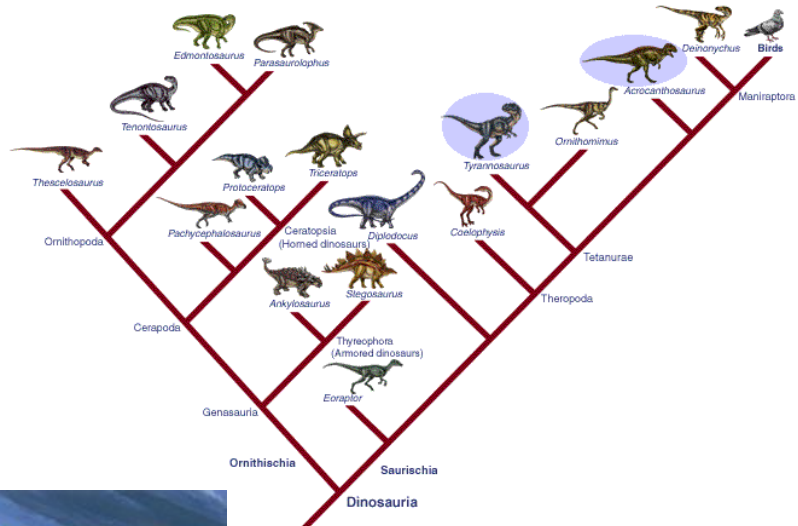


# HISTORIE ŽIVOTA NA ZEMI



Asteroid Impact

David A. Hardy



# Systematika a taxonomie

systematika, paleontologie → historie evolučních změn

**systematika** = studium vztahů mezi organismy

**taxonomie** = teorie a praxe klasifikace

**kategorie:** třída, řád, čeleď, druh, ...

**taxon:** Mammalia, Primates, Hominidae, *Homo sapiens*, ...

# 1. Předlinnéovská

včela medonosná = *Apis pubescens, thorace subgriseo, abdomine fusco, pedibus posticis glabris utrinque margine ciliatis*

[ochlupená včela, s tmavě šedou hrudí, tmavohnědým zadečkem a holýma, po obou stranách obrvenýma zadníma nohama]

*Acaciae quodammodo accedens, Myrobalano chebulo Veslingii similis arbor Americana spinosa, foliis ceratoniae in pediculo geminatis, siliqua bivalvi compressa corniculata seu cochlearum vel arietinorum cornuum in modum incurvata, sive Unguis cati*

[americký trnitý strom poněkud připomínající akát, podobný Veslingovu vrcholáku *Myrobalanus chebulae*, s párovými listy rohovníku *Ceratonia* na řapíku, stlačenou šešulí o dvou chlopních, zahnutou jako tykadla hlemýždě nebo rohy berana nebo jako kočičí drápy]

zubr = buffle, urus, bubalus, catoblepas,  
theur, the bubalus of Belon, Scottish bison  
... Aristoteles: bonasus → totéž?



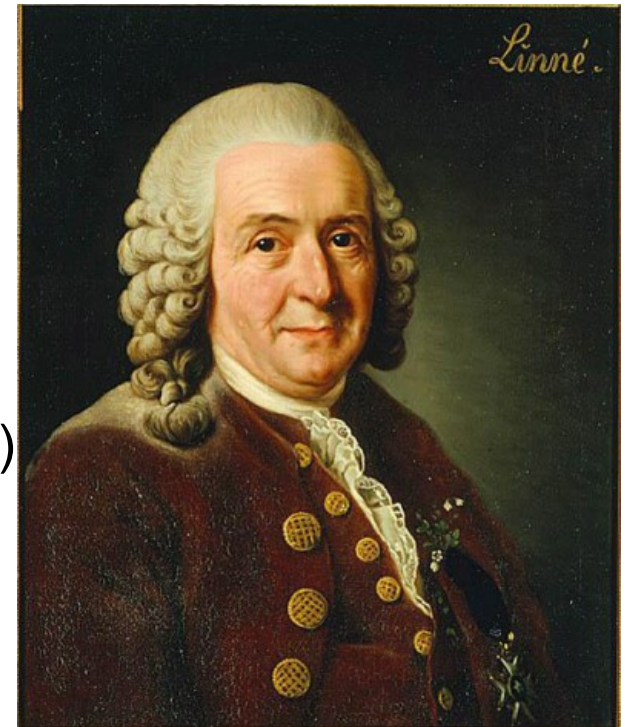
## 2. Karl Linné:

1735 *Systema Naturae*

binomická nomenklatura: rod + druh

hierarchická klasifikace:

říše, třída, řád, rod, druh, (varieta/poddruh)



Carolus Linnaeus



### 3. Darwin:

kladogeneze (větvení) a anageneze (změna znaků)

system by měl odrážet reálnou fylogenezi → otázka Jak?

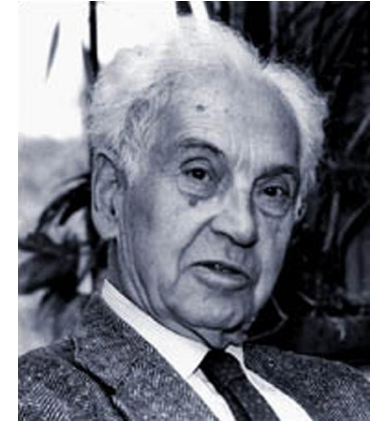
### Evoluční systematika

před 1950: společný předek + adaptivní divergence

diskuse, zda vhodnější adaptivní, nebo neadaptivní znaky

subjektivní a nejasná kritéria výběru a vážení znaků ⇒ krize taxonomie  
(⇒ samotné slovo taxonomie nahrazeno pojmem „systematika“)

kontroverze mezi „rozdělovači“ (*splitters*) a „slučovači“ (*lumpers*)



E. Mayr

# Numerická taxonomie (fenetika)

1957: Charles Michener, Robert Sokal, P.H.A. Sneath



*Hoplitis*

taxonomie by neměla být založena na malém počtu „důležitých“ znaků,  
ale na celkové podobnosti

⇒ co největší počet znaků, zpracování počítačem

numerické metody: morfologické a genetické distance, ordinační (PCA,  
DFA, CVA, MDS, ...), shluková analýza (UPGMA)

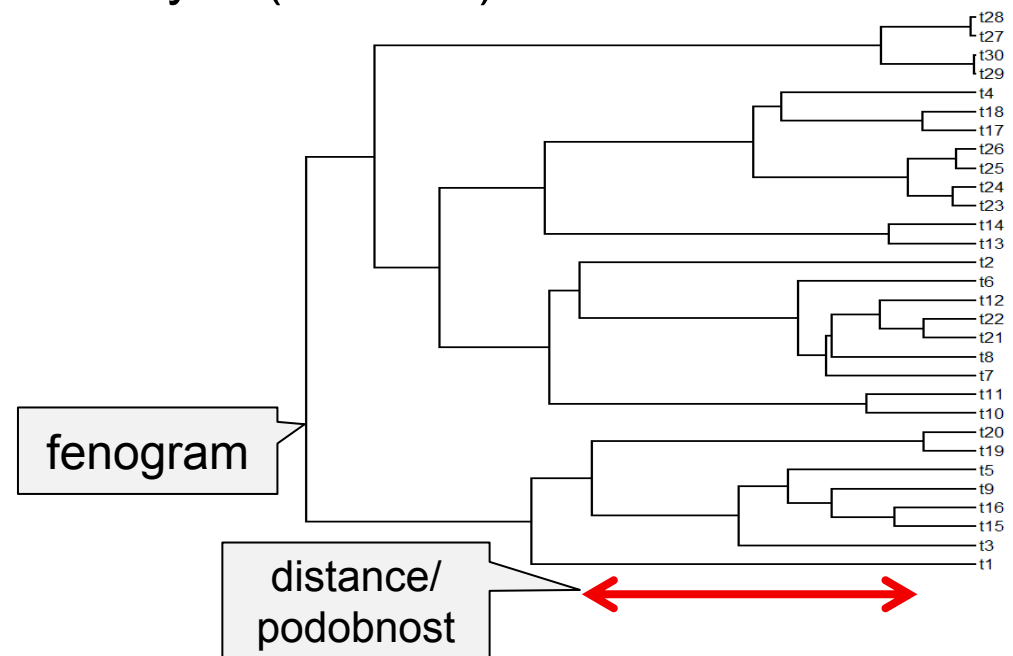
fenogramy

problémy:

**homoplazie** (= konvergence,  
paralelismus, reverze)

sdílené primitivní znaky

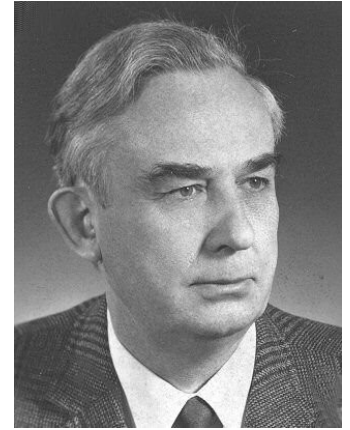
nestejná rychlost evoluce



# Fylogenetická systematika (kladistika)

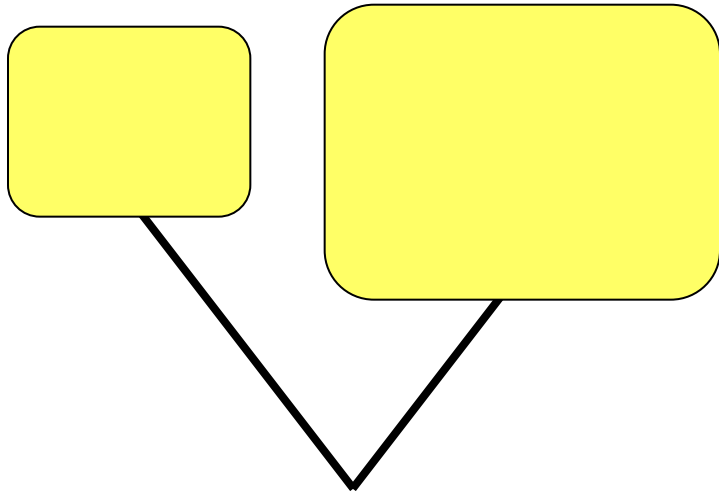
1950, 1966: **Willi Hennig**: *Phylogenetic Systematics*  
pouze reflexe genealogie, nikoli adaptivní divergence  
striktní monofylie

monofyletická skupina = **klad** (*clade*)

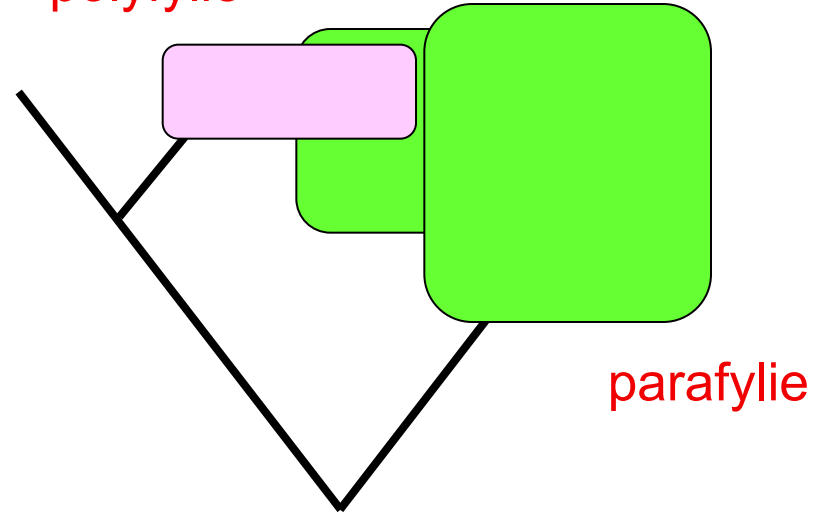


W. Hennig

monofylie



polyfylie



parafylie

Synapsida

savci

Parareptilia

želvy

Plesiosaoria

Ichthyosauria

haterie

leguáni

agamy

chameleoni

hadi

Mosasauria

varani

krokodýli

Pterosauria

Ornithischia

Sauropoda

ostatní teropodi

ptáci

Sphenodontida

Squamata

Lepidosauria

Archosauria

Dinosauria

Saurischia

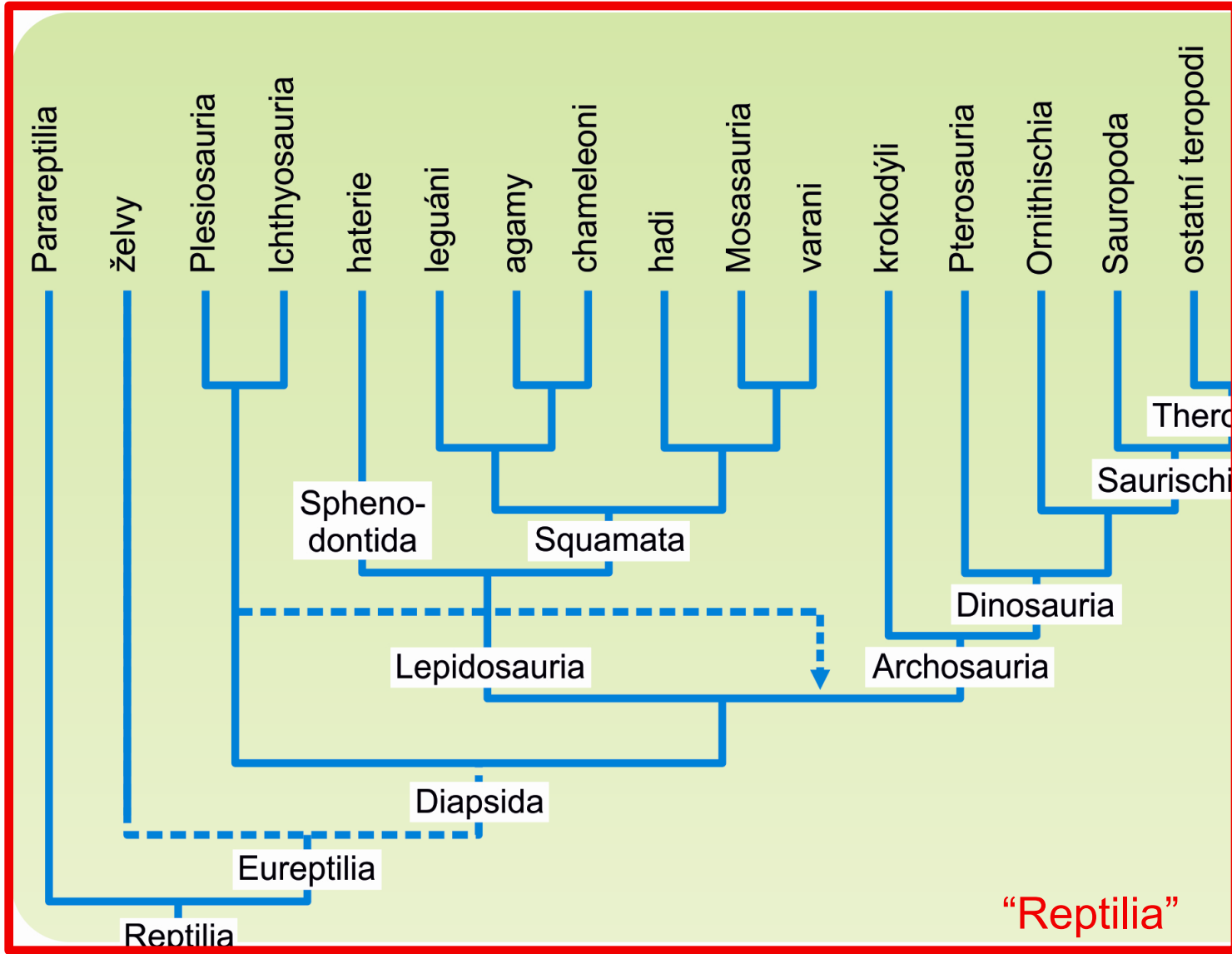
Theropoda

Diapsida

Eureptilia

Reptilia

“Reptilia”





# “Pongidae”



Orangutan  
48 chromosomes  
(24 pairs)



Gorilla  
48 chromosomes  
(24 pairs)



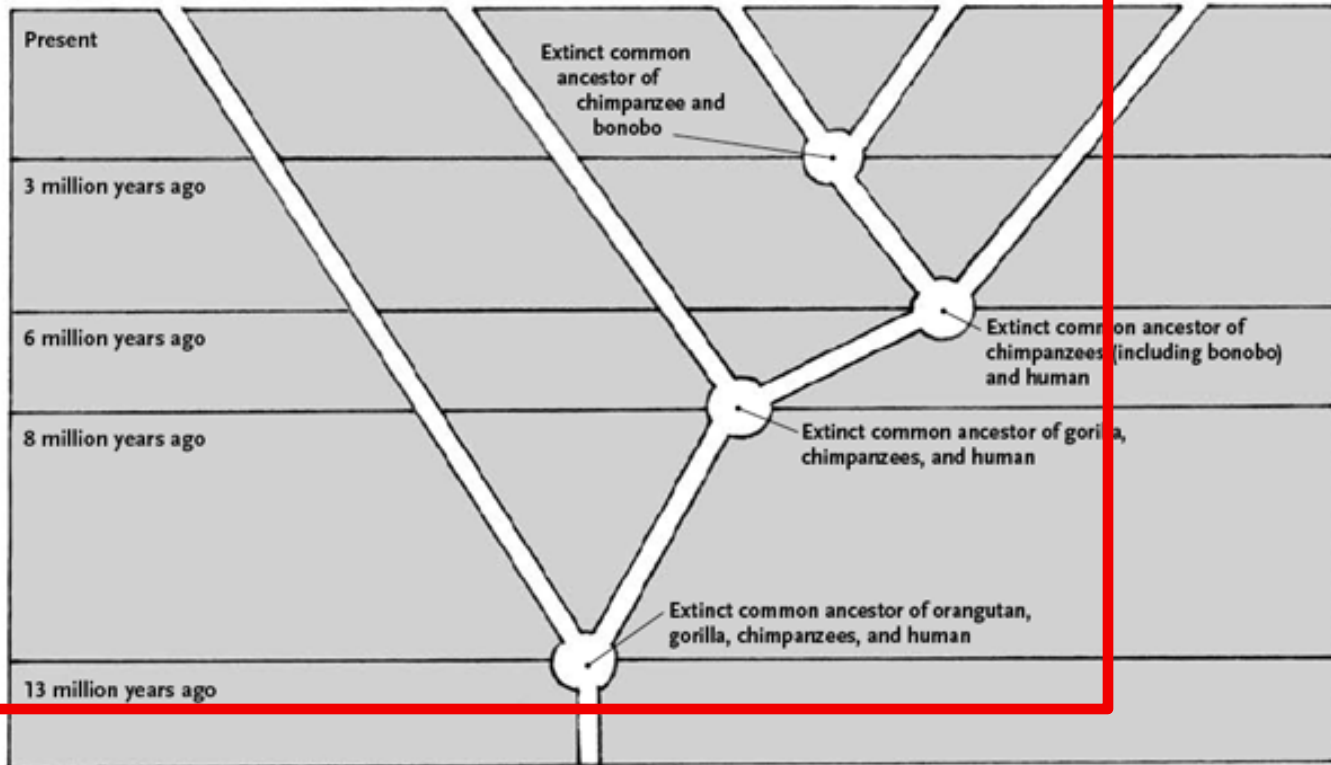
Chimpanzee  
48 chromosomes  
(24 pairs)



