

# DRUGA VJEŽBA

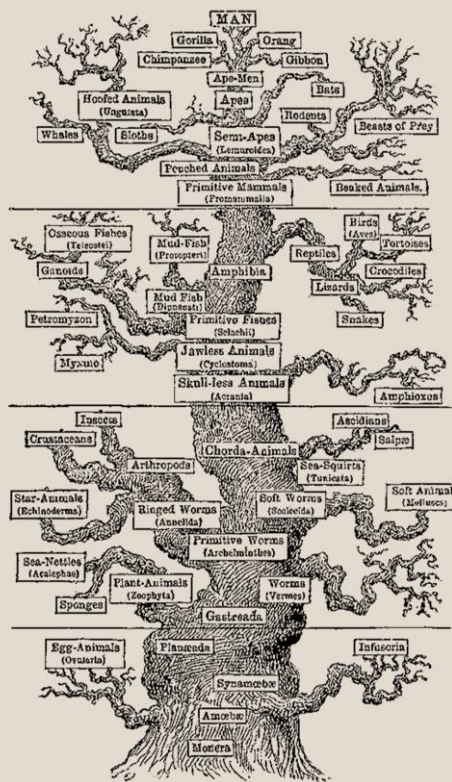
## INTERPRETACIJA EVOLUCIJSKIH STABALA



doc. dr. sc.  
**JOSIP SKEJO**

# SADRŽAJ

## STRUKTURA, SKUPINE, SVOJSTVA



### STRUKTURA

list, grana, čvor  
korijen (neukorjenjeno i ukorjenjeno stablo)  
bazalna i vanjska skupina  
vrste dendrograma

### SKUPINE

polifilija (višestruki postanak)  
monofilija (holofilija i parafilija)

### SVOJSTVA

analogija ili homoplazija (višestruki postanak)  
homologija ili apomorfija (sinapomorfija i pleziomorfija)

# STRUKTURA

## LISTOVI, GRANE I ČVOROVI

**LISTOVI**

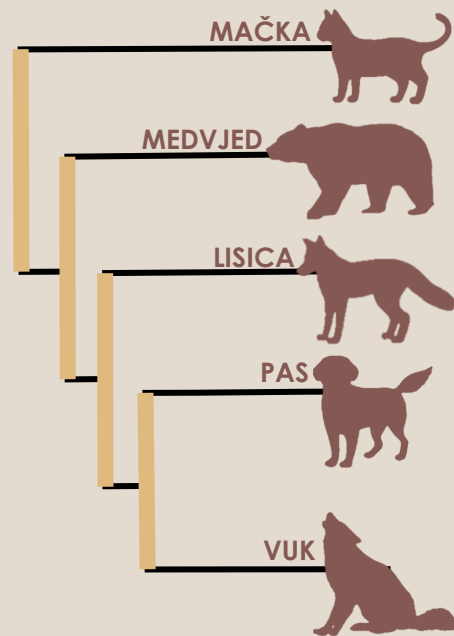
(TIPS / LEAVES)

**GRANE**

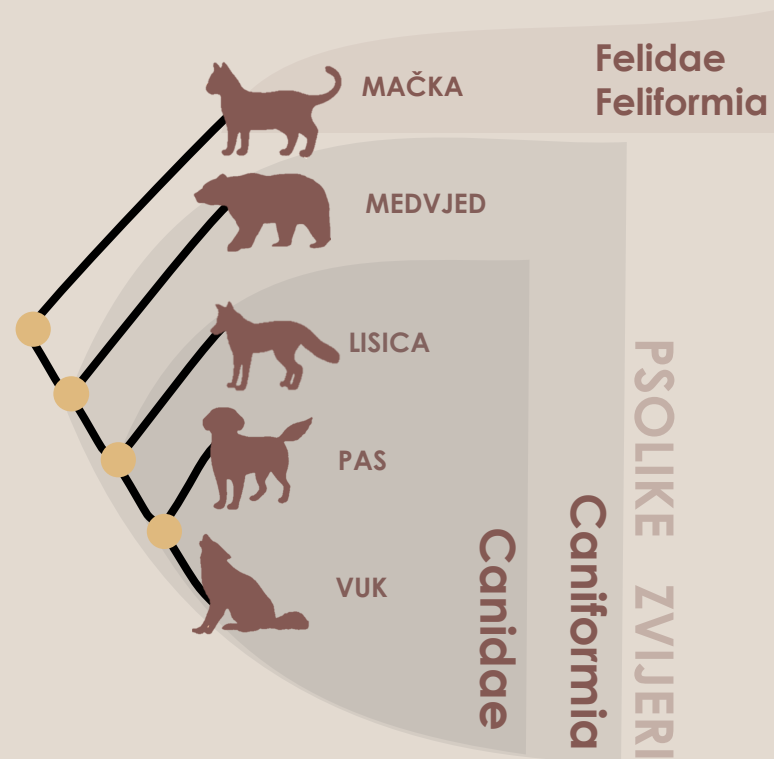
(BRANCHES / EDGES)

**ČVOROVI**

(NODES)



=

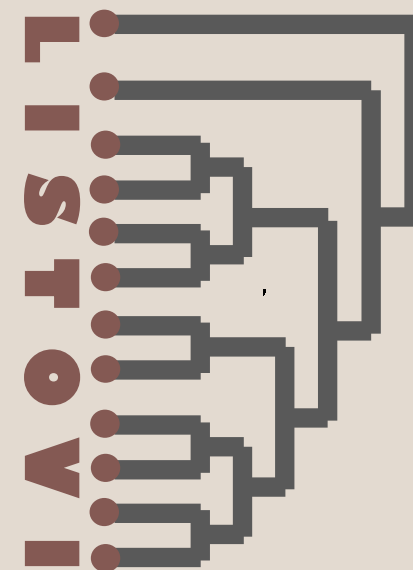
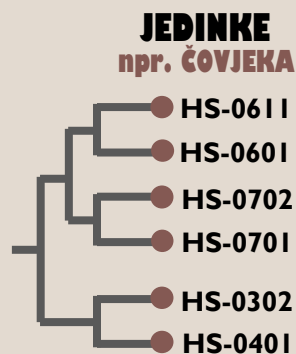


# STRUKTURA

## LISTOVI ILI VRHOVI (eng. leaves, tips)

Listovi ili vrhovi stabla takse su koje proučavamo.  
U kladistici to su najčešće (pod)vrste, rodovi ili porodice,  
a u molekularnoj filogenetici jedinice iz kojih je izolirana DNA.

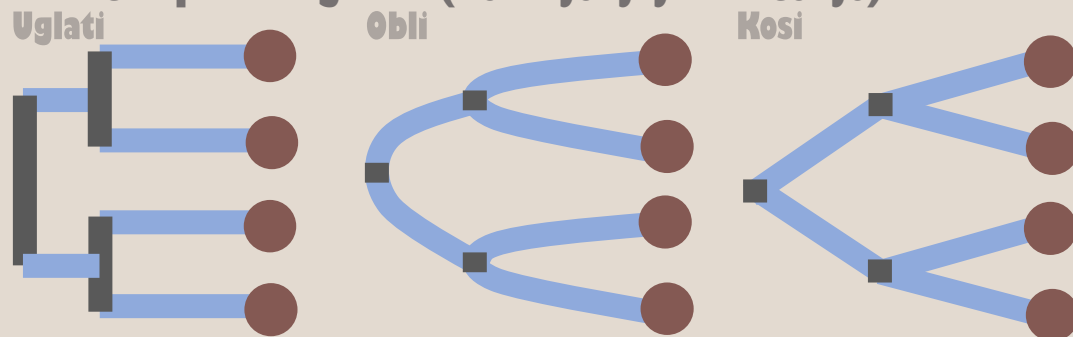
### Primjeri gdje su listovi



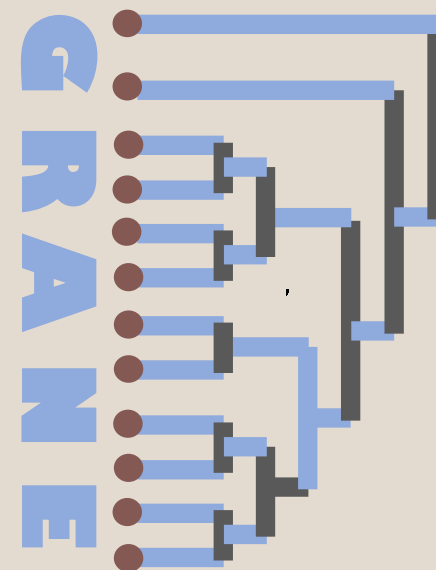
# STRUKTURA

## GRANE (eng. branches, edges)

Različiti prikazi grana (ne mijenjaju značenje)



Grane predstavljaju odnose između proučavanih taksona.

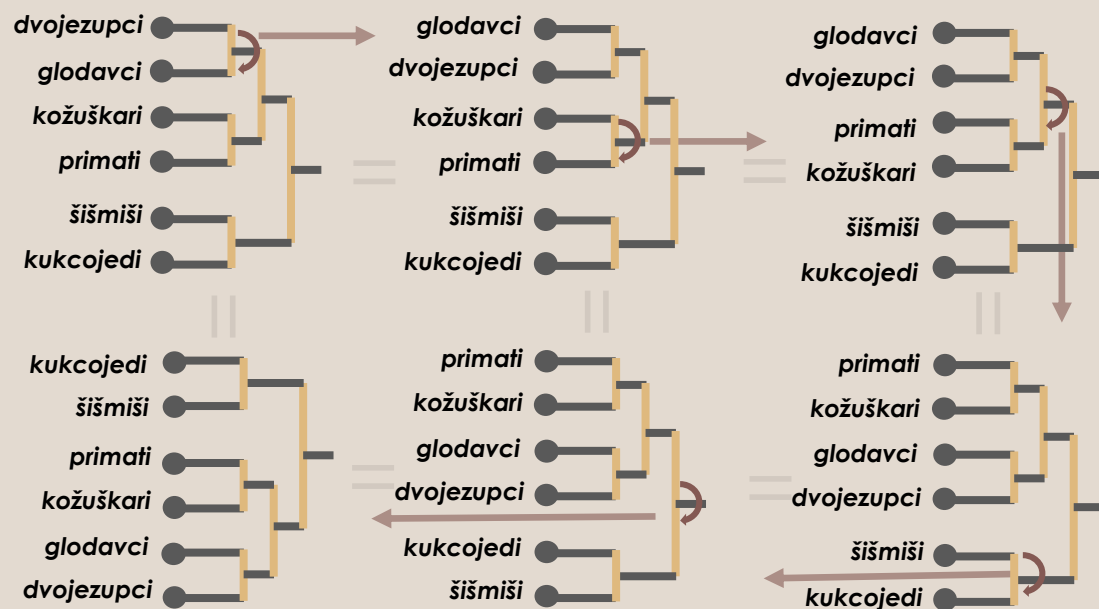


**Vanjska grana** započinje čvorom, a završava listom, a **unutarnja** započinje i završava čvorom.

Duljina grane najčešće nije informativna, ali može biti ako prikazuje postotak genske razlike ili vrijeme. Interpretiramo **položaj grana**, tj. koje su **sestrinske** kojima.

