pak tato větev hominidů mizí (Pinhasi et al, 2011) Sopkou, která ohrožovala Evropu, mohla být erupce na Flegrejských polích (Campanian Ignimbrite), která podle odhadů měla VEI 7 – 8 a proběhla 37 000 let BP. Mohla zeslabit populaci neandertálců tak, že vymřeli? To je otázka pro příští generaci vědců (Grattan, 2006).

Vulkanická činnost ojediněle přetrvávala až do středního pleistocénu (Komorní Hůrka a Železná Hůrka), v místech jejího působení dodnes zůstává zvýšený geotermický stupeň a seismická aktivita v podobě slabých zemětřesných rojů (Kachlík, Chlupáč, 2008).

Poslední interglaciál, eem (mezi riss a würmskou dobou ledovou) je analogický holocénu. Vyskytují se ale jiné druhy. Je to teplé období, poslední, kdy se příroda vyvíjí bez zásahu člověka. Podnebí střední Evropy je velmi teplé a vlhké, více oceánské (dobrým indikátorem je plž Soosia diodonta). Je tu souvislé zalesnění, vytváří se lesní hnědozemě.

Poslední glaciál – würm se na našem území dovoluje růst jen velmi chudé vegetaci. Rozšířeny jsou rostliny merlíkovité, pelyňky, útržkovitě zachované zbytky zakrslé borovice lesní, vrby, rakytníky (podle rozboru pylových zrn). Vyskytují se subarktičtí živočichové – pižmoň, polární liška, sobi, lumíci, některé stepní druhy jako je kůň Przewalského, sajga a pišťucha. Nejsou to typické evropské ekosystémy a mnoho se nám z nich nedochovalo (Ložek, 2007).

Na konci würmské doby ledové, která byla vrcholem zalednění se podmínky velmi změnily. S ústupem ledovců došlo k jejich překotnému tání, hladina vody v mořích se začala zvětšovat a zmizely pevninské mosty. Nastalo velmi teplo a vlhko. V mírném zeměpisném pásmu ustupovaly stepi hustým lesům. Tzv. megafauna, fauna velkých zvířat, ustupovala za chladnými stepmi na sever, ale jejich přežití bránily tamější podmínky – i tam se začala šířit jehličnatá tajga a kde nebyla, vytvářely se jezera, bažinatá půda, slati. Proto zejména druhy, přizpůsobené stepní stravě, mizely. Mnohé byly hubeny lovem lidí. Nejvíce byl postižen Severoamerický kontinent, tam vymřelo až 73 % velkých savců a Austrálie, kde ztráty byly 86 % všech druhů velkých zvířat, navíc se změnou podnebí se Austrálie vysušovala a vznikla tam velká poušť. Megafauna se zachovala pouze v Africe a Indii, kde zůstaly příhodné podmínky pro stepní porosty (Ziegler, 2002).

Na konci würmu nastává ústup zalednění. Jižní okraj ledového štítu byl před 13 tisíci lety v oblasti dnešního Baltu. Ústup ledovce není plynulý, existují tu zastávky a návraty, dokládají to valy čelních morén. Charakteristická je svahová sedimentace a soliflukce. Krajinu začínají osidlovat průkopnické dřeviny – hlavně bříza, borovice a

stromová vrba (Lotter, 1999). Sprašová sedimentace je vystřídána akumulací svahových sutí, vysrážení $CaCO_3$ vede ke vzniku sladkovodních slínů a křídy (Polabí a dolní Poohří). Řeky se stahují do pevných ale meandrujících koryt. Stoupá druhová diverzita. Do té doby spadá období, kdy narůstá sopečná činnost. Někteří vědci (Smith et al., 2011) ji ohraničují přibližně časově 15 000 – 8 000 BP. Zřejmě bude částečně souviset s pohybem pevnin díky odlednění – jsou odlehčovány tím, že z nich mizí led a stoupají. Stále ale panuje drsné kontinentální podnebí s tuhou zimou. Mezi glaciálem a holocénem byl zaznamenán před 12 tisíci lety ještě jeden velmi studený výkyv, který zřejmě způsobilo zastavení proudění „výměníku tepla“ v Atlantiku. Podle květinky dryádky osmiplátečné, která v té době dosáhla maxima svého rozšíření v Evropě, říkáme této době mladší dryas. Mladší dryas trval přibližně 1,2 tisíce let. Z výzkumů vrtů v ledovcích vyplývá, že např. v Grónsku klesla průměrná teplota až o 10 ^{o}C. Kolaps výměníku dokládá zvýšení podílu C^{14} v sedimentech. Je možné že v době dryasu byla také velmi slabá sluneční činnost – napovídá tomu obsah Be^{10} v ledovcových vrtech (Muscheler et al, 2000). Během dryasu bylo v Evropě velmi chladno a sucho a suché podmínky panovaly také ve Středomoří. Vyplývá to z pylových záznamů (Fletcher et al., 2010, Van der Plicht, J. et al., 2004).

„Výměník tepla“ , čili termohalinní cirkulace je proces, při kterém se v rovníkovém a subtropickém Atlantiku, kde dochází k velkému výparu, zvyšuje salinita vody. Tato voda je těžší a klesá do hloubky, mořskými proudy se dostává do oblastí severního Atlantiku. Intenzivní větry vanoucí v zimních měsících zde rozhánějí povrchové vody a umožní tím teplejší slané vodě vystoupit na povrch. Kontakt této teplé vody se suchým studeným vzduchem způsobí její odpar a ochlazení, voda opět ztěžkne a ponoří se do hloubek.

V mladším dryasu se pravděpodobně stalo, že došlo k protržení několika ledovcem zahrazených jezer v oblasti dnešních Velkých jezer na severu Ameriky. Voda z nich utvořila povrchovou vrstvu sladké vody, větry neměly sílu ji rozehnat a teplý proud nevystupoval na povrch. Teplý proud za pár století zeslábl, protože jeho hnacím motorem je právě odpar v severním Atlantiku. Toto zřejmě způsobilo velmi náhlé (v rozmezí desítek let) ochlazení, které ale trvalo téměř tisíc let. Pak se začalo pomalu

zase oteplovat - v rovníkové oblasti se moře stále odpařovalo, takže se postupně vytvořila vrstva hustší povrchové vody, ta se při dosažení určité salinity noří do hloubky, došlo k inverzi vrstev a po zeslábnutí přítoku sladké vody z pevniny se oceánský výměník opět rozeběhl. Je zajímavé, že podle analýz z průduchů zachovaných listů v rašeliništích zaznamenáváme na konci mladšího dryasu náhlý přechod k nízkým koncentracím CO_2 nejvýše 260 – 280 ppm (Wagner, Bohncke, Dilcher, 1999).

Jedním z jezer, které se s největší pravděpodobností vylilo do Atlantiku bylo dnes už neexistující jezero Agassiz. Bylo to největší sladkovodní jezero v sev. Americe na konci poslední doby ledové. Zahrazeno bylo Laurentidským ledovcem a periodicky se prázdnilo jednak do Mexického zálivu ale hlavně na sever do Atlantik. 4 z 5 náhlých ochlazení následovaly právě po úniku vody z tohoto jezera. Největšími byl mladší dryas kdy se z jezera vylilo cca 9500 m^3 sladké vody, dále tzv. preboreální oscilace a pak chladná událost 8,2 tis. let před dneškem. Protržení a prázdnění jezera je patrné z nánosových vrstev. Východně od jezera Agassiz leželo jezero Ojibway, které se později s Agassiz spojilo a vzniklo tím jezero přibližně 2x větší než Kaspické moře. Vylití takového množství sladké vody ve velmi krátkém čase do kritického místa oceánské cirkulace skutečně mohlo zastavit v krátkém období oceánskou cirkulaci (Teller, Leverington, Mann, 2002).
Do Atlantiku se dostala i voda z pobaltských jezer, tím se snížila salinita a přítok sladké vody napomohl kolapsu upwelingu v Labradorském moři stejně jako přítok z jezera Agassiz (Fisher, Smith, Andrews, 2002).
Do 30 let po tomto výkyvu se zvýšil podíl metanu – táním se na severní polokouli vytvořilo množství mokřadů, které jej produkují (De Menocal, Alley, 1998).

Ještě dvakrát zasáhlo výrazně do podnebí v Evropě moře. Před 11 tisíci lety se otevřela široká mořská cesta ve středním Švédsku. Vzniklo moře, pro které je typická přítomnost arktických druhů se zástupci mlžů rodu Yoldia – říká se mu proto yoldiové (Smith et al, 2011). Maximálního rozsahu získalo před 9 700 lety. Okrajové části baltského štítu se ale zvedly a moře ztratilo kontakt se Severním mořem – vytvořilo se tu vnitrozemské jezero. Za dalších tisíc let si pak toto jezero našlo spojení s mořem, tentokrát přes Dánsko. Vzniklo tak moře řečené littorinové (podle plže Littorina),

během dalších tisíciletí se ale rozsah těchto moří zmenšoval, což mělo také vliv na utváření středoevropského mírného podnebí (Ziegler, 2002).

Ne všechny změny najdeme přímo na našem území. Moře sem neproniklo, vážný teplotní výkyv mladší Dryas se u nás ve výrazné změně malakofauny, hlavním indikátoru teplot v kvartéru, neodrazil, nebo dosud nebyl identifikován. Naopak následující studený propad 8,2 tis. let BP souvisí se zvýšenou srážkovou činností a zvětšením plochy pěnitců v jeskyních (Ložek, 2011)

V období kolem výkyvu zvaného mladší Dryas, docházelo také k intenzivní sopečné činnosti (Bryson et al, 2006). V souvislosti s vahou ledu v glaciálech byla ohrožena všechna odledněná území, protože změna rozložení ledového příkrovu ovlivňuje fyzický tlak na magmatickou komoru.

6.2. Holocén

Ledovec na konci poslední doby ledové neustupoval ze všech krajin najednou. Docházelo také k jeho návratům a tak tedy jako počátek holocénu, doby poledové, byl smluvně navržen a uznán náhlý teplotní skok, dokumentovaný změnou sedimentů a pylových zrn ve vrtu v Botanické zahradě v Gothenburgu ve Švédsku (Svoboda, Vašků, Cílek, 2003, Svoboda, 2009). Teplotní skok – zvýšení teploty až o 7 stupňů zřejmě souvisel s maximem sluneční aktivity (Behringer, 2010).

Klima v holocénu je silně ovlivněno severoatlantickou oscilací a slunečními cykly. Napovídají to data z hlubokomořských sedimentů, grónských ledových jader, letokruhů stromů a také pylové analýzy. Data ze severní Evropy ukazují, že vždy když se změnilo proudění na severu (např. studený výkyv před 8 200 lety –viz box) a pevninu ovládly blokující anticyklóny, dostalo se ke slovu meridionální proudění ze severních periglaciálních oblastí (Seppö, Birks, 2001). Frekvence průduchů na listech břízy v pozůstatcích v rašeliništích dokumentuje náhlý vzrůst oxidu uhličitého na počátku holocénu. Na rozdíl od proxy dat z vrtů v ledovcích kde byly odvozeny hodnoty cca 270 – 280 ppm, signály z množství průduchů naznačují koncentrace až 300 ppm. V preboreálu pak došlo k menšímu poklesu oxidu uhličitého (Wagner, Bohncke,

Dilcher, 1999), k dalšímu poklesu vlivem rozšíření vegetace došlo 1 200 let před dneškem (Mayevski, Rohling, Stager et al, 2007).

Zdá se, že klima v posledních několika tisících let, v době holocénu, bylo ve srovnání s jeho chováním během uplynulých statisíciletí velmi klidné. Dá se říci že žijeme v době ledové recese, někteří autoři nepovažují holocén za interglaciál, protože byly doby úplně bez ledu (dnes existují kontinentální ledovce a severní a jižní polární kraje) (Stanley, 2000).

V minulém tisíciletí, tj v poslední části holocénu, má největší vliv na klima sluneční aktivita, vulkanická činnost, z antropogenních dopadů pak odlesňování, produkce CO_2 a metanu. Je tu důležitý aspekt, že změny krajiny velmi úzce souvisí se změnami albeda a hydrologických poměrů a jsou ve svém dopadu na klima nezanedbatelné (Bauer et al, 2003).

6.2.1. Preboreál

Jako preboreál označujeme první část mladšího holocénu, tj. 10 300 – 9 700 let před současností. Průměrná teplota v Evropě byla řádově o 5 ^{o}C nižší než dnes. Na pevnině existovala mozaiková březoborová tajga, plochy stepí byly ještě dost rozšířené a krajinou se vinuly velmi vodnaté meandrující toky. V té době nastává vývoj půd, jak je známe dnes. Klima se vyznačovalo vysokou kontinentalitou, postupně se otepluje. Ke konci preboreálu se začíná šířit líska, dub a jilm.

Mezi velmi důležitou složku potravy lovců a sběračů v mezolitu patří oříšky kotvice plovoucí a především lísky. Právě líska si zasluhuje velkou pozornost.

V postglaciálním světě tvořila jednu z přirozených dominant. Velmi zajímavý je ale náhlý a výrazný nárůst jejího pylu v nálezech mnoha lokalit ve střední Evropě, který se na některých z nich objevil už na samém počátku holocénu. Statistické analýzy prokázaly úzký vztah nárůstu pylu lísky s mezolitickým osídlením. Tento problém byl velmi detailně studován například ve významné mezolitické lokalitě kolem bývalého jezera Švarcenberk v jižních Čechách. V pylovém záznamu se zde líska objevuje již před cca 10 500 lety, navíc v sedimetu byly nalezeny ohořelé skořápky lískových oříšků, které byly datovány do doby před 10 400 lety. Všechna tato zjištění o masivním výskytu lísky na některých lokalitách a jejímu vztahu

k mezolitickému osídlení podporují hypotézy o jejím záměrném šíření člověkem! Ten mohl oříšky transportovat i na velmi dlouhé vzdálenosti, nebo jen využívat a podporovat růst lísek na daném stanovišti (Kuneš, 2008).

6.2.2. Boreál

Boreál je období 9700 – 8 000 let před současností. Dochází k dalšímu postupnému oteplování. Podnebí má stále kontinentální ráz. Průměrná teplota ale už je přibližně o dva stupně vyšší než dnes, jen je relativně méně srážek. Ve střední Evropě existují rozsáhlé světlé borové porosty s příměsí lísky. V nižších polohách se šíří lesostepi. Zajímavý je vývoj lesa – od jihu sem proniká dub, javor a lípa, do vlhčích poloh olše, tedy dřeviny smíšených doubrav (Quercetum mixum). Pokračováním vývoje těchto lesů jsou na některých místech habrové doubravy. Z Vysokých Tater a východních Alp se k nám šíří smrk, ale roste jen ve vyšších polohách. Původní přirozené lesy měly oproti dnešním charakter rozvolněných starých hvozdů – stromy se dožívaly vyššího stáří než dnes a velikostí korun nedovolovaly za svého života nástup mladší generace dřevin. S rozpínavostí lesa zmizela také přirozená jezera, u nichž intenzivní snos organické hmoty vedl k zazemňování. Kolem jezer se šíří olše lepkavá.

Lidská populace se musela přeorientovat z pozice lovců ve stepích na sběračsko-lovecký způsob života a mezolitický lid pak začíná žďářit a kácet lesy a přecházet k primitivnímu zemědělství – tedy přichází neolit. Nástup zemědělství v neolitu znamenal počátek dlouhodobého a stále se zvětšujícího vlivu člověka na utváření reliéfu, vegetačního krytu a rozšíření i druhotné složení fauny i flóry. Přirozená divoká krajina je přetvářena v „kulturní“ (Jiráň, Venclová, 2007).

Ve středním boreálu se odštěpuje Velká Británie a moře zaplavuje nížinu mezi ní a Evropou. Koncem boreálu pak mizí poslední zbytky ledovců ve Švédsku. Skandinávský poloostrov tím, že se zbavil velké tíhy ledu nepatrně stoupá. Ledovec ubývá v Alpách díky suchému proudění ze severu (Mayevski, Rohling, Stager et al, 2007). Hranice rozšíření stromů je v té době v oblasti Švédska, Severní Ameriku ještě pokrývají ledovce, v Atlantiku jsou plující ledové kry. Tato doba se také shoduje s výraznou vulkanickou činností. Zajímavý je velmi studený výkyv 8 200 let před

dneškem, souvisí s více faktory ale asi nejdůležitějším spouštěcím momentem ochlazení bylo opět zastavení termohalinní cirkulace.

Teplota v tomto období poklesla průměrně až o dva stupně. Zřejmě došlo k poruše termohalinní cirkulace a také k výraznému minimu sluneční činnosti.
Podle výzkumů se dá předpokládat, že zde opět sehrálo svou roli jezero Agassiz. Bylo zahrazeno a také syceno sladkou vodou z ledovce Laurentida, obrovské masy ledu, který podle odhadů měl objem 10^{14} m^3. Jedním z důkazů pro tuto teorii je nález jezerních sedimentů, ležících na mořských glaciálních sedimentech v Hudsonově zálivu. Další indicií je obsah izotopu ^{18}O ve zbytcích foraminifer ve vrstvě šelfu u Labradorského moře (zkoumáno vrty), který prokazuje snížení salinity moře (Barber,Dyke, Hillaire-Marcel et al., 1999).
Ochlazování atmosféry mohlo začít už dříve, v době před 8 500 lety byla podle nárůstu kosmogenního C^{14}(tedy důkazu silného kosmického záření) v letokruzích stromů a izotopů kyslíku a berylia, měřeného ve stanici GISP2 v Grónsku velmi nízká sluneční aktivita (Lal, Large,Walker, 2007)
Další z indicií je pokles metanu (skleníkového plynu) zřejmě jako následek sucha, které bylo na velké části světa (zdokumentováno okolí Arabského moře, Afrika, povodí Amazonky, jezero Titicaca –výrazný pokles hladiny) (Mayevski, Rohling, Stager et al, 2007; Mayevski et al. 2004)

6.2.3. Atlantik

Atlantik řadíme mezi roky 8 000 – 6 000 před dneškem. Říkáme mu také klimatické postglaciální optimum – teploty jsou o 3 ^oC vyšší než dnes a srážkově je toto období mnohem bohatší – až o 60 – 70 % více srážek než dnes. Počasí je velmi stálé. Podle výstavby megalitických staveb vědci odhadují, že bylo i méně oblačnosti, protože nízká oblačnost znamená výhodné podmínky pro pozorování astronomických jevů, ke kterému právě megality jako je např. Stonehenge, sloužily (Behringer, 2010). Horní hranice lesa v Evropě vystupuje až o 300 m výše, rozvíjejí se bohaté smíšené a listnaté lesy. V nejvyšších polohách se usídlila borovice kleč, v nižších horských polohách roste smrk a ostatní území pokrývá jednak listnatý les složený z dubů, jilmů, lip a javorů a na části území pak ostrůvkovitě rostou borové háje. V nižších zamokřených polohách dominuje olše a smrk. Přechod k neolitu, tzv. „neolitická

revoluce“ probíhá nejdříve v oblasti „úrodného půlměsíce“, v kolébce civilizace na jihovýchodě dnešního Turecka, na území Iráku a Sýrie, asi před 9000 lety, vzniká zde zemědělství a lidé začínají pěstovat užitková zvířata. Evropa si ještě několik tisíciletí počká. Asi 6 500 let před dneškem osidluje nelesní polohy Evropy v blízkosti zdrojů vody lid neolitických kultur a i zde začíná fungovat jednoduché primitivní zemědělství. V oblasti Středozemního moře už vznikají první města (Behringer, 2010). Simulace modelů z proxy dat naznačuje, že v této době byla severoatlantická oscilace pozitivní. Znamená to, že se oteploval sever Evropy a panovaly vlhčí podmínky a to i na jihu Evropy. Blokující tlakové výše se vyskytovaly hluboko na severu (Brewer, Guich, Torre, 2007). Hladiny moří byly výše než dnes, jezera byla také na svém maximu. Například Čadské jezero v Africe bylo velikým vnitrozemským mořem.

6.2.4. Epiatlantik

Epiatlantik, doba před 6 000 – 3 250 lety, se vyznačuje velmi častým střídáním vlhkých a suchých období, léta byla mnohem teplejší než dnes, průměrná teplota přibližně o 1 – 2 stupně vyšší než dnes. Nastává pomalé vysušování, někde vedoucí až k desertifikaci. Je zajímavé, že v té době začalo postupné vysušování Sahary a migrace jejích obyvatel do delty Nilu.

Václav Cílek uvádí Sahara, jak známo, nebyla vždy pouští, ale naopak úrodnou oblastí s jezery, bohatou faunou a flórou. Až mnohem později, zhruba na konci 4. tisíciletí př. n. l., došlo v důsledku vysychání saharské oblasti k postupnému odchodu lidí, osidlování nilského údolí a formování první civilizace. Podle Cílka (Cílek, 2009) je pro Saharu charakteristický klimatický mechanismus, kterému se říká saharská pumpa.

„Sahara se mění každých několik tisíc let až několik desítek tisíc let v zelené travnaté plochy rozptýlenou akáciovou savanou a velkými jezery. Pak poměrně rychle vysychá. A jako když vypouštíte vzduch z balónku, tak vypouští své obyvatele a rostliny hlavně na středomořské pobřeží nebo do údolí Nilu.“ A právě poslední velké a prudké vysušení Sahary vedlo k rozsáhlé migraci. Několik desítek tisíc nomádů se tehdy stáhlo ze Západní pouště do údolí Nilu. A ti vytvořili první dynastie později faraónského Egypta jako takového. Tento klimatický kolaps tedy

zřejmě velice mnoho přispěl k formování té nejstarší a jedné z nejdůležitějších civilizací našeho světa.

Tento velký klimatický kolaps se projevil i v Mezopotámii a v podstatě i v Evropě. Pravděpodobně i ve středočeské kotlině mohl způsobit příchod nové kultury, únětické kultury.

Ze středních poloh v Evropě se vytrácí borovice a líska, v horských polohách klesá hranice rozšíření stromových dřevin vinou chladnějších a drsných zim. I tak ale tato hranice zůstává o 200 metrů výše než dnes. Na naše území se začíná rozšiřovat jako nová dřevina buk a po něm později i jedle. V epiatlantiku dochází k některým významným klimatickým výkyvům, či zvratům, např. rychlé ochlazení mezi cca 5 300 – 5 200 lety.

Lonnie Thompson, glaciolog, našel v odtávajícím ledovci v Peru (Quelccaya, Andy) velmi dobře zachované rostliny, radiokarbonovou analýzou datované do doby před 5 200 lety, které zřejmě v plném rozvoji (dokonce kvetoucí) zmrzly při náhlé klimatické katastrofě. Tento výkyv potvrzuje i nález velmi zúžených letokruhů z Irska a severní Anglie, které poukazují na velmi zhoršené podmínky (chlad a sucho) a také vzorky z ledových jader vrtů na Kilimandžáru a v Grónsku. Tento velmi rychlý a chladný výkyv může být důsledkem snížení sluneční aktivity, ale také může mít příčinu, kterou dosud neznáme (Thompson, 2004).

Studený výkyv potvrzuje také kvantitativní rekonstrukce pylu a úrovně hladin jezera Annecy (v blízkosti Alp), zdá se že sever a jih Evropy měl sušší podmínky a ve střední Evropě bylo vlhko (Magny et al, 2003).

Je zajímavé, že v ledu nalezená mumie „Ötziho“ v rakouských Alpách pochází zřejmě z doby před tímto výkyvem, kdy ledovec pokrýval jen vrcholy Alp. Tento muž z doby měděné cestoval přes Tyrolské Alpy, přešel horské sedlo Tisen a pak tu byl zde zákeřně přepaden a poraněn. Nejspíše sklouzl do některé prolákliny, kde dokonal a s ochlazením klimatu byla jeho mrtvola zmražena a uchována až do roku 1991, kdy byl nalezen v ustupujícím ledovci (Schindler, 2002). U této prehistorické mumie bylo nalezeno rostlinstvo, které by dokumentovalo velmi náhlý příval sněhu, či sněhovou bouři (Magny, Haas, 2004). Roku 1991 přišla neobvykle teplá zima a ledovce vydaly několik těl ztracených alpinistů, Ötzi byl ale světovým unikátem (Behringer, 2010).

Epiatlantik se projevuje výkyvy i na středním Východě. Po klidných stoletích před pěti tisíci lety, kdy se rozvíjely velmi vyspělé kultury, došlo k vysoušení. Oblasti sucha tehdy sahaly od Středomoří až po Čínu, období dešťů byla kratší nebo nepřišla. Nepříznivý zvrat klimatu má odezvu i v severním Atlantiku, nachází se vrstvy sopečného popela ve vrtech ledovců (De Menocal, Alley, 1998; Behringer, 2010).
V Evropě nebyly důsledky sucha tak katastrofální, populace se jen přestěhovala blíže k vodě – do niv velkých řek (Behringer, 2010).

Před cca 4 200 lety dochází k náhlému kolapsu civilizace Mezopotámie. Moře dosahovalo před 5 000 lety až do oblasti Ur a Eridu, následkem sucha došlo k rychlému ústupu moře. Podle archeologických vykopávek se tu nachází množství prachových sedimentů – na vině je tedy výrazná aridita a prašné bouře. Nejen Mezopotámie ale také Egypt zažívá hladomor a vzpoury vedoucí až ke zhroucení vládnoucí dynastie II. říše, je doloženo, že náhle ustaly Nilské záplavy, přinášející vláhu a vrstvu úrodné půdy, tento kolaps je datován do doby asi před 4 150 lety (De Menocal, Alley, 1998; Behringer, 2010).
V Indii před asi 5 000 lety byl dostatek srážek a bohatá vegetace, pravidelné monzuny zavlažovaly půdu. Vyvinula se tam velmi vyspělá „harappská kultura" – města Harappa a Mohendžo-daro. V době rozkvětu tam žilo až 35 000 lidí. Stavby na které byly používány pálené cihly, byly velmi prostorné a obyvatelé skvěle vyřešili hygienické zázemí, městské lázně, vodovod a kanalizaci. V okolí obou měst se pěstovala bavlna, sezam, hrách, ječmen. Před 3 700 lety začali obyvatelé města pomalu opouštět, důvodem mohla být změna toku řeky Indu, kde neznáme příčiny. Údolí Ghaggar vyschlo a obě města pohltil písek pouště (Behringer, 2010, Acot, 2003).

6.2.5. Subboreál

Subboreál je doba před 3 250 – 2 750 lety. Klima je v průměru o 1 – 2 ^{o}C teplejší než dnes, kontinentální s teplým létem a drsnými mrazivými zimami. Evropa je ale pod vlivem rozkolísání klimatu, převládá severovýchodní proudění. Do tohoto období klademe v Evropě tzv. „lužickou katastrofu", tedy kolaps Lužické kultury. Nejspíše

došlo k velkému odlesnění a erozi, podmínky se zhoršily. Řeky dosahují svého dlouhodobého minima. Svědčí o tom například obilní zásobnice budované přímo na jejích březích (Svoboda, 2009). Velké sucho je v Africe, Amazonii a v Karibiku (Mayevski, Rohling, Stager et al, 2007). Víme tu o solárním minimu a také o výbuchu sopky Hekla, cca před 3136 - 3150 lety. Zachovaly se písemné zmínky v Číně – deset dnů padal popel, mráz ničil úrodu a zapříčinilo to velký hladomor a pád dynastie Šang. Je možné že tato událost měla vliv i na pád Nové říše v Egyptě. Ve Skandinávii pravděpodobně vymřelo 90 % populace (Braniš, Hůnová, 2009). Ve Středomoří zaniká Mykénská kultura, do doby před 3 200 lety také klademe zánik Chetitské říše, v Indii vzniká poušť Thar. Všechny tyto indicie poukazují na dobu velkého sucha.

6.2.6. Subatlantik

Jako subatlantik označujeme dobu před 2 750 – 1 400 lety, tj do roku 600 našeho letopočtu. Je to doba kdy podnebí bylo vlhčí a chladnější než dnes, s větší oceanitou. Velkého rozšíření v té době dosahují bukovo – jedlové pralesy. Zanikla kultura popelnicových polí, je zajímavé, že nálezy z doby jejího trvání byly v Evropě skryty pod vrstvami bahna. Po ní následovala halštatská kultura, která už náleží době železné. Začalo více sněžit, sníh ležel déle, stoupaly hladiny jezer. Místa na březích jezer a velkých vodních toků byla neobyvatelná, lidé ustoupili i z horských poloh a sídliště si budovali na vyvýšeninách. Kolem přelomu letopočtu se klima ustálilo. Hovoříme o „římském klimatickém optimu“. Dopomohlo k rozkvětu velkých říší, táhnoucích se od Evropy přes Stř. východ až do východní Asie. Díky vláze se pěstovalo obilí i v severní Africe. Hladiny podzemních vod tam byly výše než dnes. Rozvíjí se řecké a etruské městské státy, na pokraji rozkvětu je římská říše. Po roce 400 našeho letopočtu dochází ke změně klimatu – v Evropě se citelně ochlazuje, na Blízkém východě, v Africe a v Asii je sucho. Velmi chladným obdobím byly roky 535 – 536, byly považovány za jedny z nejstudenějších – doprovázeny byly morovými epidemiemi, válkami a velkou migrací národů, která v konečném důsledku vedla k příchodu a usídlení Slovanů na našem území. Z těchto let je doložen dokonce sníh v Mezopotámii.

Zhoršené klimatické podmínky vedly k hladomorům, nemocem, znám je tzv. Justiciánův mor, kdy není potvrzeno, že byl způsoben bakterií Yersinia pestis, čili že to byl „pravý“ mor, ale jednalo se o velmi silnou epidemii, rozšiřuje se také malomocenství. V Alpách od poč. 5. do 8. století postoupily ledovce. V Evropě se stupňuje vlhko a chlad, silná sněžení a záplavy. Nemoci, pád dobytka (dobytčí mor) a nedostatek jiné potravy vedou ke kanibalismu, náboženským i národnostním třenicím a válkám (Behringer, 2010).

Zatímco Evropa zažívá klimatické pesimum, ve střední Americe vzniká kolem r. 300 civilizace Mayů. Přírodní podmínky napomáhají mimořádnému rozmachu této civilizace, která spočívala na výkonném zemědělství, kterému dnes vděčíme za mnohé plodiny – brambory, kukuřici, rajčata a tykve. Roky kolem r. 536 se ale vyznačují zhoršením životních podmínek – svědčí o tom nálezy koster z jejichž stavu usuzují vědci na podvýživu (Novák, 2011). Kolem roku 900 spěje kultura Mayů k zániku. Dochází k němu nejspíše po vyčerpání půdy a přelidnění zhoršením přírodních podmínek, které přinesly navíc ještě neúrodu a sucho.

Kultura Moche, která sídlila v nynějším suchém pásmu Peru, se formovala přibližně od roku 100 př. Kristem. V té době oblast, ve které žila, byla vlhčí a velmi úrodná a navíc civilizace Moche si dokázala pomoci ještě výstavnými akvadukty a zavlažovacími kanály, takže se mohla živit intenzivním zemědělstvím. I tady ale dochází ke katastrofě. Kolem r. 500 přichází sucho, později zač. 7. století silné záplavy a sesuvy půdy a po nich dlouhotrvající sucha. Jsou doloženy tisíce obětí bohům, jak se kultura snažila rozhněvanou přírodu si udobřit. Podle vrtů v andském ledovci Quelcaya mohlo být příčinou záplav a následného sucha zesílené El Niño.

Podle některých vědců totiž může existovat tzv. „zesílené El Niño, nebo super El Niño“, kdy dopady klimatických anomálií trvají celá desetiletí (Behringer, 2010).

6.2.7. Subrecent

Subrecent je dnešní část holocénu. Trvá od roku 600 našeho letopočtu. Je charakteristická střídáním chladnějších a teplejších období a menší vlhkostí než subatlantik. Subrecent začal celkově chladným a vlhkým podnebím. Je to doba kdy docházelo k velkým migracím a nájezdům různých národů. Vědci předpokládají, že

v té době došlo k posunu ledovců na jih, mohutnění vnitrozemských ledovců a ke snížení hladin moře. Podle některých pramenů docházelo i k zamrzání pobřežních oblastí Černého a Jaderského moře, řek Temže a Rýna. Podle historických podkladů chladné počasí skončilo až kolem r. 870 n. l. , kdy začalo v Evropě klimatické optimum. Teplé středověké období, „*medieval warm period*" datujeme do let 1000 – 1300 našeho letopočtu. Zdá se, že byla prokázána přetrvávající pozitivní fáze NAO, vysoká sluneční aktivita a převažující La Niňa a AMO. Také není prokázána silnější vulkanická aktivita (Marsh, 2009, Hurell, 2009). Dlouhodobá průměrná teplota se pohybovala 1 – 1,5 stupně nad dnešním normálem. Například na Aljašce to byly až 2 stupně nad současnými hodnotami. Ustoupily ledovce, voda z nich zvedla hladinu moří až o půl metru. Nemáme doloženy plovoucí ledovce kolem Islandu a Grónska. Tato doba přála objevitelským cestám Vikingů na pobřeží USA. Kolonie Vikingů jsou doloženy z Islandu a jihu Grónska. Toto velmi příznivé období velmi napomohlo rozvoji zemědělství.

Norové z Islandu pod vedením Erika Rudého se r. 982 usadili na jihu Grónska. Vyplulo tam 25 lodí s přibližně 700 lidmi na palubě. K cíli doplulo 14 lodí s posádkou mužů, žen a dětí a nákladem koní, koz a ovcí. Prvních osadníků bylo asi 450, jejich potomstvo v době největšího rozkvětu dosáhlo asi 3000 duší. Setrvali na místě po několik staletí. Koncem 14. století po velkém ochlazení však obyvatelstvo zdecimované zimou, hladem a nemocemi vymřelo (Diamond, 2008).

Předrománská doba znamenala v hospodaření s půdou velké nebezpečí hladomoru – výnosy byly malé a jeden, dva neúrodné roky tedy už mohly vyvolat umírání lidí hlady. Zlepšení klimatu spolu s tzv. agrární revolucí, tj. novými postupy v zemědělství přibližně ve 12. - 13. století, s využíváním úhorového hospodářství a používání dokonalejšího nářadí, mělo vliv i na kolonizaci dosud pustých území, obyvatelstvo se stěhuje z nížin kolem velkých řek i do pahorkatin a podhůří. Důležité poznatky o klimatu té doby se nám zachovaly v Kosmově kronice.

Z historických pramenů se dozvídáme, že se střídaly teplé a studené roky se suchými i vlhkými léty, v cyklech. Doloženy jsou výkyvy, např. zima v r. 1010/11, kdy zamrzl Bospor, rozsáhlejším chladným obdobím bylo období mezi r. 1057 – 1069.

Charakterizovalo je snížení zemědělské produkce, tudíž přišla drahota, nedostatek a hladomory. Do let přibl. 1010 – 1050 spadá Oortovo minimum sluneční činnosti. Naproti tomu mezi lety 1021 – 1040 byla velmi teplá suchá léta. Mírné zimy byly také velmi časté, v r. 1187 v lednu rozkvetly stromy ve Štrasburku.

Kolem r. 1195 přišlo několik let velmi nepříznivého klimatu. Bylo to studené a deštivé období, kdy teplých a suchých let bylo poskrovnu. Klima v Evropě tedy bylo nestálé, kontinentální vlivy se střídaly s oceánickými. Kontinentální klima přinášelo mrazivé zimy ale horká a suchá léta – doloženy jsou nálety kobylek v jižním teplém proudění ze středomoří a to v letech 1261 – 1310. Oceánské klima pak přinášelo z Atlantiku vlhkost a mírné a deštivé zimy i léta. Obecně ale tato doba byla příznivá. Ve střední Evropě je zaznamenán pokles rozsahu lesů a to z 90 % až na 20% (oproti dnešním 30%), lesy se mýtily kvůli požadavkům na novou půdu a také na stavební dřevo. Hustě osídlená evropská krajina hostila v té době 46 milionů lidí, kolem roku 1300 pak až 70 milionů. Doba napomáhá zakládání a rozkvětu měst (Behringer, 2010). Jeden studený výkyv v této době ale je a je markantní. Podle nálezů v ledových jádrech Antarktidy někde v tropech došlo k významné erupci kolem r. 1258. Stopy síry poukazují na to, že erupce byla velká a zasáhla severní i jižní polokouli. Odhad produkce kyseliny sírové podle stop v ledu je 300 milionů tun (tedy více než Laki a Tambora). Možností je erupce velmi aktivního vulkánu El Chichon v Mexiku. Podle kronikářských záznamů byla pozorována tzv. „suchá mlha“ ve Francii, sklizeň byla velmi nízká, zastínění oblohy a ochlazení bylo také zaznamenáno v Anglii. Pokračovatel Kosmase v jedné ze zachovaných kronik popisuje velmi studenou zimu v Praze, také islandské kroniky zmiňují velmi krutou zimu. Tato událost vedla krátkodobě k hladomoru, epidemiím, sociálnímu neklidu, který vyústil až v hnutí flagelantů.

Raně středověké období bylo nejteplejší dobou, kterou zažil Island. Došlo k jeho kolonizaci – v letech 870 – 930. Ve vrcholu rozkvětu tu žilo až 60000 svobodných obyvatel. Výbuch sopky Hekly r. 1104 nastartoval tisíciletí bídy, hladu a úbytku obyvatel. Další katastrofou byl v roce 1873 výbuch sopky Laki. Počtu obyvatel z doby rozkvětu bylo dosaženo až ve 20. století (Behringer, 2010).

Po roce 1300 přichází období, kterému říkáme „Malá doba ledová“ (Fagan, 2007). Pro Evropské podmínky ji členíme na dvě části, druhá malá doba ledová přišla po roce 1580. Tento velmi studený výkyv podnebí pojmenoval poprvé Francois Matthes. Všiml si nárůstu ledovců v 13. – 19. století v Alpách, ve Skandinávii a v Severní Americe. Dokonce je doloženo, že mezi lety 1270-1370 se velmi rozvíjely ledovce v Antarktidě (Němec a kol., 2009). První část malé doby ledové v Evropě se ohlašuje snížením sluneční aktivity - do této doby spadá tzv. Wolfovo minimum sluneční aktivity (1280 – 1340) spolu s dobou zvýšené vulkanické činnosti (1250-1500). Na severu se posunuly hranice plovoucích ledových ker. Led u Islandu roztál vždy jen na několik měsíců. V letech 1315 – 1316 zamrzlo Baltské moře a doloženo je i zamrzání Benátské laguny. V mnohých oblastech Evropy museli osadníci upustit od pěstování pšenice a nahradit ji ovšem a žitem. Posunula se doba květu ovocných dřevin i senoseče. Vinná réva na sever od Alp velmi často nedozrála nebo byla nekvalitní. Mezi lety 1315-1322 po sledu velmi studených zim došlo v Evropě k hladomoru, studená léta nepřinesla úrodu a vše ještě zhoršily časté a velmi silné povodně. Vysoká úmrtnost vedla k tomu, že hřbitovy se z míst v centru měst kolem kostelů přestěhovaly až za městské hradby. Po několika příznivých letech přišly opět povodně 1342 a v letech 1346 – 1352 mor.

Původní ohnisko moru, zde se jedná už o pravý mor, Yersinia pestis, je v Číně nejspíše v r. 1330. Po rozsáhlých záplavách tam zůstalo možná až 6 000 000 nepohřbených těl zahynuvších. Po Hedvábné stezce se mor rozšířil až ke Krymu a na pobřeží Černého moře, odkud ho do Evropy, nejdříve do Itálie, dovezli na svých lodích Janovští kupci (mor se šíří díky blechám a blechy měly krysy, cestující na lodích). Obyvatelstvo Evropy, oslabené předchozí neúrodou a hladem, kdy vlastně děti, vyrůstající v nedostatku a nouzi nejsou ani v dospělosti tak odolné, bylo snadným cílem této nákazy. Zemřelo 30 % obyvatel. Mor se částečně vyhnul Českým zemím, zřejmě díky jejich geografické poloze a také severu Švédska, Finska, Islandu a Grónsku (Svoboda, 2009, Behringer, 2010).

Výraznější Spöhrerovo minimum (1420 – 1510) opět přispívá k ochlazení klimatu. Grónské kolonie Vikingů v těchto zhoršujících se podmínkách zanikají. Na východě sílí Mongolská říše, její výboje dosahují až k hranicím Čech. Války, neúroda a různé

epidemie, např. mor, vedou k úbytku obyvatelstva, dokonce k zániku celých osad. Díky urychlení přechodu na úhorové hospodaření, ještě možnému získávání nové zemědělské půdy a dokonalejším nástrojům mohlo docházet i v těchto nepříznivých podmínkách k rozvoji společnosti, i když pomalejším tempem. Člověk neztrácel už vydobyté pozice. Mění se struktura osídlení. Pro naši krajinu začínají být typické vesnice s věncem polností kolem sebe v krajině. Evropou po r. 1380 prošla druhá vlna moru. Tentokrát zasáhla i České země. Přelidněná města, do kterých se soustředila řemeslná výroba, byla velmi náchylná k rozšíření jakýchkoli epidemií díky mizivé hygieně. Velké obilné sklady přitahovaly drobné hlodavce, kteří zde působili jako mezihostitelé blech, nakažených bakteriemi moru. Právě díky těmto pandemiím a nepříznivému podnebí se začaly objevovat první názory na reformu společnosti které v Českých zemích vedly až k husitským válkám.

Samotné husitské bouře probíhaly za mimořádně vlhkého počasí bohatého na záplavy. Rozbahněné cesty umožňovaly jen omezený pohyb křižáckým vojskům a rybníky, vypuštěné pro riziko protržení hrází, byly pro těžkooděnce pastí. Žižka byl mistrný stratég a dokázal nešvary počasí využít pro svůj prospěch. Například v bitvě na hoře Vítkově muselo křižácké vojsko přes rozvodněnou Vltavu, stálo je to mnoho sil a další síly vyškrábat se do kopce, asi tisícovce husitů se tak podařilo na hlavu porazit 20 – 40 tisícovou Zikmundovu armádu (Svoboda, 2009).

Kolem r. 1500 nastává v našich zemích klimatické optimum. Toto období se projevilo velmi teplým a spíše sušším klimatem. Nebývale se na území Čech rozšířily vinice, značný rozvoj zaznamenalo chmelařství, pěstoval se tu dokonce i šafrán. Spousta vinic byla i na území Prahy. Rozšířilo se pěstování broskvoní a ořešáku královského (vlašský ořech). Díky příznivému klimatu se sklidilo až 5 x více než se zaselo, mimořádný rozkvět zaznamenalo rybníkářství, chov ovcí a skotu. V Evropě se tato doba projevila opět vzestupem hladin moří, což vedlo v některých oblastech i k záplavám. Mimořádné jsou roky 1520 – 1560. Podle kronik se objevovala různá „nebeská znamení“, doložena je z roku 1560 polární záře nad Evropou, nejspíše důsledek sluneční aktivity. Bylo sucho, v některých letech i spousta požárů – roku 1540 hořela Malá Strana a Pražský hrad. Zimy byly velmi teplé a výjimkou nebyly ani

dvě sklizně v roce (druhá v prosinci). První obilí dozrávalo už koncem června. Byla to doba rudolfínská, renesance a rozkvětu (Svoboda, Vašků, Cílek, 2003).

Roky 1520 – 1580 jsou tragické pro zemi na druhém konci světa, pro Mexiko. V roce 1520 žilo v Mexiku cca 22 milionů obyvatel. Z Evropy v tomto roce na španělských lodích přicestovala nákaza neštovic a později díky epidemii cocoliztli, což je místní nemoc – horečka spojená s masivním krvácením, vymřela většina obyvatelstva. S počátkem nemocí se kryje doba katastrofálního sucha, podle záznamů největšího v Mexiku za posledních 500 let. Zřejmě na vině byl jev El – Niño. Začátek dešťů po této suché epizodě přispěl k rozmnožení krys a ještě zesílení epidemie (Braniš, Hůnová, 2009).

Po roce 1580 došlo ke zhoršování klimatu a na přelomu 16. a 17. století ve střední Evropě byly mimořádně dlouhé a sněžívé zimy, vystřídané asi po r. 1620 klimatickými extrémy, kdy se střídaly roky úrodné s roky katastrofickými a hospodářská nejistota provázela celou Evropu. Hovoříme o druhé malé době ledové. V roce 1600 explodovala sopka Huyanaputina, severní polokouli to ochladilo o 0,6 stupně. Mezi roky 1580 – 1600 zaznamenáváme 5 větších sopečných erupcí, vulkanicky aktivní byla celá doba středověké malé doby ledové.

Vývoj klimatu v této době už můžeme přesněji odvodit ze zachovaných meteorologických pozorování. Zhoršení podnebí se projevilo velmi rychle a nečekaně nástupem studených zim s častým zamrzáním řek a jezer. Rostou ledovce. V r. 1601 ledovec Mer de Glace v oblasti Chamonix pohřbil dvě vesnice. Zamrzá Bodamské jezero, které ke svému zamrznutí potřebuje delší dobu s teplotami pod –20 stupňů. Během malé doby ledové zamrzlo téměř každý pátý rok (Behringer, 2010).

V celé Evropě i u nás byly rušeny vinohrady, často poškozované jarními a podzimními mrazy. Většina už nebyla nikdy obnovena. V okolí Rýna a Mosely bylo víno ještě pěstováno, ale některé roky nebylo použitelné, nedozrálo. V našich zemích se zachovaly vinice na Roudnicku, Litoměřicku a na jižní Moravě. Víno bylo ale horší kvality. Stejně jako v Rakousku, i u nás se spíše rozšířilo pití piva.

Chladno pak vrcholí v Maunderově minimu (1645 -1715). Maunderovo minimum bylo období, kdy na Slunci nebyly žádné skvrny a tok slunečního záření tedy zeslábl. Skvrny, které se pak objevily mezi roky 1680-1710 byly velmi malé a všechny omezeny na jižní polokouli Slunce. Záznamy ^{14}C v letokruzích stromů nám ukazují, že Maunderovo minimum, které označujeme „grand minimum“ není ojedinělé, že k takovému výkyvu mohlo v posledních 10 000 letech dojít vícekrát (Beer, Tobias, Weiss, 1998).

Oortovo minimum (1010 – 1050)

- *odvozeno pouze z proxy dat (^{10}Be v ledovcích)*
- *spadá do studeného výkyvu v tzv. středověkém teplém období*
- *slabé minimum*

Wolfovo minimum (1280 – 1340)

- *charakteristické vysokou vulkanickou činností, počátek první malé doby ledové v Evropě*
- *chladné a vlhké období – ve stř. Evropě pluviál a doba silných povodní*
- *výrazné minimum*

Spörerovo minimum (1420 – 1510)

- *velmi studené a vlhké roky, do tohoto minima spadají v Čechách mj. husitské války*

Maunderovo minimum (1645-1715)

- *velmi výrazné, tzv. „grand minimum“*
- *celkové sluneční záření během tohoto minima bylo nižší o 0,15-0,4% (tj. 2 – 5 $W.m^2$ (Lean, 2007)*
- *v době tohoto minima bylo už dostatek pozorovatelů*
- *zřejmě se nevyskytovaly ani polární záře (Beckman, Mahoney, 1998)*
- *zajímavé je, že z doby Maunderova minima pochází dřevo s velmi hustými letokruhy (nepříznivé podmínky) které se používalo na výrobu mistrovských houslí*

Daltonovo minimum (1790 – 1850)

- *poměrně slabé, ale už dobře zdokumentované*
- *charakteristické kolísáním klimatu, vulkanická činnost - Tambora*

Tato malá doba ledová měla globální charakter. Klimatické extrémy se projevovaly nejen chladem, na některých místech světa bylo sucho – Afrika, Indie, Španělsko, Kréta.

> *Reakce na ochlazení se projevily v mnoha oblastech. Jednalo se také o změny ošacení, architektury, způsobu vytápění. Tak například je doloženo, že v sev. Americe po roce 1610 po její kolonizaci Nizozemci (Manhattan) a Brity (Massachusetts) byl málem vyhuben bobr – jeho kožišina se dovážela do Evropy, kde byla součástí oblečení vyšších vrstev (Varekamp, 2006).*
>
> *Zvýšená poptávka byla po dřevě, kvůli vytápění a stavbám. Vytápění velkých prostor se stalo životní nutností, vrchnost zaměstnávala topiče a krby byly ve všech místnostech. Dřevěné stavby byly nahrazovány kamennými, snižovalo to tak nebezpečí požárů a to i ve městech. Zvětšovaly se skladovací prostory proto, že bylo nutné ponechat si potraviny „na horší dobu". Výrazně stoupla spotřeba soli (prosolování masa, konzervace potravin). Po r. 1600 pak ustoupily otevřené krby kamnům. Používaly se těžké peřiny a hromady polštářů, majetní si kolem postelí budovali také různé zástěny a baldachýny, bránili se tak chladu. Nosily se vlněné oděvy podšité kožešinou (Behringer, 2010).*

Do doby začátku 17. století také spadá jedna z velkých válek historie, třicetiletá válka. Třicetiletá válka byl evropský ozbrojený konflikt, známý především jako vyvrcholení sporů mezi římskokatolickou církví a zastánci vyznání, která vznikla po reformaci v 16. století, tedy kalvinismem a luteránstvím. Zřejmě ale zhoršené klimatické podmínky přispěly k počátkům tohoto konfliktu, válka sice byla vedena jako náboženská, ale kořistnické způsoby severských národů nenechaly nikoho na pochybách, že nedostatek potravin a hladomor ženou armády do dalších konfliktů.

