

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování**



**PERMSKÉ VYMÍRÁNÍ  
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

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

**Bakalant: Kateřina Fialová**

2015

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma Permské vymírání vypracovala pod vedením Ing. Jany Soukupové PhD., a že jsem všechny zdroje, ze kterých jsem čerpala, uvedla.

V Praze dne 15. 4. 2015

.....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí mé práce, paní Ing. Janě Soukupové, Ph.D., za odborné rady, trpělivost a ochotu, které mi poskytla při psaní mé bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se snaží o souhrnný popis příčin vymírání na konci permu před 250 miliony let. Mezi potvrzené katastrofy tohoto období je zde zařazen vulkanismus na Sibiři a dále je zde rozebráno několik hypotéz, které se na vymírání také mohly podílet. Zároveň práce shrnuje biotu a klima tohoto období a dává ucelený obraz života před touto katastrofou.

Klíčová slova: perm, vymírání, klimatické změny, vulkanismus

## **Abstract**

This Bachelor's thesis seeks summary description of the cause of extinction at the end of the Permian 250 million years ago. Among the confirmed disasters of this period is incorporated herein by volcanism in Siberia and there is also discussed several hypotheses that the extinction could also participate. At the same time summarizes biota and climate of this period and gives a comprehensive picture of life before the disaster.

Keywords: perm, extinction, climatechange, volcanism

## **Cíle BP**

Cílem mé práce je metodou literární rešerše shrnout hypotézy a potvrzené příčiny hromadného vymírání na konci permu a zároveň tyto příčiny mezi sebou porovnat. Dále pak popsat biotu a klima a v závěru uvést důsledky, které nastaly po vymírání.

## **Metodika**

Bakalářská práce je odbornou literární rešerší, která vyžaduje práci s odbornou literaturou a především s nejnovějšími vědeckými články. Systematicky popisuje hromadná vymírání a detailněji pak vymírání „Velké pětky“ a dopady vymírání. Další kapitolou pak je popis permu, jeho bioty, klimatu na základě poznatků moderní vědy. Hlavní kapitolu tvoří teorie a objevy, které se týkají permského vymírání, katastrofy, která v dějinách Země nemá obdoby. Práce se detailněji zabývá jednotlivými možnými spouštěcími mechanismy vymírání na konci permu, ať už z příčin pozemských, nebo vlivy blízkého kosmického okolí Země. Závěr práce obsahuje souhrn a zhodnocení literární rešerše na dané téma.

# ČESKÁ ZEMĚĎELSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kateřina Fialová

Krajinářství

Název práce

**Permské vymírání**

Název anglicky

**Permian extinction**

---

### Cíle práce

V literární rešerši zpracovat náhled na permskou katastrofu, její možné příčiny, chod klimatu a jeho změny v té době. Vycházet bude z obecně potvrzených hypotéz a zmínit i nové výzkumy v tomto směru. Práce musí vycházet z článků renomovaných autorů.

### Metodika

Literární rešerše dle osnovy:

1. Úvod
2. Hromadná vymírání
3. Perm-klima, biota
4. Permské vymírání-teorie a objevy
5. Závěr

Rámcovou osnovu může student přizpůsobit a rozšířit podle svého uvážení.

**Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

**Klíčová slova**

perm, vymírání, klimatické změny, vulkanismus

---

**Doporučené zdroje informací**

Cronin, T. M.: Paleoclimates. Understanding climate change Past and Present. Columbia University Press, New York, 2010  
Oppenheimer, C.: Eruption that shock the World. Cambridge University Press Cambridge, New York, 2011  
Soukupová, J.: Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na Zemi . Nakl. Power Print. Praha 2013  
Záruba, B.: Abeceda dávných věků. Albatros, Praha, 2006  
Ziegler, V.: Země a život. Nakl. ISV, Praha, 2002

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/06 (červen)

**Vedoucí práce**

Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

---

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2015

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2015

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2015

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Hromadné vymírání .....	11
2.1 Extraterestrické příčiny hromadného vymírání .....	12
2.1.1 Dopad kosmického tělesa .....	12
2.1.2 Průchod Sluneční soustavy mračnem kosmického prachu .....	13
2.1.3 Gama záblesk.....	14
2.2 Terestrické příčiny hromadného vymírání .....	14
2.2.1 Pohyb a shlukování kontinentů.....	14
2.2.2 Změny mořské hladiny .....	14
2.2.3 Vulkanismus .....	15
2.2.4 Snowball Earth.....	15
2.3 Vymírání Velké pětky .....	16
2.3.1 Vymírání na konci ordoviku .....	16
2.3.2 Vymírání v pozdním devonu .....	16
2.3.3 Vymírání na konci permu .....	17
2.3.3 Vymírání na konci triasu.....	17
2.3.4 Vymírání na konci křídý .....	17
3. Perm – klima, biota .....	19
3.1 Geologie .....	19
3.2 Flora.....	20
3.2.1 Flora na souši .....	21
3.2.1.1 Rozvoj nahosemenných rostlin .....	23
3.2.2 Flora ve vodách.....	24
3.2.3 Flora na našem území .....	24
3.3 Fauna .....	27
3.3.1 Fauna na souši.....	27
3.3.2 Fauna ve sladkých vodách .....	29
3.3.3 Fauna v mořích .....	30
3.4 Klima.....	31
4. Permské vymírání – teorie a objevy.....	33
4.1 Vulkanismus.....	33



4.1.1 Další změny spojené s vulkanismem .....	34
4.2 Navýšení oxidu uhličitého .....	34
4.3 Anoxie .....	35
4.3.1 Jevy spojené s anoxií .....	37
4.4 Dopad kosmického tělesa .....	38
4.5 Uvolnění metanu .....	41
4.5.1 Metan a mikrobi .....	42
4.6 Stručný přehled příčin permského vymírání .....	43
5. Důsledky .....	45
6. Diskuze .....	47
7. Závěr .....	48
8. Seznam použité literatury a jiných zdrojů .....	50
8.1 Seznam literatury .....	50
8.2 Seznam obrázků .....	53
8.3 Další zdroje .....	54
9. Přílohy .....	55

## 1. Úvod

*„Náš život vznikl na smrti ostatních.“ Leonardo da Vinci*

Země prošla v minulosti bouřlivým vývojem a nejednou byla poznamenána krizí. Ty, které byly obzvláště ničivé, označujeme katastrofou, protože jejím následkem došlo k masovým vymíráním. Avšak příroda se pokaždé s tímto dopadem vyrovnala.

V době před 298 až 250 miliony let, v době na konci prvohor, tedy v její poslední epoše – permu téměř vyhynul všechn život na Zemi a příčina tohoto smrtícího důsledku není dodnes zcela jasná. Jednalo se však o vůbec největší katastrofu k jaké kdy na naší planetě došlo.

Tato katastrofa trvala několik set tisíc let a vyhynulo nejvíc forem života v historii Země a pravděpodobně i před tím.

Změnila se tvář nejen Země, ale byl zasažen i vývoj rostlin a živočichů.

Ve své bakalářské práci se pokusím shrnout všechny teorie a možnosti o příčině permského vymírání a zároveň zde představím podmínky k životu a biotu tohoto období.



Obrázek 1 - Pravděpodobná rekonstrukce životního prostředí v permu ([http://science.nationalgeographic.com/science/photos/permian-period/#!/dimetrodon\\_921\\_600x450.jpg](http://science.nationalgeographic.com/science/photos/permian-period/#!/dimetrodon_921_600x450.jpg), staženo 5. 4. 2015)

## 2. Hromadné vymírání

Každý druh, který kdy na Zemi existoval, tak v určitý čas vznikl, po nějakou dobu přebýval, ale nakonec vymřel. Vyšší taxony existují déle a zaniknou teprve v momentě vymření posledního zástupce. Přesnější odhady výskytu jsou komplikovanější, jelikož paleontologické nálezy jsou přímo úměrné délce existence druhu. Dále nalézáme jen fosilie a měkké části těl se nedochovávají, což snižuje jejich rozpoznání (Flegr, 2009).

Odhaduje se, že během evoluce Země existovalo 5-50 miliard druhů a v dnešní době jich pouhých 40 miliónů (Raup, 1995).

Vymírání můžeme rozdělit do dvou kategorií a to na vymírání průběžná a na vymírání hromadná.

V každém období před hromadným vymíráním dominovali příslušníci určitého taxonu, kteří v období po hromadném vymírání mohli mít jen okrajový význam a dále se obnovily počty druhů a i početnost jejich populací.

Na základě globálního vymírání nebo i vymírání, která postihla společenstva na určitém území, lze evoluci rozdělit během eonu fanerozoika, což je období, z kterého máme fosilie mnohobuněčných organismů s pevnou kostrou nebo schránkou, na časové zóny. Prvním z časových zón je éra (například prvohory), druhým je útvar (například perm), dále jsou epochy (například spodní perm) a nakonec na stupně (například assel). Tyto časové zóny se navzájem liší, a to skladbou fauny a flóry. Za nejpravděpodobnější příčinu hromadného vymírání bychom mohli považovat výskyt přírodní katastrofy, kdy náhle dochází ke změně prostředí a organismy se na tyto změny nestihnou evolučně adaptovat. Zdroj katastrofy může být biotického původu, kdy se například jedná o příchod invazivního druhu, který agresivně vytlačuje druhy původní, nebo vymizení některého druhu, na kterém mohou být závislé jiné druhy. Dalším zdrojem katastrofy může být abiotický původ. Jako příčiny lze považovat například vzestup hladiny vody, která zaplaví ekosystémy nebo naopak pokles vodní hladiny, kdy dochází k zániku ekosystému pevninských šelfů (Hallam, 1989; Raup, 1986), pokles obsahu kyslíku ve světovém oceánu (Isozaki, 1997; Rampino, 1996), výbuch sopky nebo dopad kosmického tělesa, kdy dochází k mechanickému a tepelnému zničení rozsáhlých ekosystémů (Renne a kol., 1995; Alvarez a kol., 1984). Jako další teorii pro hromadné vymírání lze předpokládat prudký vzestup radioaktivního nebo elektromagnetického záření, které mohlo být

zapříčiněno výbuchem supernovy v blízkosti sluneční soustavy (Ellis & Schramm, 1995) nebo dočasné zmizení zemského magnetického pole, které jinak zabraňuje kosmickému záření na zemský povrch (Loper, McCartney, & Buzyna, 1988; Raup, 1985).

V některých případech může mezi jednotlivými příčinami hromadného vymírání existovat příčinná souvislost a navzájem se nevylučují. Příčinou vymírání dokonce může být jev, který následoval po prvotní katastrofě. Příkladem může být vulkanismus, který následně vyvolá změny v atmosféře a nakonec dojde ke změně klimatu (Flegr, 2009).

## **2.1 Extraterestrické příčiny hromadného vymírání**

### **2.1.1 Dopad kosmického tělesa**

Jednou z dalších příčin hromadného vymírání je dopad kosmického tělesa, které na zemi zanechá stopu v podobě kráteru. Pokud je toto těleso dostatečně veliké, následují mechanické a tepelné destrukce a do ovzduší se dostane veliké množství prachových částic, které způsobují světelné, ale i tepelné změny.

Pokud by byl meteorit dostatečně rozměrný, může vyvolat změny jako jsou například tlakové vlny, mořské tsunami, lesní požáry, po kterých by následoval kyselý déšť nebo zatemnění v důsledku prachu a sazí. Tyto jevy mohou vyvolat globální oteplení, protože vznikl skleníkový efekt, ale mohou vyvolat i globální ochlazení, protože dochází k zastínění celé planety (Flegr, 2009).

Po dopadu meteoritu na zem, je hornina stlačena, následně se vrátí do původního stavu. Zbytek impaktního tělesa je, společně s úlomky horniny, vymrštěn (Soukupová, 2013).

Z velikosti kráterů můžeme odhadnout, jaké rozměry měly dopadající objekty. Například těleso o průměru 1 km vytvoří kráter o průměru 10-20km. Tento odhad je proveden na základě výpočtu rychlosti, úhlu dopadu a dalších faktorech (Raup, 1995). Na Zemi můžeme nalézt několik dobře dochovaných kráterů, naneštěstí mnoho z nich bylo zničeno deskovou tektonikou a erozí. Krátery překrývají mladší

sedimenty, ale můžeme je nalézt i na dně oceánů nebo pod ledovci. Mívají tvar kruhu nebo elipsy a ve středu se nachází pahorek (Soukupová, 2013).

