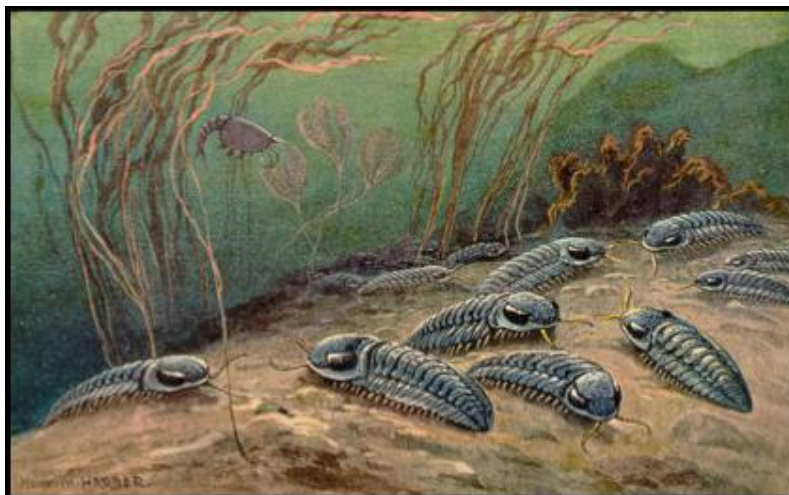


Paleoekologija, paleogeografija, paleoklimatologija

OPĆA PALEONTOLOGIJA



doc. dr. sc. Karmen Fio Firi

karmen.fio@geol.pmf.hr

Paleoekologija

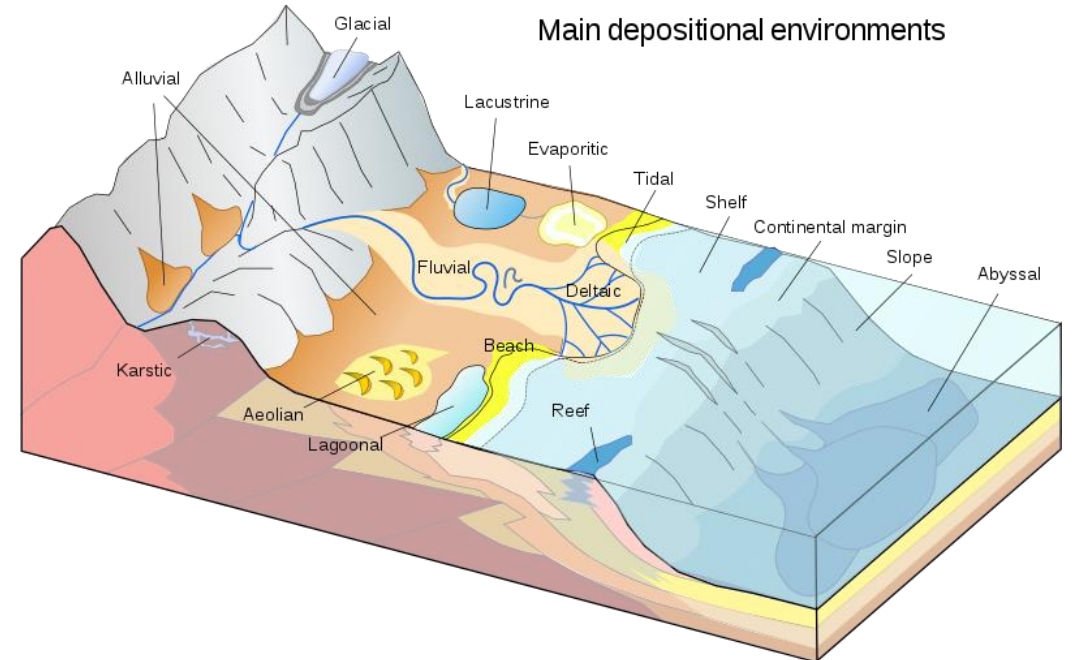
- Znanost o međusobnim odnosima različitih organizama i o odnosima između organizama i okoliša u geološkoj prošlosti
- Aktualistički princip!
- Veza s drugim znanostima: ekologija, sedimentologija, historijska geologija, paleobiogeografija, paleoklimatologija, primijenjena geologija...

Biostratigraphy	Terrestrial	Fresh Water	Brackish	Marine
Cyanobacteria				
Dinoflagellates				
Silicoflagellates				
Diatoms				
Calcareous Nannoplankton				
Calcareous Algae				
Acritarchs				
Bolboforma				
Foraminiferans				
Radiolarians				
Calpionellids				
Plants				
Fungi				
"Ediacarians"				
"Small Shelly Fossils"				
Sponges				
Archaeocyathans				
Stromatoporoids				
Corals				
Brachiopods				
Bryozoans				
Bivalves				
Gastropods				
Ammonoids				
Belemnites				
Tentaculitids				
Trilobites				
Ostracods				
Insects				
Crinoids				
Echinoids				
Graptolites				
Chitinozoans				
Fish				
Amphibians				
Reptiles & Birds				
Mammals				

Paleoekološka raspodjela određenih grupa fosilnih organizama (iz: Jones, 2006)

Paleoekologija – problemi

- Nemogućnost direktnog promatranja organizama → aktualistički princip
- Tafonomski procesi, nepotpuni fosilni zapis (oprez kod brojnosti primjeraka i tipova skeleta)
- Odredba vremena, prosječna vrijednost → prosječni sastav zajednice u vremenu
- Miješanje uzoraka u prostoru, i vremenu (dijelovi okoliša kao taložni prostori)
- Paleozajednice – jesu li organizmi nađeni zajedno u fosilnom zapisu i „živjeli” u zajednici, biotički čimbenici
- Taksonomski uniformitarizam – organizmi su i u prošlosti funkcionirali na način sličan današnjem



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Main_depositional_environments.svg

<https://www.digitalatlasofancientlife.org/learn/paleoecology/>

Rekonstrukcija paleookoliša

- Abiotički čimbenici (temperatura, svjetlost, salinitet, količina kisika...)
- Mjesto života organizama; veći prezervacijski potencijal organizama koji su načinom disanja i razmnožavanja vezani uz vodene sredine
- Sami fosilni ostaci – morfologija (nježni, masivni → veza s energijom vode) i mineralogija skeleta, očuvanost / fragmentiranost ostataka
- Biotički čimbenici (ekološka valencija organizama, način prehrane; odnosi među organizmima (hranidbeni lanac) – predatorstvo, simbioza...)
- Tip naslaga (struktura, teksture, orijentacija čestica...)
- Proxy vrijednosti – za korelaciju, pretpostavke na temelju nalaza (godovi drveća, led/jezgre)

- Paziti u interpretaciji i na iznimne događaje, poput: suša, požara, vulkanizma, poplava..., ali i geoloških aktivnosti poput tektonike, trošenja...