> *Švédové a další severané měli v Evropě v době třicetileté války nespornou výhodu, že byli zvyklí na drsnější podmínky. Navíc každý ze švédských vojáků byl vybaven několika páry vlněných punčoch a také díky nim se do našich zemí dostalo pletení svetrů na tělo. Dříve se tu používaly jen jakési přehozy. Švédové tedy zhoršené klimatické podmínky u nás ustáli (Svoboda, 2009).*

Klimaticky zvláště nepříznivé byly roky koncem 17. století. Dá se říci, že společnost si s nimi uměla už částečně poradit – díky budovaným dopravním tepnám, skladovacím možnostem a lepší produkci potravin. Zmenšovala se pověrčivost a náboženská blouznění, člověk se snažil pochopit přírodní zákony.

Klid nenastal ani počátkem 18. století. Opět hovoříme o kolísání klimatu, kdy některé roky byly abnormálně deštivé a studené a jiné suché a horké. Po velkých válkách v 17. století zaručovaly politickou stabilitu stálé armády. Rozvíjí se věda – počasí a podnebí je už zkoumáno z hlediska fyzikálního.

V letech 1700 – 1750 jsou dokumentovány velké vichřice na území Čech, je to zřejmé z hospodářských záznamů, protože tyto vichřice způsobily velké množství polomů – hlavně ve smrkových monokulturách, které se v té době už pěstovaly, a také případy katastrofálního sucha (Alexandr a kol., 2010).

V roce 1739-40 přichází jedna z nejextrémnějších zim v novodobé historii. Tuhé mrazy způsobily že na území většiny Evropy pomřela i lesní zvěř. Lidé se báli vycházet, pokud někdo někde uvízl, zaplatil životem. Zamrzaly řeky, praskaly mosty. Kola vodních mlýnů a hamrů se zastavila. Ve Francii a Anglii vypukla smrtící epidemie chřipky. Mrzlo dokonce i v Persii. Přes všechnu nepřízeň počasí byla tato krize s menšími ztrátami na životech díky dopravě potravin, které se nakupovaly mimo Evropu (Behringer, 2010). Po roce 1750 začalo intenzivnější využívání fosilních paliv a to nejen na topení, ale později i na pohon strojů. Do tohoto roku koncentrace CO_2 v atmosféře byla od skončení doby ledové téměř konstantní – pohybovala se kolem 288 ppm (Lapin, 2007). V roce 1755 došlo u evropského pobřeží k rozsáhlému zemětřesení a následné vlně tsunami, kdy byl zpustošen Lisabon v Portugalsku. Je zajímavé že v této souvislosti se hovořilo o zvláštní suché mlze a po katastrofálním zemětřesení následovala poměrně velká erupce sopky Katla na Islandu (Démarée et al., 2007). Do let 1763 – 1804 řadíme v Evropě tzv. pluviál, období silných dešťů a povodní.

Malé pluviály (z lat. pluvia = déšť) jsou doloženy pro celou střední Evropu. Jedná se o období, trvající několik desítek let, charakteristická výraznou srážkovou činností. Od počátku minulého tisíciletí byla zaznamenána čtyři tato

období.

*O **prvním** z nich, přibližně v letech 1070 – 1118, se zmiňuje kronikář Kosmas. V tomto období je doložen hladomor, který postihl celou Evropu a byl důsledkem dlouhého období neúrod (roky 1090 - 1096). Do těchto let spadají také velké povodně, největší z nich, na Labi, zpustošila v září roku 1118 celé kraje.*

Mezi první a druhý pluviál můžeme zařadit tzv. zlá léta. Kroniky tak jmenují období, které následovalo po smrti krále Přemysla Otakara II. na moravském poli (26. 8. 1278). K politickým problémům země, která pod cizí nadvládou byla vystavena drancování, přišla neúroda r. 1279, o rok později přišla vichřice a povodeň 23. 6. a úroda byla, hlavně v povodí Vltavy, zničena. Rok 1281 přinesl na svém počátku tuhou zimu a další povodně. Hladomor podle kronik a záznamů snad skončil až kolem roku 1283.

*Jako **druhý** pluviál můžeme označit roky 1310 – 1350. Mimořádně studené zimy a chlad ve vegetačním období a silné deště vyvrcholily hladomorem v letech 1313-1319. V kronikách se také hovoří o dobách „velkých povodní a povětrnostního běsu". Nepříznivé období v letech 1310 – 1350 vyvrcholilo v Evropě rozšířením moru. Hladem a nemocemi oslabená populace snadno podléhala „černé smrti". S morem souvisejí tzv. „židovské pogromy", které se částečně vyhnuly jen Čechám a Rakousku. Židé byli obviněni, že otrávili vzduch a studny.*

Evropa v té době ztratila třetinu obyvatelstva, v Čechách udeřil mor po r. 1380 a zemřelo 10 – 15 % obyvatel.

***Třetí** malý pluviál v letech 1560 – 1600 přinesl do Evropy opět vlnu povodní. Na Labi, Vltavě i ostatních našich tocích přišly velké povodně v letech 1565, 1566, 1569, 1570, 1582,1595, 1598.*

Nejhorší následky v tomto období měla neúroda, způsobená extrémně deštivým počasím v letech 1569 – 1573.

Je zajímavé, že toto neútěšné deštivé a chladné období je spjato podle některých historiků i se zvýšeným „honem na čarodějnice". V naší zemi nebyly čarodějnické procesy vystupňované až do hysterických honů jako v jiných zemích, přesto se tu dá vystopovat určitá vazba na roky neúrody a hladomoru.

*Nejvíce historicky doložených zpráv máme o **čtvrtém** pluviálu, vázaném na roky 1763 – 1804. I v tomto deštivém období jsou zaznamenány velké povodně. Byly to zejména roky: 1771 (Vltava, Labe), 1799 (Labe, led).*

Největší z povodní byla r. 1784, přišla po kruté zimě se silnými mrazy a postila velkou část Čech a Saska. Nejhůře bylo v českých zemích v letech 1770-1772. Tehdy vypukl největší hladomor, srovnatelný s nejzhoubnějšími epidemiemi středověkého moru. Lidé v českých zemích se živili náhražkami – kopřivami, řepou. Kritická situace vyhrotila epidemií tyfu (červen 1771 - červen 1772). Habsburský dvůr zorganizoval pomoc trpícím Čechám dovozem obilí z Uher. I tak ale úbytek populace v důsledku úmrtí a masové emigrace dosahoval 12 – 15 %, zemřelo nejméně 250 000 lidí. Meteorologické podmínky se tak staly spouštěcím faktorem katastrofy s dalekosáhlými sociálními důsledky. (Vašků, 1997)

Zdá se, že teorie o pluviálech a její prognóza je doložena i v dnešním období. Povodně, které se vyskytují na našem území od roku 1997 (Morava), tisíciletou povodeň v roce 2002, severní Čechy v srpnu 2010 a další to jen potvrzují (Vašků, 1997).

V roce 1783 na Islandu vybuchla sopka Laki (Lakagígar) a v Japonsku sopka Asama. Obě události byly velmi vážným spouštěcím mechanismem zhoršení klimatu a následných pohrom ve společnosti. Sopka Asama leží asi 150 km od Tokia. Velká erupce (VEI 6) zasáhla celé okolí, bylo zaznamenáno asi 35 000 obětí. Další postižení pak umírali při velkém hladomoru, ochladilo se natolik, že se neurodila rýže, hlavní potrava v této části Asie. Sopka Asama dodnes bouřila ještě několikrát, poslední erupce byla 2. 2. 2009.

Sopka Laki vybuchla 8. června a aktivní byla až do října. Erupcí byla postižena nejvíce Evropa. Na vině byla atypická meteorologická situace, kdy nad severovýchodem Evropy se udržovala tlaková výše a proud sopečného prachu a plynů odklonila a ten se zatočil nad střední a západní Evropou. Byly pozorovány podivuhodné úkazy – suché mlhy, slunce bylo pozorovatelné bez zaclonění, docházelo k silným bouřím. Ve vzduchu díky SO_3 byla cítit síra, pálily oči, mnoho lidí zemřelo po nadýchání tohoto plynu na otok plic. Zároveň se do ovzduší dostalo velké množství fluóru, který je toxický. Na Islandu zemřelo 20 % obyvatel a 80 % hospodářských zvířat. V Evropě se odhaduje množství obětí na 15 000. Byli to většinou lidé v produktivním věku, pracující venku na polích. Díky Laki se v Evropě ochladilo asi o 1 stupeň, následovaly velmi

kruté zimy, střídané únorovou (1784) oblevou, která přinesla velké povodně. Při povodni na Vltavě byl poškozen Karlův most. Hodnota VEI erupce Laki je 4+, tedy větší aktivita než VEI 4. Kyselé deště postihly nejkrutěji Island a Skandinávii.
Po výbuchu Laki se rozkolísané podnebí po několika letech stabilizovalo ale pak přišly opět výkyvy. Díky neúrodě se schylovalo ve Francii k Francouzské revoluci.

> *Suchý rok 1788 přinesl ve Francii katastrofální krupobití. Zima následující rok byla velmi mrazivá, takže se nedostávalo potravin. Dokonce transporty obilí muselo hlídat vojsko, lidé se bouřili a rozkradli by je. V roce 1789 přišlo sucho – sucho bylo tak výrazné, že nebyla voda v řekách – přestaly pracovat mlýny a ceny chleba stoupaly. Neutěšená situace vedla k bouřím a následně až k revoluci a pádu Bourbonů na francouzském trůnu (Behringer, 2010).*

Mezi roky 1790 – 1850 řadíme Daltonovo minimum sluneční činnosti. Klima po r. 1799, kdy byla velmi tuhá zima je poměrně normální, střídají se roky chladnější s roky teplejšími. Velký výkyv přichází až po roce 1815 – po výbuchu sopky Tambora. Byl to nejsilnější sopečný výbuch za posledních 10 000 let. Byl zaznamenán několikaletý pokles teploty a to až o 3-4 stupně.

> *Rok 1816 byl na severní polokouli označován jako „rok bez léta". Osmdesátiletý amatérský meteorolog Edward Holyoke v New Hampshire popisuje mrazy ještě 7. června. Letní počasí v Evropě připomínalo spíše listopad. Zrekonstruované mapy tlaku vzduchu ukazují, že tlaková níže nad severním Atlantikem se velmi prohloubila a tlakové útvary byly tlačeny směrem na jih, srážková činnost byla nejsilnější v západní Evropě, střed a sever Evropy byl atakován velmi studeným vzduchem ze severu. K vytrvalým dešťům se tak přidalo i chladno, byla místa, kde v červnu padal sníh (Soon, Yaskeel, 2003).*

V letech po výbuchu jsou dokumentovány zvláštní úkazy na obloze, Island byl téměř bez slunečního svitu, v sev. Americe, Indii a jiných částech světa byla katastrofální neúroda. V jižní Africe došlo ke katastrofálnímu hladomoru vlivem sucha. V Indii vypukla epidemie cholery, která se rozšířila ještě dále přes Rusko a dostala se až do

Evropy, odkud byla přes moře zavlečena do Velké Británie a také do sev. Ameriky (Behringer, 2010). Rok 1816 měl být rokem slunečního maxima v daném 11-ti letém cyklu. Sluneční skvrny byly dokonce dobře viditelné díky popelu z Tambory, ale bylo jich v tom roce pouhých 35 (oproti normálnímu roku slun. maxima s cca 100 skvrnami) (Soon, Yaskeel, 2003).

Konec malé doby ledové se vyznačoval deštivým a chladným podnebím. Nejhůře na tom byly severské země. Po objevení Nového světa došlo k velké migraci Norů, Švédů a Finů za Atlantik. Island ztratil přibližně polovinu svého obyvatelstva. Neúroda (především brambor) a chlad vyhnaly ze země tisíce Irů.

Brambory byly v Irsku nejdůležitější složkou potravy a to nejen prostého lidu. Po roce 1845 se do Evropy z Latinské Ameriky s náklady guana dostává plíseň Phytophora infestans. V klidu ji udržuje sucho ale s počátkem deštivého období dochází k jejímu rozšíření a to má katastrofální dopad na hospodářství v Irsku. Plíseň bramborová likviduje několik let po sobě celou úrodu. Irsko ztratilo v době hladomoru 25 % obyvatel, část se vystěhovala a část vymřela díky nemocem, podvýživě a hladu (Behringer, 2010, Acot, 2005).

Malá doba ledová skončila v Evropě velmi studeným obdobím mezi lety 1887 – 1897.

Na konci 18. století, což je doba Velké francouzské revoluce a vynálezu parního stroje, nastal čas, pro který geochemik Paul J. Crutzen spolu s E. Stoermerem navrhl termín „antropocén“. Není to doba klidná, je to bující proces, kdy se člověk stal novou geologickou silou. Obrovský růst lidské populace znamená vymanění se člověka z biosféry a jeho čím dál větší vliv na prostředí (Braniš, Hůnová, 2009).

7. Souhrn a závěr části II.

I ve chvíli, kdy se píší tyto řádky dochází ke změnám, stejně jako se mění hloubka poznání. Část II. této studie měla za úkol především popsat vývoj chodu klimatu na planetě v úrovni nejnovějších poznatků vědy. Je samozřejmé, že při širokém tématu práce byly některé hypotézy zmíněny jen okrajově a některé, velmi kontroverzní, vůbec.

Z celé studie vyplývá:

- síly které formovaly Zemy s nejvyšší pravděpodobností budou pokračovat ve formování Země v budoucnosti
- stále bude Zemi ovlivňovat tok energie ze Slunce a tato složka bude nadále měnit klima (ať k zimě či k teplu) a přitom se sama vyvíjet (Slunce jako hvězda stárne a mění se)
- do budoucna se nevyhneme změnám způsobeným naším kosmickým okolím, nevylučují se záblesky gama záření (smrtící pro oblast vzdálenou do 10 světelných let), pády vesmírných těles a sluneční erupce
- bude pokračovat Wilsonův cyklus srocování kontinentů v superkontinent a jejich následného rozpadu
- bude fungovat mechanismus deskové tektoniky
- Zemi zatím bude doprovázet Měsíc, jež má i na klima pozitivní vliv, jeho působení bude bohužel slábnout s jeho vzdalováním od Země (asi 4 cm/rok)
- stále budou činné mechanismy zemského jádra i pláště, které ještě dobře neznáme, ale s jistotou můžeme předpokládat vulkanismus a změny magnetického pole Země
- můžeme počítat se stálým opakováním Milankovičových cyklů, které jsou s jistotou prokázány zatím pro celý holocén
- pravděpodobně pro dalších několik set let budou fungovat i přirozené oscilace, jako je ENSO, NAO, AO a ostatní
- klima se bude stále měnit, ať už kosmickými, geofyzikálními či také antropogenními vlivy, otázkou pro naši dnešní civilizaci spíše je, zda dojde k ochlazení či oteplení, na tuto otázku ovšem neznáme a nebudeme znát přímou a pravdivou odpověď
- s vysokou mírou pravděpodobnosti můžeme čekat další velká vymírání (podle některých autorů probíhá toto vymírání už dnes a na vině je antropogenní zatížení planety)
- pravděpodobně se vymírání, nebo alespoň velké katastrofy v budoucnu zopakují a dotknou se i lidské rasy

část III. DOPADY SOPEČNÉ ČINNOSTI

1. Velká vymírání

Hromadná vymírání jsou definována jako geologicky krátké intervaly, obvykle méně než 1 milion let, kdy byla míra vymírání vyšší než normální výměna druhů a kdy zánik taxonů je globální a trvalý.

Samozřejmě náhlá katastrofická vyhynutí mají problematickou odezvu v paleontologickém záznamu, může to být jen malá vrstva a může být setřena erozí. Dozvíme se o nich pouze z nadložních vrstev, kde je znát pokles diverzity. Také příčiny velkých vymírání nejsou jednoznačné, je to složitý proces, do kterého mohou vstoupit faktory, které nemáme a nebo jsme ve fosilním záznamu neidentifikovali (např. záblesky gama paprsků). Navíc, i pokud identifikujeme úseky,ve kterých k zániku došlo, nelze určit, zda druh začal mizet před katastrofou, nebo podlehl okamžitě, případně k zániku došlo změnou životních podmínek dlouho po katastrofě. Pokud by se opakovala některá z největších katastrof a zasáhla by lidstvo jako druh, můžeme počítat s tím, že část jedinců by přežila, obecně by ale došlo k destabilizaci civilizace. Je velmi zajímavé, že tři z největších masových vymírání a některá menší další jsou spojena a velmi pravděpodobně byla i zaviněna masivními výlevy lávy, které se v literatuře také nazývají trapy nebo „velké magmatické provincie“. Od doby vzniku trapů na Dekánské plošině v Indii nicméně známe už jen několik případů spojených s výlevným vulkanismem, ale tak velká vymírání jako dříve, se naštěstí nekonala. Rod Homo sapiens byl ovlivněn pouze velkými erupcemi supervulkánů. Jak nebezpečné jsou plošné puklinové erupce jsme si v historicky známé době zažili v Evropě po erupci sopky Laki, ačkoli velikost její a např. sibiřských trapů je nesrovnatelná (Laki 15 km^3 čediče, Sibiř 3 miliony km^3).

Položme si ale otázku – je zemské nitro klidné, nebo nás čeká v budoucnu další případ čedičových výlevů? Nevíme. Prozkoumána nejsou mnohá území jak rozvojových zemí, tak pusté krajiny v polárních oblastech, o podmořských vulkanických provinciích toho také málo víme. Je docela pravděpodobné, že někde pod tenkou slupkou zemské

kůry čeká plášťový chochol a chystá se k činnosti. Nahlédněme do případů v dávné minulosti Země a také v historicky známém období.

2. Erupce

Sopky jsou mnohem starší než lidstvo samo, věk sopky jako takové, tedy s magmatickým krbem v hloubi zemského nitra. Některé sopky jsou aktivní ve stavu neustálé erupce (Kilauea, Havaj), jiné zahrozí jednou za krátký čas (Katla, Island), další potřebují tisíce let na novou erupci (Yellowstone).

V době před 3,4 miliardou let vybuchovaly sopky s lávou s mnohem vyšším obsahem peridotu (olivínu), než lze nalézt ve většině dnešních sopečných hornin, svědčí to o mnohem vyšší teplotě erupcí ve srovnání s pozdějšími . Zemské jádro prokazatelně pomalu vychládá a mění se i tepelné poměry v magmatických krbech. Pohled na globální mapu aktivních sopek, ohnisek zemětřesení a hranice zemských desek jasně ukazuje na spojení procesů deskové tektoniky a vulkanismu. Většina sopek leží na oceánských hřbetech, pod hladinou moře. Obrovský tlak vodního sloupce naštěstí nedovoluje projevovat se výbušným způsobem. Subdukční zóny pak jsou spojeny s jedním z nejnebezpečnějších sopek, což jsou ostrovní vulkány na tzv. ohnivém prstenci. Neméně nebezpečné jsou sopky na horkých skvrnách a riftech (např. příkopové propadlině v Africe). Magma vzniká v plášti, který je tvořen především peridotitem, který obsahuje další minerály. Hovoříme o jeho polotekutém stavu. Kombinace konvekčních proudů a gravitace způsobuje, že plášť je v neustálém pohybu. Tato cirkulace je důležitá pro vznik magmatu.

> *Poměrně zajímavým důkazem polotekutosti pláště je pomalé stoupání Skandinávie a Severní Ameriky, které byly v poslední době ledové zatíženy obrovskou masou ledu a nyní se po jeho roztátí pomalinku zdvihají. Dá se to pozorovat např. na pobřežní čáře Velkých jezer na pomezí USA a Kanady a také díky drobným seismickým vlnám, které tento jev doprovázejí.*

Magma představuje stavební materiál sopek. Obsahuje všechny tři fáze hmoty – pevnou ve formě krystalů hornin, tekutou – taveniny a vodu a plynnou – oxidy siřičitý a uhličitý, halogeny, která hraje velkou roli při výbušném procesu erupce. Při stálém

tavení pláště se tvoří magmatické komory (krby). Čím více magmatu je natlakováno v magmatickém krbu, tím více stoupá riziko erupce a tím je také erupce ničivější. Pokud je tlak v krbu vysoký tak, aby narušil okolní horniny, může se trhlina plná magmatu šířit a magma vytéká vzhůru – dochází tak k puklinové erupci. Pokud magma pod stálým tlakem obsahuje těkavé látky, dochází k erupci výbušné. Alternativní spuštění explozivní erupce představuje vysoký obsah vody. Hrozí to při nasycení okolí sopky podzemní vodou (hydrovulkanická erupce). Může také nastat na ostrově nebo v blízkosti ledovců. V případě sopky Eyjafjallajökull na Islandu (rok 2010) byla vysoká výbušnost a jemná fragmentace popela způsobena průnikem roztáté vody z ledovce do magmatického krbu. Jak už bylo řečeno více výbušné sopky jsou na subdukčních zónách, kde se do podzemí klesáním jedné desky pod druhou dostává voda.

Zdá se, že největší sopečné erupce se vždy vyskytují u sopek latentních po celá staletí i tisíciletí. ve 20. století to byla např. Svatá Helena, El Chichon, Pinatubo.

Sopečné půdy bývají úrodné díky obsahu síry, selenu a dalších prvků, ale delší dobu po erupci. Bohužel proto právě bývají hustě osídleny. I oceán vykazuje vyšší produktivitu fytoplanktonu pokud je zasažen sopečným popelem plným minerálů. Bylo to ověřeno v r. 2008 po erupci sopky Kasatochi na Aljašce, kdy satelitní snímky ukazovaly závoje řas v mořské oblasti, kam dopadl popel (Oppenheimer, 2011). Ztráty na životech představují pyroklastické proudy (příklad – v květnu 1902 po mírné erupci smetla sopka Mont Pelé na ostrově Martiniku pyroklastickým proudem o rychlosti 160 km/h převážnou část budov a chrámů a zabila asi 29 tisíc lidí), lávové proudy, které jsou pomalé a nebezpečné tudíž díky riziku požárů, lahar, což jsou bahenní proudy (příklad- r. 1985 a sopka Nevado del Ruiz v Kolumbii způsobila náhlé tání sněhu a příval bahna usmrtil 23 tisíc lidí) a zatížení budov spadem popela, budovy se pak hroutí. Nepřímo pak spad popela působí obrovské škody na silnicích, letištích, elektrickém vedení a hlavně v zemědělství. Už vrstva jednoho centimetru může poškodit rostliny. Několik cm pak způsobí terén zemědělsky sterilní po celé generace, zvlášť pokud tefra sebou nese agresivní látky jako je např. fluor. Konzumace zvířaty pak vede k abnormalitám v růstu kostí, ke krvácení a selhání orgánů. Tefra může kontaminovat pitnou vodu a představuje dlouhodobé riziko v oblastech, kde se pomalu obnovuje půda, zvláště u dlouhotrvajících erupcí. Dalším nepřímým dopadem bývá

zemětřesení a tsunami, která vznikají kolapsem sopky (vznikem kaldery). Nejznámější tsunami byla zaznamenána po erupci Krakatoi v r. 1883, kdy vlny zpustošily pobřeží Sumatry a Jávy a usmrtily až 36 tisíc lidí.

Posledním nebezpečím pro okolí jsou vulkanické emise, často obsahují jedovaté prvky – chlor, fluor, síru, brom a v menší míře i olovo, arsen, kadmium a radon. Regenerace krajiny závisí na stupni zasažení, ekologických a krajinných charakteristikách a klimatu.

Klima bývá zasaženo hlavně díky vulkanickým plynům, z toho zejména sloučeninami síry. Kyselina sírová se zpočátku tvoří v plynném stavu a později kondenzuje ve stratosféře za vzniku kapiček, nicméně jejich malá velikost jim umožňuje zůstat v atmosféře několik měsíců i let. Tyto děje se dají už sledovat a to díky pozemnímu dálkovému průzkumu technikou LIDAR.Výška kam se dostane síra, je velmi důležitá. Pokud se omezuje na troposféru, pak atmosférické zpracování zplodin proběhne rychleji – především díky vymývání deštěm. Síra z typické výbušné erupce většinou proniká až do stratosféry a má výrazný účinek na radiační bilanci atmosféry. Umístění erupce na zemském povrchu také hraje svou roli. Geografická poloha je důležitá pro odhad distribuce popela a sopečných plynů, ohřívání atmosféry a interakce s tryskovým prouděním a všeobecnou cirkulací atmosféry. Můžeme zpravidla očekávat, že dvě obdobné erupce s identickými výstupy síry a popela budou mít různý klimatický signál, pokud budou v různých částech světa. V tropech je tropopauza ve výšce 15-17 km, výbušné erupce potřebují více energie, dostat se nad ni, zatímco ve vysokých šířkách je níže, 9 – 10 km. Tropické erupce jsou zase nebezpečnější v tom, že buňky všeobecné cirkulace atmosféry nesou zplodiny od rovníku na sever či na jih. Rovníkové erupce díky zóně konvergence (TZK) pak distribuují popel a plyny na obě polokoule. Okamžitý i déletrvající vliv na klima také závisí na ročním období, poloze tlakových útvarů a oscilacích (NAO, AO). Podle Clive Oppenheimera (Oppenheimer, 2011) se silnější vulkanismus podílel i na kolísání klimatu v malé době ledové. Už bylo zmíněno, že nízká sluneční aktivita jako by přitahovala chaos v podobě zemětřesení a erupcí sopek a to je právě případ středověkého ochlazení.

Horniny kolem sopky představují obrovský archiv eruptivní historie. Analytické techniky, jako je radiokarbonové datování, umožňují odhad věku erupcí. Signál

v ledových příkrovech Antarktidy a Grónska je složitější, pokud se najde pouze síra, je velmi těžké dohledat vulkán, ale při velkých erupcích se do ledových jader dostává i sopečný popel, který je pro každou sopku unikátní a většinou dohledatelný díky geochemickým stopám. Velmi zajímavé je, že kyselý signál a stopové prvky si mohou najít cestu (se srážkovou vodou) i do jeskyní a stát se součástí krápníků.

Mimořádně zajímavé jsou svědectví dávných erupcí v mýtech celého světa. Ať už je to mýtus o zkáze Atlantidy, jež může souviset s erupcí Théry nebo čínské legendy o dracích sestupujících z hor. Kdyby neznámá a málo sledovaná sopka Pinatubo neunikla pozornosti vědců a kdyby se seznámili s mýty, tradovanými v její oblasti, mohli erupci v roce 1991 očekávat. Domorodé obyvatelstvo totiž vědělo o její nebezpečnosti a v ústním podání varování předávalo po generace.

3. Vulkanické události v dávné historii Země

Vulkanické události naši Zemi formovaly už v dávné minulosti, hned poté, co se vytvořily první konvekční buňky spolu s bloky kontinentální kůry, asi před 4,2 – 3,9 miliardou let. V prekambriu pak probíhá velmi silná vulkanická činnost, ale v té době je to tvořivá síla, která formuje zemský povrch. Už zde můžeme registrovat hypotézu, že díky pokrytí oblohy zplodinami sopečných výbuchů začalo první zalednění a po něm následovala další dvě. V té době se Země mohla dostat do stadia zvaného snowball Earth (či slushball Earth podle novějších teorií, viz výše) a vulkanismus byl tím spouštěcím mechanismem, který spolu s nízkou úrovní slunečního záření mohl ochladit klima na Zemi. Díky pohybu zemských desek a sopečným erupcím se paradoxně Země zase ze sevření ledu uvolnila. Popel výbuchů sopek pokryl led, zvýšil albedo, do ovzduší se dostal oxid uhličitý a přispěl ke skleníkovému efektu a Země roztála. Pravděpodobně i první živé organismy těžily z vulkanické činnosti, většina z nich mohla vznikat a vyvíjet se blízko tzv. „černých kuřáků“, sopečných vývodů v blízkosti hranic zemských desek. Reakce plynů, vystupujících ze zemského nitra a mořské vody, plné minerálů, zajišťovaly plně funkční biologickou niku, kde organismy vznikaly (pokud připustíme pozemský původ života), ale především se rozvíjely a stávaly složitějšími a organizovanějšími.

V kambriu pak už pozorujeme podle dochovaných hornin vulkanismus podobný, jako je dnes, jen aktivnější a silnější, na okrajích kontinentálních zemských desek a na ostrovních obloucích. Kupříkladu v prachovcích, slepencích a drobech okraje Barrandienu (příbramsko-jinecká pánev) jsou nacházeny stopy kontinentálního vulkanismu. Ostrovy pak mohly vznikat a pravděpodobně také vznikaly nad tzv. horkými skvrnami. Vulkanická činnost v blízkosti českého masivu probíhala především ve svrchním kambriu díky lámání severního okraje Gondwany pásmem zlomů. V ordoviku zesiluje v českém masivu i okolí vulkanismus kolem zlomů kadomského vrásnění, v siluru pokračuje, český masiv je v siluru částečně mořským prostředím, ale aktivní jsou podmořské sopky, které známe i posléze z devonu.

Ke konci devonu začínají kolize kontinentálních desek, tudíž můžeme předpokládat zesílení erupcí na jejich styčných plochách. Možná tyto události spolu s podmořskými erupcemi byly spouštěčem krize frasn/famen. Některé hypotézy zmiňují tzv. výlevný vulkanismus (tzv. trapy) a s ním související změny chemismu vody, vedoucí k úbytku diverzity – zániku korálových útesů a vymírání dalších druhů.

Na vině může být vulkanická oblast nazvaná Viluy trapy – je to provincie dlouhá asi 2000 km napříč dnešní východní Evropou, ale není tak výrazná jako následné dekánské či sibiřské trapy (Keller, 2005). Otázka je, jak dalece se tato oblast zachovala – mohla být daleko masivnější. Sibiřská východní platforma je v těsné blízkosti tohoto předpokládaného čedičového výlevu, nabízí se zde tedy myšlenka, zda sibiřské trapy, daleko v budoucnu na konci permu, nebyly oživením, pokračováním výlevů ze stejného plášťového chocholu.

Silná vulkanická činnost probíhá i v karbonu a permu, kontinenty se spojují v celek – Pangeu. Český masiv je ve své konečné podobě, je už kratónem, starou pevninou a dále tu už bude docházet pouze k erozi a zlomům.

Vulkanická činnost v permu nám zanechala už viditelné stopy. Na našem území soptí stratovulkány, jako byl např. Kozákov, Tábor a další. Na tzv. lužické poruše docházelo k tvorbě masivních lávových příkrovů (např. u dnešní Nové Paky) a častým zemětřesením. Sopečná činnost v okolí Jičína, Semil, Turnova a Broumova po sobě zanechala zajímavé geologické bohatství. Většina zdejších polodrahokamů – achátů,

chalcedonů, ametystů, jaspisů a dalších vznikla během a po sopečné činnosti díky vroucím roztokům a parám, stoupajícím ze zemského nitra puklinami.

Konec permu a tudíž prvohor, znamená už výše zmíněné velké vymírání – největší v historii Země. Jednou z hypotéz, která velmi dobře zapadá do pozorovaného sledu událostí jsou mohutné čedičové výlevy v místech dnešní Sibiře. Permské vymírání bylo z geologického hlediska poměrně rychlé, ale zdaleka ne jako vymírání na K/T hranici. Nezapříčinil ho, zdá se, náraz asteroidu, spojený s náhlou apokalypsou, i když vědci po celém světě pátrají po impaktních kráterech a některé zcela jistě nebyly objeveny. Impakt mohl být totiž spouštěčem vulkanismu, nebo mohl zhoršit i tak vážnou situaci, kdy se probudil k životu sibiřský plášťový chochol. Nazýváme tak masivní horkou skvrnu a není to událost ojedinělá, jeden z plášťových chocholů zřejmě existuje například pod Yelowstonským národním parkem.

Jak tedy vypadala situace na konci permu? Země má za sebou již tzv. Guadalupian (260 milionů let BP), oslabení diverzity, zapříčiněné zřejmě seskupením kontinentů a změnami mořské hladiny a zatím ne příliš známým a málo prozkoumaným výlevným vulkanismem v oblasti Emeishan, Čína (Zhou, 2002). Biotopy jsou oslabené, výrazně ubylo mělkých šelfových moří, střed superkontinentu má kolísavé a velmi drsné klima – střídají se vysoké teploty s velmi nízkými, klimatické simulace ukazují v nitru kontinentu v létě teploty vyšší než 38^{o} C a v zimě teploty pod bodem mrazu. Poměrně vysoká je hladina CO_2 v ovzduší – 280 ppm, stejně jako na začátku průmyslové revoluce v 19. století. Na konci permu ale tato koncentrace bude až 10 x vyšší (Saunders, 2009). Kontinenty leží v severojižním směru, na západě je obklopuje moře Panthalassa, na východě Paleotethys, jediná Siberia je stranou na severu, směrem ke středu Pangei, jako stabilní kratón, jedna z nejstarších pevnin. Oceány jsou velmi teplé, některé prameny uvádějí až 35^{o} C v rovníkovém pásmu (Kiehl, Shields, 2005). Lesům se dařilo pouze ve vysokých zeměpisných šířkách, neexistovaly polární ledové čepičky a stagnovala i oceánská cirkulace. Erupce v místě dnešní Sibiře začaly postupně, ale mohly vyprodukovat přibližně 6 300 – 7 800 gigatun síry, 3 400 – 6 700 gigatun chlóru a více než 7 000 gigatun fluoru za celou dobu činnosti, ta se odhaduje na 600 tisíc let až 1 milion let (Black, 2012). Situace tedy musela být katastrofální a v dnešním světě si ji nedokážeme představit. Nedávné studie ukazují, že velikost

vyhynutí není pouze funkcí velikosti (objemu) vulkanické události, ale ještě důležitější jsou mechanismy erupce a také povaha hornin a výsledné reakce při uvolnění plynů , které mohou mít vliv na klima. Bohužel většina vulkanických hornin ze sibiřských výlevů lávy je dnes překryta druhohorními a mladšími sedimenty, proto je těžké přesněji stanovit objem trapů. Také leží v neobydlených a nepřístupných místech dnešní Sibiře. Odhady hovoří o ploše 5 milionů km^2 kam vytekly 3 miliony km^3 lávy (pro představu je to plocha Velké Británie pokrytá 12 km vrstvou!) (Saunders, 2009). Největší katastrofa v zemské historii mohla – a také nejspíše byla – souběhem několika nešťastných událostí. Oslabené biotopy po krizi ve středním permu obývaly jediný superkontinent. Není to příznivé místo, sucho, střídání teplot, větrné bouře, zmenšení životního prostoru, absence mělkých mezikontinentálních moří – vše toto mohlo kriticky snížit diverzitu. Musíme počítat s nárazy asteroidů, jejich působení nebyla naše planeta nikdy uchráněna. Sibiřské trapy přispěly asi největším dílem, navíc v podloží byla ložiska uhlí, která pomalým hořením pod povrchem dále znečišťovala už tak zatíženou atmosféru. Klimatické změny spolu s anoxií či až euxinií oceánu dokonaly zkázu permského života. Stres po katastrofě trval až do raného triasu (Bottjer, 2008).

V dlouhodobém časovém měřítku většinu z masových vymírání doprovázela sopečná činnost. Nejinak tomu bylo i na konci triasu 202- 200 mil. let BP. Tehdy se dostala ke slovu nově vznikající Centrální atlantická magmatická provincie. Někteří autoři předpokládají její souvislost s vyhynutím některých druhů dinosaurů už na přelomu triasu a jury, jiní nesouhlasí a tato hypotéza je nadále předmětem výzkumů (Whiteside et al, 2007). Jde o masivní sopečnou činnost související s rozpadem Pangey a následnému vzniku a rozšiřování Atlantiku.

Nejznámější velké vymírání zná veřejnost z tzv. K/T rozhraní, přelomu křídy a třetihor před asi 65 miliony let. Je to proto, že vyhynuli živočichové, kteří jsou souhrnně nazýváni dinosaury. Zdá se ale, že opět jsme zde svědkem souhry nešťastných náhod. Obecně je známo, že toto vymírání mohl způsobit asteroid, který dopadl do oblasti Yucatánského poloostrova, výzkumy jej potvrdily a tato teorie je všeobecně přijímána. Nicméně K/T rozhraní je také dobou masivní vulkanické činnosti v místech dnešní Indie. Indie se v té době nacházela, jako samostatný kontinent, někde

v tropické oblasti, přibližně v místech dnešního Madagaskaru. Probuzením horké skvrny na ní začal probíhat masivní vulkanismus, dnes známý jako Dekánské trapy (Keller et al., 2009, McLean, D., 1985). Trapy mohly vyprodukovat až 1,5 milionů km^3 lávy na ploše 500 000 km^2. Plášťový chochol, který je způsobil, je nyní nejspíše pod ostrovem Réunion (Oppenheimer, 2011). Zdá se ale, že sopečná činnost začala probíhat až 300 tisíc let před dopadem asteroidu a že jejím spouštěčem mohl být jiný impakt, iridiová anomálie ve vrstvách z té doby je totiž dost velká. Jak uvádí ve svém článku prof. Gerta Keller z Pricetonské univerzity (Keller, 2005), na vině by mohl být potenciální (a nepotvrzený) největší impakt v zemské historii – Shiva, jehož kráter je asi 500 km široký. Podle ní dopad asteroidu na tenkou geotermální aktivní oceánskou kůru může mít za následek takto masivní vulkanismus. Nejnovější poznatky hovoří o třech fázích sopečné činnosti – velmi slabé v maastrichtu (svrchní křída), velmi silné těsně před K/T hranicí a třetí těsně po ní (Adatte, T., Keller, G., 2012,). Byly identifikovány proudy lávy až 1500 km dlouhé přes celý indický subkontinent až do Bengálského zálivu. Dnešní pozůstatky této vulkanické činnosti jsou 3500 metrů vysoké horské hřebeny. Je docela pravděpodobné, že některé trapy čili čedičové provincie, byly zahlazeny subdukčním mechanismem a přesto před tím způsobily katastrofy.

4. Erupce v lidské historii - starověké

4.1. Toba

Nejlepší odhad erupce Toby je 73 000 let BP, ale některé prameny hovoří o 75 tis. let BP. Toba leží na ostrově Sumatra v pohoří Barisan, je to jezero vzniklé po erupci sopky, tedy zatopená kaldera o velikosti 100 x 30 km a hloubce přes 500 metrů. Toba při své erupci vychrlila 2800 km^3 sopečného materiálu a pokryla celé 1 % Země vrstvou více než 10 cm. Geofyzikální měření dnes prokázala pod jezerním dnem, v hloubce asi 10 km poměrně velkou magmatickou komoru (Oppenheimer, 2011). Erupce Toby dosáhla VEI 8, byla asi 400x větší než Pinatubo. Způsobila velkou anomálii síry v Grónském ledovém příkrovu (GISP2), ale tato anomálie nemusí odpovídat této erupci. Vědci se momentálně sice neshodují na načasování a velikosti supererupce ale z posledních výzkumů vyplývá, že Toba mohla vychrlit méně síry, ale

zato velké množství popela. Korespondovalo by to s velkou klimatickou změnou – ochlazením, citelným po celé zeměkouli (hovoří se o 5 – 15 ^{o}C). Signál síry v Grónsku mohl tedy patřit jiné sopce v blízkosti (Aljaška?). Hypotéza je stále ještě předmětem výzkumu.

Klima se nicméně zhoršovalo už před výbuchem Toby, po teplejším interstadiálu přicházelo studené období. Nahrávalo byt o další myšlence, kterou vyslovili prof. Rampino a prof. Self (in Oppenheimer, 2011) a to, že když se při poklesu teplot váže voda do ledových příkrovů, dojde i k tíhovým změnám zemského povrchu a může to spustit masivní vulkanickou činnost. Tento hypotetický mechanismus může působit i obráceně – při tání velkého množství ledu a zdvihu pevniny. Je nepopiratelný fakt, že množství erupcí ve fosilním záznamu najdeme na konci posledního glaciálu ale také i v malé době ledové ve středověku. Zdá se, že navíc erupce kopírují s malým zpožděním doby slunečních minim. Tato myšlenka nás zavádí do dnešní doby, 24.cyklus sluneční aktivity je nebývale slabý, měli bychom se tedy bát příštích erupcí? Toba nejspíše způsobila efekt sopečné zimy asi na desetiletí a tisíc let doby ledové. Lidská populace v té době prošla tzv. efektem hrdla lahve – po tomto krutém klimatickém výkyvu zbylo snad jen 5 – 10 tisíc jedinců. Ti co přežili tuto globální katastrofu, našli útočiště v odlehlých tropických oblastech, zejména v rovníkové Africe. Obyvatelstvo, které už v té době migrovalo do Evropy a Asie bylo nejspíše zcela zdecimováno (Ambrose, 1998). Existují ovšem nové výzkumy v Indii, které podle vykopávek pod a nad sopečným popelem směřují k teorii, že drobná industrie po výbuchu Toby je stejná, jako ta před ní a že tedy ojedinělé skupiny lidí mohly na asijském kontinentu přežít. Snad budoucnost přinese odpovědi na zásadní otázky, které se tohoto období týkají.

4.2. Campi Flegrei

39 tisíc let před dneškem začala velmi silná vulkanická činnost v dnešní Itálii, v místech, která se jmenují Campi Flegrei, čili Flegrejská pole. Erupce byla asi 120 x silnější než erupce sopky Pinatubo, vyvrženo bylo asi 200 km^3 magmatu (VEI 7). Přinesla zhoršení klimatu - v podstatě se časově shoduje s obdobím glaciálu, které tím bylo ještě zesíleno. Další, menší aktivita byla zaznamenána před 12 tisíci lety.

Existuje vysoké riziko, že se tato aktivní oblast opět probudí, někteří vědci dokonce předpokládají propojení jejího magmatického krbu s asi 30 km vzdáleným Vesuvem.
Velmi zajímavou hypotézu přinesli ruští vědci, prof. Golovanova po výzkumu na Kavkazu, že erupce na Campi Flegrei přispěla k vymření neandertálců na evropském území. Erupce a její klimatické důsledky mohla být ale jedním ze spouštěčů lidské evoluce. Ve zhoršeném klimatu museli lidé spolupracovat a sdílet informace, mohla být tudíž katalyzátorem lidského vývoje. V období, které následovalo pozorují paleontologové ve vykopávkách první mikrolity, dokonalejší štípanou industrii z pazourků, více korálků, figurek – tedy předpoklad možnosti prvního náboženství a pocitu identity mezi lidskými skupinami. Je to možná pozitivní důsledek velké katastrofy.

4.3. Laacher

Na konci poslední doby ledové bylo více vulkanických událostí. Jedna z nich se dotkla zřejmě i našeho území nebo alespoň jeho blízkosti. Na systému zlomů, pozůstatku po kolizi africké a euroasijské desky, začala vulkanická aktivita.
V blízkosti Bonnu leží jezero Laacher, které je vlastně sopečným kráterem.
Poslední erupce v místě jezera se datuje do doby 12 900 let BP. Sopka vychrlila 1,9 megatun síry a 6,6 megatun chlóru, vytvořila kráter o průměru 2 km. Makroskopické zbytky této erupce jsou k nalezení v sedimentech celé Evropy na ploše asi 300 000 km^2. Vrstva tefry bývá kolem 0,5 cm. Byla dokonce testována změna v osídlení a hmotné kultuře v Evropě, dočasně byla opuštěna některá osídlení (vědci tak předpokládají také podle změn v nálezech zubů - a jejich opotřebení abrazí tefry - pravěkých lidí) (Riede, Wheeler, 2009). V Evropě vědci předpokládají snížení teplot (na 2 – 4 roky), kyselé srážky a spad materiálu ze sopky. Našly se také pozůstatky sazí z mnohých požárů. Výzkum byl prováděn v pánvi Reinberg – palynologický průzkum prokázal snížení diverzity rostlin a posléze výskyt tzv. pionýrských druhů, které znovuosidlovaly zasažená území. Tato erupce zřejmě také způsobila záplavy, sopečný materiál přehradil řeku Rýn (de Klerk et al, 2008).

4.4. Théra

Pravděpodobně r. 1650 př. n. l. se ohlásila otřesy a silným duněním sopka Théra (Santorini) v Egejském moři. Zdá se, že okolní obyvatelstvo se dokázalo rychle odstěhovat, ale i tak dopad její erupce měl dalekosáhlé následky, ztráty na lidských životech nevyjímaje. Výbuch dopravil do atmosféry asi 60 km^3 sopečného popela a zplodin, které zasáhly plochu až 2 miliony km^2. Popel z Théry byl nalezen ve vykopávkách až u Černého moře. Výška sloupce erupce dosáhla snad až 36 km, VEI byla 6 – 7. . Po sopce zůstala kruhová laguna o průměru asi 13 km, je zaplavena mořem ale vyrůstají z ní dva malé sopečné ostrůvky. Obrovská tsunami, která zničila celé okolí po zhroucení sopky do kaldery, může být něčím, co zanechalo své stopy v bájích a mytologii, také v Bibli – legendy o zkáze Atlantidy, potopě světa, deset egyptských ran. Jisté je že tato záplava zničila nebo alespoň zle poznamenala Mínojskou kulturu na Krétě. Mořské sedimenty svědčí o tom, že tato erupce nebyla jediná v rodokmenu Théry. Mohla jí předcházet ještě větší erupce. Théra je stále činná, po přelomu letopočtu soptila v r. 45, 726, 1707-1711 a další slabé erupce byly zaznamenány i ve 20. století.

Explozí sopky tohoto typu bývá několik.. V první fázi sopka vyvrhuje sopečné pumy, žhavý popel a plyny. Pak bývá už porušena stabilita kráteru a následuje freatomagmatická fáze, kdy mořská voda vnikne do kráteru a sopka chrlí do ovzduší přehřátou páru z mořské vody spolu se sopečným materiálem. Pak přichází pyroklastický oblak a sloup plynů, par a rozžhaveného popela.

Vulkanická činnost ve středozemí se neomezuje jen na známé sopky, jako je Théra, Vesuv a Etna, viditelné na zemském povrchu, ale význačná je tam i podmořská sopečná činnost. Pouhých 8 km od Théry je vědci sledována podmořská sopka Kolumbo, která je stále činná, ale nyní se nachází v klidné fázi. 40 km od pobřeží Sicíle je další z aktivních vulkánů – Empedoklés, pouhých 6 m pod hladinou. Je to jeden z posledních sopouchů obrovské sopky, která tu byla.

4.5. Vesuv a Etna

Vesuv má zajímavý rodokmen. Je starý asi 300 000 let a je pozůstatkem sopky, která byla aktivní před 17 000 lety. 24. 8. 79 n. l. došlo k nejznámější erupci Vesuvu a zničení celého okolí, hlavně měst Pompeje a Herculaneum. Odhady hovoří o VEI 5 a desetitísících mrtvých. Vesuv byl aktivní až do r. 1036, poté přešel do klidnější fáze až do r. 1631 a od té doby menšími erupcemi o sobě dává vědět dodnes. Má pod sebou v hloubce 10 – 20 km velkou magmatickou komoru, takže se italská vláda spolu s vulkanology snaží vypracovat plány evakuace oblastí, které by byly zasaženy případnou erupcí, nicméně ztráty na lidských životech při velké erupci by byly i tak vysoké.

Spolu s Vesuvem je velmi aktivní sopkou Etna, bylo zjištěno, že ač leží na rozhraní zemských desek velmi blízko subdukční zóny, svou povahou je spíše sopkou nad horkou skvrnou. Erupce jsou tedy malé, ale blízkost zóny subdukce může způsobit přeměnu jednoho typu sopky v druhý – vědci se domnívají, že k tomu Etna směřuje a její aktivita může vzrůstat – bude explozivnější.

Zajímavou a poměrně zrůdnou metodu užívali spojenci za druhé světové války – shazovali těžké letecké pumy do kráterů Vesuvu a Etny, ve snaze vyprovokovat erupci. Píše o tom Dr. Ludvík Souček ve své knize Tušení stínu. Otázkou je, zda by byl tento mechanismus možný, naštěstí se erupci vyvolat nepodařilo.

5. Erupce středověké

Velmi cenné jsou důkazy v kronikách. Podívejme se na erupce v historicky poměrně nedávném období a svědectví o jejich aktivitě.

5.1. A.D. 536 „neznámá“ sopka

Ve vrtech v ledovcích je tu velmi kyselý signál z r. asi 536 a v písemných památkách je doloženo „zakalené Slunce“ (cituje byzantský historik Prokopios z Kaisareie ve spisech „Knihy o válkách“) – může to být důkaz výbuchu sopky Rabaul u Papui – Nové Guiney či sopka Ilopango, Salvador. Vědci se stále ještě snaží najít historickou explozi podobného rozsahu.

Podívejme se ovšem na jednu hypotézu, kterou předložili např. Mike Baillie z univerzity v Belfastu a píše o ní David Keys ve své knize (Keys, 2000). V knize Pararaton („Kniha králů“), starodávném textu královského písaře z ostrova Jáva přibližně z přelomu 8 a 9 století se píše o výbuchu hory Kapi, když předtím z textu vyplývá, že Sumatra a Jáva tvořily jednolitou pevninu. Místo výbuchu hory je totéž, kde po několika stoletích, v r. 1883 soptí Krakatoa. Před jejím výbuchem podle starých koloniálních britských map má moře hloubku pouhých 10 metrů. Mimoto ostrovy Krakatau, Sebooko, Bezee a Kalimbang tvoří téměř kruh o průměru 50 kilometrů. Je to tedy signál, že předchůdce sopky Krakatoa byla „neznámá“ sopka z roku 536? Mnohé důkazy - např. vrty z ledovců a také měření v mořském dně (vulkanolog Haraldur Sigurdson), tomu nasvědčují.