Bonobo  
48 chromosomes  
(24 pairs)



Human  
46 chromosomes  
(23 pairs)



znaky:

**pleziomorfní** (= původní, „primitivní“)

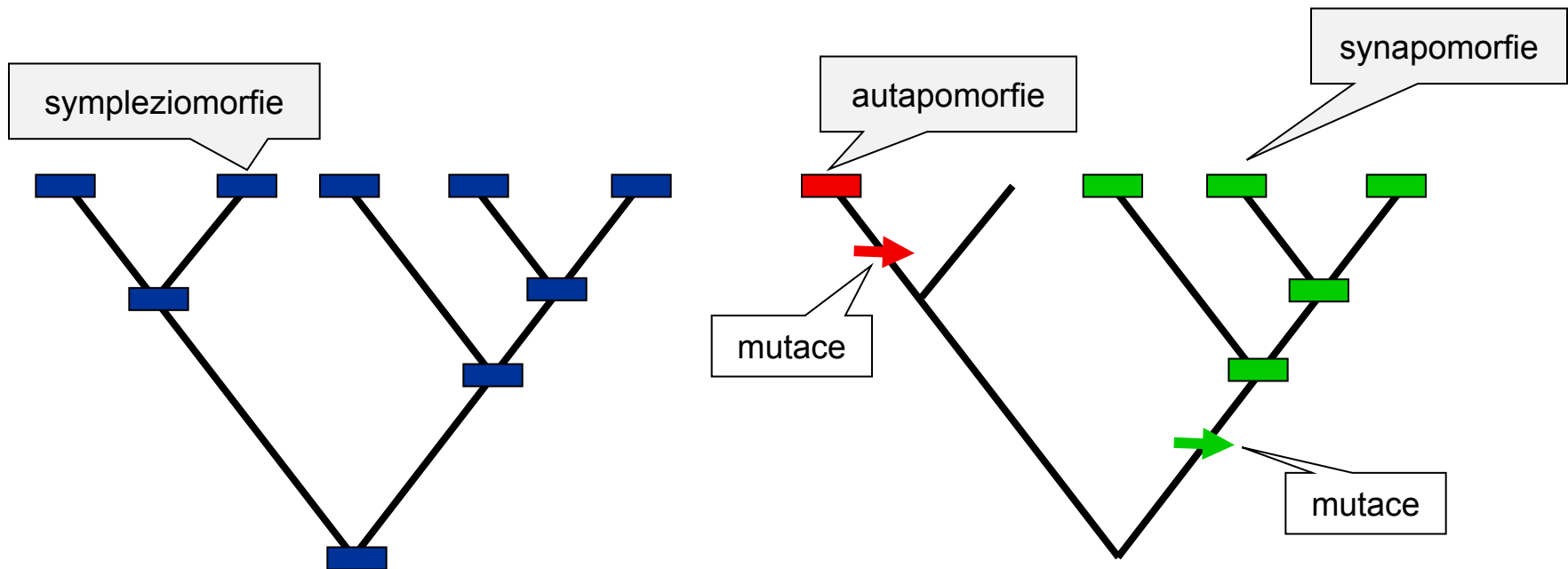
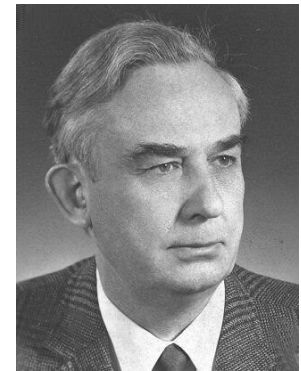
sympleziomorfní (= sdílené původní)

**apomorfní** (= odvozené)

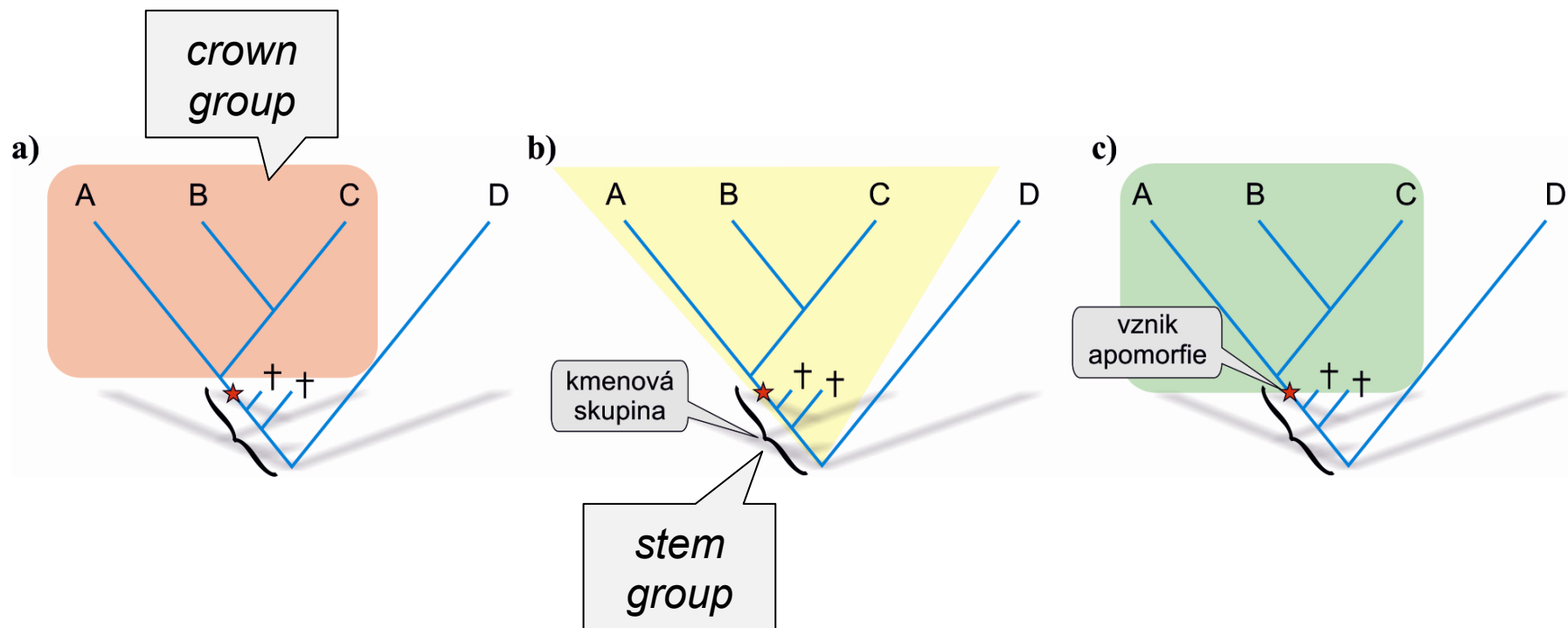
synapomorfní (= sdílené odvozené)

autapomorfní (= specifické odvozené)

klady definovány pouze na základě synapomorfii



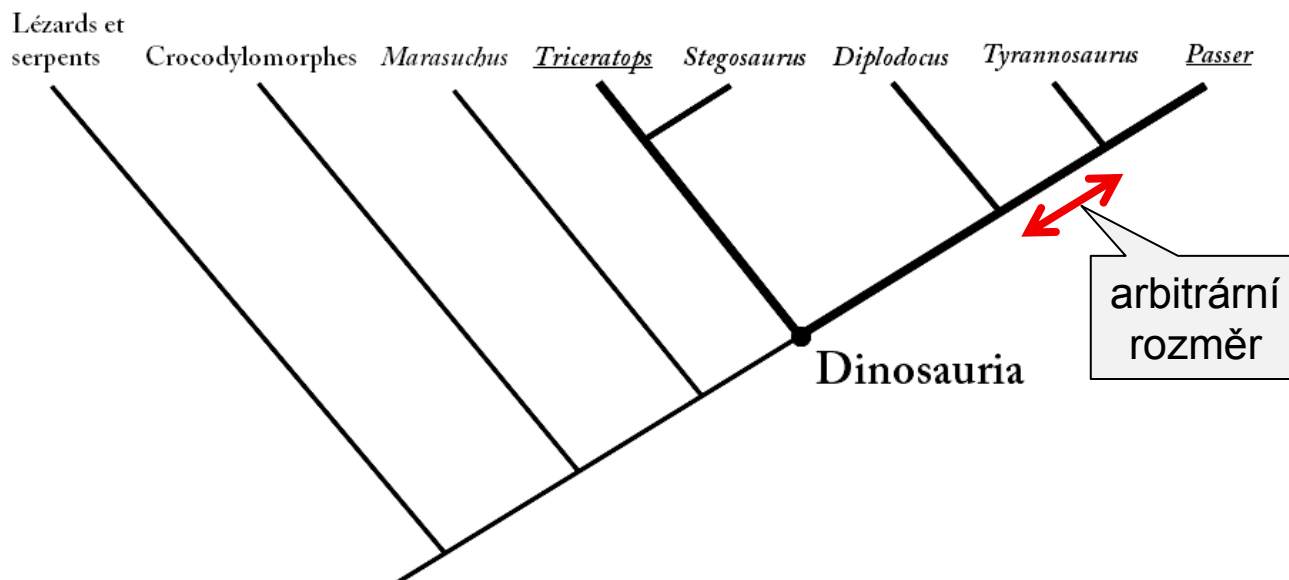
# Definice kladů a klasifikace vymřelých taxonů:



princip parsimonie: Occamova břitva  
(William of Ockham, 14. stol.)



kladogramy

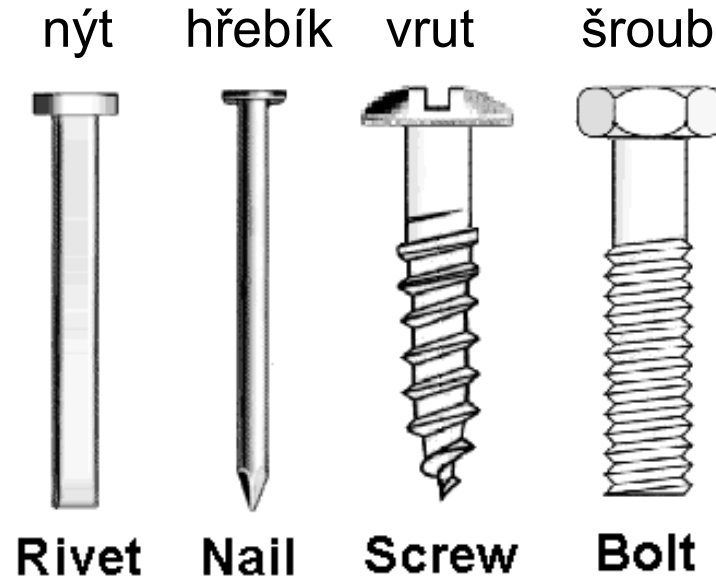


PhyloCode (*International Code of Phylogenetic Nomenclature*)  
dosud poněkud kontroverzní a málo praktický

problémy: homoplazie, rychlá evoluce



# Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů



Nýt má nejjednodušší strukturu a proto předpokládáme, že je nejbliž tvaru společného předka současných spojovacích materiálů

Mezi ostatními typy můžeme definovat 7 odvozených stavů (tj. neexistujících u nýtu):

- 1) hlavička se zářezem,
- 2) zakulacená hlavička,
- 3) šestihranná hlavička,
- 4) dřík se závitem,
- 5) zužující se dřík,
- 6) ostrý hrot,
- 7) silný průměr

# Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů

Stavy znaků všech 4 typů jsou srovnány v tabulce, kde

„0“ = plesiomorfni („nýtovitý“) stav

„1“ = apomorfni (odvozený) stav

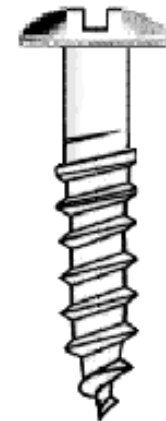
Character	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Head notch	0	0	1	0
Rounded head	0	0	1	0
Hex head	0	0	0	1
Threaded shaft	0	0	1	1
Tapered shaft	0	0	1	0
Pointed tip	0	1	1	0
Thick diameter	0	0	1	1



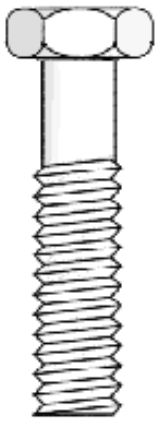
Rivet



Nail



Screw



Bolt

# Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů

Character	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Head notch			1	0
Rounded head			1	0
Hex head			0	1
Threaded shaft			1	1
Tapered shaft			1	0
Pointed tip			1	0
Thick diameter			1	1

Phenetic Comparison (Total of all shared states)				
	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Rivet	-	6	1	4
Nail		-	2	3
Screw			-	2
Bolt				-

Jestliže ke klasifikaci typů spojovacích materiálů použijeme **fenetický** přístup, srovnáváme je navzájem počítáním celkového počtu sdílených stavů (jak původních, tak odvozených).

Např. nýt vs. hřebík: 6 podobností, 1 rozdíl

# Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů

Character	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Head notch	0	0	1	0
Rounded head	0	0	1	0
Hex head	0	0	0	1
Threaded shaft	0	0	0	0
Tapered shaft	0	0	1	0
Pointed tip	0	0	0	0
Thick diameter	0	0	0	0

Cladistic Comparison (Total of derived states only)				
	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Rivet	-	0	0	0
Nail		-	1	0
Screw			-	2
Bolt				-

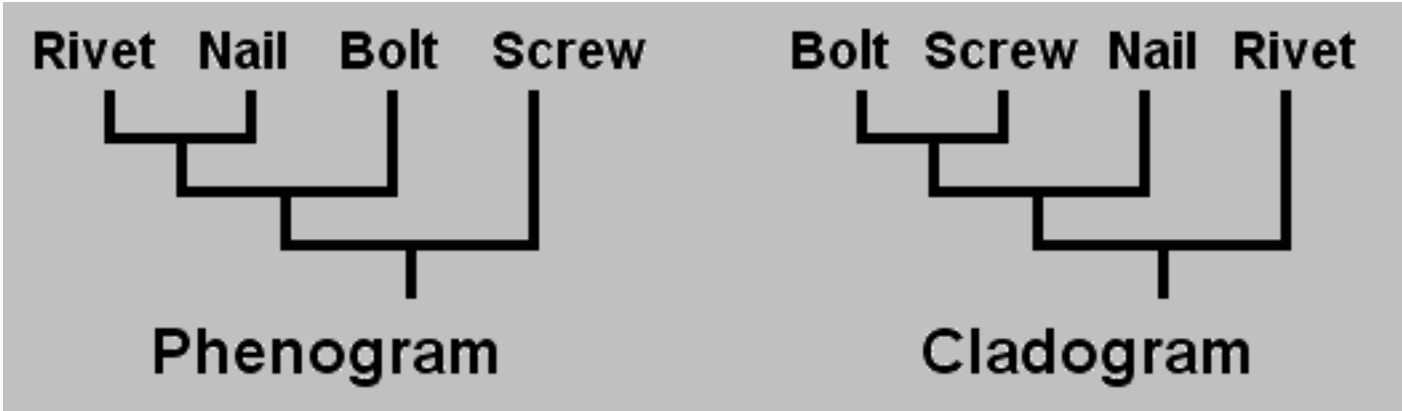
Jestliže ke klasifikaci typů spojovacích materiálů použijeme **kladistický** přístup, srovnání je založeno pouze na počtu odvozených stavů.

Např. šroub vs. vrut: 2 **synapomorfie**



# Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů

Phenetic Comparison (Total of all shared states)					Cladistic Comparison (Total of derived states only)				
	Rivet	Nail	Screw	Bolt		Rivet	Nail	Screw	Bolt
Rivet	-	6	1	4	Rivet	-	0	0	0
Nail		-	2	3	Nail		-	1	0
Screw			-	2	Screw			-	2
Bolt				-	Bolt				-



# Evoluční systematika - reakce

fylogenetické vztahy + rozsah divergence  $\Rightarrow$  kombinace fenetického a kladistického přístupu

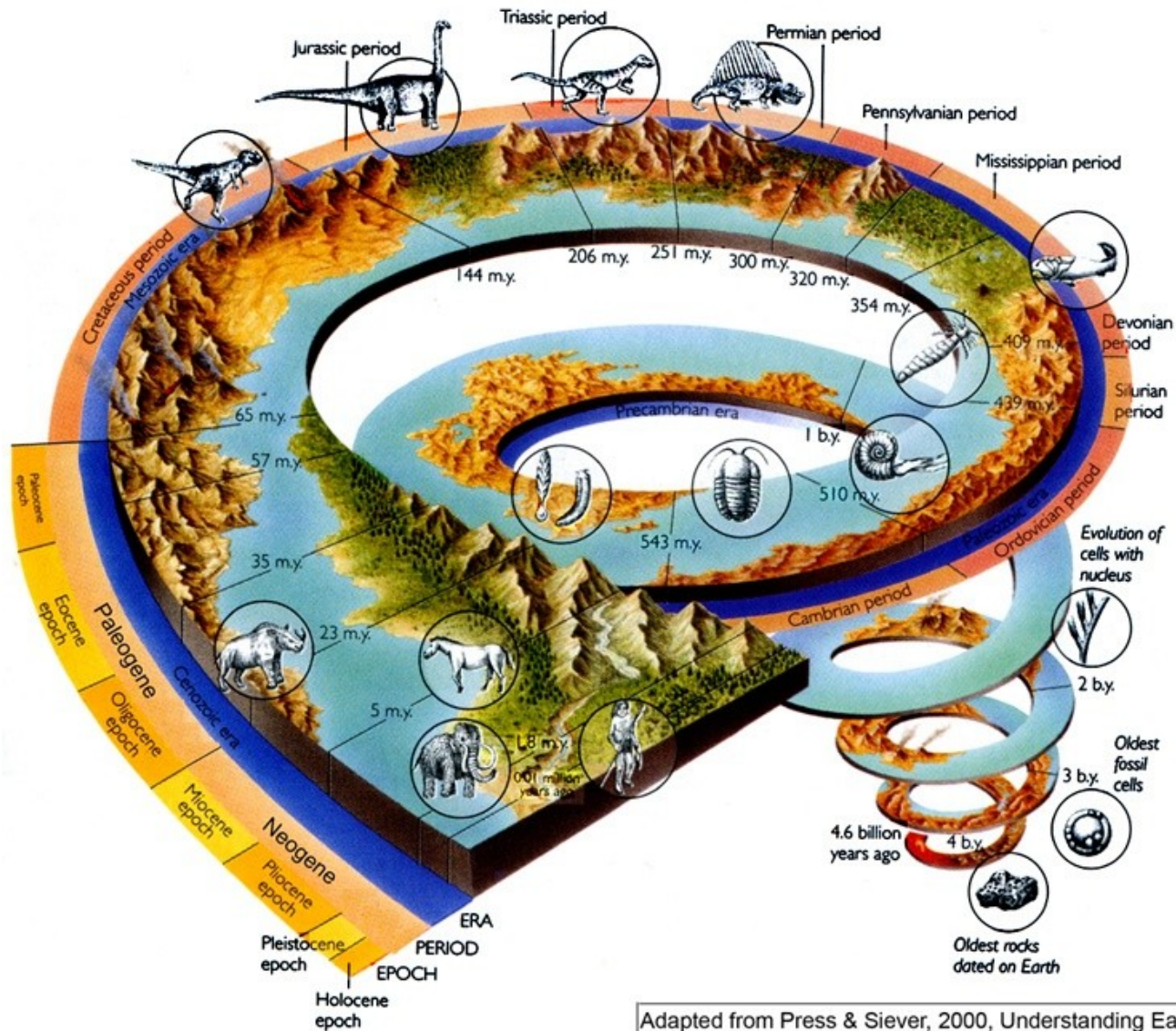
reflexe kladů i gradů

grad = skupina druhů, ze které vznikla jiná skupina, jejíž rozrůznění od ancestrální dosáhlo vysokého stupně (plazi, ještěři, ryby v tradičním pojetí)