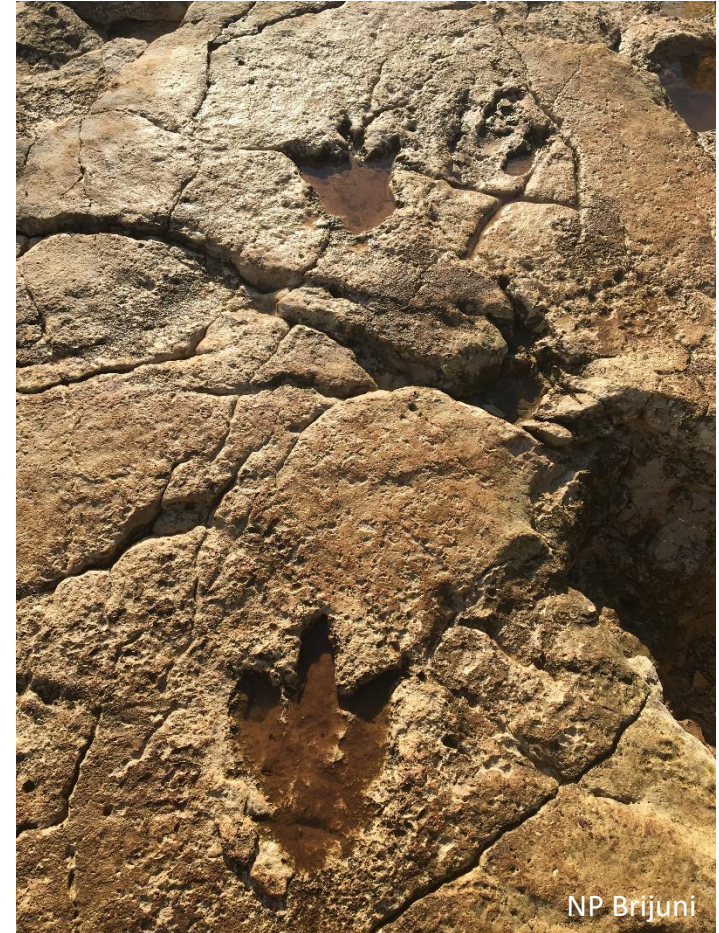


Školjke pliocenske i pleistocenske starosti, južna Florida. Foto: Jonathan R. Hendricks

Paleorekonstrukcije... dinosauri – izgled, način života i prehrana

- Fosilni ostaci kostiju – veličina organizma
- Specifični tragovi na kostima (ugrizi, lomovi...)
- Otisci stopa na nekom prostoru – ihnofosili → brzina kretanja, visina kukovlja
- Analize koprolita (<https://youtu.be/rZU7fczwus0>) – mesojedi i biljojedi
- Dokazi predatorstva (npr. <https://youtu.be/BVClrEyuXNE>)
- Flora (i ostaci polena i spora) i fauna područja – fosilni zapis

- Rekonstrukcije i način života, *T. rex*:
<https://youtu.be/pG5sbVN3tI8>

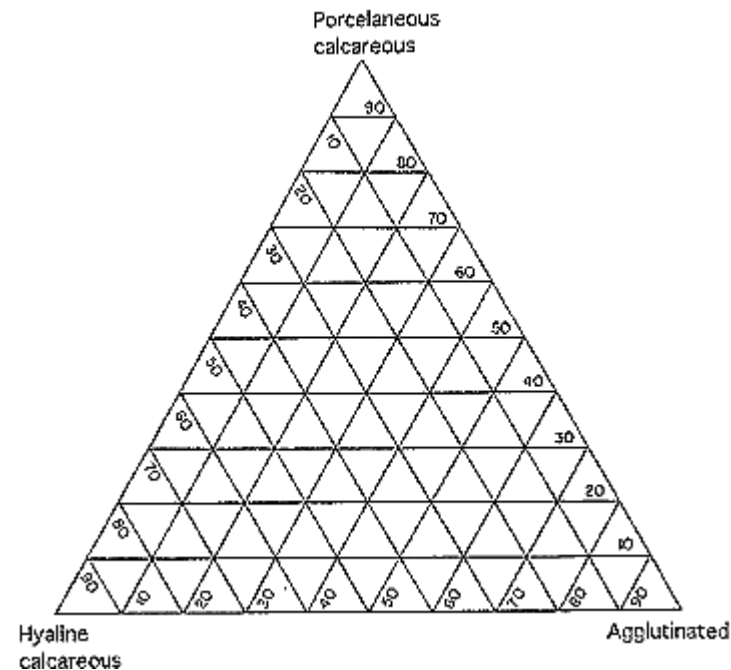


Paleorekonstrukcije... FORAMINIFERE

- <https://www.youtube.com/watch?v=q0WbN34Mh7k> , <https://www.youtube.com/watch?v=JLSa8cGJixQ> , <https://www.youtube.com/watch?v=mEmI7kTDHqY>
- Dobri pokazatelji paleookoliša → većina vrsta živi samo na određenim dubinama i pri određenim temperaturama vode
- Ima ih u morima od tropa do polarnih mora; od međuplinske ravnice do najdubljih područja
- Kućice bentičkih foraminifera pomažu u interpretacijama paleookoliša:
 - podloga → način života (epifauna, infauna)
 - vrsta podloge
 - nježne, izdužene forme s tankim stjenkama – muljevito dno
 - jako ukrašene kućice, debelih stjenki – krupnozrnasto dno
 - cementirane kućice, bazalna strana zaravnjena – stjenovita podloga
 - energija vode: debele stijenke foraminifera u okolišima visoke energije
 - dubina mora (odnos plankton/bentos, prisutnost endosimbionata)
 - kemijski sastav morske vode (manjak kisika – male, glatke kućice tankih stjenki)
 - temperatura morske vode