Dopady této erupce zmiňují záznamy z Číny – starověcí čínští astronomové si všímají při pozorování hvězdy Canopus atmosférického oparu, který jim ztěžuje pozorování. V jižní Číně se objevuje mráz a sníh, po celém stř. východě je doložen chlad a následný hladomor díky neúrodě. Další záznamy existují od Jana z Efezu o silné zimě v Mezopotámii. Michael Syrský, který svou kroniku psal až ve 12. století může vycházet z těchto jeho záznamů a píše: *„Slunce potemnělo a jeho temnota trvala 18 měsíců. Každý den svítilo jen 4 hodiny a jeho svit byl pouhý stín. Plody nedozrály, víno bylo kyselé...“* (Michael Syrský, Kronika, in Stothers, 1983).

Zdá se že původce erupce je buďto rovníková sopka nebo na severní polokouli.

5.2. A.D. 626 „neznámá“ sopka

Neznámá sopka v roce 626 byla nalezena opět podle signálu síry v ledovcích 623±3 roky. Máme popsánu sopečnou suchou mlhu trvající 9 měsíců (čínské záznamy v kronikách), neobvykle chladné a deštivé počasí v Japonsku, politické problémy a rozpad Turecké říše pramenící z destabilizace země po neúrodě a hladomoru (Fei, 2007).

Dobu po erupci popisuje opět Michael Syrský ve své „Kronice“, zmiňuje tmu od října do června. Popel byl zaznamenán historiky v Konstantinopoli a také irské prameny Annales of Ulsten zmiňují sopečný spad. Vše ukazuje na sopku severní polokoule, někteří vědci podezírají islandské sopky ale důkazy zatím nebyly nalezeny. Tato

erupce má už svůj signál také v letokruzích stromů a ví se, že sopečná zima trvala minimálně dva roky.

Řecká a římská literatura je celkem spolehlivá v údajích o zajímavých optických jevech, suché mlze a následném zhoršení klimatu, jež doprovází velké erupce (Demaree et al, 2007). Horší je to s datováním, díky posunům v kalendářích a také předáváním informací mezi autory si nemůžeme být jisti.

5.3. A.D. 1257 – pravděpodobně Samalas

Polární ledová jádra svědčí o obrovské erupci, která proběhla v r. 1257 nebo 1258 s největší pravděpodobností v tropickém pásmu. Nejpřesvědčivější důkazy jsou pro to, že viníkem je sopka Samalas na ostrově Lombok v Indonésii. VEI se odhaduje až na 7, tj. přibližně 40 km^3 vyvržené tefry, sloupec vysoký 43 km.

Historické záznamy poukazují nejspíše na letní období roku 1257 (Lavigne et al., 2013, Stothers, 2000). Středověké kroniky zdůrazňují v r. 1258 chladné léto s dešti, povodně a neúrodu. Spekulovalo se o sopce Okataina (Nový Zéland) či El Chichon (Mexiko) a Quilotoa (Ekvádor). Vědcům pomohla geochemie tefry, radiokarbonová analýzy a výklad historických textů staré Jávy (Babad Lombog, psaný na palmových listech).

Částečky z erupce, detekované v grónském ledovci, měly složení odpovídající vulkanickému prachu právě ze sopky Samalas (testoval se např. obsah SiO_2 a Al_2O_3). Identifikaci sopky se vědci věnovali několik desetiletí. Zde v tomto případě vidíme naději, že i další erupce a náhlé klimatické výkyvy, které by s nimi mohly souviset, budou objasněny. Sopka Samalas je tedy spolu s Tobou, Tamborou a Krakatoou další velkou erupcí v Ohnivém prstenci. Archeologické důkazy hovoří o katastrofické tsunami a popelem pokryté ostrovy Lombok a Bali.

Pokud skutečně tato sopka vybuchla v letním období, dynamickou odezvou dotace síry do klimatického systému dochází k zimnímu oteplení a až následující roky jsou studené. Není to tak ale vždy, sopka pro tento scénář musí ležet poblíž rovníku.

Podívejme se na historické záznamy:

srpen r. 1257, Čechy: *„Na den 1. srpna přišla veliká záplava, která přinesla neštěstí na zahrady, pole a na stavení při březích stojící po celé pražské diecézi. Ba i lidé v tom zanikli“* (Strnadt, 1790).

a další podobný záznam: *„Téhož roku, když nadcházel den 1. srpna, nastala velká povodeň, která způsobila těžké a velké škody po celé pražské diecézi v zahradách, na oseních, polích a staveních, která stála na březích; také mnoho lidí zahubila.“* (Kosmova kronika). Může už to být důsledek dešťů díky znečištěné atmosféře z erupce? Podobné případy přívalových dešťů z bouřky známe i z případu Laki (ta ovšem leží na severní polokouli).

Další záznam pochází z Německa:

„9.10. Sturmflut ve Frislandu a v Oldenbursku a veliké záplavy na řece Ems“ (Hennig, 1904). Ve stejném zdroji se pak píše, že byla mírná a suchá zima v Německu, české záznamy ale hovoří jinak: *„Toho roku byly zima i začátek a polovina jara velmi tuhé a studené, led na VLTAVĚ velmi silný a trval až do velikonoc, které tehdy připadly na 24. března. Téhož roku utrpělo ovoce na stromech a vinice mrazem a hynuly ovce.*“ (Kosmova kronika).

Rok poté, 1258/59 zmiňují kroniky velmi krutou zimu ve Švýcarsku, také české kroniky hovoří o drsné zimě se silnými větrnými událostmi: *„Byla toho roku tvrdá zima i draho, tuzí větrové a klášter Sionský na Strahově vyhořel.“* (Veleslavín, 1590).

Zdá se že klimatický systém byl rozkolísaný, pro rok 1260 je zmiňována velká povodeň: „*Množství velikých povodní na jaře, zvláště těžké byly v povodí Rýna“* píše se v německém katalogu významných meteorologických situací (Hennig, 1904) a ani léto nepřineslo klid, naopak význačné a v mnoha pramenech zmiňované sucho a větrné události. Zmiňme alespoň Strnadovy zápisky (Strnadt 1790) *„Dílem pro velké sucho, dílem pro strašlivé povětří bylo osení, vinohrady a ovocné stromy v mnoha krajinách Čech silně poškozeny“* a Kosmovu kroniku: „*Toho roku utrpělo osení i vinice, na stromech ovoce, něco suchem a něco kroupami v mnohých krajích. V jiných krajích se však víno hojně urodilo“.*

Pokud tedy vezmeme v úvahu nejnovější hypotézy, sopka v r. 1257 byla v tropickém pásmu, byla to velmi silná erupce a měla vliv na počasí i na severní polokouli. Co se v klimatickém systému stane po erupci v mírných a vyšších zeměpisných šířkách je dokumentováno na případu sopky Laki.

5.4. A.D. 1783 Laki

Rok 1783 byl podivuhodný sledem přírodních událostí, které velmi ovlivnily chod tehdejší společnosti. Některé z těchto katastrof způsobily nemalé škody na majetku i na životech lidí. Mimo jiné svět zasáhla zemětřesení a to i v oblastech seismicky poměrně klidných (Anglie-srpen 1783, Německo-květen 1783, Francie- červenec 1783). Nejtragičtější dopad mělo zemětřesení v Italské Kalábrii, kde zemřelo asi 40 000 obyvatel a zprávy o něm se rozletěly po celé Evropě. Rok 1783 byl také zajímavý astronomickými událostmi, byly viditelné polární záře, 17. 8 1783 byl pozorován napříč celou Evropou pád bolidu, další byl zaznamenán v říjnu a menší v květnu ve Virginii (Beech, 1989, Payne, 2011). Strach panující mezi prostým lidem ještě umocnila jasná kometa 226P/Pigott-LINEAR/Kowalski , pozorovatelná ke konci roku 1783 (Kronk, 1999). V neposlední řadě se rok 1783 zapsal do historie sopečnou aktivitou, ať už to byla japonská sopka Asama (květen, VEI 4), Vesuv (srpen, lávové proudy, VEI 3) a islandské sopky (Reykjanes, VEI 3 a podmořská sopečná aktivita „Nyey“ v únoru, Grímsvotn VEI 4, květen) . Největší demografickou a klimatickou katastrofu způsobila velmi silná puklinová erupce sopky Laki (zvané v literatuře též Lakagígar). V souvislosti s vulkanickou aktivitou a také mimořádným chodem počasí na jaře a v létě roku 1783 se uvádějí v kronikách a dobovém tisku případy velmi silných bouří, často s krupobitím a s fatálními následky pro obyvatelstvo.

Jaro a léto r. 1783 bylo velmi teplé. Z teplotních řad, které z té doby už máme, je zřejmé, že teploty ve střední a západní Evropě byly nadprůměrné (Dobrovolný et al, 2010). Zmínky o suchém a teplém počasí nacházíme v kronikách i tisku té doby. Tak například Gilbert White, anglický pastor, přírodovědec a význačný ornitolog, ve svém pozorování: The natural history and antiquities of Selborne, píše: *„The summers of 1781 and 1783 were unusually hot and dry to them therefore I shall turn back in my journals without recurring to any more distant period In the former of these years my peach and nectarine trees suffered so much from the heat that the rind on the bodies was scalded and came off since which the trees have been in a decaying state.“* Jeho pozorování se týkají přírody Selbornu v hrabství Hampshire. Než vznikla kniha, psal Gilbert White tyto své postřehy formou deníku, případně dopisu přátelům. V časopise Gentleman´s Magazine (rok 1783, 24. července) píše autor pod iniciálou A.Z. o svém

pozorování zřejmě malého prachového víru, tzv. čertíka ve velmi horkém vzduchu: *„During the late hot weather which in this month h s been very intense, I have frequently observed upon the high road a large quantity of dust suddenly whirled up into the air a considerable height(full as rapidly as is it was caused by a hurricane) in a day when the atmosphere has been quite clear and not wind sufficient to support a feather.“* I tato poznámka svědčí o vysokých teplotách a suchu. V českých kronikách nacházíme zmínky: *„Tohoto roku bylo velmi suché léto, nebo od jarního, to jest od měsíce aprílu až do měsíce novembris, ani jeden obyčejný déšť nepršel, kromě na místa z ňáký bouřky když pršelo.Při tom v létě tak velká parna byly, že kdyby toho času jakási neobyčejná, jako mlha, aneb na způsob časových požárů slunce bylo nezastiňovalo, snad všechno by slunečná horkost vypálila. Nebo ranního času hned slunce vycházející viděti nebylo pro ty požáry, až potom vod šesti do desíti hodin slunce jako železná na červeno rozpálená koule vyhlíželo, potom od devíti až do tří neb čtyřech hodin něco jasněj svítilo, však předce tak smutně vyhlíželo, až k velkému podivení bylo....“* píše se v Kunvaldské kronice Antonína Kodýtka. Že byl rok 1783 prezentován v kronikách a zápiscích jako úrodný, svědčí například zprávy týkající vinařství a jakosti vína. Vinná réva samozřejmě pro kvalitu svých plodů a jejich sladkost potřebuje dostatek tepla. Tak například ve Francii díky horkému létu bylo vinobraní dříve a ročník vína je uváděn jako mimořádně sladký. V kronice obce Pavlov – „Vinařství Pavlov“ se dočteme: *„Byla bohatá úroda hroznů. Obec zaznamenala celkem 12.507 věder vína“.*

„Veliký a vysoce proslavený růst vína v tomto meteorologicky podivuhodném roce (téměř jedinečném) v 18. století, který přinesl vulkanické výbuchy, připravil zuřivé zemětřesení v Kalabrii, vysoké povětří bez dosud žádné podobnosti, potom nastoupivší "hohenrauch" nad téměř celou Evropou od června až do poloviny srpna, trval velmi neuvěřitelně. Vzduch byl silný z neustálých požárů. Drahocenné víno z roku 1783 mělo od roku 1746 až do roku 1811 takovou pověst, že za celých 65 let lepší a jemnější nebylo“ – se píše v kalendáři Mährischer Wanderer ("Moravský poutník") v roce 1823. Václav Krolmus, vlastenecký kněz, archeolog a také spisovatel ve své kronice píše: *„R.1783 vinice okolo Mělníka a Šopky vydaly lahodná a velmi chutná vína.“* Počasí po několika studených letech je tedy k úrodě vlídné.

Když se v neděli 8. června v devět hodin ráno místního času roku 1783 otevřela trhlina Laki na Islandu, začala první, výbušná fáze její vulkanické aktivity. Sloupec zplodin dosáhl při prvních explozích nad hranici troposféry, která je běžně nad Islandem ve výškách 9 – 10 km (Chenet et al, 2005). Polární jet stream i troposférické proudění pak začalo nést zplodiny dále od zdroje. Pro srovnání, za rok 2001 celý svět vyprodukoval 76 milionů tun SO_2, Laki vychrlila 122 milionů tun během prvních šesti týdnů erupce. Brzy po erupci v trhlině Laki se následky této velmi zvláštní události začaly projevovat na severní polokouli. Erupce měla VEI 4+ (Global Volcanism Program, online). Znamená to, že její projevy byly silnější, než kategorie VEI 4. Do Evropy začal pomalu ve vzdušném proudění pronikat vulkanický aerosol. Byl tvořen kapénkami kyseliny sírové, která se ve vzdušné vlhkosti tvořila z SO_2 unikajícího nepřetržitě prvních šest týdnů po erupci, následně pak, až do února roku 1784, slaběji. 80% všech zplodin bylo koncentrováno právě do prvních šesti týdnů. Celkem Laki vychrlila 122 Mt SO_2 (z něho se vytvořilo až 200 Mt H_2SO_4), 6,8 Mt HCl, a 15,1 Mt HF, z toho přibližně 75% zplodin zůstalo v troposféře, zbytek se dostal až do stratosféry. (Písek, Brázdil, 2006; Thordarson, Self, 2003; Grattan, 2005). Sopečný oblak z Islandu doputoval nejprve do blízkosti Faerských ostrovů, kde byl pozorován námořníky, poté existují záznamy z Bergenu (Norsko) a ze Skotska, datovány 10. 6. 1783. Následuje pražské Klementinum, 16. 6. 1783, pozorování z Německa 17. – 18. 6. a Francie 18. 6. –21. 6., poté pozorování ve Velké Británii, 22. 6. – 25. 6. 1783 (Stothers, 1996). Do konce července se aerosolové znečištění rozšířilo po celé severní polokouli. Podle klimatických modelů se vytvořila dvě silná maxima - nad Islandem a nad západní Evropou a významná místa koncentrace nad Ruskem a severní Afrikou. Od srpna byla vysoká koncentrace zplodin už pouze nad Islandem (Chenet et al, 2005, Grattan, 1998). Nad zasaženými místy byla pozorována „suchá mlha“ spolu se zvláštními optickými úkazy, jako je opalizace ovzduší, červené Slunce, chvění nebeských těles (Vašků, 2013). Výbušná činnost sopky skončila v říjnu, dále už následovala jen tichá, výlevná fáze. Aktivita v puklině Laki byla největším výlevem lávy po sopce Eldgja (934 A.D.) na severní polokouli. Obrovská plocha zasažená „ suchou mlhou“ prokazuje, že plyny emitované puklinovými erupcemi jsou transportovány vzdušnými proudy a udrží si takovou koncentraci, že mají významný dopad na životní

prostředí, ale i počasí v daném regionu. Skleníkový efekt, který se vytvořil díky vysoké koncentraci SO_2 v nižší troposféře, ještě zvýšil nadprůměrné teplo na počátku léta v roce 1783. Aerosoly kyseliny sírové ze sopečného výbuchu absorbovaly v troposféře sluneční záření a přispívaly k oteplování . Extrémně teplá léta se v Evropě vyznačují vzestupem tlaku nad střední Evropou (Kington, 1988). Nad Islandem byla v době erupce Laki tlaková níže, nad Evropou kvazistacionární tlaková výše. Neobvyklé teploty můžeme přičítat tedy i poloze tlakových útvarů a proudění teplého vzduchu od jihu. Teplo a zplodiny ze sopečného výbuchu, které fungovaly jako kondenzační jádra a měnily mikrofyzikální a elektrické vlastnosti oblaků, přispívaly ke vzniku silných bouřek, mnohdy s krupobitím, velkými rychlostmi větru a prudkými srážkami.

Z doby kolem r. 1783 máme už časná meteorologická měření (většinou pouze teplotní řady) ale hlavně tzv. dokumentární záznamy - písemné a grafické dokumenty. Jsou to především subjektivní pozorování různých autorů. Bouřky nejsou v našich krajích zvláště v letním období neobvyklé. V dokumentárních záznamech se tedy o nich dočteme pouze v případech, kdy jsou něčím pro pozorovatele významné – svou četností v daném období, silnou bleskovou aktivitou, škodami v podobě zapálení bleskem, zabití dobytka, kroupami či místními povodněmi, větrem ale hlavně pokud při bouřkách přišel o život člověk. Historické záznamy v roce 1783 prokazují, že bouře neobvyklé byly.

Podívejme se do evropských dokumentárních pramenů.

Zajímavé zprávy se dají najít v časopisech. Anglický „The Gentleman´s Magazine and historical chronicle“ pro rok 1783 uvádí několik znepokojivých zpráv tohoto typu. Velmi ničivou bouři s následným požárem popisuje v Krakově, Polsko, 6. července. Blesk zapálil 12 domů, zemřelo několik lidí. Velké škody jsou například popisovány z Cádizu, Španělsko, 7. července. Několik obchodů a domů bylo při velmi silné bouři zasaženo bleskem. Flushing, dnešní nizozemský Vlissingen, přístav, hlášena velmi silná bouře s blýskáním 10. července. Ze slovenské Kremnice uvádí tisk bouřku 13. července, kdy blesky zapálily několik míst a sedm domů vyhořelo do základů, udává padesát usmrcených osob a následný déšť, který způsobil lokální záplavy. Ze Ženevy přináší zprávu o úderu blesku do kostela a 15 mrtvých věřících v něm. Časopis shrnuje události slovy: *„The thunder has been more alarming, and the lihting more fatal, during*

the course of the present month, than has been known for many years, as appears from the accounts that follow“ , tedy v tom smyslu, že hromy a blesky této intenzity nebyly k vidění řadu let.

„The tempest of friday night did much damage at West Meon and burn down three houses and a barn“ (bouře v pátek večer nadělala obrovské škody v západním Meonu a zničila tři domy a stodoly) – takto popisuje škody z bouřky 12. července Gilbert White a zamýšlí se nad podivným chodem bouřek ve svém rodišti: *„We are very seldom annoyed with thunderstorms and it is no less remarkable than true that those which arise in the south have hardly been known to reach this village for before they get over us they take a direction to the east or to the west or sometimes divide into two and go in part to one of those quarters and in part to the other as was truly the case in summer 1783 when though the country round was continually harassed with tempests and often from the south yet we escaped them all as appears by my journal of that summer“*. Reverend Richard Polwhele zmiňuje ve své kronice „Historie Devonu“ že celé léto bylo bouřlivé. Popisuje dokonce své setkání s kulovým bleskem, také požáry po úderu blesku. Dokonce z jeho písemnosti můžeme usuzovat, že se setkal se stopami po tornádu – zničené obilí, rozbrázděné pole, stromy vytrhané i s kořeny. William Dunn ve svém diáři vede zápis k 9. červenci: *„Nejstrašnější hrom a blesky, které jsem kdy poznal...“* a zmiňuje zabité ovce a hospodáře i s jeho koněm.

Další pramen, týkající se neobvyklých bouřek existuje v německých záznamech: *„1783: Eine überaus sonderbare Witterung trübte dieses Jahr mit dichtem Nebel zur ungewähnlichen Zeit den Himmel. Da auch viele starke Gewitter gewesen und man die Erfahrung hatte, daß das gewöhnliche Läuten bey demselben vieles Unglück verursachte, indem es oft in die Kirchen einschlug, so wurde dieses eingeschränkt.“* (Nesmírně zvláštní počasí pokrývalo v tomto roce nebe hustou mlhou v neobvyklou dobu. Protože také bylo mnoho silných bouřek, lidé měli zkušenost, že obvyklé vyzvánění způsobovalo za bouřek mnohé neštěstí, neboť často uhodilo do kostela, takže vyzvánění bylo omezeno).

Tato zpráva se nejspíše vztahuje k zákazu zvonění kostelních zvonů, které vydal kurfiřt Karel Theodor Wittelsbach v Řezně 14. 8. 1783. Dovolme si malé odbočení od popisu bouřek v německém tisku. Bouřky měly na svědomí skutečně mnoho zvoníků a

duchovních. V obci Doubrava (západní Čechy) bylo 6 lidí zabito bleskem právě při zvonění „na mraky“ (Brázdil et al, 2003). Proto také 26. listopadu 1783 osvícený panovník Josef II. zakazuje císařským patentem v zemích Rakousko Uherska zvonění „na mraky“. I tak se tato dávná zvyklost a domněnka, že hlas zvonů bouři zastaví, přenesla ještě do dalšího století. Jednu zajímavou pověru, týkající se zvonění, uvádí písemnosti obce Starý Poddvorov: *„Když se zvonilo proti krupobití, trhavě se tahalo lanem od Donáta (jméno zvonu) a zvoník se měl modlit Otčenáš pozpátku, aby blesk neuhodil do zvonice.“* Pro zajímavost ještě další zmínku o „zvonění na mraky“. Podívejme se do tisku slovenského. V létě roku 1783 začaly v Bratislavě vycházet tzv. Prešpurské noviny. Zabývaly se mimo jiné také meteorologickými jevy. Zprávy o škodlivosti zvonění proti bouřce vyšly v pátém čísle prvního ročníku. Je tam také zpráva o tom, jak v Klatovech v Čechách zahynul při bouřce hrobař se dvěma děvčaty a třemi chlapci, s nimiž podle tehdejšího zvyku zvonil proti bouřce na věži, do které udeřil blesk. 22. července 1783 přinášejí Prešpurské noviny ve svém dalším čísle zprávu z Plzně, kde uhodil blesk do věže, ve které zvonilo deset osob a při tom že bylo zabito šest osob a další čtyři byly zraněny. K tomu redaktor článku poznamenává, že *„Jeden každý lidomilovník, vida tak mnohé nešťastné příhody, jenž se pro zvodnění naproti mračnům staly srdečně žádá, aby tento nebezpečný obyčej již jednou zapověděn byl. Jako se to již ve Falcu na rozkaz vrchnosti stalo...“* (Klimeš, 1955). Článek vyšel ještě před nařízením císaře Josefa II.. Zdrojů, pocházejících z německy mluvících zemí je více. Je zřejmé, že byly postiženy bouřemi velmi citelně*. „Die Sonne schien dunkel, und gieng als eine blutrothe Scheibe auf und unter. Den 9 ten, 10 ten und 11 ten Julii stieg dieser Dampf sonderlich als ein Schwefelrauch auf, und verhüllte bey großer Schwüligkeit die Sonne am Mittage. Er daurete, bis gegen den 27 sten Gewitter zusammen zogen, nachdem er zuvor die Feldfrüchte vor der Sonnengluth bedeckt, vor welcher demohngeachtet manche im Boden nothreif wurden. Eines dieser Gewitter brach den 19 ten Jul. zu Mittagszeit plötzlich aus. Nach einigen Windstößen donnerte es entsetzlich, der Blitz lauschte nahe der Erde im Nebel hin, bis die dicken krachenden Wolcken sich aufs Gebürge hoben, wo sie denn jenseits des Harzes Wassergüsse und Hagel herabgeschüttet...“* (Slunce svítilo temně a vycházelo a zacházelo jako krvavě rudý kotouč. 9., 10. a 11. července stoupala tato pára zvláštně

jako sirnatý kouř a v poledne zakryla slunce za velkého dusna. Trvalo to až do 27. srpna, kdy se stáhly bouřky, a pára předtím i potom zakrývala polní plodiny před žárem slunce, ale nehledě na to, mnoho zralých plodin leželo pováleno po zemi. Jedna z těchto bouřek vypukla náhle 19. července kolem poledne. Po několika nárazech větru strašně zahřmělo, blesk projel nebem blízko země, až husté dunící mraky připluly k pohoří, kde pak v Harzu spadly proudy vody a krupobití...") uvádí časopis Hohnsteinisches Magazin. Friedrich Samuel Bock, přírodovědec a historik, ve svém spise z roku 1785 uvádí: *" Von allen übrigen verwüstenden Naturerscheinungen, die in andern Ländern Schrecken und Schaden anrichteten, als gewaltigen Wolkenbrüchen, Ueberschwemmungen, Hagel und Erdbeben wurde Preussen verschonet; wenigstens waren Regen und Hagel nicht ungewöhnlich und von größern Nachtheil begleitet, wie in einigen andern Jahren. Manche Gewitter aber waren fürchterlich, und dadurch an einigen Orten des platten Landes, und besonders in dem ermländischen Städtchen Seeburg vieler Schade zugefüget." (*Všech ostatních pustošících přírodních úkazů, které v jiných zemích napáchaly zděšení a škody, jako mocné průtrže mračen, záplavy, krupobití a zemětřesení, bylo Prusko ušetřeno; přinejmenším déšť a krupobití nebyly ničím neobvyklé a nebyly doprovázeny většími škodami, jako v některých jiných létech. Některé bouře ale byly strašné a na některých místech rovinaté země, zejména v ermlandském městečku Seeburg, způsobily mnoho škod) (Bock, 1782).

Podívejme se do českých záznamů. Denní pozorování počasí v druhé polovině osmnáctého stolení není běžnou záležitostí, ale shodou šťastných okolností se nám dochovaly nejen zápisky v kronikách, ale také pozorování vzdělaných duchovních a lidových písmáků. Latinsky zaznamenal průběh počasí kolem roku 1783 Karel Bernard Hein, farář v Hodonicích. Také si psal do svého deníku důležité události, týkající se jeho farnosti, zajímavý je jeho záznam o procesí, konaném 20. července 1783, jmenované „processio Lechovicii ob pluviam", tedy prosebné procesí „za déšť". Naznačuje nám sucho panující v té době. Také u něho najdeme záznamy o bouřkách, například v noci z 22. na 23. červenec, spojenou na Znojemsku i se silným přívalem deště. Celkem Hein uvádí 17 dnů s bouřkami na Znojemsku od června do srpna 1783 (Brázdil, 2003). Dalším příkladem skvělého lidového deníku jsou zápisky, které se nacházejí v databázi urbánní historiografie Moravy, autorem je obuvnický mistr Šimon

Špaček: *„V tom roce v měsíci juni a juli skoro 4 týdně byly veliké střižahy jako mlhy ve dne v noci, takže slunce málo svítilo, takže půl druhé hodiny po východu a 2 hodiny před západem nebylo vidět a měsíc byl tmavý a červený. Taky z toho lidi mnoho soudili a taky veliké bouřky a hromobití byly. A nejvíce k Holomouci se to táhlo a mnoho lidí pobilo. U nás v Přerově dne 12. juli taky do dvou domů udeřilo na Kopci, do Vítězovýho pod podomí a na Dolním Rynku do Pauperovýho, tam ale 4 lidi otřeštil, ale nezapálil.“* Známá je kronika, či spíše paměti autora Jana Františka Vaváka, lidového písmáka a spisovatele, samouka, který velkou pozornost ve svých zápiscích také věnoval meteorologickým dějům. Bouřky jmenuje častěji, pro příklad zápisek, týkající se 4. července: *„Na den podivného rodiče a patrona našeho sv. Prokopa, bouřka v těch mlhách přišla a z ní hrom ve vsi Lstiboři do chalupy Hrázskýho udeřil, od čehož týž Hrázský - hospoda - a Dorota Vaváková, po mém bratru Jiřím Vavákovi, vdova, vyhořeli. V tyto dny veřejně z Prahy (kamžto všechny vrchnosti poznamenání od hroma zabitých lidí daly) prohlášeno jest, že již od jara až do posledního června 416 osob v celé zemi od toho Božího posla zachváceno bylo. V samém kouřimském kraji, jež nejmenší jest, 50 osob zabitých se počítá. Ohňů hromových onde i onde zhusta se stalo.“* Z poznámky je patrné, že Vavák, který byl rychtářem v obci Milčice u Českého Brodu, byl nejen vynikajícím pozorovatelem, ale také zřejmě čtenářem novin, věděl o neobvyklém počtu bouřek i mimo jeho rodnou obec. Lidová kronika rodiny Šebestů z Klatovského kraje popisuje bouře v roce 1783 takto: *„Léta 1783, 29 juni povstalo velmi strašlivé povětří, které dosti tvrdě srdce k strachu přivésti muselo, menovitě na sv. Petra a Pavla začalo se tak lejt, jak by vědrem lil, přitom takové hromobití a bouř v jednom kuse od hodiny s poledni až do večera trvala, tak že více než-li stokrát hrom učinil, přitom uhodil do starožitného kostela svatýho Vojtěcha, kde 12 centýřů prachu leželo pro bezpečí, že tam žádný oheň nemoh, takový zapálil od toho celý dosti pevný kostel až do gruntu rozhozen.“* Historické popisy Klatov se skutečně zmiňují o střelném prachu, schovaném v kryptě kostela a jeho výbuchu. Zmínka o katastrofě v Klatovech je dokonce i v novinách Gentleman´s Magazine, město je tam jmenováno Klattau, umístěno do Německa a nesouhlasí měsíc události, nicméně zdá se, že jde o jednu a tu samou událost: *„The city of Klattow, in Germany, on the 29th of May was thrown into the utmost dread. The lighting fell upon the church of st. Albert, set fire to*

the powder magazine, and totally destroyed the church of st. John, with the houses round it.“ Zprávy se v té době šířily s velkým zpožděním a zdá se i zkreslené. Při pátrání ve starých kronikách citujme další případ nesmírně sugestivního popisu bouřek: *„Roku 1783 na den Svatých Apoštolů Petra a Pavla, tj. dne 29. Juny okolo 3 hodiny z poledne stala jest se suchá bouřka ve které Bůh to neštěstí na Městečko Zahrádku dopustil, že v té samé (čehož Bůh uchovej) udeřil Hrom do zdejší Hospody po dolní straně tam zapálil, shořelo to celé dolní stavení pak následující Sousedé, tím ohněm ztrestaní byli a vyhořeli, totiž Jan Ságl N.domu 82, Jan Mareš N. 83, Jan Cziesner tehdejší Primas N. 84, Václav Kronigl N.19, Josef Šťastný N. 52, Tomáš Bělohradský N. 54, Antonín Pašek N. 55, Václav Vávra N. 92, pak škola a kostel přičemž se i zvony rozlily. Oltáře pak a Varhany kostelní však s nemalou zkázou se před ohněm odstranily. Nato roku 1784 při zběhu ledův celý most zbořen a od vody pryč odnešený jest byl. Což se tomu samému zas 1799 roku stalo.Toto Kostelní Stavení nebolišto Dům Páně krom že v tom 1783 roce vazba a střecha naň jest dána byla tak bezevší vnitřní ozdoby bez stropu věže a jim patřící ozdoby státi jest zůstala, až 1787 tehdejší Vrchnostenský Vrchní Ředitel Pan P. Kašpar Rieger Kostelní strop zhotoviti a školu novou postaviti nechal.“* Jedná se o rukopisnou kroniku založenou na počátku 19. století a vždy psanou v určitých časových úsecích, ovšem písaři se vraceli i zpět v čase k význačným událostem. Autory je několik písařů – pouze jeden se v textu zaznamenal: František Kostka. Rukopis byl přepsán v r. 2002 Mgr. Vladimírem Staňkem. Je zajímavé, že po osmi stech letech se uzavřela historie tohoto městečka, ležícího na břehu řeky Želivky. Usnesením vlády z 27.8. 1969 bylo rozhodnuto o likvidaci Zahrádky, která stála v zátopové oblasti nově budované přehrady na Želivce u Švihova. Unikátní kronika je proto památkou ještě cennější.

Lidové deníky, kroniky a další záznamy skvěle doplňují deníky z pražského Klementina. Klementinská observatoř, patřící řádu jezuitů, byla v polovině 18. století byla místem, kde byla zahájena instrumentální meteorologická pozorování. Mimoto si pozorovatelé (v roce 1783 to byl vynikající český meteorolog, geograf a ředitel observatoře Antonín Strnad) zapisovali význačné atmosférické jevy do deníků. Z nich máme pak velmi výmluvné zprávy o chodu počasí v letních měsících po erupci Laki a v neposlední řadě i o bouřkách, které tuto dobu propukaly. Pro zachování autentičnosti

uvádím text pro tři měsíce – červen, červenec a srpen – celý. Pochází z přepisu těchto deníků :

Červen.

1. 6. Ráno liják.

5. 6. Ráno hustá mlha od 4 - 8 dusno, od 13 - 15 bouřka.

6. 6. Dvě bouřky.

14. 6. Po poledni obtížné vedro, od 20 - 24 bouřka.

16. 6. Mlha nad Vltavou od SSW.

17. 6. Suchá mlha celý den nad Vltavou jako na horách. Hvězdy viděny s haly.

18. 6. Hvězdy viděny s barevnými kruhy, Slunce zapadalo krvavé.

21. 6. Silná bouřka s lijákem od 20 - 23 hod. Liják do 1 hod. Slunce zapadalo rudé.

22. 6. Rudý západ Slunce, voda stoupla o 5 palců v 5 hod. ráno.

23. 6. Velmi rudé Slunce.

24. 6. Velmi rudé Slunce s halem, červánky do 22 hod.

26. 6. Silná bouřka.

27. 6.Bouřka v 17 - 19 hodin.

28. 6. Při západu rudé Slunce.

29. 6. Trvale hustá mlha. Slunce přes den bylo možno skrz mlhu pozorovat pouhým okem; při západu rudé.

30. Slunce při západu rudé.

Červenec

3. 7. - 5. 7. Téměř trvale hustá mlha. 4.tého večer v 16.00 silná bouřka s lijákem do 22.00. Udeřilo do Vltavy. Při úderu jehla magnetky se vychýlila a teprve ve 22.00 se ustálila. Voda ve Vltavě vzduta o 2 palce.

6. 7. Mlha se již rozpustila.

7. 7. Polární záře skrze oblaky.

8. 7. Slunce rudé při západu i Měsíc rudý.

9. 7. Měsíc rudý s halem do 18 hod. Hvězdy s halem.

10. 7. Měsíc rudý i hvězdy i Slunce s halem, časem rudé nebo růžové.

11. 7. Odpoledne Slunce rudé v 18.00 a ve 20.00 bouřka na N. Měsíc rudý i Slunce.

12. 7. V 18.00 bouřka na N, déšť, ve 20.00 opět bouřka a déšť.

13. 7. Od 17.00 hod. bouřka na ENE až S.

14. 7. Měsíc rudý.

15. 7. Měsíc rudý, černé skvrny na Měsíci dobře znát.

18. 7. Bouřka od 13.00 – 16.00 na V až NV.

20. 7. Bouřka od 12 - 15 hod. Slunce "táhlo vodu".

21. 7. Odpoledne bouřka, četné výboje.

22. 7. Sloup u Slunce dole. Od 8. do 23.7. denně hustá nebo mírná mlha. Trvale i jinde ve Střední Evropě.

24. a 25. 7. Trvalý déšť, napršelo 20 čárek.

26. 7. Zapadající Slunce podobné eliptické růžici.

28. 7. Od 21.00 do 8.00 dne 30.tého opět hustá mlha. V 15 hodin bouřka.

Srpen.

1. 8. Slabá polární záře.

3. 8. Blýskavice v 21 hodin večer na NW.

4. 8. Večer silná bouřka na W až N, od 20 - 3 hodin, při ní viděny hvězdy.

5. 8. Ráno do 3.00 hodin silná bouřka a liják.

6. 8. Měsíc na W rudý i bouřka na V asi 8 minut.

7. 8. Bouřka ve 13 a 14 hodin.

8. 8. Slabá polární záře.

11. 8. Ve 20 hodin bouřka na ENE do 22 hod.

16. 8. Večer měsíční halo. Měsíc rudý.

17. 8. Slunce i Měsíc rudé. V 18 hodin mezi bílými vláknitými oblaky jako by mělo kotouč přeseknutý heliometrickým sklem, brzo bylo oválného tvaru. Zjev trval 30 minut. Slunce při západu rudé.

20. 8. V 15 hodin Slunce"táhne vodu". V 16 hodin bouřka od NE na S.

24. 8. Ve 20.00 hodin bouřka na SV do 1 hod.

25. 8. V 21.00 silná bouřka přes půlnoc do 2 hod. s vichřicí od V.

26. 8. Déšť od 7 - 20 hodin s bouřkou.

27. 8. V 21.00 bouřka na ESE až E.

29. 8. Bouřka ve 20.00 s deštěm.

Klementinské deníky jsou pravým pokladem pro historii klimatu v českých zemích a zápisky nám přinášejí pohled nejen na velký počet bouřek v letním období roku 1783, ale i na úkazy spojené s vulkanickými zplodinami z Laki – červené slunce a další optické zvláštnosti. Zápis pochází z pozdějšího přepisu z r. 1978, ale je zcela autentický. Při pročítání úžasných historických záznamů člověk pocítí úctu k prostým kronikářům, písmákům a učencům, kteří se chopili pera a důležité momenty podivuhodného léta 1783 zaznamenali. Kroniky, osobní deníky a tisk vzdálené přes dvě století jsou průkazným materiálem, který nám ukazuje chod počasí a významných jevů v té době. Silné bouře se všemi nebezpečnými jevy, které přinesly, prošly celou Evropou, nejen zeměmi ze kterých jsou tyto zprávy. Všude znamenaly zkázu a neštěstí. Je nutno si uvědomit, co přinesly takovéto katastrofy prostému lidu – strach, materiální škody a mnohdy pak bídu a nedostatek, pokud shořel dům či úroda. Nejhorší byly ztráty na lidských životech. Lidé zřejmě nerozuměli tomu, proč se tak stalo. Povědomí o erupci Laki se rozšířilo až v září 1783 a to ještě pouze mezi vzdělanými lidmi. Prostý lid si situaci vysvětloval nelehkou situací z pozice hříšníků, které Bůh trestá. Je zajímavé, že v českých kronikách je velmi často uvedeno v letech po r. 1783 že se opravoval, stavěl či přestavoval místní svatostánek. Zdá se, že to není náhoda, že pod tlakem přírodních katastrof přibylo donátorů církevních staveb a to i přes reformy a omezení císaře Josefa II. (rušení klášterů které se nevěnovaly obecně prospěšné činnosti jako věda a osvěta, školství a zdravotnictví).

Utrpení – především prostého lidu, nebylo v roce 1783 způsobeno pouze bouřemi. Nesmírně nebezpečná byla i tzv. „suchá mlha“.

Podívejme se opět do kronik a dobového tisku: „*Tato mlha trvala po celé léto roku 1783 a ještě částečně i na podzim. Byla pozorována nejen po celých Čechách, ale po celé Evropě, přičemž byly dny velmi parné a slunce mělo neustále červenou barvu*“, píše se v knize přírodovědce Vavřince Vojtěcha Dlaska (Dlask, 1822). V pamětech Františka J. Vaváka čteme: *„Od 17. června až do dneška t.j. 22. téhož každý den smutné požáry (jak říkáme) jako nějaká mlha pod oblohou i při zemi se spatřovaly. Slunce každý den ráno když vycházelo, i večer, když zacházeti mělo, hned okolo šesti a sedmi hodin tak červené a smutné se ukazovalo a při tom žádných paprlšků od sebe nepouštělo, že jak dlouho kdo chtěl, mohl se naň dívati. Z toho znáti, jak husté ty mlhy*

jsou, málokdy přijde malá chvilka, co by na půl míle aspoň viděti bylo. Mračna také dešťová, když jdou, není jich vidět pro mlhy, až prší a se blýská a hřmí. Žádný také déšť a mrak není, jeřto by z něho nebylo veliké hromobití. Na všechny strany slyšet o hromových ranách a ohních, že to žádný nepamatuje". Nahlédněme do německého tisku, profesor chemie, fyziky a lékařství Christian Pfaff píše v pojednání „Ueber den heißen Sommer von 1811 nebst einigen Bemerkungen über frühere heiße Sommer" mimo jiné: *„....(suchá mlha)..to se rozšířilo po celém evropském kontinentu a rozprostřelo na ostrovech ve Středozemním moři a severním pobřeží Afriky a Sýrie. Objevilo se to ve všech zemích ve stejné době mezi šestnáctým a dvacátým červnem s velmi odlišnými větry... Na několika místech v suché mlze měli významný sirnatý zápach v určitém čase... Ve Frieslandu a Groningenu, protože byla mlha nejhustší, podráždila (lidem) plíce, (způsobila) dráždivý kašel, relaps způsobila u astmatiků a také bolesti hlavy, ano, někteří lidé dokonce cítili její chuť v ústech..."*

Nutno dodat, že erupce Laki, největší známá výlevná erupce za poslední tisíciletí, měla sice nízké VEI (4), ale čedičové složení magmatu vedlo k obrovské produkci síry. Odtud tedy „suchá mlha", sirný opar nad celou Evropou. Jak byl výjimečně nebezpečný, dokládají desetitisíce mrtvých, hlavně v Anglii a Francii, kam dorazila druhá vlna zplodin. Umírali lidé v produktivním věku, pracující venku na polích, ale také staří a nemocní, děti. Síra z ovzduší se měnila v plicních sklípcích na kyselinu sírovou, naleptávala je a způsobovala kašel, astmatické záchvaty, zápaly plic. Na Islandu zemřela celá jedna čtvrtina obyvatel, dokonce měl být vysídlen. Oslabenou populaci pak překvapila nebývale studená zima, kterou popisují historické prameny jako krutou a následně chladné jaro s povodněmi. Nejen Evropa trpěla díky Laki. Zplodiny erupce způsobily kolaps klimatického systému, oslabila africká monzunová cirkulace a indické monzuny, podle některých pramenů (Oppenheimer, 2011) zemřelo v okolí Indického oceánu až 11 milionů lidí. Katastrofická neúroda postihla také dálný východ – Čínu a Japonsko, kde ještě svým dílem přispěla sopka Asama. Zima panovala také na americkém kontinentu. Podívejme se na zprávu předního přírodovědce a politika Benjamina Franklina, který pozoroval suchou mlhu i rozmary počasí v Evropě, byl velvyslancem spojených států ve Francii: *„Během několika letních měsíců roku 1783, kdy měly sluneční paprsky ohřívat Zemi v severních oblastech,*

existovala stálá mlha nad celou Evropou. Tato mlha byla trvalého charakteru, bylo sucho a sluneční paprsky neměly vliv na její pohlcování....Proto snad zima 1783-1784 byla vážnější těch po mnoho minulých let...“ Benjamin Franklin ve svém eseji Meteorological Imaginations and Conjectures také poukazuje na další následky erupce Laki – blokování slunečního záření. Sám provedl pokus zapálit papír lupou při velmi slabé záři Slunce v čase „suché mlhy“, kterou Laki zamořila celou Evropu. Jako první pochopil, že ochlazení, které potkalo Evropu i Spojené státy, může dát do souvislosti s vulkanickou činností (Franklin, 1784).

Ochlazení, které přišlo v zimě 1783-1784 bylo mimořádné. Dobové kroniky z Čech uvádějí například: „*Roku 1784 byla veliká zima; začalo mrznout hned 1783 po sv. Martinu (11.11.) a po vánocích tak hojnost sněhu napadlo, že na rovině víc než 1 loket ho leželo a mrazy takový, že jich od 50 let staří nepamatovali. Led byl na rybnících tlustej 2 a 1/4 lokte. Zdálo se to nepodobný, já sem ho sám měřil a ta zima trvala až do 16. marti“, píše* se v Knize pamětí Floriána Velebila z Městce Králové (Robek, 1978). V Kunvaldské kronice píše Antonín Kodytek: „*R. 1784 tu zejmu bylo sice málo sněhu, však ale tak tuhá zima a mrznutí, že ve všech sklepích mrzlo a nic neobstálo. Na mnoha místech v chlívích, obzvláště kde jedna neb dvě krávy stály tak mrzlo, že kolikrát krávy s chlupama na mostinách ráno přimrzlý jsouce, je odehřívat a lejno odkopávat od nich museli.*“

Velký chlad panoval také na americkém kontinentu. Mimo jiné výňatek z knihy reverenda Thomase Smitha z Portlandu: 1784*: „January 31. The first week of this month was moderate, but the rest horrid cold, stormy, snowy weather. February. A cold month, and indeed a cold through the whole ; the longest and coldest ever known. March has been moderate, and not so very windy as usual. April 6. It snowed yesterday and went away to-day. 17. This is the third day of cold, rainy, snowy weather... “ (*Smith, 1849)

Nahlédněme opět do Klementinských deníků:

Leden.

1. Měsíční halo skrze oblaky.
2. Měsíční halo s barevnou koronou.
3. Ráno vše pokryto námrazou, večer měsíční halo.

4. Opět vše pokryto námrazou. Slunce při východu oválné, velmi rudé. Silný mráz.
5. Mráz obtížný pro pokožku, pro zvířata i lidi, vše pokryto námrazou, okna uvnitř silně zamrzlá, které ani Slunce nerozehřálo.
6. Hustá mlha vše pokrývající, pouze za poledne chvílemi Slunce.
7. Tuhý mráz pod -25°R (-21.3°C), zejména v noci.
10. Polární záře v 18 hod. na východě.
12. Zdi všude i uvnitř budov pokryty námrazou.
15. V 0,00 hod. náhle slabá obleva ze západní vichřice až do 4 hodin.
16. Obleva potrvala až do rána, vody plné ulice, všechny předměty pokryty námrazou, což dávalo krásný obraz očím.
17. Obleva pokračovala.
18. Slunce při východu rudé.
22. Vzduch drsný a pronikající mráz -10°R (12.5°C) .
29. Trvalá mlha, vzduch drsný, vlhkostudený.

Únor.

2. a 3. Měsíční halo.
13. Kol 9.00 Slunce rudé.
14. Za mlhy se tvoří námraza i uvnitř budov.
15. Obleva, teplý vánek.
24. Silná obleva s deštěm.
26. Sníh na střechách téměř roztál, led se na okrajích tu a tam začal lámat, či spíše byl od břehu odtrháván.
27. Ledy na VLTAVĚ v naší oblasti praskly. VSV vítr hnal mlhu na ESE, ve kterézto oblasti se nahromadila a zůstala stát. Řeka tekla plnou dravostí, voda stoupla nejméně o 2 stopy.
28. Voda rvala veliké předměty.

Z Klementinských deníků poznáme, že na konci února došlo po výrazné oblevě k masívní povodni, nahlédněme do knihy litoměřického gymnaziálního profesora Wenzela Katzerowského, který se zabýval nejen klimatologickými údaji, ale zabýval se

i periodicitou povodní: *„Dne 28.II. se staly téměř neuvěřitelné škody pro přelití Labe u Litoměřic v tomto roce. Tři mlýny a 57 domů bylo zbořeno, několik lidí se utopilo a bylo co děkovat bohu, když 500 lidí bylo zachráněno loděmi. Výška vody na Labi u Litoměřic dosahovala v maximu 20 střevíců a 4 coule nad normálem.*“ (Katzerowsky, 1886).

V kronice Jana Cífky z Třebíze se dočteme: *„Dne 28. febuarii 1784 byla taková voda, obzvláště v Praze, že ji žádný nepamatoval. Lidé na ostrovích v noci na stromy lezli a pod mostem půl lokte do kruží dosahovala. Celé chalupy s lidmi připlynuly*.“ Ve Veleslavínově díle: „*Dne 27.II. veliká povodeň na řece Vltavě u Prahy způsobena prudkým odchodem ledu. Voda vystoupila k takové výši, jaká nebyla nikdy před tím ani potom zaznamenána. Příštího dne o 6. hodině ranní zřítil se do vln strážný domek postavený uprostřed mostu na pilíři, na němž dnes je socha sv.Krištofa a čtyři muži stráže nalezli v řece strašlivou smrt.*“ Povodně zasáhly celou Evropu. Rychlé tání sněhu zmiňuje také F. J. Vavák ve svých pamětech: *„Sníh všecek do rána v vodu obrácen, ač ho dobře na loket ztloušti bylo.“*

Došlo k prudkým vzestupům hladin na povodí Vltavy, Otavy a Berounky. V Praze se začal lámat led ráno 27. února a posléze začal odcházet. Pak začal nečekaný rychlý vzestup hladiny. Velmi poškozen byl Karlův most. V povodí Labe a Ohře byla také mimořádně vážná situace. Povodně v r. 1784 jsou jedny z největších zaznamenaných povodních u nás.