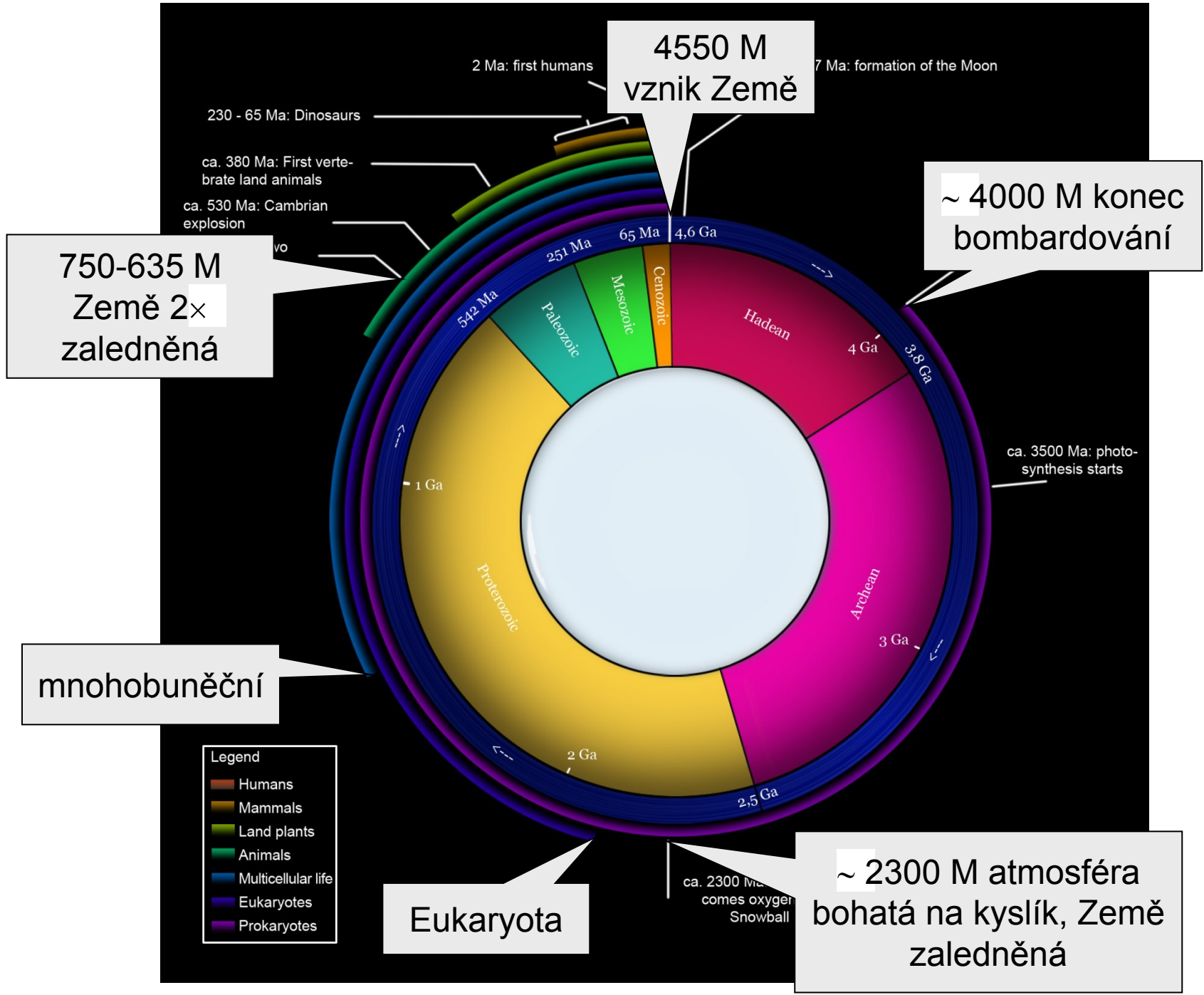


E. Mayr

# HISTORIE ŽIVOTA NA ZEMI



Adapted from Press & Siever, 2000, Understanding Earth



4550 M  
vznik Země

~ 4000 M konec bombardování

750-635 M  
Země 2x zaledněná

mnohobuněční

Eukaryota

~ 2300 M atmosféra bohatá na kyslík, Země zaledněná

- Legend
- Humans
  - Mammals
  - Land plants
  - Animals
  - Multicellular life
  - Eukaryotes
  - Prokaryotes

230 - 65 Ma: Dinosaurs  
ca. 380 Ma: First vertebrate land animals  
ca. 530 Ma: Cambrian explosion

2 Ma: first humans

4.7 Ma: formation of the Moon

4,6 Ga  
4 Ga  
3,8 Ga  
3 Ga  
2,5 Ga  
2 Ga  
1 Ga  
542 Ma  
251 Ma  
65 Ma

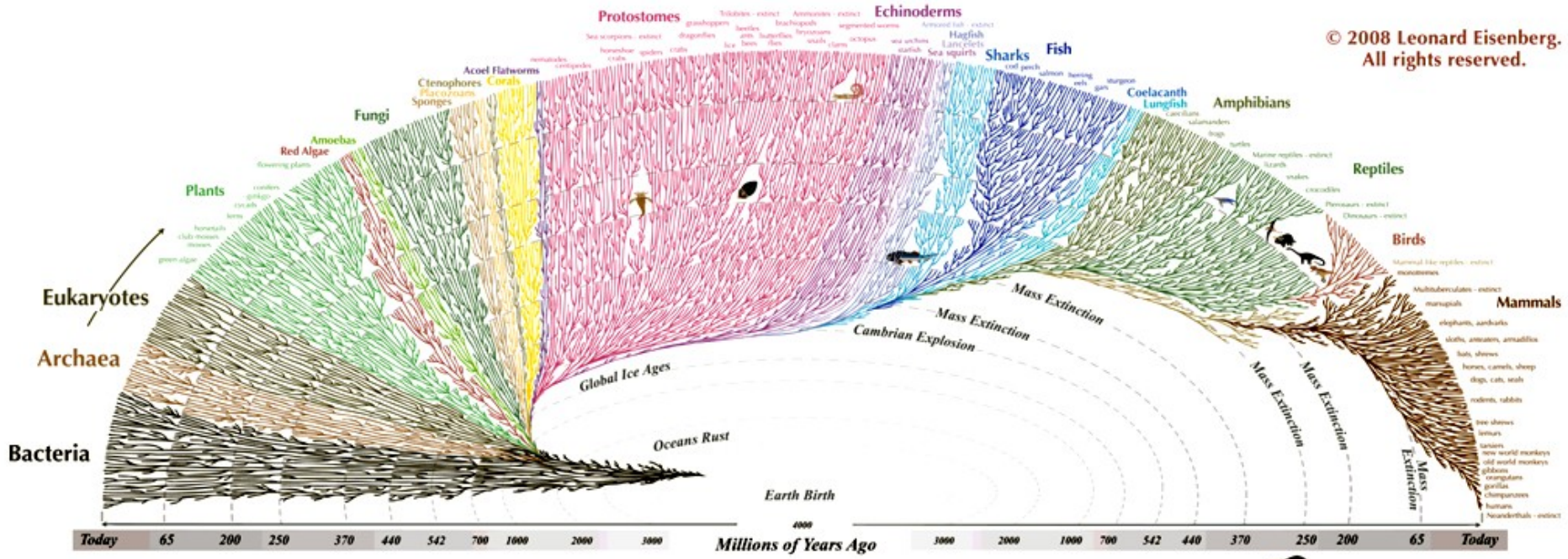
Hadean  
Archean  
Proterozoic  
Paleozoic  
Mesozoic  
Cenozoic


ca. 3500 Ma: photosynthesis starts

ca. 2300 Ma comes oxygen Snowball



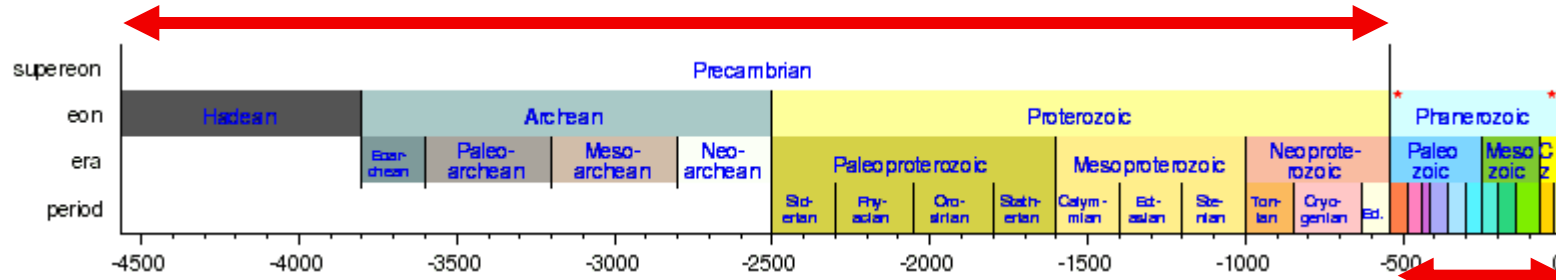
© 2008 Leonard Eisenberg.  
All rights reserved.



All the major and many of the minor living branches of life are shown on this diagram, but only a few of those that have gone extinct are shown. Example: Dinosaurs - extinct 

© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved.  
evgenia.com

# Prekambrium



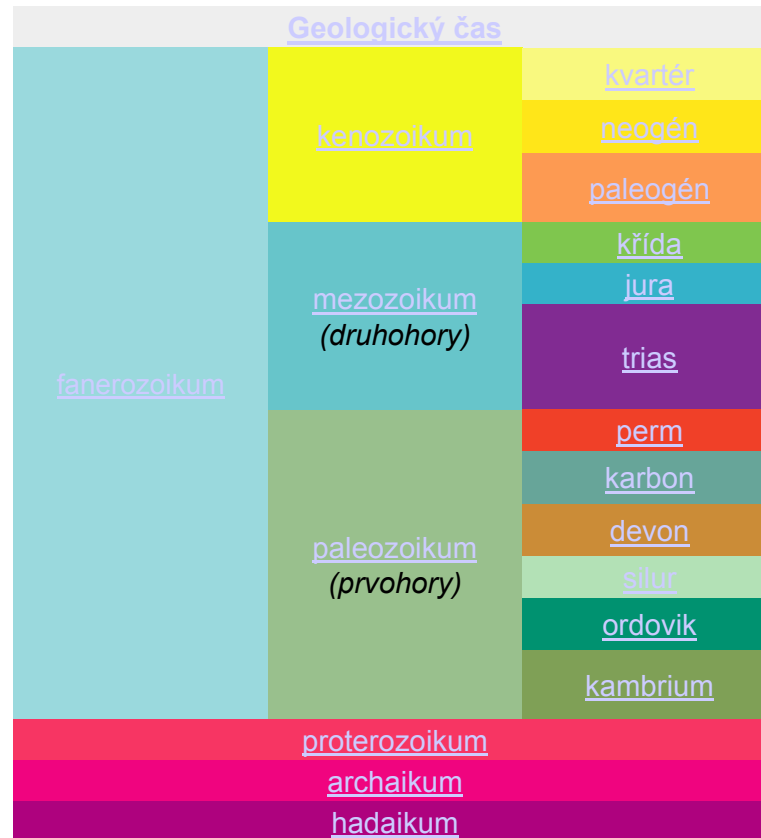
eon

Hadaikum  
(Hadean)

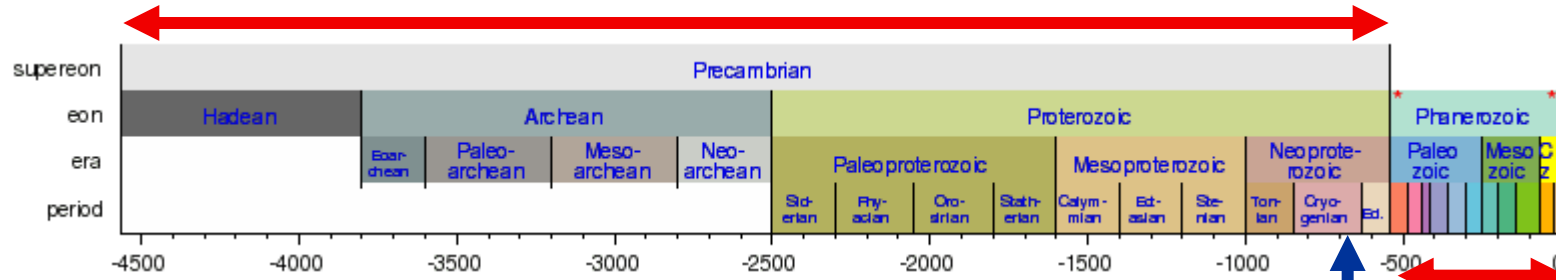
Archaikum  
(Archean)

Proterozoikum  
(Proterozoic)

Fanerozoikum



# Prekambrium



eon Hadaikum (Hadean) Archaikum (Archean) Proterozoikum (Proterozoic) Fanerozoikum

Ediakarská fauna (Vendian) ~635-542 M

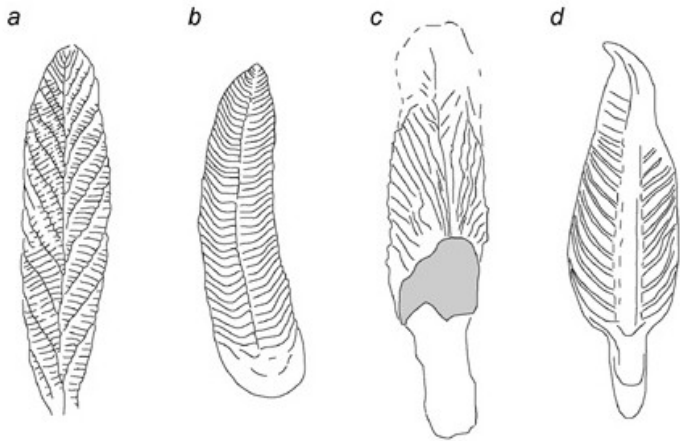


Charnwood, Leicestershire ~ 560 M

Mistaken Point, Newfoundland ~ 565 M







*Charnia*

*Charnia*

*Spriggina*

*Stromatoveris*

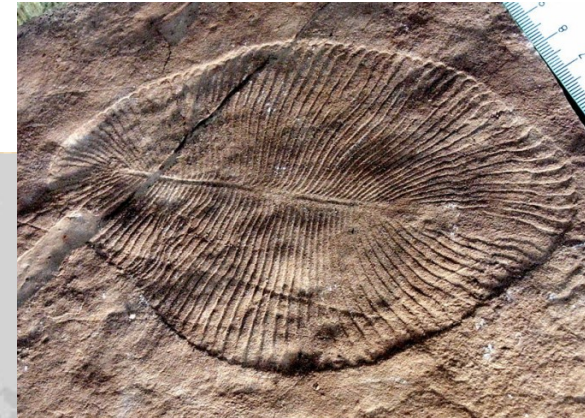
*Thaumaptilon*



Ediacara Hills,  
Australie



*Spriggina*

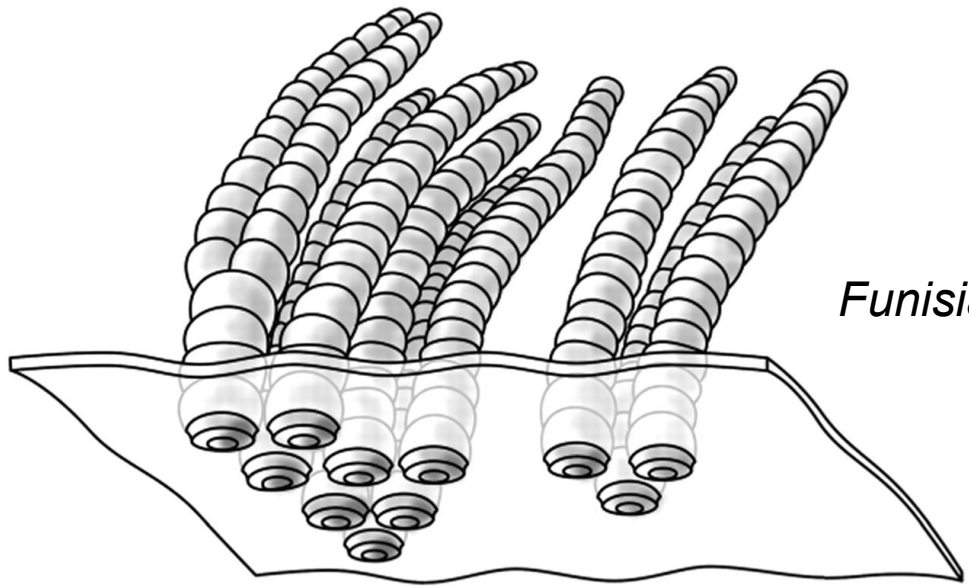


*Dickinsonia*  
~ 580 M



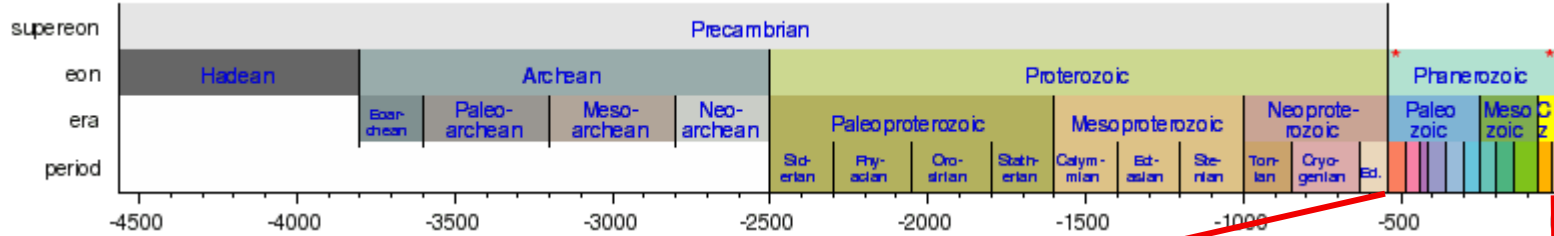


*Spriggina*



*Funisia*: sex?