FORAMINIFERE

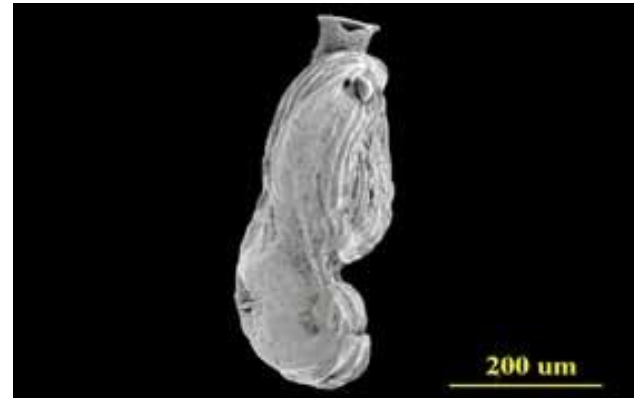
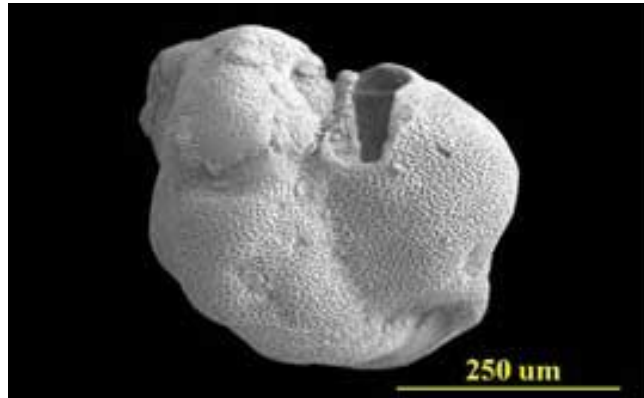
- Međusoban odnos staklastih, porculanastih i aglutiniranih kućica u foraminiferskoj zajednici dobar je indikator **saliniteta** i dijela **okoliša** (močvare, lagune, otvoreno more)



- Omjer planktonskih i bentičkih foraminifera ukazuje na **dubinu** taložnog prostora

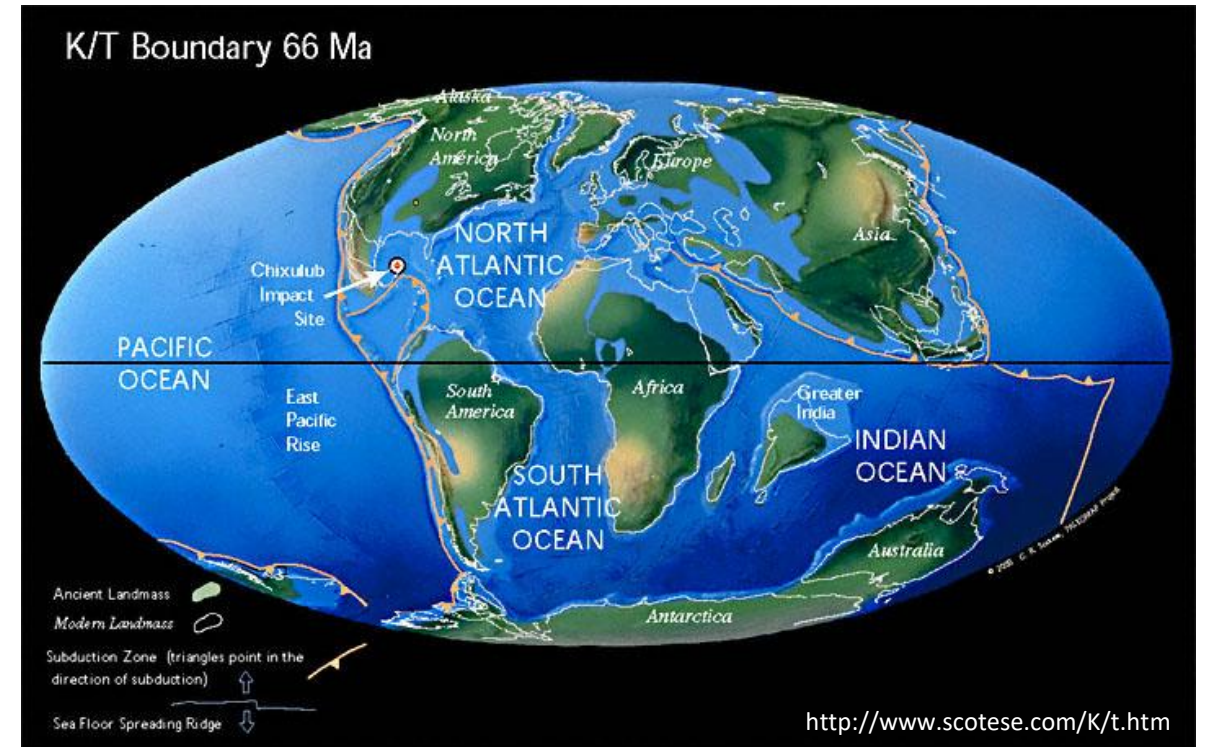
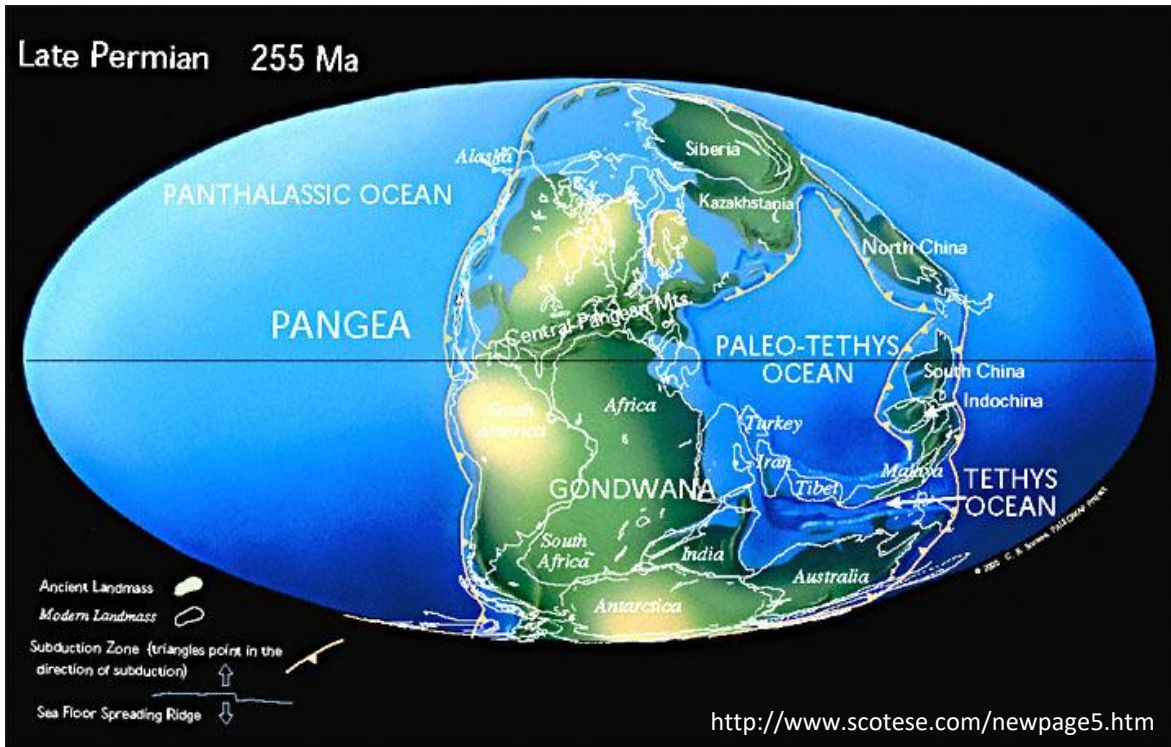
FORAMINIFERE

- Deformacije u oblicima kućica foraminifera → mogu ukazivati na različite tipove stresa u okolišu (zagađenja...)