# STRUKTURA

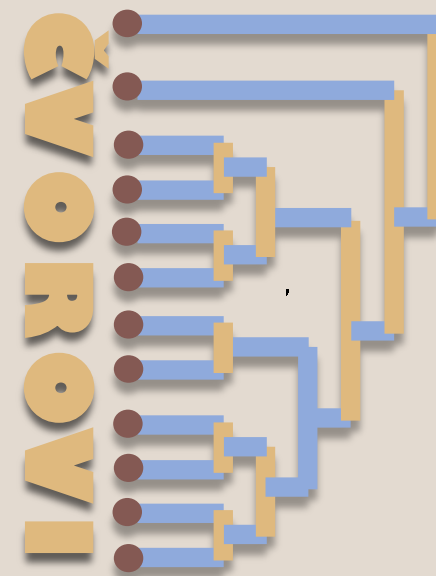
## ČVOROVİ (eng. nodes)



Duljina/širina čvora nije informativna, a **položaj** je.

Čvor predstavlja pretka, a **grane** koje iz njega proizlaze predstavljaju njegove **potomke**.

**Grane** koje pripadaju nekom čvoru **možu se rotirati bez da se promijeni značenje**.



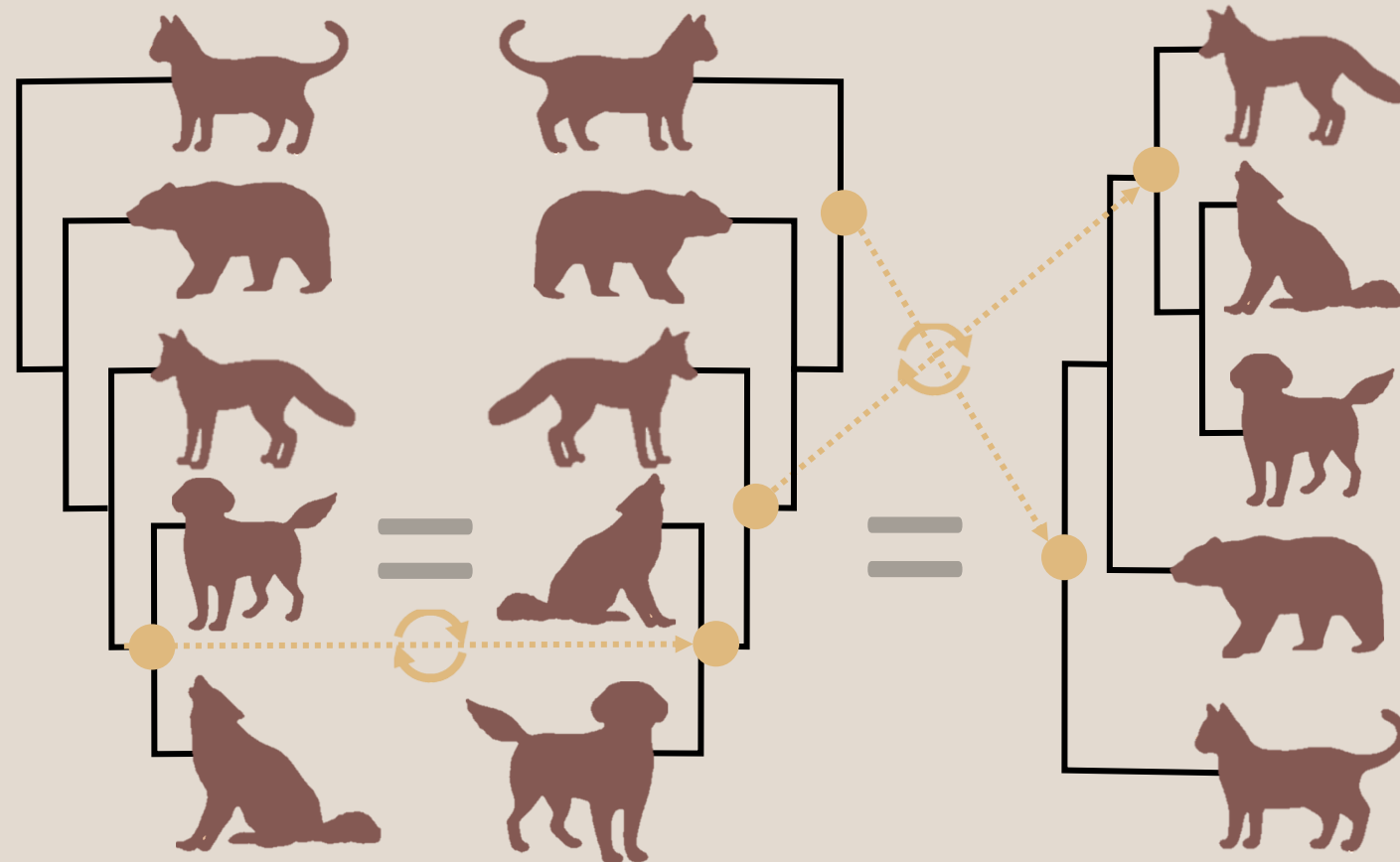
# ROTACIJA ČVORA

Primjer s mačkom, medvjedom, lisicom, psom i vukom

Ponovimo!

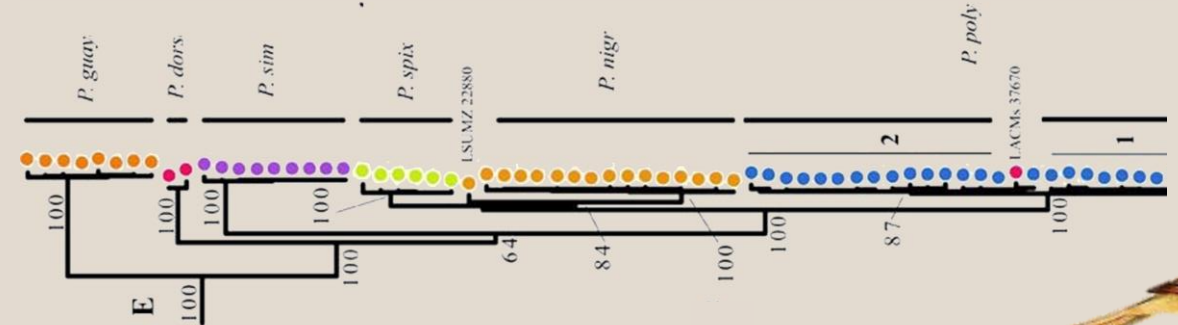
Rotacija  
ne mijenja  
značenje ni  
interpretaciju  
čvora i njegovih  
potomaka.

 ROTACIJA

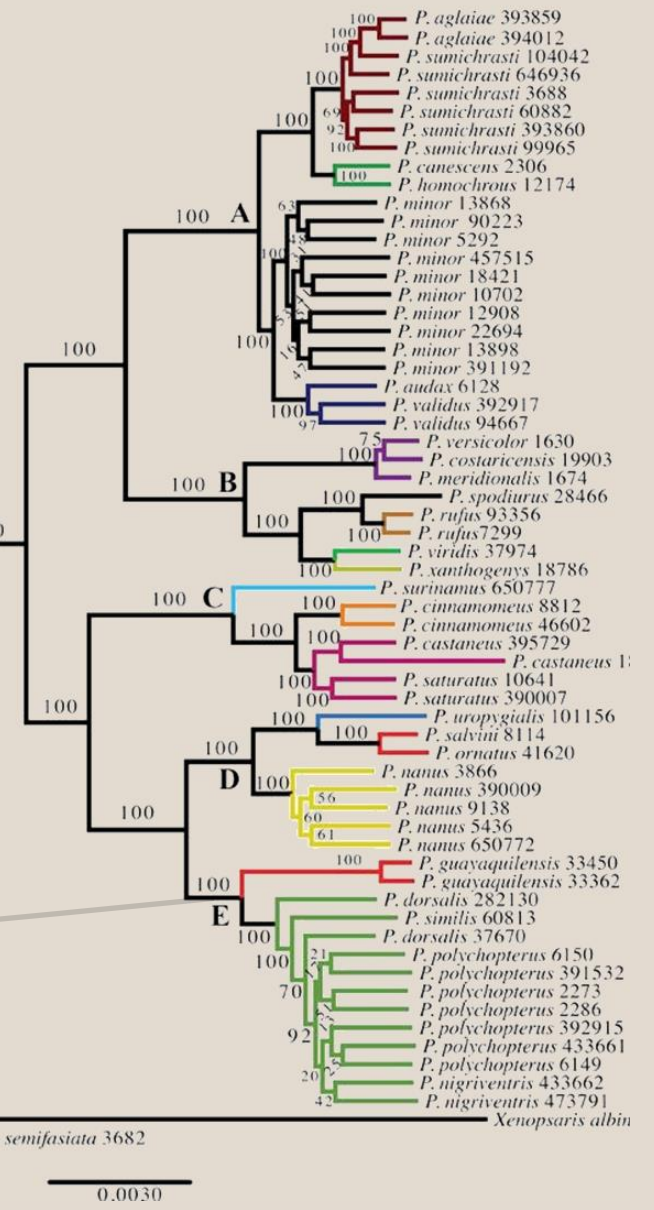
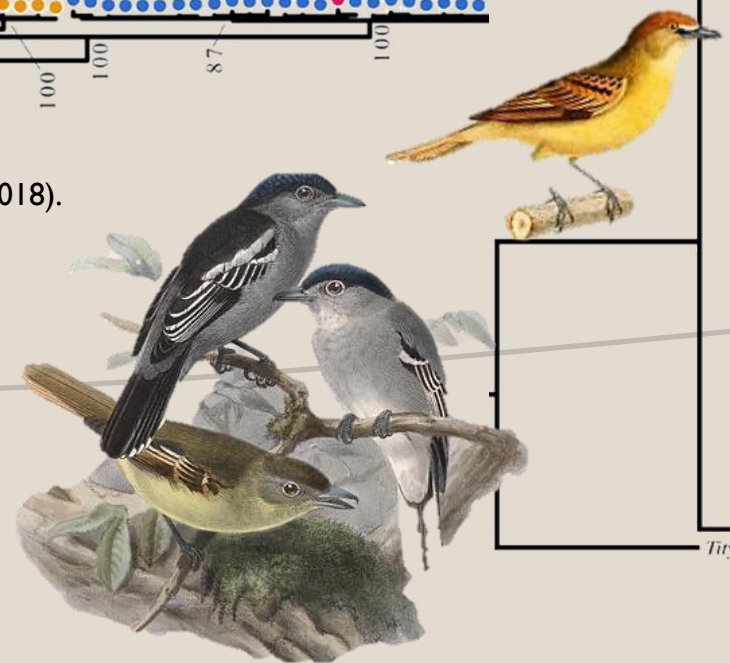
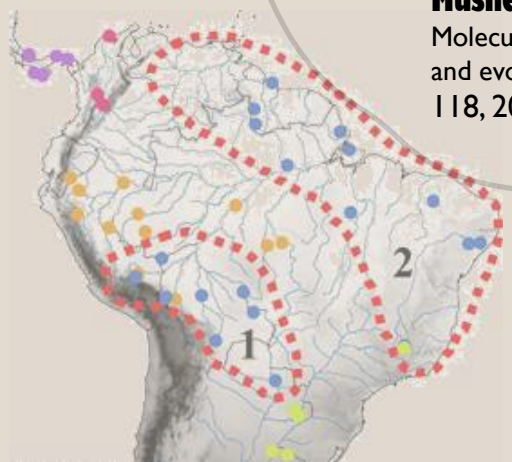


