

## Evencija i fosilni nalazi

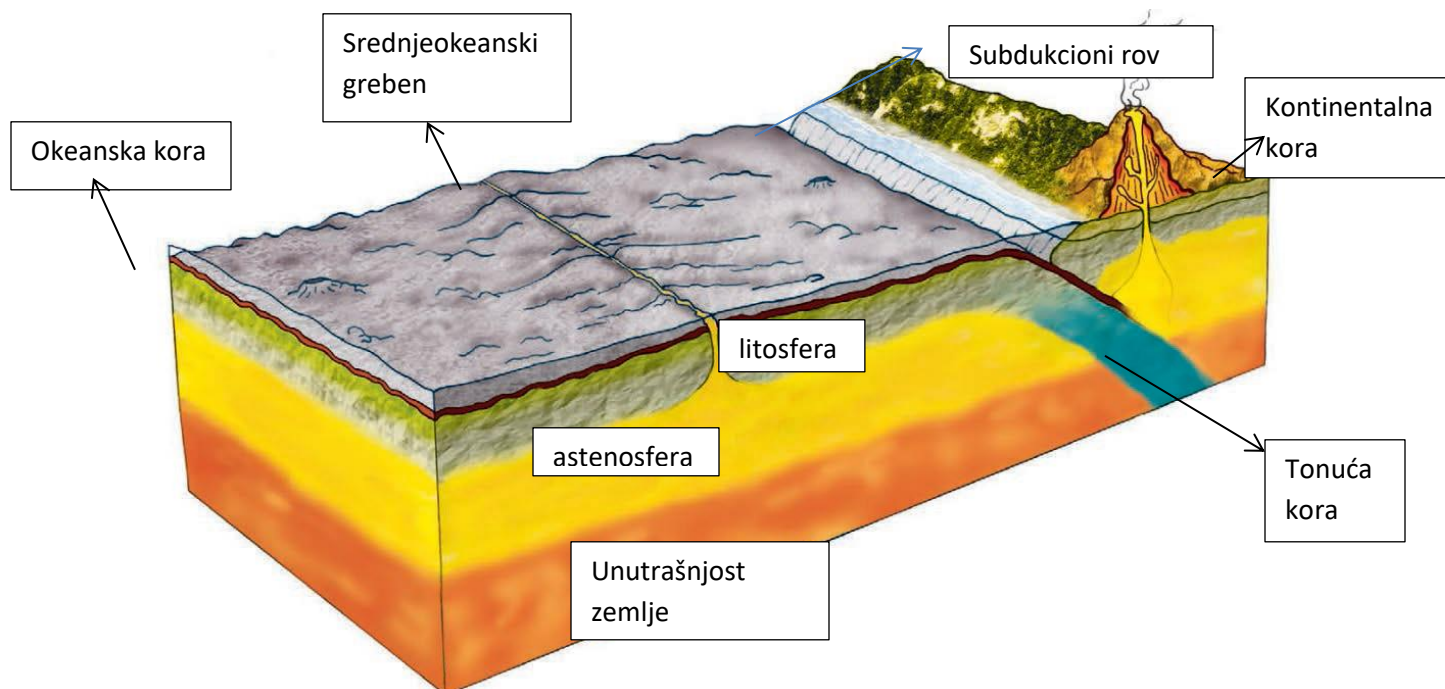
Da bi dokazali evenciju, služimo se na dva načina. (1) Filogenetsko porijeklo, kao indirektni metod, daje nam uvid u porijeklo nekih razvojnih linija, kao i zaključke o obrascima promjena. (2) Fosili, kao direktni metod, daje već konkretniji dokaz o vrsti. Sami fosili nas približavaju vremenu kada je ta vrsta živjela, daje nam uvid u njen izgled, distribuciju vrste, periodima masovnog izumiranja vrsta, a i samom kretanju kontinentalnih ploča. Fosil nam omogućava kalibraciju brzine divergencije DNK, jer nam omogućava apsolutnu vremensku skalu za evencijske događaje, a ujedno nam daje informacije o uslovima sredine koji su u tom vremenom periodu bili prisutni.