PALEOGEOGRAFIJA

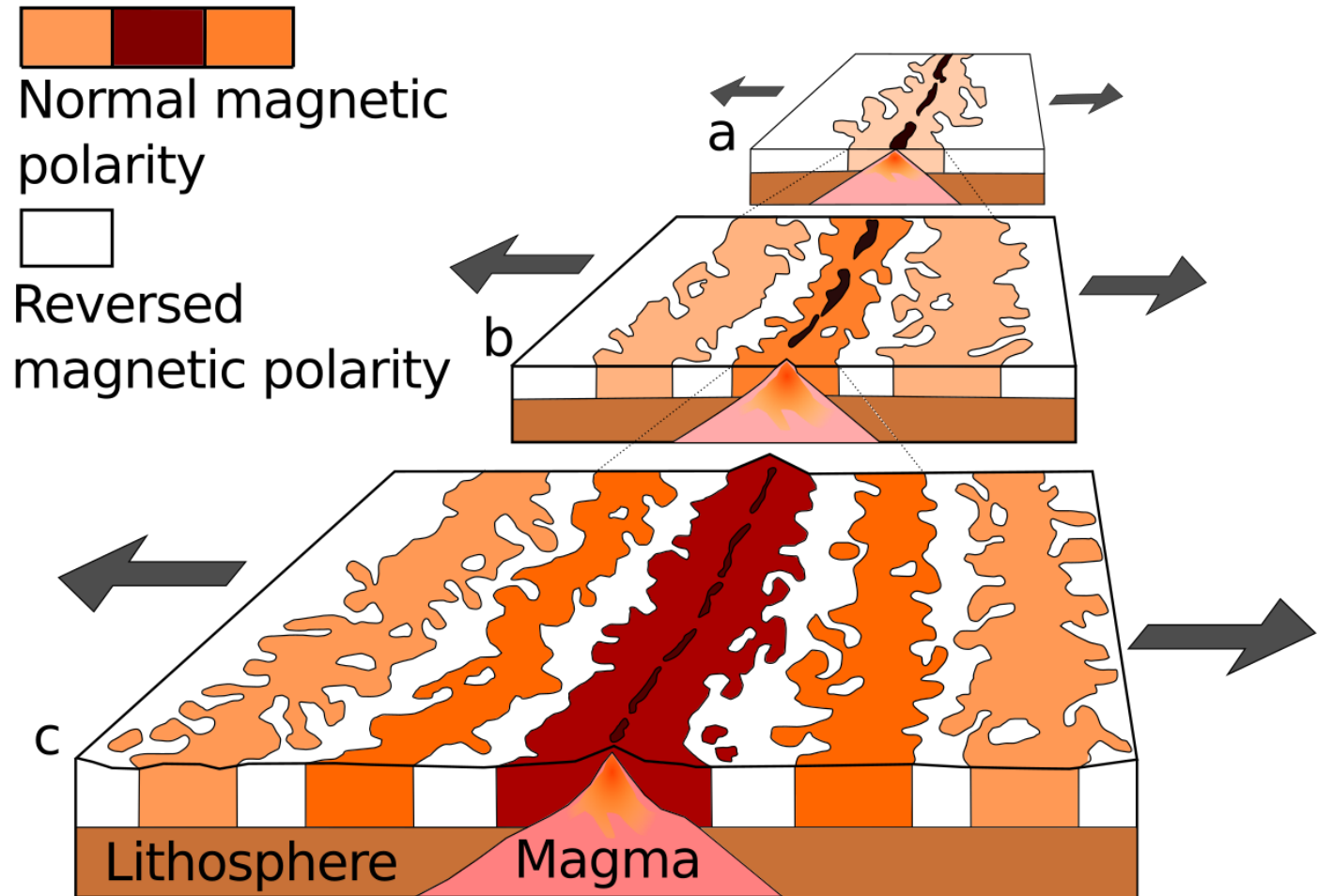
- Model geografske raspodjele različitih okoliša u geološkoj prošlosti



PALEOGEOGRAFIJA

Paleomagnetizam

- prirodni remanentni magnetizam sačuvan u stijenama (u mineralima koji sadrže željezo), nastalima u geološkoj prošlosti tijekom hlađenja i kristalizacije iz lave ili naknadnom rekristalizacijom
- magnetski dipol ostao je usmjeren prema nekadašnjem magnetskom polu Zemlje. Zbog pomicanja magnetskog pola Zemlje tijekom geoloških razdoblja, iz poznate starosti stijena može se napraviti paleogeografska rekonstrukcija