Dalším důkazem o dopadech cizích těles je vysoká koncentrace prvku iridia v horninách. V některých meteoritech je tento prvek zcela běžným, ale v zemské kůře se nachází jen ve stopovém množství. Iridium bylo nalezeno v mnoha horninách, které pocházejí z období rozhraní křídly a třetihor z mnoha míst světa. Dalšími indikátory, které dokazují impakty cizích těles, byly šokem metamorfované minerály a izotopové signály. Dále byl objeven minerál stishovit, který se objevuje v místech, kde docházelo neobvykle vysokým tlakům (Raup, 1995).

Na našem území můžeme také nalézt důkaz o dopadu cizích těles, jsou jím vltavíny, které se zrodily díky dopadu meteoritu Ries v Bavorsku před 14,5 miliony let. Vltavín je tektit (což je přírodní sklo), vznikají po dopadu velikého meteoritu a následnému roztavení a vyvržením povrchových sedimentů a nezpevněných materiálů. Všechny regiony s výskyty vltavínu jsou prostorově spojeny s pánvemi a sníženinami. Dnešní výskyt vltavínů byl ovlivněn i sítí vodních toků, které transportovaly vltavíny na větší vzdálenosti, nejčastěji do 10 km. To je také důvodem, proč se tyto kameny nacházejí nejčastěji na řece Vltavě v jižních Čechách (další naleziště jsou západní Morava, Lužice v Německu, chebská pánev a Waldviertel v Rakousku). Do současnosti se zachovalo asi 1% z původního množství vltavínů (Trnka a Houzar, 2002).

Dalším zdrojem mimozemských těles může Oortův oblak komet, což je systém biliónů kometárních jader obklopující Sluneční soustavu. Narušení této soustavy mohlo vyvolat jejich dopad na Zemi. Výskyt Oortova oblaku je však spíše hypotetický (Marusek, 2004).

### **2.1.2 Průchod Sluneční soustavy mračnem kosmického prachu**

Průchod Sluneční soustavy kosmickým prachem by mělo za následek gravitační změny. Komety by měnily své dráhy a mohly by dopadat i na Zemi, kde by způsobily hromadné vymírání (Flegr, 2009).

### **2.1.3 Gama záblesk**

Gama záblesk je důsledkem exploze umírající hvězdy, která probíhá asymetricky. Při ní se uvolní dvojice protilehlých svazků záření a částic s vysokou energií, které se šíří vesmírem.

Blízký gama záblesk by oslabil ochranné vrstvy zemské atmosféry o třetinu a organismy na přivrácené straně planety by byly vystaveny smrtelnému ozáření. Destruktivní síly spojené se zábleskem záření gama Když je zničen ozon mohou ultrafialové paprsky, které jsou pro život velmi nebezpečné, snadněji pronikat k povrchu. Ultrafialové paprsky působí destruktivně na DNA. Kromě zničení ozonové vrstvy mohl záblesk záření gama navíc rozbít velké množství molekul kyslíku a dusíku v atmosféře. Tím by došlo ke vzniku smogu z oxidu dusíky, který by dlouhodobě oslabil sluneční záření (Filippenko, 2007).

## **2.2 Terestrické příčiny hromadného vymírání**

### **2.2.1 Pohyb a shlukování kontinentů**

Kontinenty se během historie Země díky posunu litosférických desek různě pohybovaly a tím docházelo k jejich rozpadu a shlukování. Následkem byla změna klimatu, například pokud se kontinenty nacházely v blízkosti rovníku, vládlo tropické klima nebo pokles a zdvih horstev vyvolá změny ve vzdušných proudech. Příkladem kontinentu, který měnil svoji polohu, může být superkontinent Pangea (Soukupová, 2013).

### **2.2.2 Změny mořské hladiny**

Hladina oceánů stoupala i klesala od té doby, co oceány existují. Větší změny mohou být způsobeny zaledněním nebo posunem zemské kůry, které mohou způsobit změny ve tvaru oceánských pánví (Raup, 1995).

Při vzestupu hladin vod by se zaplavily ekosystémy nebo naopak při jejím poklesu by došlo k zániku ekosystému pevninských šelfů (Flegr, 2009).

### **2.2.3 Vulkanismus**

Příčinou hromadného vymírání může být zvýšená sopečná aktivita. Při výbuchu větší sopky se do ovzduší dostane veliké množství prachu, který se dostane do stratosféry, následně obíhá kolem Země a jen velmi pomalu usedá.

Sopečná činnost může výrazně přispět k náhlým změnám klimatu. Největší vliv má na tuto změnu má nadměrný průnik SO<sub>2</sub> do spodní stratosféry a prach a popel, který pronikne do vyšších vrstev atmosféry. Následkem je poté ochlazení o 1- 3 stupně (Soukupová, 2013).

Dalším typem vulkanismu je výlevný vulkanismus, při kterém nedochází k explozi, ale zanechává široké a tlusté vrstvy lávy. Pokud by byl výlevný vulkanismus masivní, tak mohlo dojít až ke změně cirkulace vzduchu, zejména pak nacházel-li se v oblasti rovníku (Raup, 1995).

### **2.2.4 Snowball Earth**

Objevují se i teorie o tzv. snowball Earth, kdy došlo k úplnému nebo částečně úplnému zamrznutí hladiny světového oceánu, což byl následek výskytu zplodin ze sopečných výbuchů v atmosféře. Díky vulkanismu poklesla intenzita slunečního záření a tím se ochladil povrch Země. Země paradoxně roztála díky dalším sopečným erupcím a pohybu tektonických desek. Popel z výbuchů sopek pokryl led a tím se zvýšila odrazivost záření na zaledněném povrchu. Následkem bylo zvýšení oxidu uhličitého v atmosféře, což přispělo ke skleníkovému efektu a Země začala tát (Soukupová, 2013). Ale i v této době, kdy celou Zemi pokrýval led, se musely někde vyskytovat místa k přežití, díky kterým některé druhy přežily a po rozmrznutí moří expandovaly na zbytek území (Flegr, 2009). Tyto organismy pravděpodobně žily a vyvíjely se v blízkosti sopek. Díky reakci plynů, které proudily ze zemského nitra a mořské vody bohaté na minerály, mohly vznikat místa vhodná pro život, kde tyto organismy žily (Soukupová, 2013).

Jednotlivé příčiny hromadného vymírání se navzájem nevylučují a v některých případech mezi nimi může být přímá souvislost. Například vulkanismus vyvolá změny v atmosféře a násilně dojde ke změně klimatu (Flegr, 2009).

Důkazem o téměř celosvětovém zamrznutí Země pocházejí například ze starohor (prekambrium). Byly objeveny ledovcové uloženiny ve stejně starých ledovcových vrstvách na všech kontinentech (Košťák, 2004).

## **2.3 Vymírání Velké pětky**

Pod hromadná vymírání se někdy řadí jen vymírání na konci ordoviku, v pozdním devonu, na konci permu, triasu a křídý. Těchto pět období se nazývá tzv. vymírání Velké pětky (Flegr, 2009).

### **2.3.1 Vymírání na konci ordoviku**

K vymírání na konci ordoviku došlo před 438 miliony let. Odhaduje se, že vymřelo na 22% čeledí mořských bezobratlých organismů. Postiženi byli hlavně trilobiti, graptoliti, ramenonožci, koráli, mechovky a redukovány byly i útesová společenstva a plankton.

Vymírání pravděpodobně způsobilo zalednění superkontinentu Gondwany ležícího v blízkosti jižního pólu. Ledovce zadržovaly velké množství vody, které pak na konci ordoviku začaly tát. Tání mělo na svědomí zvýšení hladin oceánů a anoxii v mnoha oblastech.

### **2.3.2 Vymírání v pozdním devonu**

Vymírání v pozdním devonu proběhlo před 367 miliony let. Vymřela většina útesotvorných korálů, mořského fytoplanktonu, zooplanktonu, ramenonožců, amonitů a ryb. Vymírání probíhalo po etapách, vždy po dobu zhruba 3 – 4 milionů let. Příčiny jsou dodnes nejasné. Jednou z hypotéz je zvýšení iridia poblíž této



hranice nebo dopad kosmického tělesa. Za nejpravděpodobnější příčinu se však jeví ochlazení. Pro tuto teorii mluví i nálezy v Jižní Americe po zalednění právě z období pozdního devonu.

### **2.3.3 Vymírání na konci permu**

Vymírání na konci permu probíhalo před 250 miliony let. V mořích vymřelo až na 95% mořských druhů s pevnými schránkami a kostrami. Zanikly hlavně ramenonožci, lilijci, poupěti, mechovky, koráli a definitivně trilobiti. Z predátorů hlavně prvohorní amonii a ryby. Na souši vyhynulo více než třetina tehdejších řádů hmyzu.

### **2.3.3 Vymírání na konci triasu**

Vymírání na konci triasu probíhalo před 210 miliony let. Postižení byly hlavně mořské organismy, například mlži, břichonožci, ramenonožci a mořští plazi. Jako příčinou pro toto vymírání by mohl být dopad kosmického tělesa. Důkazem může být kráter v Kanadě o průměru 70 km. Jeho stáří se odhaduje na 206 až 213 miliónů let. V geologických profilech však nebyly objeveny ani mikrotektity iridiové anomálie (Krhovský, Vesmír, 1994/8).

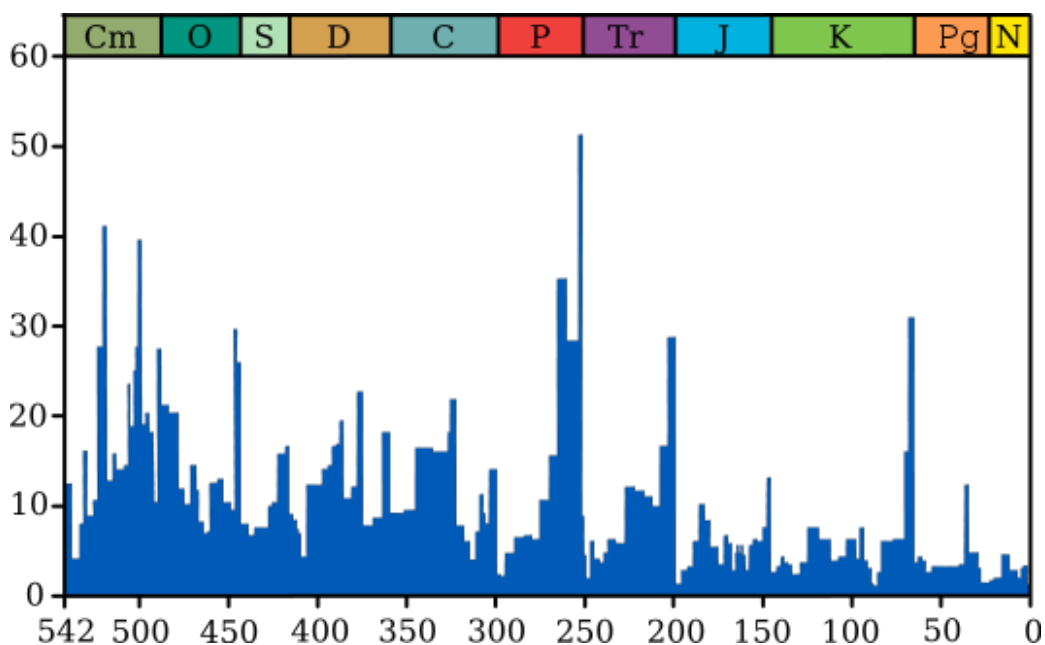
### **2.3.4 Vymírání na konci křídý**

K vymírání na konci křídý došlo před 65 miliony let. Z mořských druhů vyhynulo na 38% rodů mořských živočichů, například mořští plazi, kostnaté ryby, houby, plži, hlavonožci, ostnokožci a dírkovci. Na souši mezi nejznámější oběti tohoto vymírání patří dinosauři, ale zasaženi byli plazi, savci a obojživelníci. Ve vegetaci vzrostl podíl spór na 90%, což ukazuje na rozsáhlé požáry, kdy se na spáleništích rozrůstají kapradiny.