Fosil amonita (<https://www.shutterstock.com/search/amonite>)

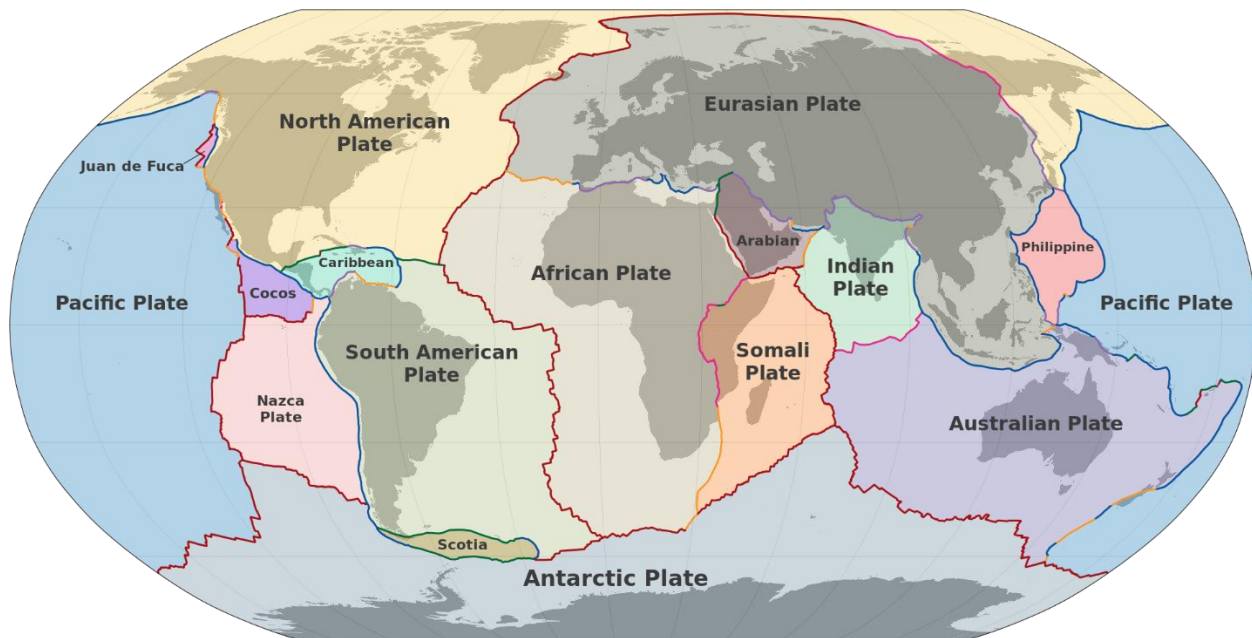
### Osnovi geologije

Stijene koje nalazimo na površini Zemlje nastale su kao rastopljeni materijal (magma) koji se istiskuje iz dubine Zemlje. Dio ovog istiskivanja se dešava putem vulkana, ali većina stijena nastaje kada se nova kora formira na srednjeokeanskim grebenima. Stijena nastala na ovaj način naziva se **magmatska (ili eruptivna) stijena**. **Sedimentne stijene** nastaju taloženjem i očvršćavanjem sedimenata, koji obično nastaju ili razgradnjom starijih stijena ili taloženjem minerala iz vode. Pod visokim temperaturama i pritiscima, i magmatske i sedimentne stijene se mijenjaju, formirajući metamorfne stijene. Većina fosila nalazi se u sedimentnim stijenama. Nekoliko fosila nalazi se u vidu drugačijih oblika fosilnih zapisa; na primjer, insekti se nalaze u ćilibaru (fosilizirana biljna smola), a neki mamuti i druge vrste pronađeni su smrznuti u permafrostu.



**Tektonski procesi.** Na srednjeokeanskom grebenu, magma koja se diže stvara novu litosferu i gura postojeće ploče na obje strane. Prilikom susreta litosfernih ploča koje se kreću, jedna uranja pod drugu, što često uzrokuje potrese i izdizanje planina. Toplota nastala ovim procesom subdukcije topi litosferu, uzrokujući vulkansku aktivnost.