# Fanerozoikum

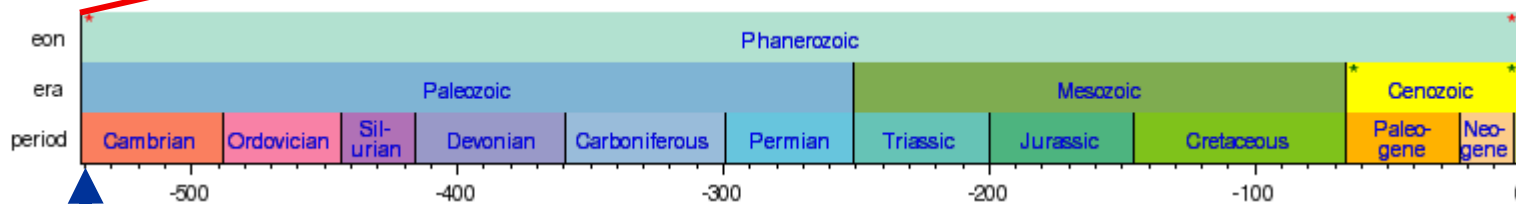


éra

Paleozoikum

Mesozoikum

Kenozoikum



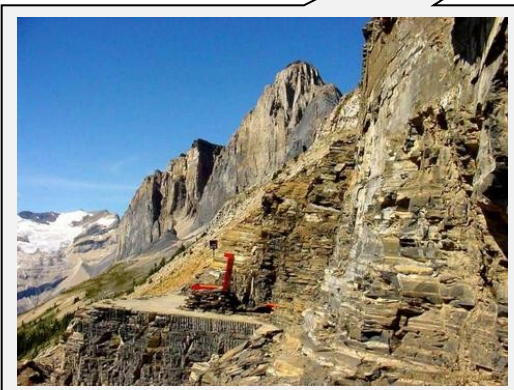
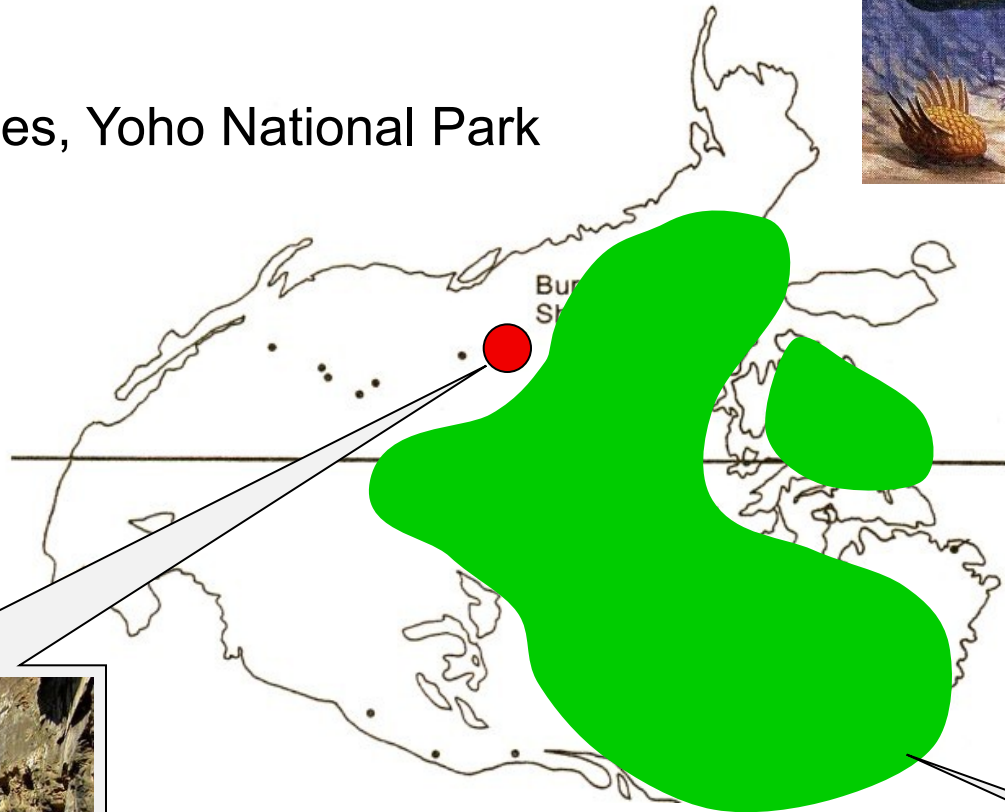
kambrická exploze  
~ 542-520 M

# Kambrická exploze

## Burgessova břidlice (*Burgess Shale*)

~ 542-520 M

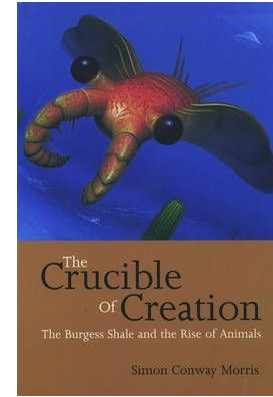
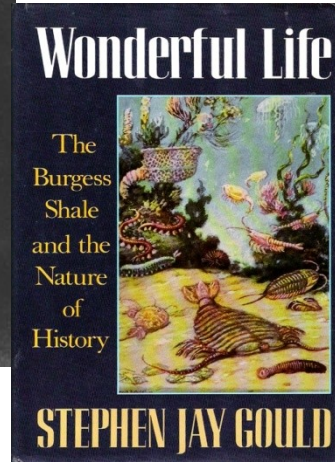
Canadian Rockies, Yoho National Park



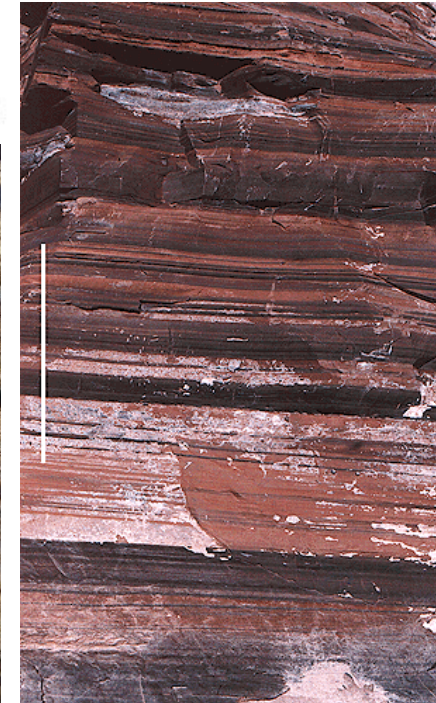
kontinent



# Charles Doolittle Walcott (1909)

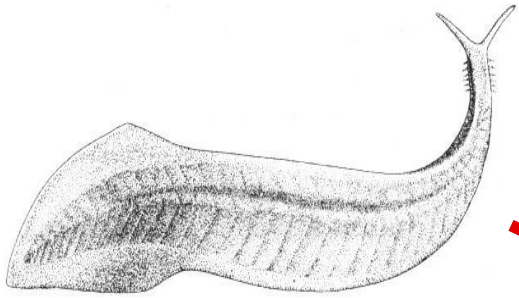


Simon Conway Morris

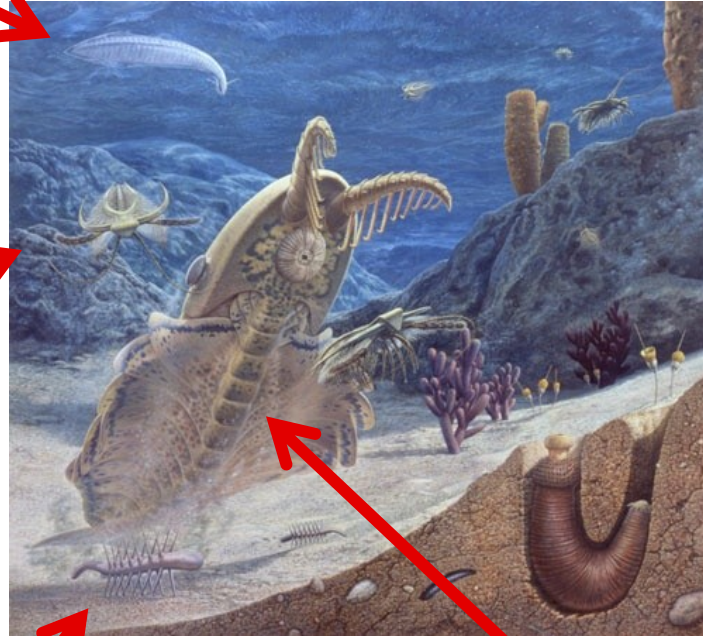
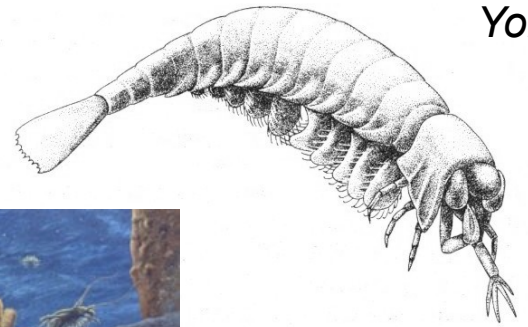




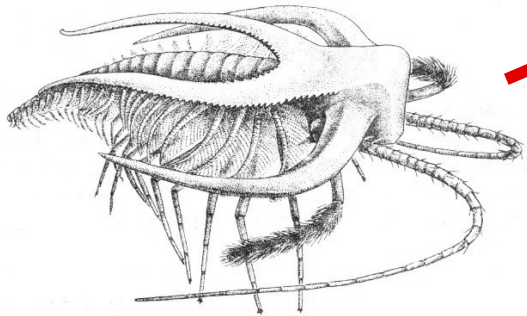
*Pikaia gracilens*



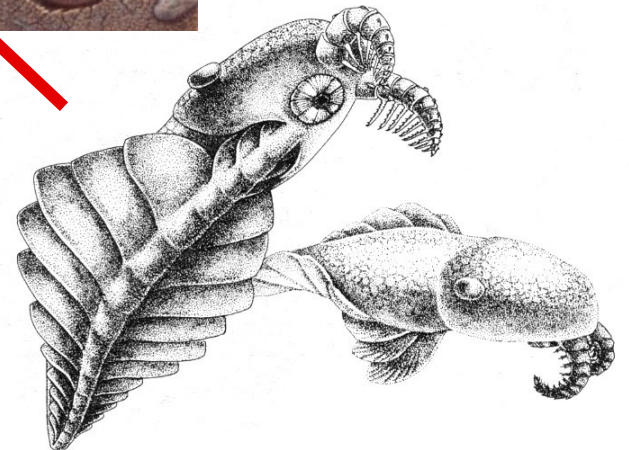
*Yohoia*



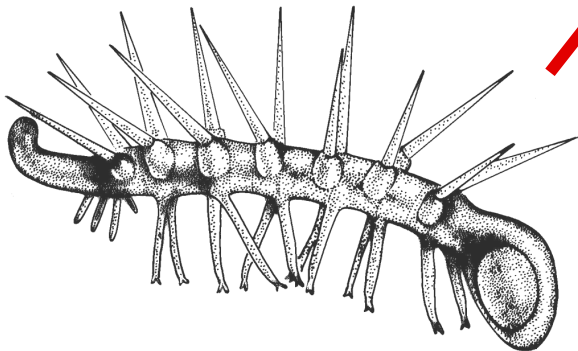
*Marella*



*Anomalocaris nathorsti*

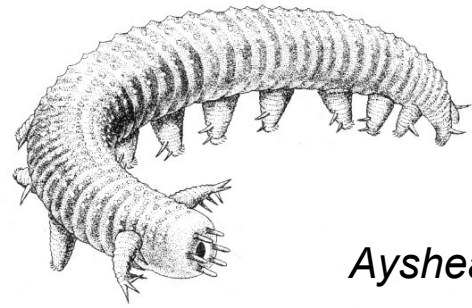
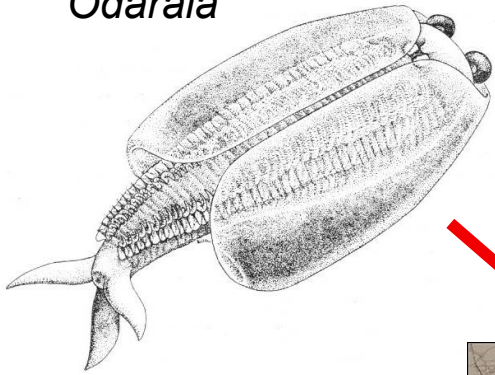


*Hallucigenia*



*A. canadensis*

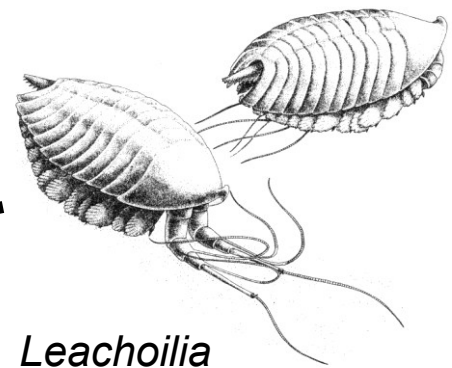
*Odaraia*



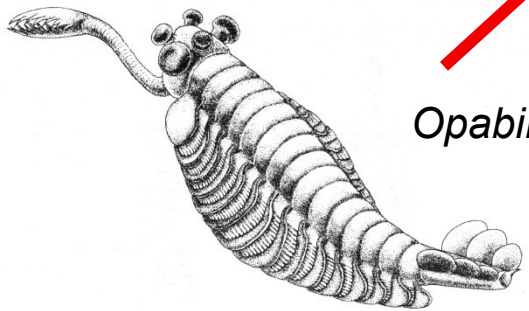
*Aysheaia*



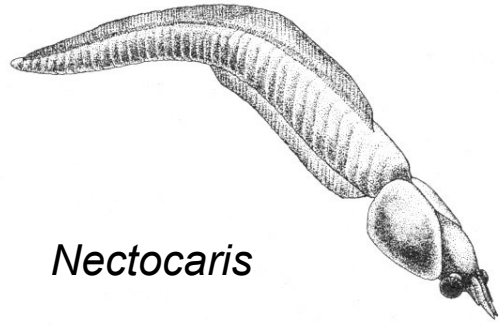
*Wiwaxia*



*Leachoilia*

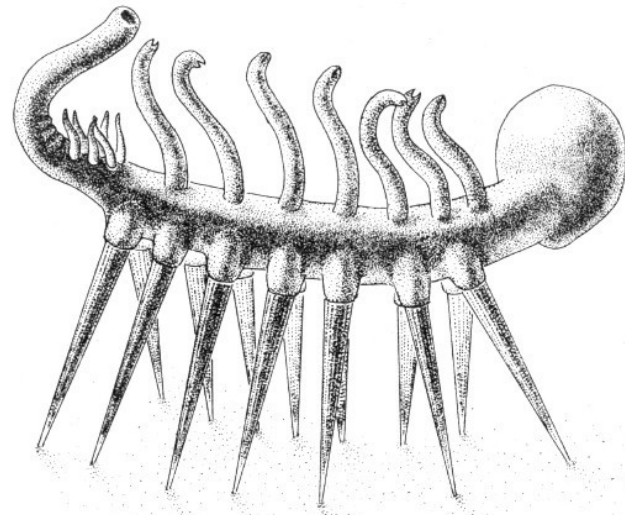
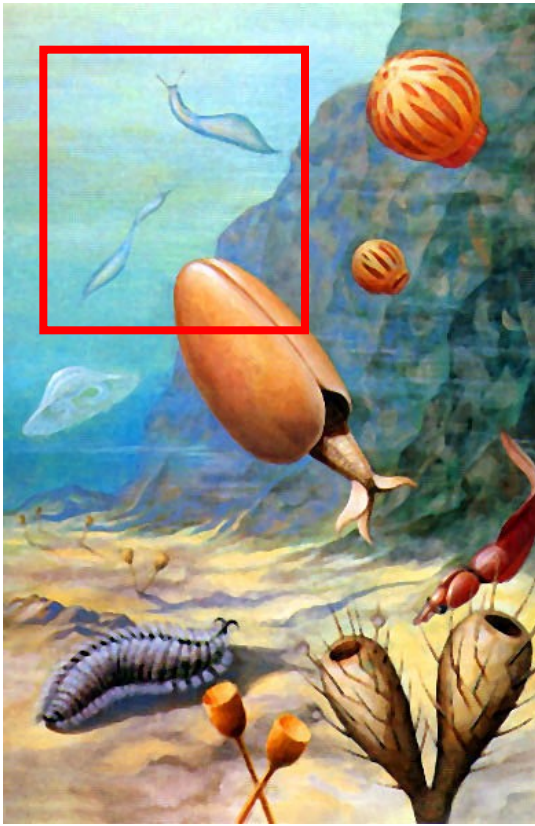