# PONOVIMO NA PRIMJERU

## *Pachyramphus* u Južnoj Americi



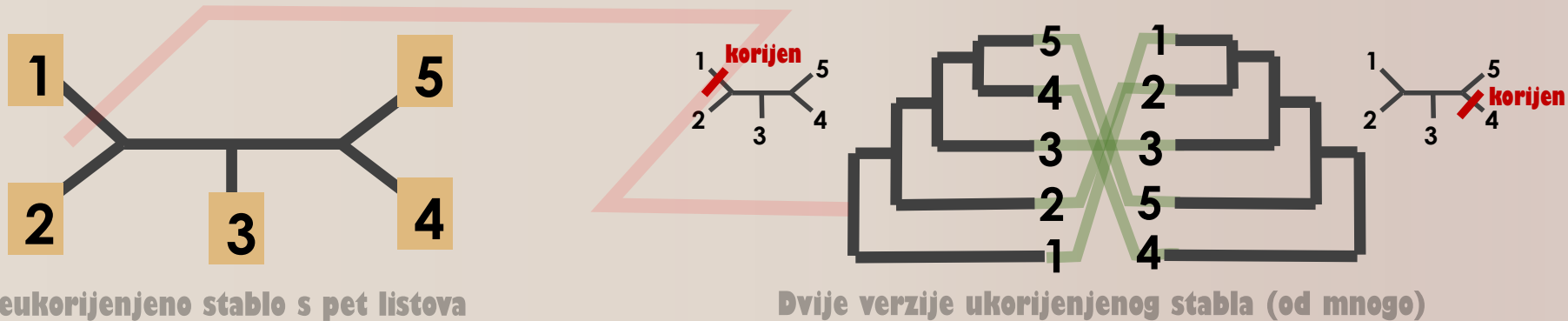
**Musher & Cracraft (2018).**  
Molecular phylogenetics  
and evolution,  
118, 204-221.





# NEUKORJENJENO STABLO

## STABLO KOJEM SE NE ZNA POLOŽAJ KORIJENA

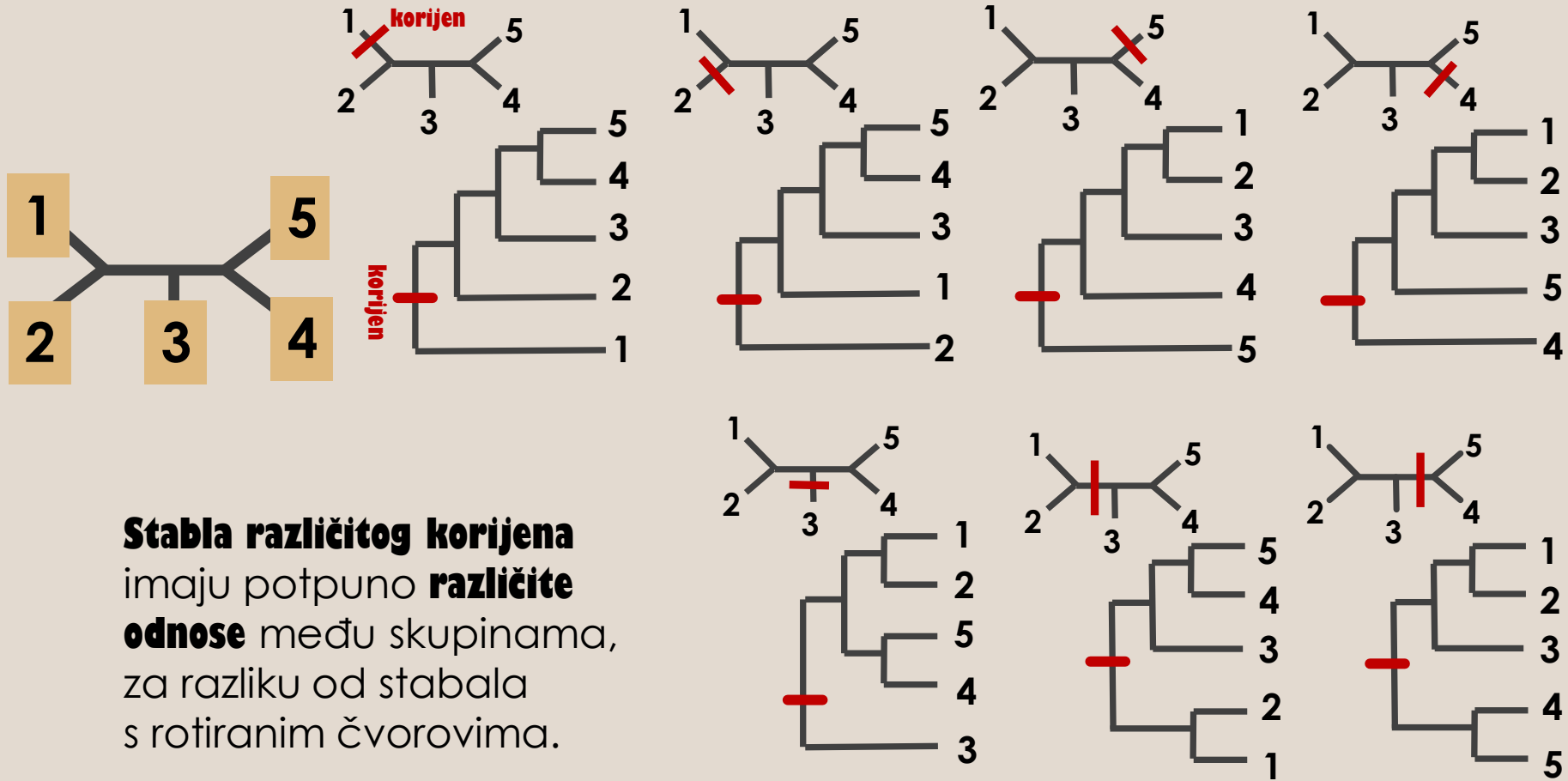


**Korijen** predstavlja pretka proučavanih skupina.

**Unutarnje skupine** su one skupine koje proučavamo (npr. vrste nekog roda).

**Odnosi među unutarnjim skupinama** prikazuju se **neukorijenjenim stablom** dok se ne zna gdje je točno korijen.

# Mogući korijeni stabla s pet listova

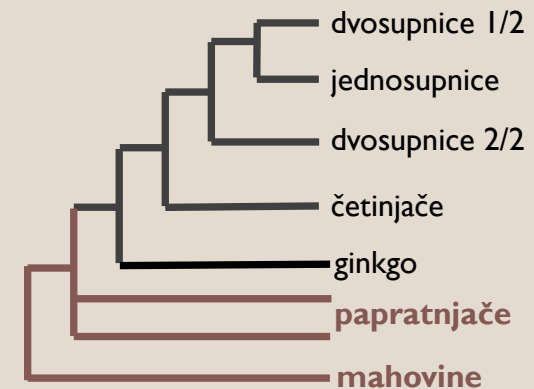
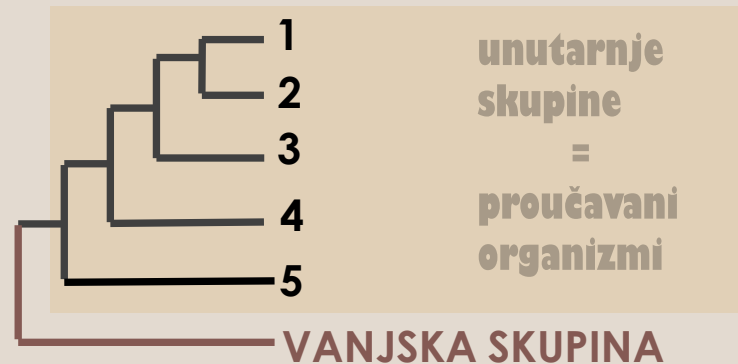


**Stabla različitog korijena** imaju potpuno **različite odnose** među skupinama, za razliku od stabala s rotiranim čvorovima.