K vymírání pravděpodobně došlo poté, kdy se Země srazila s obrovskou kometou nebo asteroidem (Raup, 1995). Tuto teorii potvrzují i nálezy zvýšeného množství iridia, mikrotektonitů, ale hlavně objevení kráteru Chicxulub na poloostrově Yukatan.

Kromě toho jsou jako možné příčiny i vulkanismus nebo pokles mořské hladiny (Krhovský, Vesmír, 1994/8).

Těchto pět vymírání bylo zásadních pro biotu a následného vývoje života na Zemi. V další kapitole se budu zabývat permským vymíráním, které je hlavním tématem této bakalářské práce.



Obr. č. 2 – Graf Velké pětky. Osa X ukazuje roky v milionech a osa Y ukazuje potvrzené procento vyhynulých mořských organismů, které jsou snadno dohledatelné v paleontologických nálezích. A právě úbytek mořských organismů se shoduje s dobou vymírání Velké pětky.  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Hromadn%C3%A1\\_vym%C3%A1r%C3%A1n%C3%AD#/media/File:Extinction\\_in\\_tensity.svg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hromadn%C3%A1_vym%C3%A1r%C3%A1n%C3%AD#/media/File:Extinction_in_tensity.svg)

### 3. Perm – klima, biota

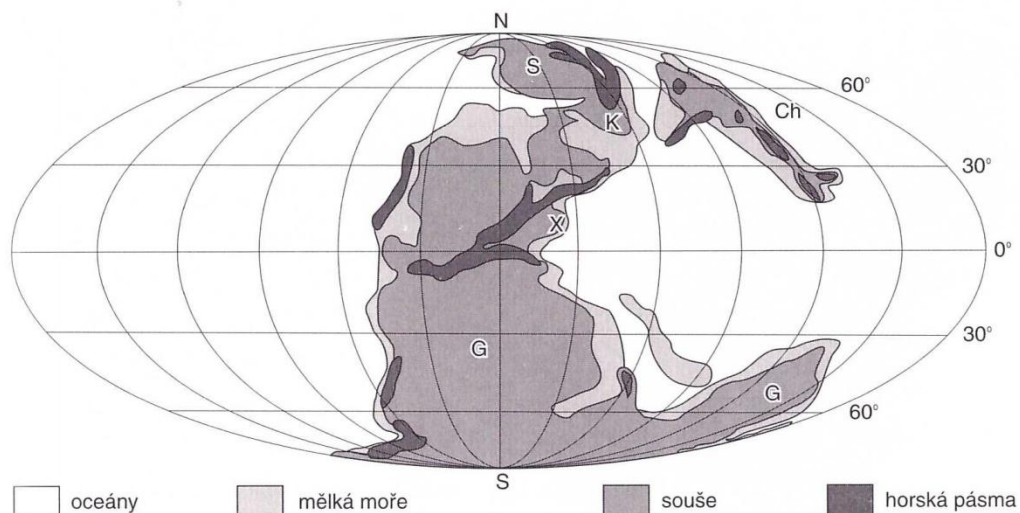
#### 3.1 Geologie

V permu, jako následek sblížení kontinentů, vzniká jeden superkontinent Pangea, který se rozléhá od severního pólu až k pólu jižnímu a protíná všechny podnebné pásy. Jediná jihovýchodní Asie se s Pangeou spojila až v počátcích mezozoika. Díky odlišné flóře můžeme rozeznat, kde se nacházely severní a jižní polární oblasti nebo horké a tropické pásmo. Pravděpodobnost rozdílu mezi těmito oblastmi byla velmi zřetelná. Ráz klimatu byl navíc ovlivněn i variskými pásebnými horstvy a proto ani permské euroamerické rostliny nemají stejné znaky a je možno mezi nimi rozlišit rozdíly jejich výskytu. V oblastech s vyšší nadmořskou výškou vznikaly jehličnaté lesy s kapradinami a kapraďosemennými rostlinami.

Další následek vzniku Pangey vedl ke snížení mořských šelfových oblastí v teplých oblastech. Ve svrchním permu docházelo také ke vzniku solných ložisek jako následek kolísání průměrné výšky hladiny moří a suššího klimatu. Tyto ložiska vznikala v místech, kde docházelo k vypařování vody v nadměrně slaném prostředí mělkých moří v blízkosti kontinentů, zálivů nebo slaných jezer (Chlupáč a kol., 2002).

Během permu se Centrální pangejské pohoří (pohoří v oblasti rovníku) posouvá více na sever do aridní oblasti. Vysoké hory bránily v proudění vlhkých rovníkových větrů, čímž se na severu Pangey utvořily pouště (tyto oblasti jsou dnešní Severní Amerika a severní Evropa). Důkazem těchto rozsáhlých písečných pouští jsou pískovcové vrstvy. Suššímu klimatu se museli přizpůsobit i živočichové. Začali se objevovat první savcovití plazi. Součástí Pangey byl i bývalý superkontinent Gondwana, z kterého se rozšířilo mnoho fauny (Benton, 2009).

V tropické části Pangey (v této části bylo i naše území), jsou nejtypičtějším sedimentem červeně zbarvené pískovce. Usazovaly se v občasných tocích a jezerech a jejich výskyt v oblasti rovníku klesá. Naproti tomu uhlotvorné sedimentace močálů a jezer se posouvají do vlhčího prostředí, tedy směrem na jih a na sever. Dnes jsou to černouhelné pánve v jižních oblastech Gondwany a kuzněcká pánve na Sibiři (Chlupáč a kol., 2002).



Obr. 156. Předpokládaná paleogeografická situace ve vyšším permu (bez mikrokontinentů, upraveno podle různých pramenů). G – Gondwana, K – Kazachstania, Ch – Čína, S – Siberia, X – přibližná pozice Českého masivu.

Obr. č. 3 – Předpokládaná paleogeografická situace ve vyšším permu (Chlupáč a kol., 2002)

### 3.2 Flora

U prvohorních rostlin se začínají objevovat cévy a rozmnožovací orgány. U některých rostlin, které měly jednoduchou tělesnou stavbu, je patrné, jakým způsobem docházelo ke vzniku listů, k zdokonalování vnitřní stavby stonku a rozmnožovacích orgánů.

Ve svrchním karbonu nastal velký výskyt vegetace, která se stala základem k výskytu ložisek černého uhlí. Tato květena během permu pozvolna ubývá a již ve svrchním permu se podobá spíše květeně druhohorní.

V období svrchního devonu až do permu proběhl tzv. hercynský horotvorný proces. Následkem bylo zcela jiné rozložení pevnin a moří. Od konce svrchního karbonu pravděpodobně začaly vysychat močály a docházelo k aridizaci. V karbonu převládalo vlhké klima, to se ale během permu a triasu přeměňuje na sušší. Důkazy o změně klimatu nacházíme také v petrografickém charakteru hornin. Pokud bychom se podívali na usazeniny, zjistili bychom, že se z tohoto období střídají šedé a červeně zbarvené horniny. Právě červené zbarvení je pro perm typické a v pustinných částech Země můžeme červené sedimenty nalézt.

Ale jen červené sedimenty nemůžeme přičíst suchému a horkému klimatu. Důkazy o změnách klimatu nacházíme právě u rostlin, u kterých vymíraly bažinné formy (Habětín, Knobloch, 1981).

### 3.2.1 Flora na souši

#### Lycopodiophyta (Plavuně)

Plavuně se poprvé pravděpodobně začaly vyskytovat ve spodním devonu, kde rostly v bylinné a keřovité formě v blízkosti vodních ploch. Ve svrchním devonu již dosahovaly rozměry stromů a rostly v močálovitých lesích. V triasu tyto stromovité formy zanikají.

V karbonu a permu byly plavuně jednou z rostlinných složek, které se podílely na tvorbě černého uhlí. Pro zajímavost, duté pařezy po zlomených kmenech se mohly stát pastí pro nejrůznější drobné obratlovce. Takto byly objeveny fosílie prvních plazů.

Mezi nejčastější nálezy plavuní patří otisky a mineralizované části stonků.

V dnešní době také můžeme plavuně v přírodě spatřit, ale již jen v bylinné formě a v klimatických pásmech pólů až tropů (Košťák, 2004).



Obr. č. 4 - Plavuň dnes - *Lycopodium annotium* L. - plavuň pučivá. Je rozšířená po celé severní polokouli. Vyskytuje se v nižších polohách, ale i v horských oblastech. U nás jí nalezneme horách a v chladnějších oblastech. Patří mezi ohrožené druhy (<http://botany.cz/cs>)

Mezi některé rody plavuní patřily například *Lepidodendra* a *Sigillaria*, které zažívaly největší rozmach v teplém a vlhkém karbonu. Právě rod *Lepidodendron* vymírá již ve svrchním karbonu, ale rod *Sigillaria* se přizpůsobil a přežil až do spodního permu. Přibližně uprostřed permu dochází k zásadním změnám ve složení rostlinstva, kdy vymírají stromovité plavuně. Již od ordoviku trvá rozmach výtrusných cévnatých rostlin, který končí právě ve spodním permu.

#### *Glossopteridales (Glossopteridní rostliny)*

Tyto keřovité až mírně stromovité rostliny se poprvé objevily v karbonu, ale jejich rozkvět nastal až v permu a poslední zástupní mizí v triasu. Žily pravděpodobně v bažinatém prostředí, což dokazuje rozvětvený a plochý kořenový systém. Takové kořeny by totiž zabraňovaly rostlině v propadu do měkké půdy. Nejspíš docházelo k opadávání listů; tento fakt poukazuje na růst v mírném pásmu a střídání klimatu. V permu tyto rostliny vytvářely celé lesy a jsou i jednou ze složek černého uhlí. Fosilní nálezy jsou z dnešní jižní Afriky, Jižní Ameriky, Indie, Austrálie a Antarktidy, což znamená, že jejich výskyt byl na jižní části tehdejšího kontinentu Gondwany. Právě fakt, že fosílie nacházíme na různých kontinentech, byl jeden z prvních důkazů pro vědce, že v minulosti docházelo k posunu kontinentů. Nejčastější nálezy s otisky listů, zkamenělé dřevo a kořeny (Košťák, 2004).



Obr. č. 5 - *Glossopteris*, Austrálie, 80mm (Košťák, 2004)

### Cycadopsida (Cykasy)

Cykasy jsou rostliny podobné kapradinám a palmám a jedná se o stromovité rostliny. Jejich první výskyt spadá do svrchního karbonu a permu, ale jejich rozkvět byl později v juře. Dnes je nacházíme v subtropických oblastech, ale cykasy bylo možné nalézt na území Evropy ještě ve třetihorách.

#### **3.2.1.1 Rozvoj nahosemenných rostlin**

Naopak svrchním permem se začínají objevovat nahosemenné rostliny (Habětín, Knobloch, 1981), které vznikaly v horkých oblastech. Doprovázeny byly kapradinami a kaprad'osemennými rostlinami (Benton, 2009).

Nejstarší známou jehličnatou rostlinou je Cordaitopsida (cordaity – název je podle českého paleobotanika Augusta Josepha Cordy, který zahynul během expedice v Mexiku roku 1849), které se poprvé objevily v karbonu a v permu vymřely. Byly to rostliny rozšířené téměř po celém světě. Vzrůstem byly vysoké, s mohutnými kmeny a chůdovitými kořeny. Listy dosahovaly rozměrů 20-30 cm, byly kopinatého tvaru a na větvích rostly do spirály. Šišťice vyrůstaly přímo z větví. Cordaity rostly v místech, kde se vyskytovaly bažiny a ve kterých vznikalo černé uhlí. Přizpůsobení bažinatému prostředí pomáhaly chůdovité kořeny, které udržovaly rostlinu nad hladinou vody, pokud by došlo k záplavám.

Z corditů se velmi často dochovaly zkamenělé kmeny.



Obr. č. 6- Cordaites (list), ČR, 300 mm (Košťák, 2004)

Mezi nejčastější rostliny tohoto druhu řadíme konifery, které jsou přímými následovníky koralitů. Během permu a triasu byly schopné se velmi dobře přizpůsobit prohlubujícímu se suchu. Proti suchu se bránily zmenšením plochy listů a ochranou semen v šišticích. Mezi nejčastější pozůstatky řadíme spíše drobné nálezy, jako jsou větévky s olistěním, mineralizované dřevo, šištice nebo pyl. Mezi zvláštní pozůstatky patří i jantar, ten je ale typicky spíše pro nálezy z období, která následovala po permu, hlavně z období třetihor.