*Opabinia*

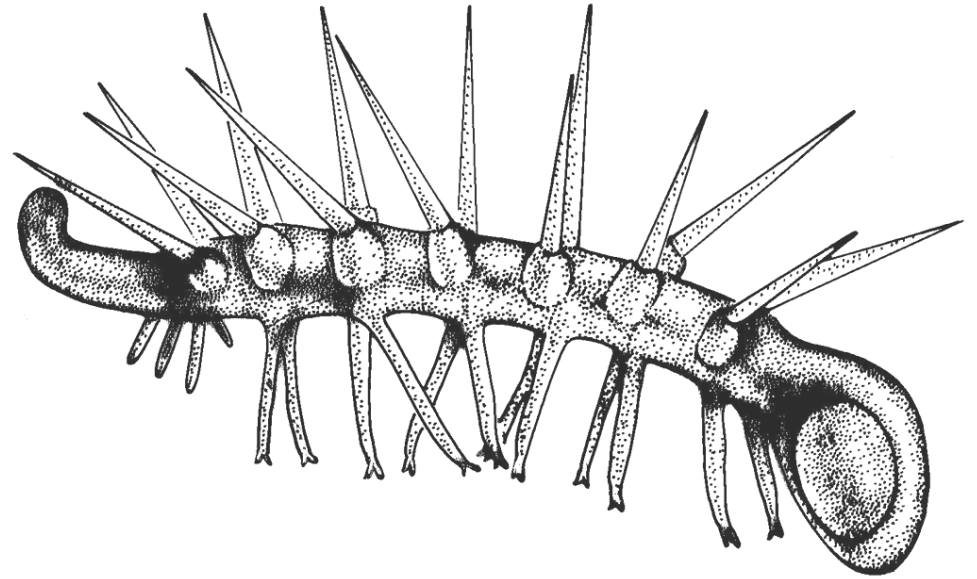


*Nectocaris*

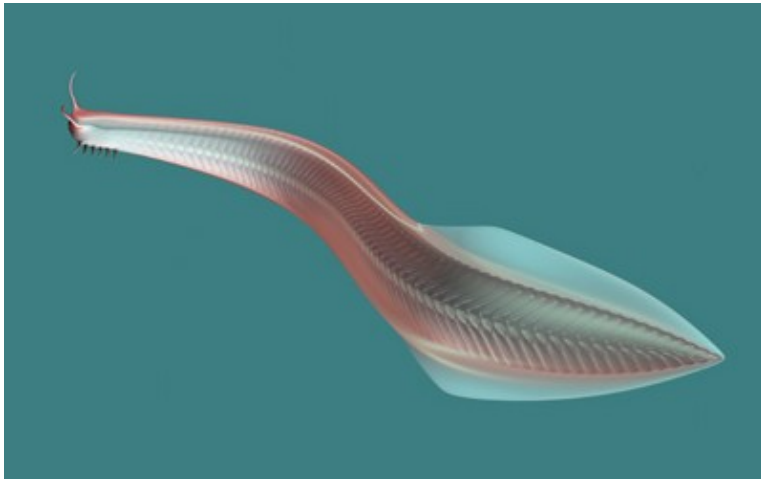


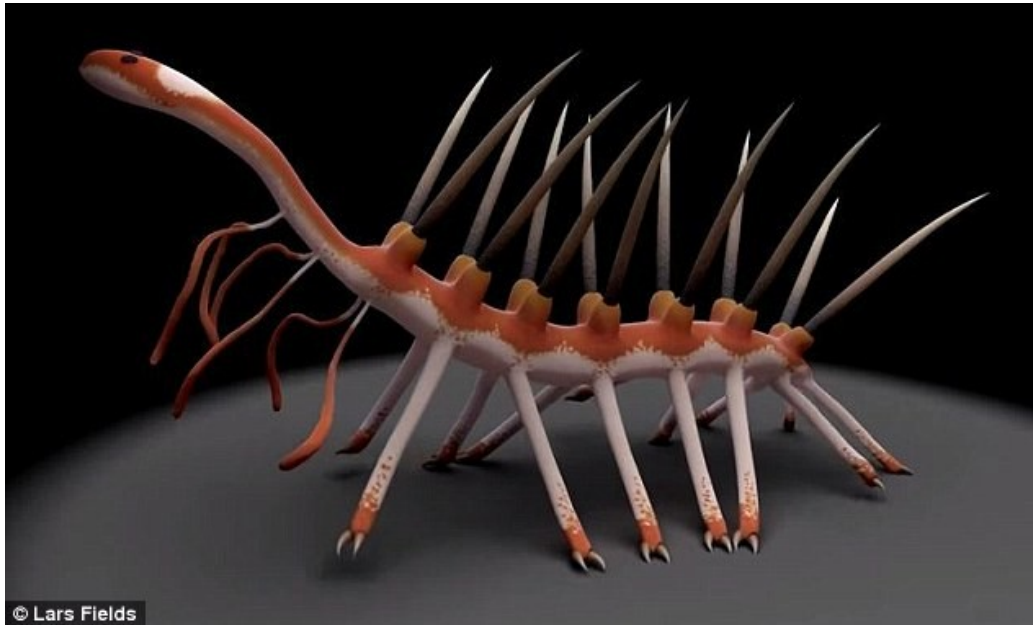


*Hallucigenia*

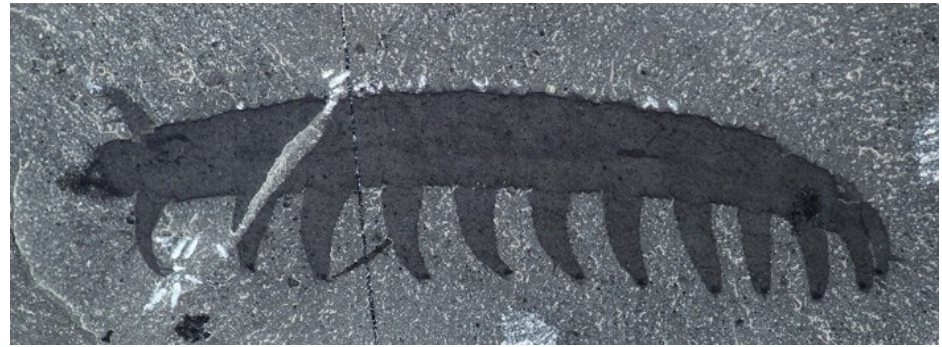


*Pikaia gracilens* (Chordata)



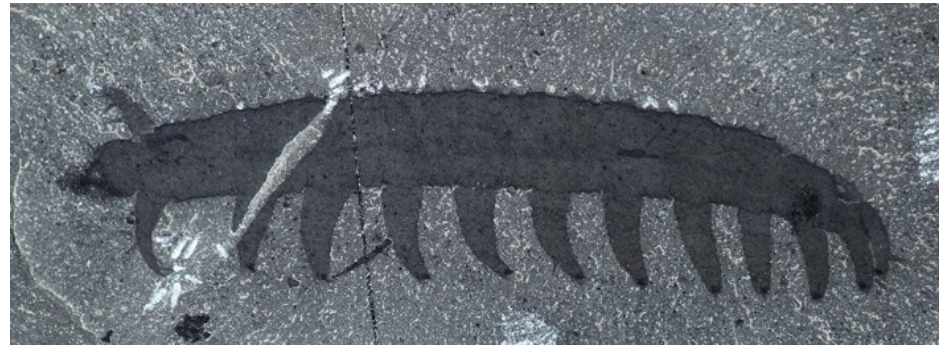






*Aysheaia*

Přechod z moře na souš?



drápkovci  
(Onychophora)



# diverzita a disparita:

interpretace burgesských nálezů

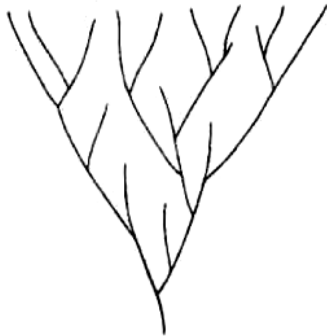
Stephen Jay Gould vs. Simon Conway Morris

diverzita = počet druhů

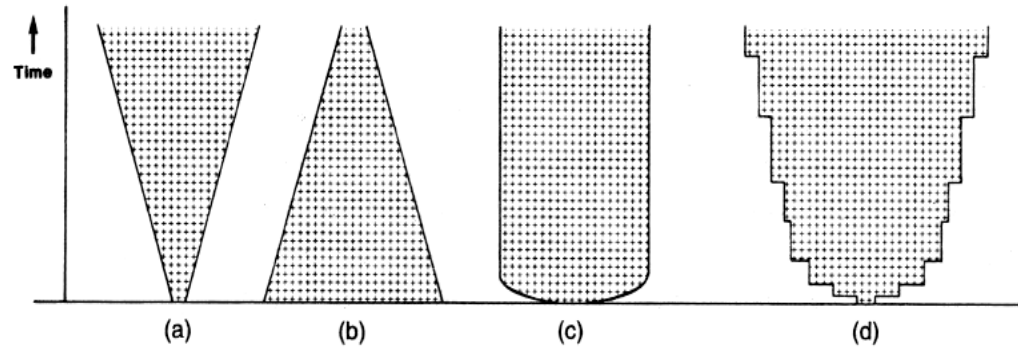
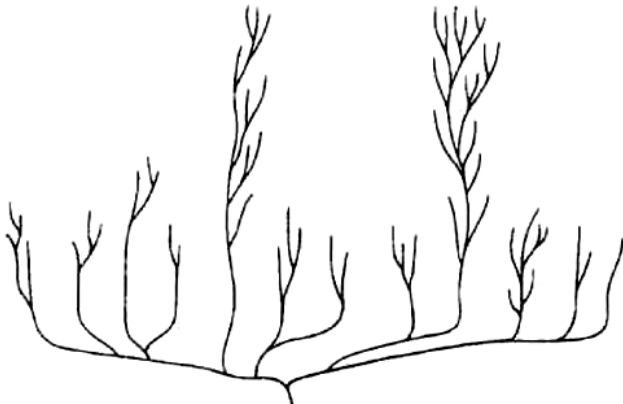
disparita = počet stavebních plánů (morfologická rozmanitost)



The Cone of Increasing Diversity



Decimation and Diversification



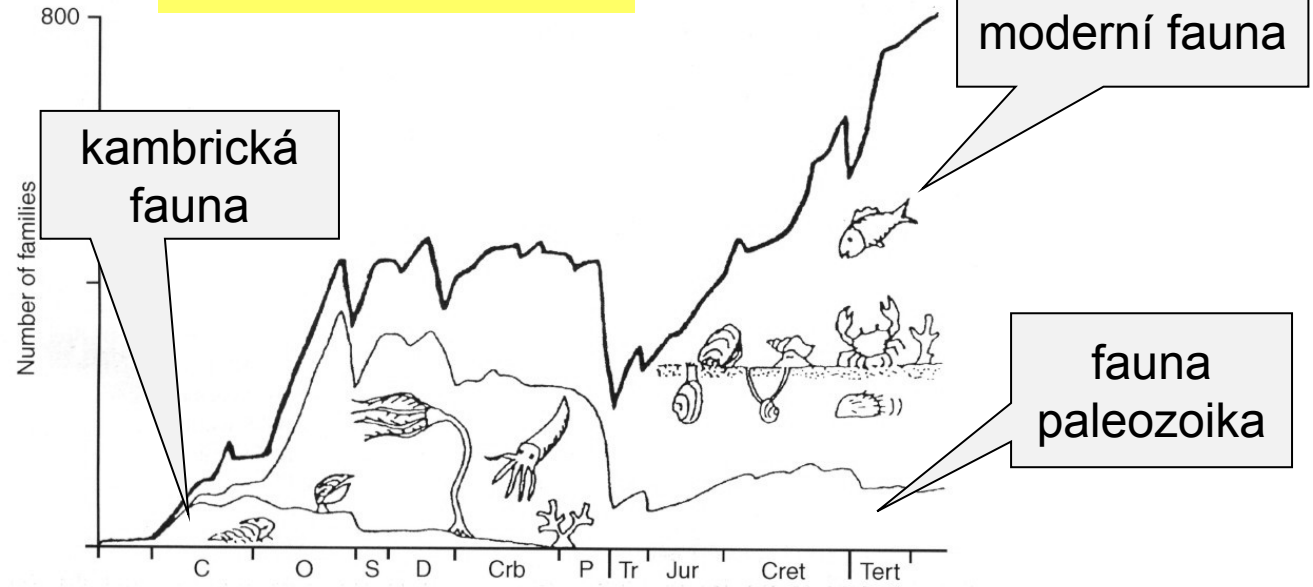
tradiční

Gould

Conway Morris

# Fanerozoikum

růst diverzity

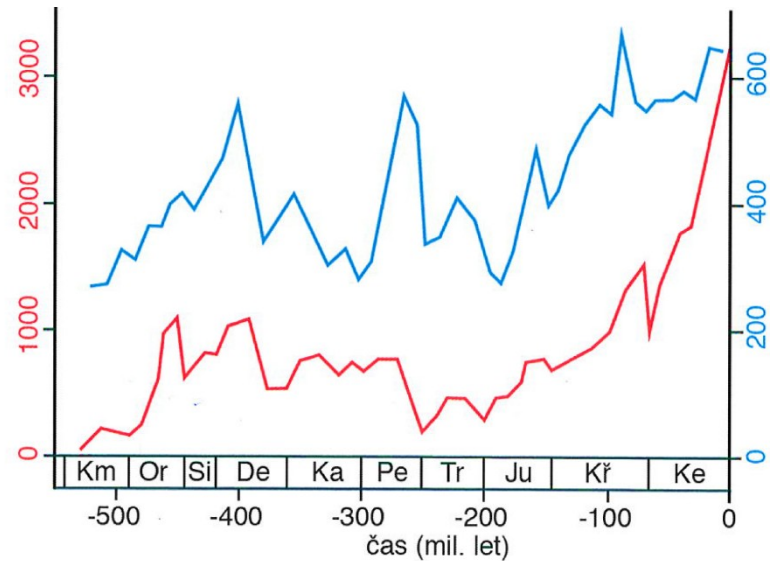
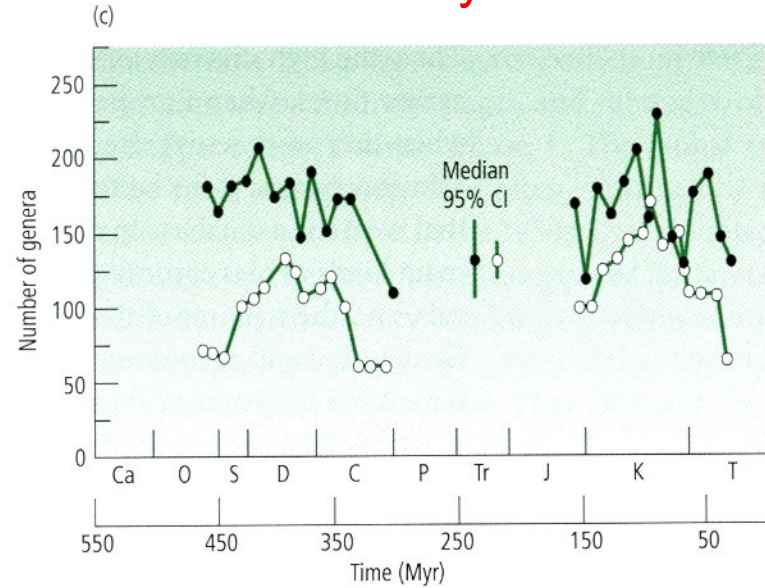
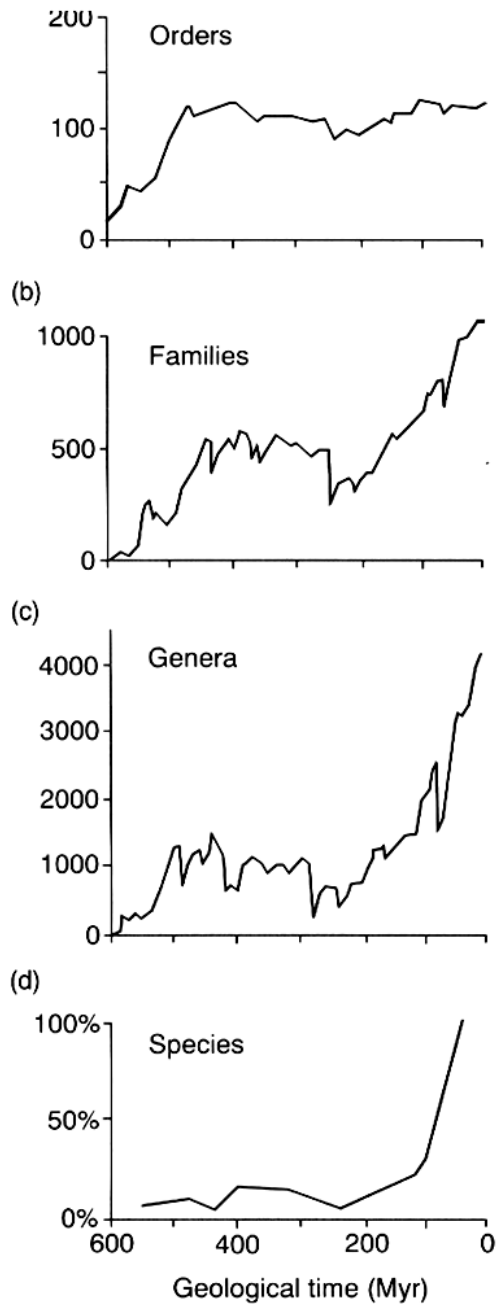


Jack J. Sepkoski (1981): logistický model

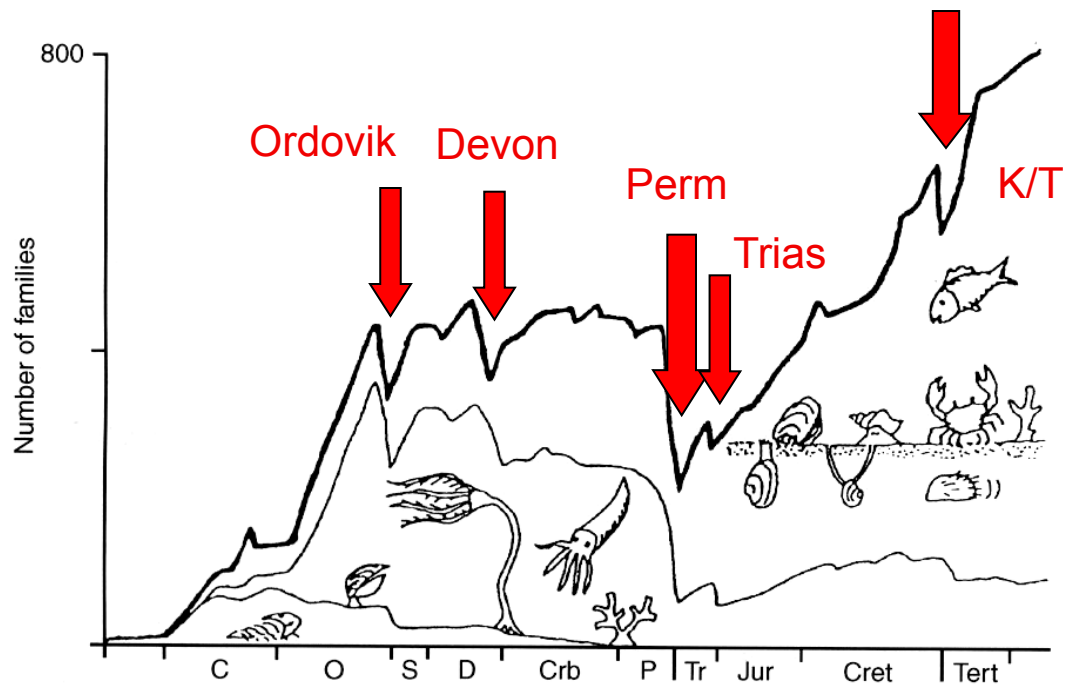
Michael J. Benton (1997):

křivka pro suchozemské organismy odlišná  
exponenciální model

bereme-li v úvahu nekompletnost fosilního záznamu → žádný trend?



Obr. 7.27: Růst globální diverzity: červená křivka popisuje růst počtu „rodů“ na základě prvního a posledního výskytu ve fosilním záznamu, modrá křivka počet „rodů“ po odstranění „tahu přítomnosti“ (viz text).

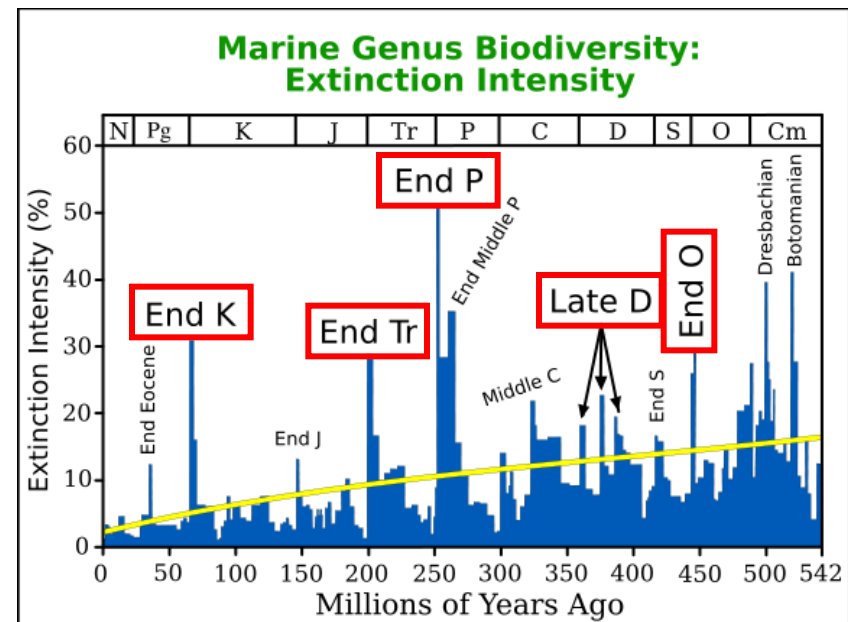


## Extinkce:

*background extinctions* („šum“)

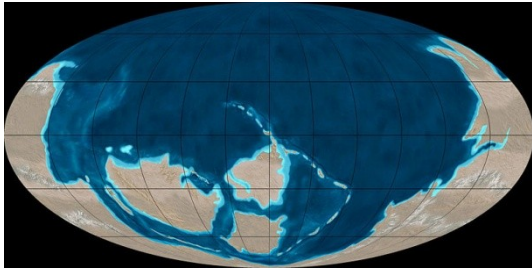
masové extinkce → „Velká pětka“

největší: konec Permu



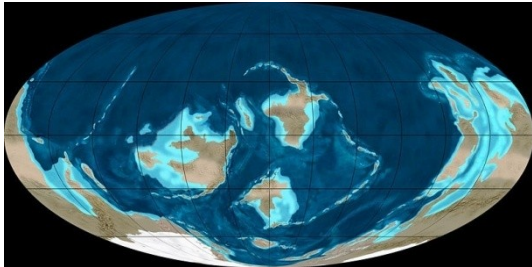


# Paleozoikum



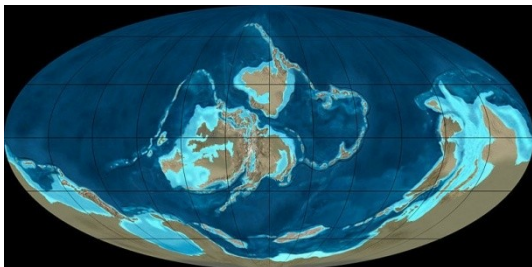
## Kambrium:

jediný superkontinent Rodinia (Proterozoikum) → Gondwana, Laurentia, Baltica, Angara (Siberia), Avalonia ...