I další rok, 1785, byl význačný velikou rozkolísaností počasí. O zimě a jaru píše páter Christian Kuβ (psáno někdy Kuss) ve svých ročenkách toto: „*Im Winter wechselte es fünf- bis sechs mal mit gelindem Frost und Thauwetter; auch fiel dann und wann Schnee, zum Theil viel. Im Februar wa es oft lauwarm, dabey aber trübe, stürmisch und sehr regnicht; im März rauh, daß nur wenige Tage, ja nur Stunden, etwas frühlingsmäßiges hatten. Der April war sehr kühl und regnicht; das Thermometer erhob sich an keinem einzigen Tage bis zur temperirt, und sank mehrmals ganz nahe an den Gefrierpunkt.“* (ve volném překladu: *V zimním období byl pětkrát nebo šestkrát mírný mráz a tání, tu a tam sněžilo. V únoru bylo často teplo ale zataženo bouřlivo a velmi deštivo a březen drsný. Duben byl velmi chladný a deštivý, teplota klesla několikrát k bodu mrazu.* F.J. Vavák píše ve svých pamětech mimo jiné: „*Okolo svátku Petra a*

Pavla sucho veliké, osení hubilo a ačkoliv přes celý červen, každý téměř den pršelo, ale nikdy ani dokonale prach se nesmočil a sice tak divné deštíky a přeháňky chodily, že nikdy u jedné vsi na všecka pole nepršelo...“ Zmiňuje velmi suché léto, následující zima pak byla také jedna z chladnějších.

Tolik z historických záznamů, které se zachovaly z doby po erupci sopky Laki. Je jich samozřejmě mnohem více, ale chod počasí je z těchto podkladů velmi dobře patrný.

Závěrem je nutné se zamyslet, co by se stalo dnes po tak rozsáhlé vulkanické erupci, která určitě přijde. Jsme velmi zranitelní, pro příklad není nutné dívat se daleko do minulosti – v roce 2010 sopka Eyjafjallajökull ochromila letecký provoz nad Atlantikem a nad Evropou a způsobila miliardové škody nejen obchodním společnostem. Přitom patřila k malým erupcím (Soukupová, 2013). Vulkanická událost tak rozsáhlá a časově dlouhá jako Laki by znamenala nejen zastavení letecké dopravy, ale také ohrožení obyvatel, ztráty v zemědělství, obchodu, tisíce pojistných událostí pokud by ji doprovázely živelné katastrofy v podobě bouří, krupobití a záplav a pravděpodobně by byly i ztráty nejhorší – na lidských životech. Nejsme a ani nemůžeme být na tuto událost dostatečně připraveni.

6. Souhrn a závěr části III.

Nebezpečí globální změny klimatu je přetřásáno už několik desetiletí. Nejhorší je, že se mění přirozené cykly. Postavili jsme jim do cesty civilizaci se všemi negativními důsledky, u některých oscilací jsme přesvědčeni, že je člověk ovlivňuje tím jak devastuje prostředí. Podívejme se na souvislost klima-vulkanická aktivita. Globální oteplování má nejsilnější efekt v polárních oblastech. V extrémním případě by se mohlo stát, že odtaje a rozpadne se grónský a antarktický ledový štít a dojde ke dramatickému zvýšení hladin oceánů. Změny mořské hladiny promění také rozložení tlaku zemské kůry a svrchního pláště a tím změny vulkanické činnosti – jejího zesílení či zvýšení frekvence. Země si tímto procesem zřejmě už nesčetněkrát prošla, naposledy na konci posledního glaciálu. Máme tu tedy hypotézu, že lidská civilizace může přispět k destabilizaci klimatického systému a tím přivolat katastrofy v podobě probuzených vulkánů.

Opačná vazba už byla mnohokrát zmíněna, velké erupce citelně ovlivňují klima na planetě, mnohdy až katastrofálně pro vše živé. Věda pokročila, ještě v předminulém století byly pro odborníky, natož laickou veřejnost, nepředstavitelné erupce větší než např. Krakatoa nebo Tambora. S novými metodami paleoklimatologie, geologie, paleontologie i poznatky historické klimatologie se lidské poznání otvírá do minulosti Země a ukazuje nám katastrofy, kterými Země prošla v nečekaném světle. Vymírání druhů, kolaps celé biosféry, později pak krize velkých civilizací – za tím vším můžou stát vulkány. Žijeme v období nečekaného klidu. Je až neuvěřitelné, jakého pokroku jsme dosáhli, ale Země nám napomáhá v tom, že se prakticky až na lokální katastrofy nic neděje, tedy nic tak katastrofického, aby byla v ohrožení civilizace. Když se podíváme zpět do historie, poslední velká erupce (sopka Taupo na Novém Zélandu) proběhla před 26 tisíci let. Sice jsou tu těžká období, kterými si člověk prošel, ale ta byla vždy zničující jen pro část populace. Zajímavé souvislosti přinášejí třeba klimatické poruchy jako byla malá doba ledová či pluviály, období s nepříznivými dešti, chladem a povodňovým neklidem. Podle kronik a proxy záznamů, které jsem zkoumala, přicházely pluviály většinou po době slunečního minima a také do té doby datujeme velké erupce v historickém záznamu. Jedním z dobře popsaných období klimatických změn spolu s velkými erupcemi a masivními povodněmi jsou léta 1645-1715 (Maunderovo minimum) a 1790-1830 (Daltonovo minimum). Právě před začátkem Daltonova minima začala soptit Laki.

Nedá mi to přirovnat k dnešku, ač to není vědecké a může to být jen sled náhod. V posledních letech je častější jev El Niño a právě tento jev můžeme pozorovat v době po erupci Laki také. Na Slunci je v dnešním, čtyřiadvacátém cyklu, velmi málo skvrn, cyklus nastupoval velmi pomalu, byly měsíce (08/2009) kdy na Slunci nebyly skvrny vůbec. Průběh tohoto cyklu svým tvarem křivky připomíná Daltonovo minimum. Pokud má sluneční aktivita vliv na sopečnou činnost (a mnoho autorů o tom nepochybuje), tak zřejmě Eyjafjallajökull v roce 2010 mohla být předvojem, a nebyla jediná. Islandští vulkanologové dávají najevo znepokojení, protože tato sopka může být (a nejspíše také je) nad stejným magmatickým krbem jako Katla a jejich erupce bývají časově blízké.

Eyjafjallajökull byla subglaciální erupce z báze masivu staré asi milion let, přilehlému či spojenému s vulkanicým komplexem Katla. Tefra, spadlá na Island představovala 140 ± 20 . 10^6 m^3, mimo Island se dostalo 130 ± 50 . 10^6 m^3, odhadem celkem tedy 0,27 km^3 tefry (Laki vyprodukovala asi 15 km^3). Sloupec výbuchu nedosáhl 10 km výšky, VEI byla 3. Popel měl velmi malé velikosti částic, erupce trvala poměrně dlouhou dobu 39 dnů (14. 4. – 22. 5. 2010), trvalé S a SV větry nesly oblak nad Atlantik a část Evropy, proto byla zastavena letecká doprava. Čs. aerolinie hlásily ztrátu 150 – 200 milionů Kč, celosvětové ztráty dosáhly miliardy dolarů (Porkelsson, 2012)

Zahrozila také Bárdárbunga (Island) a další sopky na celém světě, naštěstí jsme se nedočkali větší erupce. To se ale může změnit ze dne na den. Aktivních sopek je mnoho a velké erupce s VEI nad 5 bývají každé století. Nemohu opomenout také skutečnost, že nyní žijeme opět v pluviálu. Podle výzkumu p. Doc. Vašků, který o pluviálech psal ještě před katastrofálními povodněmi v roce 1997, čeká nás teď několik desetiletí povodňového neklidu. Souvisí to? Nevíme. Tyto přírodní děje mohou ale nemusí jít ruku v ruce. Osobně se domnívám, že tomu tak je, protože Země je tak jedinečný a provázaný systém a její okolní kosmické prostředí je natolik typické, že tyto jevy nepřichází náhodou. Nevíme proč a jak se mění aktivita Slunce, ale cítíme její vliv na klima, nevíme ještě přesně jak funguje jádro a plášť naší planety ale dokážeme souvislosti hledat.

Jaké je obecné sopečné riziko? Laki má interval činnosti podle zkoumání jejích uloženin asi 300 let, ale výlevný vulkanismus se bohužel předpovídat nedá. Vulkány s VEI nad 6 jsou aktivní asi dvakrát za 1 000 let. VEI 5 pak má interval stoletý, VEI 4 přibližně padesát let. VEI 3 a nižší mohou zahrozit každých 10 let, některé sopky jsou aktivní stále (VEI 1).

Erupce poblíž velkého města jako je poměrně dost ohrožené Tokio, Mexico City či Neapol by si vyžádala rozsáhlou evakuaci. Vulkanický spad – popel a plyny by zasáhly lidskou populaci a ovlivnily zdraví lidí.

Podívejme se podrobněji na nebezpečí na příkladu Laki. Musíme předpokládat, že moderní populace je lépe živená, chráněná a hlavně informovaná než lidé v 18. století, kdy průměrná délka života byla 39,2 roku. Sopečný popel by ovšem zhoršil většinou

civilizační choroby – srdce, astma, alergie. První tři měsíce po Islandské erupci by koncentrace částic tzv. $PM_{2,5}$, tedy menších než 2,5 µm vzrostla o 120 %, v severských zemích až o 300 % (Smidt et al., 2011). Jemné částice $PM_{2,5}$ se dostávají hluboko do dýchacího systému do dolních cest dýchacích a způsobují zánětlivá onemocnění plic buďto okamžitě nebo v dlouhodobém měřítku chronická, nemoci srdce a další. A teď si představme že koncentrace po erupci Laki mohla dosáhnout až 3000 µg/m^3 (Grattan et al, 2003)! Evropská norma WHO je 24 µg/m^3. Podle WHO částice $PM_{2,5}$ zabijí ročně dva miliony lidí (kardiopulmonální účinky) a v létě tyto zplodiny díky fotochemickým reakcím působí silněji a nebezpečněji. Ovzduší v letech 1783-4 bylo samozřejmě daleko čistší. Dnes atmosféra nad velkými městy a průmyslovými oblastmi je velmi znečištěná, díky tomu může ale dojít k nepředvídatelným chemickým reakcím sopečných zplodin a imisí v atmosféře. Pochybuji, že by pomohly roušky či dýchací přístroje, populace by byla kriticky ohrožena.

Pokračujme v popisu dalších rizik. Kyselá depozice může vést k poškození půdy a přírodních ekosystémů. Důkazy o škodách na vegetaci máme dobře zdokumentované po erupci Laki hlavně ze západní Evropy a Velké Británie. Klimatické změny by závisely na období erupce na Islandu, v letním období bychom mohli očekávat velmi silné bouřky a přívalové deště (Soukupová, 2013), zima pak by přišla velmi studená a podle velikosti erupce by studených mohlo být ještě několik let. Mělo by to dopad na zemědělství a ceny potravin. Škody způsobené letecké dopravě a na infrastruktuře by vyvolaly ekonomické problémy, škody na lidských sídlištích vysokou míru pojistných událostí. Jsme v tomto případě velmi, velmi zranitelní.

Pokud by v naší civilizované době došlo k supererupci, asi bychom zdaleka všichni nepřežili. Poslední supererupce, o které víme proběhla před 26 tisíci lety na Novém Zélandu (Taupo), předtím to byla Toba, před 73 tisíci lety. Tyto sopky jsou spící, ale aktivita je monitorována. Velké zpoždění má podle vědců erupce Yellowstone či Tambora - mají velký magmatický krb a jsou stále aktivní. Pod Yellowstone dříme magmatická komora (podle posledních měření) velká 4300 km^3! Spoustu sopek jsme ještě neobjevili nebo o jejich aktivitě nic nevíme.

O účincích supererupce můžeme jen spekulovat. Pyroklastické mraky by zpustošily okolí sopky až do 100 km. Mnohem širší pásmo by bylo zasaženo sopečným spadem. Popel zatíží budovy a způsobí jejich zřícení. Dojde k rozsáhlým škodám na infrastruktuře, zemědělské půdě, lidských obydlích. Lidé budou umírat bezprostředně po vdechování většího množství popela a sopečných zplodin. Dojde ke kolapsu chodu společnosti, přeplněné nemocnice nebudou stačit přibývajícím stovkám raněných a nemocných, mimo provoz budou obchody a banky, váznout bude doprava a zásobování potravinami, přerušeny budou rozvody elektřiny a vody. Může se objevit drancování a násilí. Pitná voda bude kontaminovaná, bude nedostatek léků, můžou vypuknout epidemie. Časté požáry nebude možné uhasit. Následovat bude hluboká klimatická změna, pravděpodobně silná zima, sluneční světlo nepronikne hustými sopečnými oblaky. Z historických dokumentů víme, že velké erupce byly schopny na několik dnů i týdnů zastínit slunce a atmosféra se do normálu vracela i roky. Zemědělství bude v krizi, bude nedostatek potravin. Zcela určitě část lidské populace nepřežije. Lidstvo se neumí bránit. Většina z nás nemá zásoby potravin, léků ani vody. Velká města sice mají plán pro včasnou evakuaci (Neapol), ale podle výzkumů sociologů by zřejmě převážil chaos a nebylo by možné dostat všechny postižené bez rizika od sopky.

Lidé nejsou připravení ani na malou erupci, znovu připomenu Eyjafjallajökull, kdy miliardové škody způsobilo pouhé zastavení letecké dopravy. Přeplněné letištní terminály hovořily za vše. Jsme na výdobytky své civilizace až nestoudně zvyklí. Vypadne-li elektřina v supermarketu, jdeme domů bez potravin (protože nejdou kasy ani bankovní terminály), nevybereme si peníze na poště, neuvaříme, neohřejeme se. Málokdo má doma zásoby trvanlivých potravin. Po kolapsu dopravy by velkoměsta měla potraviny tak na týden. Nebyly by pohonné hmoty, takže ani ti co vlastní vozidlo by se z postižených oblastí nedostali. Nejhůře by na tom ovšem byli starší lidé, ti nejchudší občané a osamělí jedinci. Je to nesmírně těžké a smutné, ale nemůžeme se nikdo bránit. Považuji za nejlepší devizu informovanost lidí, alespoň to, že riziko existuje a že je značné, ale osm z deseti lidí se nezajímá a nezná tyto skutečnosti.

Na zajímavou myšlenku mne přivedla kniha Petera Warda Rare Earth a to, že přírodní katastrofa typu supervulkánu může stát za tím, že v blízkém vesmíru jsme nenalezli zatím ani stopy po mimozemských civilizacích.

Clive Oppenheimer v knize Eruption that shock the World vyslovuje názor, že v minulosti najdeme častá potvrzení lidské odolnosti a flexibility, altruismu. Možná že supererupce je podle tohoto autora to co lidstvo potřebuje, aby nežilo konzumním způsobem života, aby se spojilo a postavilo čelem ke katastrofě, aby zapomnělo na politické šarvátky a války, náboženskou nesnášenlivost a nedůvěru mezi národy. Hrozba supererupce může inspirovat vlády k tomu, aby řešily trhliny v globální společnosti, chudobu a ekonomickou nerovnost. S jeho názorem se plně ztotožňuji, protože Země bude stále geologicky i seismologicky aktivní a hlavní otázkou je ne *jestli* erupce přijdou, ale *kdy* přijdou.

ZÁVĚR PRÁCE

Zkoumání minulosti Země a průběhu klimatu v dobách, kam už lidská paměť nedosáhne a kam můžeme pouze prostřednictvím indicií, přináší spoustu otázek a málo odpovědí. Nevíme spoustu věcí, množství dat nám nepomůže k porozumění, ale přece jen věda jde kupředu mílovými kroky a na jejím základě se vytvářejí nové hypotézy, teorie a nové poznatky.

Proč je zkoumání minulého klimatu tak důležité? Stojíme na prahu převratných změn, jak antropogenních, které jsou poměrně mírné, tak i geofyzikálních a změn našeho kosmického okolí. Antropogenní změny zmiňuji ve své práci jen okrajově, ale jen připomenu, že člověk se na Zemi chová jako pán planety a přetváří životní prostředí takovým způsobem, že jej už můžeme vnímat jako hybnou sílu všech dějů na planetě. Co se tedy může stát s lidskou civilizací, když se bude historie opakovat? Pokud například objem CO_2 v atmosféře překročí určitou mez (a my k tomu vydatně přispíváme), bude tu klima jako v karbonu, kdy bylo o několik stupňů tepleji? Co se stane pokud oteplíme planetu tak, že se uvolní hydráty metanu, zatím celkem bezpečně skryté na dně polárních moří? Způsobí to skočný skleníkový efekt, obrovské oteplení a tání ledovců v takové míře, že to vyústí v další, už šesté velké vymírání? Musíme počítat s tím, že ze 7 miliard lidí by pak zůstala asi pětina. Ještě horší tragédie

by byla vulkanická aktivita podobná plášťovému velehřibu na Sibiři, který svou aktivitou, trvající asi milion let, vyhladil devadesát procent druhů na Zemi. Obdobným, i když poněkud menším dopadem hrozí probuzení magmatického krbu pod Yellowstone. Případně – dopadneme jako dinosauři? Planetka Apophis, jejíž přílet se čeká v roce 2029 a návrat posléze o deset let později je schopna obrátit část některé země v trosky. Může se vůbec lidstvo připravit na takovýto scénář? Podívejme se na přehled rizik. Všechny vlivy na klima, biosféru a ekosystémy na naší planetě můžeme rozdělit na:

ovlivnitelné a to:

- antropogenní zatížení a to
    - zemědělství, platné pro posledních 9 000 let
    - zesílená forma – průmysl + zemědělství posledních asi 250 let
    - budoucí zatížení – nejspíše se nepodaří najít „čistou“ formu energie, takže to bude průmysl+ zemědělství + přelidnění Země

neovlivnitelné

- geofyzikální a to:
    - dlouhodobé, pomalé změny a to:
        - zdvih horstev
        - tání ledovců
        - změny magnetického pole Země
        - pohyb litosférických desek Země
    - náhlé a katastrofické změny a to:
        - zemětřesení, tsunami (ovlivněné pohybem litosf. desek)
        - erupce vulkánů
        - silné bouře a další klimatické poruchy
- změny pocházející z našeho kosmického prostředí a to:
    - dlouhodobé změny
        - rozpínání kosmu a pohyb galaxie
        - pohyb barycentra sluneční soustavy
        - pohyb Měsíce (jeho vzdalování od Země)
        - Milankovičovy parametry

- krátkodobé změny
  - sluneční cyklus
  - erupce na Slunci
  - záblesky gama záření

Celá studie prokazuje, že přírodní procesy, kterými byla formována naše Země jsou složité, mocné a lidmi neovlivnitelné. Některé procesy jsou daleko ničivější než změny působené člověkem.
V historii Země odhalujeme období, kdy byl život na samém pokraji zkázy. Naše civilizace se prokazatelně vyvinula v období klidu. I taková období byla v minulosti Země ale některá skončila ekologickou katastrofou ať už působením vnitřních sil Země nebo dopadem vesmírného tělesa (či vesmírným zářením). Tato období spolu s mechanismy, které mohly katastrofické kolapsy biosféry ovlivnit, jsou popsána v práci.

Evropa je velice klidné místo, my zde žijící si nedokážeme představit, co může způsobit třeba jen velká erupce blízké sopky. Klimato-historický průzkum, který je součástí této práce poukazuje na změny způsobené vulkanismem – jejich zpracování z pohledu starých kronikářů a pisatelů deníků a novinových zpráv. Jsou to jedinečné záznamy, kterých existuje málo (pro čas do 18. století, což je předmětem této studie) a špatně se hledají, nicméně prokazují klimatologům obrovskou službu pohledem na nenadálé – především klimatické – změny. Tyto unikátní zdroje poskytují jakýsi scénář toho, co by se mohlo stát v budoucnosti.

Z celé studie vyplývá, že klid, který panuje na naší planetě je jen dočasný, klimatické změny, které vnímáme nyní, jsou mírné a civilizace se může rozvíjet.
Přírodní procesy ať už geofyzikální nebo procesy našeho blízkého kosmického prostředí jsou neovlivnitelné, v mnoha případech nepředvídatelné a v každém případě nebezpečné pro naše klima, biosféru a civilizaci. V budoucnu zcela určitě ovlivní naši Zemi.

SLOVNÍČEK POJMŮ

Agassiz	*Agassiz (anglicky Lake Agassiz) bylo sladkovodní jezero, které existovalo přibližně před 10 000 až 12 000 lety na okraji ledovcového štítu v Severní Americe. Nazváno bylo na počest švýcarského přírodovědce G. Agassize. Bylo ze severu na jih 1100 km dlouhé a ze západu na východ 400 km široké a svou rozlohou 440 000 km² bylo větší než je dnešní rozloha Kaspického moře. Dosahovalo maximální hloubky 200 m*
AMO	*atlantická multidekadická (dlouhodobá) oscilace, její perioda je 50 – 90 let, přírodní cyklus, mechanismus není ještě dostatečně prozkoumaný, byla objevena kolem r. 2000 AMO funguje nejméně tisíc let, ale možná po téměř celý holocén* *její příčinou je zrychlení oceánické cirkulace, takže více vody z teplého jihu dosahuje na sever*
amoniti	*Amoniti (Ammonoidea) jsou velmi rozsáhlou skupinou vyhynulých hlavonožců, žijících v období siluru až konce křídy (asi před 425–65,5 miliony let). „Praví“ amoniti však vznikli až v triasu. Především v období druhohor byli nesmírně četní a jsou proto často využíváni jako vůdčí fosílie na paleontologických lokalitách. Charakteristická je pro ně zavinutá schránka. Obvykle dosahovali velikosti v řádu několika až několika desítek centimetrů, existovali však také obři se schránkou o průměru téměř 3 metrů (rekordní exemplář měří na výšku asi 2,3 metru). Amoniti zřejmě vymřeli spolu s dinosaury na samém konci druhohor, některé objevy však naznačují, že mohli přežít ještě do starších třetihor.*
antropocén	*období, kdy se lidské aktivity stávají jednou z velkých globálních sil*
AO	*arktická oscilace, rozdíl tlaků a teplot mezi Arktidou a mírnými šířkami její trvání se obvykle proměňuje během několika týdnů či měsíců a její vliv je obzvlášť patrný v zimních měsících.*
aphelium	*bod, ve kterém se těleso na své dráze nejvíce vzdálí od Slunce, je afélium (aphélium)*
aptian	*útvar ve spodní křídě*
archaikum	*archaikum (archeozoikum, prahory) je geologické období- eón Země, které následovalo po hadaiku a předcházelo proterozoiku. Nejčastěji se datuje do doby před 3800 až 2500 miliony let. Název archaikum zavedl v roce 1872 americký geolog J. D. Dana*
archeocyáti	*Archeocyáti (jméno odvozeno od achaios = starobylý a kyathos = pohár, číše) jsou vyhynulou skupinou výlučně mořských, přisedle žijících organizmů, které si vytvářely solitérní nebo koloniální vápnité kostry kuželovitého až pohárkovitého tvaru.*

astenosféra	*Astenosféra je plastický obal Země, který umožňuje pohyb litosférických desek. Bez existence astenosféry by se desky nemohly pohybovat, a tak by nebyla možná obnova zemské kůry. Název pochází z řeckého slova asthenos – slabý, či bez síly. Někdy se tedy hovoří o oslabené vrstvě Země.*
asteroid	*Asteroid je starší a nepřesné, leč stále často používané označení těles, které se správně nazývají planetky.* *Označení asteroid (latinsky hvězdě podobný) pochází od Williama Herschela z roku 1802:"Pro tento jejich hvězdný vzhled, pokud mohu použít takového výrazu, tedy proto jsem si vytvořil vlastní pojmenování a nazývám je asteroidy; vyhrazuji si však nicméně volnost změnit toto pojmenování, jestliže jiné, výstižnější povaze jejich, se objeví. Pojmenování bylo použito k popisu jejich malé zdánlivé velikosti, nikoliv k odlišení od ostatních planet" (na počátku 19. století se myslelo, že byly objeveny další planety sluneční soustavy)*
Barrandien	*Barrandien je oblast mezi Prahou a Plzní, na jejímž území se nachází velké množství geologicky a paleontologicky významných lokalit období starších prvohor*
barycentrum sluneční soustavy	*těžiště sluneční soustavy*
bentičtí živočichové	*živočichové žijící na dně*
berylium	*Berylium, chemická značka Be, (latinsky Beryllium) někdy také berylium je nejlehčím z řady kovů s2, tvrdý, šedý kov o značně vysoké teplotě tání. Velmi dobře propouští radioaktivní záření. Jeho soli jsou mimořádně toxické.*
biber, donau, mindel, riss a würm	*doby ledové – pleistocenní glaciály v alpském dělení zalednění*
blokující anticyklóny	*jsou to kvazistacionární mohutné tlakové útvary vysokého tlaku vzduchu*
brachiopodi	*brachiopodi (ramenonožci, Brachiopoda) kmen mořských živočichů s dvoudílnou vápnitou nebo chitinózní (někdy s fosfátem) schránkou o velikosti 5 mm až 20 cm. Rozlišují se schránky hřbetní a břišní, které obvykle bývají nestejně velké, bilaterálně symetrické. Větší mají otvor pro stvol, jímž je živočich připoután ke dnu*
burgeské břidlice	*Burgesské břidlice (z angl. Burgess Shales) jsou slavná kanadská naleziště fosílií, které se nachází v Kanadských Skalistých horách v Britské Kolumbii. Jsou stará 505 milionů let (střední kambrium) a představují tak jedno z nejstarších nalezišť fosílií živočichů na Zemi*
cenoman	*Cenoman je nejstarší geochronologická jednotka svrchní křídy. Období pozdního cenomanu zaznamenalo nejvyšší hladinu světových oceánů za posledních 600 milionů let.*

cirkumatlantický proud	*systém proudů, který obepíná Antarktidu*
Coriolisova síla	*Coriolisova síla je setrvačná síla působící na tělesa, která se pohybují v rotující neinerciální vztažné soustavě tak, že se mění jejich vzdálenost od osy otáčení. Coriolisova síla má směr kolmý ke spojnici těleso - osa otáčení a způsobuje stáčení trajektorie tělesa proti směru otáčení soustavy. Je pojmenována po Gustavu Gaspardu de Coriolisovi, který se silami v rotujících soustavách zabýval*
čedič	*tmavá vyvřelá hornina, vzniklá ztuhnutím lávy po jejím vylití na zemský povrch*
Český masív	*Český masiv (také Český masív) je pozůstatek kolizního orogenu, který přesahuje území České republiky. Jedná se o jednu ze dvou základních geologických jednotek na území ČR (tou druhou jsou Západní Karpaty)*
Dansgaard-Oescherovy oscilace (události)	*rychlé kolísání (oteplení) klimatu, ke kterému dochází přibližně v periodě 1470 let, spouštědlem jsou zřejmě interakce mezi oceánskou a atmosférickou cirkulací*
dendrochronologie	*Dendrochronologie (z řeckého δένδρον - strom, χρόνος - čas a λογία - věda) je vědecká metoda datování založená na analyzování letokruhů dřeva. Umožňuje určit stáří dřeva s přesností na kalendářní rok. Nejdelší známá souvislá řada jde asi 11 000 let do minulosti. Metoda posloužila také pro přesnější kalibraci radiokarbononové metody*
desertifikace	*Dezertifikace je proces degradace území na pouštní, polopouštní nebo podobně vypadající, na vodu chudou oblast. Způsobena může být různými globálními klimatickými jevy, přirozenými i člověkem vyvolanými, také i přímou lidskou činností v dané oblasti či v oblastech těsně sousedících*
desková tektonika	*Desková tektonika je komplexní vědecká teorie zabývající se dynamickým vývojem systému tektonických desek na povrchu Země v návaznosti na procesy a strukturu zemského pláště. Nejsvrchnější vrstva Země tzv. litosféra je podle této teorie rozlámána na několik částí, které se vůči sobě mohou pohybovat díky plastické astenosféře, která je pod nimi. Na tzv. středooceánských hřbetech vzniká nová oceánská kůra, stará se naopak zanořuje do zemského nitra v místech tzv. subdukcí. Kontinentální kůra je zřejmě víceméně stabilní, ale i u ní dochází ke kolizím (např. mezi Indií a Asií díky níž vznikly Himaláje). Pohyb tektonických desek je v rozmezí 0 až 100 mm/rok, jednotlivé desky se ale pohybují různými směry i rychlostmi. Desková tektonika je také velmi účinný proces pro chladnutí planety, což umožňuje generování silného geomagnetického pole kolem Země – žádný jiný objekt (s možnou výjimkou ledových měsíců) ve Sluneční soustavě známky deskové tektoniky dnes nevykazuje.*

deuterium	*Jako deuterium se označuje atom s jádrem ^{2}H, který obsahuje v jádře jeden proton a jeden neutron a od běžného vodíku se liší především atomovou hmotností, která činí 2,01363 amu. Někdy mu bývá přiřazována i chemická značka D, přestože se nejedná o jiný prvek*
devon	*Devon je útvarem paleozoika v nadloží siluru a v podloží karbonu. Časově je vymezen hranicí 416 ± 2,8 mil. let až 359,2 ± 2,5 mil. let. Spodní hranice je vedena na bázi graptolitové zóny Monograptus uniformis a mezinárodním stratotypem je odkryv u Klonku u Suchomast (usnesením 24. mezinárodního geologického kongresu v Montrealu 1972). Svrchní hranice je totožná s horní hranicí goniatitové zóny Wocklumeria (usnesení 26. MGK v Paříži 1980). Klasickou oblastí je hrabství Devonshire v Anglii, odkud byl poprvé popsán Murchisonem a Sedgwickem (1939). Obecně se devon dělí na tři oddělení - spodní, střední a svrchní*
DNA	*DNA (čili deoxyribonukleová kyselina, zřídka i DNK) je nukleová kyselina, která je nositelkou genetické informace všech organismů s výjimkou některých nebuněčných, u nichž hraje tuto úlohu RNA (např. RNA viry). DNA je tedy pro život nezbytnou látkou, která ve své struktuře kóduje a buňkám zadává jejich program a tím předurčuje vývoj a vlastnosti celého organismu*
dryádka osmiplátečná	*Dryádka osmiplátečná (Dryas octopetala) je skalnička, je právem považována za jednu z nejkrásnějších vysokohorských dřevitých rostlin. Kromě skalních sutí, skal, vyvýšenin a alpínské výšky rostlinstva v Evropě se s nimi můžeme setkat také v arktických oblastech.*
dryas	*studený výkyv na konci poslední doby ledové, nazván podle dryádky osmiplátečné, která v té době byla velmi rozšířena*
ediakarská fauna	*ediakarská fauna ("Ediacaran fauna"): zvláštní, bohatá, měkkotělní fauna (bez aktivního pohybu) z pozdního prekambria, která vytvořila rozsáhlé mořské ekosystémy, které MCMENAMIN & SCHULTE MCMENAMIN (1990) nazvali příznačně "ediakarská zahrada" ("Garden of Ediacara"); poprvé byla popsána z australského pohoří Ediacara*
eem	*poslední interglaciál*
El-Niňo	*El Niño (Španělsky Dítě) původní název jevu, který pozorovali jihoameričtí rybáři ve vodách Tichého oceánu. Jedná se o zeslabení studeného oceánského Peruánského proudu (též Humboldtův proud) a s tím související oteplení tamních vod. Tato událost nastávala obvykle kolem Vánoc a proto byla rybáři nazvána El Niño Jesus, což česky znamená Ježíšek. Dnes se setkáváme výhradně s výrazem El Niño*
ENSO	*ENSO (El Niño Southern Oscillation) je souborem interakcí jednotlivých částí celosvětového klimatického systému a jejich kolísání, které se projevuje souslednými událostmi v atmosférické a oceánské cirkulaci. ENSO je nejvýznamnějším známým zdrojem meziroční proměnlivosti počasí a klimatu v různých částech světa (s přibližným cyklem 3 až 8*

	roků), ovšem ne všechny oblasti světa jím jsou ovlivněny
eocén	*Eocén (55,8 Ma - 33,9 Ma) je geologická epocha v období třetihor*
eolitická sedimentace	*vzniká větrnou činností, eolitické sedimenty se vyznačují velmi dobrou vytříděností klastického materiálu s velmi dobrou opracovaností zrn, což je výsledek neustálých srážek písečných zrn mezi sebou (příklad – saharský písek – velmi jemný a kulatá zrna)*
epikontinentální moře	*mělké moře, které pokrývá šelfy nebo vnitřní části kontinentů.*
eukaryonta	*Eukaryota (též Eukarya či česky jaderní) je velká skupina (doména) jednobuněčných a mnohobuněčných organismů, jako jsou například živočichové, rostliny, houby nebo prvoci. Eukaryotická buňka na rozdíl od prokaryotní obsahuje pravé buněčné jádro a množství dalších organel oddělených membránou od okolí. Tyto struktury rozdělují buňku na mnoho menších oddílů (kompartmentů). Eukaryotní organismy mají množství jiných unikátních znaků, jako je například specifická struktura bičíků a řasinek, existence cytoskeletu, určité odchylky ve struktuře genomu (např. DNA rozdělená do jednotlivých chromozomů), schopnost pohlavního rozmnožování a mnohá další metabolická a biochemická specifika*
eustatické změny mořské hladiny	*celoplanetární pokles (regrese) nebo vzestup (transgrese) mořské hladiny*
evapority	*sedimentární horniny vzniklé odpařením mořské vody, typický je dolomit, halit*
facie	*Facie je souhrn vlastností sedimentu (a v něm zkamenělin), které vyplývají z geografické povahy místa vzniku a podmínek usazování. Rozlišuje se podle geografického vývoje (například pobřežní, hlubokomořská, jezerní atd.) či podle petrografického vývoje (pískovcová, jílovitá, vápencová atd)*
Ferelovy buňky	*jsou součástí všeobecné cirkulace atmosféry, jsou to atmosférické buňky mezi Hadleyovými a Hadleyovými polárními buňkami*
firn	*Firn je přechodné stádium mezi sněhem a ledem. Vzniká opakovaným natáváním a mrznutím sněhu. Během něho dochází ke zmenšování objemu sněhového tělesa a zvyšování jeho hustoty. Změny ve struktuře krystalů postupně mění sníh na led, který v dostatečné mocnosti začne tvořit ledovec.*
foraminifery	*Dírkonošci (Foraminifera, tedy v překladu „otvůrky nesoucí“) jsou jednobuněční mořští prvoci z říše Rhizaria. Vytvářejí vápnité, často velmi ozdobné schránky s mnoha drobnými otvůrky, z nichž vychází panožky. Jednobuněčnou nebo vícebuněčnou schránku vyplňuje protoplazma, která z něj částečně vystupuje ústím nebo drobnými póry. Dírkovci se vyskytují od prvohor dodnes. Mnohé rody se v určitých*

	obdobích mimořádně rozšířily, jejich schránky měly podíl na tvorbě hornin (rod Fusulina v karbonu, Discocyclina a numulity v paleogénu). Na některých skupinách dírkovců je založená jemná stratigrafie druhohor (např. rody Globotruncana, Orbitoides) a třetihor (numulity, Miogypsina, Globorotalia), některé rody žijí v dnešních mořích (rod Globigerina)
fosílie	*V širším slova smyslu jsou slovem fosílie označovány zkamenělé i nezkamenělé zbytky a otisky jiných než recentních organismů. Často se za fosílie považují také stopy po činnosti těchto organismů*
fosilní paliva	*Fosilní palivo je nerostná surovina, která vznikla v dávných dobách přeměnou odumřelých rostlin a těl za nepřístupu vzduchu. Řadí se sem především ropa, zemní plyn a uhlí.*
fotosyntéza	*Fotosyntéza (z řeckého fós, fótos – „světlo“ a synthesis – „shrnutí“, „skládání“) nebo také fotosyntetická asimilace je biochemický proces, při kterém se mění přijatá energie světelného záření na energii chemických vazeb. Využívá světelného, např. slunečního, záření a tepla k tvorbě (syntéze) energeticky bohatých organických sloučenin – cukrů – z jednoduchých anorganických látek – oxidu uhličitého (CO_2) a vody. Fotosyntéza má zásadní význam pro život na Zemi*
freatická erupce	*také freatomagmatická erupce – sopečná erupce při niž se magma dostane do styku s podzemní vodou, horninami které vodu obsahují nebo s povrchovou vodou* *voda se okamžitě mění v páru což umocňuje erupci*
Gaia	*Gaia (řecky země, latinsky Tella nebo Terra), někdy také nazývána Gé je v řecké mytologii bohyní země a sama Země. Moderní mytologie i někteří vědci operují s tzv. teorií Gaii, která chápe planetu Zemi a její biosféru jako Gaiu, jediný ucelený superorganismus reagující na podněty*
glaciál	*doba ledová, odborně glaciál, je relativně studené a relativně suché období čtvrtohor, kdy docházelo k mohutnému rozvoji zalednění a poklesu mořské hladiny*
Gleissbergův cyklus	*90ti letý Gleissbergův cyklus aktivity slunečních skvrn, který moduluje intenzitu jedenáctiletého cyklu*
Glossopteris, Gangamopteris	*rostliny v karbonu, zřejmě kapradiny, rostly na souši superkontinentu Gondwana*
graptoliti	*Graptoloidi (lat. Graptolithina: název odvozen z řeckého graphos = psát, lithos = kámen) jsou vyhynulou skupinou výlučně mořských koloniálních živočichů, mající vzhled prutů nebo keříků. Jsou v paleozoiku významnou třídou řazenou do kmene polostrunatců (Hemichordata). Mají mimořádný stratigrafický význam v ordoviku a siluru.*

Halleyova kometa	*1P/Halley (také často Halleyova kometa) je kometa, která je ze Země vidět každých 75-76 let. Je nazvaná po Edmondu Halleyovi, který jako první předpověděl její návrat. Ke Slunci se přibližuje nejblíže na 88 miliónů km. Je nejznámější ze všech komet, které se objevují periodicky. Přestože se každé století objevuje mnoho jasnějších komet, Halleyova kometa je jediná, která se objevuje v krátkých časových intervalech a je viditelná pouhým okem*
Heinrichovy vrstvičky	*vrstvy mořských sedimentů pocházejících ze souše*
holocén	*Holocénem nazýváme nejmladší geologické období, které začalo koncem poslední doby ledové před 12 000–10 500 lety (tedy v letech 10 000–8500 př. n. l. Konec doby ledové byl způsoben rozsáhlou klimatickou změnou – oteplením, které umožnilo přechod lidstva od sběračství a lovectví k pastevectví a zemědělství a tím vytvořilo podmínky pro vznik prvních civilizací.*
hominidé	*hominidé (Hominidae) je čeleď primátů z nadčeledi hominoidi (Hominoidea). Někdy se uvádí český název čeledi Hominidae jako „lidem podobní“*
hydráty metanu	*Metan hydrát (MH) je chemická sloučenina metanu s aditivními molekulami vody ==> CH4.24H2O kryst. dodecahedron* *tvoří vrstvy ledových krystalů, často zvaných ohnivé kameny*
hydrosféra	*hydrosféra (vodní obal Země) představuje soubor všeho vodstva Země – tj. povrchové vody, podpovrchové vody, vody obsažené v atmosféře a vody v živých organismech. Celkové zásoby vody na Zemi činí asi 1 385 989 600 km³, z toho sladká voda představuje 2,53 %*
ichnofosílie	*stopy po činnosti organismů (vrtání, pohyb) ve fosilním záznamu*
impakt, impaktní kráter	*Impaktní kráter je prohlubeň přibližně kruhového tvaru na povrchu těles v planetární soustavě (planet, měsíců a planetek). Impaktní krátery mají průměr od několika mikronů do tisíce kilometrů. Dno typického impaktního kráteru leží níže než jeho okolí. Jeho vyvýšený okraj se prudce svažuje do středu kráteru a pozvolna vnějším směrem. Velikost kráteru především záleží na velikosti dopadajícího tělesa (projektilu), na jeho rychlost při dopadu a jeho složení. Velikost kráteru je také významně ovlivňována vlastnostmi cílového tělesa*
interglaciál	*doba meziledová, období relativně vlhké a teplé*
iridium	*Iridium je drahý kov šedivě bílé barvy* *Iridium je prvkem se značně nízkým zastoupením na Zemi i ve vesmíru.*
izotopy	*Jádra atomů izotopů jednoho chemického prvku mají stejný počet protonů, ale mohou mít rozdílný počet neutronů. Mají tedy stejné atomové číslo a rozdílné hmotové číslo a atomovou hmotnost. Název pochází z řecké předpony iso- (stejno-) a topos (místo), protože v*

	periodické tabulce se nacházejí na stejném místě.
jet stream	*Tryskové proudění neboli jet stream je proudění charakteristické rychlostmi větru přes 30 m.s^{-1} (108 km.h^{-1}, 67 mph), prostor vymezený izotachami vymezujícími tryskové proudění má značně protáhlý zploštělý tvar. Charakteristickým znakem je také vertikální střih větru kolem 10 m.s^{-1} (36 km.h^{-1}, 22 mph) na 1 km výšky. V troposféře se vyskytuje nejčastěji 1 až 2 km pod tropopauzou na hranici sousedících vzduchových hmot, jejichž teploty jsou výrazně rozdílné. Jsou tedy mezi polární, Ferrelovou a Hadleyovou buňkou*
jura	*jura je geologická perioda patřící do éry mezozoika. Její začátek je datován přibližně před 200 miliony let, konec před 145 miliony let. Název je odvozen od pohoří Jura (Švýcarsko, Francie, autor A. von Humbolt 1795). Jako samostatný útvar byl definován roku 1829 A. Boném. Juru charakterizuje druhá největší transgrese moře, které pokrývalo až 25 % dnešní známé souše*
kaldera	*rozsáhlá kráterovitá prohlubeň, vzniklá propadem sopky do dutiny po vychrleném materiálu nebo rozmetáním sopky*
kambrium	*Kambrium je první perioda prvohor (paleozoika). Jeho počátek je kladen před cca 542 mil. let, končí cca před 488 mil. let se začátkem ordoviku. Je nejstarším obdobím, v jehož horninách byly nalezeny četné fosilizované mnohobuněčné organismy. Název poprvé použil anglický geolog A. Sedgwick roku 1833 dle latinského označení severního Walesu (Cambria) pro spodní část vrstev ležících diskordantně na proterozoiku*
karbon	*Karbon je geologickým útvarem prvohor (paleozoikum) a je tedy také součástí eónu fanerozoika. Počátek karbonského útvaru se klade 354 milionů let (Ma) zpět do minulosti a jeho spodní hranice je vymezena nástupem druhu Siphonodella sulcata, což je drobný konodont (Conodonta). Stratotyp spodní hranice je v jižní Francii západně od Montpellier na kopci La Serre v Montagne Noire. Svrchní hranice je vymezena ve stratotypu u Aidaralašského potoka v Jižním Uralu v severním Kazachstánu – 50 km od města Aktjubinsk, kde je hranice vymezena také výskytem konodont. Konec karbonu je kladen 298 milionů let (Ma) zpět. Dělení karbonu se stále vyvíjí, nicméně se obecně dělí na starší spodní karbon a mladší svrchní karbon, přičemž uvažovaná hranice je stále věcí diskuzí a dohadů*
klima	*podnebí neboli klima je dlouhodobý stav počasí, podmíněný energetickou bilancí, cirkulací atmosféry, charakterem aktivního povrchu a dnes i člověkem*
koevoluce	*Koevoluce je společný evoluční vývoj dvou či více druhů, při němž dochází k jejich vzájemnému přizpůsobování. Je důsledkem symbiózy určitého typu mezi těmito dvěma druhy.*

kometa	*Kometa, zastarale vlasatice, je malý astronomický objekt podobný planetce složený především z ledu a prachu a obíhající většinou po velice výstředné (excentrické) eliptické trajektorii kolem Slunce. Komety jsou známé pro své nápadné ohony. Většina komet se po většinu času zdržuje za oběžnou dráhou Pluta, odkud občas nějaká přilétne do vnitřních částí sluneční soustavy. Velmi často jsou popisované jako „špinavé sněhové koule“ a z velké části je tvoří zmrzlý oxid uhličitý,metan a voda smíchaná s prachem a různými nerostnými látkami*
konodonti	*Konodonti (lat. Conodonta) jsou skupinou živočichů, do které jsou zahrnuty často velmi hojné nálezy zoubkovitých elementů složené z organické hmoty a fosforečnanu vápenatého. Dlouhou dobu nebylo známo, kterému organismu tyto zoubkovité útvary patří. Ve skutečnosti tvořily velmi komplikované a sofistikované ústní ústrojí drobných fosilních organismů, podobajících se dnešním kopinatcům, zřejmě však s nimi blíže nepříbuzných. Konodonti jsou významní tím, že patří mezi významné indexové fosilie v paleozoiku.*
kontinentální drift	*Kontinentální drift (pohyb světadílů) je teorie navržená v roce 1912 německým meteorologem a geofyzikem Alfredem Wegenerem vysvětlující vznik kontinentů rozpadem původního superkontinentu Pangea. Původní myšlenku, že kontinenty do sebe „zapadají“ podpořil Wegener srovnáním geologických a paleontologických nálezů především z pobřeží Afriky a Jižní Ameriky. Zásadní chybou Wegnerova pojetí bylo, že považoval za hnací sílu pohybu kontinetů Coriolisovu sílu (ta je mnohařádově nedostatečná pro takový proces). Dnes je teorie kontinentálního driftu součástí teorie deskové tektoniky, která vysvětluje nejen pohyb kontinentů, ale i dynamiku zemského pláště.*
konvekce	*Konvekce označuje proudění. Používá se často k označení proudění ve fyzice.*
konvekční proud	*oblast, jimiž vystupuje teplo ze zemského jádra k povrchu*
korály	*Korál je označení pro některé mořské žahavce z třídy korálnatci (Anthozoa). Je pro ně typické potlačení metageneze, což znamená, že zůstávají ve stádiu polypa. Všech asi 6000 druhů žije přisedle v mořích, obvykle v koloniích. Mezi korály patří známí původci korálových útesů v tropických mořích, kteří vylučují uhličitan vápenatý pro tvorbu svých tvrdých vnějších schránek. Během milionů let se tyto schránky vrství a někdy vytvoří i ostrov. Na budování korálů se podílejí zejména šestičetní koráli ze skupiny Hexacoralia.*
koronární ejekce	*koronární ejekce sluneční hmoty vznikají, protože se rozhraní polarit chovají jako regulérní magnety, vytvářejí známou smyčku magnetických siločar, podobně, jako to známe ze školních pokusů s pilinami. Po těchto silokřivkách se plazma nejsnadněji pohybuje a my pak pozorujeme protuberance*