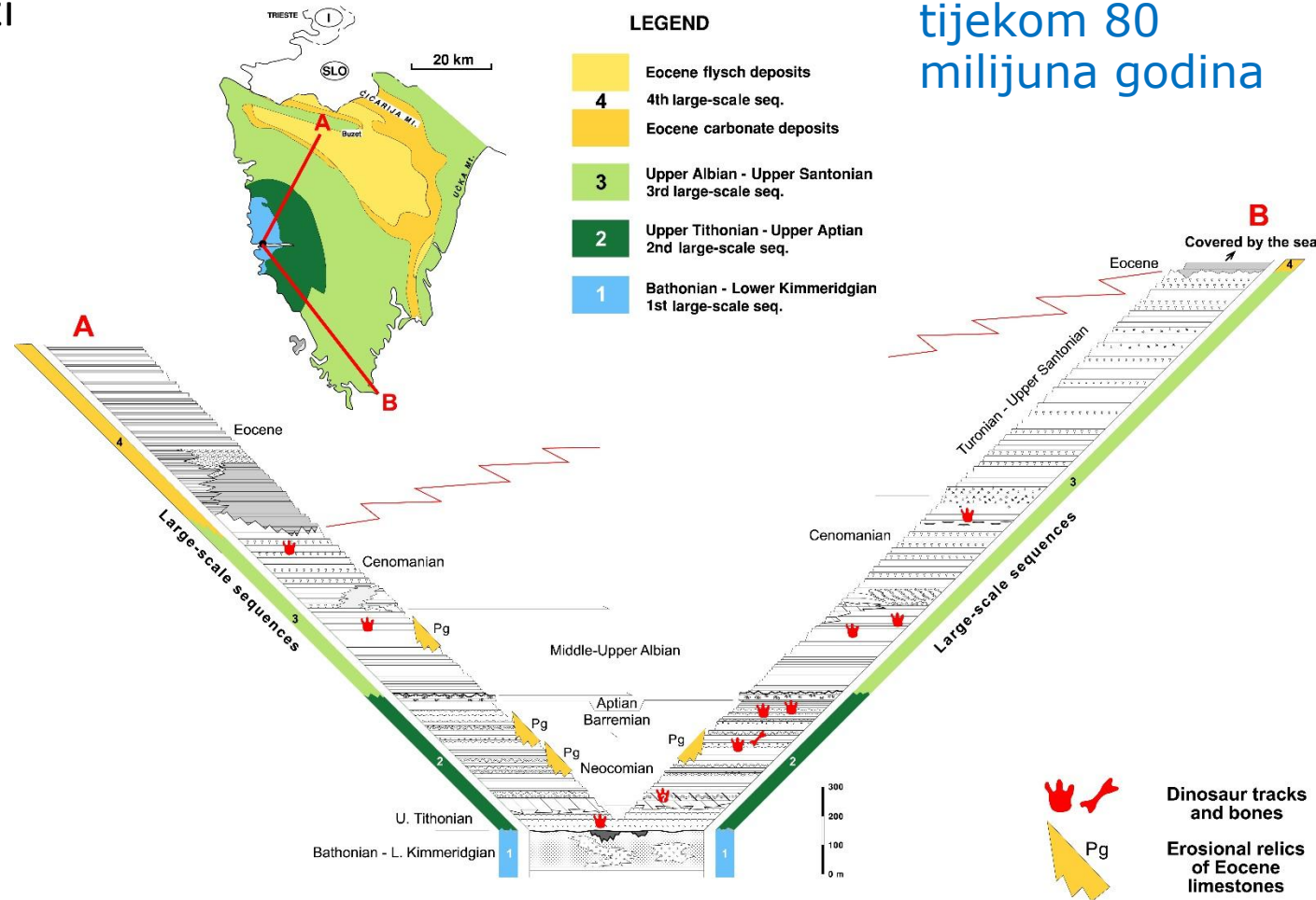
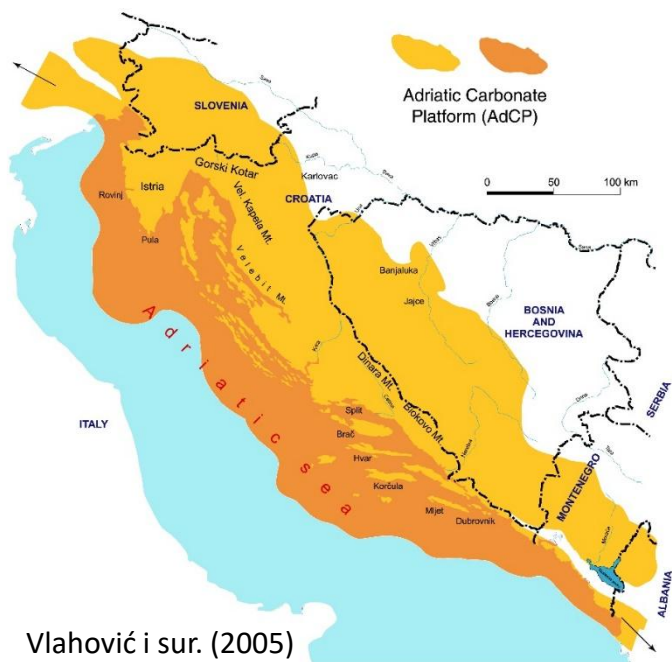


<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18557170>

PALEO(BIO)GEOGRAFIJA

Informacije o nekadašnjim okolišima i vezi mora i kopna, primjer Jadranske karbonatne platforme, dokazi temeljem:

- emerzijskih površina
- nalaza otisaka stopa dinosaura
- paleomagnetizma



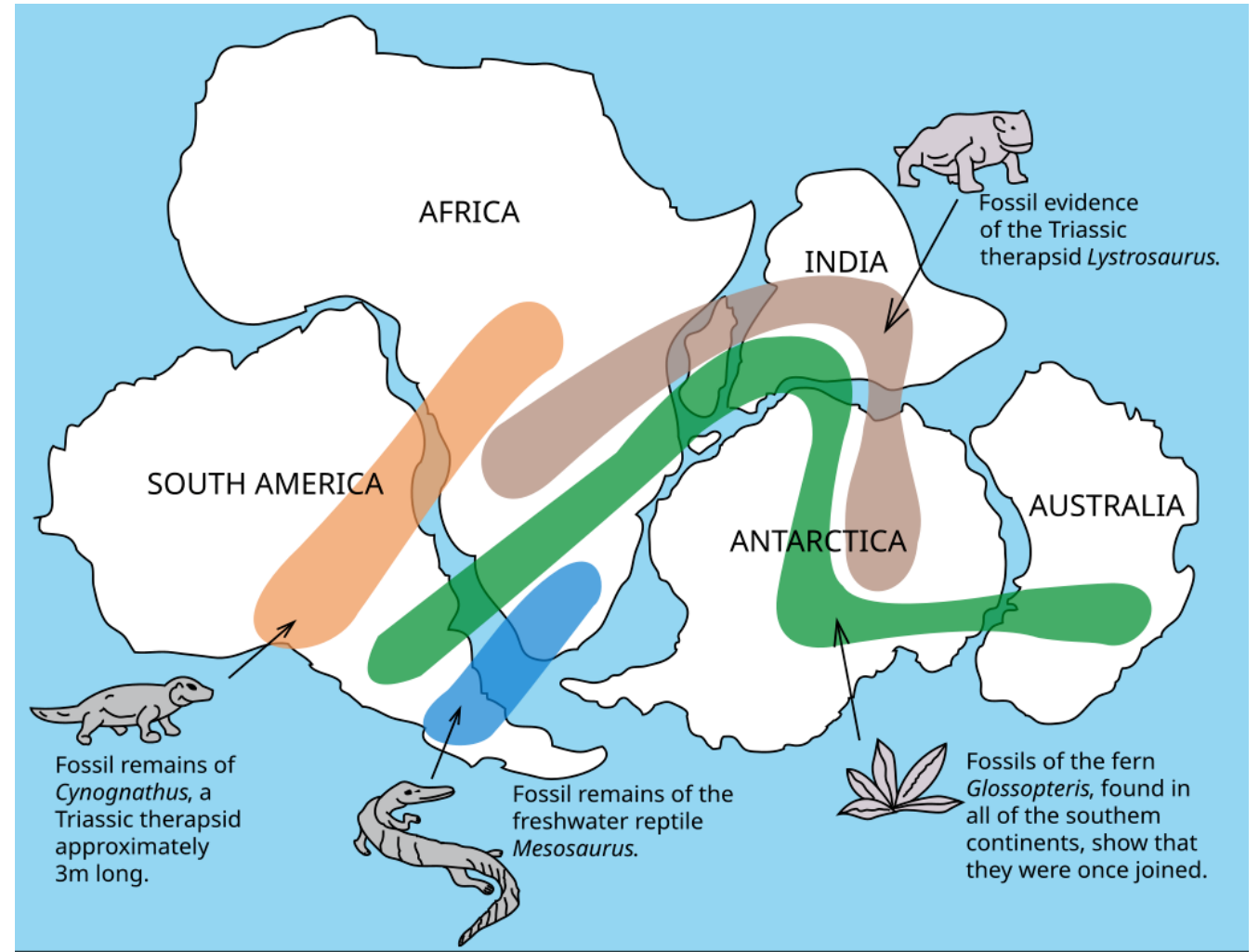
****Dinosauri na području AdCP tijekom 80 milijuna godina**