# VANJSKA SKUPINA

## ONA KOJOM SE UKORJENJUJE STABLO

Dendrogram se ukorjenjuje vanjskom skupinom. **Vanjska skupina** mora biti **srodna** proučavanim (unutarnjim) skupinama, a opet dovoljno **različita** da se zna da njima ne pripada.

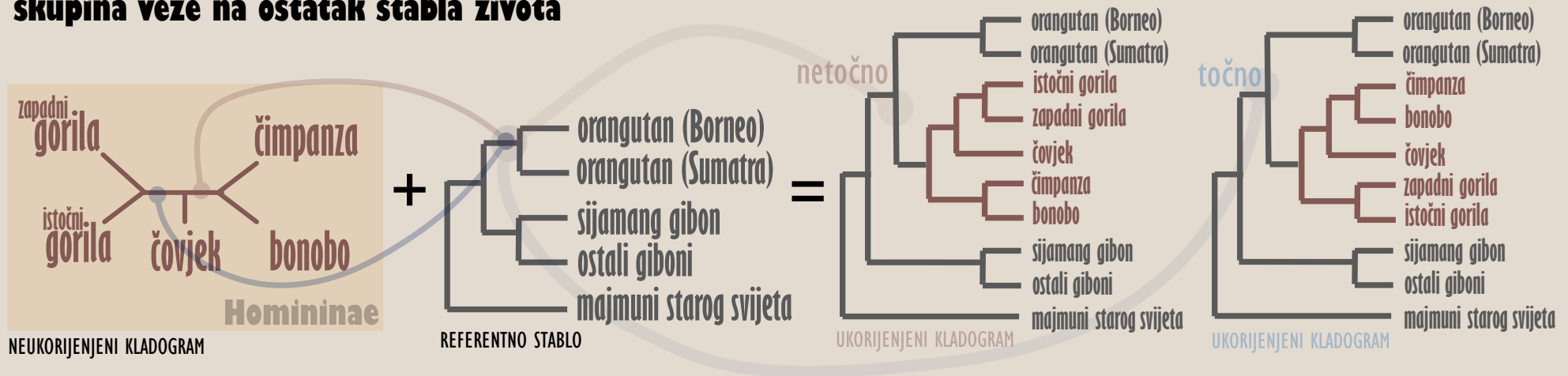


Najčešće se u analizama uključuje nekoliko bližih (srodnijih) i nekoliko daljih vanjskih skupina kako bi se odnosi među unutarnjim skupinama što točnije rekonstruirali. Primjerice, stablo ptica može se ukorijeniti kornjačama, krokodilima i ostalim gmazovima.

# UKORIJENJENO STABLO

## DENDROGRAM KOJEM SE ZNA KORJEN

**Korijen** je **položaj** u stablu **na kojem se stablo proučavanih skupina veže na ostatak stabla života**



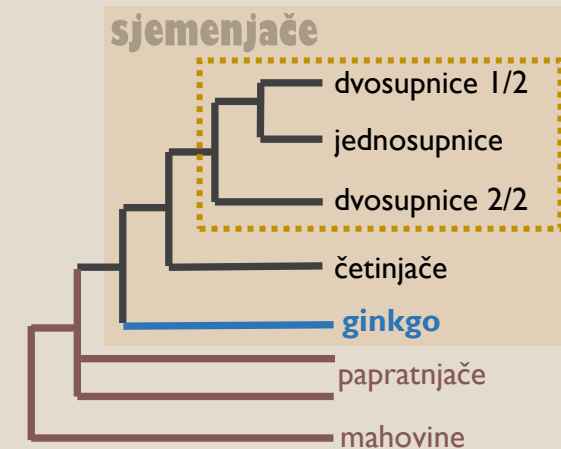
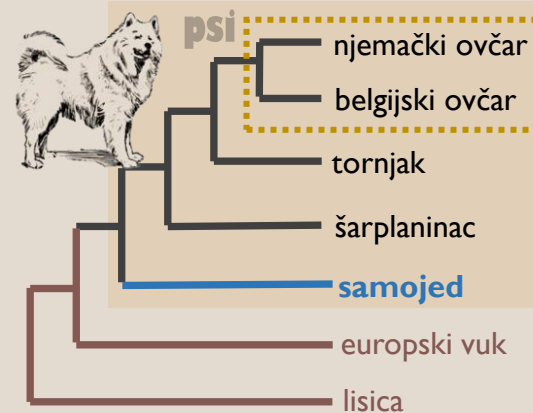
Stablo koje je **složeno prema** poznatim **odnosima iz literature** naziva se **referentno stablo**. Sestrinska vanjska skupina upravo se traži pomoću referentnog stabla.

**Ukorjenjivanje** stabla je **potraga** za mjestom u kojem ćemo **ново stablo povezati sa poznatim stablom**.

# BAZALNA SKUPINA

## PRVO GRANANJE S NAJMANJE POTOMAKA

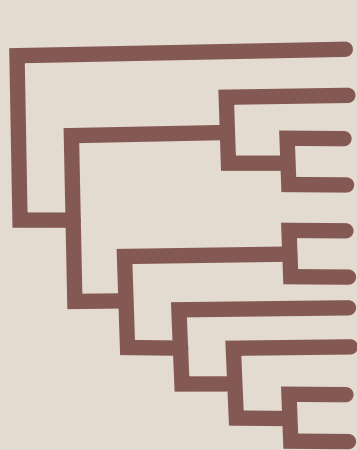
**Bazalna skupina** (eng. *basal group*) je ona koja se među potomcima od zajedničkog pretka grana kao **sestrinska u odnosu na sve druge skupine**, a ima **najmanje potomaka** (listova), dok se skupina koja ima najviše potomaka unutar preostalih u stablu, tj. koja je danas najbogatija potomačkim vrstama naziva **krunska skupina** (eng. *crown group*).



Bazalna skupina **nije** po definiciji **najsličnija pretku** jer ju od njega dijeli i najdulja izolacija. Ovaj varavi zaključak čest je u mnogim znanstvenim radovima. Izraz **živi fosil** često se veže uz bazalnu skupinu. Predačka svojstva mogu biti prisutna u pripadnika krunske grupe ukoliko se varijabilnost, tj. svojstva predaka, tu zadržala te zbog toga izraz živi fosil **gubi značenje**.

# VRSTE DENDROGRAMA

## KLADOGRAM, FILOGRAM I KRONOGRAM



**KLADOGRAM**

**GRANE**

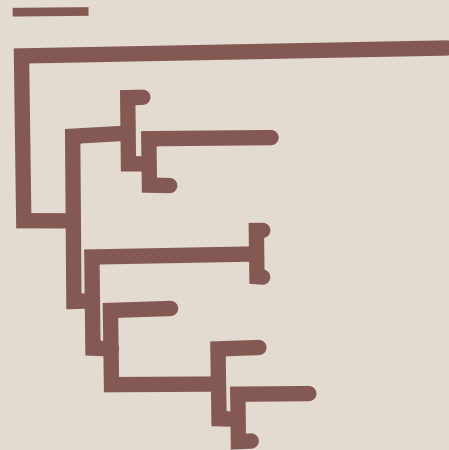
- jednake duljine

**DULJINA GRANE**

- neinformativna

**INTERPRETIRAMO**

- odnose

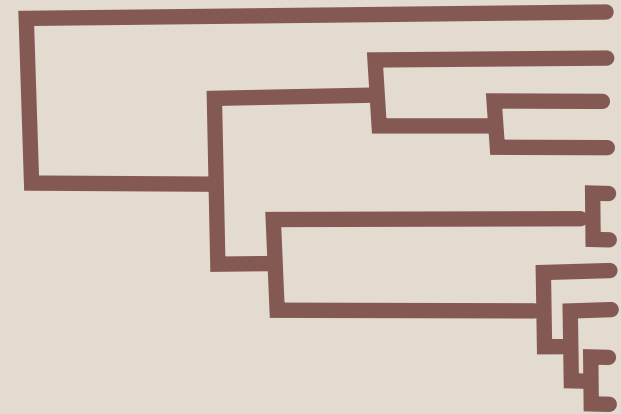


**FILOGRAM**

- različite duljine

- prikazuje količinu razlike

- odnose i udaljenosti



**NEKAD**

**DANAS**

**KRONOGRAM**

- različite duljine

- prikazuju vrijeme

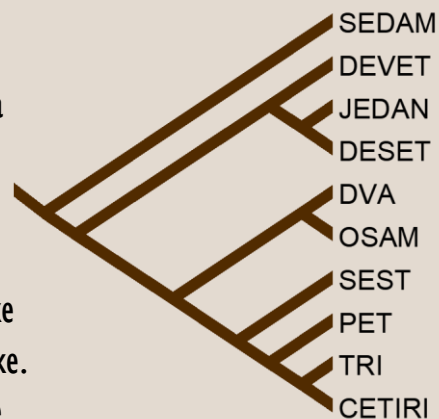
- odnose i vrijeme grananja

# KLADOGRAM

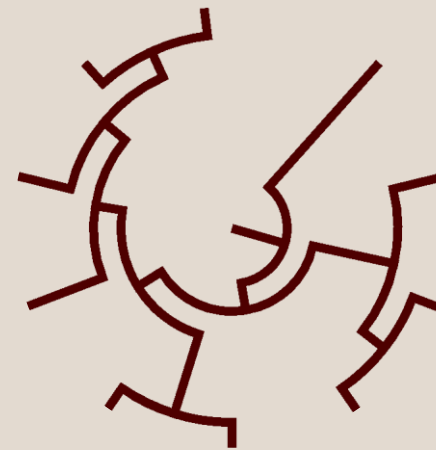
duljina grana neinformativna, iščitavamo odnose

**Kladogram** je najjednostavniji oblik dendrograma u kojem su sve grane jednake duljine računajući od korijena stabla do vrha grane.

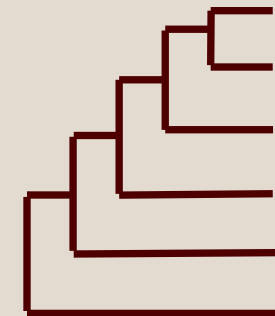
Kladogram se dobija i kao rezultat kladističke analize i kao rezultat molekularne filogenetike. Ulazni podatci za kladogram može biti dakle matrica svojstava i stanja, a može biti i skup sravnjenih nukleotidnih ili proteinskih sekvenci.