Krakatoa	*Krakatoa (indonésky Krakatau) je činná sopka, která leží na ostrově Anak Krakatau v Sundském průlivu mezi ostrovy Jáva a Sumatra* *Sopka se nachází nad subdukční zónou, kde se podsouvá australská tektonická deska pod sundskou. Před erupcí v roce 1883 se skládala ze tří ostrovů: Lang, Verlaten a Krakatoa a tří vulkanických center na ostrově Krakatoa: Rakata, Danan a Perboewatan*
kraton	*Rozsáhlá stabilní strukturní jednotka zemské kůry, obvykle tvořená magmatickými a metamorfovanými horninami, někdy se slabším sedimentárním pokryvem. Téměř synonymní s termíny štít, platforma, tabule; dříve se užíval termín kratogen. Opakem jsou nestabilní, snadno vrásnitelné úseky zemské kůry.*
křída	*Křída je vývojová etapa Země, je nejmladším a zároveň nejdelším útvarem druhohor a jednou z hlavních částí geologického času, pokračuje od konce jurského období až do začátku paleocénu. Trvá tedy přibližně od 145 do 65 milionů let před současností. Konec křídy předěluje éru mezozoika a kenozoika. Jako samostatný útvar byla křída vyčleněna roku 1833 Belgičanem Omaliusem d´Halloyem*
kultura Clovis	*Kultura Clovis byla nejrozšířenější paleolitickou kulturou v Severní Americe. Je datována přibližně do období 10 000 př. n. l. až 9200 př. n. l. Jednalo se o lovce-sběrače, kteří lovili mamuty.*
La Niňa	*La Niña je název vytvořený vědci jako protiklad k termínu El Niño. Španělský název La Niña znamená česky holčička a je, tak jako El Niño, dílčím jevem ENSO. Tento jev je charakterizován zesílením pasátů a následným zesílením studeného Peruánského proudu, který přináší chladné vody až do rovníkových oblastí. Proto bývá někdy označována jako studená fáze ENSO. S projevy La Niñi jsou spojeny stejně závažné jevy jako s El Niñem.*
lahar	*také sopečný bahnotok, směs popela, lávy a vody, vzniká roztavením ledovce nebo sněhu při erupci, protržením kráterového jezera nebo při sesuvu sopeč. materiálu po dlouhotrvajícím dešti*
Laurentida	*velký ledovec na severu Ameriky*
lávy	*roztavené horniny, co vystupují ze sopky*
ledové jádro	*vrtná jádra z ledovců, je to sloupec ledu, který se získává navrtáním jádrovým vrtáním* *vrták má v průměru asi 10 cm a během vrtání se led musí natavovat* *vrtné jádro se po částech zabalí do speciálního pouzdra a je předáno vědcům, kteří v něm odhalují jednotlivé vrstvy, bublinky plynů, pozůstatky biot, izotopové složení a podobně*
lignit	*hnědé uhlí, je geologicky mladší než černé uhlí. Kromě uhlíku obsahuje velké množství příměsí - především různých popelovin a síry, obvykle také mnoho vody. Nejmladší a nejméně karbonizované hnědé uhlí se nazývá lignit*

lillijice	*Lilijice (lat. Crinoidea) jsou charakteristické kalichovitým tělem opatřeným mnohočetnými rameny. U převážné části fosilních a v recentu u hlubokomořských přisedlých forem je toto tělo upevněno na různě dlouhém stvolu. Lilijice se živí organickými látkami a mikroorganismy, které filtrují pomocí pohyblivých ramen.*
litorinové moře	*vývojová fáze dnešního Baltského moře*
litosféra	*litosféra je pevný obal Země tvořený zemskou kůrou a nejsvrchnějšími vrstvami zemského pláště. Její tloušťka se pohybuje obvykle v rozpětí 70-100 km*
litosférické desky	*Tektonická deska (také litosférická deska) je mohutná deska zemské kůry, tvořená neroztavenou pevnou horninou, která tvoří vrchní část zemského povrchu. Desky jsou tvořeny oceánskou a kontinentální kůrou*
lužický zlom	*Lužický zlom tvoří rozhraní mezi lužickým žulovým plutonem na severovýchodě a pískovci české křídové pánve na jihozápadě. Zlom je saxonského věku. Také „lužická porucha“.*
Lystrosaurus	*vodní plaz, jeho fosílie se našly na pobřeží Afriky a Jižní Ameriky, je jedním z důkazů pro deskovou tektoniku*
magma	*roztavená skála pod povrchem. vzniká v zemském plášti. Zemský plášť leží mezi křemenem bohatou zemskou kůrou a na železo bohatým jádrem. Plášť je tvořen převážně peridotitem, který obsahuje ještě další minerály*
magmatický krb	*hlubinná zásobárna magmatu, odtud stoupá magma dál na povrch, může být v hloubce až několika desítek km*
malakofauna	*měkkýši*
mamuti	*Mamut (z ruského мамонт) je vyhynulý rod z čeledi slonovitých a řádu chobotnatců. Mamuti tedy byli podobní dnešním slonům. Mamuti měli dlouhé zahnuté kly a severské druhy dlouhé chlupy. V době ledové obývali severní, střední i západní Evropu, Severní Ameriku a severní Asii*
meridionální proudění	*proudění podél poledníků, S-J*
Mesosaurus	*suchozemský plaz, jeho fosílie se našly současně na několika místech Afriky a Ameriky, je jedním z důkazů pro deskovou tektoniku*
metan	*Methan (mimo chemii dle PČP metan) neboli podle systematického názvosloví karban je nejjednodušší alkan a tedy i nejjednodušší uhlovodík vůbec. Při pokojové teplotě je to netoxický plyn bez barvy a*

	zápachu, lehčí než vzduch (relativní hustota 0,55 při 20 ℃) *velmi nebezpečný skleníkový plyn*
metazoa	*živočichové (Animalia, Metazoa) je kmen mnohobuněčných heterotrofních organismů, které se již na buněčné úrovni odlišují od rostlin a hub. Jejich buňky nemají plastidy ani buněčnou stěnu. Jsou dnes řazeni do skupiny Opisthokonta spolu s houbami a některými prvoky. Říše živočichů je dnes totožná se svou bývalou podříší „mnohobuněční“ (Metazoa), nezahrnuje tedy žádné prvoky*
meteority	*Meteorit je menší kosmické těleso (původně meteoroid), které díky příznivým podmínkám dopadlo na povrch Země (popřípadě jiné planety). Pokud středně velký nebo větší meteoroid vletí do zemské atmosféry, vidíme světelný jev, který nazýváme meteor, v případě větší jasnosti bolid. Rychlost meteorů v atmosféře dosahuje obvykle 11 do 72 km/s. Pro malá tělesa se používá označení mikrometeorit.*
mezolit	*Mezolit (z řec. mesos, μεσος = střední a lithos, λιθος = kámen) nebo také střední doba kamenná označuje období mezi* *cca 8 000 př.n.l. a začátkem neolitizace Evropy. Mezolit je pokračováním paleolitu za změněných přírodních podmínek a spíše jen tradičně uznáván za samostatné období*
Milankovičovy parametry	*Periodické změny klimatu a výskyt ledových a meziledových období se označují jako Milankovičovy cykly na počest srbského matematika Milankoviče, který tuto zákonitost popsal. Hlavními příčinami střídání teplých a chladných period jsou: 1/ precese zemské osy, tedy pohyb osy, kolem které se Země otáčí 2/ náklon zemské osy vůči oběžné dráze a 3/ excentricita oběžné dráhy, tedy jak moc se dráha Země kolem Slunce liší od kružnice*
Mínojská kultura	*Mínojská civilizace byla civilizace doby bronzové, která existovala na Krétě přibližně v období 2700 až 1450 př. n. l.. V době mezi lety 2000 - 1600 př. n. l. dosáhla největšího hospodářského a kulturního rozkvětu. Po roce 1450 př. n. l. Mínojská civilizace zanikla.*
miocén	*Miocén (23 Ma - 5,33 Ma) je geologická epocha v období třetihor*
mitochondriální Eva	*Mitochondriální Eva je označení pro ženu, která je v mateřské linii společným předkem všech dnes žijících lidí. Její mitochondriální DNA (mtDNA) se totiž postupným děděním z matky na další potomstvo v průběhu stovek tisíc let rozšířila mezi veškerou současnou lidskou populaci: každá jednotlivá mtDNA kterékoliv žijící osoby je odvozena od její. Mitochondriální Eva je ženským protějškem Adama chromozómu Y, tedy posledního společného předka v otcovské linii, přestože každý z nich žil v jiné době.*
mofety	*drobné bahenní sopky* *u nás např. v rezervaci SOOS v západních Čechách*
monzun	*Monzun je vítr, který mění směr se změnou ročního období. V létě*

	přináší vlhký vzduch z oceánu na pevninu, a v zimě suchý vzduch z pevniny do moře. Monzuny se objevují v celé Africe, Asii, Severní Americe ale nikde nehrají tak důležitou roli, jako na Indickém subkontinentu. V období od června do září sem přináší letní monzun vytrvalý déšť, tak životodárný pro rýži a jiné plodiny. Díky nim přežívá jedna desetina světové populace
NAO	*everoatlantická oscilace (NAO, North Atlantic oscillation) je komplexní klimatický jev v severní části Atlantského oceánu (speciálně spojený se změnami klimatu mezi Islandem a Azorami). Je převážně charakterizována cyklickými změnami tlaku vzduchu a změnami v drahách bouří v Severním Atlantiku. Je ve vztahu k Arktické oscilaci. NAO byla objevena v roce 1920 sirem Gilbertem Walkerem. Podobně jako jev El Niño v Pacifiku je NAO jedním z nejdůležitějších řídících prvků klimatických změn v severním Atlantiku, Evropě, Středozemním moři a severních částech střední Asie. Zejména v listopadu a dubnu vysvětluje hodně ze změn atmosférických poruch v Severním Atlantiku a následkem toho změn rychlostí a směrů větru, teploty a distribuce vlhkosti (v regionu) a intensitu, počet a dráhu bouří. Rozhoduje o tom, zda zimní bouře procházejí přes severní Evropu nebo jižněji přes Středozemní moře. Některé projevy ale ještě nejsou zcela vysvětleny, například proč jsou fáze změn NAO obráceny od počátku 80. let s následnými dalekosáhlými změnami v počasí Severního Atlantiku a Evropy, což lze těžko oddělit od antropogenních efektů.*
nautiloidi	*hlavonožci*
Nemesis	*hypotetická doprovodná hvězda Slunce*
neogén	*Neogén je geologická perioda patřící do éry kenozoika, která začala přibližně před 23 miliony let a trvá dodnes. Alternativním zakončením je dnes již zastaralé dělení Kenozoika na třetihory a čtvrtohory na hranici pliocén-pleistocén, tj. 1,806 mil. let (nověji spíše 2,5 m. l.). Klasickou oblastí, kde byla definována spodní hranice, která je dána nástupem planktonických foraminifer Paragloborotalia kugleri, je u obce Carrosio, severně Janova v Itálii.*
neoidní vulkanismus	*vulkanismus současný s alpinským vrásněním*
Nyos	*Sopečné jezero, druh jezera, které vzniklo v důsledku sopečné činnosti. Obvykle má kulatý tvar, menší rozlohu a značnou hloubku. Napájené je atmosférickými srážkami. Pokud je pod jezerem stále aktivní vulkanismus, může být teplota jezera značně vyšší než je pro danou oblast typické či jezero může být nasyceno sopečnými plyny či v extrémním případě se místo vody mohou objevovat slabé kyseliny a jezero tak může být tvořena například slabě koncentrovanou kyselinou sírovou.*
Ojibway	*jezero v blízkosti jezera Agassiz, existovalo v poslední době ledové*
oligocén	*Oligocén (33,9 Ma - 23 Ma) je geologická epocha v období třetihor*

oolitické železné rudy	*sedimentární železné rudy, kde jsou oxidy železa ve formě kuliček*
Oortův oblak	*Oortův oblak (řidčeji Öpik-Oortův oblak) je hypotetický kulovitý oblak komet na okraji naší sluneční soustavy za Kuiperovým pásem, přibližně 50 000 AU od Slunce. Mělo by jít o pozůstatek původní planetární mlhoviny, ze které se zformovala sluneční soustava. Jeho existence nebyla prokázána, ale většina astronomů jej považuje za reálný.*
ordovik	*Ordovik je geologický útvar starších prvohor (paleozoikum) a je tedy také součástí eónu fanerozoika. Název zavedl C. Lapworth roku 1879 podle kmene Ordoviků (severní Wales) pro uloženiny tzv. druhé fauny, kterým v Čechách odpovídala Barrandova etapa D. Název sám byl však kodifikován až na 21. geologickém kongresu v Kodani roku 1960.*
ortocerové vápence	*vápence tvořené rovnými schránkami ortocerů, hlavonožců*
ostnokožci	*Ostnokožci (Echinodermata) je kmen středně velkých živočichů, jehož zástupci žijí převážně na dně moře.Je jich asi 4500 druhů. V jejich podkoží se vytvářejí vápenité destičky ($CaCO_3$), které mohou splývat v pevných krunýřích, nebo vybíhat na povrch jako ostny. Tělo dospělců je paprsčitě souměrné.*
paleocén	*Paleocén (65,5 - 55,7 Ma BP) je nejstarším obdobím třetihorní éry (65,5 - 1,8 Ma BP) a počátkem "věku savců"*
paleogén	*Paleogén je geologická perioda starších třetihor patřící do éry kenozoika (a v současnosti paleogén a neogén nahrazují již zastararalé dělení na třetihory a čtvrtohory). Název byl zaveden roku 1865 M.Hörnesem, který do něho zahrnul již dříve definované epochy: oligocén (1854, E. Beyrich) a eocén (1832, Ch. Lyell). Později k němu byl přiřazen paleocén (1874, W.P. Schimper). Spodní hranice 65,5 mil. let se klade na bázi hraničních jílů u El Kef v Tunisku, svrchní hranice je 23 mil. let (definována severně od Janova v Itálii).*
palynologie	*obor zaměřený na studium pylů a spor zejména fosilních rostlin. Výsledky slouží mj. při stratigrafické korelaci a v mladých útvarech i k poznání klimatických změn.*
páskované železné rudy	*Páskovaná železná ruda (z angl. banded iron formations, taktéž známá pod zkratkou BIF) je charakteristický typ usazené železné rudy, který vznikal hlavně v proterozoiku a archaiku před asi 1,8 až 3,8 miliardami let. Jsou však známy i výskyty těchto hornin z mladších období*
pazourek	*Pazourek je tvrdá sedimentární kryptokrystalická forma křemene zařazená mezi odrůdy chalcedonu. Pazourek je obvykle tmavošedý, modrý, černý nebo temně hnědý a často se skelným vzhledem. Vyskytuje se převážně ve formě pecek (mandlí, konkrecí, uzlin) i větších objemů uvnitř usazených (sedimentárních) hornin jako jsou křídy a vápence. Způsob vzniku pazourku není dosud jasný, i když se*

	zdá být potvrzeno, že je výsledkem chemických změn při tvorbě sedimentárních hornin pod tlakem – při procesu diageneze. Jedna teorie praví, že gelovitý křemičitý materiál vyplňuje dutiny v sedimentu a v nich "zkřemení". To by vysvětlovalo složité tvary, ve kterých se přirozený pazourek v přírodě vyskytuje
PDO	*pacifická dlouhodobá oscilace, přirozený cyklus v Tichém oceánu základní cyklus od minimálních teplot k maximálním je sedmdesátiletý a dá se dělit na zhruba 30 až 40 let trvající chladné období a stejně dlouhé teplé období.*
pelagičtí živočichové	*hlubokomořští živočichové*
perihelium	*Perihélium (též přísluní či perihel) je nejbližší místo (perifokus) ke Slunci, jímž prochází těleso, které se kolem Slunce pohybuje po kuželosečce* *Vzdálenost Země od Slunce v perihéliu je 147×10^6 km* *Časový okamžik, kdy těleso prochází na své dráze perihéliem, se nazývá čas přechodu perihéliem. Je jedním z elementů dráhy. Země přechází perihéliem začátkem ledna, v současné době okolo 4. ledna, dva týdny po zimním slunovratu.*
perm	*perm je geologickým útvarem prvohor (paleozoikum) a je tedy také součástí eónu fanerozoika. Počátek permského útvaru se klade 298 milionů let (Ma) zpět do minulosti a jeho spodní hranice je vymezena ve stratotypu u Aidaralašského potoka v Jižním Uralu v severním Kazachstánu, konec permu je kladen 248 milionů let (Ma) zpět.*
pevninské mosty	*vynořená pevnina při regresi mořské hladiny*
plášťový chochol	*také „plášťový termální sloupec" - je oblast teplejšího materiálu v plášti Země, která stoupá vzhůru k povrchu a může mít za následek vznik vulkanických center záplavových bazaltů. Jde o druhotný způsob, jakým se planeta ochlazuje, mnohem méně účinnější než je ochlazování spjaté s deskovou tektonikou. Menší plášťový chochol tvoří tzv. horkou skvrnu (hot spot)*
pliocén	*Pliocén (5,3 Ma - 2,59 Ma) je geologická epocha v období třetihor.*
pluviál	*mimořádně deštivé období, charakteristické i zvýšeným rizikem povodní dopady – neúroda, hladomor*
Polárka	*polárka (α UMi, α Ursae Minoris, latinsky: Polaris) je nejjasnější hvězda v souhvězdí Malého medvěda. Taktéž je velmi blízko k severnímu nebeskému pólu, což z ní dělá severní polární hvězdu.*
poločas rozpadu	*Poločas přeměny (obvykle označovaný $T_{½}$) je doba, za kterou se přemění polovina celkového počtu atomárních jader ve vzorku. Pro konkrétní izotop je konstantní. Má hodnotu od zlomku sekundy až po milióny let.*

polygonální půdy	*polygonální půda je půda mající na svém povrchu polygonální (tj. mnohoúhelníkové) až kruhové útvary vzniklé zrnitostním vytříděním (hrubší horninové úlomky tvoří hranice polygonů); vzniká opakovaným působením mrazu a tání zvláště v polárních a subpolárních oblastech*
ppm	*Parts per million (z angličtiny, česky „dílů či částic na jeden milion"), zkráceně též ppm, je výrazem pro jednu miliontinu (celku); někdy je tento výraz odvozován i z latinského pars per milion*
preboreál, boreál, subatlantik, atlantik, subboreál, subrecent	*části holocénu*
precese	*Působí-li na rotující těleso obecně orientovaná vnější dvojice sil, můžeme tuto dvojici sil rozložit na složku rovnoběžnou s osou rotace a na složku kolmou k této ose. První složka podle své orientace buď urychluje rotaci tělesa, nebo ji naopak snižuje. Druhá, kolmá složka dvojice vnějších sil pak způsobuje změnu orientace osy rotace tělesa, která se začne otáčet podle osy kolmé na osu rotace tělesa i na druhou složku dvojice vnějších sil.*
projekt Klenot	*Nový projekt spočívá v astrometrii těles sluneční soustavy s neobvyklými typy drah až do 22. magnitudy, včetně hledání objektů dosud nenalezených. Jeho hlavním účelem bude měření přesných poloh blízkozemních asteroidů a komet. Měření slouží k výpočtům drah těchto těles ve sluneční soustavě včetně výpočtů možných těsných přiblížení k Zemi, a výsledně i k posouzení možného nebezpečí srážky daného kosmického tělesa se Zemí. Projekt navazuje na dosavadní dlouholetá pozorování planetek a komet na Kleti*
prokaryonta	*Prokaryota z řeckého pro (před) a karyon (jádro), též prvojaderní je označení pro evolučně velmi staré organismy, které vznikly před 3-3,5 miliardami let. Pravděpodobně jsou vůbec nejstaršími buněčnými organismy. Prokaryotická buňka je podstatně jednodušší než buňka eukaryot.*
průduchy	*Průduch (odborně též stoma z řec. στόμα–ústa, množ. č. stomata) je struktura vyskytující se především na listech většiny vyšších rostlin, která slouží ke kontrolované výměně plynů (především CO2 a O2) mezi rostlinou a okolím a také k odevzdávání vody do ovzduší.*
přírůstkové linie	*letokruhy stromů* *v příznivých obdobích jsou širší, v nepřízni klimatu jsou velmi úzké*
pyroklastický proud	*také pyroklastický oblak, směs žhavého popela a vulkanických plynů, mívá teplotu až 500 stupňů Celsia a rychlost více než 100 km v hodině, valí se ze sopky po jejím úbočí*
radiokarbonová metoda	*Radiokarbonová metoda datování (též uhlíková nebo radiouhlíková metoda) je chemicko-fyzikální metoda určená pro zjištění stáří*

	biologického materiálu. Je založena na výpočtu z poklesu počtu atomů radioaktivního izotopu uhlíku ^{14}C v původně živých objektech.
ramenonožci	*Ramenonožci (Brachiopoda, z řec. brachion - rameno a pous - noha) jsou kmenem mořských bezobratlých živočichů. Jsou bilaterálně souměrní, tělo mají uzavřené ve dvoumiskové schránce a svalnatým stvolem přirůstají k podkladu. Recentních je asi 350 druhů, popsáno je však více než 30 tisíc druhů fosilních*
Ries	*za meteoritický kráter, který dal vznik moldavitům, se považuje kráter Ries o průměru 22 km, který se nalézá blízko Stuttgartu v Německu. Detailní průzkum kráteru prokázal tektonickou narušenost podložních hornin do značné hloubky. Rovněž chemické složení horniny je velmi podobné chemickému složení moldavitů. Předpokládá se, že při výbuchu bylo vyvrženo asi 50 až 100 km^3 materiálu, který tvoří v současné val po obvodu kráteru.*
rift	*Rift (dříve také nazývaný brázda, průlom, příkopová propadlina či hlubinný pokles) je seismicky a vulkanicky aktivní příkopová struktura (zóna) v zemské kůře, charakterizovaná poruchami poklesového charakteru, vznikem nové oceánské kůry, s délkou několika set až tisíců kilometrů a šířkou od několika do stovek kilometrů.*
salinita	*Salinita (slanost) označuje koncentraci minerálních látek (solí) rozpuštěných v roztoku (obvykle ve vodě). Nejčastěji bývá měřena v promile (‰) nebo v gramech na litr roztoku. Největší podíl mezi látkami rozpuštěnými v (mořské) vodě má chlorid sodný.*
sedimenty	*Sediment je usazenina, složená z částic pevných látek, které se vlivem tíže usadily na dně prostoru, naplněného plynem, tedy např. zemskou atmosférou, nebo kapalinou, např. nádoby nebo přírodní vodní prostory.*
silur	*Silur je prvohorní útvar v nadloží ordoviku a v podloží devonu. Byl vymezen v roce 1835 Sirem Roderickem Murchisonem jako sled mezi kambriem a devonským old redem. Toto vymezení bylo časem redukováno vydělením ordoviku. Silur zaujímá časový úsek od 443 do 416 milionů let. Spodní hranice je provázena výraznými horotvornými pohyby (takonská fáze kaledonského vrásnění), přesto po většinu období trvala mořská transgrese. Hranice je vedena na bázi graptolitové zóny Glyptograptus persculptus nebo Akidograptus acuminatus (popř. A. ascensus), dochází na ní k výraznému vyhynutí mořských druhů (až 60%). Konec siluru je ve znamení mořské regrese v souvislosti s ardenskou fází kaledonského vrásnění, doprovázenou často vulkanickou činností*
sinice	*sinice (Cyanobacteria, ale také Cyanophyta či Cyanoprokaryota) je kmen nebo oddělení (záleží, zda se jedná o bakteriologické či botanické pojetí) gramnegativních bakterií. Vyznačují se schopností fotosyntézy, při níž vzniká kyslík (tzv. oxygenní typ). Český název této skupiny pochází ze slova sinný, tedy modrý*

skleníkové plyny — *Vodní páry (H_2O) způsobují asi 60 % zemského přirozeného skleníkového efektu. Ostatní plyny ovlivňující tento efekt jsou oxid uhličitý (CO_2) (kolem 26 %), methan (CH_4), oxid dusný (N_2O) a ozón (O_3) (asi 8 %). Souhrnně tyto plyny nazýváme skleníkovými plyny.*

skleníkový efekt — *Skleníkový efekt je proces, při kterém atmosféra způsobuje ohřívání planety tím, že snadno propouští sluneční záření, ale tepelné záření o větších vlnových délkách zpětně vyzařované z povrchu planety účinně absorbuje a brání tak jeho okamžitému úniku do prostoru.*
Skleníkový efekt se vyskytuje přirozeně na Zemi téměř od jejího vzniku. Bez výskytu skleníkových plynů by průměrná teplota při povrchu Země (určovaná jen radiační bilancí) byla −18 °C. Skleníkový efekt je nezbytným předpokladem života na Zemi.

sluneční erupce — *Sluneční erupce je prudký výbuch ve sluneční atmosféře s energií srovnatelné miliardě megatun TNT, běžně se pohybující okolo 1 milionukilometrů v hodině (asi 0.1% rychlosti světla) a třeba i vyšší. Sluneční erupce je známa tím, že může zasáhnout elektrické přenosy mnoha pozemských komunikačních zařízení, včetně počítačů, mobilních telefonů, pagerů a automobilů. Sluneční erupce se odehrává ve sluneční koroně a chromosféře zahřátím plasmy na desítky milionů kelvinů a zrychlením výsledných elektronů, protonů a těžších iontů k rychlosti světla. Vytvářejí elektromagnetické záření podél celého elektromagnetického spektra na všech vlnových délkách od nejdelších radiových vln po nejkratší vlny záření gama. Většina erupcí nastává okolo slunečních skvrn, kde se vyvine intensivní magnetické pole ze slunečního povrchu do korony.*

sluneční skvrny — *Sluneční skvrna je oblast na povrchu Slunce (ve fotosféře), které magnetické pole zabraňuje v proudění, a tak se vytvářejí oblasti s menší povrchovou teplotou než má okolí. Podobné jevy vyskytující se na ostatních hvězdách se nazývají hvězdné skvrny.*

sluneční vítr — *Sluneční vítr je proud částic, který vychází ze Slunce. Má obvykle rychlost asi 450 km/s (1,5 ‰ rychlosti světla). Pochází-li z jiných hvězd než z našeho Slunce, je nazýván hvězdný vítr*
zdrojem slunečního větru je sluneční korona. Teplota sluneční korony je tak vysoká, že sluneční gravitace nedokáže udržet částice slunečního větru

small shelly fossils — *kambričtí živočichové, v postatě malí měkkýši*

Snowball Earth — *Země jako sněhová koule – hypotéza, že v minulosti Země došlo k jejímu úplnému pokrytí ledem*

sopečné plyny — *patří k nim přehřátá vodní pára, oxidy síry a uhlíku, chlorovodík, fluorovodík a metan*

spraše — *praš je úlomkovitá usazená hornina navátá větrem (čili v odborné terminologii klastický sediment eolického původu)*

staré štíty	*zpevněné prahorní soubory, jsou to stabilní části pevnin, které v geologickém čase pomalu stoupají a jsou oblastmi trvalého odnosu zvětraných částí hornin*
Stonehenge	*Stonehenge je komplex menhirů a kamenných kruhů, nacházející se na Salisburské pláni asi 13 km severně od městečka Salisbury v Jižní Anglii*
stratigrafie	*Stratigrafie je geologický vědní obor, který studuje stáří sedimentárních vrstev hornin. Zkoumá prostorové uspořádání vrstev na planetárním povrchu v závislosti na čase.*
stratovulkán	*souměrný kuželový tvar sopky, např. Vesuv, Fidži*
supernova	*Termín supernova se vztahuje k několika typům hvězdných explozí, kterými vznikají extrémně jasné objekty složené z plazmatu, jejichž jasnost posléze v průběhu týdnů či měsíců opět o mnoho řádů klesá. K tomuto konci vedou dvě možné cesty: buďto se jedná o masívní hvězdu, která ve svém jádře vyčerpala zásoby paliva pro fúzi a začala se hroutit pod silou své vlastní gravitace, nebo o bílého trpaslíka, který nahromadil materiál od svého hvězdného průvodce, dosáhl Chandrasekharovy meze a prodělal termonukleární explozi. V obou případech výsledná exploze supernovy rozmetá obrovskou silou většinu nebo všechnu hmotu hvězdy*
sverdrup	*Sverdrup je jednotka na měření přesunu objemu mořské vody v mořských proudech, používá se pouze v oceánografii. Její zkratkou je Sv. Je pojmenována po norském oceánografovi Haraldu Ulriku Sverdrupovi. Sverdrup značí množství přepravené vody v čase.*
šokové krystaly	*Šoková metamorfóza vzniká náhlým zvýšením teplot a tlaků. Příčinou může být např. úder blesku, hoření uhelných slojí nebo dopad velkého meteoritu. Tento druh přeměny se někdy řadí do kontaktní metamorfózy.*
tajga	*Severský jehličnatý les je název pro biom, který se vyskytuje především v severních zeměpisných šířkách. Dominantními druhy stromového patra jsou jehličnaté lesy. Nejvíce takových lesů se vyskytuje v Kanadě a především na Sibiři, odtud pochází i místní název tajga.*
tefra	*sopečné vyvrženiny*
tentakuliti	*fosilní mořské organismy (ordovik/devon) s drobounkými, úzce kuželovitými schránkami z uhličitanu vápenatého, podobnými schránkám dnešních pteropodů*
termální prameny	*Termální pramen či horký pramen je speciální druh pramenu, ze kterého vystupuje ohřátá voda často obohacená o minerální složky.Voda proniká puklinami do zemské kůry do značných hloubek, kde se vlivem tektonických poruch dostává do blízkosti magmatu, o*

	který se ohřívá a vystupuje nahoru.
termohalinní cirkulace	*Termohalinní výměník (též oceánický výměník, oceánský výměník, příp. hlubinný slaný proud) je systém hlubokomořských proudů. Termín pochází ze slov thermo- (teplo) a -halinní (solný). Teplota a slanost (salinita) určují hustotu vody. Termohalinní výměník tvoří nejhlubší ze třech „pater" mořských proudů.*
Tethys	*Tethys je nejstarší moře na Zemi. Vzniklo v druhohorách (Mezozoikum) v Triasu, zhruba před 250 miliony let. Kontinent Pangea se zhruba ve svém středu rozdělil na severní (Laurasie) a jižní (Gondwana) část. Mezi nimi vzniklo moře Tethys, které sahalo od nynějšího Mexického zálivu přes Španělsko, Itálii, pohoří Himaláje až na Malajský poloostrov. V křídě tvořilo teplou sedimentační oblast a docházelo v něm k četným vrásnivým pohybům a paleogeografickým změnám.*
TEX 86	*metoda funguje na základě testování složení membránových lipidů mořského plantonu. Sleduje se v paleontologickém záznamu v těchto mikroskopických organismech (Crenarchaeota) počet vrstviček, které se mění s teplotou*
Théra	*K sopečné erupci, která zničila původní ostrov Théra, došlo někdy v 17. století př. n. l. Jedná se patrně o jeden z nejsilnějších sopečných výbuchů známých člověku, který svou silou mnohonásobně převýšil slavný výbuch sopky Krakatoa v roce 1883 (podle některých odhadů až 100×). Jím vyvolaným klimatickým změnám a vlnám tsunami je připisován pád mínojské civilizace, dává se do souvislosti s některými z biblických deseti egyptských ran, někdy se tato katastrofa považuje za zdroj pověsti o Atlantidě. Síla výbuchu se odhaduje kolem 2 400 megatun TNT. Pro představu, hirošimská bomba explodovala se silou 15 kilotun TNT, Théra se tedy vyrovnala svojí silou 160'000 hirošimským bombám. Nejsilnější lidstvem vytvořená bomba, nazývaná car-bomba, byla i o své síle výbuchu 50 megatun TNT stále 48× slabší než výbuch ostrova Théra* *To, co z někdejšího ostrova Théra zbylo, se v současnosti nazývá souostroví Santorini.*
TNT	*Trinitrotoluen, přesným chemickým názvem 2,4,6-trinitromethylbenzen je velmi silnou, bezpečnou a často používanou trhavinou, často též označovanou jako tritol nebo TNT* *Energie výbuchu: 4 100 - 4 220 kJ/kg, tj. 980 - 1010 kcal/kg*
Toba	*Toba (indonésky Danau Toba) je jezero na severu ostrova Sumatra v provincii Severní Sumatra v Indonésii. Nachází se v tektonické kotlině v severní části pohoří Barisan. Je to největší jezero na ostrově a vůbec největší sopečné kráterové jezero na Zemi. Má rozlohu 1130 km². Je 100 km dlouhé a 30 km široké. Dosahuje maximální hloubky 529 m. Objem vody je 240 km³. Leží v nadmořské výšce 911 m. Označuje se jako supervulkán, jehož erupce před 75000 lety (jejíž stopy objevil G. Zielinski v ledovcích) výrazně ovlivnila klima na planetě a omezila lidskou populaci*
transgrese moře	*Transgrese, neboli pozitivní eustáze je zvýšení mořské hladiny, potažmo zaplavení pevniny. Opakem je regrese*
trapy	*označuje místa s akumulací čedičových proudů a znamená „schody". Lávové proudy často vytvářejí stupňovitou krajiny, zvláště když jsou odstraněny erozí ((Macdougall, 2004)*

trias — *Trias je geologická perioda druhohorního období. Trval od zhruba 251 do 199,6 milionů let. Trias je první ze tří period druhohor a následuje po poslední periodě prvohorního období, permu. V 18. století byly Lehmannem a Füchselem v Německu rozlišována dvě souvrství, Buntsandstein – pestrý pískovec a Muschelkalk – lasturnatý vápenec. Roku 1822 oddělil Buch svrchní část lasturnatého vápence a nazval ho keuper – pestrý slín. Následně roku 1834 Friedrich von Alberti zahrnul všechna tři souvrství pod jeden útvar, kterému dal název trias (tj. trojice).*

trilobiti — *Trilobiti - podle těla tvořeného třemi laloky - cephalon (hlava), thorax (hruď) a pygidium (zadeček), jsou třída vyhynulých členovců patřící do vyhynulého podkmene Trilobitomorpha – jsou jednou z jejich vývojových větví. Objevili se ve starších prvohorách (kambriu), asi před 550-530 milióny lety. Vyhynuli na konci prvohor během katastrofy na rozhraní permu a triasu (před 251 miliony let). Jednalo se o výlučně mořské živočichy, jejichž článkované tělo bylo pokryto mineralizovaným exoskeletem. Exoskelet trilobiti v průběhu růstu svlékali a odhazovali.*

tropická zóna konvergence — *pásmo nízkého tlaku vzduchu s tvorbou kupovité oblačnosti kolem rovníku*

tsunami — *Tsunami (nebo též cunami; z japonského slova znamenajícího vlna v přístavu) je jedna nebo několik po sobě jdoucích vln na hladině moře, které vznikají při silném zemětřesení pod hladinou moře, podmořském sesuvu nebo dopadu meteoritu do moře nebo jeho blízkosti. Místo tsunami je někdy nesprávně používán termín přílivová vlna, ale z vědeckého pohledu se jedná o různé děje.*

tundra — *Tundra je biom subpolárních a polárních oblastí, který lze nalézt mezi tajgou a trvale zaledněnými polárními končinami. Najdeme ho v nejsevernějších oblastech Evropy, Asie a Ameriky, Grónsku a dalších přilehlých ostrovech (arktická tundra), na jižní polokouli – v nejsevernějších oblastech Antarktidy a přilehlých ostrovech (antarktická tundra). Jako tundru též chápeme podobně vypadající území vysoko v horách (alpinská tundra). Slovo tundra pochází z laponštiny a znamená bezlesou krajinu.*

upwelling — *výstupné proudy, které přinášejí živiny ze dna oceánů*

VEI — *Volcanic Explosivity Index*
Osmibodová síla erupce, hodnotí se objem vyvrženého materiálu:

- *stupeň 1: objem nižší než 10 tisíc m^3, neexplozivní erupce, láva volně vytéká, příklad – Mauna Loa*
- *stupeň 2: objem 10 tis.-1000 000 m^3, výška sopečného oblaku je menší než 1 km, příklad – Stromboli*
- *stupeň 3: objem vyvrženin 1-10 milionů m^3, výška mraku 1-5 km – podle někt. autorů Eyjafjallajökull*
- *stupeň 4: objem vyvrženého materiálu je 0,1-1 km^3, vyvržen*

do výšky 10 – 25 km, průběh erupce je už vážný, ohrožující okolí – příklad Hekla(1845)

- *stupeň 5: objem 1 – 10 km^3 do výšky nad 25 km, sopečné ohrožení je vysoké – příklad Vesuv (r.79)*
- *stupeň 6: 10 – 100 km^3, výška mraku nad 25 km, katastrofická erupce – příklad Krakatoa (1883)*
- *stupeň 7: 100 – 1000 km^3, sopeč. oblak nad 25 km, supererupce, vysoký stupeň ohrožení na mnoho let, příklad – Tambora (1815)*
- *stupeň 8: vyvrženo více než 1000 km^3, do výšky více než 25 km, jde o supervulkán, příklad- byla jí nejspíše Toba (73 tis. let BP) nebo Taupo na Novém Zélandu (26,5 tis. let BP)*

Vikingové — *Vikingové (přídavné jméno vikinský) byli skandinávští mořeplavci, kteří se v 8. – 11. století vydávali na „viking" - loupeživé výpravy do mnoha evropských zemí. Pro konsolidující se evropské státy tehdy představovaly hrozivé nebezpečí. Z hlediska etnického původu představovali severní větev Germánů.*

vltavíny — *Vltavín je označení pro tektit, který se nachází v okolí řeky Vltavy Vltavíny jsou chemicky téměř totožné s jílovitými horninami, ale na rozdíl například třeba od sopečných skel, neobsahují téměř žádnou vodu. Vltavínové sklo obsahuje jisté „vady" a to v podobě vzduchových bublinek které jsou časté převážně u jihočeských vltavínů. Bublinky bývají drobné a to řádově jen několik desetin mm, ale podařilo se objevit i bubliny přes 1 centimetr dlouhé. Tlak v těchto bublinách je až překvapivě nízký a to 19 až 25 krát nižší než je tlak u hladiny moře, což vede k domněnce, že vltavíny vznikly v prostředí, kde panuje nižší tlak (jako například vyšší vrstvy atmosféry). U některých vltavínů jsou dokonce patrné stopy po průletu atmosférou v podobě aerodynamického zaoblení.*

vrásnění — *vrásnění,orogeneze, volně přeložena do češtiny jako horotvorba či horotvoření, je horotvorný proces, který vede ke vzniku pásemných pohoří, vznikajících většinou vlivem procesů deskové tektoniky. Jedná se o proces, který je dlouhodobý a který trvá milióny až desítky miliónů let. Většinou se dělí v řadu dílčích maxim neboli fází – vrásnění*

všeobecná cirkulace atmosféry — *Pravidelné pohyby vzduchových mas v planetárním měřítku Země způsobené jejich ohříváním a ochlazováním a rotací Země. Spolu s oceánskou cirkulací vyrovnávají teplotní rozdíly, rozvádějí energii slunečního záření po celé atmosféře a podílejí se na cirkulaci vody, spoluvytvářejí také klima i počasí.*

vůdčí zkameněliny — *Aby se zkamenělina stala vůdčí, musí být hojná, vyskytovat se v geologické minulosti jen krátkou dobu, být rozšířena celosvětově, být co nejméně závislá na svém životním prostředí a být dobře určitelná*

Vystrkov — *kopec Vystrkov se nachází při severovýchodním okraji brdského*

	vojenského výcvikového prostoru, nedaleko obce Jince. Jen 541 metrů vysoký, z větší části zalesněný vrch je sice známým, ale stále poměrně bohatým nalezištěm prvohorních fosílií. Ve zdejší tmavé břidlici, která kdysi bývala usazeninou mělkého pravěkého moře, se dodnes uchovaly otisky těl tvorů, kteří tu tehdy žily. Typickým a zřejmě nejhojnějším představitelem vystrkovské zkamenělé fauny je pak právě trilobit
Walkerova cirkulace	*zajišťuje transport vzduchu kolem rovníku mezi západní a východní částí Tichého oceánu*
xylém	*Xylém (také dřevní cévní svazek nebo dřevo) je botanické označení pro druh pletiva cévnatých rostlin, které přivádí a rozvádí minerální živiny z kořenové soustavy rostliny směrem nahoru do jejích nadzemních částí. Slovo „Xylém" je odvozeno ze starořeckého slova xúlon, což znamená „dřevo". Xylém může mít v rostlině funkci mechanickou (opora), transportní (rozvod živin) a zásobní. Živiny se pohybují uvnitř xylému na základě tzv. kořenového vztlaku.*
Yersinia pestis	*Yersinia pestis (původně Pasteurella pestis) je patogenní gramnegativní bakterie z čeledi Enterobacteriaceae. Jedná se o fakultativní anaerobní bakterii, která je přenositelná na zvíře i na člověka* *Lidská infekce Y. pestis, způsobující morovou nemoc, se dělí do tří hlavních forem: dýmějový, septický (sepse, otrava krve) a plicní černý mor. Všechny tyto tři formy jsou odpovědné za vysokou úmrtnost během epidemií v lidské historii.*
zemská osa	*Země jako těleso koná mnoho pohybů. Jedním z nich je rotace kolem osy, tedy kolem jakési myšlené tyčky na kterou je Země navlečena. Země ale není naprosto pevné těleso a tak ani okamžitá osa rotace nesouhlasí s hlavní osou setrvačnosti.* *Průsečíky zemské rotační osy s povrchem Země se nazývají zeměpisné póly. Průsečíky s nebeskou sférou se nazývají nebeské póly.*
zemský plášť	*vrstva v hloubce od 2900 km, kde je tavenina, magma*
zirkon	*Zirkon ($ZrSiO_4$) je minerál (křemičitan) s krátkými krystaly, mohutnými čtverečnými hranoly kombinovanými s jehlany. Téměř vždy jsou krystaly dobře vyvinuté, méně často jsou narostlé, často se však nacházejí volná, nahromaděná zrna. Barva je většinou hnědá, hnědočervená, žlutá vzácněji zelená, modrá nebo může být i bezbarvý. Zirkon krystalizuje v tetragonální soustavě. Chemické označení - křemičitan zirkoničitý ($ZrSiO_4$) s příměsí hafnia (1 až 4 %) a některých prvků vzácných zemin (celkově do 4 %). Je důležitým zdrojem chemického prvku zirkonia, pěkně zbarvené odrůdy se díky jeho vysokému lomu světla používají ve šperkařství. Zirkon je nejstarší známý minerál na Zemi (ve vztahu k věku Země, ne k lidskému poznání), stáří vzorku nalezeného v Jack Hills v Austrálii bylo stanoveno na 4,4 mld. let*

LITERATURA

Acot, P.:	*Historie a změny klimatu. Karolinum Praha, 2005*
Adatte, T, Keller, G.:	*New Evidence links Deccan Traps to the Cretaceous – Tertiary Boundary Mass Extinction. Geophysical letters vol. 14, 2012*
Alexandr, P. a kol.:	*Forenzní ekotechnika, les a dřeviny. CERM, Akademické nakladatelství, Brno, 2010*
Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., Michel, H.V.:	*Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. Science, vol. 208, 1980*
Ambrose, S.H.:	*Late Pleistocene human population bottlenecks, volcanic winter, and differentiation of modern humans. Journal of Human Evolution 34, 623-651, 1998*
Barber, D.C., Dyke, A., Hillaire-Marcel, C. et al.:	*Forcing of the cold event of 8 200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. Leters to Nature, Nature vol. 400, 1999*
Barros, V.:	*Globální změna klimatu. Mladá fronta, Praha 2006*
Bauer, E., Claussen, M., Brovkin, V., Huenerbein, A.:	*Assesing climate forcings of the Earth systém for the past millenium. Geophysical Research Letters, vol. 30, No. 6, 1276, 2003*
Becker, L., Poreda, R.J., Basu, A.R., Pope, K. O. Harrison, T.M., Nicholson, C., Iasky, R.:	*Bedout: A possible end-Permian Impact Crater offshore of Northwestern Australia. Science vol. 304, 2004*
Becker, L.:	*Bedout: A possible end-Permian Impact Crater offshore of Northwestern Australia* *Science, vol. 304, 2004*
Beckman, J.E., Mahoney T. J.:	*The Maunder Minimum and Climate Change: Have Historical Records Aided Current Research. Library and Information Services in Astronomy III., ASP Conference Series vol. 153, 1998*
Beech, M.:	*The great Meteor of 18th August 1783. Journal of the British Astronomical Association, vol. 99, No. 3, pp. 130-134, 1989*
Beer, J., Tobias, S., Weiss, N.:	*An active Sun troughout the Maunder minimum. Solar Physics 181, 237-239, 1998*
Behringer, W.:	*Kulturní dějiny klimatu. Nakl. Paseka. Praha, 2010*

Biondi, F., Waikul, K.: *DENDROCLIM2002: AC++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. Elsevier. Computers & Geosciences 30, page 303–311, 2004*

Black, B.A., Elkins-Tanton, L.T. Rowe, M.C., Peate, I.: *Magnitude and consequences of volatile release from the Siberian Traps. Earth and Planetary Science Letters 317–318, pp. 363–373, 2012*

Bock, F.S.: *Versuch einer von dem wirthschaftlichen Naturgeschichte Königreich Ost-und Westpreussen, 5 sv. Dessau / Halle, 1782-1785*

Bonis, N.R., Kürschner, W.M.: *Vegetation history, diversity patterns and climate change across the Triassic/Jurassic boundary. Paleobiology 38 (2), pp. 240-264, 2012*

Botjer, J., Clapham, M.E., Fraiser, M.L., Powers, C.M.: *Understanding mechanisms for the end-Permian mass extinction and the protracted Early Triassic aftermath and recovery. GSA Today, v. 18, No. 9, 2008*

Bradbury, C.A., Hill, C.L.: *Variability in a Pleistocene Climate sequence from Bir Tarfawi, Egypt. Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Idaho Academy of Science, Spring, 2008*

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

Braun, H., Dittlevsen, P. Chialvo, D.R.: *Solar forced Dansgaard-Oeschger events and their phase relation with solar proxies. Geophysical Research Letters, vol. 35, L 06703, 2008*

Brázdil, R., Dobrovolný, P., Luterbacher, J., Moberg, A., Pfister, Ch., Wheeler, D., Zorita, E.: *European climate of the past 500 years: new challenges for historical climatology. Climatic Change 101, 7 –40, Springer. 2010*

Brázdil, R., Kotyza, O.: *Současná historická klimatologie a možnosti jejího využití v historickém výzkumu. Časopis Matice moravské, roč. 120- Supplementum 1, s. 17-59, 2001*

Brázdil, R., Valášek, H., Macková, J.: *Climate in the Czech lands during the 1780-s in light of the daily weather records of parson Karel Bernard Hein of Hodonice (southwestern Moravia) comparison of documentary and instrumental data. Climatic change 60, pp. 297-327, 2003*

Brewer, S., Guich, J., Torre, F.: *Mid-Holocene climate change in Europe – a data model comparison. Climate of the Past 3, 499 – 512, 2007*

Bryson, R.U., Bryson, R.A., Ruter, A.: *A calibrated radiocarbon database of late Quarternary volcanic eruptions. eEarth Discussion, 1, pp. 123 – 134, 2006*

Buffetaut, E.: *Tak jako dinosauři. Hromadná vymírání druhů a život na Zemi. Dokořán, Praha, 2005*

Cacho, I., Grimalt, J. O., Pelejero, C. et al.: *Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea paleotemperatures. Paleoceanography, vol. 14, No 6, Pages 698 – 705, 1999*

Cílek, V., Ložek, V., Žák, K.: *Z minulosti českých řek. Vesmír 83, 447, 2004*

Cílek, V.: *Odložené globální oteplování ? Oceánské proudění a třicetileté chladné epizody. Vesmír 89, 2010*

Cílek, V.: *Klima a rozpad civilizací. Scientific American, české vydání, 2009*

Coenraads, R. R.: *Geologie Země. REBO production, Dobřejovice, 2007*

Cronin, T. M.: *Paleoclimates. Understanding climate change Past and Present. Columbia University Press, New York, 2010*

ČHMÚ Praha: *Poznámky z Klementinských pozorování 1775-1839. Přepis rukopisu. 1978*

Dansgaard, W. et al.: *Evidence of general instability of past climate from a 250-kyr ice core record. Letters of Nature, Nature, vol. 364, page 218-220, 1993*

de KLerk, P., Janke, W., Kühn, P., Theuerkauf, M. *Environmental impact of the Laacher See eruption at a large distance from the volcano: Integrated palaeoecological studies from Vorpommern (NE Germany). Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 270, pp. 196 – 214, Elsevier, 2008*

de Menocal, P.B., Alley, R.B.: *Abrupt Climate Changes Revisited- How Serious and How Likely. USGCRP seminar, February 1998*

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

Diamond, J.: *Kolaps. Edice Galileo, Academia Praha, 2008*

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

Dumitrescu, M., Brassell, S.C., Schouten, S., Hopmans, E.C., Damsté, J. S.: *Instability in tropical Pacific sea – surface temperature during the early Aptian. Geology v. 34, No. 10, pp. 833-836, 2006*

Dvořák, J., Křivský, L.: *Slunce náš život. Panorama Praha, 1989*

Erwin, D.H., Bowring, S.A., Yugan, J.: *End- Permian mass extinction: A review. Geological Society of America Special Paper 356, 2002*

Fagan, B.: *Malá doba ledová. Edice Galileo, Academia Praha, 2007*

Fei, J., Zhou, J., Hou, Y.: *Circa AD. 626 volcanic eruption, climatic cooling, and the collapse of the Eastern Turkic Empire. Climatic Change vol. 81, pp. 469-475, 2007*

Fischer, E.: *Climate response to major volcanic eruption. Pages News, Past global changes. International Project Office, vol. 13, No. 3, 2007*

Fischer, T.G., Smith, D.G., Andrews, J. T.: *Preboreal oscillation caused by a Glacial Lake Agassiz flood. Quarternary Science Reviews 21, 873-878, 2002*

Fletcher, F. J., Sanchez, G.M.F., Peyron,O., Dormoy : *Abrupt climate changes of the last deglaciation. Climate of the Past 6, 245-264, 2010*

Global Volcanism Program: *Smithsonian National Museum of Natural History. Online www.volcano.si.edu, staženo 12. 1. 2013*

Goldberg, F.: *Rate of increasing concentrations of atmospheric carbon dioxide controlled by natural temperature variations. Heartland institute, www.heartland.org, staženo 20. 8. 2010*

Grattan, J., Brayshay, M., Sadler, J.: *Modelling the distal impacts of past volcanic gas emission. Evidence of Europe-wide environmental impacts from gases emitted during the eruption of Italian and Icelandic volcanoes in 1783. Quarternaire 9, p. 25-35, 1998*

Grattan, J., Durand, M., Gilbertson, D., Pyatt, F.B.: *Human Sickness and Mortality rates in relation to the distant Eruptions of Volcanic Gases: Rural England and the 1783 Eruption of the Laki fissure, Iceland. Case study Western Oregon University, 2003*

Grattan, J., Rabartin, R., Self, S., Thordarson, T.: *Volcanic air pollution and mortality in France 1783-1784. Comptes Rendus. Géoscience, 337(7), pp. 641–651, 2005*

Grattan, J.: *Aspect of Armageddon: An exploration of the role of volcanic eruptions in human history and civilization. Quarternary International 151, pp. 10 – 18, 2006*

Gumpelzhaimer, Ch. G.: *Regensburg's Geschichte, Sagen und Merkwrdigkeiten von den ältesten bis auf die neuesten Zeiten in einem Abriß aus den besten Chroniken, Geschichtbüchern und Urkunden, Sammlungen dargestellt von Christian Gottlieb Gumpelzhaimer, großherzoglich Mecklenburg-Schwerinschen geheimen Legationsrath. Erste Abtheilung. Vom Ursprunge Regensburgs bis 1486; Stadtarchiv Amberg. (o.J.)*

Häkkinen, S.: *Abstract: An Arctic source for the „Great Salinity Anomaly“: A simulation of the Arctic ice-ocean systém for 1955 – 1975. Journal of Geographysical Research, vol. 98, p. 16397-16410, 1993*

Hennig, R.: *Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1800. Abhandlungen – Svazek 2,Vydání 4, Prussia (Kingdom). Meteorologisches Institut. A. Asher, 1904, digitalizováno 2010*

Hoffman, J.: *Vliv kosmického záření na střídání dob ledových. Aldebaran Group for Astrophysics č. 6, roč. 3, 2005*