Walchia je další z vyhynulých jehličnanů. Tato rostlina byla menšího vzrůstu a je typickou dřevinou pro rozhraní karbonu a permu. Rostly mimo uhlotvorné močály a byly dřevinou typickou spíše pro sušší biotypy.

#### *Ginkgophyta (Jinany, ginkgo)*

Tyto rostliny se poprvé objevují na konci permu, ale jejich rozsáhlý výskyt byl teprve v juře a spodní křídě. Vyskytovaly se v oblastech severní polokoule. V dnešní době je nalezneme jen v jihovýchodní Číně, ale ještě zhruba před 3 miliony lety byly i na území Evropy (Košťák, 2004).

### **3.2.2 Flora ve vodách**

Rostliny v mořích sice navazují na karbon, ale i ty se s časem mění a největších změn dochází hlavně ve svrchním permu. Vymíráním byla zasažena nejvíce tropická společenstva v mělkých vodách.

V permu vznikaly také organické útesy, které se nacházely v mělkých mořích. Na jejich stavbě se podílely vápnité řasy a houby, dále pak mechovky a krinoidi. Oblast výskytu těchto útesů je například severoamerický Texas (Chlupáč a kol., 2002).

### **3.2.3 Flora na našem území**

Nálezy rostlin nacházíme i na území České republiky, hlavně v místech Boskovické brázdy. Nejvíce otisků známe z rosicko-oslavanské oblasti.



Nalézáme zde kmeny *Calamites* (kalamitů) (Habětín, Knobloch, 1981), které patřily mezi přesličkovité rostliny. Přesličky na konci prvohor dosahovaly až 20 m. Listy vyrůstaly na spojnicích článků a tvořily přesleny (od toho výrazu je odvozen název celé skupiny). Přesličky rostly na vlhkých až bažinatých stanovištích jako byliny, stromy a dokonce i jako liány. První rostliny se objevily ve svrchním devonu, největší rozmach byl v karbonu, v permu následuje jejich úpadek a některé přesličkovité stromy se vyskytovaly v triasu. V dnešní době můžeme přesličky nalézt jako byliny v tropech, subtropích a mírných pásmech. Jejich výskyt je podmíněný vlhkým biotypem a nezdá se, že žijí v blízkosti vodní nádrže.

Kalamity jsou dnes již vyhynulé rostliny, které dosahovaly výšky až 20 m.

Prostředek kmene byl dutý, kořen byl tvořen oddenkem a listy byly uspořádány do přeslenu. Výtrusnice, které tvořily šištice, označujeme jako *Calamostachys* (Košťák, 2004).



Obr. č. 7 - *Calamostachys*, ČR, 180 mm (Košťák, 2004)

Na dalších nalezištích v ČR byly objeveny olistěné větévky rodů *Asterophyphyllites* a *Annularia*, které řadíme též mezi přesličky.

Dále nalézáme kapradiny z rodů *Pecopteris* a *Sphenopteris*, kdy *Sphenopteris germanica* se ve fosíliích objevuje nejčastěji (Hrabětín, Knobloch, 1981).

Ve svrchním karbonu a pozdním permu existovaly stromovité kapradiny z čeledi *Psaroniaceae* (psarónie). Tyto rostliny jsou dnes již vyhynulé, ale kdysi také tvořily

velkou část močálů a bažin, občas se vyskytovaly na místech, která byla zaplavována jen periodicky. Spolu s plavuněmi, přesličkami, kapradinami, kaprad'osemennými rostlinami a pozdějšími kordaity a primitivními jehličnany, je dnes nacházíme jako podstatné složky prvohorního uhlí. Na našem území jsme ložiska tohoto uhlí v minulosti nacházeli například ve vnitrosudetské, podkrkonošské, kladenskorakovnické a plzeňské pánvi. Bohužel nezjistíme jaké konkrétní druhy nebo rody se podílely na tvorbě uhlí, nebo jak přesně vypadaly, protože díky humifikaci se rostlinná pletiva vytrácejí a mění. Naštěstí jednotlivé rostliny můžeme rozlišit díky jílovcům a vulkanitům. Tyto sedimenty se vyskytují v blízkosti uhelných slojí a jsou zde zachovány zbytky částí rostlin (Matysová, Vesmír, 2009/6). Výškou tyto „pravěké“ stromy dosahovaly až 10 m. Vnější, až 30 cm široký, obal kmene tvořily spleti kořínků. Naopak vnitřní, tj. vlastní, kmen byl tenčí a obsahoval cévní svazky. Kořeny tedy vyrůstaly zevnitř kmene a rostly až k zemi a celá rostlina byla v půdě ukotvena jen tenkým kořenem. Korunu stromu tvořily lichozpeřené vějíře listů. Když staré listy opadaly, zanechaly po sobě výrazné jizvy, které však zakrýval obal z kořenů. Na přiloženém obrázku můžeme vidět zkřemenělou část kmene z Nové Paky (Habětín, Knobloch, 1981).



Obr. č. 8- Řez psaronií (Nová Paka) (<http://botany.cz/cs/psaronius/>), staženo 3. 12. 2014

Již ve svrchním karbonu se začaly vykytovat jehličnaté rody *Lebachia* a *Ernestiodendron*, které se během permu již vyskytovaly zcela běžně. Je zde i první výskyt cykasovitých rostlin, které se však výrazněji prosadily až ve starších druhohorách (Habětín, Knobloch, 1981).

### 3.3 Fauna

Podle nalezených fosílií z mladších prvohor lze snadno rekonstruovat složení populací živočišných druhů souší a pevninských a mořských vod.

#### 3.3.1 Fauna na souši

Nejpočetnější suchozemskou skupinou byli vzdušnicovci, zejména pak hmyz.

Některé skupiny hmyzu dosahovaly gigantických rozměrů, např. vážky.

U obojživelníků došlo k velkému rozmachu krytolebců, ze kterých se v karbonu vyvinuli první plazi (Habětín, Knobloch, 1981). Velmi početnou skupinou plazů, která prodělává velký rozmach, jsou therapsidi (Košťák, 2004).

##### *Phyloblatta (Švábi)*

Tento hmyz měl eliptická křídla s nezřetelnou žilnatinou. Jeho zkameněliny patří k nejčastějším nálezům ve středočeských černouhelných pánvích, zejména pak v Boskovické brázdě.

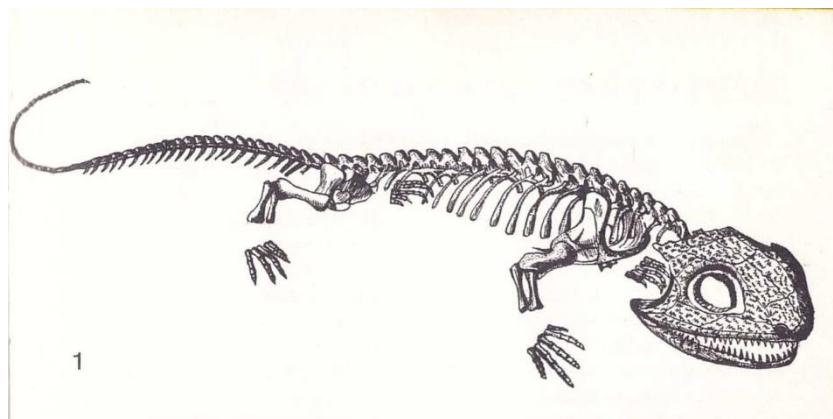
##### *Stegocephali (Krytolebci)*

První krytolebci se objevili již v devonu a poslední zástupci vyhynuli v křídě, ale jejich hlavní rozvoj byl právě v permu.

Krytolebci se vyskytovali v podstatě po celém světě a některé druhy dosahovaly svou velikostí až do rozměrů aligátora. Na našem území se fosílie těchto obojživelníků nacházejí ve spodnopermských břidlicích Boskovické brázdy, hlavně v okolí Letovic, Bačova a Skalice nad Svitavou. Žili hlavně v pobřežních bažinách a močálech kolem mělkých jezer, jehož břehy byly obrostlé vegetací.

Tito živočichové měli hlavu trojbokého tvaru a čelisti s ostrými zuby, což nasvědčuje tomu, že šlo o dravce. Některými znaky se tyto obojživelníci již podobají plazům, zejména stavbou obratlů a pětiprstou přední končetinou.

Těla krytolebců nacházíme společně s fosíliemi kapradin a primitivních jehličnanů. Nejčastěji se vyskytují nálezy rodu *Discosauriscus*, méně pak rod *Letoverpeton* (Habětín, Knobloch, 1981).



Obr. č. 9 - Rekonstrukce kostry krytolebce *Discosauriscus pulcherrimus* (Habětín, Knobloch, 1981)

### *Therapsida (Therapsidi)*

Therapsidi se poprvé objevili ve středním permu a poslední zástupci vymírají ve střední juře. Kosterní nálezy byly objeveny převážně v jižní Africe, Rusku a v Severní Americe.

Therapsidi byli čtyřnozí plazi, kteří jsou někdy označováni také jako savcovití plazi, protože měli některé znaky společné se savci, například teplokrevnost nebo srst. Naprostá většina těchto plazů byla suchozemských, ale někteří žili i v blízkosti vod. Byli to převážně predátoři, někteří byli všežravci nebo býložravci (Košťák, 2004).



Obr. č. 10 - Therapsid z rodu Syodon. Jednalo se o masožravce. Nález této lebky, o délce 300 mm, pochází z Ruska (Košťák, 2004)

### 3.3.2 Fauna ve sladkých vodách

V pevninských vodách se vyskytovali lalokoploutvé a paprskoploutvé ryby. Pravděpodobně sladké vody obývali i prvoci, plži, mlži a členovci včetně larev hmyzu, avšak paleontologické nálezy těchto živočichů jsou spíše vzácností.

#### *Actinopterygii (Paprskoloutvé ryby)*

První zástupci těchto ryb se objevují již v siluru a známe je až po současnost. Například rod *Paramblypterus* prodělal největší rozmach právě během permu. Tyto ryby dorůstaly velikosti až 20 cm, měly štíhlé tělo s jednou hřbetní ploutví. Tento druh obýval jezera a nálezy otisků šupin nebo těl můžeme nalézt i u nás, zejména na Broumovsku, v Boskovické brázdě a obzvláště krásné fosílie pocházejí z podkrkonošské pánve – ze Semil a Košťálova, kde ve spodnopermském vápenci byli odkryti celí jedinci druhu *Paramblypterus rohani*. Spolu s nimi se někdy vyskytují i zuby pražraloků rodu *Pleuracanthus* a drobné rybky rodu *Paramblypterus* pravděpodobně sloužily jako jejich potrava (Habětín, Knobloch, 1981).



Obr. č. 11 - Paramblypterus rohani (Habětín, Knobloch, 1981)

### Crossopterygii (Lalokoploutvé ryby)

Lalokoploutvé ryby jsou považovány v evoluci za výchozí skupinu pro vznik obojživelníků (Košťák, 2004).

### **3.3.3 Fauna v mořích**

Již koncem devonu nastávají v mořích změny, kdy docházelo k biotickým i abiotickým vlivům. Následkem těchto změn dochází k vyzrávání živočichů, které pokračuje i v permu.

V permských mořích se zvýšil počet nektonních živočichů. Dominantní skupinou živočichů se stávají žraloci a chrupavčité paprskoploutvé ryby.

Pravděpodobně se objevují i první amoniti (Habětín, Knobloch, 1981).

### Tabulatoidea (Tabulární koráli)

Jednalo se o velmi rozšířené prvohorní koráli vytvářející kolonie. Vzhledem byli velmi rozmanití – připomínali rohy nebo i keříčky. Žili převážně na rovných dnech. První tabulární koráli se vyskytovali v kambriu a poslední zástupci vymřeli v permu.

### Tetracorallia (Čtyřčetní koráli)

Tito koráli žili samostatně nebo v koloniích. Vyskytovali se od spodního ordoviku do svrchního permu.