Litosfera, čvrsti vanjski sloj Zemlje koji nosi i kontinente i koru ispod okeana, sastoji se od osam velikih i nekoliko manjih ploča koje se kreću preko gušće, plastičnije astenosfere. Budući da toplota Zemljinog jezgra stvara konvekcijske struje unutar astenosfere, magma iz astenosfere izdiže se na površinu, hladi se i širi, formirajući novu koru, gurajući postojeće ploče na obje strane. Ploče se kreću brzinom od 5-10 cm godišnje. Tamo gdje se dvije ploče spoje, prednja ivica jedne može biti prisiljena da zaroni ispod druge, spajajući se ponovo sa astenosferom (subdukcija). Pritisak ovih sudara je glavni uzrok formiranja planina. Kada se ploča pomjeri preko "vruće tačke" na kojoj se magma diže iz astenosfere, mogu se formirati vulkani ili se kontinent može razdvojiti. Velika jezera istočne Afrike leže u takvoj rascjepnoj dolini; Havajska ostrva su lanac vulkana koji su formirani kao rezultat kretanja pacifičke ploče preko vruće tačke.



Mapa 16 osnovnih tektonskih ploča  
 ([https://en.wikipedia.org/wiki/Plate\\_tectonics#/media/File:Tectonic\\_plates\\_\(2022\).svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Plate_tectonics#/media/File:Tectonic_plates_(2022).svg)).

## MJERENJE GEOLOŠKOG VREMENA

**Apsolutni proračuni geoloških događaja vrše se mjerenjem raspada određenih radioaktivnih elemenata u mineralima eruptivnih stena.**

Stijene su sačinjene od brojnih sitnih kristala, a svaki od njih se obično sastoji od nekoliko hemijskih elemenata poput gvožđa, magnezijuma, itd. Većina ovih elemenata su u prirodi stabilni i ne mijenjaju se tokom vremena, ali postoje i određeni elementi čija atomska struktura u normalnom stanju nije stabilna. Atomi pojedinih elemenata imaju osobinu da se tokom vremena pretvore u atome drugog elementa. Ovaj proces naziva se **radioaktivni raspad**, dok se ti elementi zovu radioaktivni elementi. Ako postoji mnoštvo atoma originalnog elementa (element roditelj), njegovi atomi će se pretvarati (raspadati) u atome drugog elementa (element kćerka) prema unaprijed poznatoj brzini ili stopi raspada. Na osnovu tih postavki izvodi se zaključak kako se protok vremena može mjeriti u skladu sa smanjenjem broja atoma elementa roditelja i povećanjem broja atoma elementa kćerke. Do danas je usavršeno preko 40 različitih metoda radiometrijskog datiranja, od kojih je svaka zasnovana na drugačijem radioaktivnom izotopu. Termin "izotop" označava atome istog elementa, od kojih svi imaju isti broj protona u jezgri, ali različit broj neutrona (i samim time različitu masu). Na primjer, ugljenik ima izotope mase 12, 13 i 14 koji se označavaju kao ugljenik-12, ugljenik-13, ugljenik-14 (ili skraćeno C12, C13, C14). Od njih je jedino ugljenik-14 radioaktivan.

Apsolutna starost geoloških događaja se može odrediti radiometrijskim datiranjem, koje mjeri raspad određenih radioaktivnih elemenata u mineralima koji se formiraju u magmatskim stijenama.

**C-14 ima poluživot od 5730 godina i koristi za datiranje bioloških materijala, kao što su drvo ili kost, do 40 000 i 70 000 godina starosti.**

Vjerovatnoća da će se radioaktivni roditeljski atom (npr. uranijum-235) raspasti u stabilan atom kćer (olovo-207) je konstantna tokom vremena. Kao rezultat, svaki element ima određeno vrijeme poluraspada. **Poluživot U-235, na primjer, iznosi oko 0,7 milijardi godina**, što znači da će se u svakom periodu od 0,7 milijardi godina polovina atoma U-235 prisutnih na početku perioda raspasti u Pb-207. Odnos roditeljskih i kćeri atoma u uzorku stijene tako daje procjenu starosti same stijene.