PRIMJER KOSOG  
KRONOGRAMA



PRIMJER KRUŽNOG  
(CIRKULARNOG) KRONOGRAMA



PRIMJER UGLATOG  
KRONOGRAMA

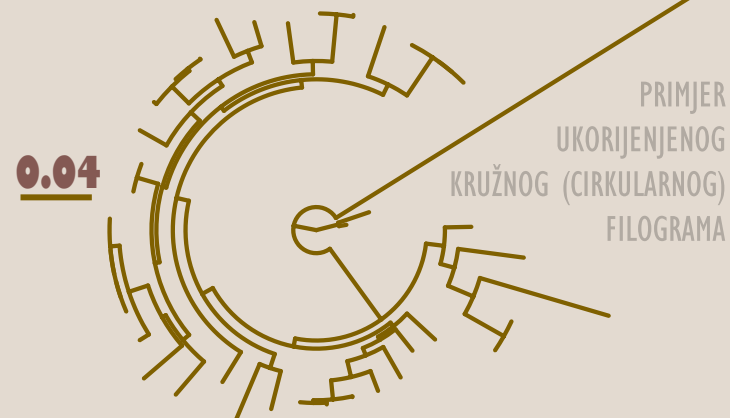
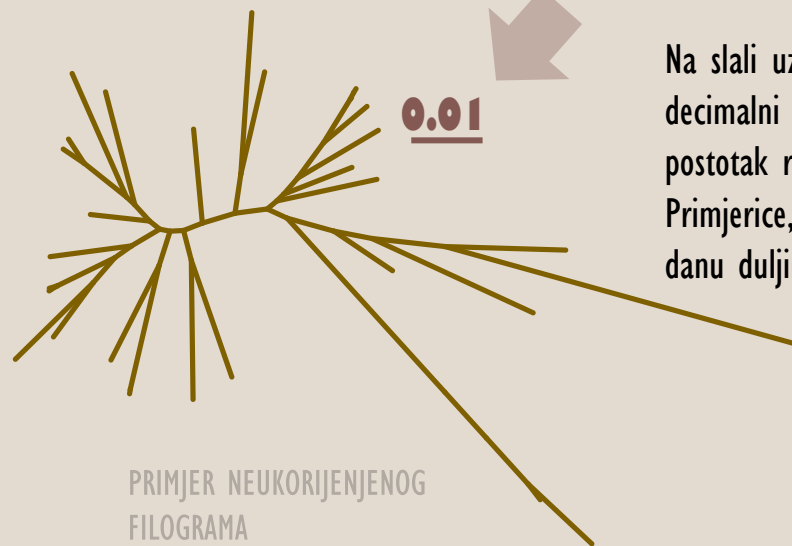
# FILOGRAM

duljina grana predstavlja razliku, <sup>uvv</sup>iščitavamo odnose i udaljenosti

**Filogram** je dendrogram u kojem su grane različite duljine. Filogram se dobija iz matrice udaljenosti (eng. *distance matrix*) u kojoj analiza prikaze postotak udaljenosti između svake dvije sekvence u analizi. Kako bismo dobili filogram, koristimo molekularne sekvence, bilo nukleotida bilo aminokiselina.

## UZ FILOGRAM SE UVIJEK NALAZI SKALA

Na slati uz filogram uvijek je naveden decimalni broj. Taj broj označava koji postotak razlike prikazana skala označava. Primjerice, 0.01 označava 1% razlike za danu duljinu.



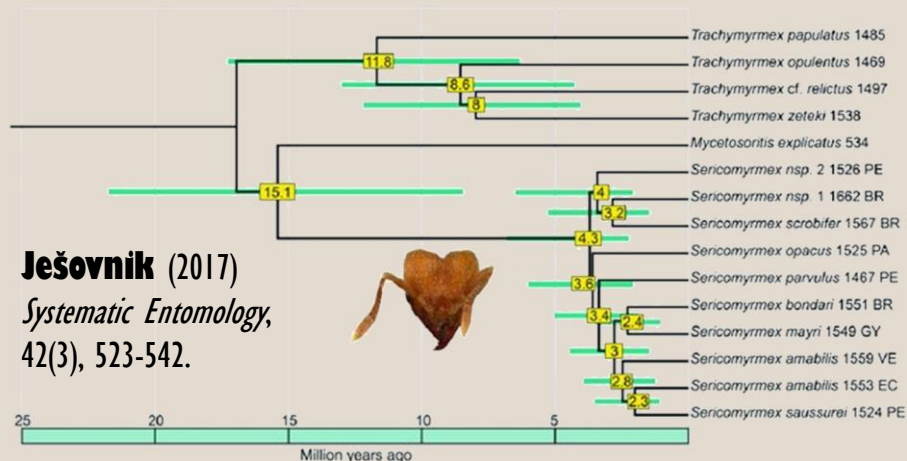
Uz podatak o duljini analizirane sekvence lako izračunamo i apsolutni broj mutacija koju skala prikazuje. Ako je primjerice proučavana sekvenca duga 600 bp, tada uz izračun  $0.01 * 600$  baza dođemo do podatka da prikazana skala označava 6 točkastih mutacija.



# KRONOGRAM

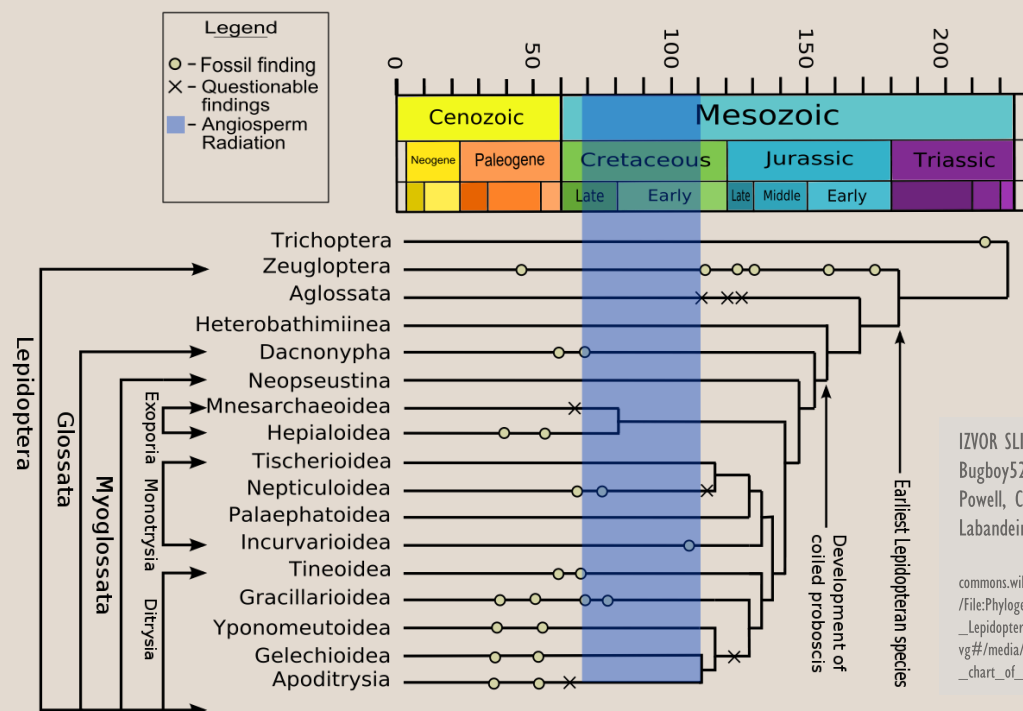
duljina grana predstavlja vrijeme, iščitavamo odnose i starost

**Kronogram** je stablo u kojem su prikazana vremena divergencije predaka. Kronogram se može dobiti ili baždarenjem fosilima ili molekularnim satom.



**Baždarenje fosilima** (eng. *fossil calibration*) označava određivanje starosti grana na temelju izumrlih vrsta (fosila) pridruženih stablu. Fosili moraju biti točno datirani i poznatog taksonomskog položaja.

**Molekularni sat** (eng. *molecular clock*) je metoda koja uz poznati stopu mutacije u milijun godina na osnovi broja mutacija predviđa starost grane.



IZVOR SLIKE:  
Bugboy52.40, Jerry A  
Powell, Conrad  
Labandeira,

commons.wikimedia.org/wiki/  
File:Phylogenetic\_chart\_of  
\_Lepidoptera\_chronogram.svg#/media/File:Phylogenetic  
\_chart\_of\_Lepidoptera.svg

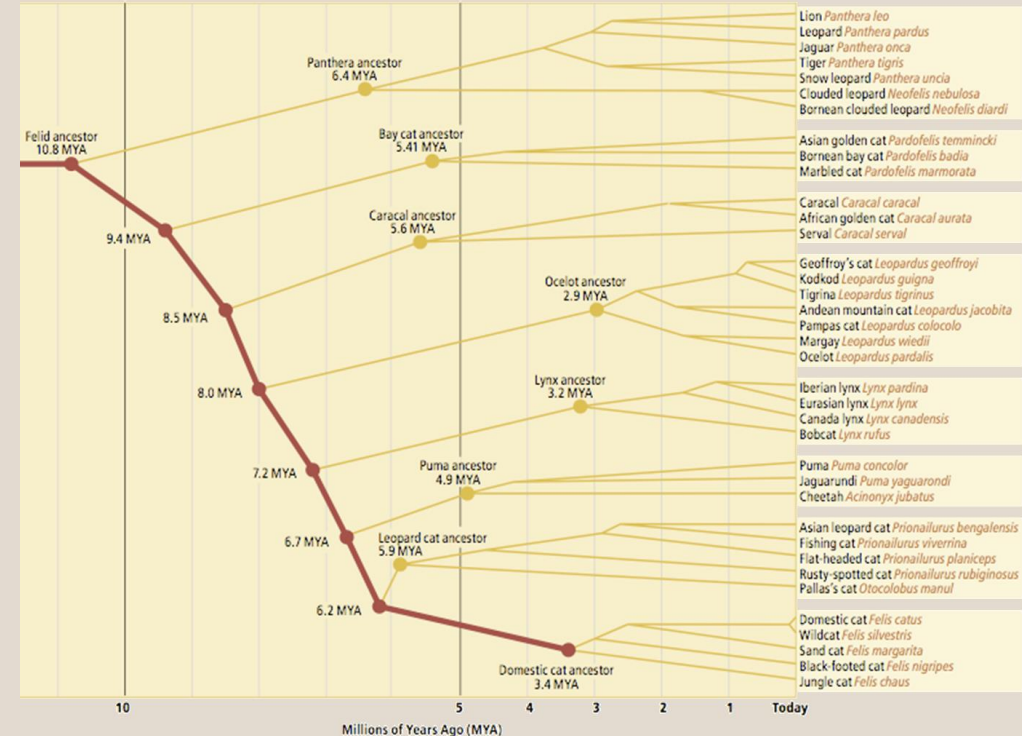
# PRIMJER KRONOGRAMA

## EVOLUCIJA MAČAKA (FELIDAE)

Leopard (*Panthera pardus*) u Keniji, foto ejakob (pixabay.com/users/ejakob-43751/)