### Trilobita (Trilobiti)

První trilobiti se objevili v kambriu zhruba před 550 milióny lety. Na konci prvohor jejich význam klesá a poslední zástupci vymírají na rozhraní permu a triasu.

Jednalo se o členovce, kteří žili v mořích s normální salinitou. Mnoho druhů se úplně nebo částečně zahrabávalo do substrátů. Potravu získávali filtrací vody, požíváním odumřelých organismů, mnozí byli dravci, někteří dokonce paraziti.

Fosílie trilobitů nejčastěji nalézáme ve formě kamenných jader nebo otisků (Košťák, 2004).

## **3.4 Klima**

Podnebí v permu bylo velmi různorodé. Na počátku doznívalo zalednění, které započalo v karbonu. Ledovce se rozprostíraly po všech kontinentech, které tvořily jeden kontinent – Gondwanu. Důkazy o zalednění jsou patrné na ledovcových uloženinách z Jižní Afriky, Indie a Tasmánie. Hlavním centrem zalednění byla oblast dnešní Austrálie. Jižní část polokoule byla tedy ve starším permu takřka celá pokryta ledem. Toto zalednění mělo vliv na klima i ve středních zeměpisných šířkách, kdy v oblastech jižní a severní Pangey nastalo chladné, místy až aridní klima.

Kolem rovníku byl jen úzký pruh s tropickým podnebím. S nástupem interglaciálního podnebí se v nižších nadmořských výškách začaly objevovat uhlotvorné deštné pralesy.

Koncem permu vymizely poslední zbytky ledovců, které pokrývaly jak souš, tak i jižní polokouli. Jediné zalednění zůstalo v oblasti severního pólu.

Paleoklimatické údaje naznačují, že podnebí v období mladšího permu bylo výrazně teplejší než v současnosti. Klima se stalo výrazně sušším (až pouštní), důkazem jsou červená ložiska sedimentů a evaporitů (tato hornina vzniká odpařením slané vody) (Benton, 2009). Navíc Pangea byla obklopena jediným oceánem Panthalassou.

V tomto důsledku byla absence mělkých mořských vod. Pangea měla také vliv na oceánské cirkulace a počasí. Docházelo k sezónním monzunům v blízkosti pobřeží a ve vnitrozemí vládlo trvale suché klima (Renne a kol., 1995).

Dále se ukazuje, že velká část oceánu byla anoxních (tzn. bez kyslíku) nebo euxinických (tzn. omezení hydrologických cyklů) (Kiehl, Shields, 2005).



## 4. Permské vymírání – teorie a objevy

### 4.1 Vulkanismus

Jako jedna z možných příčin masového vymírání na rozhraní permu a triasu by mohla být způsobena výlevy čedičových hornin jako následek erupce. (Tyto horniny se rozléhají po celém zemském povrchu, nazývají se trapy a jejich celkový objem je až 3 miliony  $\text{km}^3$ . Nejrozsáhlejším je sibiřský trap, který dosahuje rozlohy až  $2,5 \text{ km}^2$  (Boháček, Vesmír, 1996/1)).

Z permského období jsou doloženy právě rozsáhlé čedičové výlevy na Sibiři, při kterých byl povrch Země pokryt řídkým magmatem o tloušťce asi 400-3000m. Rozloha dosahovala až  $1,5 \text{ km}^2$  a objem až 3 milióny  $\text{km}^3$  magmatu. K výlevům docházelo po dobu zhruba 600 000 let, pravděpodobně v době permského vymírání (Renne a kol., 1995).

Díky erupci se do ovzduší začaly uvolňovat toxické látky stopových kovů, oxidů siřičitého (výskyt této látky vede k povrchovému ochlazení, pokud se dostane do stratosféry) a oxidu uhličitého (výskyt této látky vede ke globálnímu oteplování). U oxidu uhličitého bylo například odhadnuto, že v oblasti sibiřských trapů byl objem tohoto plynu navýšen v atmosféře až o 40 000 gigatun, což až 1000-krát přesahovalo jeho dosavadní výskyt. (Velká část oxidu uhličitého pocházela přímo z roztaveného magmatu). Takto velké množství oxidu uhličitého v atmosféře vedlo ke skleníkovému efektu a následnému oteplování.

Jedním z důsledků bylo oteplení oceánů a špatné udržení kyslíku ve vodě, což mohlo zadusit mnoho organismů, které žily v již tak špatně okysličených částech moře. Bakteriím schopným přeměňovat síran v mořské vodě by se v podmínkách bez nedostatku kyslíku dařilo přežít, ale vytvořily by další oxid uhličitý a sirovodík, který by navíc unikal do atmosféry. Mnoho rostlin a živočichů by bylo vystaveno působení oxidu uhličitého s kombinací sirovodíku, což by vedlo k udušení a otravě. Navíc díky ztrátě ozonu v atmosféře by vzrostlo ultrafialové záření.

#### **4.1.1 Další změny spojené s vulkanismem**

Stratosférická chemie vulkanických plynů by zahrnovala nejen velké množství reaktivních plynů a emise síry, ale i chlorovodíku a bromovodíku (Oppenheimer, 2011). Pro Sibiřské trapy bylo odhadnuto, že se do ovzduší společně s pyroklastickým oblakem dostalo kolem 3,35 megatun chlorovodíku (Beerling a kol., 2007). Dále je možné, že tyto dva plyny reagovaly společně s aerosoly, které obsahovaly síran, a které následně reagovaly ve stratosféře a tím narušovaly ozon. Stratosféra, která obsahuje ozon, pohltí právě díky němu nejvíce UV-B záření, které pochází od Slunce. Právě zvýšené ultrafialové záření může ovlivnit růst, zdraví a reprodukci mnoha živočichů žijících na zemi nebo v oceánech. Právě některé vědce toto vedlo k domněnce, že mohlo dojít ke katastrofě, kdy se zvýšilo ultrafialové záření. Z fosilních záznamů je těžké dokázat, jestli to byl spouštěcí mechanismus vymírání, ale je velice pravděpodobné, že zvýšené ultrafialová záření působilo jako stresující faktor pro organismy, které se již tak snažily vyrovnat se změnami v prostředí (Oppenheimer, 2011).

Fluorovodík je další z plynů uvolňovaných při sopečné erupci. Jedná se o světle žlutý plyn, který je vysoce toxický. Fluor se lepil na jemné částice vulkanického popela, který se díky větrům dostal až vysoko do atmosféry. Tento vulkanický prach nakonec dopadl na povrch Země, kde pokryl všechny rostliny. Zvířata, která takto toxickou rostlinu sežrala, se otrávil a následně zahynula. Fluor se samozřejmě dostal i do potoků, řek a jezer, kde kontaminoval vodu (Marusek, 2004).

#### **4.2 Navýšení oxidu uhličitého**

Jednou z hlavních příčin masového vymírání na konci permu mohlo být navýšení oxidu uhličitého. Pokud je v oceánech vysoká koncentrace oxidu uhličitého, organismy rostou pomaleji, mají kratší život a i jejich porodnost je nižší. Navíc se omezuje okysličení tkání a narušuje se i pH rovnováha celého organismu, což je úzce spojeno s růstem kostry. Pro mnoho mořských živočichů je fyziologie jejich kostry velmi důležitá, protože jednou z nejběžnějších stavebních látek, například

mušlí a korálů, je uhličitán vápenatý, který se musí extrahovat z prostředí, ve kterém tyto živočichové žijí. Podle fosilních nálezů bylo zjištěno, že 85% rodů, které měly kostru složenou převážně z uhličitánu vápenatého, tak vymřely (například *Grewingia canadensis*, což je druh korálu, dále *Rhynchonella brachiopodes*, což je druh mušle a nakonec Crinoidea, což je ostnokožec). Pouhých 5 % druhů, které měly malý nebo žádný podíl uhličitánu vápenatého ve svých kostech, přežilo (například *lingulid brachiopods*, mořský červ *polychaete*, mořské okurky a konodonti). Mezi těmito dvěma skupinami byla skupina živočichů, kteří měli menší nároky na obsah uhličitánu v kostech, což zvyšovalo šance na ochranu tělesné tkáně při změnách složení mořské vody (šlo například o ježovky, amonity, měkkýše nebo členovce). Zatímco vymření několika druhů živočichů v oceánech podporuje teorii o otravě oxidem uhličitým, novější práce však naznačují, že fyziologické reakce zvápenatělých organismů v oceánech jsou složité a je tedy velmi obtížné cokoliv předpovídat. Kosterní fyziologie byla opravdu změněna během permské katastrofy, ale tento fakt je potřeba ještě dále důkladněji testovat (Knoll, A. H. a kol., 2007). Naopak při suchozemském vymírání oxid uhličitý sehrál velkou roli, protože při vysoké koncentraci je pro rostliny a živočichy smrtící. Oxid uhličitý je těžší než vzduch a může proudit do níže položených oblastí. Dále je bezbarvý a bez zápachu, takže živočichové, kteří s ním přišli do kontaktu, nemuseli být schopni tento plyn rozpoznat.

Živočichové jsou sice obecně k tolerantnější ke zvýšené hladině CO<sub>2</sub>, protože můžou kompenzovat hyperkapnii (stav, kdy je nižší přísun kyslíku) zvýšenou frekvencí dýchání. Pokud by ale hladina CO<sub>2</sub> byla až moc vysoká mohlo by u živočichů docházet ke špatnému vázání kyslíku na hemoglobin. Jako následek by byla ztráta vědomí a křeče (Marusek, 2004).

### **4.3 Anoxie**

Jiná teorie o masovém vymírání na konci permu přičítá nedostatku kyslíku v mořích. Vědci z Arizonské státní univerzity a univerzity v Cincinnati použili na svůj výzkum novou geochemickou techniku, kdy měřili izotopy uranu ve starších horninách. Byl

zjištěn velký a náhlý nárůst změn v chemii hornin v době velkého vymírání na konci permu.

Jednou z příčin mohlo být uvolnění velkého množství toxického sirovodíku, což přímo mohlo ukazovat na oceánskou anoxii. Předpokládalo by se tedy, že i nejhlubší místa v oceánech by byla na kyslík vyčerpána po miliony let před začátkem permského vymírání.

Nová měření izotopů uranu v horninách ale naznačují, že období celé anoxie oceánů trvalo mnohem kratší dobu, zhruba několik desítek tisíc let, říká Gregory Brenneka, vedoucí výzkumu. Jeho tým zkoumal v uhličitanových (karbonátových) horninách v Dawenu v jižní Číně zastoupení izotopů uranu a thoria a zastoupení uranu. Studie ukazuje, že karbonátové horniny zachytávají izotopy uranu a thoria mořské vody, v které jsou obsaženy.

V horninách, které pravděpodobně pocházejí z období konce permu, byl objeven uhličitan bezprostředně před začátkem vymírání, který signalizuje anoxii. Dále byla zjištěna vyšší koncentrace thoria a izotopu uranu ve stejném intervalu, kdy došlo ke snížení obsahu uranu v mořské vodě. Právě nižší koncentrace uranu také ukazuje na anoxii.

Výsledkem studie je kvantifikace změn množství úbytku kyslíku v porovnání s globálním vymíráním. Lze také lépe pochopit, jak se s časem měnilo množství kyslíku a jaký dopad to mělo na mořské ekosystémy (Brenneka a kol., 2011).

Také rozsáhlé nálezy černé břidlice z nejspodnějších mořských den z období triasu, podnítily teorii o anoxii v mělkých vodách moří, jako možnou příčinu vymírání na konci permu. Ačkoliv jsou dna oceánů stále posouvána pod kontinentální desky, tak se zachovaly horniny vzniklé na hranici permu a triasu. Takové horniny obsahují pyrit, který můžeme nalézt i jako součást právě černé břidlice. Pyrit vznikl na dně oceánů činností bakterií bez přítomnosti kyslíku. Tento jev se dnes již nevyskytuje, protože všechny vody, jak pobřežní tak i v hlubinách oceánů, jsou již dobře prokysličené.

Vysvětlením pro anoxii může být otrava oxidem uhličitým., což souvisí s navýšením oxidu uhličitého. Oceánské bakterie se živí organickým materiálem a zároveň produkují oxid uhličitý. Bez dostatečné cirkulace mořské vody, zůstává plyn na jednom místě, kde je jím voda nasycena. Následný vysoký obsah oxidu uhličitého ve vodě by byl pro mořské organismy jedovatý. Takto jedovaté vody se z hlubin mohly

dostat do mělkých částí moří. Při globálním ochlazení, které lze předpokládat jako následek snížení slunečního záření, může poklesnout teplota vody v povrchové vrstvě pod 4°C. Takto studená voda je těžší a dochází k přeměně vrstev vod v mořích.