PALEOBIOGEOGRAFIJA

- Model raspodjele organizama i bioraznolikosti u geološkoj prošlosti
- Korištenje evolucijskih spoznaja o organizmima, spoznaja o klimi i klimatskim promjenama, promjena ekoloških parametara, informacije o izumiranjima
- **BIOGEOGRAFIJA** – aktualna distribucija i geološki razvoj odnosa životinjskih i biljnih taksona u okolišu, na temelju prostornog rasprostiranja manjih ili većih skupina organizama

PALEOBIOGEOGRAFIJA

- Charles Darwin: Širenje i izolacija taksona je rezultat disperzije na velikoj udaljenosti
- Alfred Russel Wallace: utemeljitelj zoogeografije i osnovnih koncepata u zoogeografiji; primjer Wallace-ove linije (granica između JI Azije i Australije)
- Alfred Wegener: teorija kontinentalnoga drifta → rasprostranjenost fosilnih nalaza biljaka i kopnenih gmazova permske i trijaske starosti kao dokaz nekad spojenih kopnenih masa



PALEOBIOGEOGRAFIJA

- ENDEMI
 - organizmi rasprostranjeni na određenom teritoriju ili akvatoriju, češće u geografski izoliranim područjima
 - endemične mogu biti vrste ili bilo koja druga viša taksonomska kategorija
 - područje na kojem je endem rasprostranjen može biti malo, ali i jako veliko
 - mogu se razviti na geološki mladim područjima (vulkanski otoci npr.) ili preživjeti na djelu područja gdje su nekad bili šire rasprostranjeni
- KOZMOPOLITSKE VRSTE
 - široko rasprostranjene biljne i životinjske vrste



PALEOBIOGEOGRAFIJA, disperzija organizama

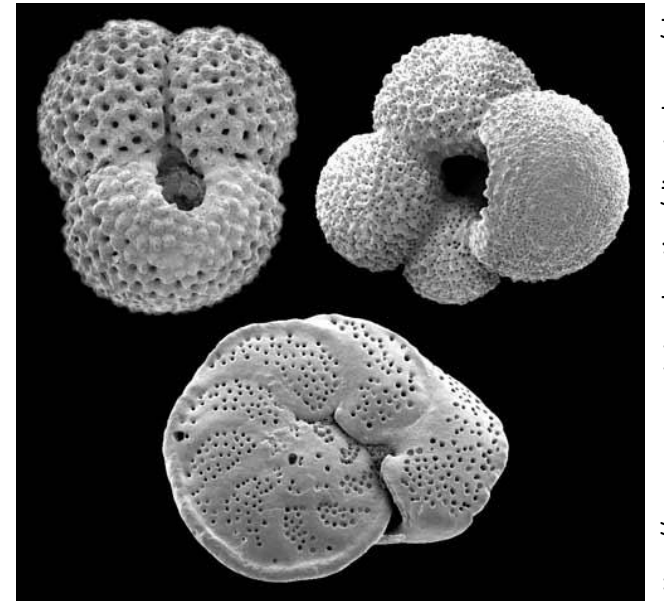
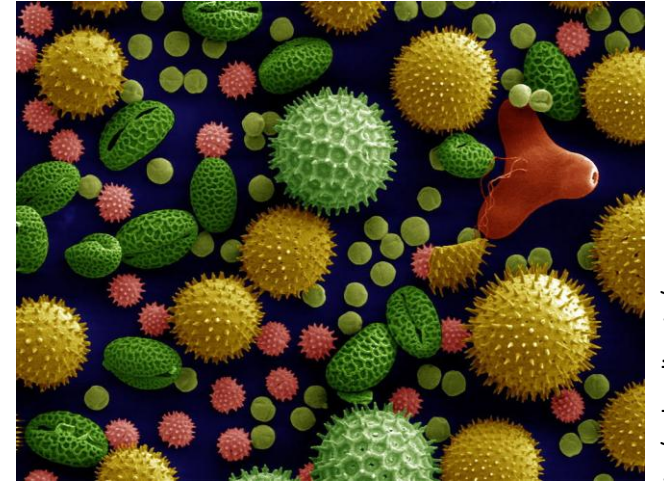
- Pleistocen: epoha intenzivnog hlađenja Zemlje unutar kojeg se javljaju razdoblja kontinentalnih oledbi – GLACIJALI, te razdoblja bez kontinentalnih oledbi – INTERGLACIJALI
- Izmjenom glacijala i interglacijala razina mora je fluktuirala i preko 100 m → omogućavalo seljenje organizama kopnenim putem s kontinenta na kontinent
- koridori – svi prolaze, filteri – prolaze prilagođeni
- aktivna disperzija: jedinke se aktivno kreću (kopneni okoliši)
- pasivna disperzija: organizmi se ne kreću samostalno (morski okoliši)
- Npr. Beringov prolaz (između Azije i Sjeverne Amerike, spaja Arktički s Tihim oceanom) – tijekom posljednjega ledenog doba razina mora bila je do 100 m niža od današnje te je postojala kopnena veza između Azije i Sjeverne Amerike koja je omogućila migracije biljaka, životinja i ljudi