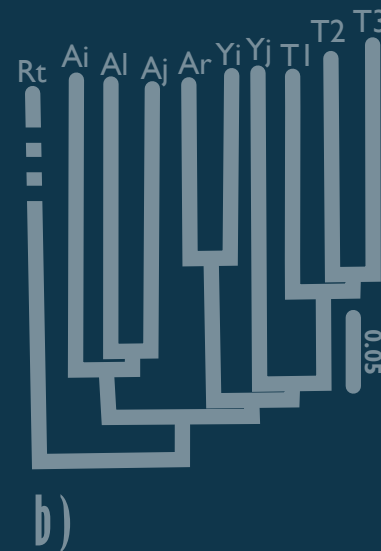
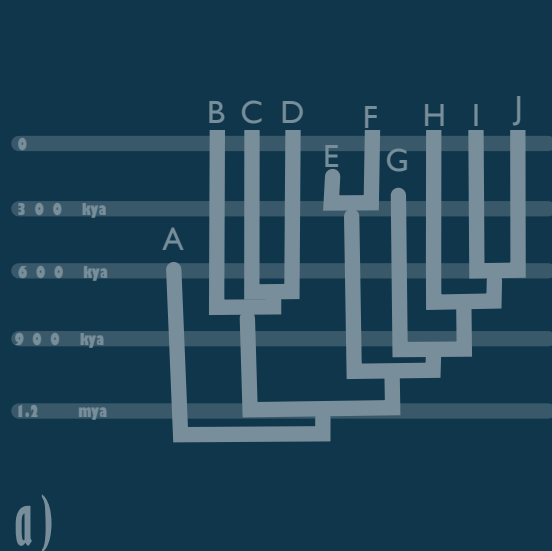


O'Brien & Johnson (2007). The evolution of cats. Scientific American July 2007: 68-75.



# Zadatak 1.

Odredi vrstu dendrograma (kladogram, kronogram ili filogram), označi što predstavljaju listovi (jedinke, vrste, rodove ili neke više sistematske kategorije) te odredi koja je bliža, a koja dalja vanjska skupina.



# PODJELA SKUPINA

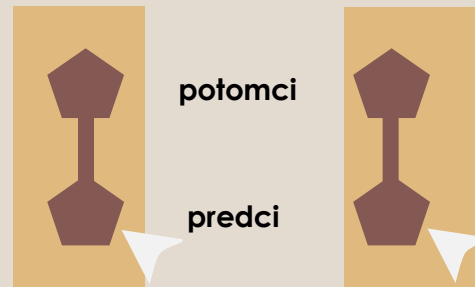
## PREMA PRETCIMA (BROJU PEDAKA)

### POLIFILIJA

Predak skupine ili svojstva koju definiramo nije njezin posljednji zajednički predak, već se radi o višestrukom nezavisnom nastanku.

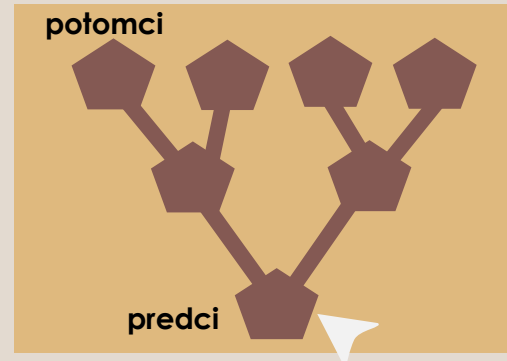
Funkcionalne skupine u ekologiji primjer su korištenja polifiletskih skupina. U evoluciji se polifilija izbjegava.

#### POLIFILETSKA SKUPINA



▶ VIŠE PEDAKA

#### MONOFILETSKA SKUPINA



▶ JEDAN PREDAK

### MONOFILIJA

Predak skupine ili svojstva koju/koje definiramo je ujedno i njezin/njegov posljednji zajednički predak.

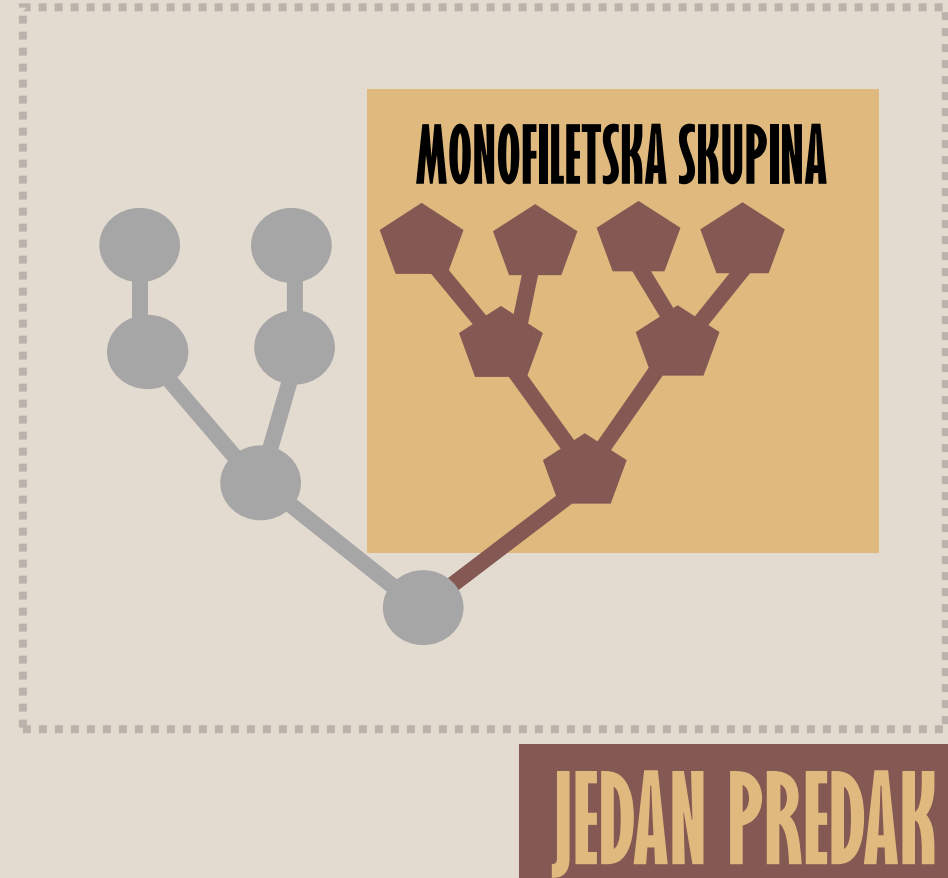
U evolucijskom istraživanju radi se isključivo s monofiletskim skupinama i svojstvima, osim kad se proučava konvergencija.

# PODJELA SKUPINA

## POLIFILIJA

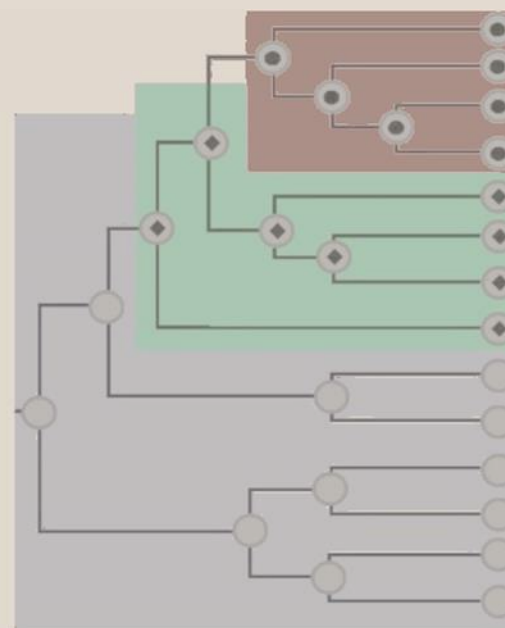
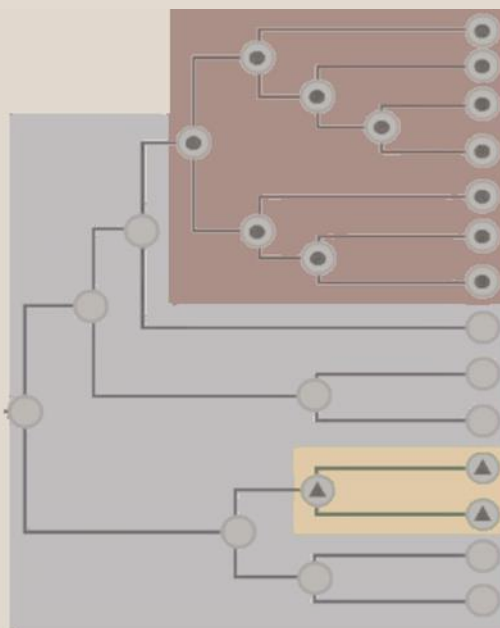
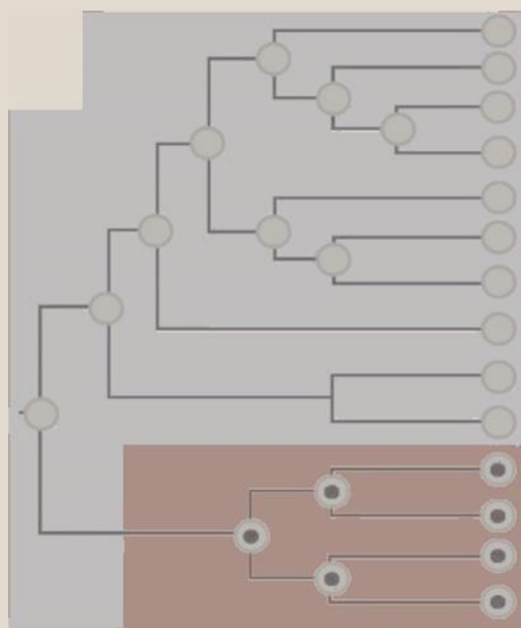


## MONOFILIJA







# PODJELA MONOFILIJE

## PREMA UKLJUČENIM POTOMCIMA



### MONOFILETSKE SKUPINE

-   holofiletska
-   parafilletska

**Holofiletska** skupina uključuje sve potomke zajedničkog pretka, a **parafilletska** ne uključuje sve (npr. gmazovi su parafilletska skupina jer ne uključuju ptice, a ptice su holofiletska).