Radiometrijski se mogu datirati samo magmatske stijene, tako da se starost sedimentne stijene koja sadrži fosile mora procijeniti datiranjem magmatskih formacija iznad ili ispod nje.

Prije nego što je radioaktivnost otkrivena, geolozi su ustanovili relativnu starost (tj. ranije u odnosu na kasnije) sedimentnih stijenskih formacija primjenjujući princip da se mlađi sedimenti talože iznad starijih. Slojevi sedimenta taloženi u različito vrijeme nazivaju se slojevima.

Različiti slojevi imaju različite karakteristike i često sadrže karakteristične fosile vrsta koje su postojale kratko vrijeme i stoga su oznake doba u kojem su živjele. Koristeći takve dokaze, geolozi mogu uporediti istovremene slojeve na različitim lokalitetima.

**Preciznost procjene starosti opada sa porastom starosti stena.** Na mnogim lokacijama taloženje sedimenata nije kontinuirano, a sedimentne stijene su erodirane.

Neki geološki periodi su predstavljeni slojevima na samo nekoliko mjesta na Zemlji.

**Uopšteno gledajući, što je stariji geološki period, teže je naći sloj stena koji je iz tog vremena zbog erozije i metamorfoza ili velike dubine na kojoj se nalaze.** Kanjoni su izuzetak. Mjesta dugih i neisprekidanih nalaza su obično u okeanima i jezerima.

Većina era i perioda geološke vremenske skale) imenovani su i poređani prije Darwinovog vremena. Ove geološke ere i periode razlikovale su se, i još uvijek se najlakše prepoznaju u praksi, po karakterističnim fosilnim taksonima.

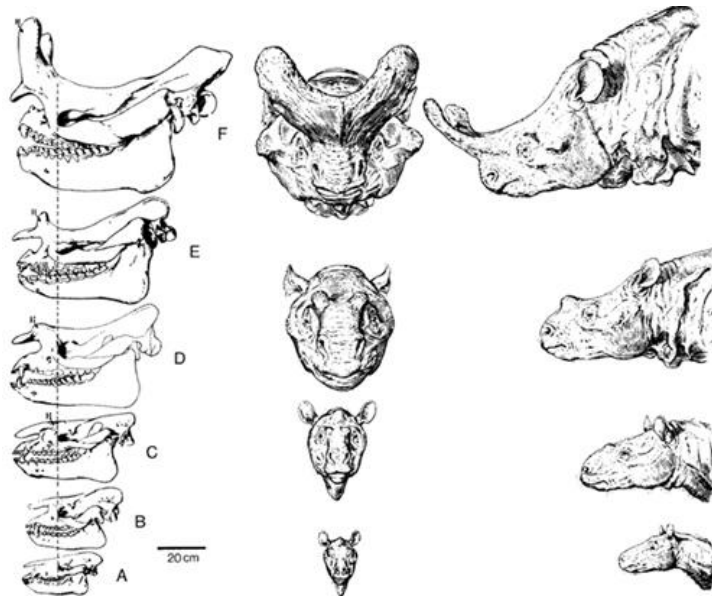
Fanerozojsko vrijeme (čiji je početak obilježen prvim pojavljivanjem različitih životinja) podijeljeno je na tri ere, od kojih je svaka podijeljena na periode. Često se naučnici pozivaju na ove podjele i na epohe na koje se dijele kenozojski periodi. Bitno je naučiti slijed era i perioda, kao i nekoliko ključnih datuma, kao što je početak paleozojske ere (i kambrijskog perioda, prije 541 milion godina ili 541 mil. god), mezozojske ere (i Trijaski period, 252 mil.god), kenozojska era (i paleogen ili tercijarni period, 66 mil. god), i epoha pleistocena (2,58 miliona godina).