Hoffmann, P.F., Kaufman, A. J., Halverson, G.P., Schrag, D.P.: *A Neoproteozoic Snowball Earth. Science, vol. 281, 1998*

Hollan, J.: *Proměny Slunce a změna klimatu. Hvězdárna a planetárium M. Koperníka Brno, 2006*

Houzar, S.: *Vltavíny a tektity, jejich naleziště a vznik. Abstrakt. 2. sjezd České mineralogické společnosti. Slavonice, 2005*

Huey, R.B., Ward, P.D.: *Hypoxia, Global Warming and Terrestrial Late Permian Extinction. Science, vol. 308, 2005*

Hurrell, J.W, Kushnir, Y., Ottersen G., Visbeck, M.: *The North Atlantic Oscillation Climatic Significance and Environmental Impact. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. American Geophysical Union, 2009*

Charvátová, I. : *Can origin of the 2 400 year cycle solar activity be caused by solar inertial motion. Annales Geophysicale 18, 399 – 405, 2000*

Chatterjee, S., Guven, N., Youshinobu, A., Donofrio, R.: *Shiva structure: A possible KT Boundary impact Crater on the Western Shelf of India. Special publications. Museum Texas Technical University, 2006*

Chenet, A. J., Fluteau, F., Courtillot, V.: *Modelling masive sulphate aerosol pollution following the large 1783 Laki basaltic eruption. Earth and Planetary Science Letters 236, 721-731, Elsevier, 2005*

Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z.: *Geologická minulost České republiky. Academia Praha, 2011*

Chlupáč, I.: *Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí. Academia Praha, 1999*

IPCC *WGI Fourth Assessment Report (AR4). Chapter 6 Palaeoclimate. IPCC 2007*

Jiráň, L., Venclová, N.: *Archeologie pravěkých Čech. Svazek 1, Archeologický ústav AV Praha, 2007*

Jiránek, J.: *Země jako vesmírný terč. Universum. Euromedia Group, Praha, 2012*

Joachimski, M. M. et al: *Water column anoxia enhanced productivity and concomitant changes in $\delta^{13}C$ and $\delta^{34}S$ across the Frasnian- Famenian boundary. Chomical geology v. 175, pp. 109-131, 2001*

Jurende, K. J.: *Mahrisher Wanderer (Moravský poutník). Brunn., 1823*

Juybers, P.: *Chaotic climate transitions during the mid-Pleistocene in „Obliquity pacing of the late Pleistocene glacial terminations, Nature 343, 491-494, 2005*

Kadrnožka, J.: *Globální oteplování Země. VUITUM Brno, 2008*

Kachlík, V., Chlupáč, I.: *Základy geologie. Historická geologie. UK Praha, nakl. Karolinum, 2008*

Katzerowsky, W.: *Periodicität der Überschwemmungen. Mitteilungen des Vereines für Geschichte der Deutschen in Böhmen, 25, č. 2, s. 156–171, 1886*

Keller, G., Adatte, T., Bajpai, S. et al.: *K-T transition in Deccan Traps of central India marks major marine Seaway across India. Earth and Planetary Science Letters 282, 10 – 23, 2009*

Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W. et al.: *Chicxulub impact predates the K/T boundary mass extinction. PNAS, vol. 101, No. 11, 3753-3758, 2004*

Keller, G., Sahni, A., Bajpai, S.: *Deccan volcanism, the KT mass extinction and dinosaurs. Journal Biosciences 34, 709-728, 2009*

Keller, G: *Impact, volcanism and mass extinction: random coincidence or cause and effect? Australian Journal of Earth Sciences 52, 725 – 757 , 2005*

Keys, D.: *Catastrophe: An investigation into the Origins of the Modern World. Ballantine Books, 2000*

Khain, V. E., Khalikov, E. N.: *About possible influence of Solar activity upon seisimic and volcanic activities: long term forecast. Science without borders. Transaction of the Academy of Science H + E, vol. 3, SWB Innsbruck, 2008*

Kiehl, J.T., Shields, CH. A.: *Climate simulation of the latest Permian: Implications for mass extinction. Geology; v. 33; no. 9; p. 757–760, 2005*

Kiessling, W., Aberhan, M., Brenneis, B., Wagner, P.J. : *Extinction trajectories of benthic organisms across the Triassic-Jurassic boundary. Palaeo 244, pp. 201-222, 2007*

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

Klimeš, V.: *Počátky českého a slovenského novinářství. Novinářský studijní ústav. Orbis Praha 1955*

Klokočník, J., Kostelecký, J., Pešek, I., Novák, P., Wagner, C.A., Šebera, J.: *Candidates for multiple impact craters?: Popigai and Chicxulub as seen by the global high resolution gravitational field model EGM2008. Solid Earth 1, 71 – 83, 2010*

Klokočník, J., Kostelecký,J. , Novák, P.: *Chicxulub je asi dvojitý a Popigaj má bratříčky Vesmír 88, 2009*

Kodytek, A.: *Kunvaldská kronika Antonína Kodytka 1740-1786 / K tisku podle přepisu Jos. Simona upr.Vilém Nezbeda a Jaroslav Šůla. Orlické muzeum, Vysoké Mýto 1970*

Kolektiv autorů *Oceán. Knižní klub, Euromedia Group, Praha 2007*

Krolmus, V.: *Kronika, čili, Dějepis všech povodní posloupných let, suchých a mokrých, ourodných a neourodných na obilí, ovoce a vína, hladů, morů a jiných pohrom v Království Českém. Tiskem Karla Vetterle, Praha, 1845*

Kronika obce Pavlov: *http Vinařství Pavlov, online //www.obec-pavlov.cz/obec-pavlov/historie, staženo 27. 5. 2013*

Kronika obce Zahrádka: *přepis Mgr. Vladimír Staněk, online http//www.hornipaseka.cz/historie-horni-paseka/kronika-obec-zahradka, staženo 12. 5. 2013*

Kronk, G.W.: *A Catalog of Comets Cometography Volume 1. Ancient – 1799. Cambridge University Press , 1999*

Kump, L, R., Pavlov, A., Arthur, M.A.: *Massive release of hydrogen sulfide to the surface ocean and atmosphere during intervals of oceanic anoxia. Geology V. 33, pp. 397-400, 2005*

Kuneš, P.: *Předneolitická krajina, vegetace a role moderního člověka ve střední Evropě. Živa č. 4, 2008*

Lal, D., Large, W.G., Walker, S. G.: *Climatic forcing before, during and after the 8,2 kyr. BP global cooling event. Journal Earth Syst. Sci. 116, No. 3, pp. 171-177, 2007*

Landscheidt, T.: *Sluneční aktivita : dominantní faktor v dynamice klilmatu. Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity. Překlad V. Hlaváč. http://alik.misto.cz/_MAIL_/solar.html, staženo 2009*

Langenhorst, F.: *Shock metamorphism of some minerals: Basic introduction and microstructural observations. Bulletin of the Czech Geological Survey, vol 77, No. 4, 265-282, 2002*

Lapin, M.: *Globálne oteplovanie, klimatické zmeny a sporné argumenty. Enviromagazín 2, 2007*

Lavigne, f., Degeai, J.P., Komorowski, J.CH., Guillet, s., Robert, V., Lahitte, P., Oppenheimer, C. et al.: *Source of the great AD 1257 mystery eruption unveiled, Samalas volcano, Rinjani Volcanic complete, Indonesia. PNAS, Environmental Sciences, 2013*

Lean, J.: *Solar forcing of climate change: Current status. Pages news. Past Global Changes. International Project Office vol. 13, No 3, 2007*

Leisola, M., Pastinen, O., Axe, D.D.: *Lignin – Designed Ramdomness. Bio-Complexity 3, pp. 1 – 11, 2012*

Levy J.: *Soudný den. Nakl. Metafora, Praha, 2007*

Li, K.J.: *The Schwabe and Gleissberg periods in the Wolf sunspot numbers and the group sunspot numbers. Solar physics 229, 181-198, 2005*

Loehle, C.: *Predicing Pleistocene Climate from vegetation. Climate of the Past – Discussions 2, 979-1000, 2006*

Lotter, A. F.: *Late glacial and Holocene vegetation history and dynamics as shown by pollen and plant macrofossil analyses in annually laminated sediments from Soppensee, central Switzerland. Vegetation History and Archaeobotany 8, 165 – 184, Springer-Verlag 1999*

Lovelock J.: *Gaia vrací úder. Edice Galileo, Academia Praha, 2008*

Ložek, V.: *Výkyvy podnebí, křivky teplot a měkkýší fauna. Vesmír 90, 22, 2011*

Ložek, V.: *Případ pěnitec. Vesmír 91, str. 235-237, 2012*

Ložek, V.: *Zrcadlo minulosti. Česká a slovenská krajina v kvartéru. Dokořán. Praha, 2007*

Macdougall, J.D.: *Stručné dějiny planety Země. Naklad. Dokořán, Praha, 2004*

Macklin, M.G., Benito, G., Gregory, K.J. et al.: *Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial record of Europe. Catena (Elsevier) 66, 145 – 154, 2006*

Magny, M. , Bégeot, C., Quiot, J., Peyron, O.: *Contrasting patterns of hydrological changes in Europe in response to Holocene climate cooling phases. Quarternary Science Reviews 22, 1589-1596, 2003*

Magny, M., Haas, N.J.: *A major widespread climatic change around 5 300 cal. yr BP at the time of Alpine Iceman. Journal of Quarternary Science, 19, 423 – 430, 2004*

Markoš, A., Hajnal, L.: *Staré pověsti pozemské aneb malá historie planety a života. Nakl. Pavel Mervart, Praha, 2007*

Marsh, G.E.: *Climate stability and Policy: A Synthesis. Forum of Physics and Society. American Society Sites, 2010*

Marsh, G. E.: *Climate change: Sources of Warming in the Late 20th Century. Argone National Laboratory. 2009 Staženo 5. 9. 2010*

Matuszková, J. : *Starý Poddvorov. SPÚ Brno, 2002*

Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Stager, J.C. et al. *Holocene climate variability. Quarternary research 62, 243-255, 2007*

McLean, D.: *Deccan Traps Mantle Degassing in the Terminal Cretaceous Marine Extinctions. Cretaceous Research 6, 235-259, 1985*

Meyer, K.M., Kump, L.R., Ridgwell, A.: *Biogeochemical controls on photic-zone euxinia during the end – Permian mass extinction. Geology. V. 36, No. 9, pp. 747-750, 2008*

Mikuláš, R.: *Padesát let ediakarské fauny. Vesmír 76, 1997*

Mikuláš, R.: *Grónský ledový příkrov. Záznam klimatologických údajů a krajinný fenomén. Vesmír 80, 2001*

Moczydlowska, M.: *The Ediacaran Microbiota and the survival of Snowball Earth conditions. Precambrian Research 167, 1 – 15 pp. , Elsevier, 2008*

Müller, U. C., Pross, J., Bibus, E.: *Vegetation response to rapid climate change in Central Europe during the past 140,000 yr based on evidence from the Füramoos pollen record. Quaternary Research 59, 235–245, 2003*

Mursula, K., Usoskin, I.G., Kovaltschov, G. A.: *Persistent 22-years cycle in sunspot activity: evidence for a relic solar magnetic field. Solar Physics 198, 51 –56, 2001*

Muscheler, R., Beer, J., Finkel, J.C.: *Changes in deep-waer formation during the Younger Dryas cold period inferred from a comparison of Be^{10} and C^{14} records. Nature 408, 567-570, 2000*

Němec, J., Ložek, V. a kol.: *Chráněná území ČR – Praha. AOPK ČR, Consult Praha, 1997*

Novacek, M.J.: *100 milion years of land vertebrate evolution: The cretaceous-early tertiary transition. Annual Missouri Botanic Garden 86, 230 – 258, 1999*

Novák, J.A.: *Smrtící sopky- putování do středu Země. Nakl. XYZ, spol. s r. o. , 2011*

Novák, V. J.: *Kolísání podnebí v dobách historických a geologických. Jednota čs. matematiků a fysiků. Praha 1933*

Olsen P. E. et al. : *Ascent of dinosaurs linked to an iridium anomaly at the Triassic – Jurassic Boundary. Science 296, 1305-1307, 2002*

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

Pancost, R.D. et al.: *Further evidence for the development of photic-zone euxinic conditions during Mesozoic oceanic anoxic events. Journal of the Geological Society. V. 161, No. 3, pp. 353-364, 2004*

Payne, R.J.: *Meteors and perceptions of environmental change in the Annus Mirabilis AD 1783-4. North West Geography vol. 11, 2011*

Pearson, P.N., Palmer, M.R.: *Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 milion years. Nature, vol. 406, 2000*

Pfister,CH., Brázdil, R., Barriendos, M.: *Reconstructing Past Climate and Natural Disasters in Europe Using Documentary Evidence. Pages News, Science Highlights Vol.. 10, No. 3, 2002*

Pinhasi, R., Higham, T.F.G., Golovanova, L.V., Doronichev, V. B.: *Revised age of late Neanderthal occupation and the end of the Middle Paleolithic in the northern Caucasus. PNAS, vol. 108, No. 21, pp. 8611-8616, 2011*

Písek, J, Brázdil, R.: *Responses of large volcanic eruptions in the instrumental and documentary climatic data over Central Europe. International Journal of Climatology Vol. 26, Issue 4, pp. 349-459, 2006*

Poetszch, C. G.: *Chronologische Geschichte der großen Wasserfluthen des Elbstroms seit tausend und mehr Jahren. Erscheinungsort Dresden, 1784*

Pokorný, P.: *Neklidné časy. Nakl. Dokořán Praha, 2011*

Pokorný, R. : *Přednášky Geologie. Universita J.E.Purkyně, Ústí nad Labem, 2008*

Pokračovatelé Kosmovi: *Tzv. 2. pokračování Kosmovy kroniky. Praha, Melantrich. 1950*

Pope, K., D'Hont, S., Marshall, C.R.: *Meteorite impact and the mass extinction of species at the Cretaceous/Tertiary boundary. PNAS vol. 95, pp.11028-11029, 1998*

Porkelsson, B.: *Report of ICAO. The 2010 Eyjafjallajökull eruption, Iceland. Icelandic Meteorological Office Reykjavik, 2012*

Rajlich, P.: *Geologie mezi rozpínáním zeměkoule a Čechami. LK Tisk. Milevsko, 2004*

Rampino, M.R.: *Mass extinctions of life and catastrophic flood basalt volcanism. PNAS, vol. 107, no. 15, pp. 6555 – 6556, 2010*

Riede, F., Wheeler, J.M.: *Testing the „Laacher See hypothesis", tephra as dental abrasive. Journal of Archaeological Science 36, pp. 2384-2391, 2009*

Robek, A.: *Kronika rodiny Šebestů. Edice kronikářských lidových textů. ČSAV Praha, 1977*

Ruddiman, W.F.: *The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. Climatic Change 61, 261-293, 2003*

Ryskin, G.: *Methane-driven oceanic eruptions and mass extinctions. Geology, V. 31, No. 9, p. 741 – 744, 2003*

Sallan, L.C., Coates, M. I.: *End-Devonian extinction and a bottleneck in the early evolution of modern jawed vertebrates. PNAS, www.pnas.org, staženo 16.8.2010*

Saunders, A., Reichow, M.: *The Siberian Traps and the End-Permian mass extinction: a critical review. Chinese Science Bulletin. vol. 54, no. 1, 20 – 37, 2009*

Seppö, H., Birks, H. J. B.: *July mean temperature and annual precipitation trends during the Holocene in the Fennostcandian tree-line area: polen- based climate reconstructions. The Holocene 11, pp. 527-539, 2001*

Shaviv, N. J.: *On climate response to changes in the cosmic ray flux and radiative budget. Journal of Geophisical Research, vol. 110, A08105, 2005*

Schindler, M.: *Ötzi, the iceman. Inovation 11. Carl Zeiss, 2002*

Schmalling, G. Ch.: *Sammlung vermischter Nachrichten zur ohnsteinischen Geschichte, Erdbeschreibung und Statistik, nebst beygefügten Nützlichen Bemerkungen zur Aufnahme der Gesundheit, des Feld= Garten= und Hausbaues, der Haushaltung und Viehzucht ec. Als Hohnsteinisches Magazin in den Jahren 1788 bis 1791.- Halberstadt. 1791*

Schmitt, R.W.: *If Rain Falls on the Ocean- Does it Make a Sound? Fresh Waters Effect on Ocean Phenomena. http://www.whoi. edu, 1996, staženo 25.8.2010*

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

Smith, D.E. , Harrison, S., Firth, C.R., Jordan, J. T.: *The early Holocene Sea Level Rise. Quarternary science Reviews 30, pp. 1846-1860, 2011*

Soon, W., Yaskeel, S.H.: *Summer of 1816. Mercury, May, 2003*

Sorotkhtin, O.G., Chilingarian, G.V., Sorokhtin, N.O.: *Evolution of Earth and its Climate. Development in Earth and Environmental Sciences 10. Elsevier, 2011*

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

Soukupová J.: *Zkoumání možných dopadových struktur meteoritů na Zemi. Biologie-Chemie-Zeměpis roč. 20, č. 2. SPN Praha, 2013*

Soukupová, J.: *Heavy storms in 1783 in a historical documentary record. Meteorologické zprávy SHMÚ Bratislava, vol. 1, 2013, v tisku*

Soukupová, J.: *B.Franklin and a year "Annus Mirabilis", 1783 A.D., a period of unusual natural phenomena. Meteorologické zprávy ČHMÚ, přijat do tisku (1/2014)*

Stanley, S.M.: *The past climate change heats up. PNAS, vol, 97, No. 4, 1319, 2000*

Stothers, R. B.: *The great dry fog of 1783, Clim. Change 32, 79–89, 1996*

Stothers, R.B., Rampino, M.R.: *Volcanic Eruptions in the Mediterranean before A.D. 630. Journal of Geophysical Research, Vol. 88, No. 8, pp.357-637, 1983*

Stothers, R.B.: *Climatic and demographic consequences of the massive volcanic eruption of 1258. Climatic change 45, 361-374, 2000*

Strnadt, A.: *Chronologisches Berzeichniss der Natürlichen Befebenheiten in Böhmen. Prag, 1790*

Svoboda, J., Vašků, Z., Cílek, V.: *Velká kniha o klimatu zemí koruny české. Regia Praha, 2003*

Svoboda, J.: *Utajené dějiny podnebí. Nakl. Levné knihy. Praha, 2009*

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

Špaček, Š.: *Zápisky Šimona Špačka. Manuskript r. 1764-1826 in Lapáček, J.: Zápisky Šimona Špačka, obuvnického mistra z konce 18. století. Sborník státního okresního archivu Přerov, 2003*

Teller, J.T., Leverington, D. W., Mann, J. D.: *Freshwater outburst to the oceans from glacial Lake Agassiz and their role in climate change during the last deglaciation. Quarternary Science Reviews 21, 879-887, 2002*

The Gentleman's Magazine and the Historical Chronicle: Svazek 53, october 1783

Thompson, L.: *Major Climate Change Occured 5.200 Years Ago: Evidence Suggests That History Could Repeat Itself. Physorg.com, 2004*

Thordarson, T., Self, S.: *Atmospheric and environmental effect of the 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment. Journal of Geophysical Research, vol. 108, 2003*

Usoskin, I.G.: *Millenium Scale Sunspot Number Reconstructions Evidence of Usually Active Sun since the 1940´s. Physical Review Letters vol. 91, No. 21, 2003*

Van der Plicht, J., Van Geel, B. Bohncke, J. P., Bos, J. A. A. et al.: *The preboreal climate reversal and subsequent solar – forced climate shift. Journal of Quarternary Science 19, str. 263-269, 2004*

Varekamp, J.C.: *The Historic Fur Trade and Climate Change. EOS, vol. 87, No. 52, p. 596-597, 2006*

Vasiliev, S.S., Dergachev, V.A.: *The 2 400-year cycle in atmospehric radiocarbon concentrations: bispectrum of ^{14}C data over the last 8 000 years. Annales Geophysicae 20, 115 – 120, 2002*

Vašků, Z.: *Naše malé pluviály. Vesmír 76, č. 9, Praha 1997*

Vašků, Z.: *Islandský Lakagígar před 230 lety. Vesmír 92, č. 6, Praha, 2013*

Vavák, F. J.: *Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického, z let 1770-1816: Tiskem V.Kotrby v Praze v letech 1907-1938*

Vlastivědné muzeum Dr. Hostaše v Klatovech: www.klatovy.cz online, staženo 25. 5. 2013

Wagner, F., Bohncke, S.J.P., Dilcher, D.L., Kürschner, W.M., et al.: *Century- Scale Shifts in Early Holocene atmospheric CO_2 Concentration. Science 18, vol. 284, No. 5422, pp. 1971-1973, 1999*

Wang, Z., Mysak, L.A.: *Glacial abrupt climate changes and Dansgaard-Oeschger oscillations in a coupled climate model. Paleoceanography, vol 21, PA2001, doi:10, 2006*

Ward, P., Brownlee, D.: *Život a smrt planety Země. Dokořán a Argo. Praha 2004*

Ward, P.D., Haggart, J.W., Carter, E.S., Wilbur, D., Tipper, H. W. , Evans, T. : *Sudden Productivity Collapse Associated with the Triassic – Jurassic Boundary Mass Extinction. Science 272, pp. 1148-1151, 2001*

Ward, P.P., Brownlee, D.: *Rare Earth. Why Complex Life Is Uncommon in the Universe. Copernicus Books, New York, 2000*

Weber, D.C.: *Theory for the origin of the Deccan Traps, staženo 17. 8.2010 http://charles_w.tripod.com/decca_traps.pdf*

Westbroek, P.: *Život jako geologická síla. Nakl. Dokořán. Praha, 2003*

White, G.: *The Natural History and Antiquities of Selborne, in the County of Southampton 1789 in Cambridge University Press 2011*

Whiteside, J., Olsen, P.E., Kent, D.V., Fowell, S.J.: *Synchrony between the Central Atlantic magmatic province and the Triassic–Jurassic mass-extinction event? Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 244 pp. 345–367, 2007*

Youself, S. M.: *The solar Wolf-Gleissberg cycle and its influence on the Earth. ICEHM2000, Cairo University Egypt, page 267 – 293, 2000*

Z Veleslavína, D.A.: *Kalendař hystorycký : krátké a summownj poznamenánj wssechněch dnůw gednohokaždého měsýce, přes celý rok : k nímžto s doloženjm let buďto od stwořenj swěta, aneb od narozenj Božjho, přidány gsau wjry a*

paměti hodné historyae, w rozličných proměnách a přjhodách, sstiastných y nesstiastných weselých y smutných, obecných i osobnjch yak w ginných národech a zemjch, tak obzwlásstne w slawném národu a Králowstwj Českém, zběhlých : napřed položeny gsau Genealogiae". nákladem M. Danyele Adama z Weleslawjna, 1590

Záruba, B.: *Abeceda dávných věků. Albatros, Praha, 2006*

Zhou, M.F., Malpas, J., Xie, Y.S., Robinson, P.T. et al.: *A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction. Earth and Planetary Science Letters. Vol. 196, Iss.3-4, pp. 113-122, 2002*

Ziegler, V.: *Země a život. Nakl. ISV, Praha, 2002*

Zielinski, G. A., Mershon, G.R.: *Paleoenvironmental implications of the insoluble microparticle record in the GISP 2 (Greenland) ice core during the rapidly changing climate of the Pleistocene- Holocene transition. Geological Society of America Bulletin 109;547-559, 1997*

PŘÍLOHY

A. TABULKY	
Tabulka č. 1	*Stratigrafická tabulka*
Tabulka č. 2	*Dopadové krátery*
Tabulka č. 3	*Tabulka vulkánů podle Global Volcanism Program*
Tabulka č. 4	*Počet bouřek 1783 pozorovaných v Klementinu*
B. GRAFY	
Graf č. 1	*Chod počtu slunečních skvrn (24.cyklus a Daltonovo minimum)*
Graf č. 2	*Sluneční cykly od r. 1749*
Graf č. 3 - 8	*Teploty podle dlouhých teplotních řad Evropy*
Graf č. 9	*Teploty v době erupce Laki 1783*
Graf č. 10 a 11	*Denní chod teplot v době erupce Laki 1783*
Graf č. 12	*Rozmístění významných erupcí v čase*
Graf č. 13 – 26	*Vulkanická aktivita pro každé století od r. 500 do r. 1899 podle signálu síry v ledovcových jádrech*
C. OBRÁZKY	
Obr. č. 1	*Pravděpodobná synoptická situace v době erupce Laki v červnu r. 1783*
Obr. č. 2	*Pravděpodobná synoptická situace v době erupce Laki v červnu r. 1783 – v den erupce*
Obr. č. 3	*Ukázka stratigraficky významné zkaměněliny*

A. TABULKY

Tabulka 1

Stratigrafická tabulka - zdroj www.biolib.cz

Eón	Éra	Útvar		Oddělení	Doba před mil. let
fanerozoikum	kenozoikum	kvartér		holocén	recent
				pleistocén	0.0115
		terciér	neogén	pliocén	1.806
				miocén	5.332
			paleogén	oligocén	23.03
				eocén	33.9
				paleocén	55.8
	mesozoikum	křída		svrchní křída	65.5
				spodní křída	99.6
		jura		svrchní jura	145.5
				střední jura	161.2
				spodní jura	175.6
		trias		svrchní trias	199.6
				střední trias	228
				spodní trias	245
	paleozoikum	perm		svrchní perm	251
				střední perm	260.4
				spodní perm	270.6
		karbon		svrchní karbon	299
				spodní karbon	318.1
		devon		svrchní devon	359.2
				střední devon	385.3
				spodní devon	397.5
		silur		svrchní silur	416
				spodní silur	422.9
		ordovik		svrchní ordovik	443.7
				střední ordovik	460.9
				spodní ordovik	471.8
		kambrium		svrchní kambrium	488.3
				střední kambrium	501
				spodní kambrium	513
proterozoikum	neoproterozoikum	ediacara			542
		cryogen			630
		ton			850
	mesoproterozoikum	sten			1000
		ectas			1200
		calym			1400
	paleoproterozoikum	stather			1600
		orosir			1800
		rhyac			2050
		sider			2300
	neoarchaikum				2500
	mesoarchaikum				2800
	paleoarchaikum				3200
	eoarchaikum				3600

Tabulka 2

Dopadové krátery podle Jarmo Moilanena (www.somerikko.net/impact)
- seřazeny od největších struktur (diam. km), jsou uvedeny pouze potvrzené impakty

STRUCTURE NAME	COUNTRY	LAT	LONG	DIAM. KM	AGE MA. OR DATE
VREDEFORT	South Africa	S 27°00'	E 27°30'	250,0	202 3,0 ±4,0
SUDBURY	Canada	N 46°36'	W 81°11'	200,0	1850,0 ±3,0
CHICXULUB	Mexico	N 21°20'	W 89°30'	180,0	64,98 ±0, 05
MANICOUAGAN	Canada	N 51°23'	W 68°42'	100,0	214,0 ± 1,0
POPIGAI	Russia	N 71°30'	E 111°00'	100,0	35,0 ±5,0
CHESAPEAKE BAY	USA	N 37°15'	W 76°05'	85,0	35,5 ±0,6
MOROKWENG	South Africa	S 26°28'	E 23°32'	70,0	145, 0 ±0,8
KARA	Russia	N 69°05'	E 64°18'	65,0	70,3 ±2,2
SILJAN	Sweden	N 61°02'	E 14°52'	55,0	368,0 ±1,1
CHARLEVOIX	Canada	N 47°32'	W 70°18'	54,0	357,0 ±15 ,0
SAINT MARTIN	Canada	N 51°47'	W 98°32'	40,0	219,50 ±32,0
MANSON	USA	N 42°35'	W 94°31'	35,0	74,0
CLEARWATER LAKE WEST	Canada	N 56°13'	W 74°30'	32,0	290,0 ±20,0
SHOEMAKER	Australia	S 25°52'	E 120°53'	30,0	1685,0 ±5,0
SLATE ISLANDS	Canada	N 48°40'	W 87°00'	30,0	<350,0
HAUGHTON	Canada	N 75°22'	W 89°41'	24,0	23,4 ±1,0
RIES	Germany	N 48°53'	E 10°37'	24,0	14,87 ±0,36
ROCHECHOUART	France	N 45°50'	E 0°56'	23,0	214,0 ±8,0
CLEARWATER LAKE EAST	Canada	N 56°05'	W 74°07'	22,0	290,0 ±20,0
DELLEN	Sweden	N 61°55'	E 16°39'	19,0	89,0 ±2,7
EL'GYGYTGYN	Russia	N 67°30'	E 172°05'	18,0	3,58 ±0,04
LAPPAJÄRVI	Finland	N 63°09'	E 23°42'	17,0	73,3 ±5, 3
JÄNISJÄRVI	Russia	N 61°58'	E 30°55'	14,0	698,0 ±22 ,0
ZHAMANSHIN	Kazakstan	N 48°24'	E 60°58'	13,5	0,9 ±0 ,1
DEEP BAY	Canada	N 56°24'	W 102°59'	13,0	100,0

MARQUEZ DOME	USA	N 31°17'	W 96°18'	13,0	58,0 ±2,0
SIERRA MADERA	USA	N 30°36'	W 102°55'	13,0	<100,0
BOSUMTWI	Ghana	N 6°32'	W 1°25'	10,5	1,07 ±0,2
PAASSELKÄ	Finland	N 62°12'	E 29°23'	10,0	228,7 ±3, 0
MIEN	Sweden	N 56°25'	E 14°52'	9,0	121,0 ±2,3
WANAPITEI LAKE	Canada	N 46°45'	W 80°45'	7,5	37,0 ± 2,0
SÄÄKSJÄRVI	Finland	N 61°24'	E 22°24'	5,0	602,0 ±17 ,0
GARDNOS	Norway	N 60°39'	E 9°00'	4,8	650,0
BRENT	Canada	N 46°05'	W 78°29'	3,8	450,0 ±30,0
STEINHEIM	Germany	N 48°40'	E 10°04'	3,8	14,8 ±0,7
NEW QUEBEC	Canada	N 61°17'	W 73°40'	3,44	1,4 ±0,1
LONAR	India	N 19°59'	E 76°31'	1,83	0,052 ±0,006
BARRINGER	USA	N 35°02'	W 111°01'	1,186	0,049 ±0,0
TSWAING	South Africa	S 25°24'	E 28°05'	1,13	0,22
WOLFE CREEK	Australia	S 19°18'	E 127°46'	0,875	<0,3
MONTURAQUI	Chile	S 23°56'	W 68°17'	0,46	1,0
BOXHOLE	Australia	S 22°37'	E 135°12'	0,185	0,03
ODESSA	USA	N 31°45'	W 102°29'	0,168	<0,05
HENBURY	Australia	S 24°35'	E 133°09'	0,157	<0,005
WABAR	Saudi Arabia	N 21°30'	E 50°28'	0,116	0,0045
CAMPO DEL CIELO	Argentina	S 27°38'	W 61°42'	0,115	<0,004
KAALIJÄRV	Estonia	N 58°24'	E 22°40'	0,11	0,0026 ±0,0002
VEEVERS	Australia	S 22°58'	E 125°22'	0,08	<1,0
SIKHOTE-ALIN	Russia	N 46°07'	E 134°40'	0,027	12 Feb, 1947
DALGARANGA	Australia	S 27°45'	E 117°05'	0,021	0,025
CARANCAS	Peru	S 16°39'52,2"	W 69°02'38,8"	0,0135	18, Sept 2007
STERLITAMAK	Russia	N 53°40'	E 55°59'	0,0094	17 May 1990
IMILAC	Chile	S 24°12'	W 68°48'	0,008	young
KUNYA-URGENCH	Turkmenistan	N 42°15'	E 59°12'	0,006	20 June 1998
TUNGUSKA	Russia	N 60°54'	E 101°57'	airblast	30 June 1908

Tabulka 3

Tabulka vulkánů podle http://www.volcano.si.edu - Global Volcanism Program od r. 500 do r. 1900 s VEI nad 4

- *chybí nepotvrzené erupce z r. 536 a 626, které jsou popsány ve studii, nicméně nebyly dosud s jistotou identifikovány, také sopka z r. 1257 (s nejvyšší pravděpodobností Samalas)*
- *směrem ke dnešku přibývá zaznamenaných erupcí díky pokrokům vědy a zachovalosti historických pramenů*

VOLCANO NAME	***SUBREGION***	***ACTIVITY START DATE (YYYY-MM-DD)***	***ACTIVITY VEI***	***HAS FATALITIES***
Oshima	*Izu, Volcano, and Mariana Islands*	*680 (?)*	*4*	*Yes*
Vesuvius	*Italy*	*685 Feb*	*4*	*Yes*
Fuji	*Honshu*	*800 Apr 11*	*4*	*Yes*
Oshima	*Izu, Volcano, and Mariana Islands*	*854 Sep 14 (?) (?)*	*4*	*Yes*
Ibusuki Volcanic Field	*Ryukyu Islands and Kyushu*	*874 Mar 29*	*4*	*No*
Ibusuki Volcanic Field	*Ryukyu Islands and Kyushu*	*885 Aug 29*	*4*	*No*
Katla	*Iceland (southern)*	*934 ± 2 years*	*4*	*Yes*
Asama	*Honshu*	*1108 Aug 29*	*5*	*Yes*
Reykjanes	*Iceland (southwestern)*	*1226 Jul 15*	*4*	*No*
Hekla	*Iceland (southern)*	*1300 Jul 11*	*4*	*Yes*
Okataina	*New Zealand*	*1310 ± 12 years*	*5*	*Yes*
Öraefajökull	*Iceland (southeastern)*	*1362 Jun 5*	*5*	*Yes*
Sakurajima	*Ryukyu Islands and Kyushu*	*1471 Nov 3*	*5*	*Yes*
Cotopaxi	*Ecuador*	*1534 Jun*	*4*	*Yes*
Agua de Pau	*Azores*	*1563 Jun 28*	*5*	*No*
Fuego	*Guatemala*	*1581 Dec 26*	*4*	*Yes*
Fuego	*Guatemala*	*1582 Jan 14*	*4*	*Yes*
Hekla	*Iceland (southern)*	*1597 Jan 3*	*4*	*Yes*
Huaynaputina	*Perú*	*1600 Feb 19*	*6*	*Yes*
Momotombo	*Nicaragua*	*1605*	*4*	*No*
Colima	*México*	*1606 Dec 13*	*4*	*Yes*
Colima	*México*	*1606 Nov 25*	*4*	*Yes*
Colima	*México*	*1622 Jun 8*	*4*	*Yes*
Katla	*Iceland (southern)*	*1625 Sep 2*	*5*	*Yes*
Furnas	*Azores*	*1630 Sep 3*	*5*	*Yes*
Vesuvius	*Italy*	*1631 Dec 16*	*5*	*Yes*
Komaga-take	*Hokkaido*	*1640 Jul 31*	*5*	*Yes*
Parker	*Mindanao*	*1641 Jan 4*	*5*	*Yes*
Makian	*Halmahera*	*1646 Jul 19*	*4*	*Yes*
Santorini	*Greece*	*1650 Sep 27*	*4*	*Yes*
Katla	*Iceland (southern)*	*1660 Nov 3*	*4*	*Yes*
Guagua Pichincha	*Ecuador*	*1660 Oct 27*	*4*	*Yes*
Usu	*Hokkaido*	*1663 Aug 16*	*5*	*Yes*

Shikotsu	*Hokkaido*	*1667 Sep 23*	*5*	*Yes*
Hekla	*Iceland (southern)*	*1693 Feb 13*	*4*	*Yes*
Serua	*Banda Sea*	*1693 Jun 4*	*4*	*Yes*
Komaga-take	*Hokkaido*	*1694 Jul 4*	*4*	*Yes*
Fuji	*Honshu*	*1707 Dec 16*	*5*	*Yes*
Taal	*Luzon*	*1716 Sep 24*	*4*	*Yes*
Fuego	*Guatemala*	*1717 Aug 27*	*4*	*Yes*
Katla	*Iceland (southern)*	*1721 May 11*	*5*	*Yes*
Öraefajökull	*Iceland (southeastern)*	*1727 Aug 3*	*4*	*Yes*
Fuego	*Guatemala*	*1737 Aug 27*	*4*	*Yes*
Shikotsu	*Hokkaido*	*1739 Aug 19*	*5*	*Yes*
Oshima-Oshima	*Hokkaido*	*1741 Aug 29*	*4*	*Yes*
Cotopaxi	*Ecuador*	*1744 Nov 30*	*4*	*Yes*
Taal	*Luzon*	*1749 Aug 11 (?)*	*4*	*Yes*
Taal	*Luzon*	*1754 Nov 28*	*4*	*Yes*
Katla	*Iceland (southern)*	*1755 Oct 17*	*5*	*Yes*
Michoacán-Guanajuato	*México*	*1759 Sep 29*	*4*	*Yes*
Makian	*Halmahera*	*1760 Sep 22*	*4*	*Yes*
Miyake-jima	*Izu, Volcano, and Mariana Islands*	*1763 Aug 17*	*4*	*Yes*
Michoacán-Guanajuato	*México*	*1764*	*4*	*Yes*
Hekla	*Iceland (southern)*	*1766 Apr 5*	*4*	*Yes*
Sakurajima	*Ryukyu Islands and Kyushu*	*1779 Nov 8*	*4*	*Yes*
Asama	*Honshu*	*1783 Aug 3*	*4*	*Yes*
Laki	*Iceland (northeastern)*	*1783 Jun 8*	*4*	*Yes*
Pavlof	*Alaska Peninsula*	*1786*	*4*	*No*
Etna	*Italy*	*1787 Jul 18*	*4*	*Yes*
Alaid	*Kuril Islands*	*1793 Feb*	*4*	*No*
San Martín	*México*	*1793 Mar 2*	*4*	*No*
Soufrière St. Vincent	*West Indies*	*1812 Apr 27*	*4*	*Yes*
Awu	*Sangihe Islands*	*1812 Aug 6*	*4*	*Yes*
Suwanosejima	*Ryukyu Islands and Kyushu*	*1813*	*4*	*No*
Mayon	*Luzon*	*1814 Feb 1*	*4*	*Yes*
Tambora	*Lesser Sunda Islands*	*1815 Apr 10*	*7*	*Yes*
Raung	*Java*	*1817 Jan 16*	*4*	*Yes*
Colima	*México*	*1818 Feb 15*	*4*	*Yes*
Usu	*Hokkaido*	*1822 Mar 12*	*4*	*Yes*
Galunggung	*Java*	*1822 Oct 8*	*5*	*Yes*
Kelut	*Java*	*1826 Oct 11*	*4*	*Yes*
Avachinsky	*Kamchatka Peninsula*	*1827 Jun 27*	*4*	*No*
Cosigüina	*Nicaragua*	*1835 Jan 20*	*5*	*Yes*
Hekla	*Iceland (southern)*	*1845 Sep 2*	*4*	*Yes*
Fonualei	*Tonga Islands*	*1846 Jun 11 (?)*	*4*	*No*
Usu	*Hokkaido*	*1853 Apr 22*	*4*	*Yes*
Fuego	*Guatemala*	*1857 Jan 15*	*4*	*Yes*
Katla	*Iceland (southern)*	*1860 May 8*	*4*	*Yes*
Makian	*Halmahera*	*1861 Dec 28*	*4*	*Yes*

Sinarka	*Kuril Islands*	*1872*	*4*	*Yes*
Merapi	*Java*	*1872 Apr 15*	*4*	*Yes*
Grímsvötn	*Iceland (northeastern)*	*1873 Jan 8*	*4*	*Yes*
Askja	*Iceland (northeastern)*	*1875 Mar 29*	*5*	*No*
Cotopaxi	*Ecuador*	*1877 Jun 26*	*4*	*Yes*
Fuego	*Guatemala*	*1880 Jun 28*	*4*	*Yes*
Krakatau	*Krakatau*	*1883 Aug 27*	*6*	*Yes*
Augustine	*Alaska (southwestern)*	*1883 Oct 6*	*4*	*No*
Niuafo'ou	*Tonga Islands*	*1886 Aug 31*	*4*	*Yes*
Tungurahua	*Ecuador*	*1886 Jan 11*	*4*	*Yes*
Okataina	*New Zealand*	*1886 Jun 10*	*5*	*Yes*
Bandai	*Honshu*	*1888 Jul 15*	*4*	*Yes*
Suwanosejima	*Ryukyu Islands and Kyushu*	*1889 Oct 2*	*4*	*No*
Colima	*México*	*1890 Feb 16*	*4*	*Yes*
Calbuco	*Southern Chile and Argentina*	*1893 Jan 10*	*4*	*No*
Mayon	*Luzon*	*1897 Jun 25*	*4*	*Yes*

Tabulka 4

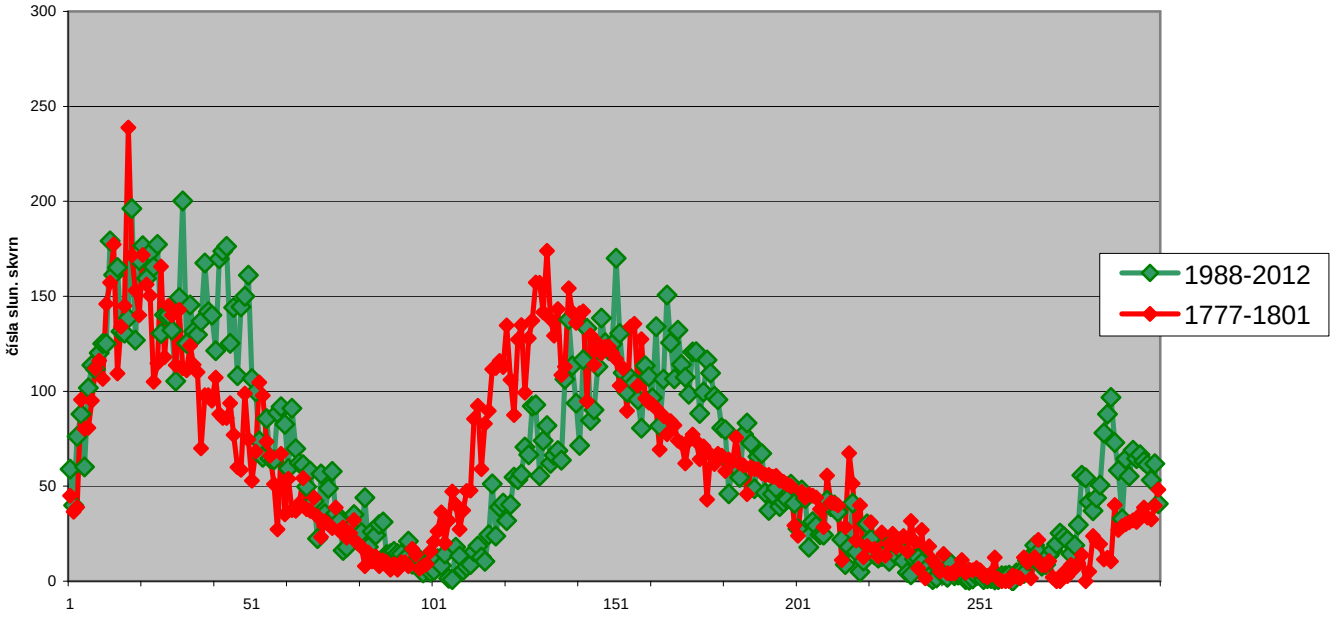
Počet bouřek roku 1783 pozorovaných v pražské Klementinské observatoři. Počty se podle různých autorů liší, tato tabulka vychází ze zápisků meteorologických pozorování. Počet bouřek v Praze v roce 1783 je skutečně nejvyšší. Průměrný počet dnů s bouřkou – 22 - pro Prahu uvádí Klimatologický atlas ČR /za referenční období let 1981 – 2000/ . Stanice Libuš uvádí 20,15 dne /za referenční období let1973-2012/.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
1777				1	1	1	1			1	1		6
1778						1	1	1	1				4
1779					1				2			1	4
1780					3	2							5
1781							2	10	4				16
1782				3		3	5	1					12
1783			1	1	4	7	10	12	2				37
1784			1		2	3	6	15	2				29
1785					2	2	3	3					10
1786				3	1	5	1	2	1				13
1787				2	3	3	8	2	1				19

B. GRAFY

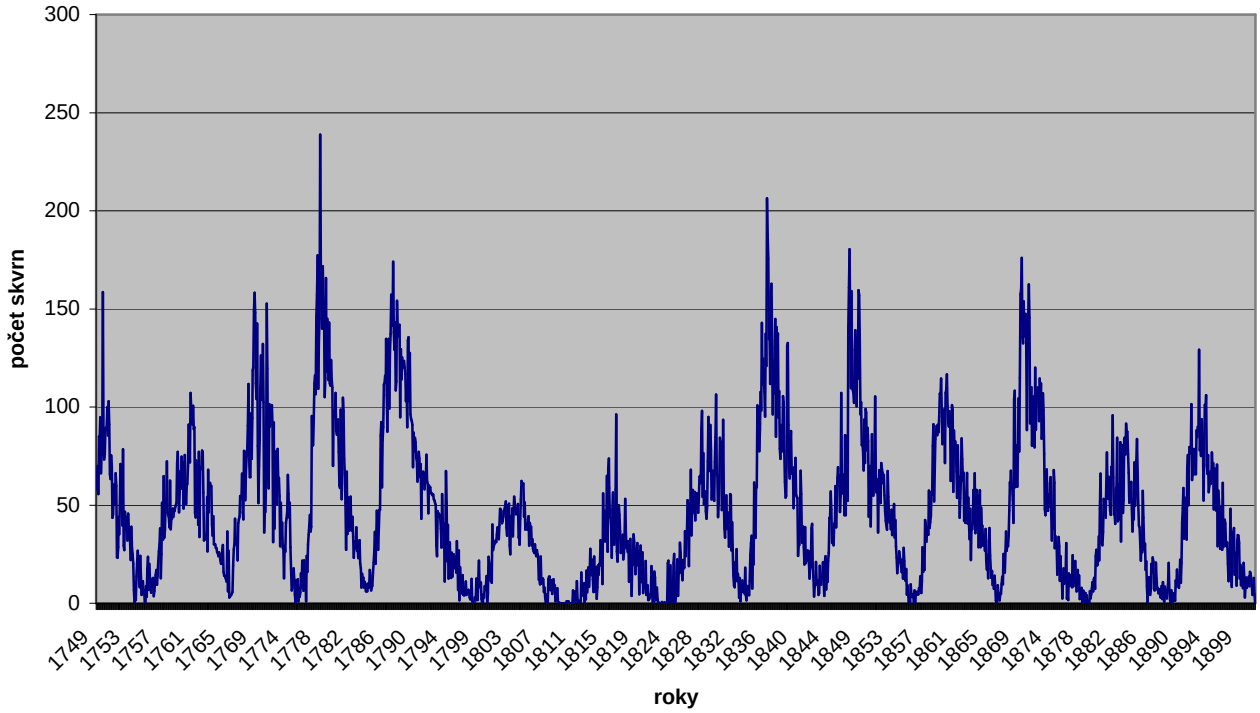
Graf č. 1

Chod počtu slunečních skvrn – srovnání dneška a doby Daltonova minima sluneční činnosti – křivky jsou velmi podobné, což přispívá k názorům některých vědců, že žijeme v poměrně výrazném slunečním minimu.