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/BeringSt-close-VE.jpg>

PALEOKLIMATOLOGIJA

- Proučavanje klime u geološkoj prošlosti Zemlje – stalne promjene
- Nesigurnije procjene što dalje idemo u geološku prošlost
- Temeljem saznanja i izrade modela za analizu klime u geološkoj prošlosti moguća predviđanja za budućnost
- Mjerenja klimatskih parametara instrumentima dostupna tek od prošlog stoljeća → informacije o paleoklimi često vezane i uz puno duže vremenske periode te uz vrijeme prije pojave čovjeka
- Različite metode istraživanja → posredni dokazi (*proxy*; npr. godovi drveća, jezgre leda, jezerske naslage) kao vrlo korisni, ali manje precizne vrijednosti od onih koje danas dobivamo direktnim mjerenjem
- Povezanost klimatskih promjena s masovnim izumiranjima u geološkoj prošlosti Zemlje



PALEOKLIMATOLOGIJA

- Posredni dokazi/pokazatelji klime:
 - Nalazi polena – za odredbu nekadašnje vegetacije
 - Godovi drveća – brži i sporiji rast s obzirom na promjene temperature i količine padalina tijekom godine
 - Jezerski sedimenti (varve) – razlike u količini padalina i temperaturi na kopnu
 - Speleotemi (sige) – brzina rasta minerala, promjene količine meteorske vode i temperature
 - Koralji – vidljive zone sporijeg i bržeg rasta tijekom godišnjih doba (promjene u temperaturi – izotopna mjerenja)
 - Jezgre sedimenata iz dubokomorskih prostora i jezgre leda (izotopna mjerenja)
 - Planktonske foraminifere – pokazatelji temperature mora
 - Omjeri težeg i lakšeg izotopa (delta vrijednost – δ) kisika i ugljika iz kućica foraminifera (plankton i bentos) – za informacije o temperaturama, salinitetu...
 - Sastav skeleta različitih organizama, npr. omjer Mg/Ca

Nesigurnije procjene što dalje idemo u geološku prošlost!

BILJKE (polen i spore) → biostratigrafija, paleoklimatologija

Međunarodni znanstveni skup – 100-ta obljetnica rođenja akademkinje Vande Kochansky-Devidé
International scientific meeting – 100th birth anniversary of Vanda Kochansky-Devidé, full member of Academy

SARMATIAN AND PANNONIAN CLIMATE AND VEGETATION – EVIDENCE FROM NORTH-WESTERN CROATIA

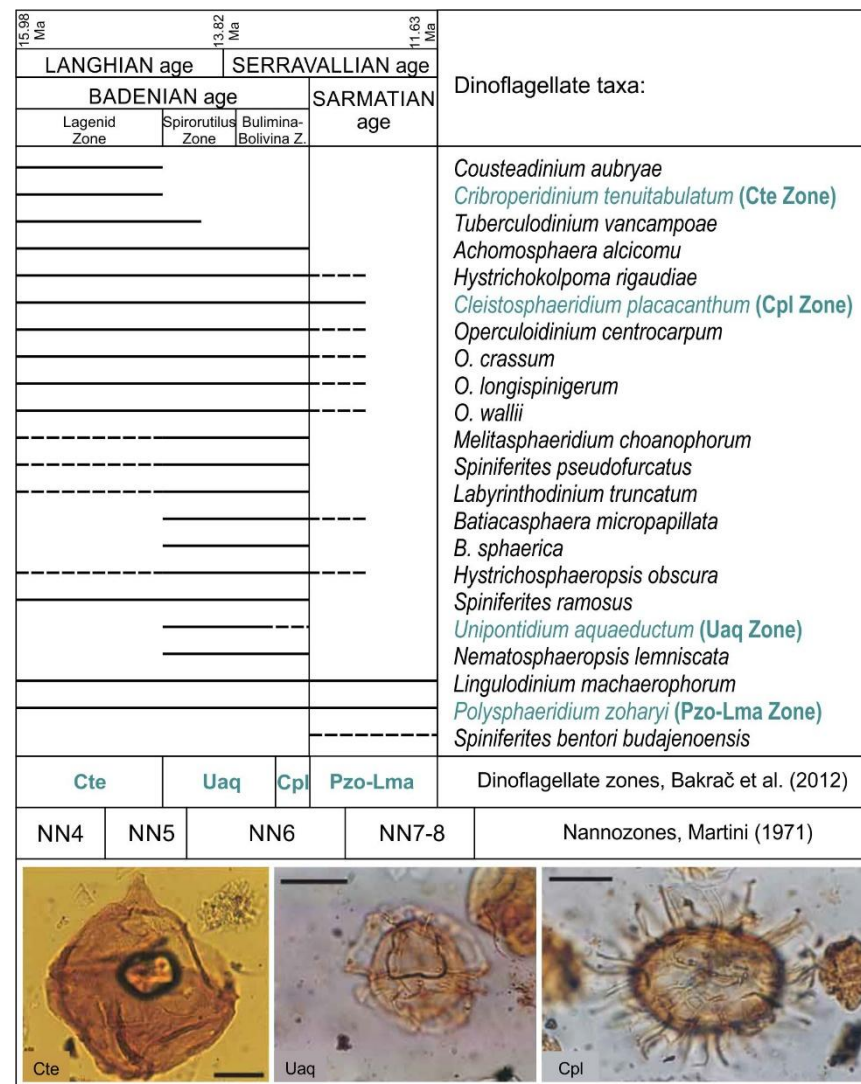
KLIMA I VEGETACIJA SARMATA I PANONA U PODRUČJU SJEVEROZAPADNE HRVATSKE

Dražen Brajković^(a), Jasenka Sremac^(b), Davor Vrsaljko^(c) & Gabrijela Pecimotika^(a)

^(a) E&P Research Laboratory Department, Exploration & Production BD, INA-Industrija nafte d.d., Lovinčićeva bb, HR-10000 Zagreb, e-mail: drazen.brajkovic@gmail.hr
^(b) University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geology – Division of Geology and Paleontology, Horvatovac 102a, HR-10000 Zagreb
^(c) Croatian Museum of Natural History, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb