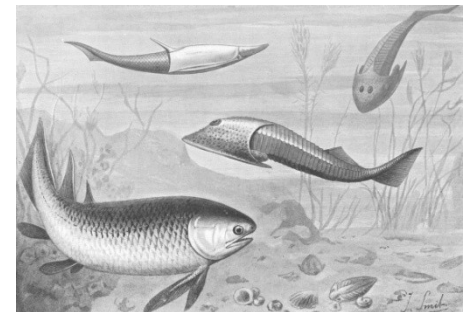
## Ordovik:

růst diverzity (mořské o.)  
na konci 1. masová extinkce

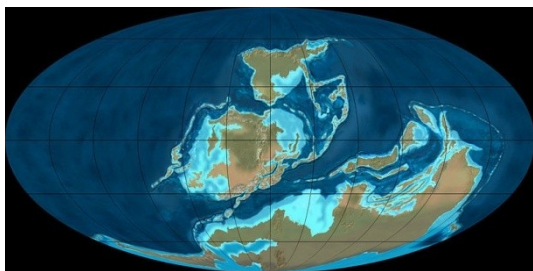


## Silur:

čelistnatci  
první suchozemské o.  
(rostliny, štíři)



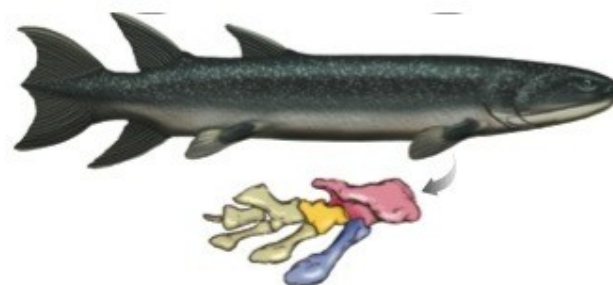
Laurentia+Baltica = Laurasia



## Devon:

radiace ryb, první žraloci, lalokoploutví, obojživelníci  
na konci 2. masová extinkce

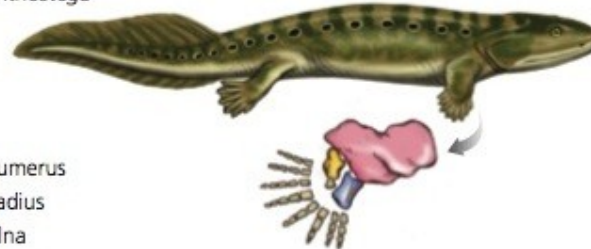
*Eusthenopteron*



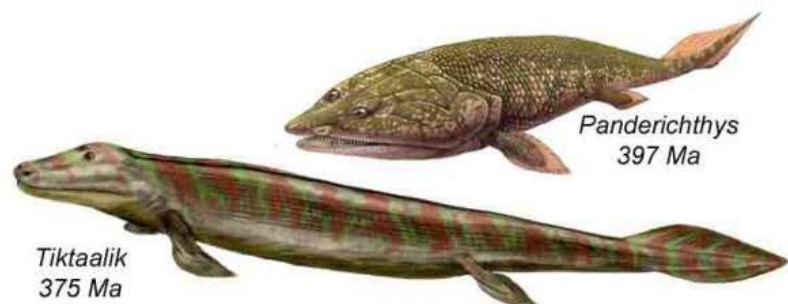
*Tiktaalik*



*Acanthostega*



■ Humerus  
■ Radius  
■ Ulna



*Panderichthys*  
397 Ma

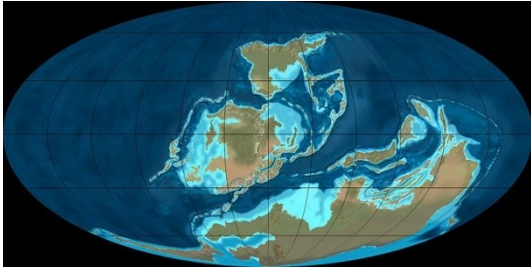
*Tiktaalik*  
375 Ma



*Acanthostega*  
360 Ma

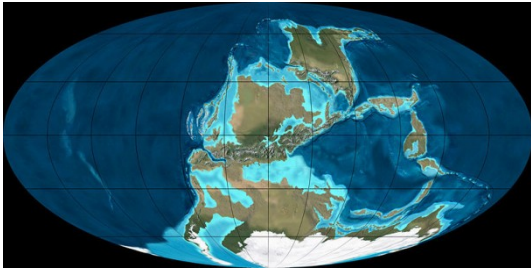


*Ichthyostega*  
365 Ma



## Devon:

radiace ryb, první žraloci, lalokoploutví, obojživelníci  
na konci 2. masová extinkce

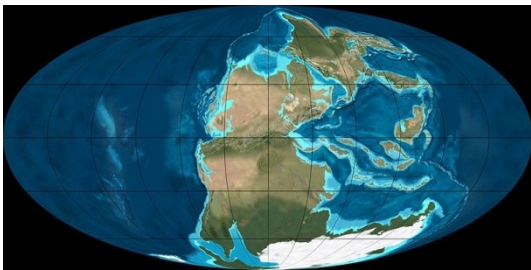


## Karbon:

přesličky, hmyz, první plazi



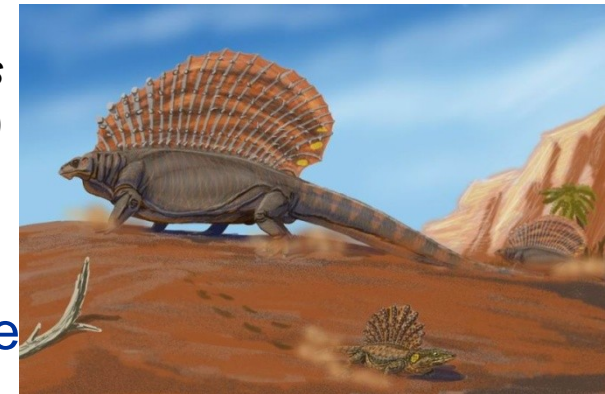
*Archaeothyris*  
(Synapsida)



## Perm:

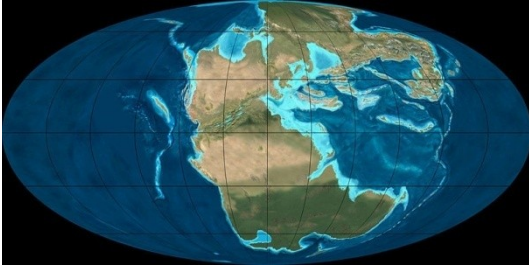
Pangea  
Therapsida (→ savci)  
na konci 3. masová extinkce

*Edaphosaurus*  
(Pelycosauria)





# Mesozoikum



## Trias:

motýli, dvojkřídli

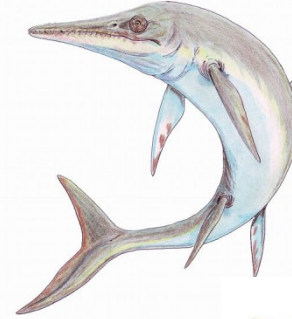
radiace plazů (želvy, ichthyosauři, plesiosauři, pterosauři)

konec triasu: dinosauři, savci, 4. extinkce

synapsidní plaz  
Pelycosauria  
(*Palaeohatteria*)



Therapsida



ichthyosauři



plesiosauři



cynodont  
(*Cynognathus*)



pterosauři



primitivní savec (*Castorocauda*)

## Evolution savců

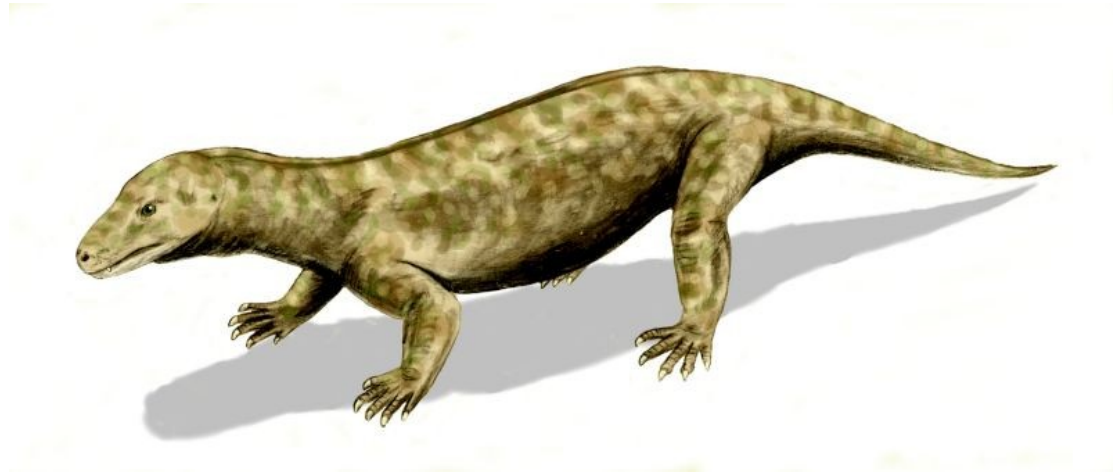
*Sphenacodon*: spodní perm (270 M ) – spodní čelist z více kostí, zakloubení čelisti plazí, žádný bubínek

*Biarmosuchia*: svrchní perm – jeden z nejranějších terapsidů, zakloubení čelisti více savčí, horní čelist srostlá, zadní nohy vzpřímenější

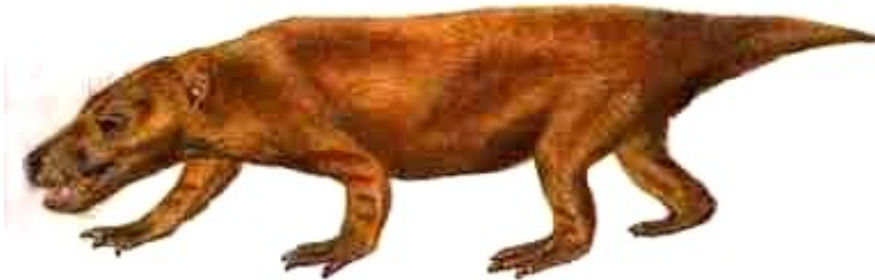


*Biarmosuchus*

*Procynosuchus*: konec permu – primitivní cynodont



*Thrinaxodon*: spodní trias – odvozenější cynodont, bubínek ve spodní čelisti



*Probainognathus*: střední trias (~ 235 M) – 2 klouby, savčí a plazí

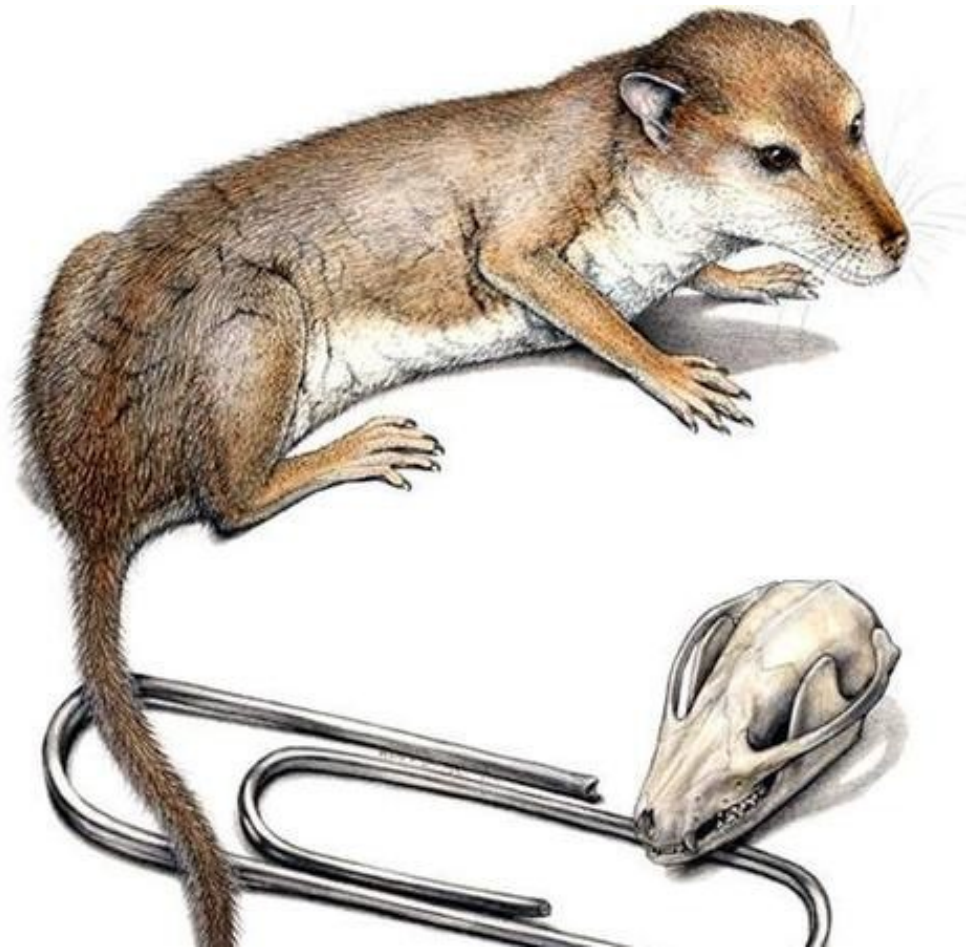


*Diarbrognathus*: spodní jura (~ 209 M) – pokročilý cynodont, sice pořád 2 klouby, ale plazi používán téměř zcela ke slyšení

*Morganucodon*: spodní jura (~ 220 M)  
– stále zbytek plazího kloubu



*Hadrocodium*: spodní jura – kůstky středního ucha se přesunuly z čelisti do krania





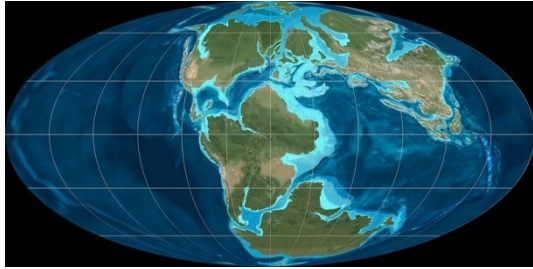
*Juramaia sinensis* (jurská matka z Číny): první známý placentální savec

160 M

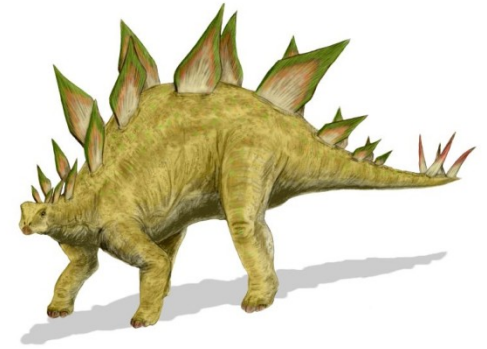




# Mesozoikum



**Jura:**  
kostnaté ryby  
evoluce ptáků

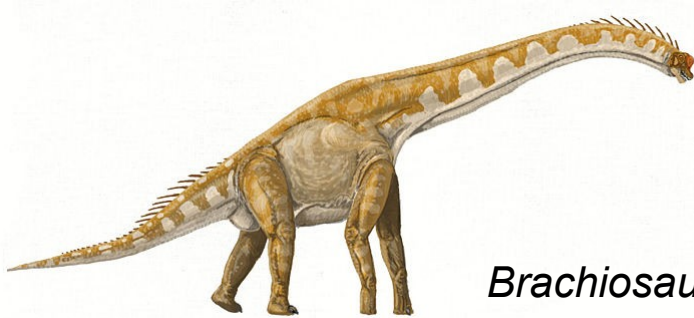


*Stegosaurus*

**Ornithischia**

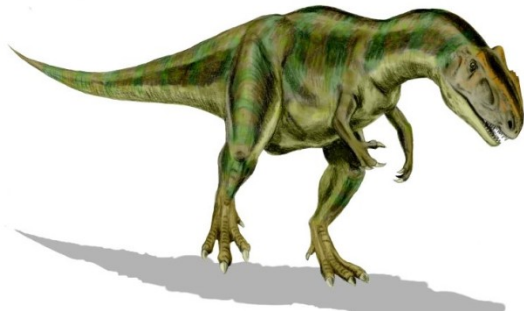
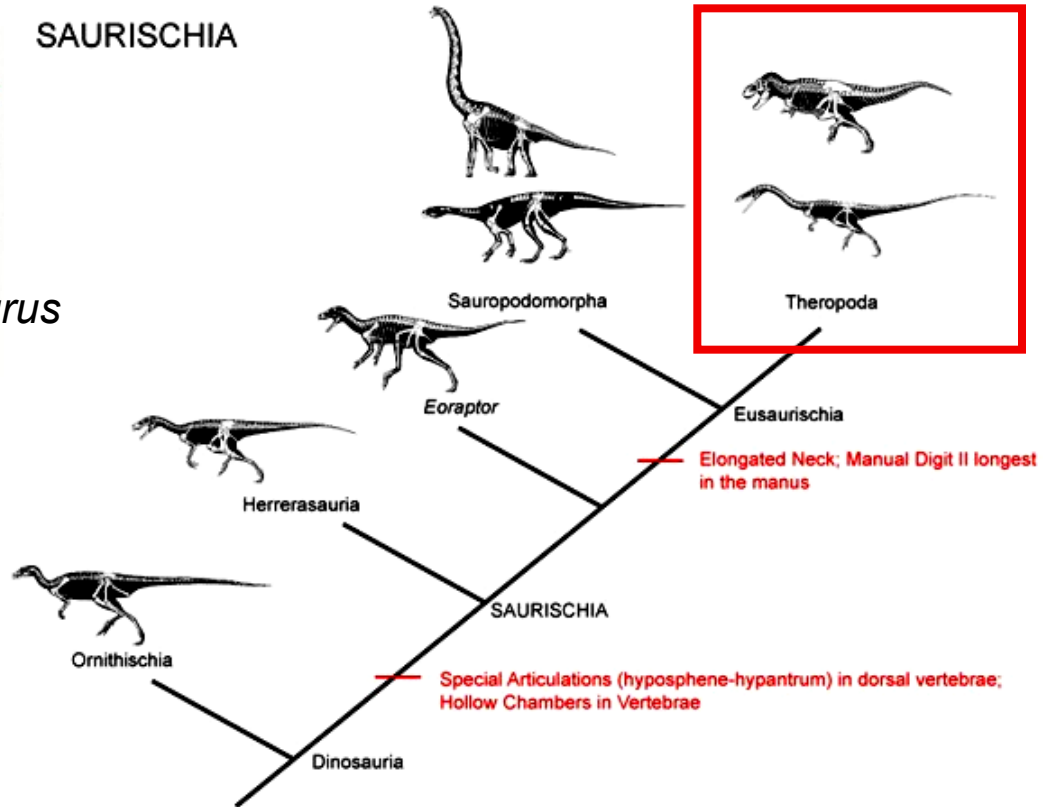