Eon	Era	Period	Epoha	Vrijeme (starost u milionima godina)	Dešavanja u živom svijetu	
FANEROZOIK	<b>Kenozoik</b> (savremeno doba- dominacija sisara i skrivenosjemenica)	<b>Kvartar</b>	Holocen	0,01 (0,045)	Pojava čovjeka	
			Pleistocen	2,0 (1,8)		
		<b>Tercijar</b>	pliocen	5,1 (5,0)	Dominacija insekata, ptica i sisara na kopnu; dominacija skrivenosjemenica	
			Miocen	24,6 (2,0)		
			Oligocen	38,0 (37,0)		
			Eocen	54,9 (54,0)		
	Paleocen		65,0			
	<b>Mezozoik</b> (podjela pangeje na kontinente; dominacija gmizavaca i golosjemenica)	<b>Kreda</b>	/	144	Nestanak dinosaurususa	
		<b>Jura</b>	/	213	Prve ptice	
		<b>Trijas</b>	/	248	Prvi dinosaurusi i prvi sisari	
	<b>Paleozoik</b> (nastanak Pangeje- dominacija beskičmenjaka i nižih biljaka)	<b>Perm</b>	/	286	Razvoj gmizavaca i potiskivanje vodozemaca; veliko izumiranje morskih beskičmenjaka.	
		<b>Karbon</b>	/	360	Dominacija paprati; širenje vodozemaca	
		<b>Devon</b>	/	408	Dominacija riba; pojava prvih insekata i vodozemaca; razvoj mahovina i papratnica	
		<b>Silur</b>	/	438	Invazija kopna od strane biljaka i paukova	
		<b>Ordovicijum</b>	/	505	Prve ribe; pojava viših biljaka	
		<b>Kambrijum</b>	/	590	Fosili kičmenjaka	
	Prekambrijum	<b>Proterozoik</b>			2500	Pojava eukariota i najraniji fosili životinja
		<b>Arheozoik</b>			3800	Pojava života i dominacija Prokariota

## Fosilni zapisi

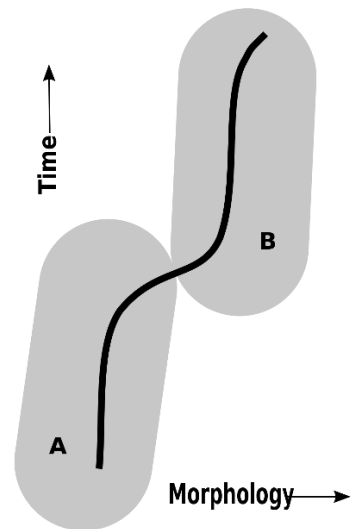
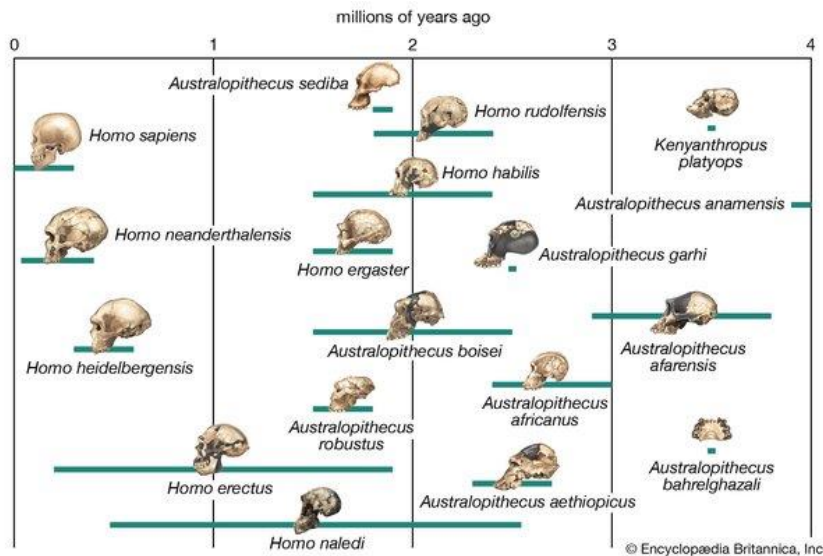
U većini slučajeva, ubrzo nakon smrti, ostaci biljaka i životinja bivaju razoreni kroz procese truljenja, ostavljajući u najboljem slučaju samo nekoliko fragmenata najtvrdih kostiju. U izuzetnim okolnostima, ovi ostaci se nađu u uslovima u kojima se tkivo mineralizuje, što nam ostavlja okamenjeni trag životinje- *fosil*. Najčešće se fosilizuju oni djelovi životinje koji se najsporije raspadaju (i otud imaju najviše vremena za mineralizaciju): zubi, vilice i ostale kosti. Zbog ovoga, skoro svi fosili su fosili životinjskih kostura. Skup svih fosila nađenih u sedimentnim slojevima u zemlji se naziva *fosilni zapis*, i on predstavlja fizički trag istorije života na našoj planeti. **Fosilni zapis pokazuje ukupnu ugnježdenu hijerarhiju živih bića: fosili iz kasnijih slojeva su kopije sa modifikacijama fosilizovanih životinja iz prethodnih slojeva.** Samim ovim, fosilni zapis je u stvari zapis evolucije, pokazujući nam kako su izgledale vrste u prošlosti, i kako su se one razvijale kroz evolutivne procese.