Graf č. 2

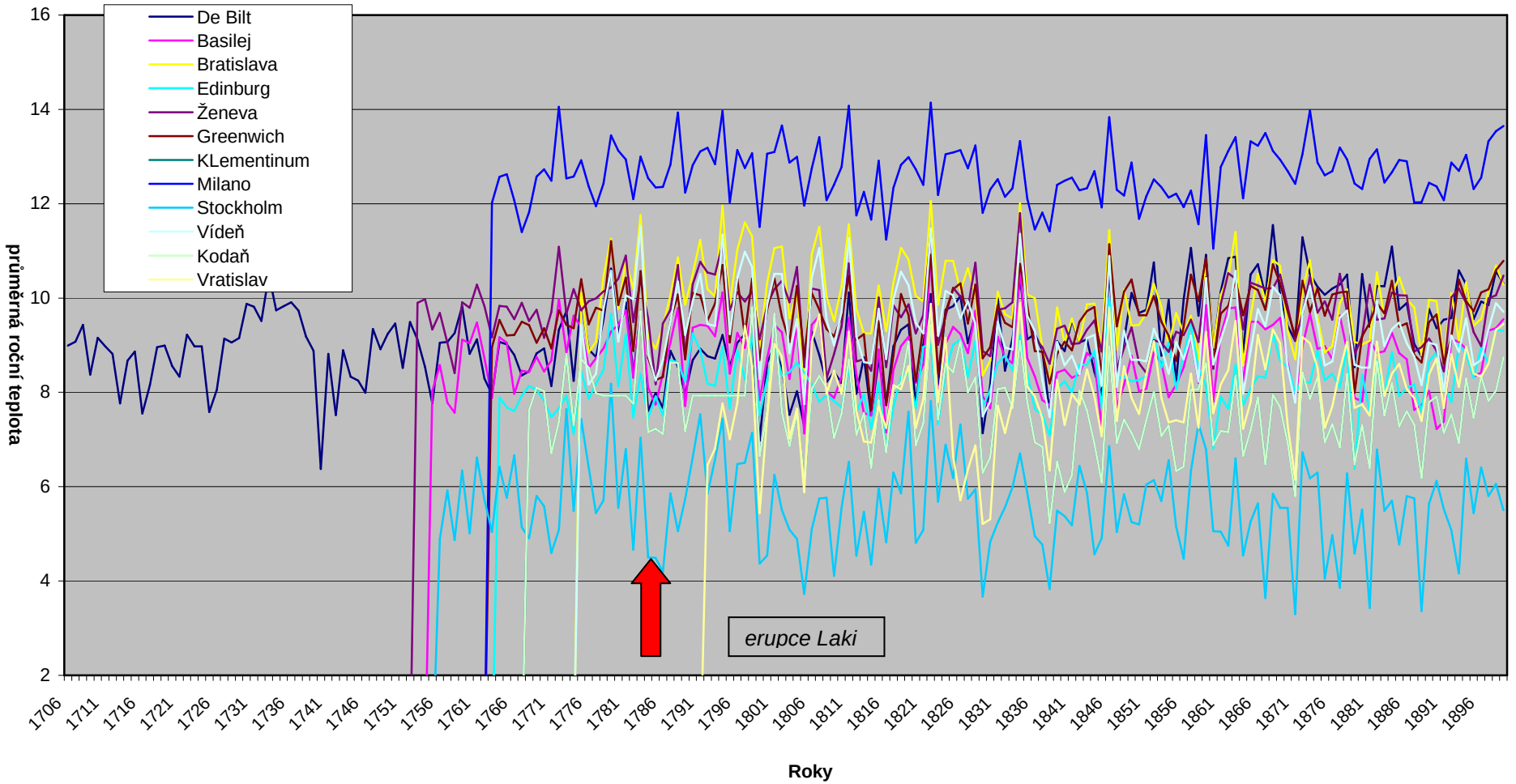
Sluneční cykly – vidíme skvěle vyjádřené Daltonovo minimum datované přibl. od r. 1790 do r. 1840



Grafy č. 3 – 8

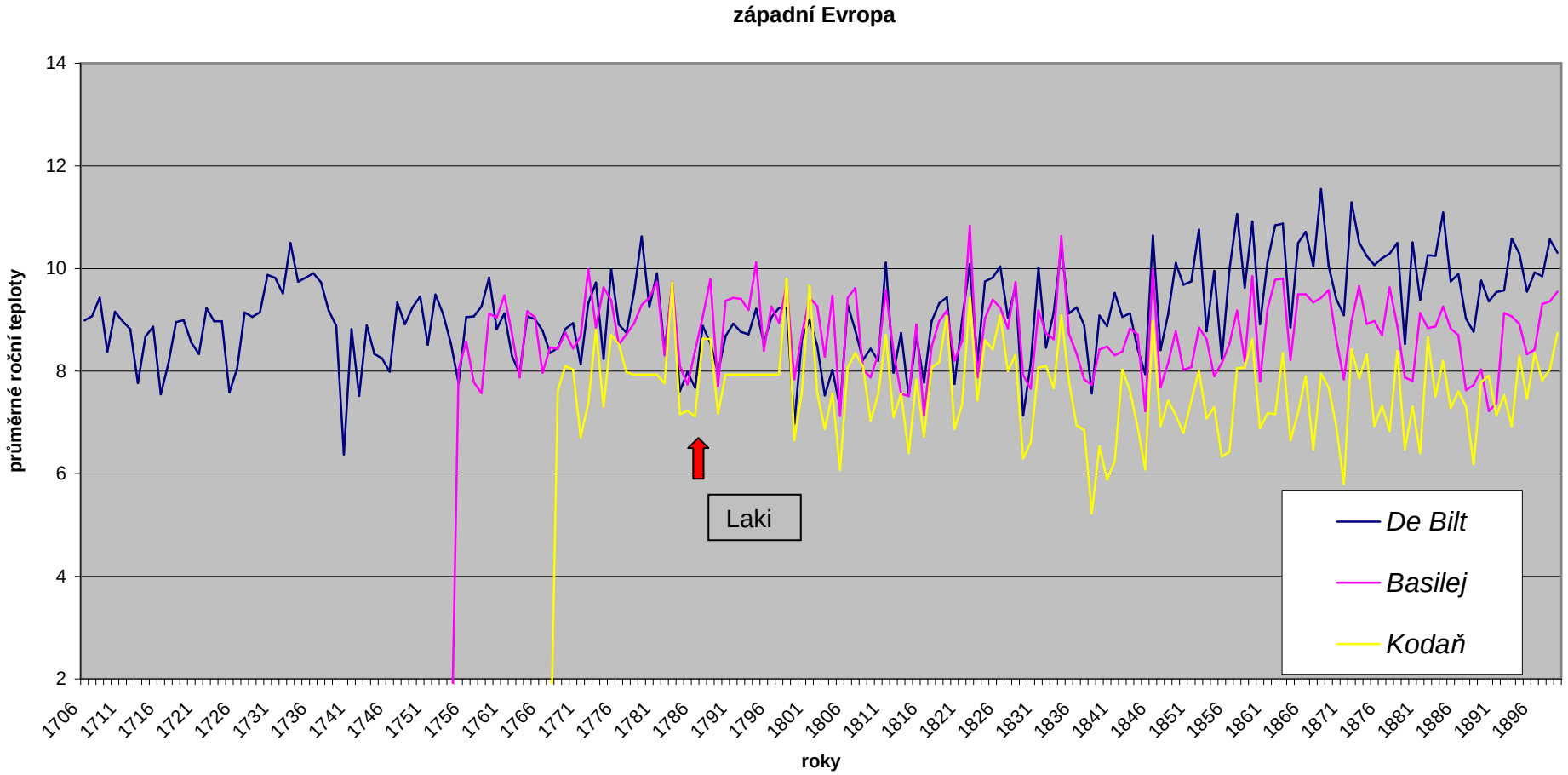
Teploty podle dlouhých teplotních řad

- *použity jsou roční průměrné teploty vzduchu*
- *svislá čára vždy začíná tam, kde daná stanice počala měření*



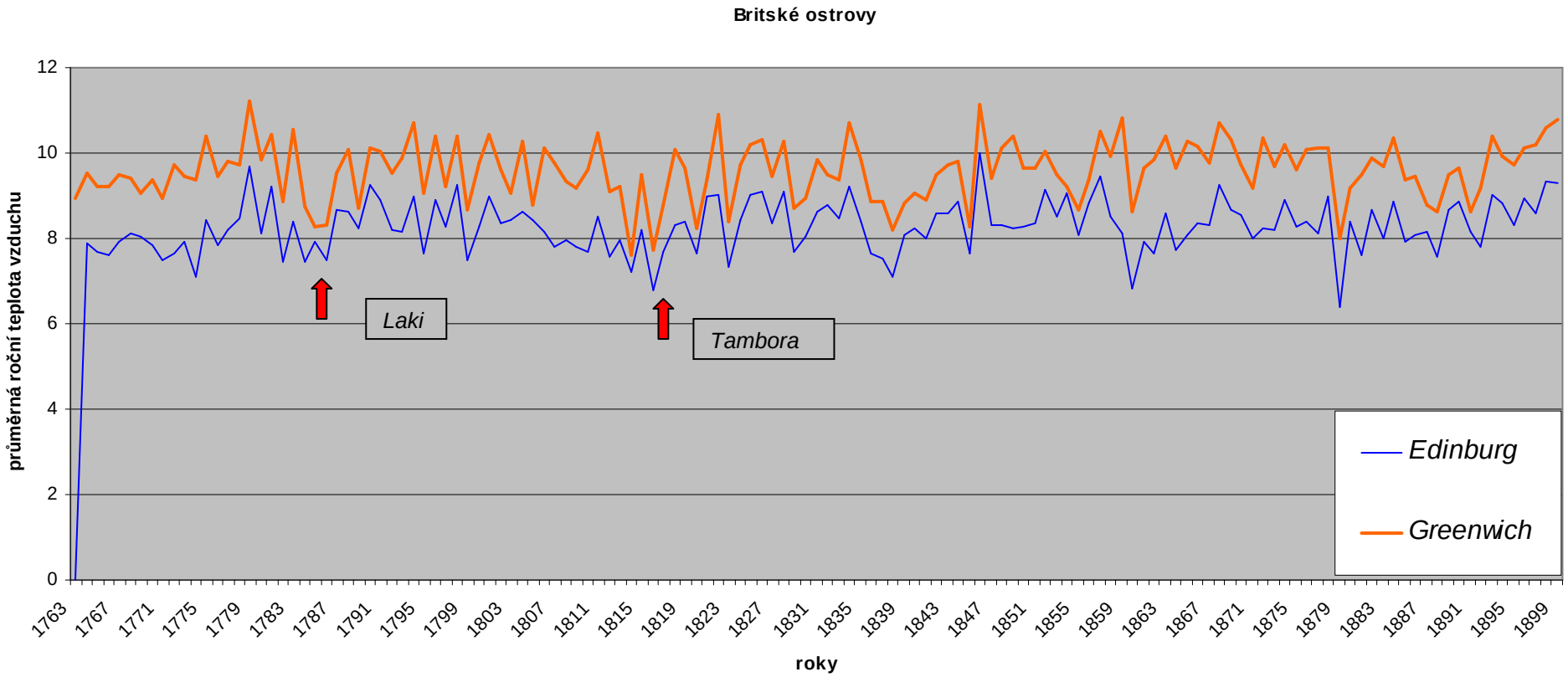
Graf č. 3 *- teploty v Evropě – křivky mají přibližně stejný průběh naznačující trend kolísání teplot*

- *velmi dobře pozorovatelný je několikaletý výkyv teploty po puklinové erupci Laki*
- *začátky jednotlivých řad jsou značeny kolmou čarou, nejdelší je De Bilt, Holandsko*



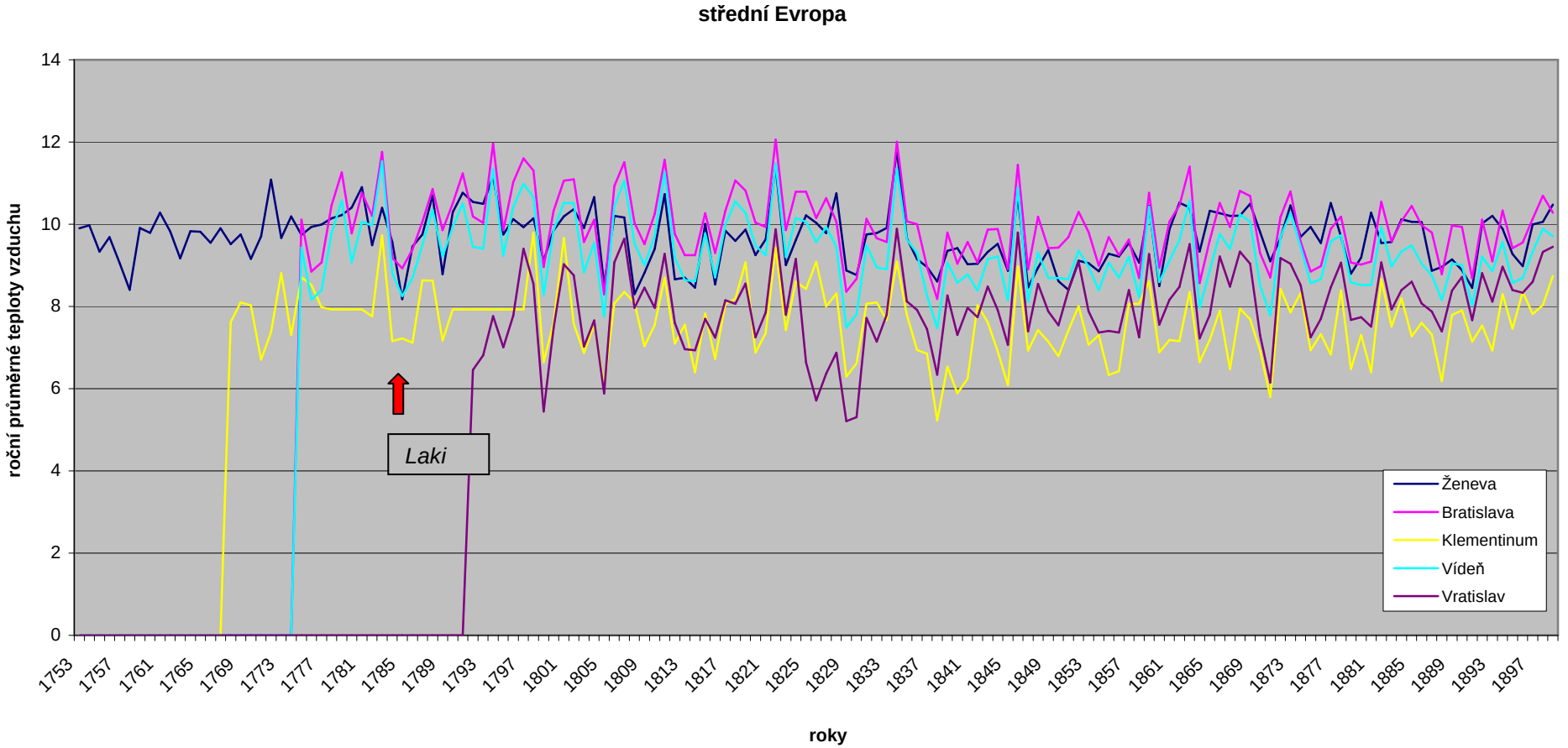
Graf č. 4 *- teploty z nejdelších řad v západní Evropě, svislá čára značí vždy začátek řady, nejdelší zde je De Bilt (Holandsko)*

- *bezpečně poznáme dobu erupce Laki po r. 1783, ačkoliv propad teplot není tak výrazný*



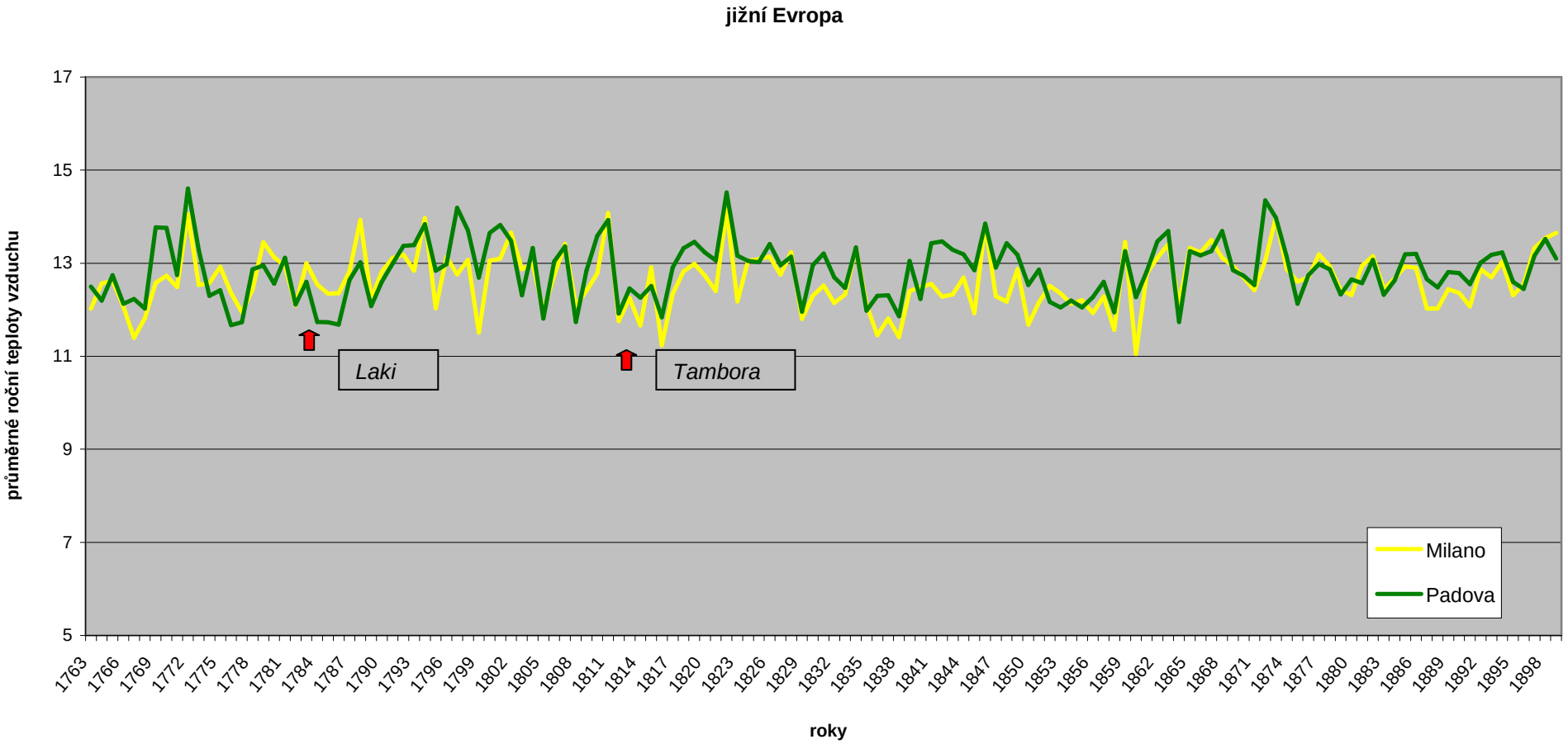
Graf č. 5 *- teploty z nejdelších řad na Britských ostrovech*

- *dá se určit propad teplot po erupci Laki 1783 a Tambory 1815*
- *propad teplot v r. 1879 je velmi zajímavý a měl by být ještě předmětem zkoumání*



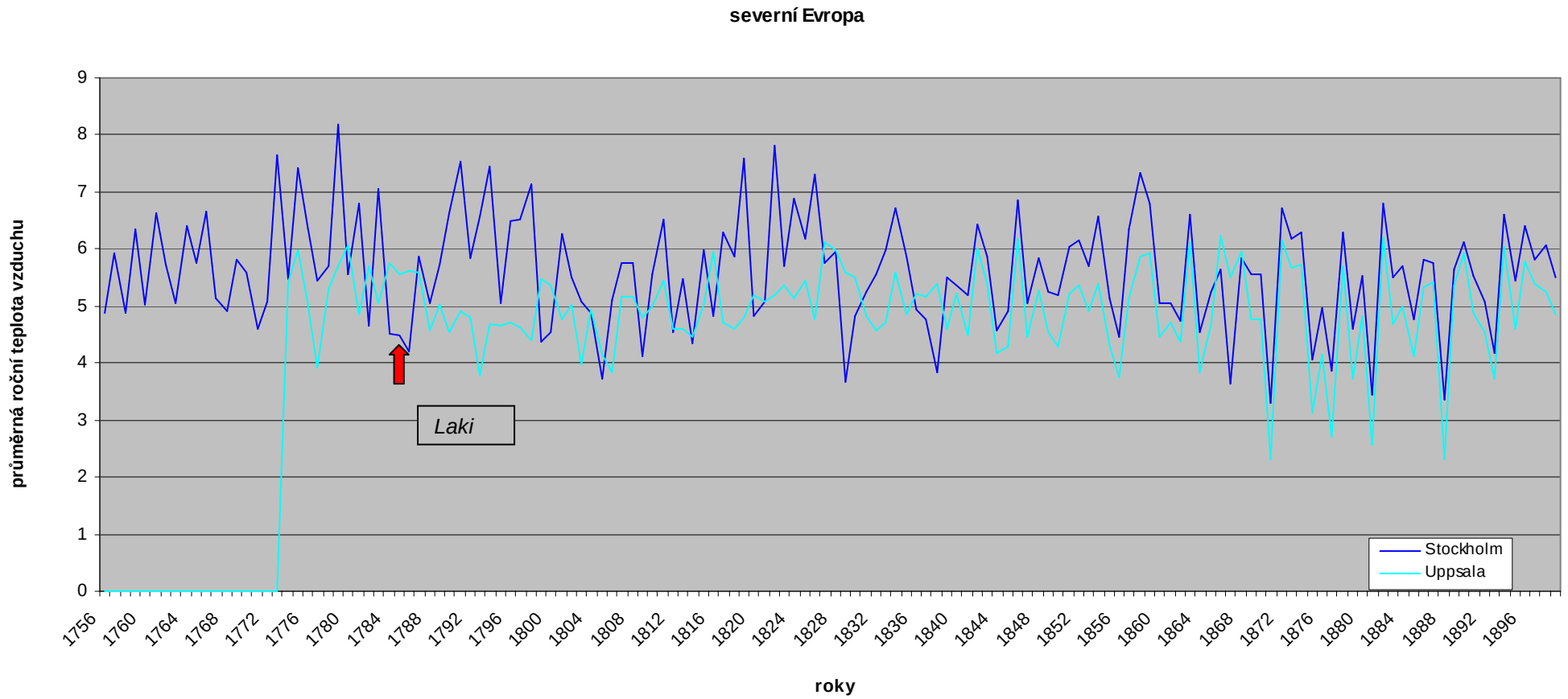
Graf č. 6 - *teplotní řady střední Evropy a okolí*

- *velmi dobře je vidět teplotní propad po erupci Laki po r. 1783*
- *studené roky 1799, 1830 a 1871 mohou být ještě předmětem zkoumání*
- *svislé čáry značí začátek dlouhých řad*



Graf č. 7 - *teplotní řady z jižní Evropy*

- *celkem dobře tu najdeme signál snížení teplot po erupci Laki 1783 a také po erupci Tambory 1815*

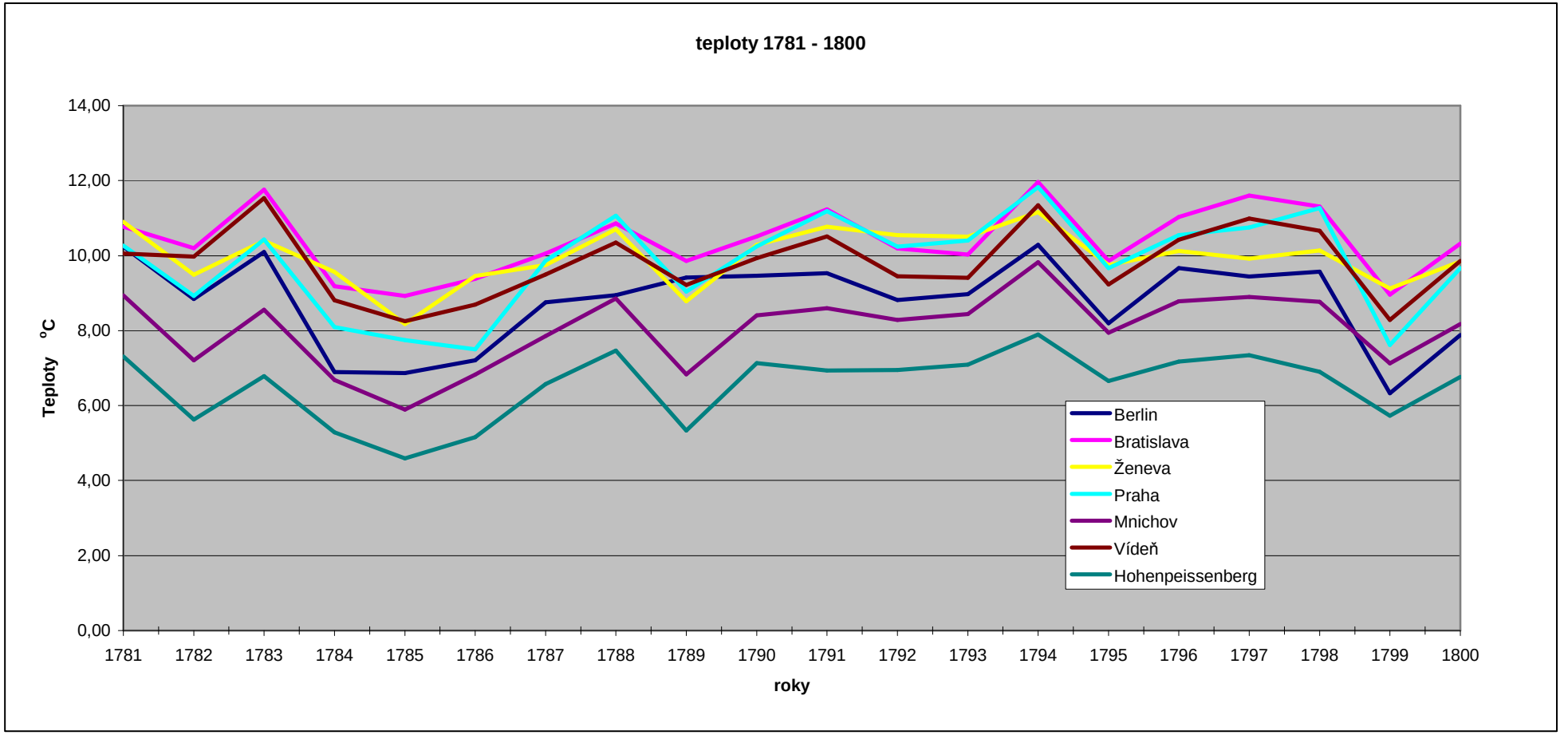


Graf č. 8 - *dlouhé teplotní řady ze severní Evropy*

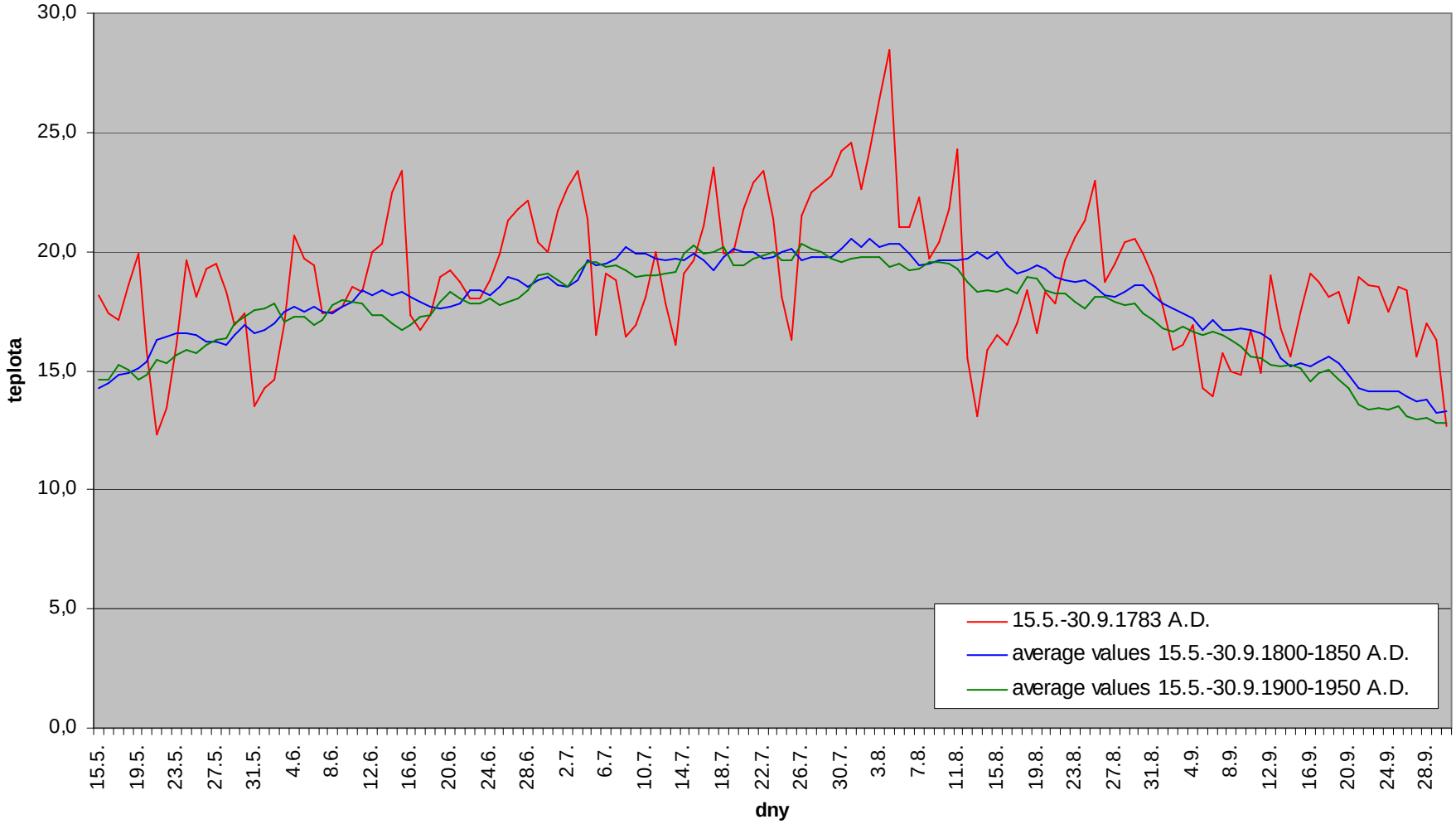
- *erupce Laki se neprojevila na teplotách, měřených v Uppsale (Švédsko)*
- *velmi zajímavý je rozkyv teplot mezi roky 1870 až 1890, s vulkanickou činností nejspíše nesouvisejí*

Graf č. 9

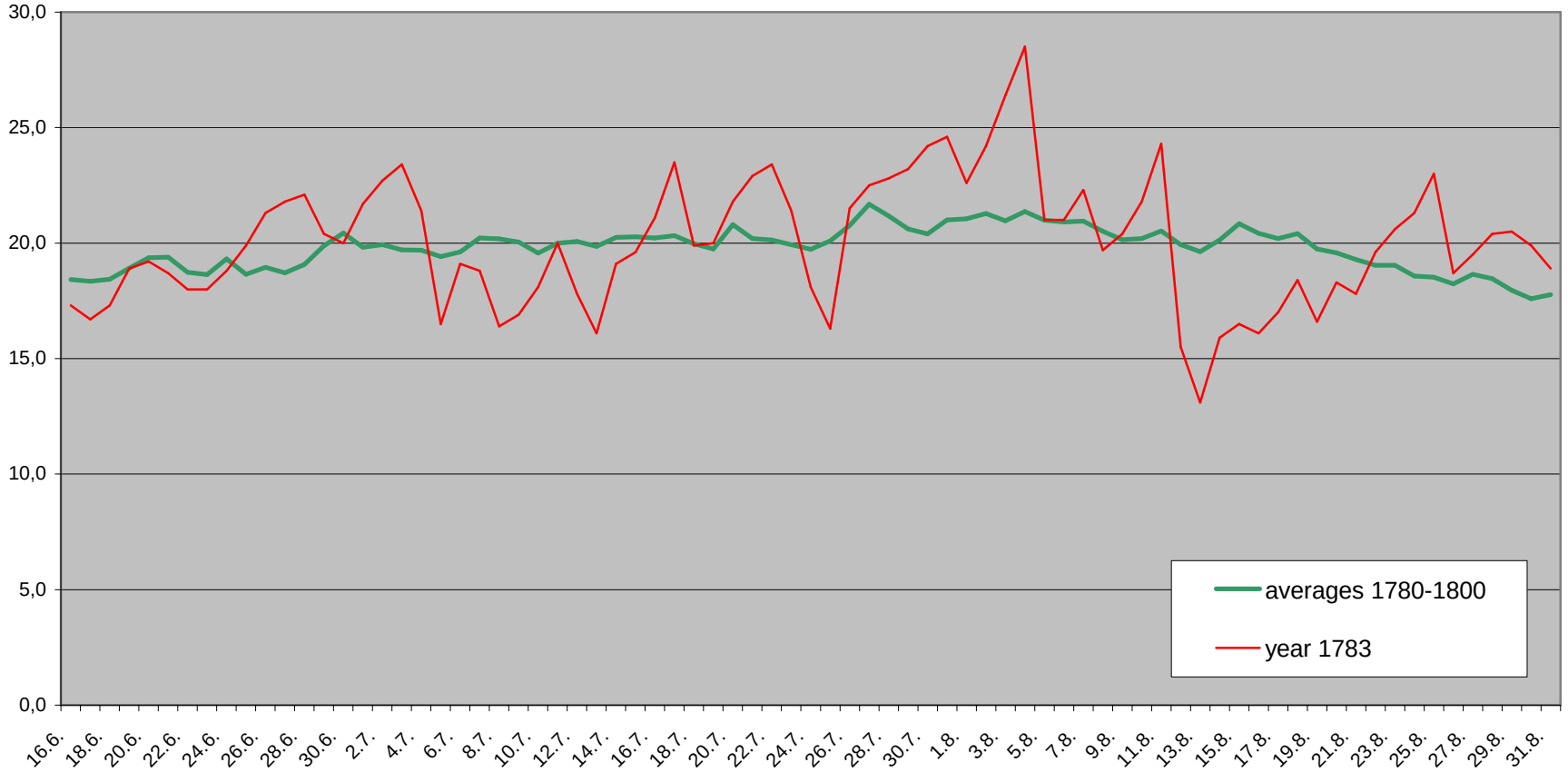
Teploty v době erupce sopky Laki, tedy po r. 1783



Grafy č. 10 a 11
Denní chod teplot v době erupce Laki



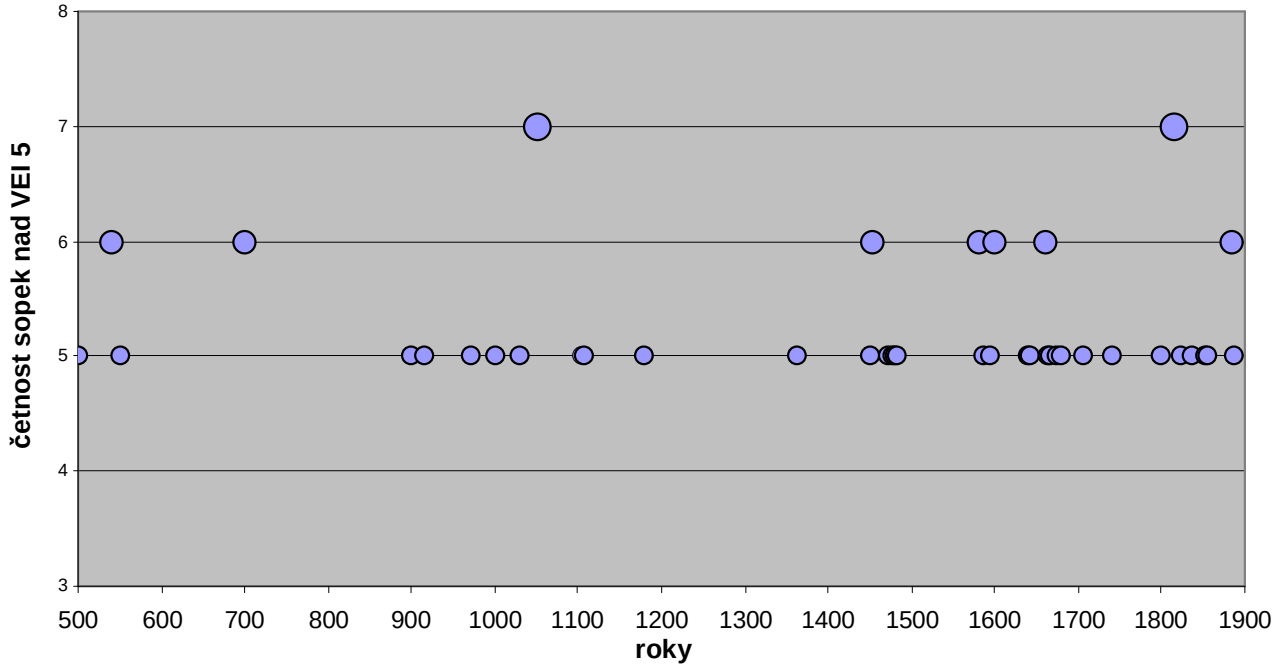
Graf č. 10 - *Denní teploty měřené v observatoři Klementina – průměry teplot pro období mezi květnem a zářím 1800 – 1850 a 1900-1950 srovnané s teplotami roku 1783, který se vyznačoval vysokými teplotami, podpořenými ještě erupcí sopky Laki*



Graf č. 11 - *Denní teploty měřené v Klementinu v době silných bouří, souvisejících s Laki, 16. června – 31. srpna. Pokles teplot kolem 25. 7. a 13. 8 je nejspíš přechod fronty. Na obrázku je srovnání denních hodnot s průměrem mezi lety 1780 – 1800*

Graf č. 12

Rozmístění významných erupcí v čase



Rozmístění významných erupcí (VEI 5 a vyšší)

- *ničivé erupce VEI 7 jsou tu dvě v rozmezí cca 700 let, velké erupce VEI 6 jsou rozloženy nepravidelně, ale musíme vzít na vědomí malou informovanost – strohé historické údaje a velkou nepřesnost údajů hlouběji do minulosti*
- *zdá se, že velké erupce (VEI 6) byly častější v tzv. malé době ledové, erupce VEI 5 pak přibližně odpovídají pluviálům, čili obdobím vlhčím (deště a povodňový neklid)*

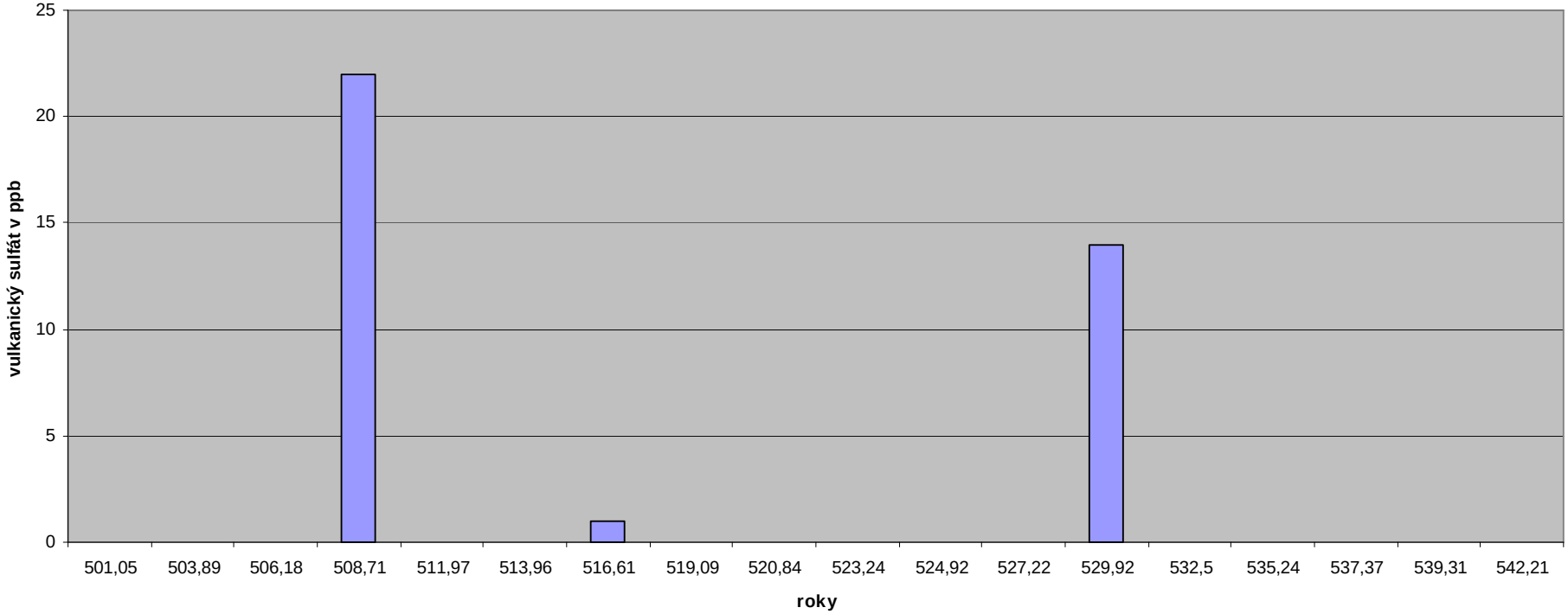
Graf č. 13 - 26

VULKANICKÁ AKTIVITA pro každé století od r. 500 do r. 1899 podle signálu síry v ledovcových jádrech

- *signál v ledovcových jádrech GISP2, což je stanice v Grónsku*

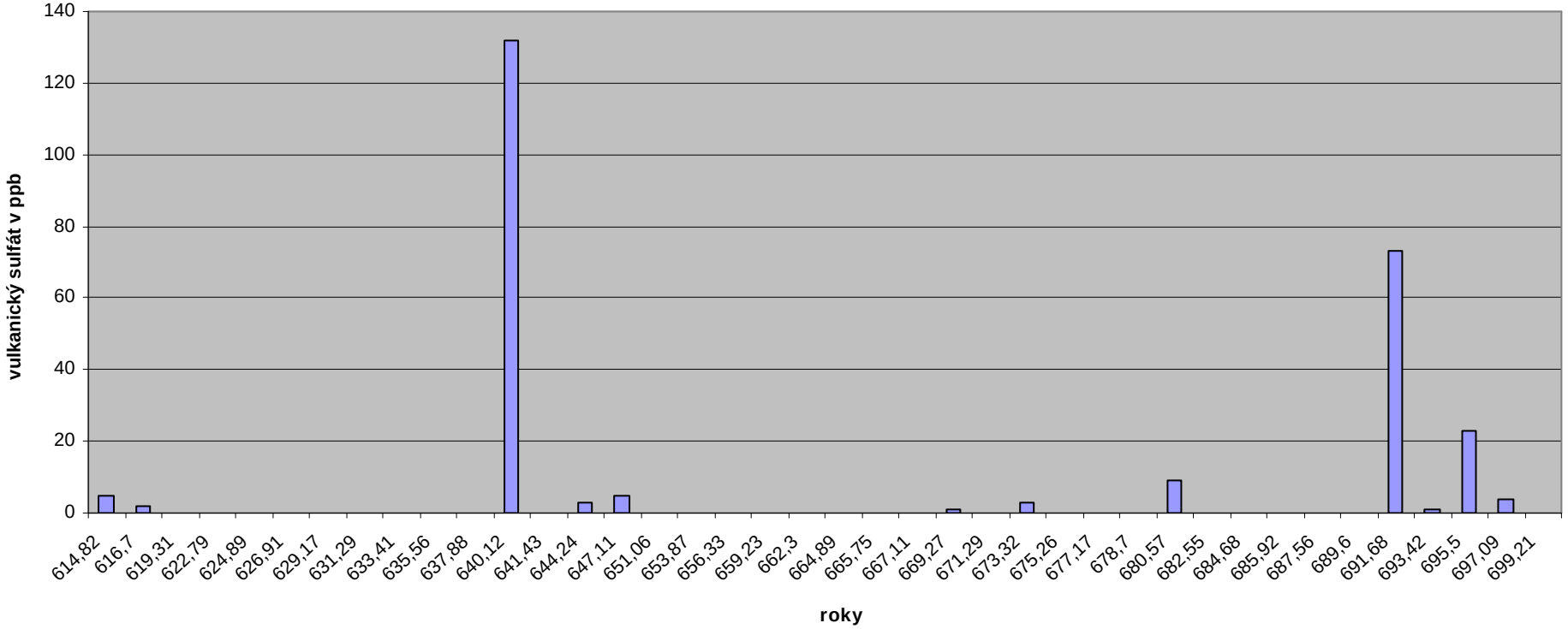
zpracováno podle (Zielinski, 1997), data laskavě poskytl p. Jiří Svoboda

- významné erupce jsou konfrontovány s historickými záznamy o počasí



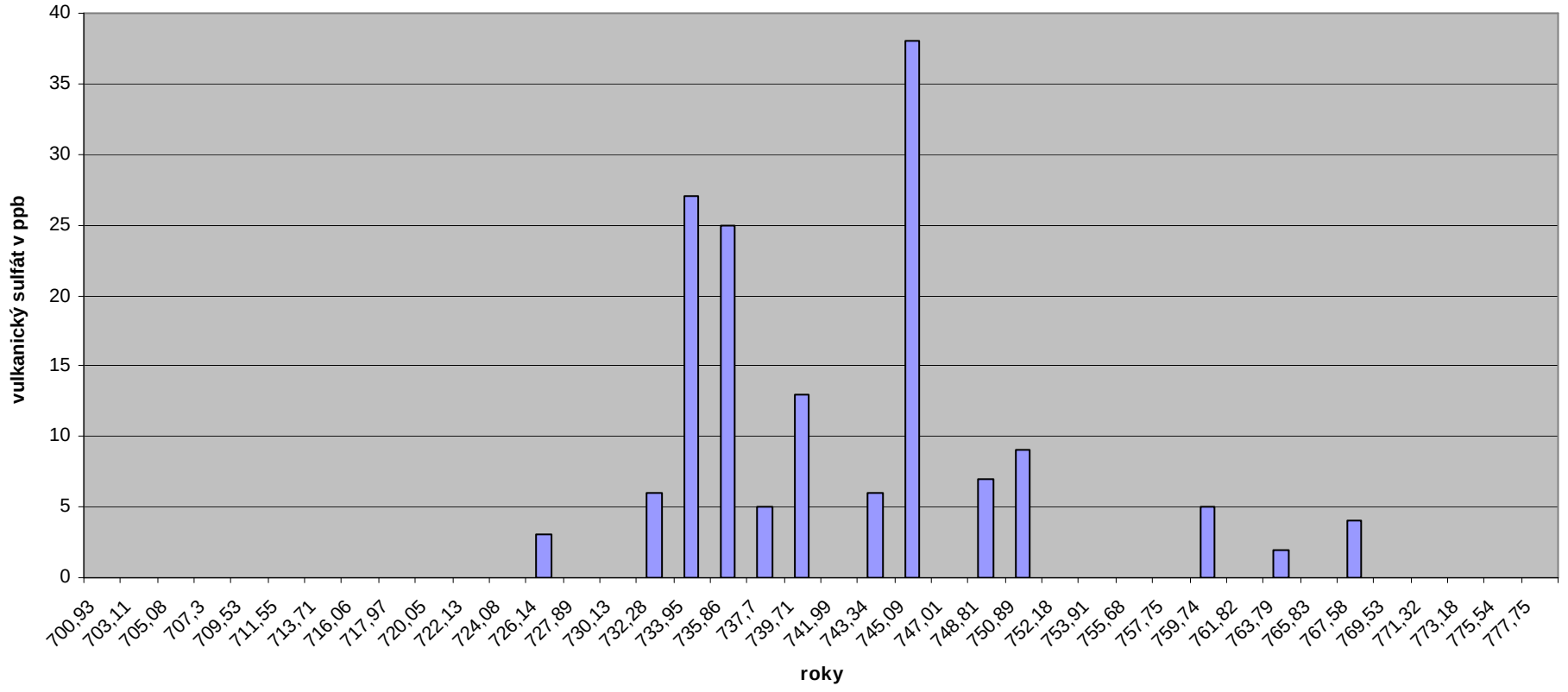
Graf č. 13 - Vulkanická aktivita mezi roky 500 a 599

- *v těchto letech bychom měli nalézt silný signál „neznámé“ sopky z r. 536 (pravděpodobně Krakatau?)*
- *musíme předpokládat, že takto hluboko do minulosti není měření úplně přesné, takže by mohl odpovídat této události sloupec v roce 529-530*



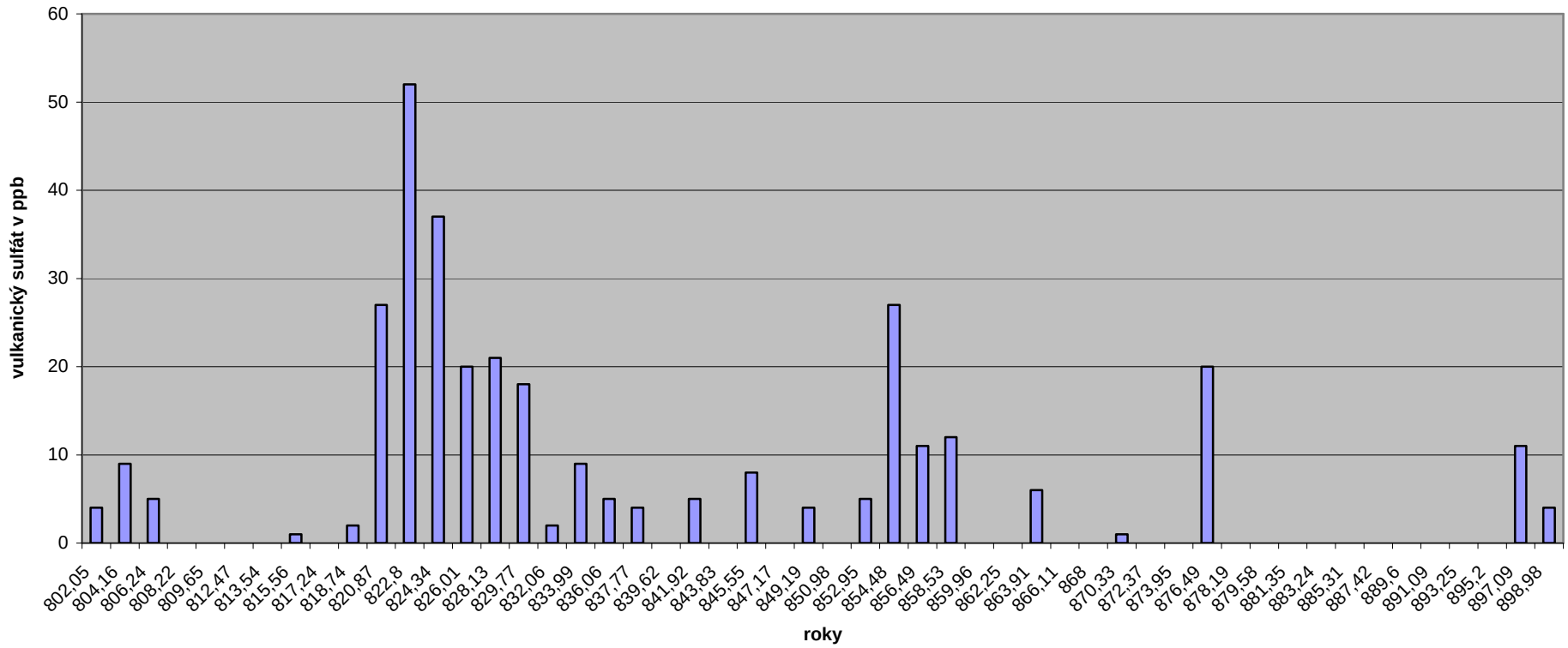
Vulkanická aktivita mezi roky 600 až 699