**Saurischia**



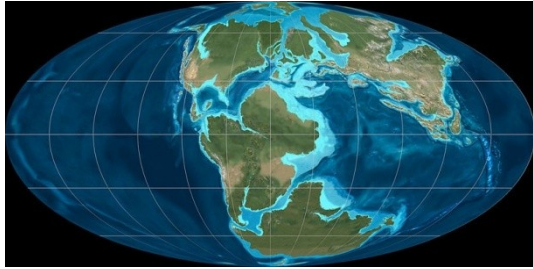
*Brachiosaurus*

SAURISCHIA



*Allosaurus*

# Mesozoikum



**Jura:**  
kostnaté ryby  
evoluce ptáků

*T. rex*

*Gigantosaurus*



theropodní dinosauři



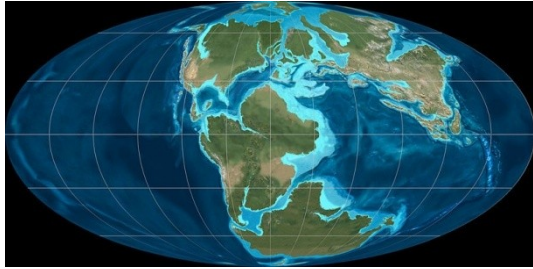
Maniraptora



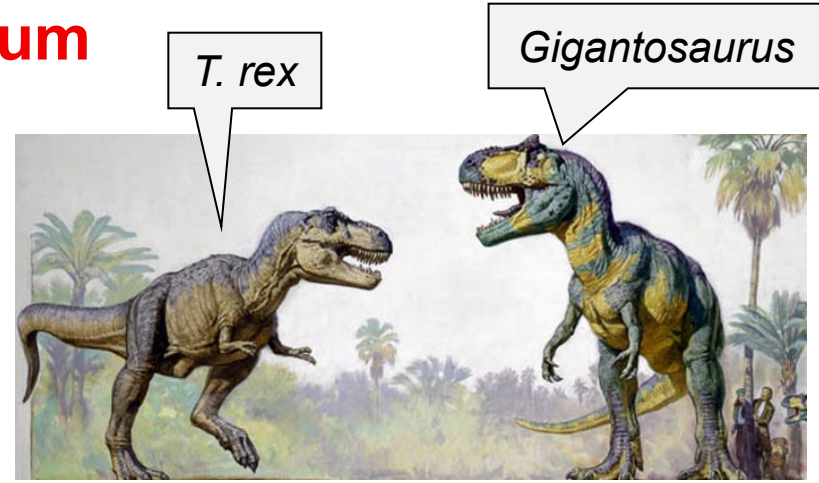
tyranosauři  
(křída)



# Mesozoikum



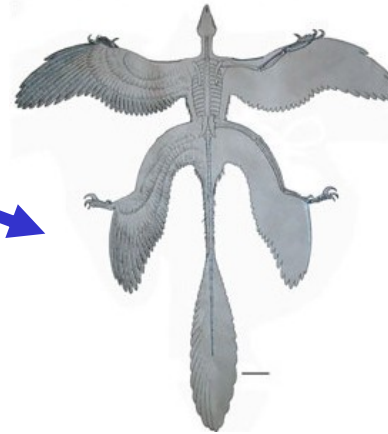
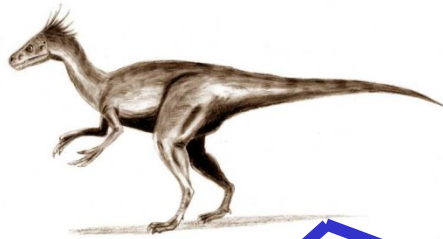
**Jura:**  
kostnaté ryby  
evoluce ptáků



theropodní dinosauři

↓  
**Maniraptora**

tyranosauři  
(křída)



ptáci



*Archaeopteryx lithographica*

*Microraptor gui*

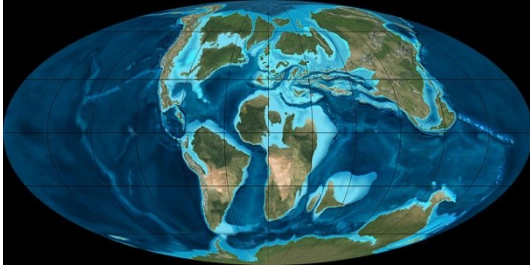




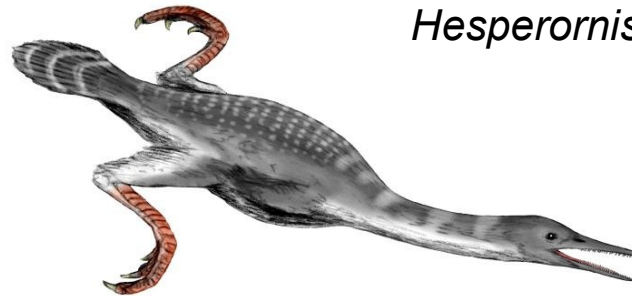
# Mesozoikum

## Křída:

krytosemenné rostliny  
moderní žraloci a rejnoci, mosasauři, první hadi, ptáci  
savci: divergence vačnatců a placentálů



mosasauři

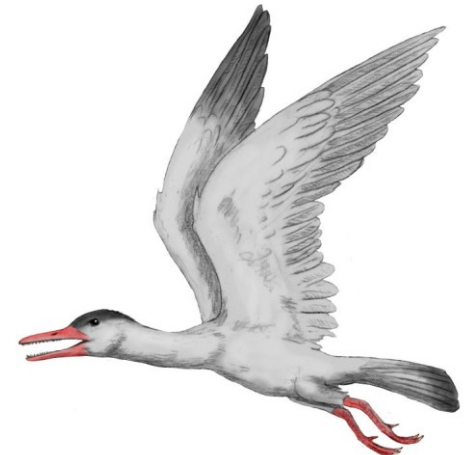


*Hesperornis*

na konci křídly: 5. extinkce, 66 M

→ otázka příčiny

*Ichthyornis*





## Extinkce na K/T\* (K/Pg\*\*) hranici:

\*) křída/třetihory

\*\*) křída/paleogén

1980 Louis Alvarez a kol.:

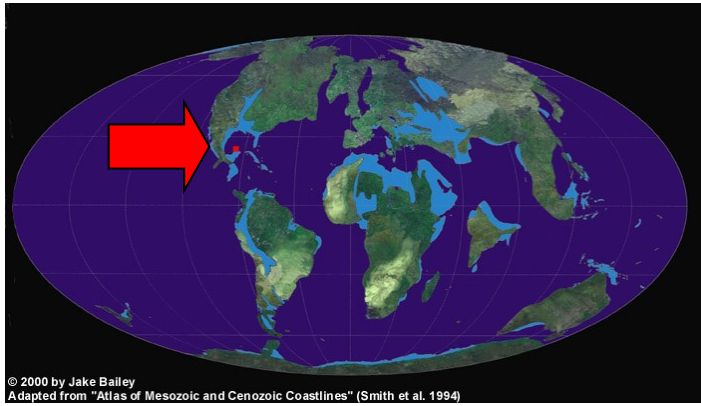
katastrofická hypotéza – asteroid 10 km v průměru  
 $10^9 \times$  víc než Hirošima



L. Alvarez



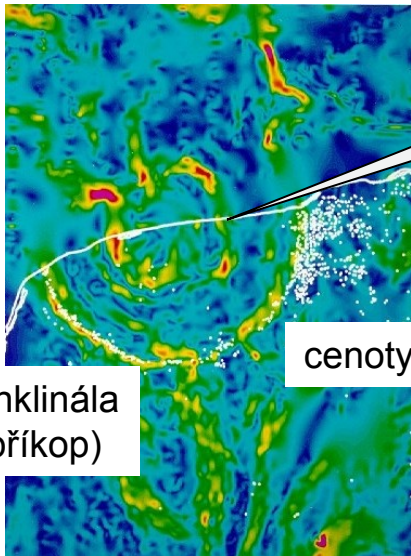




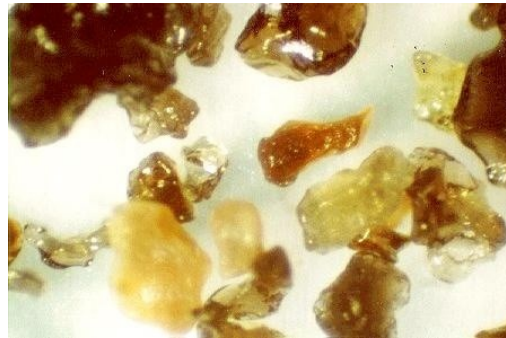
kráter Chicxulub (Mexiko)



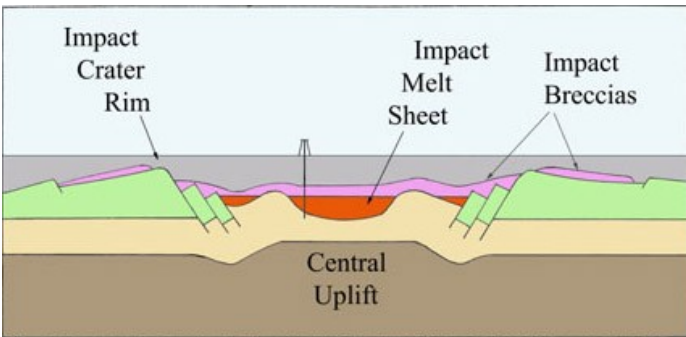
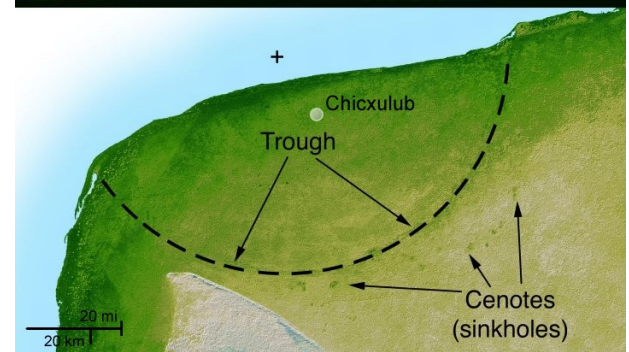
mapa gravitačního pole



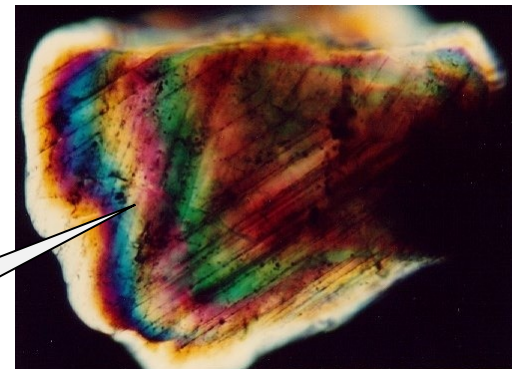
synklinála (příkop)



tektity z K/T rozhraní



šokový krystal





## Problémy impaktové teorie:

vymírání nebylo pro většinu živočichů tak náhlé, docházelo k němu už před katastrofou

druhy mizely po etapách od teplomilnějších po méně teplomilné

srážka s asteroidem o cca. 300 tisíc let starší než vymírání (× dopad meteoritu spustil vlny tsunami a zemětřesení ⇒ promíchání vrstev)

lokalita El Penon (Mexiko): stejné druhy nad „meteoritickou“ vrstvou jako pod ní)

## Alternativní hypotéza:

postupné ochlazování v důsledku gigantických sopečných erupcí na Dekkánské plošině v Indii

čedičová vrstva 1200-1800 metrů silná, 100 000 km<sup>2</sup> ⇒ v průběhu 1 mil. let  
→ min. 1,5 mil. km<sup>3</sup> čedičů

vznik plošiny na přelomu křídy a třetihor



## Recentní poznatky:

Podle nového datování k dekkánskému jevu došlo dříve než k dopadu bolidu/asteroidu – problém je, že indické datování stále málo přesné

Zpřesněné datování: kráter Chicxulub odpovídá

~ 100 tisíc let před dopadem ochlazení o 6–8 °C, asi v důsledku dekkánské katastrofy – dopad pak ranou z milosti

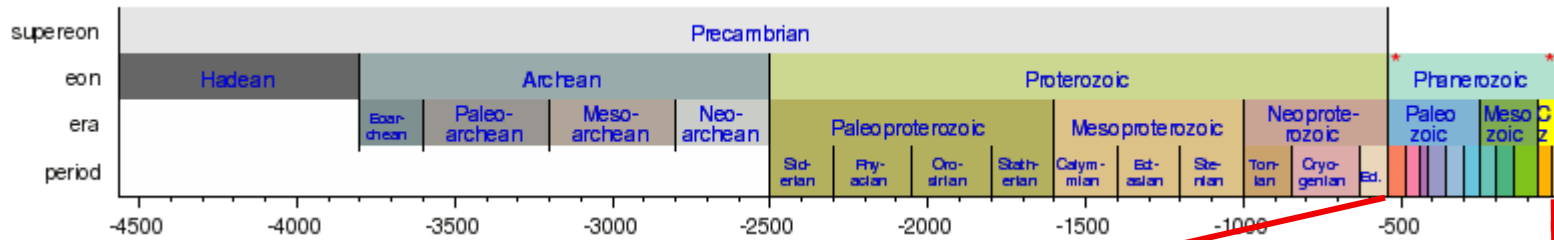
Sinice v důsledku skleníkového efektu?

Některé teorie: dopad dvou těles těsně po sobě (některá data naznačují – mj. tým z Astronomického ústavu před 3 lety, dnes Francouzi na modelech)

animace impaktu viz:

<https://www.youtube.com/watch?v=bU1QPtOZQZU>

eon: **Fanerozoikum**

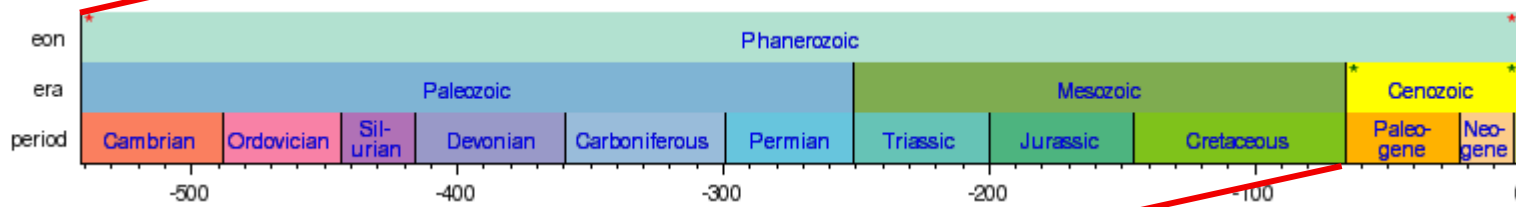


éra

**Paleozoikum**

**Mesozoikum**

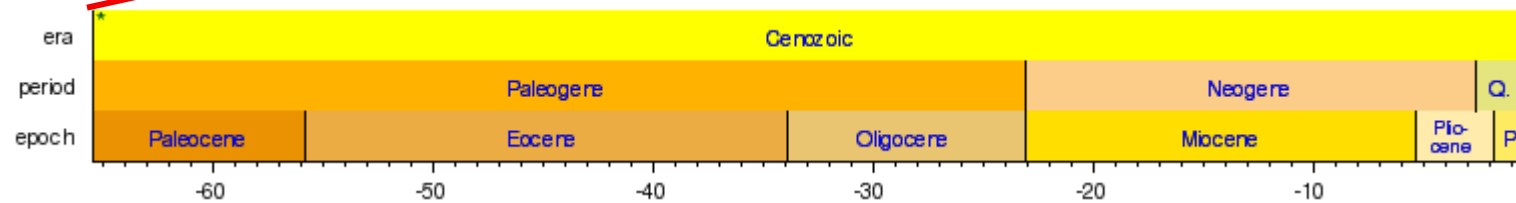
**Kenozoikum**



perioda

**Paleogén**

**Neogén**



epocha

**Paleocén**

**Eocén**

**Oligocén**

**Miocén**

**Plio- Pleisto-**

# Paleontologická vs. molekulární data

otázka vzniku živočišných kmenů a savčích a ptačích řádů

Kambrická exploze?

molekulární data (Wray et al. 1996):

Protostomia-Deuterostomia ~ 1200 M

Chordata-Echinodermata ~ 1000 M

„fylogenetická zápalná šňůra“?