Ako fosile koji se uklapaju u jednu celovitu hijerarhiju nasleđa poredamo po starosti, dobijamo fosilnu **sekvencu određene vrste**. Primjer takve sekvence su danas izumrli organizmi zvani titanotere, donekle slični današnjim nosorozima.



Adaptirano iz Steven M. Stanley, "Relative Growth of the Titanotheres Horn: A New Approach to an Old Problem", Evolution 1974.

**HRONOVRSTE – različiti stupnjevi unutar jedne linije – *Homo sapiens* i *H. erectus*, na primjer.** Ime *H. erectus* može nestati jer se forma promenila unutar linije. To se zove **PSEUDOIZUMIRANJE**. Pseudoizumiranje (ili filetičko izumiranje) vrste događa se kada su svi članovi vrste izumrli, ali pripadnici vrste kćeri ostaju živi. Izraz pseudoizumiranje odnosi se na evoluciju vrste u novi oblik, s posljedičnim nestankom oblika predaka. Pseudoizumiranje dovodi do toga da odnos između pretka i potomka još uvijek postoji iako vrsta predaka više ne postoji.



© Encyclopædia Britannica, Inc.



Neki dijelovi fosilnog zapisa na određenim lokalitetima pružaju nam detaljnu evolucijsku istoriju, a neke grupe organizama, poput brojnih planktonskih protista sa tvrdim školjkama, ostavile su izuzetno dobar zapis. U nekim aspektima, kao što je vremenska distribucija mnogih viših taksona (npr. tipova i klasa), fosilni zapisi su adekvatni da pruže prilično dobar profil.

U nekim drugim aspektima, fosilni zapisi su vrlo nepotpuni. Shodno tome, porijeklo mnogih taksona nije dobro dokumentovano. Znamo da je fosilni zapis nekompletan jer kontinuirano istraživanje neprestano donosi nova otkrića; na primjer, većina otkrića koja su dokumentovala porijeklo ptica od dinosaurusu napravljena je u kineskim naslagama u posljednjih 20 godina.

Nepotpunost fosilnog zapisa ima nekoliko uzroka.

- (1) mnoge vrste organizama rijetko postaju fosilizirane jer su osjetljive, ili im nedostaju tvrdi dijelovi, ili zauzimaju okruženja – kao što su vlažne šume – gdje je propadanje brzo.
- (2) Budući da se sedimenti formiraju na bilo kojem lokalitetu vrlo epizodično, oni obično sadrže samo mali dio vrsta koje su naseljavale regiju tokom vremena.
- (3) Ako se pronađu fosili, sedimenti koji sadrže fosile moraju se učvrstiti u stijenu; stijena mora postojati milionima godina bez erozije, metamorfoze ili potapanja; a stijena tada mora biti izložena i dostupna paleontolozima.
- (4) Konačno, evolucijske promjene od interesa možda se nisu dogodile na nekoliko lokaliteta koji imaju slojeve iz pravog vremena. Vrsta koja je razvila nove karakteristike negdje drugdje može se pojaviti u lokalnom zapisu potpuno izmjenjena, nakon što je migrirala u to područje. Paleontolozi se slažu da otprilike 250.000 opisanih fosilnih vrsta predstavlja daleko manje od 1 % vrsta koje su živjele u prošlosti.