Izvor slike: **Skejo & Franjević (2020)** *Frontiers in Microbiology* 11(1380), 1-6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01380>

# PRIMJER PARAFILIJE

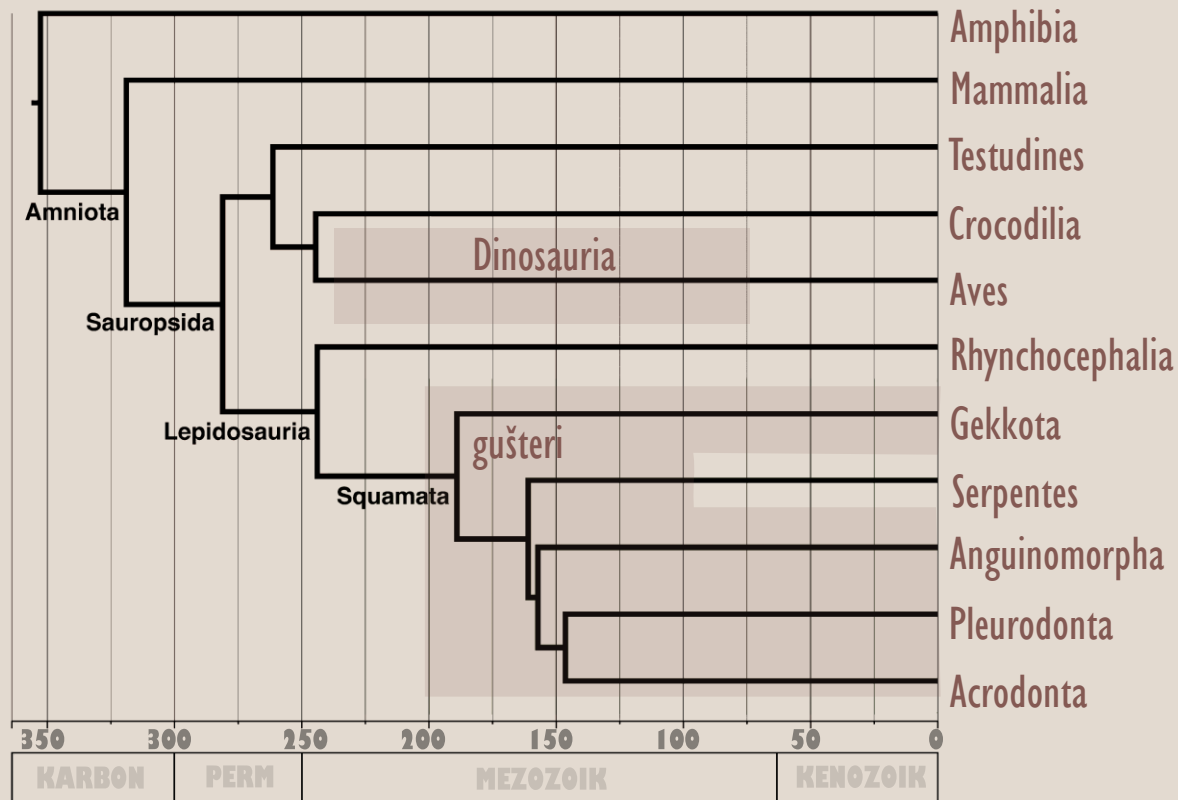
## PTICE (AVES) SU UNUTAR GMAZOVA (REPTILIA)

**Ptice su** jedini živi **dinosauri** (Dinosauria), a **dinosauri su** najpoznatiji izumrli **gmazovi**. Ptice su, dakle, filogenetski gledano gmazovi.

Budući da se **ptice** često promatraju kao **odvojeni razred, gmazovi** (i dinosauri) su u tom **slučaju parafiletska skupina**.

Stablo zmiija ugniježđeno je unutar stabla guštera, pa su i gušteri parafiletska skupina.

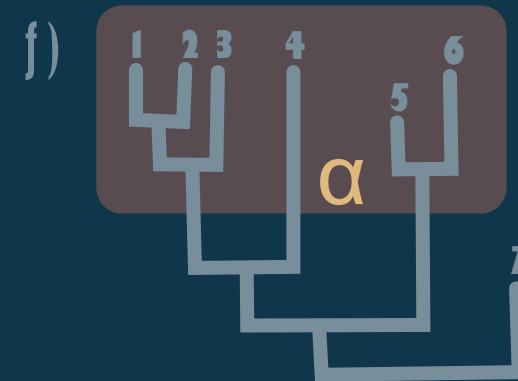
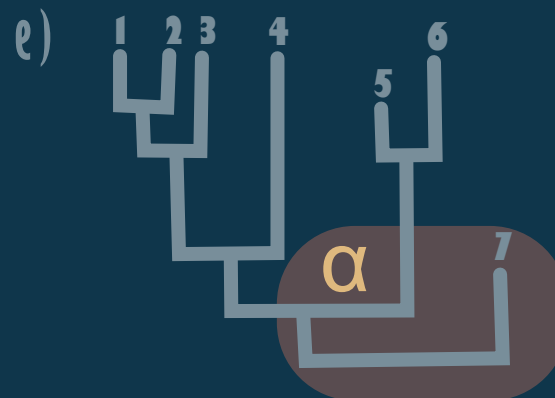
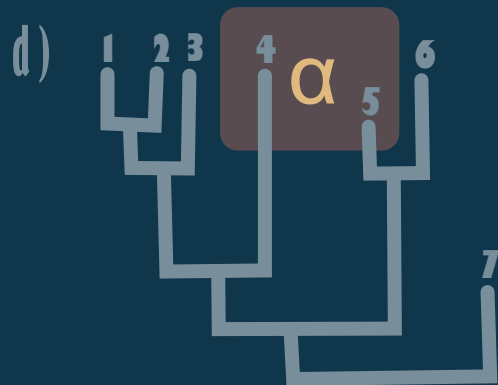
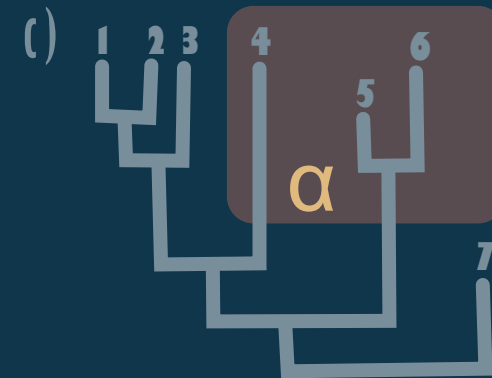
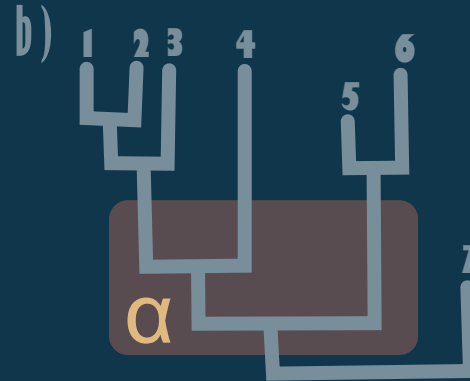
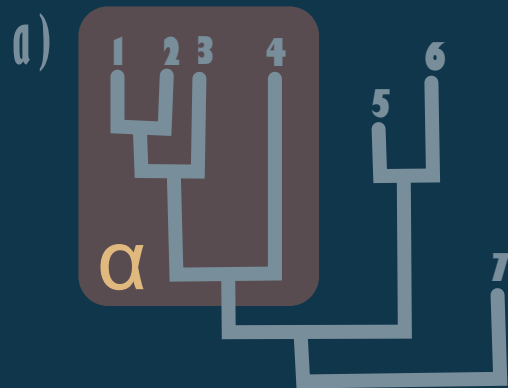
Parafiletska skupina može se nazivati predačkom jer svaka živa vrsta ima za pretka parafiletsku (krono)vrstu kojoj današnja ne pripada, kao što je odnos ptica i dinosaura.



Gable et al. (2023) Genes, 14(7), 1387; <https://doi.org/10.3390/genes14071387>

# Zadatak 2.

Odredi je li označena skupina Alfa polifiletska ili monofiletska.  
Ako je monofiletska odredi je li holofiletska ili parafiletska.





# HOMOPLAZIJA

## ANALOGIJE, SVOJSTVA NEZAVISNOG POSTANKA

**Apomorfija** ili homologija – **MONOFILETSKO** svojstvo naslijeđeno od pretka, a može i ne mora biti slično među potomcima

**Homoplazija** ili analogija – **POLIFILETSKO** svojstvo, sličnost ne potječe od pretka, već je rezultat sličnih selektivnih pritisaka

Slična svojstva  
nezavisnog postanka.

Primjer analogija su  
prilagodbe koje imaju  
kaktusi i mlječike,  
pustinjske biljke koje  
nisu blisko srodne.