Dlouhodobější omezení produkce kyslíku by mělo paradoxně za následek jeho větší spotřebu. Z tohoto důvodu je téměř celoglobální výskyt černé břidlice v raném triasu důkazem pokračující fotosyntézy v povrchových vodách.

Pokud by z atmosféry zmizel veškerý kyslík, což se pravděpodobně nestalo, nebylo by možné, aby se utvořila anoxická místa v mělkých mořích v globálním měřítku. Přestože jsou anoxická místa velmi nebezpečná, zároveň mohly mělké vody sloužit jako útočiště mizejícím živočišným nebo rostlinným druhům.

Vymírání spojené s anoxií by mělo za následek asfyxii (dochází k dušení z nedostatku kyslíku) a hyperkapnii (vzestup koncentrace oxidu uhličitého v krvi, následně dochází k otravě), otravu sirovodíkem a v extrémních podmínkách i úbytek ozonu (Knoll, 2007).

Podle jiné teorie se většina života v mořích během permu koncentrovala v mělkých vodách, u pobřeží či blízko útesů. Paul Wignall a Richard Twitchett se domnívají, že nedostatek kyslíku se projevoval i v mělkých vodách, hlavně pak v místech, kde voda byla více stojatá a nemohla zde voda cirkulovat. I dnes můžeme sledovat, že v místech, kde dojde k znečištění, nastane anoxie v důsledku neproudění vody. V takových místech dojde k lokálnímu úhynu organismů.

Příčinou zpomalení mořských proudů mohlo být tání většího množství ledovců. Za normálních okolností se teplotní rozdíly mezi polárními a rovníkovými vodami ovlivňují, takže dochází k pohybu oceánských proudů. Když tyto proudy budou stagnovat, vytváří se anoxická voda, která se rozlévá i do mělkých oblastí. Mořský život bude dlouho stagnovat, ale nakonec začne upadat (Wignall, Twitchett, 1996).

#### **4.3.1 Jevy spojené s anoxií**

Existuje také další řada faktorů, které pravděpodobně sehrály roli v hromadném vymírání na konci permu. Špatně okysličená voda ovlivnila podmínky pro život v

oceánech, což by mělo za následek špatně dostupné stanoviště k životu. Takto odkysličené a až dusivé moře omezilo i produktivitu organického uhlíku z mrtvého planktonu v povrchových vodách. Následkem by bylo i hromadění sulfid vodíku u povrchových vod. Všechny tyto okolnosti vedou k názoru, že sirovodík a oxid uhličitý by pravděpodobně měli svůj podíl na vymírání.

V okamžiku hromadění sulfidu v oceánech mělo nakonec za následek vypouštění plynu do atmosféry, což by později mohlo vést i k možnosti vymírání života na souši. Tato teorie vede k další úvaze: jakékoliv mechanismy vedoucí k vymírání v oceánech musí být propojené a musí mít následky s biotou na zemi. Zatímco suchozemské rostliny mohly být nepříznivě ovlivněny vysokým obsahem oxidu uhličitého zapříčiněným okyselením zeminy, celkově vysoký obsah oxidu uhličitého v atmosféře by měl být prospěšný pro vegetaci, protože by byla posílena fotosyntéza. Teplota ovlivňuje rychlost chemických reakcí a tím je ovlivněna nejen fotosyntéza, ale i metabolismus většiny organismů. Kolísání teplot po celé Zemi hraje významnou roli v geografickém rozšíření flóry a fauny. Možnosti jak se s těmito náhlými a rychlými změnami v životním prostředí vyrovnat, byly pro populace organismů jen tři. Přizpůsobit se změnám, migrovat na příznivější prostředí (pokud takové existuje) nebo vyhynout (Oppenheimer, 2011).

#### **4.4 Dopad kosmického tělesa**

Jako další možnou příčinu vymírání na hranici permu a triasu je dopad kosmického tělesa. Tato ničivá katastrofa byla způsobena dopadem shluku komet nebo asteroidů v krátkém geologickém čase asi tak během 5-8 milionů let. Některé z těchto nárazů mohly mít dostatečnou kinetickou energii, aby došlo k prasknutí zemské kůry a ke zlomům kontinentálních a oceánských švů. Následně by se energie z nárazu tělesa pronikla až do pláště Země, což by platilo hlavně pro místa, kde je zemská kůra tenká, například v oceánech. Energie nárazu by také mohla roztavit zemskou kůru. Účinky energie z nárazu jsou nejasné a pozorovatelné jsou jen jako výlevy čediče z následku erupcí. Ze sopek by se uvolňoval popel, který by se vzduchem šířil i tisíce kilometrů od místa erupce a v mořích by mohla zavládnout anoxie.

Následně by docházelo v místě Emeishan (Čína) a Sibiřských trapů k dlouhodobým erupcím a výlevům magmatu (až 3-5 milionů m<sup>3</sup>), které by trvaly až 10 miliónů let.

Kyselý plyny uvolněné z magmatu by následně byly příčinou kyselých dešťů.

K rozsáhlému vymírání by tedy došlo velmi rychle v rozmezí asi pár desítek tisíc let.

Nakonec by došlo k rozpadu mořských a suchozemských ekosystémů.

Vnitřní rázové vlny by narušovaly spoje tektonických desek, vznikly by trhliny na mořských dnech, hlavně v místech švů tektonických desek, a tím by docházelo k masovým podmořským čedičovým erupcím po celém světě. Tato rázová síla může narušit křehkou rovnováhu desek a vyvolat dlouhodobé poškození zemské kůry.

Podmořské erupce chrlily kyselý plyny do oceánů, které vyvěraly na povrch a následně přispívaly k okyselení. Mořští živočichové jsou citliví na zvýšenou hladinu oxidu uhličitého, protože zpomaluje jejich růst a rozmnožování, což se děje kvůli narušenému transportu kyslíku.

Jedním z protiargumentů pro dopad kosmického tělesa je otázka, kde se nachází kráter. Odpovědí je, že hluboké nárazy nemusejí vždy po sobě kráter zanechat.

Viditelné jsou naopak jiné morfologické změny terénu, jako je například sopečné nádrže, zdeformovaný terén a jiné. Morfologie změn může zahrnovat i gravitační a magnetické anomálie. Michael M. Rampino z NASA jako jedno z míst dopadu navrhl oblast v severozápadní Austrálii, která je známá jako Bedout Hight. Stáří kráteru je odhadováno na zhruba 253 milionu let. Další lokalitou by mohla být střední Brazílie. Je zde nejvíce narušená struktura po dopadu tělesa z celé Jižní Ameriky. Šířka se odhaduje na 40 km a stáří okolo 247-251 milionu let.

Jako důkazy o dopadu vesmírných těles můžeme brát v potaz výskyt některých vzácných prvků v horninách (Marusek, 2004).

Pod ledovcovým příkrovem Antarktidy se skrývá kráter, který pravděpodobně vznikl po srážce Země s cizím kosmickým tělesem před 250 miliony let. Tento asteroid měl zhruba průměr 50 kilometrů a kráter, který po sobě zanechal, má průměr 500 kilometrů. Jeho umístění, na východě Antarktidy v oblasti Wilkes, jižně od Austrálie, naznačuje také, že po jeho dopadu by mohlo začít rozdělení Gondwany, protože by vznikla tektonická trhlina, která by Austrálii tlačila směrem k severu.

Jen pro představu, kráter Wilkes je dvakrát tak veliký než kráter Chicxulub na Yukatánském poloostrově, který způsobil meteorit, který má za následek vymření dinosaurů před 65 miliony let.

Měřením gravitačních výkyvů kosmických sond GRACE z NASA pod ledovým povrchem Antarktidy, bylo objeveno 320 kilometrů široké pole, ve kterém se koncentruje větší hustota hornin, která sahá až k zemské kůře.

Tato větší hustota hornin vzniká v místech, kde se velké objekty srazí s povrchem planety. Při nárazu se hutnější vrstvy dostanou až do nadložní kůry a drží se v místě pod kráterem.

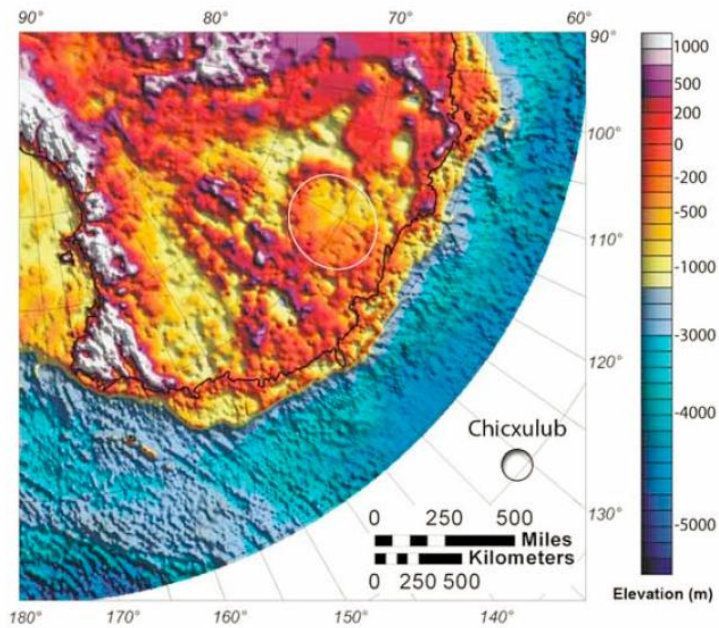
Vědci poté porovnali gravitační snímky s radarovými snímky povrchu Země pod ledem, které odhalovaly prsteneček kráteru o rozměrech až 500 kilometrů. Hřeben struktury by sám o sobě nic nedokazoval, ale v minulosti bylo na měsíci nalezeno na 20 podobných impaktů se stejně stlačenou hustotou hornin o stejné velikosti. Von Frese z Ohio univerzity se domnívá, že není nijak překvapující najít i na Zemi kráter o takto velikých rozměrech. Například na měsíci můžeme vidět krátery, na kterých je stlačená hustota hornin stále rozpoznatelná. Naopak na Zemi je to hůře prokazatelné, protože je stále geologicky aktivní.

Wilkes region vznikl pravděpodobně před 250 miliony lety a během následující půl miliardy let zmizí zbytky stlačené hustoty hornin. Přibližně před 100 miliony let se Austrálie odhrkla od Gondwany a začala se posouvat směrem k severu.

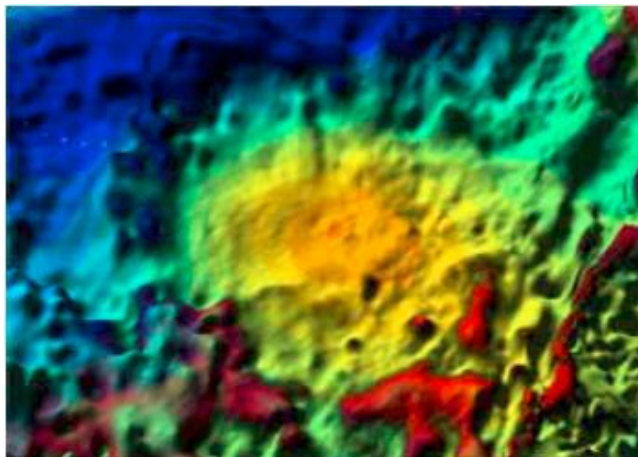
Všechny změny životního prostředí, které by vyplynuly z dopadu kosmického tělesa, by nastolily velmi těžké podmínky pro život. Nejlepší důkazy pro tuto teorii vymírání by pocházely z hornin kráteru. Naneštěstí náklady pro provrtání více než 1,6 kilometrů tlustého ledu jsou příliš vysoké. Proto se chtějí vědci zaměřit na průzkum úpatí ledovce podél pobřeží, kde jsou u moře vymleté skály po ledovcích. Další alternativou pro získání důkazů o cizím impaktu by byly gravitační a magnetické průzkumy (Von Frese, 2006).