# Paleontologická vs. molekulární data

## otázka vzniku živočišných kmenů a savčích a ptačích řádů

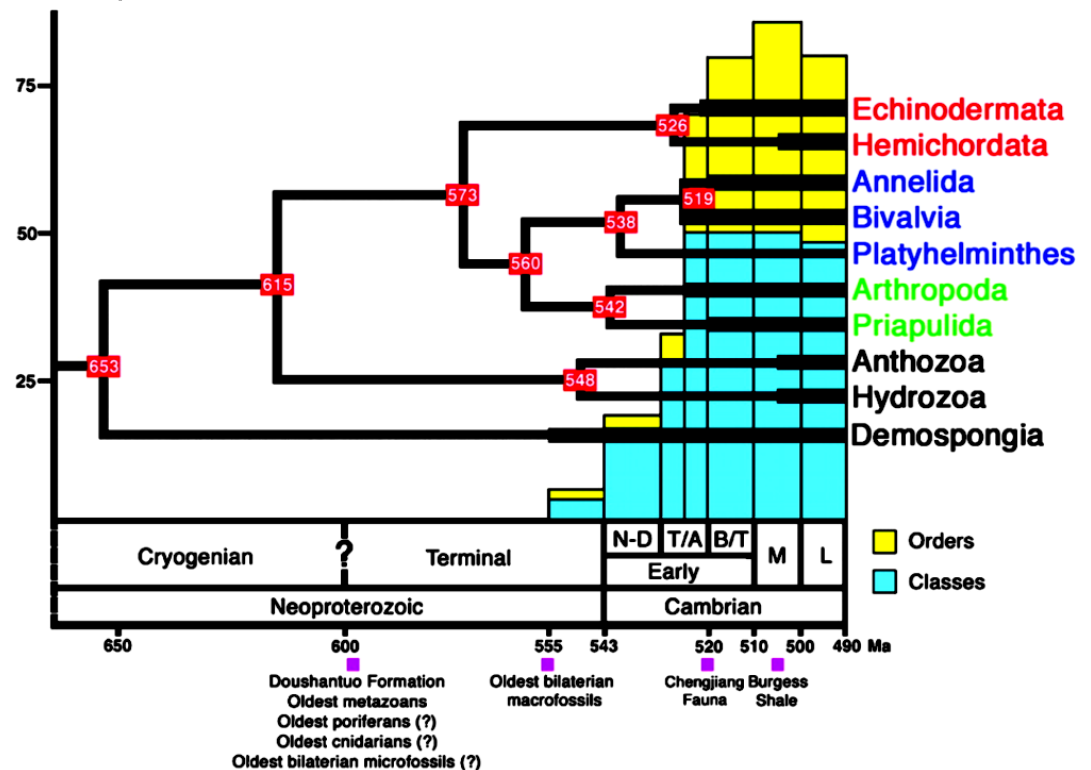
### Kambrická exploze?

dnešní molekulární odhady bližší kambrické explozi:

Metazoa ~ 650 M (Peterson et al. 2004)

Protostomia-Deuterostomia ~ 582 M

(Aris-Brosou and Yang 2003)



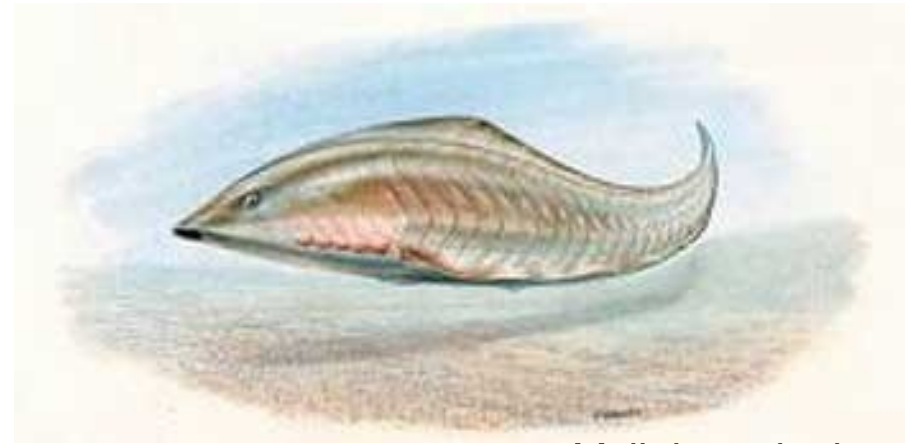


# Kambrická exploze?

fauna z Chengjiang (Čína) ~ 525 M



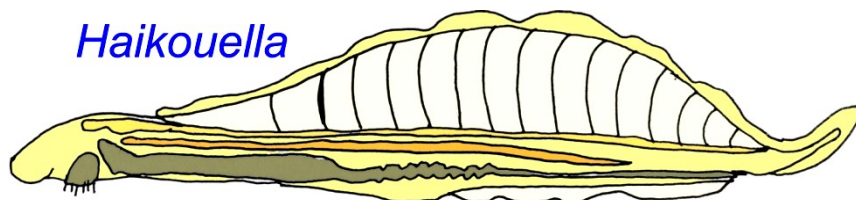
*Yunnanozoon lividum*



*Myllokunmingia*



*Haikouella lanceolata*



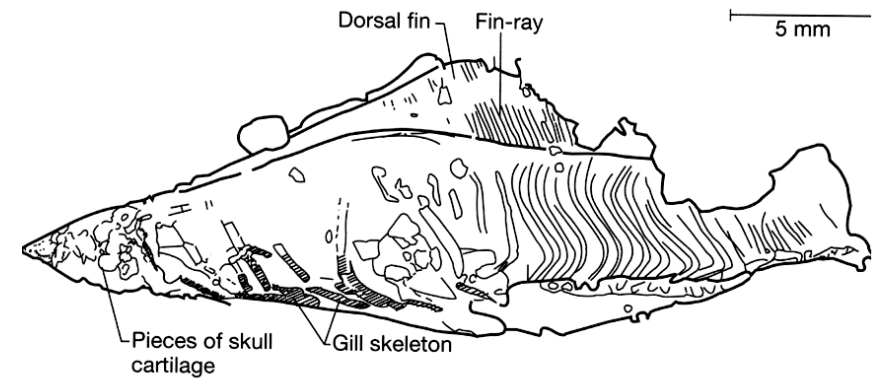
*Haikouella*



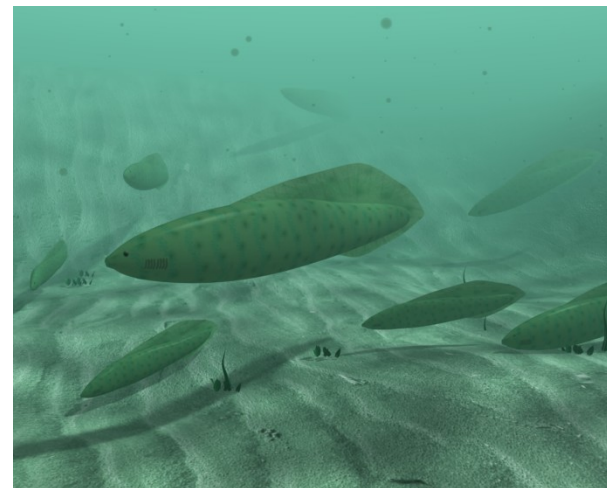
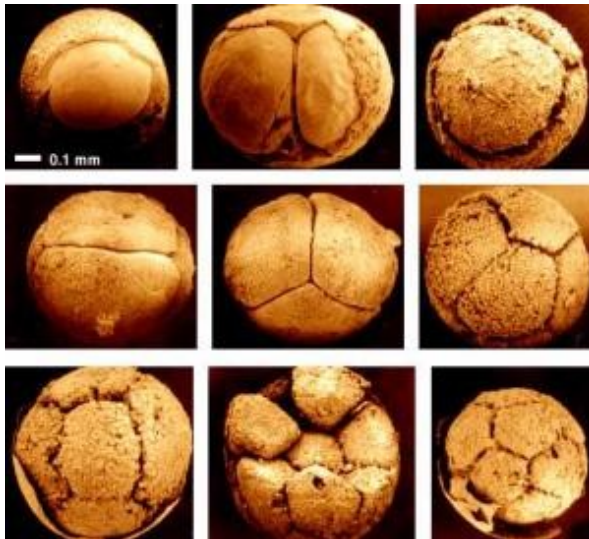
## Kambrická exploze?

fauna z Chengjiang (Čína) ~ 525 M

formace Doushantuo (J Čína),  
590–560 M: spousta druhů



časná embryologická stadia?



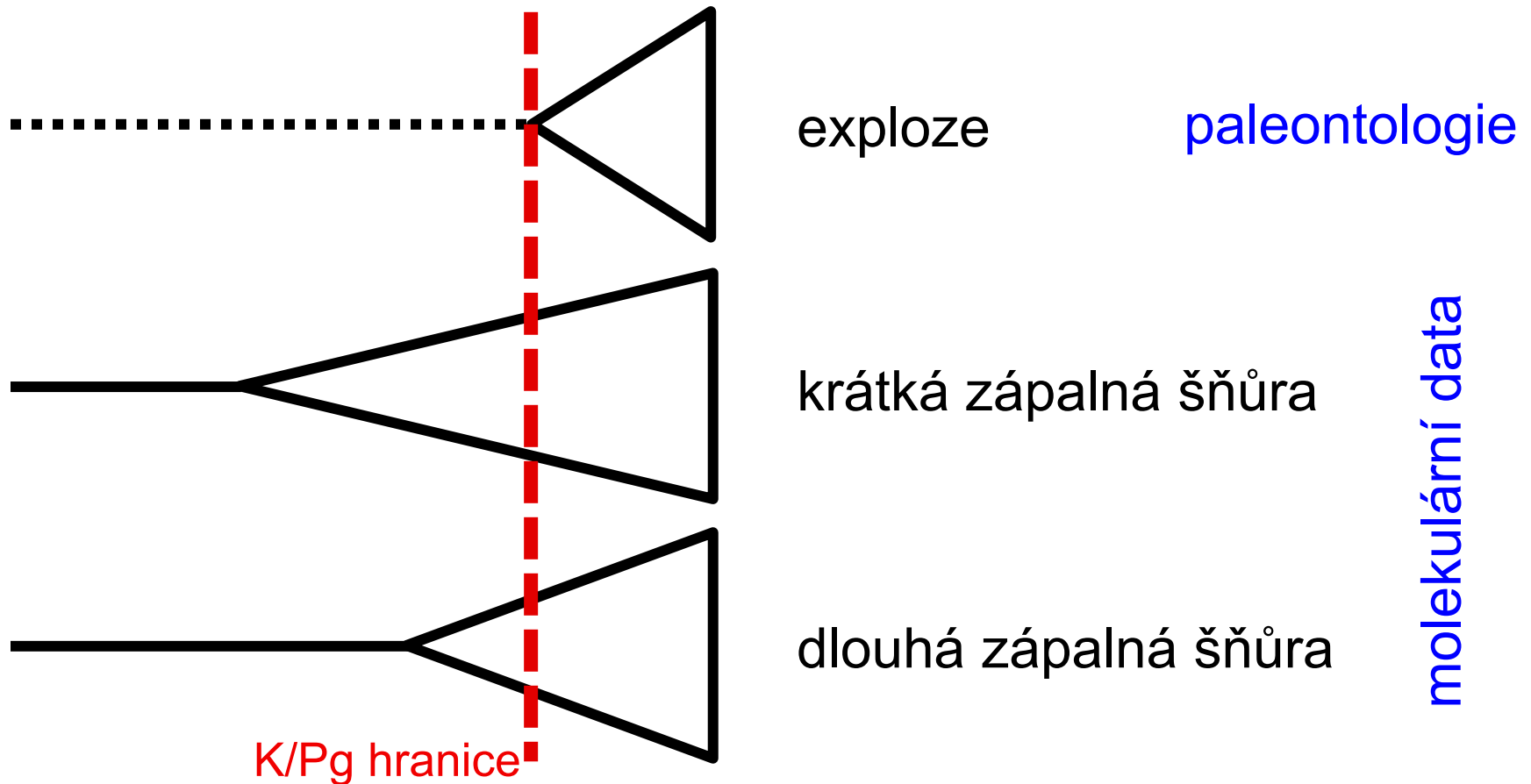
*Haikouichthys  
ercaicunensis*  
525 M

# Paleontologická vs. molekulární data

otázka vzniku živočišných kmenů a savčích a ptačích řádů

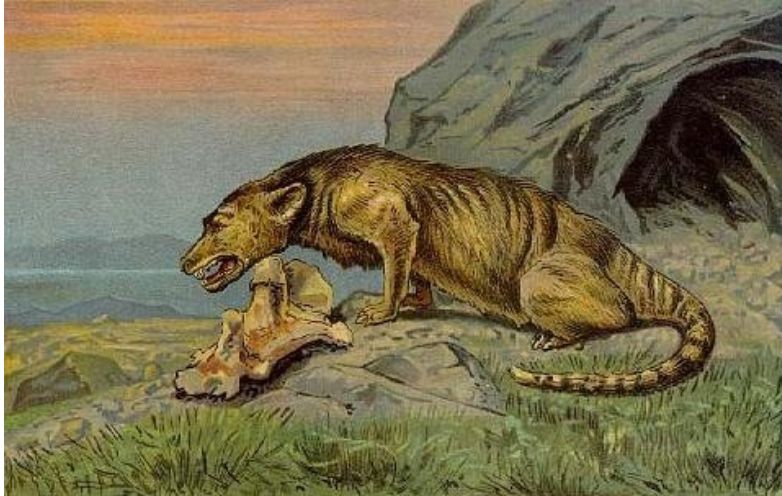
recentní skupiny savců a ptáků a K/Pg hranice

„třetihorní exploze“ vs. krátká vs. dlouhá zápalná šňůra



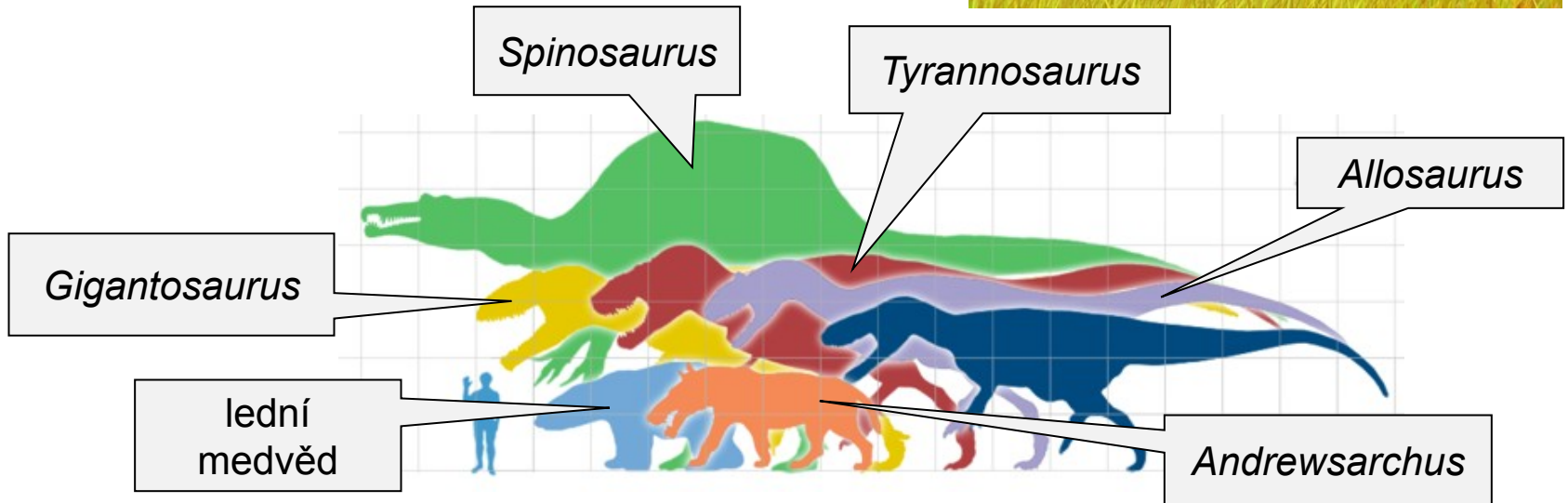


evoluce kytovců: mesonychidi → přechod do vody → kytovci



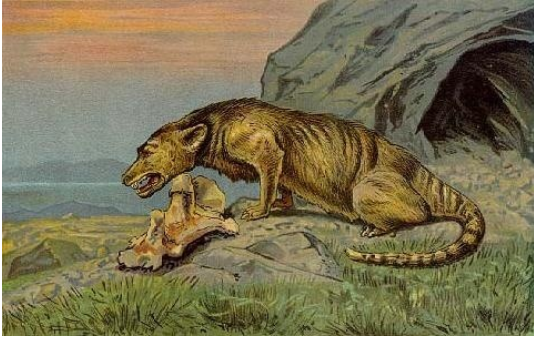
Mesonyx

*Andrewsarchus mongolicus*





mesonychidi ~ 56 M



**evoluce kytovců**



*Pakicetus* 56-34 M

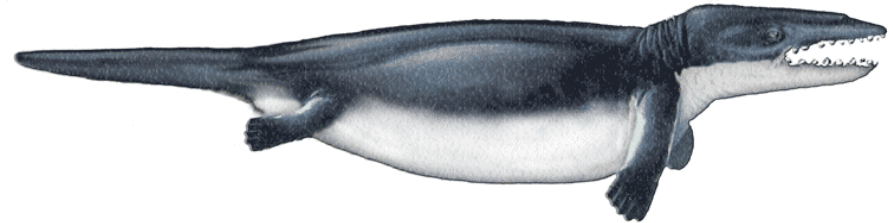


*Ambulocetus* 50-49 M



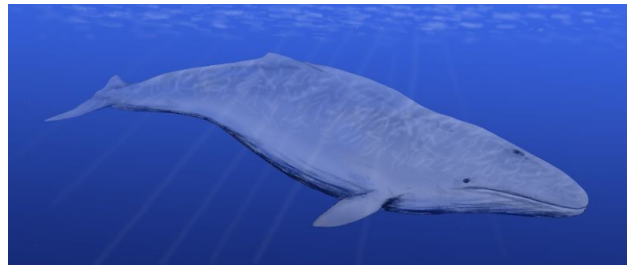
*Dorudon* 41-33 M

*Peregocetus pacificus* 43 M



*Rodhocetus* 47 M

*Basilosaurus*  
40-34 M



*Cetotherium* 15 M



# Obecné zákonitosti

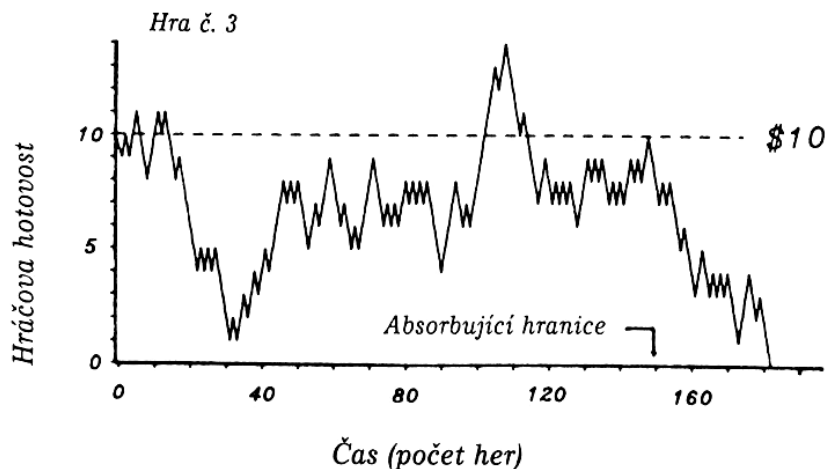
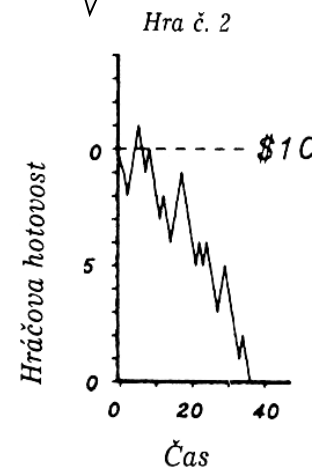
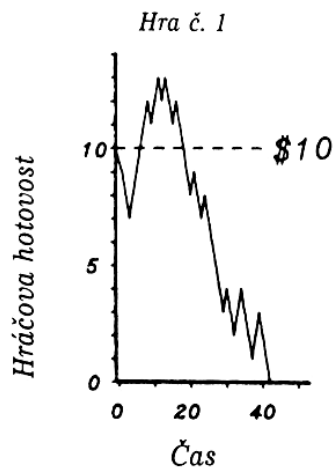
diverzita: analogie s burzou

extinkce: model pěšáka v poli

délka života linií: model bankrotu hazardního hráče

David Raup, Jack Sepkoski:  
periodicita? (26 M)

náhodná procházka  
(*random walk*)



D. Raup



J. J. Sepkoski