**Paleontolozi sa većom sigurnošću diskutuju rodove i više taksonomske kategorije jer je prepoznavanje da li su dva nalaza dve različite vrste veoma teško.**

## **Odnosi između filogenije i fosilnih nalaza**

Filogenetski odnosi mogu biti objašnjeni dobijanjem informacije o izumrlim vrstama. U bilo kojoj filogenetskoj analizi, informacija o polarnosti promena filogenetski informativnih karakteristika je neobično važna. Fosili mogu pružiti presudnu informaciju.

*Na primjer, evolucija artikularne kosti koja povezuje sisare sa primitivnim gmizavcima bila je skoro nezamisliva dok nisu nađeni fosili therapsida.*

## **Brzina Evolucije**

Evolucijski rezultati ponekad su vidljivi na vremenskoj skali pojedinačne generacije, ali ih obično vidimo i proučavamo kumulativno na dužim eksperimentalnim, ekološkim/povijesnim i geološkim skalama vremena. Brzine evolucije su važne jer su ključne indikacije kako evolucijski proces funkcioniše - stope kvantificiraju evolucijske promjene u odnosu na vrijeme.

## **FILOGENETIČKA (FILETIČKA) BRZINA EVOLUCIJE – brzina promjene pojedinačnih karaktera ili kompleksa karaktera unutar određene linije.**

Posle visoke početne brzine promjene, te linije evoluiraju veoma sporo, a njihovi živi predstavnici često su označeni kao "živi fosili". **Živi fosil** jeste postojeći takson koji kozmetički liči na srodne vrste poznate samo iz fosilnog zapisa. Da bi se smatrala živim fosilom, vrsta mora biti starija u odnosu na vrijeme nastanka postojeće klade. Živi fosili iskazuju stazu na geološki dugim vremenskim skalama. Popularna literatura može pogrešno tvrditi da "živi fosil" nije prošao nikakvu značajnu evoluciju od fosilnih vremena, praktično bez molekularne evolucije ili morfoloških promjena. Naučna istraživanja su više puta diskreditovala takve tvrdnje. Minimalne površne promjene živih fosila pogrešno su proglašene odsustvom evolucije, ali one su primjeri stabilizacijske selekcije, koja je evolucijski proces i možda dominantan proces morfološke evolucije (Lynch, M (1990)). Neki od primjera živih fosila su: cikas, velvičija, sekvoja, i mangolija.

**Prosječne brzine evolucije su ekstremno male. Prosječne brzine se računaju se kao razlika između srednjih vrednosti na početku i na kraju vremenskog intervala, podjeljeno tim intervalom**

$$(y_{\text{mean}_1} - y_{\text{mean}_0})/T$$

T se mjeri u milionima godina.

J. B. S. Haldane (1949.) predložio je izračunavanje brzine pomoću jedinice nazvane darwin koja zahtijeva dvije kvantitativne vrijednosti :

(1) razlika između srednjih vrijednosti prirodnih logaritamskih vrijednosti dvaju uzoraka,  $d = y_2 - y_1$ ; (2) vremenski interval između uzoraka,  $I = t_2 - t_1$ , mjeran ili procijenjen u milionima godina. Rezultirajuća stopa u darwinovima je:  $D = d / I$

**Mjera brzine evolucije je darwin = promjena za faktor baze prirodnog logaritma (2.718) po milionu godina.**

Oprez! Paleontološka literatura koja se tiče brzine evolucije ne daje dobre slučajne uzorke jer su paleontolozi obično usmjereni na karaktere koji pokazuju evolutivnu promjenu, a ignorišu karaktere koji **n i j e s u d i s k r i m i n a t i v n i**.