- *v těchto letech bychom měli nalézt silný signál „neznámé“ sopky z r. 626, signál ale bohužel v jádrech není, doložen je jen v kronikách a díky klimatickým změnám*
- *zajímavý je signál po r. 640, může to být blízká sopka (Island při retrográdním proudění, Aljaška)*



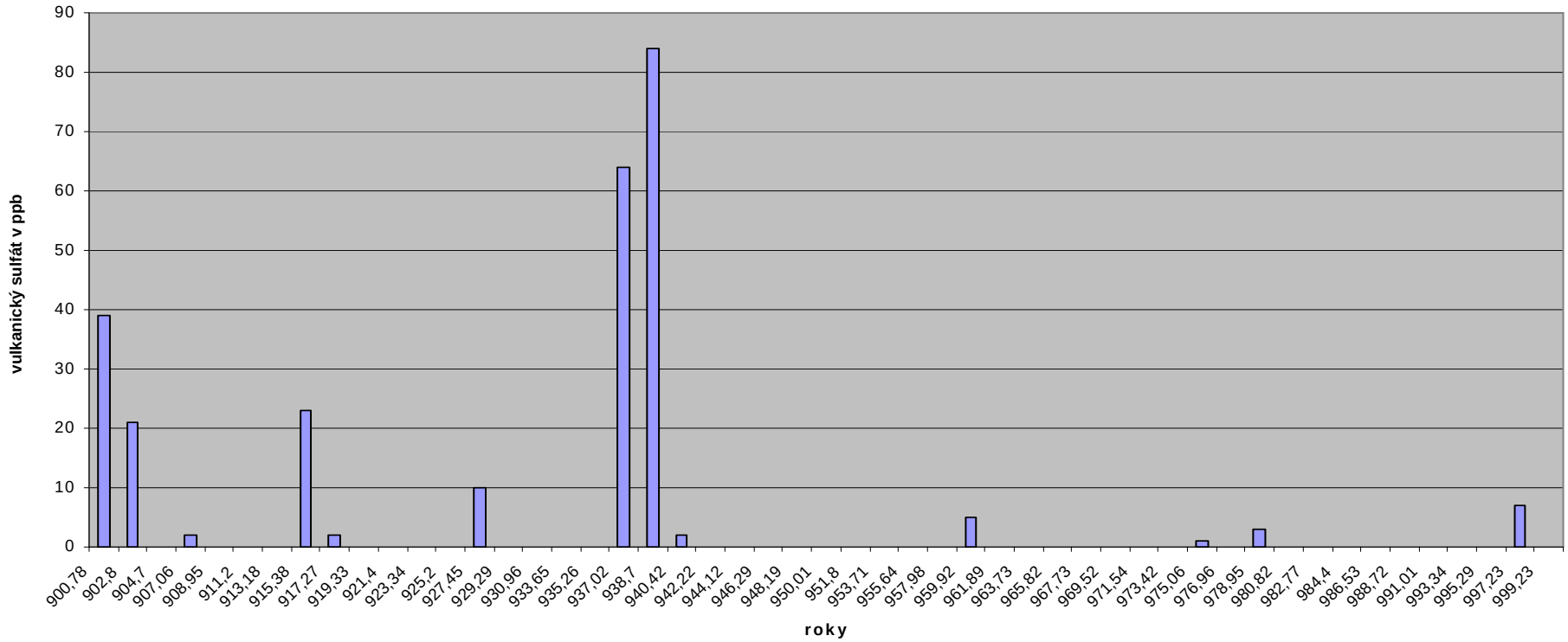
***Graf č. 15* - Vulkanická aktivita mezi roky 700-799**

- *nesmírně zajímavé odezvy mezi roky 732- 751, podle záznamů v kronikách panovalo sucho v Evropě, mor, pro rok 743 tuhá zima (zdroje: Jurende, 1823;Hennig, 1904)*
- *o r. 746 se píše v Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse (Hennig, 1904) „od srpna do října panovaly velké temnoty a zatažená obloha*
- *v databázi Global Volcanism Program tato sopka není, v časové blízkosti je Fudži*



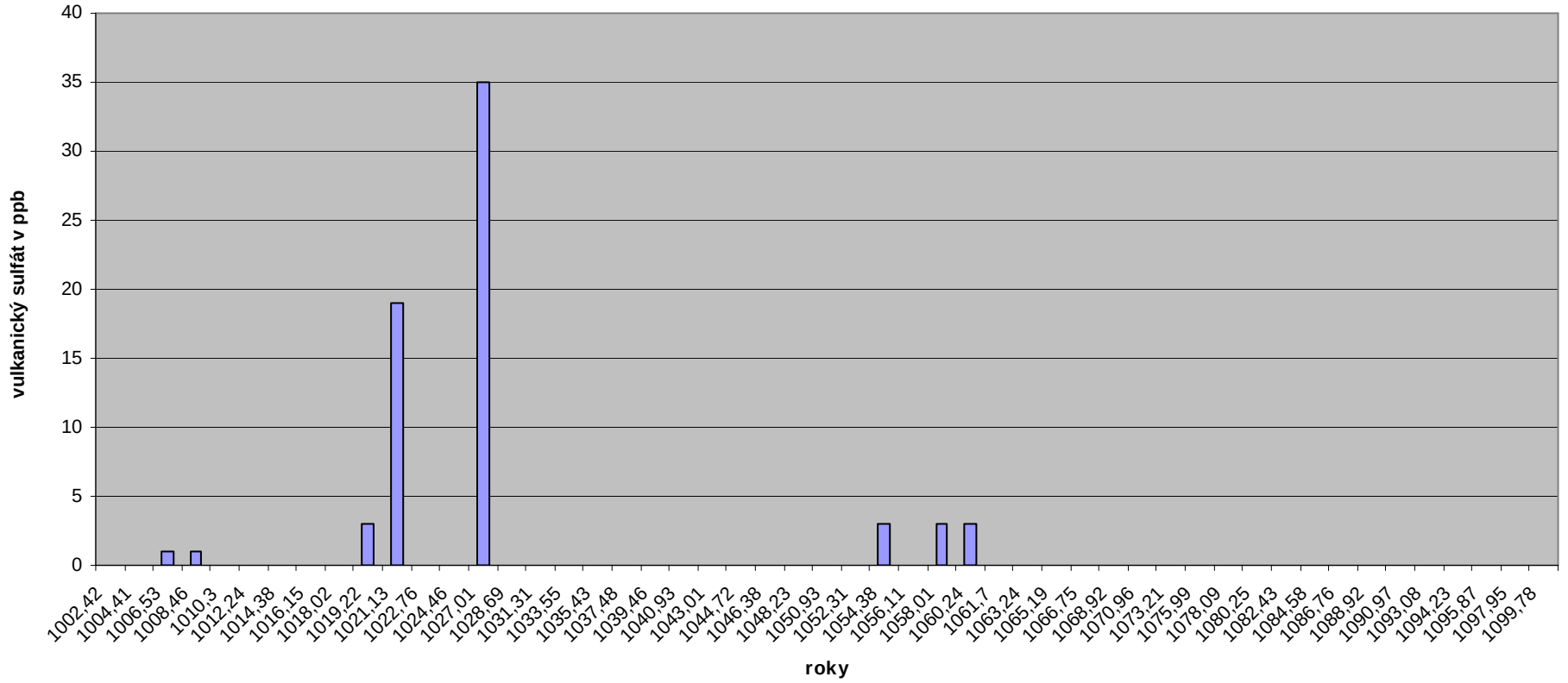
Graf č. 16 - *Vulkanická aktivita mezi roky 800 – 899*

- *velmi zajímavý signál sopek mezi roky 820 až asi 830 a pak kolem r. 854*
- *které sopky mohou za zvýšení vulkanické aktivity mezi r. 820 – 830 nevíme, rok 854 je možná sopka Oshima, VEI4, souostroví Izu v blízkosti Japonska*
- *roku 821 odpovídá v kronikách velmi krutá zima (Katzerovski, 1887, Poetszch, 1784, Hennig, 1904)*
- *pro rok 855 kroniky zmiňují množství nebývalých bouří (Hennig, 1904)*



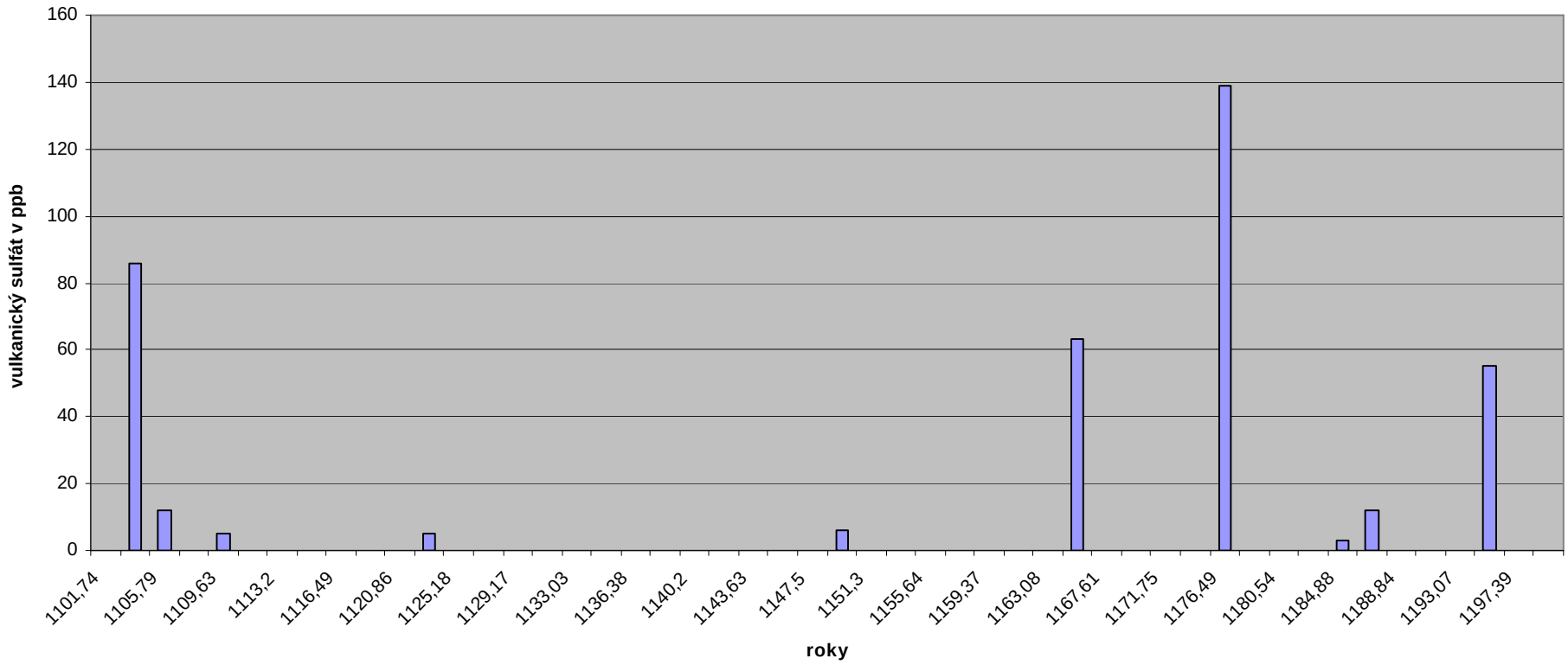
***Graf č. 17* - Vulkanická aktivita mezi roky 900-999**

- *velmi zajímavý signál sopek kolem r. 938*
- *Global Volcanism Program zmiňuje jen r. 934 Katlu, VEI 4, nicméně Katla je velmi blízko Grónsku, signál může proto být velmi silný – předpokládá to ale rozšíření vulkanických zplodin také západně a severně*
- *pro rok 934 zmiňuje Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse (Hennig, 1904) krvavě zbarvené Slunce – odpovídalo by to podobné situaci jako po erupci Laki? - kroniky zmiňují velmi silnou zimu v roce 941*



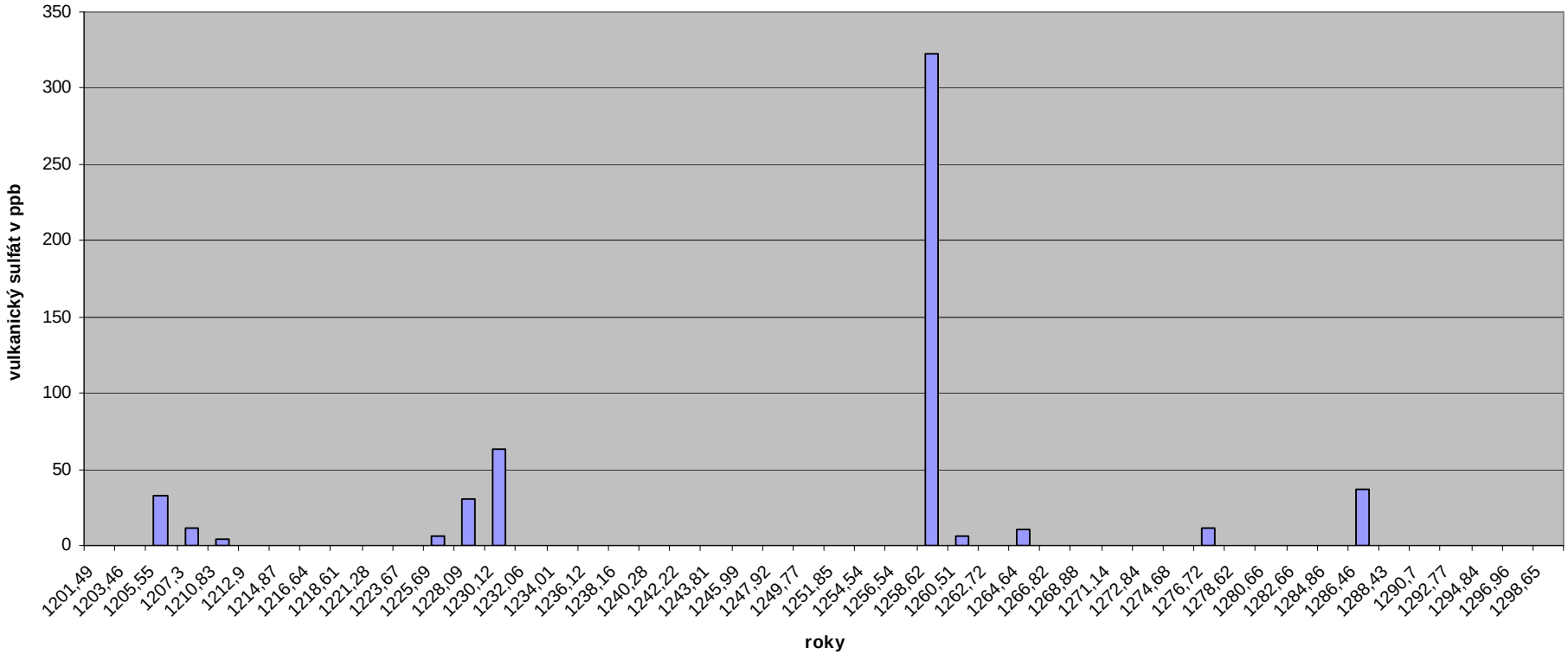
Graf č. 18 **-** ***Vulkanická aktivita mezi roky 1000 - 1099***

- *velmi zajímavý signál v r.1021 a 1027*
- *Global Volcanism Program neuvádí žádnou erupci*
- *rok 1028 - v Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse (Hennig, 1904) se píše „...v Čechách páchnoucí mlha..., další zmínka o páchnoucí mlze pochází z kronik (Jurende, 1823)*
- *můžeme předpokládat, že jde opět o islandské sopky*



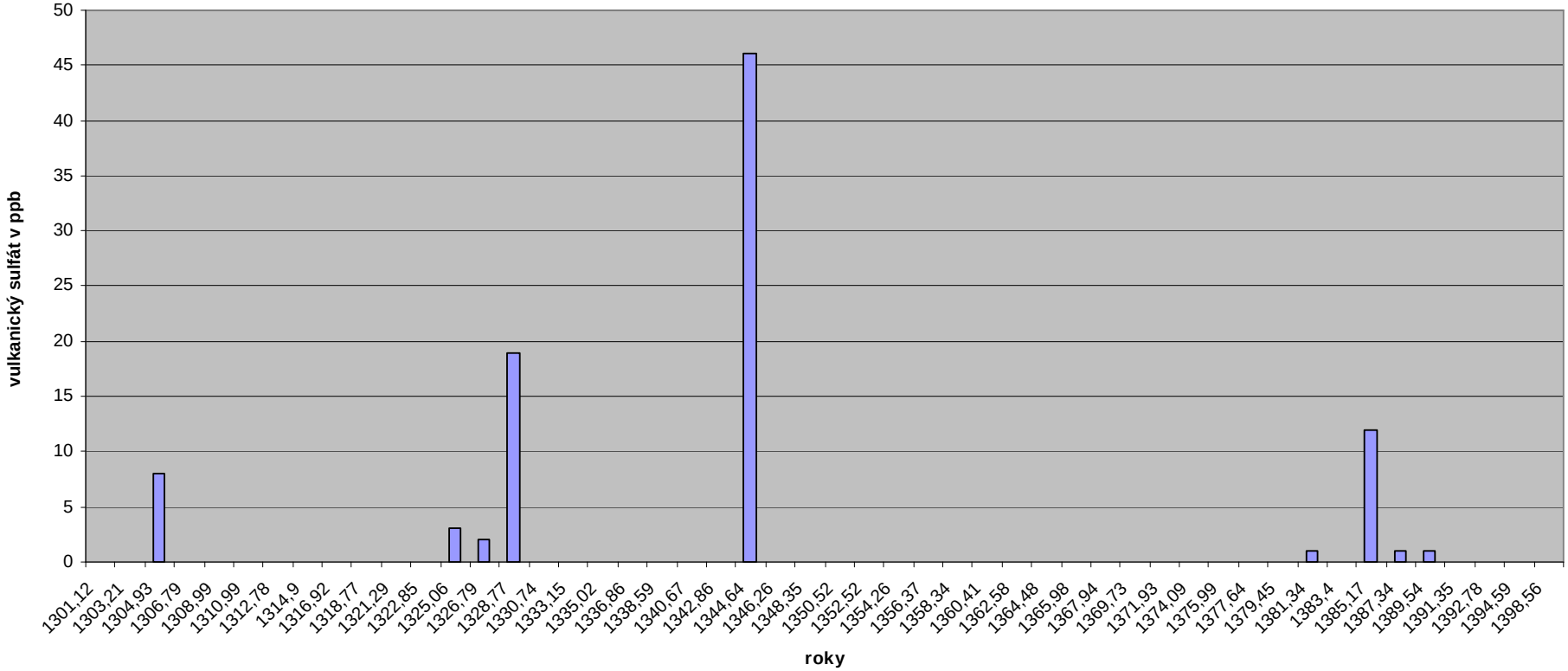
***Graf č. 19* - Vulkanická aktivita mezi roky 1100 - 1199**

- *velmi zajímavý signál 1176*
- *Global Volcanism Program neuvádí pro tento rok erupci*
- *pro tento rok je v kronikách a historických záznamech zmiňováno velké sucho a následná zima v r. 1177 jako silná a sněživá zima (pokračovatelé Kosmovi, 1950; Hennig, 1904; Jurende, 1823)*



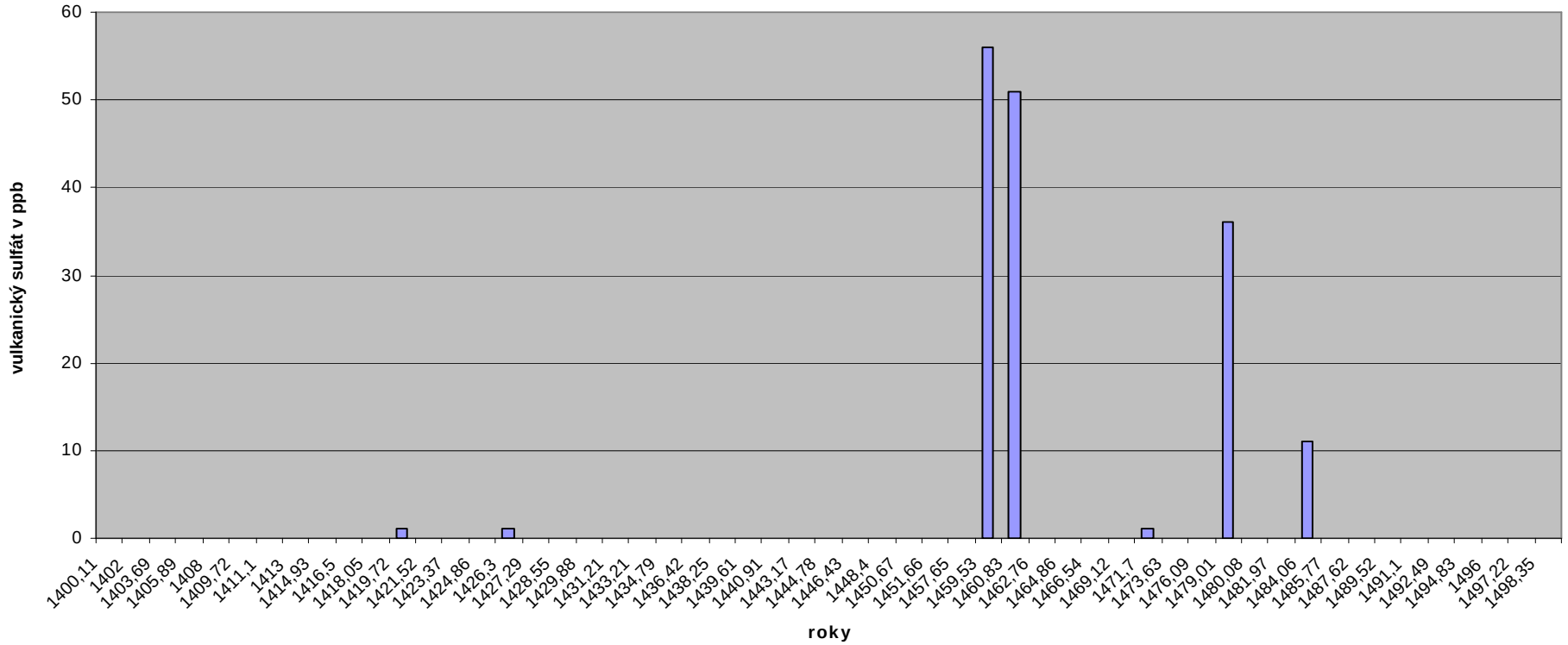
Graf č. 20 - Vulkanická aktivita mezi roky 1200 - 1299

- *velmi krásně čitelný signál sopky Samalas, sice ne přímo v r. 1257, ale v blízkosti tohoto roku*
- *události spojené s touto erupcí viz text studie*



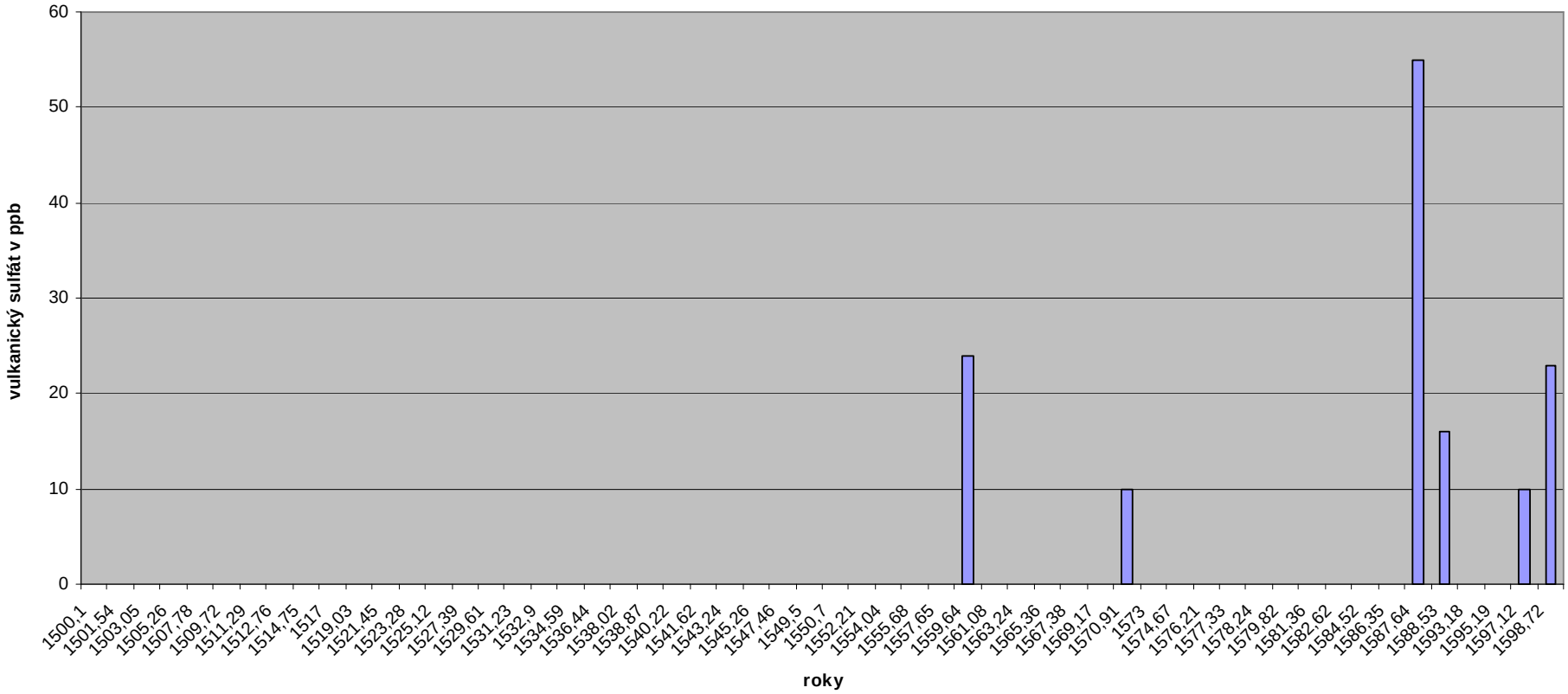
Graf č. 21 - ***Vulkanická aktivita mezi roky 1300 - 1399***

- *velmi zajímavý signál 1344*
- *Global Volcanism Program neuvádí pro tento rok erupci*
- *pro tento rok je v kronikách a historických záznamech zmiňováno bouřlivé jaro (květen – chumelenice a kroupy) a suché léto, nemusí to ale souviset s nějakou erupcí*
- *rok 1345 byl povodňový rok, vlhký*



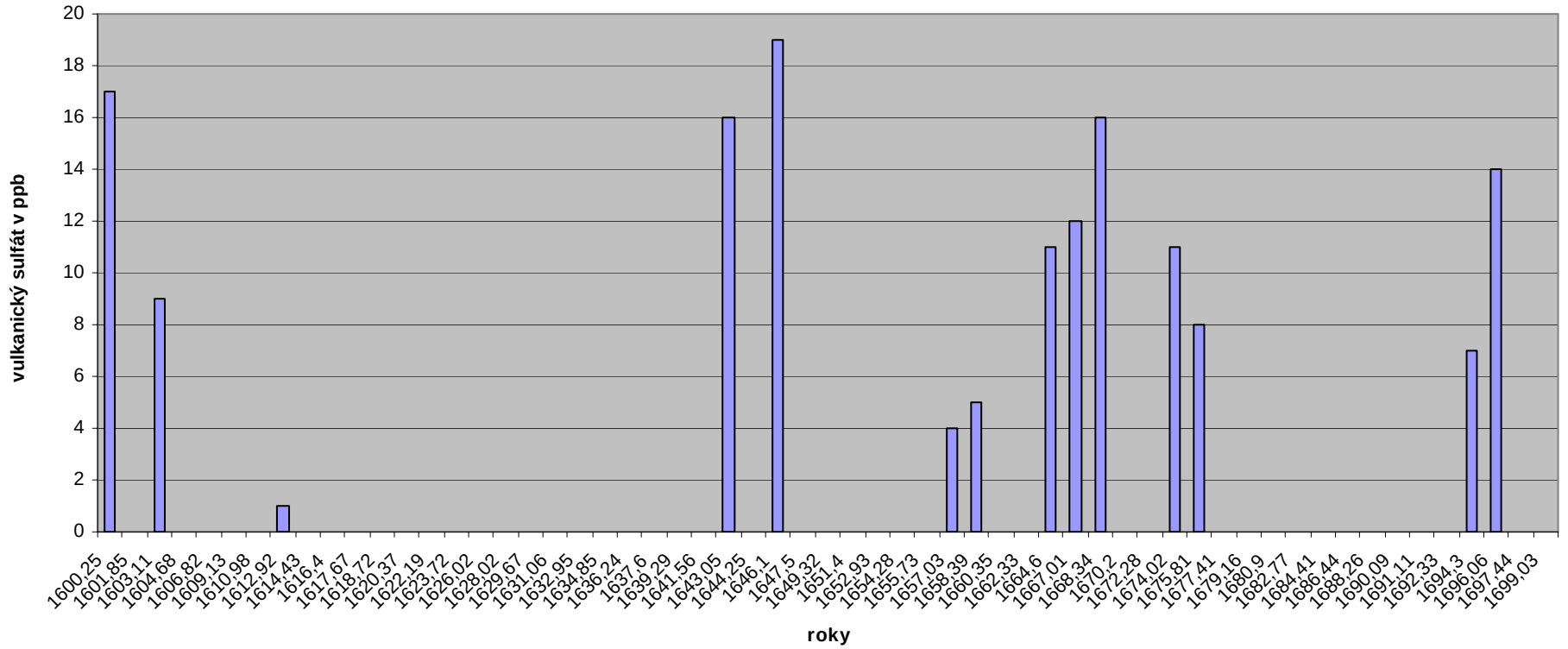
Graf č. 22 - *Vulkanická aktivita mezi roky 1400 - 1499*

- *velmi zajímavý signál 1459 - 1461*
- *Global Volcanism Program neuvádí pro tyto roky erupci*
- *pro rok 1459 je v kronikách a historických záznamech zmiňován „krvavý déšť" – může jít o sopečné zplodiny?*
- *následující zima je zmiňována jako velmi silná (Hennig, 1904)*
- *podivný záznam existuje v „Moravském poutníku" (Jurende, 1823) a to že v Durynsku, Sasku a Slezsku panoval mor, který ..."silné muže popadal, ženy a děti nechal na pokoji..." Můžeme uvažovat o možnosti vulkanických zplodin, jaké produkovala také Laki? Po erupci Laki umírali také rolníci pracující venku – tedy muži v plné síle.*



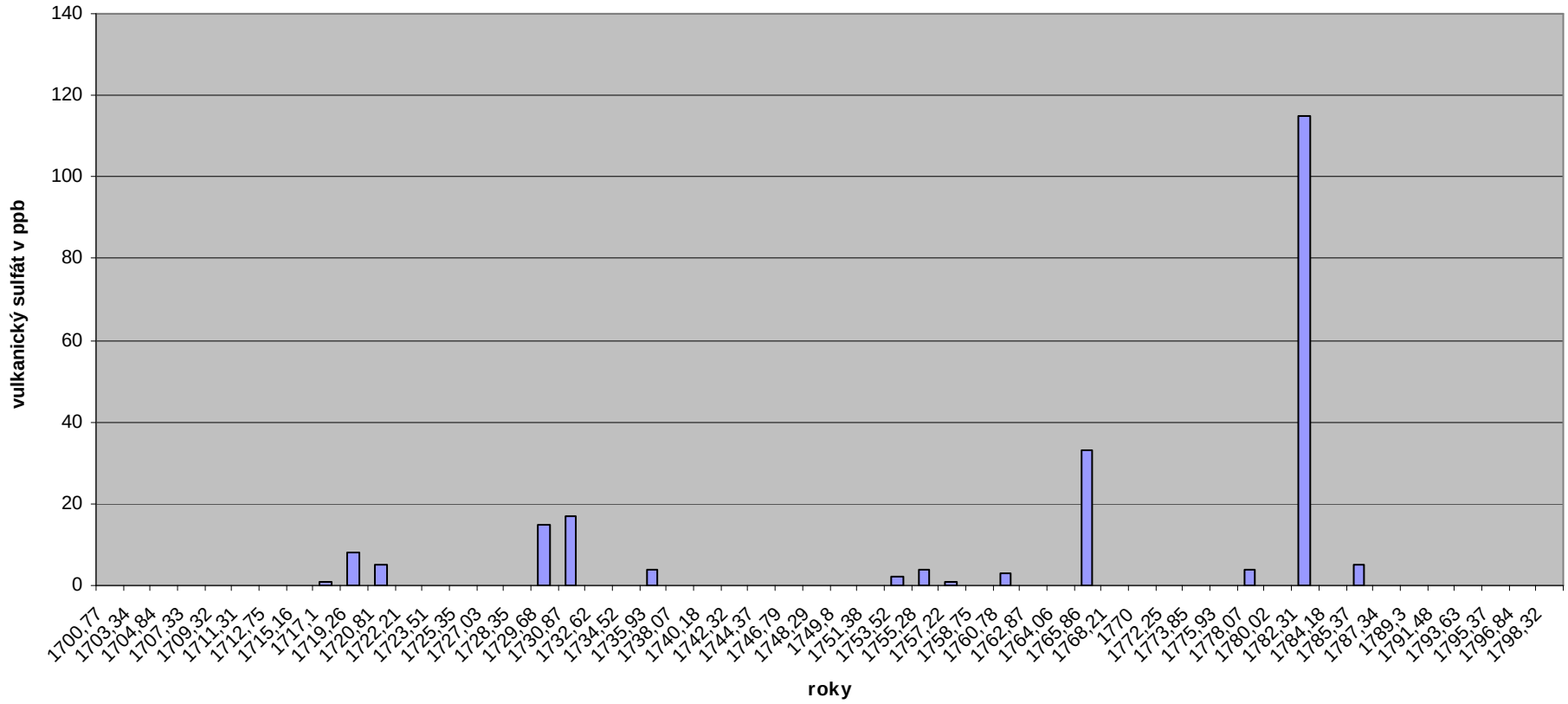
Graf č. 23* - *Vulkanická aktivita mezi roky 1500 - 1599

- *velmi zajímavý signál 1587*
- *Global Volcanism Program neuvádí pro tento rok erupci větší než VEI 4*
- *pro tento rok je v kronikách a historických záznamech zmiňováno jaro se silnými bouřkami a následná zima velmi studená: „Od 6. prosince roku 1586 až do konce dubna tohoto roku, mrzlo bez přestání tak prudce, že na cestách mezi Prahou a Jihlavou přes 50 osob zamrzlo, vinné keře, lísky, především však ovocné stromy vymrzly docela“ uvádí Strnad v popisu klimatických jevů v Čechách (Strnadt, 1790)*



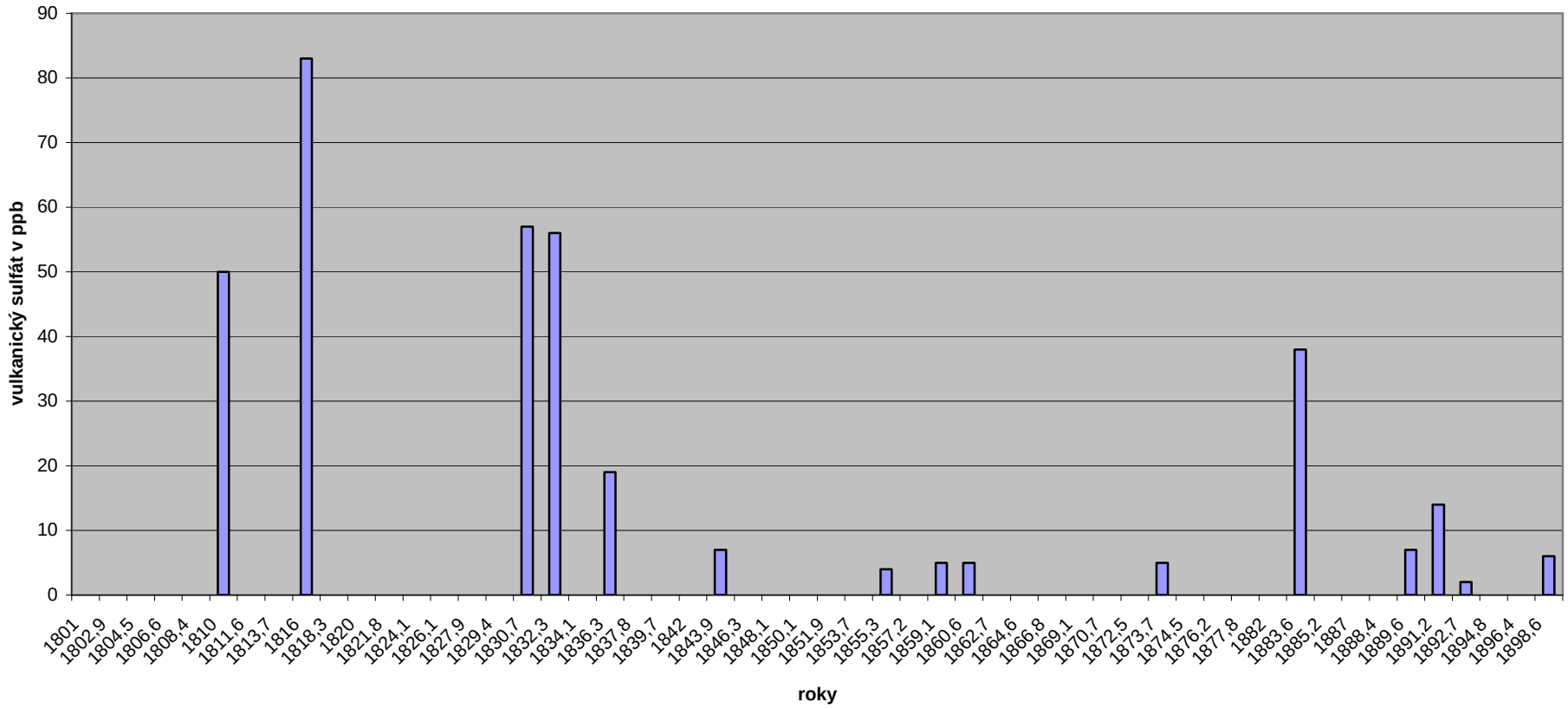
Graf č. 24 - ***Vulkanická aktivita mezi roky 1600 - 1699***

- *století kde pozorujeme několik silných erupcí, po r. 1643 a pak nejspíše 1669*
- *Global Volcanism Program uvádí mimo jiné erupci japonské sopky Komaga-take (VEI 5) na severní polokouli a Myijake-jima na ostrově Izu (také Japonsko), 1641 sopku Parker v Indonézii (VEI 5), vulkanická činnost v tomto století byla velmi častá*
- *pro tyto roky – 1643 je uváděna mimo jiné silná zima následující rok 1644 (Jurende, 1823)*
- *rok 1669 měl horké léto, následující zima byla poměrně silná (Hennig, 1904)*



Graf č. 25* - *Vulkanická aktivita mezi roky 1700 - 1799

- *velmi výrazný signál kolem r. 1783 – erupce sopek Laki, Asama, Vesuv*
- *za signál rok 1766 může islandská sopka Hekla*

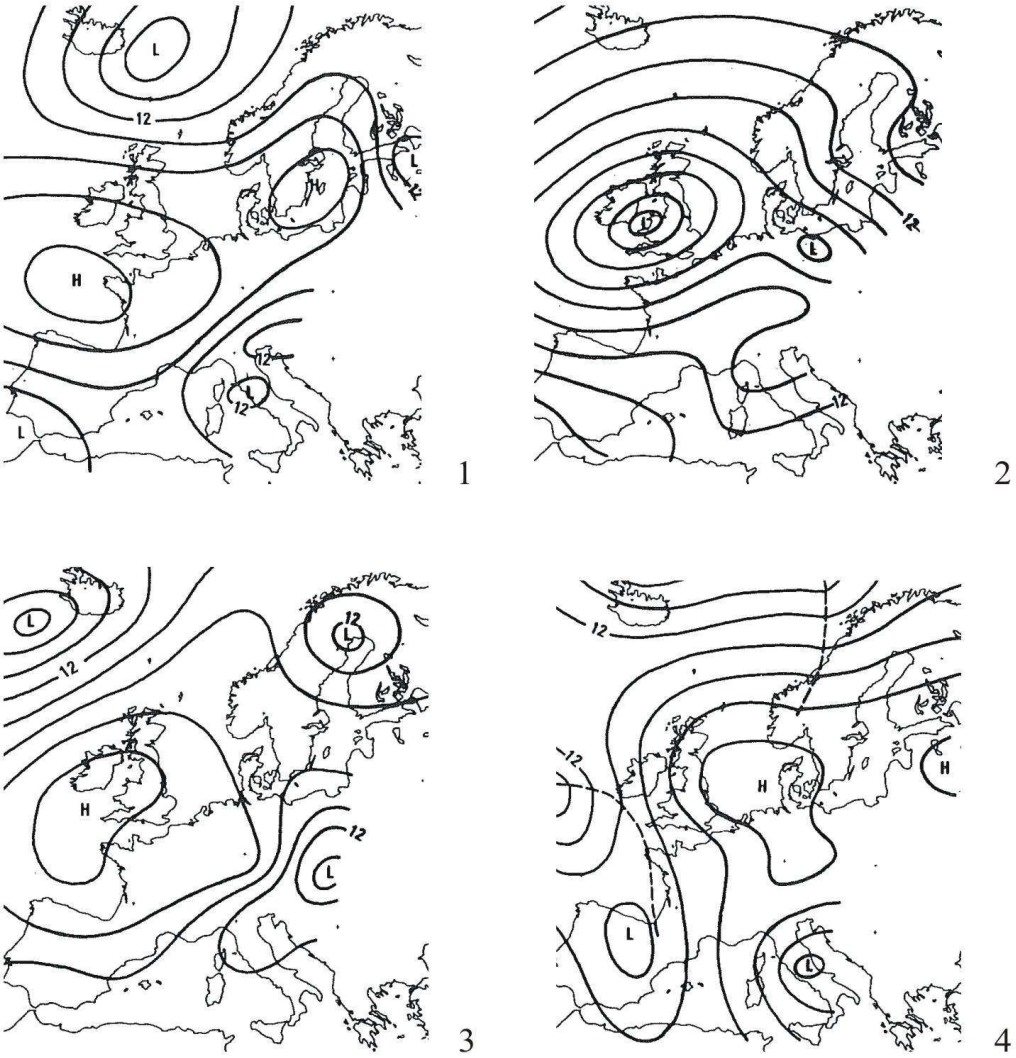


Graf č. 26 - *Vulkanická aktivita mezi roky 1800-1899*

- *století kde pozorujeme několik silných erupcí*
- *velmi dobře je vidět Tambora a Krakatoa*
- *kolem r. 1809 může být viníkem za signál síry několik sopek, proběhlo více malých erupcí, můžeme předpokládat, že sopka musela být poměrně blízko, tedy Island, Aljaška*
- *Global Volcanism Program uvádí kolem r. 1830 Reykjanes, Island (VEI 4)*
- *signál kolem r. 1836 by mohla být Conseqina, Nikaragua (VEI 5)*

C. OBRÁZKY

Obr. 1



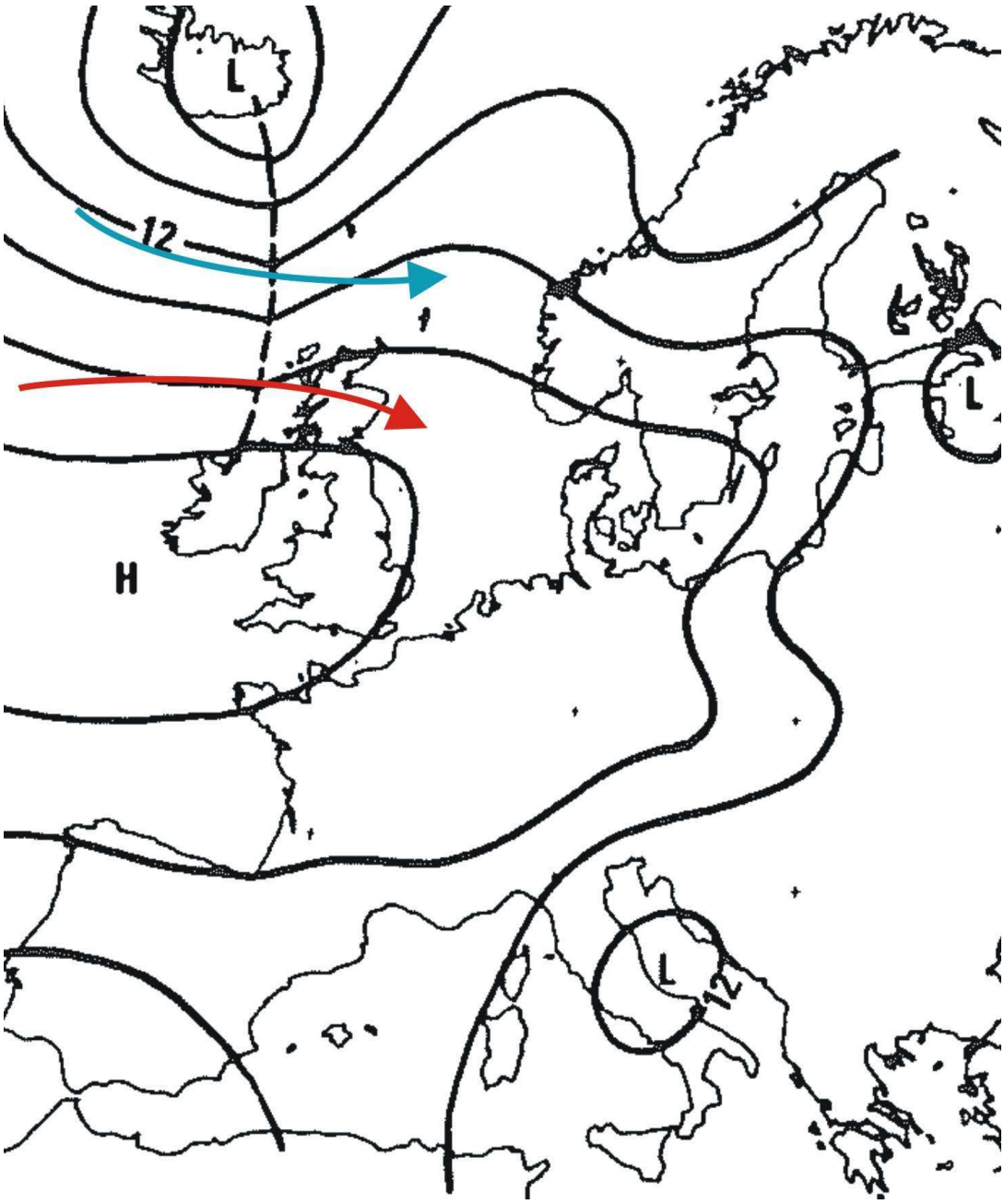
Pravděpodobná synoptická situace v době erupce Laki v červnu r. 1783

- *mapka č. 1 – 8. června, erupce Laki*
- *mapka č. 2 – 16. června, první pozorování v pražském Klementinu*
- *mapka č. 3 - 22. červen 1783*
- *mapka č. 4 - 1. červenec 1783*

Mapky jsou vytvořeny podle (Kington, 1988)

První pozorování mimo Island pochází z Faerských ostrovů (Dánsko), pak z Bergenu (Norsko), Skotska, vše kolem 10. června 1783. Další je překvapivě z Prahy (16. 6. 1783), Německa (17. – 18. 6. 1783), Francie (po 18. 6. 1783) a Velké Británie (po 22. 6. 1783). Zdá se že díky poloze tlakových útvarů sopečný oblak prošel nejprve severní Evropou a přes střední Evropu se stočil na západ. Druhá část oblaku pak proudila od Islandu k Velké Británii a do západní Evropy.

Obr. 2



Pravděpodobná synoptická situace v době erupce Laki v červnu r. 1783

- *poloha tlakových útvarů a směry proudění*
- *vytvořeno podle (Kington, 1988)*

Obr. 3
Ukázka stratigraficky významné zkameněliny

Vystrkov (VVP Brdy)
- ukázka břidlic se zastoupením kambrických trilobitů –Elipsocephallus Hoffi – nejtypičtější zdejší zkamenělina