Výskyt tohoto kráteru je však nepotvrzený. V Rajmonově databázi můžeme dohledat seznam kráterů, které jsou rozdělené do pěti kategorií, kdy: kategorie – 0 (potvrzené krátery), kategorie – 1 (impaktní struktury potvrzené na 95%), kategorie – 2 (pravděpodobný výskyt), kategorie – 3 (možný výskyt), kategorie – 4 (nepravděpodobný výskyt) a kategorie – 5 (zamítnutý výskyt). Kráter z oblasti Wilkes se nachází právě v kategorii 5 (Rajmon, 2010).





Obr. č. 12 - Výše uvedený radarový snímek ukazuje zemskou propadlinu na východě Antarktidy. Výšky nad mořem jsou zobrazeny červeně, fialově a bíle. Lokace Wilkes, kde se nachází kráter, je zakroužkována (Von Frese, 2006).



Obr. č. 13 - Výše uvedený snímek zachycuje gravitační výkyvy a radarový snímek v oblasti Wilkes ve východní Antarktidě. Okraje kráteru jsou ohraničeny červenou a modrou barvou, střed oranžovou barvou (Von Frese, 2006).

#### 4.5 Uvolnění metanu

Na vymírání na konci permu se také mohl podílet extrémně výbušný rozpuštěný metan hydrát (a s ním další rozpuštěné plyny jako oxid uhličitý a sirovodík). Tato

látku se vyskytuje na mořských dnech, arktických jezerech a v permafrostu. V normálních podmínkách se díky tlaku vody nebo sedimentu metan neuvolňuje a je zmrzlý.

V permu se pravděpodobně díky vzestupu teploty zásoby metanu rozpustily a z mořského dna se uvolnilo až 10 000 gigatun, které se do té doby hromadily pod vysokým tlakem. Při jeho náhlém úniku došlo k výbuchu, kdy se uvolnilo velké množství energie, která mohla zapříčinit i kontinentální zalednění. Mimo jiné však následkem byla stagnace života v oceánech a anoxie.

Metan se poté uvolňoval i do ovzduší, kdy jeho koncentrace byla vysoce výbušná. Následkem byly rozsáhlé výbuchy, požáry a povodně (Ryskin, 2003). Byla také překročena oxidační kapacita atmosféry a tím se narušila ozonová vrstva.

Uvolňování metanu trvalo přibližně 20 000 let, což celkem souhlasí s dobou vymírání (Voldřichová, Mihulka, Vesmír 2011/10).

#### **4.5.1 Metan a mikrobi**

Mikrobi produkující metan mohou také mít na svědomí vymírání na konci permu. Euryarchaeotní archaebakterie rodu *Methanosarcina* byl jednobuněčný organismus, který produkoval biogenický metan. Tento organismus žil na dně moří a oceánu a byl schopný vyprodukovat tak veliké množství metanu, které následně mohlo v atmosféře dramaticky změnit klima a následně chemii oceánů.

Podle Rothmana bylo na konci permu ohromné množství nerozložené organické hmoty v mořských sedimentech. A právě metanosarcíny se organickými látkami živily.

Před permským vymíráním tyto organické sedimenty obsahovaly z velké části acetáty, které metanosarcíny nedokázaly strávit. Poté, ale horizontálním přenosem od bakterií získaly dva geny, díky kterým už acetát zpracovat mohly.

Tým Rothmana analyzoval 50 genomů současných organismů a zjistili, že metanosarcíny právě před 250 miliony lety tyto geny pro svůj metabolismus získaly. Metanosarcíny se poté začaly živit organickými sedimenty a do atmosféry se tím pádem dostal metan, který podporoval skleníkový efekt.

Rothman dále uvádí, že Sibiřské trapy, které produkovaly ohromné vulkanické výlevy, měly na rozvoji metanosarcín také vliv. Vyvřeliny obsahují nikl a právě tento prvek metanosarcíny ke svému životu potřebují a jeho náhlá dostupnost vedla k jejich rozvoji.

Metan je daleko více účinným skleníkovým plynem než oxid uhličitý a proto se předpokládá, že došlo k prudké a náhlé změně klimatu, které mohly mít za následek tak rozsáhlé vymírání jaké bylo v permu (Rothman a kol., 2004).



Obr. č. 14 – Skalní výchoz. Fotografie zachycuje vápenec se sopečným popelem v Meishan v Číně. Hornina je také bohatá na nikl a zkamenělé zbytky mořských organismů. Stáří horniny se odhaduje na hranici permu a triasu (Rothman a kol., 2004).

#### **4.6 Stručný přehled příčin permského vymírání**

Vulkanické výlevy na Sibiři: tato hypotéza je potvrzená, na Sibiři se nacházejí čedičové horniny, které jsou důsledkem vulkanismu z období permu

Navýšení oxidu uhličitého: v mořích mohlo následkem docházet například ke změně kosterní fyziologie některých organismů, avšak tento fakt není potvrzený

Anoxie: v mořských vodách k anoxii s největší pravděpodobností došlo, ale jen samotná anoxie takto rozsáhlé vymírání nezpůsobila

Dopad kosmického tělesa: protiargumentem této hypotézy je absence kráteru

Uvolnění metanu: důsledkem je změna klimatu, ke kterým však mohlo dojít i jako následek vulkanismu, takže i tato hypotéza je spíše spekulací

## 5. Důsledky

Následkem permské katastrofy vymřelo až 95% druhů (Raup, 1995).

V případě hromadných vymírání dochází obecně ke snížení biodiverzity nejen na úrovni lokální, ale i v globálním měřítku. Nejinak tomu bylo na konci permu.

Ekosystémy postupně začaly degradovat, až na nich zůstalo jen několik nepočtených druhů, které se později začaly hojně rozšiřovat.

Pro tyto druhy je typické, že jsou spíše menších tělesných rozměrů. Dále využívají výborně degradované prostředí. Typické je pro ně i to, že by v normálních podmínkách neobstály v konkurenci jiných druhů (Flegr, 2009).

Příkladem může být vysoký úhyn rostlin na konci permu, který měl za následek hromadění rozkládajících se organických zbytků, na kterých s největší pravděpodobností žily organismy podobné houbám. Toto vysoké šíření hub bylo zpozorováno v suchozemských oblastech, ale i v mělkých mořských vodách (Steiner a kol., 2002).



Obr. č. 15 - Na tomto obrázku vidíme odkrytou vrstvu část horniny v jižní Africe v Carlton Heights. Ve svrchní části vidíme pískovec. Ve střední části je tenká vrstva jílu. Ve spodní, třetí části, vidíme vrstvu, která obsahuje zbytky hub. Stáří této horniny je datováno do období permského vymírání. Tenký bílý pruh na obrázku slouží jako měřítko 1 m (Steiner a kol., 2002).

Konkrétně v jižní Africe, v oblasti povodí jižní Karoo, byly odkryty vrstvy zeminy pocházející z konce permu, kde se dochoval fosilizovaný pyl pocházející

z jehličnatého lesa společně se zbytky hub. Odhaduje se, že výskyt těchto hub trval zhruba 40 000 let na konci permu.

Další hojné pozůstatků fosilizovaných hub byly nalezeny v mořských skalách v západních Alpách a jižní Izraeli. Zvýšený výskyt hub začal před mořským vymíráním na hranici permu a triasu. Pravděpodobně proběhlo rozsáhlé vymírání pozemní vegetace a ekosystémů, především vyhynutí několika čeledí jehličnanů na území Evropy. Následovala hojnost nejen hub, ale i mechorostů. Rozsah krize dokládá i fakt, že z období počátku triasu nemáme dostatek nalezišť uhlí (Erwin a kol., 2002). Henk Visscher se domnívá, že příčinou vymírání rostlin v permu zapříčinily dlouhodobé kyselé deště. Nejprve vymřely stromy a keře a poté následovaly nízké keře a byliny (Marusek, 2004). Ze semenných rostlin vyhynuly konkrétně medulosity, lyginopteridy a kordaity. Celkově však zaniklo na 50% rostlin (Benton, 2009).

Ze zástupců fauny na konci permu vymírají hlavně čtyřčetní a tabulární koráli a někteří ramenonožci, dále pak uniati, mechovky, goniatiti, poupěti, někteří obojživelníci, plazi a therapsidi a na konci permu mizí i poslední trilobiti (Habětín, Knobloch, 1981).

Došlo i k silnému poklesu mořské hladiny a tím k obnažení šelfů. Krize po hromadném vymírání nabyla globálního rozměru. Nastal útlum mořských ekosystémů a celkový pokles biogeografického rozrůznění (Pokorný a kol., 1992). Pokud jsou však změny v životním prostředí pomalé a trvají desítky až stovky tisíc let, tak se geneticky můžou organismy přizpůsobit novým podmínkám (Oppenheimer, 2011).

Jednou z charakteristik pro permské vymírání je dlouhá rekonvalescence, kdy se rozmanité ekosystémy neobjevily zhruba po dobu 5 miliónů let. Konkrétně společenstvo rostlin se plně zotavilo až v triasu, kdy hladina kyslíku byla opět v normě (Marusek, 2004).

## 6. Diskuze

Velmi zajímavou teorií o hromadných vymíráních by mohly být objevující se katastrofy v cyklech přibližně 62 milionů let. Je dobře známo, že rozmanitost života kolísala v průběhu celého fanerozoika (doba cca 542 milionů před naším letopočtem až do současnosti, tedy doba rozvinutého života na Zemi), což dokazují četné paleontologické nálezy.

Fyzik Richar Muller a jeho spolupracovník Robert Rohde analyzovali databázi „Přehled rodů fosilních mořských živočichů“, kterou vytvořil, dnes již zesnulý, Jack Sepkoski. V této databázi zkoumali časové výkyvy změn ve výskytu fosilních mořských živočichů z celé historie vývoje Země.

Bylo zanalyzováno na 36 380 rodů a výsledkem byl cyklus narůstání a klesání biodiverzity o délce 62 milionů let. Richard Muller jako příčinu tohoto kolísání vidí v Oortově mračnu, tedy v mraku komet, který obklopuje naší sluneční soustavu. Průchod mlhovinou, galaktickými rameny nebo nějakou jinou strukturou by mohl narušit komety, které by byly následně vráženy na Zemi. Bohužel pro tuto teorii chybí důkazy v podobě kráterů.

Robert Rohde se naopak přiklání k teorii opakujících se cyklů rozsáhlých sopečných erupcí nebo kolísání mořské hladiny, ale i zde chybí důkazy.

Jednotlivá geologická období, která jsou od sebe oddělena masovými vymíráními, trvala právě zhruba 60 milionů let. Jak například uvádí Raup, Zemi zasáhlo pět velkých hromadných vymírání, která do této periodicity zapadají.

Při zkoumání periodicity vymírání 62 milionů let autoři objevili ještě další cyklus biodiverzity, tentokrát opakujících se 140 milionů let, který by mohl souviset s vracejícími se doby ledovými. Pro tuto periodicitu jsou ale více skeptičtější, protože zkoumané období bylo 542 milionů let. Do geologického času by se tedy vešla jen čtyřikrát, takže je tento objev méně objektivní (Muller & Rohde, 2005).

## 7. Závěr

Pro vymírání na konci permu vzniklo mnoho teorií a pravděpodobných příčin. Mezi potvrzený a obecně přijímaný fakt patří masivní erupce v oblasti dnešní Sibíře. Samotný vulkanismus samozřejmě vymírání nevyvolal, ale jen k němu velkou mírou přispěl, protože erupcí se do ovzduší uvolnily jedovaté plyny, které přispěly ke skleníkovému efektu. Díky narušenému ozonu mohlo na Zemi proniknout i více ultrafialového záření, které samotné vymírání také nespustilo, ale spíše působilo jako stresující faktor. Erupcí se uvolňoval také jedovatý plyn fluorovodík, jehož jemné částice dopadaly na povrch země.

Dále bylo pro permskou katastrofu navrženo i mnoho jiných příčin, kdy některá jsou více či méně přijímána.

Jednou z nich je navýšení oxidu uhličitého. Zvýšená koncentrace tohoto plynu by v mořích způsobila pomalejší růst a vývoj některých organismů. I suchozemští organismy by byly pomalu tímto jedovatým plynem tráveni.