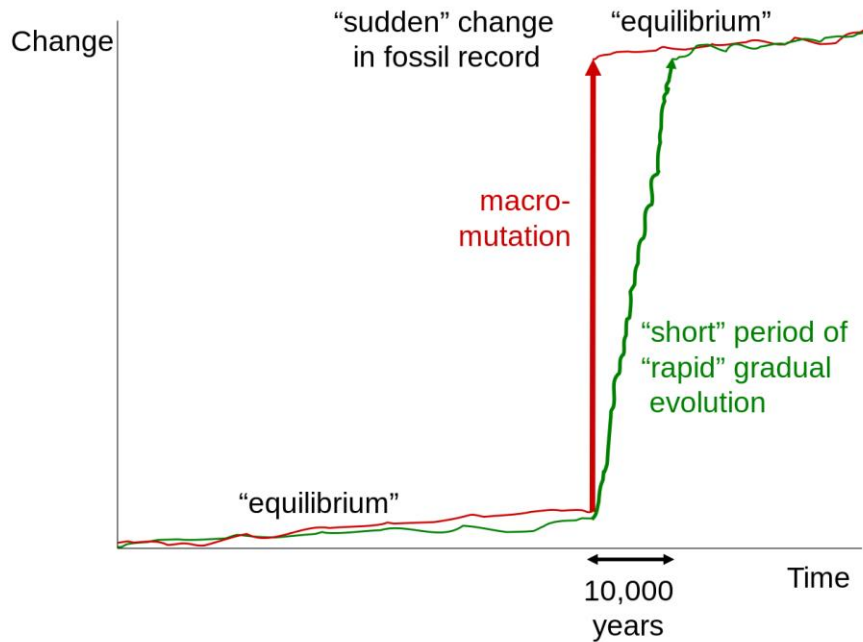
**(KONZERVATIVNI KARAKTERI** tj oni sa vema malom brzinom evolucije).

**Brzina evolucije unutar predačko – potomačke serije fosila.**

Fosilni zapis evolucijske progresije obično se sastoji od *isprekidane ravnoteže* ([punctuated equilibrium](#) - teorija koja predlaže da kada se vrsta pojavi u fosilnom zapisu, populacija će postati stabilna, pokazujući male evolucione promjene tokom većeg dijela svoje geološke istorije), sa vrstama koje se iznenada pojavljuju, kao rezultat *makromutacija*, i na kraju



nestaju, u mnogim slučajevima blizu milion godina kasnije, bez ikakve promjene spoljašnjeg izgleda. Ovo je kompatibilno sa evolucijom manjim mutacijskim koracima jer se razdoblja od nekoliko desetina hiljada godina jedva mogu razlikovati u fosilnom zapisu: relativno brza evolucija uvijek će se pojaviti kao iznenadna promjena u nizu fosila. Charles Darwin u „*O porijeklu vrsta*“ je primjetio da bi period promjene bio veoma kratak u poređenju sa ukupnim postojanjem vrste. Generalno, morfološke promjene su prebrze da bi se sigurnošću odredilo od koje recentne vrste potiče nova vrsta, kao što se to naprimjer vidi u evoluciji modernih ljudi.



Alternativna objašnjenja obrasca evolucije uočenog u fosilnom zapisu. Iako naizgled trenutna promjena može izgledati kao makromutacija, postupna evolucija prirodnom selekcijom lako bi mogla dati isti rezultat, budući da je 10 000 godina jedva zabilježeno u fosilnom zapisu.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Punctuated\\_equilibrium#/media/File:Punctuated\\_Equilibrium.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Punctuated_equilibrium#/media/File:Punctuated_Equilibrium.svg)

## **Zaključak – značaj fosilnih nalaza**

**JEDINO ONI MOGU DA DAJU INFORMACIJE O:**

- organizmima koji više ne postoje
- velikim izumiranjima i diverzifikacijama živog sveta
- kretanjima kontinenata
- apsolutnoj vremenskoj skali evolucionih događaja
- fenotipskim transformacijama unutar pojedinih evolucionih linija
- dinamici promene biološke raznovrsnosti od nastanka živih bića do danas