# KONVERGENCIJA

## SLIČNE PRILAGODBE PREŽIVLJAVAJU SLIČNE UVJETE

**Hidrodinamičan oblik tijela kod vodenih kralježnjaka predatora primjer je konvergente evolucije.**



**KITOVI (I DUPINI)**

razred Mammalia, red Cetacea



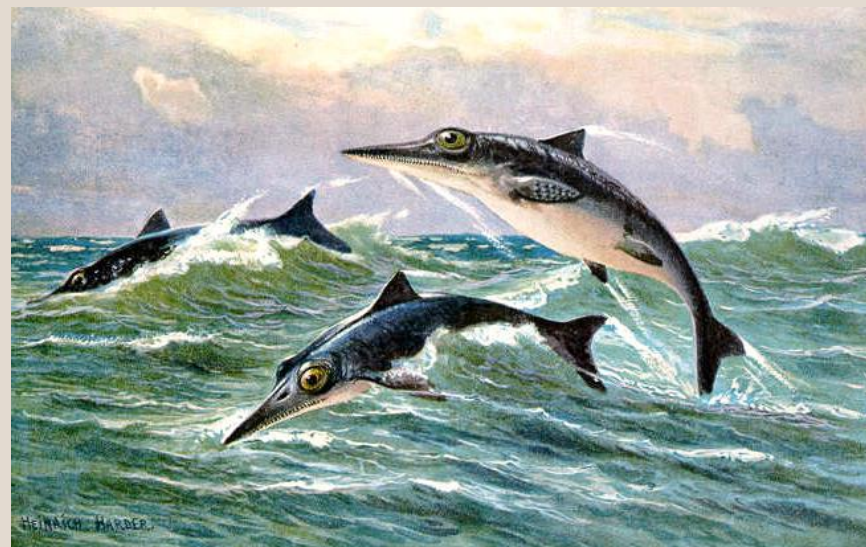
**IHTIOSAURI**

razred Reptilia, red †Ichthyosauria



**MORSKI PSI**

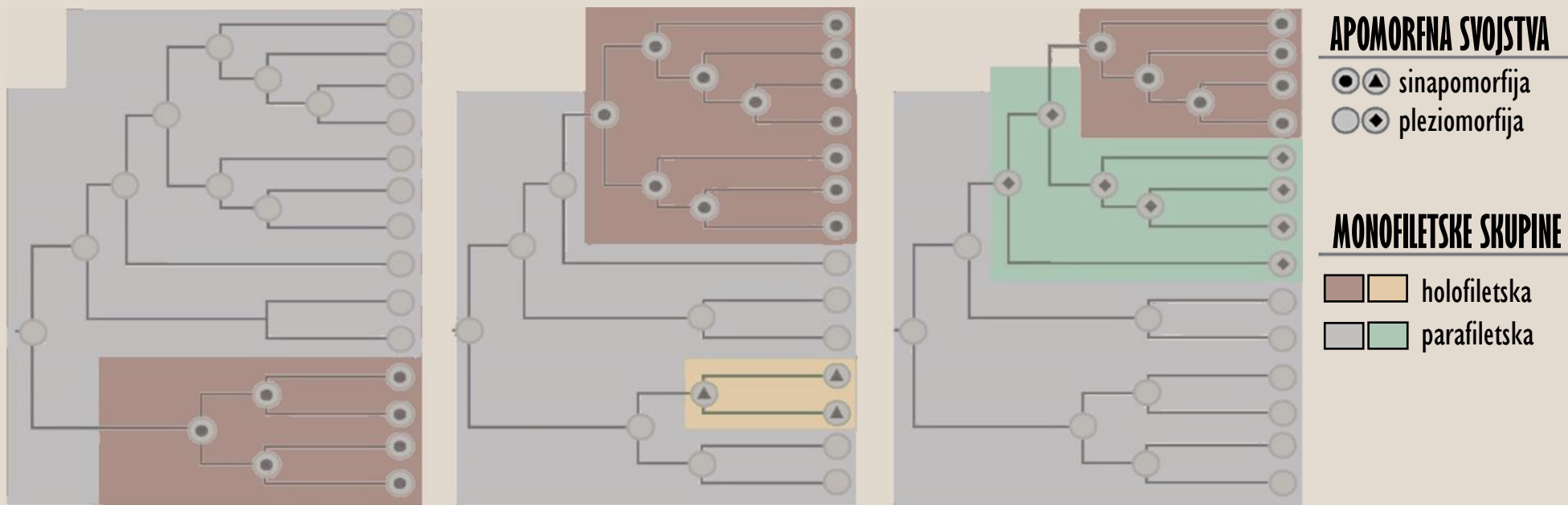
razred Elasmobranchii



Autor slike Heinrich Harder

# APOMORFIJA

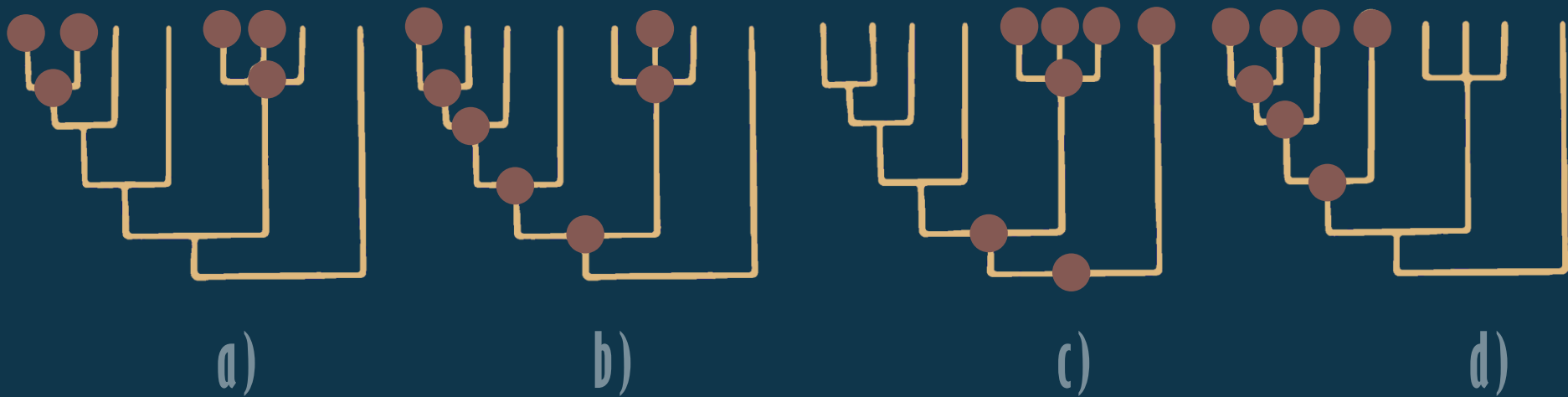
## HOMOLOGIJA, SVOJSTVO JEDNOG POSTANKA



Izvor slike: **Skejo & Franjević (2020)** *Frontiers in Microbiology* 11(1380), 1-6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01380>

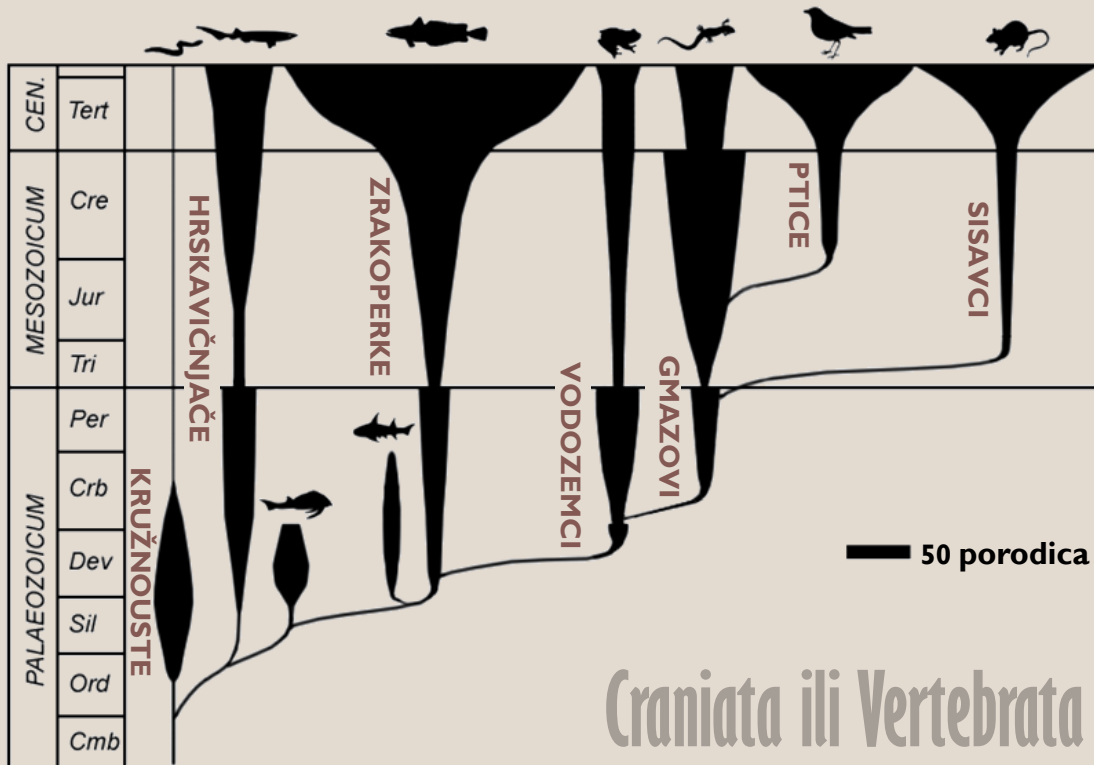
# Zadatak 3.

Odredi je li označeno svojstvo analogija (homoplazija) ili homologija (apomorfija), a ako je homologija odredi je li sinapomorfija ili pleziomorfija.



# PONOVIMO NA PRIMJERU

## Apomorfije lubanjaca ili kralježnjaka



- rep
- škrge
- lubanja
- kralježnica
- čeljust
- kost
- bubreg
- jetra
- hiridijum
- četveronožnost
- amniotsko jaje
- perje
- dvodijelno (vensko) srce
- trodijelno srce
- četverodijelno srce
- mliječne žijezde

# Kraj druge vježbe