I anoxie je jednou z možných příčin. Na tuto možnost může ukazovat nízká hladina uranu v horninách z období permu nebo pyrit v břidlicových uloženinách, protože tento minerál vznikal v bezkyslíkatém prostředí. Anoxická místa však mohla vznikat i v mělkých vodách jako následek tání ledovců, protože při navýšení vody by dostatečně nedocházelo k cirkulacím v oceánech.

Na anoxii se mohlo vázat i navýšení sulfid vodíku u povrchových vod. Tento plyn se mohl dostat do také ovzduší. Závěrem je třeba říci, že jakékoliv změny v oceánech mají vliv i na změny bioty na zemi.

Další příčinou by mohl být dopad shluku komet nebo asteroidů na Zem. Energie z nárazů by vyvolala erupce a vzduchem by se opět šířily jedovaté plyny a v mořích by zavládla anoxie. Problém je s tím, že nebyly dostatečně navrhnuty místa dopadu pro mimozemský impakt. V severozápadní Austrálii a ve střední Brazílii je sice narušená struktura hornin, která by se časově shodovala s permským vymíráním, ale i přes to je tato teorie méně pravděpodobná. Dalším možným místem dopadu je Antarktida, kde by se pravděpodobně také mohl nacházet kráter, který je naneštěstí po 1,6 km tlustým ledem, takže i tato teorie se nemůže dost dobře ověřit.

Na vymírání se mohl podílet i únik jedovatého plynu metanu, který nejen v mořích, ale i na souši mohl vyvolat celý řetězec katastrof. Tato látka se mohla vyskytovat na



dně moří, kde se uvolnila nebo jí mohly vyprodukovat jednobuněčný organismus metanosarcína.

Vždy bylo ale postiženo klima, které je dlouhodobě důležité pro přežití a zachování druhů a možné katastrofické události na konci permu vždy jen přispěly ke změně klimatu.

Závěrem je k permské katastrofě třeba dodat, že jednoznačný spouštěč tak rozsáhlého vymírání, ještě nebyl zcela odhalen. Je však velmi pravděpodobné, že jen k jedné katastrofě nedošlo a rozsáhlý vulkanismus na Sibiři byl doprovázen ještě jinými jevy. Málo dějů v přírodě totiž probíhá jednostupňově s jasnou příčinou a důsledkem. Proto je třeba počítat o kombinaci mnoha příčin.

Událost na konci permu bude jistě ještě v několika dalších letech předmětem intenzivního studia, protože čím více vzdálenou minulost a děje na naší Zemi zkoumáme, tím více jsou nejasné.

V předchozích kapitolách jsme se přesvědčili, že fosilní nálezy jsou tedy přímým důkazem vymírání druhů. Bude člověk výjimkou a bude v budoucnu uštědřen katastrofě? Na tuto odpověď můžeme jen těžko hledat uspokojivou odpověď. Obavy z vymírání pramení hlavně z toho, že lidé jsou dnes přesvědčení, že každý druh na naší planetě je důležitý a nesmí vyhynout. Ohlédneme-li se však do bohaté historie planety Země, zjistíme, že to není tak jistě pravda. Ze všech druhů, které kdy na Zemi existovaly, jich až na 99% zaniklo.

Naše obavy z budoucnosti podporují i média, která ráda vydávají šokující zprávy o změnách v našem životním prostředí. Naneštěstí jsou mnohdy tyto zprávy jen polovičaté, což si kolikrát běžný čtenář neuvědomí a tyto zprávy v nás zanechávají obavy z budoucnosti.

Avšak ať je naše mínění o změnách na naší planetě jakékoliv, velkého vymírání se v nejbližší době bát nemusíme a alespoň pro dnešek platí, že žijeme ve stabilním světě.

## **8. Seznam použité literatury a jiných zdrojů**

### **8.1 Seznam literatury**

ALVAREZ, W. a kol.: Impact Theory of Mass Extinctions and the Invertebrate Fossil Record, Science, 1984

BEERLING, D. J. a kol.: The Stability of the Stratospheric Ozone Layer During the End-Permian Eruption of the Siberian Traps, Science, 2007

BENTON, M. J.: Prehistoric, Dorling Kindersley Book, 2009

BOHÁČEK, I.: Vymírání a výlevy čedičů na rozhraní permu a triasu, Vesmír, 1996/1

BRENNECKA, G. A. a kol.: Rapid Expansion of Oceanic Anoxia Immediately before the End-Permian Mass Extinction, University of Southern Denmark, 2011

ELLIS, J., SCHRAMM, D. N.: Could a Nearby Supernova Explosion Have Caused a Mass Extinction?, Proc. Natl. Acad. Sci., 1995

ERWIN D. H.: End-Permian Mass Extinctions, Geological Society of America, 2002

FLEGR, J.: Evoluční biologie, Academia, 2009

HABĚTÍN, V., KNOBLOCH, E.: Kapesní atlas zkamenělin, Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1981

HALLAM, A.: The Case for Sea-Level Change as a Dominant Causal Factor in Mass Extinction of Marine-Invertebrates, Philos. Trans. R. Soc. London, 1989

CHLUPÁČ, I. a kol.: Geologická minulost České republiky, Academia, 2002

ISOZAKI, Y.: Permo-Triassic Boundary Superanoxia and Stratified Superocean: Records From Lost Deepsea, Science, 1997

KIEHL, J. T., SHIELDS, CH. A.: Climate simulation of Latest Permian: Implications for Mass Extinction, National Center for Atmospheric Research, 2005

KNOLL, A. H. a kol.: Paleophysiology and end-Permian mass extinction (Earth and Planetary Science Letters, 295-313), ScienceDirect, 2007

KOŠŤÁK M.: Dávný svět zkamenělin, Granit, 2004

KRHOVSKÝ, J.: Hromadné vymírání bořící a tvořící, Vesmír, 1994/8

LOPER, D. E., MCCARTNEY, K., BUZYNA, G.: A Model of Correlated Episodicity in Magnetic-Field Reversals, Climate, and Mass Extinctions, J. Geol., 1988

MATYSOVÁ, P.: Psaronie, královny permokarbonu, Vesmír, 2009/6

MARUSEK, J. A.: The Great Permian Extinction Debate, Luna and Planetary Science XXXV, 2004

MULLER, R. A., ROHDE R. A.: Cycles in Fossil Diversity: Nature, 2005

OPPENHEIMER, C.: Eruptions that Shook the World, University of Cambridge, 2011

POKORNÝ, V. a kol.: Všeobecná paleontologie, Univerzita Karlova, 1992

RAJMON, D.: Impact Database, <http://impacts.rajmon.cz/>, 2010

RAMPINO, M. R.: Late Permian Extinctions, Science, 1996

RAUP, D. M.: Magnetic Reversals and Mass Extinctions, Nature, 1985

RAUP, D. M.: Biological Extinction in Earth History, Science, 1986

RAUP, D. M.: O zániku druhů, Lidové noviny, 1995

RENNE P. R. a kol.: Synchrony and Causal Relations Between Permian-Triassic Boundary Crises and Siberian Flood Volcanism, University of Rochester, 1995

ROTHMAN, D. H. a kol.: Methanogenic Burst in the End-Permian Carbon Cycle, Woods Hole Oceanographic Institution, 2004

RYSKIN, G.: Methane-driven Oceanic Eruptions and Mass Extinctions, Department of Chemical Engineering, 2003

SOUKUPOVÁ, J.: Metody paleoklimatologie a historické klimatologie a vývoj klimatu na Zemi, Poweprint, 2013

STEINER, M. B. a kol.: Fungal abundance spike and the Permian-Triassic boundary in the Karoo Supergroup (South Africa), 2002

TRNKA, M., HOUZAR, S.: Moldavites: a review Czech Geological Survey, 2002

VOLDŘICHOVÁ M., MIHULKA S.: Masová vymírání v historii Země, Vesmír 2011/10

VON FREESE, R.: Big Bang in Antarctica: Killer Crater Found Under Ice, Ohio State University, 2006

WIGNALL, P. B., TWITCHETT, R. J.: Oceanic Anoxia and the End Permian Mass Extinction, Science Magazine, 1996

## 8.2 Seznam obrázků

Obrázek 9 - Pravděpodobná rekonstrukce životního prostředí v permu ([http://science.nationalgeographic.com/science/photos/permian-period/#!/dimetrodon\\_921\\_600x450.jpg](http://science.nationalgeographic.com/science/photos/permian-period/#!/dimetrodon_921_600x450.jpg), staženo 5. 4. 2015)

Obr. č. 2 - Graf Velké pětky

([http://cs.wikipedia.org/wiki/Hromadn%C3%A1\\_vym%C3%ADr%C3%A1n%C3%AD#/media/File:Extinction\\_intensity.svg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hromadn%C3%A1_vym%C3%ADr%C3%A1n%C3%AD#/media/File:Extinction_intensity.svg), staženo 1. 4. 2015)

Obr. č. 3 - Předpokládaná paleografická situace ve vyšším permu (Chlupáč, I. a kolektiv: Geologická minulost České republiky, Academia, 2002)

Obr. č. 4 - Plavuň dnes (<http://botany.cz/cs/lycopodium-annotinum/>, staženo 26. 2. 2014).

Obr. č. 5 - Glossopteris (Košťák M.: Dávný svět zkamenělin, Granit, 2004)

Obr. č. 6- Cordaites (list) (Košťák M.: Dávný svět zkamenělin, Granit, 2004)

Obr. č. 7 - Calamostachys (Košťák M.: Dávný svět zkamenělin, Granit, 2004)

Obr. č. 8 - Řez psaronií (Nová Paka) (<http://botany.cz/cs/psaronius/>, staženo 3. 12. 2014)

Obr. č. 9 - Rekonstrukce kostry krytolebce *Discosauriscus pulcherrimus* (Habětín, V., Knobloch, E.: Kapesní atlas zkamenělin, Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1981)

Obr. č. 10 - Therapsid z rodu *Syodon* (Košťák, M.: Dávný svět zkamenělin, Granit, 2004)

Obr. č. 11 - *Paramblypterus rohani* (Habětín, V., Knobloch, E.: Kapesní atlas zkamenělin, Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1981)

Obr. č. 12 - Možné místo dopadu (Von Freese, R.: Big Bang in Antarctica: Killer Crater Found Under Ice, Ohio State University, 2006

Obr. č. 13 - Možné místo dopadu – detail (Von Freese, R.: Big Bang in Antarctica: Killer Crater Found Under Ice, Ohio State University, 2006

Obr. č. 14 - Skalní výchoz (Rothman, D. H. a kol.: Methanogenic Burst in the End-Permian Carbon Cycle, Woods Hole Oceanographic Institution, 2004

Obr. č. 15 - Vrstva horniny se zbytkem hub (Steiner, M. B. a kol.: Fungal abundance spike and the Permian-Triassic boundary in the Karoo Supergroup (South Africa), 2002

### **8.3 Další zdroje**

FILLIPPENKO A.: Nejhorší dny planety Země, dokument USA, 2007

Příloha č. 1 – Stratigrafická tabulka (Ivanov, M. a kol.: Encyklopedie zkamenělin, Rebo Productions, 2001)

## 9. Přílohy

fanerozoikum	kenozoikum	kvartér	1,75	holocén	
				pleistocén	
		terciér	neogén	23,5	pliocén
					miocén
			paleogén	65	oligocén
					eocén
				paleocén	
	mezozoikum	křída	135	svrchní	
				spodní	
		jura	203	svrchní	
				střední	
					spodní
		trias	250	svrchní	
	střední				
				spodní	
	paleozoikum	mladší	perm	295	svrchní
					spodní
		karbon	355	svrchní	
				spodní	
		starší	devon	410	svrchní
střední					
					spodní
silur			435	svrchní	
				spodní	
ordovik			500	svrchní	
	střední				
			spodní		
kambrium	540	svrchní			
		střední			
			spodní		
prekambrium	proterozoikum	prekambrium - období od vzniku zemské kůry do nástupu kambria fanerozoikum - období, jehož sedimenty obsahují hojné zbytky organismů proterozoikum - starohory paleozoikum - prvohory mezozoikum - druhohory kenozoikum - třetihory (terciér) + čtvrtohory (kvartér) <i>čísla udávají miliony let</i>			

Příloha č. 1 – Stratigrafická tabulka (Ivanov, M. a kol., 2001)