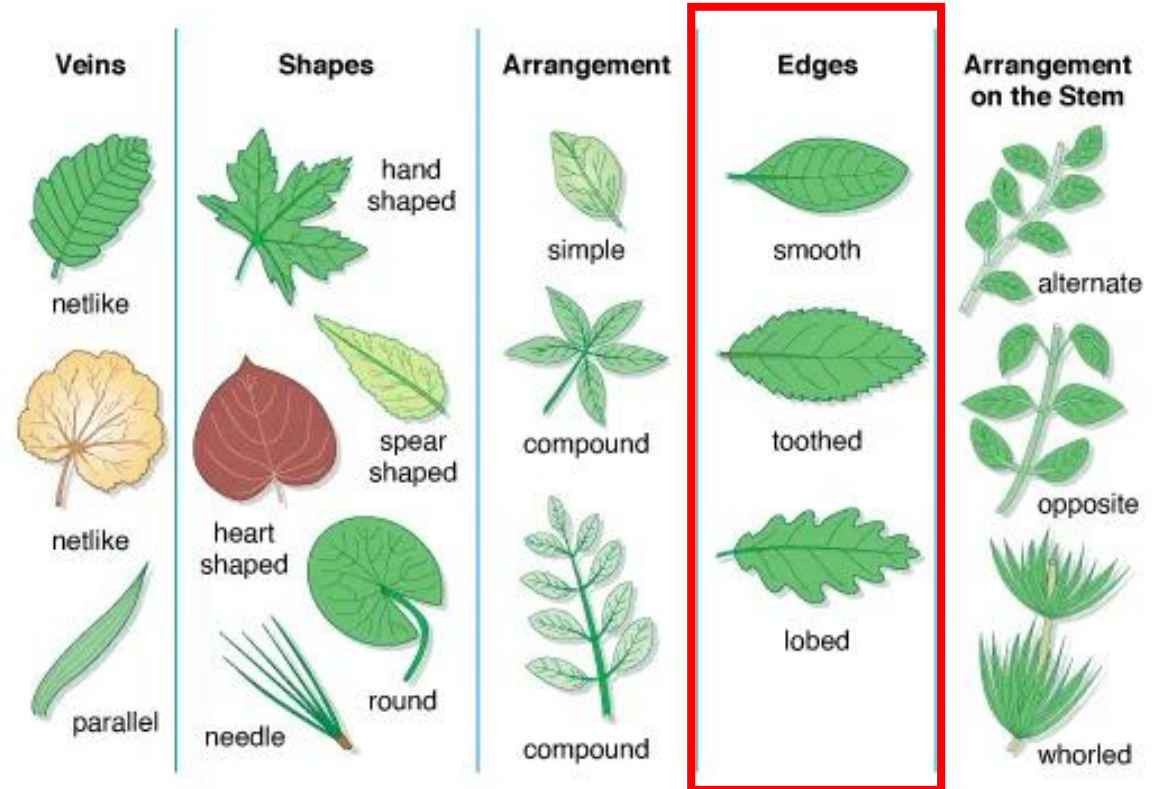
Keywords: pollen analysis, vegetation, climate, Sarmatian–Pannonian, NW Croatia
Ključne riječi: analiza polena, vegetacija, klima, sarmat–panon, sjeverozapadna Hrvatska

Numerous diverse and well preserved palynomorpha from the Miocene marls in the vicinity of Zagreb (NW Croatia) have been extracted. Sarmatian to Pannonian age was determined on the basis of microfossils and molluscs (KOCHANSKY-DEVIDÉ & BAJRAKTAREVIĆ, 1981; VRSALJKO, 1999). Determined palynoflora resembles the modern vegetation in the area, with several species typical for the Mediterranean region. Palynomorpha originate from different palaeoenvironments: mixed mesophytic forest, swamp forest, riparian forest and grassland (JIMÉNEZ-MORENO, 2006; IVANOV et al., 2011). Prominent relief, caused by the tectonic uplift, resulted in altitudinal arrangement of vegetation belts (below 700 m, between 700–1,100 m and above 1,100 m). Vegetational changes visible in geological columns point to the oscillations of temperature and precipitation, particularly in the Podsused section. Three palynozones were recognized, reflecting the changes of vegetation through the Middle and Late Miocene in the research area. These results indicate that the calculated mean annual temperature in the study area (11.7°C) was very similar to the present time (11.3°C). Rainfall (1,170 mm) was higher than today (975 mm) (FAQUETTE et al., 1998).



BILJKE → paleoklimatologija

- Odredba klimatskih uvjeta temeljem nalaza listova
- Za sredinu s većom količinom oborina i relativno visoke temperature zraka karakteristični su duži i veći listovi
- U toplim klimatskim uvjetima najčešći su listovi s glatkim rubovima (*smooth edges*)
- U umjerenom klimatskom pojasu nalazimo nazubljene listove (*toothed edges*), a radi se uglavnom o biljkama kojima u jesen pada lišće



FORAMINIFERE

- Izračuni paleotemperatura na temelju omjera stabilnih izotopa kisika iz kućica foraminifera

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{uzorka}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{st}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{st}}} \times 10^3 (\text{‰})$$

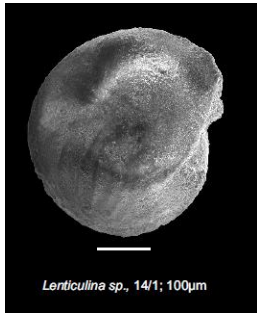
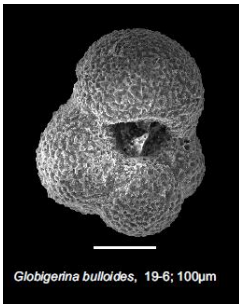
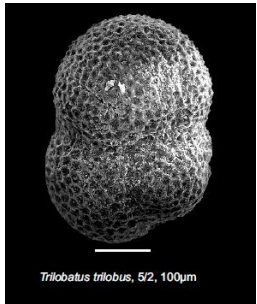
- Primjer studentskog rada:
Marko Repac (2017): Utjecaj dijageneze na izračun paleotemperature na temelju izotopnog sastava kućica foraminifera: primjer iz miocena Hrvatske. Prijavljeno za Rektorovu nagradu.

Tablica 7. Prikaz rezultata dobivenih analizom izotopa ugljika i kisika. U tablici su prikazane dobivene vrijednosti izražene preko V-PDB standarda. Oznakom (-) označeni su uzorci za koje nije dobiven CO₂ pik, te stoga nisu dobivene vrijednosti za izotope.

Uzorak	δ ¹³ C VPDB (‰)	δ ¹⁸ O VPDB (‰)	Temperatura (°C) Shackleton (1974)	Temperatura (°C) Erez & Luz (1983)
1a - <i>Orbulina</i>	0.54	-4.87	39.52	38.61
1a - <i>Globigerina bulloides</i>	0.38	-7.54	54.42	51.57
1a - <i>Globigerinoides</i>	0.84	-8.34	59.20	55.56
1a - <i>Elphidium</i>	0.79	-6.42	48.04	46.12
1a - <i>Cibicidoides</i>	0.51	-2.92	29.57	29.42
1b - <i>Orbulina</i>	0.63	-6.64	49.27	47.18
1b - <i>Globigerina bulloides</i>	0.58	-7.15	52.16	49.66
1b - <i>Globigerinoides</i>	-	-	-	-
1b - <i>Elphidium</i>	1.31	-1.45	22.53	22.59
1b - <i>Cibicidoides</i>	0.40	0.34	14.55	14.46
2b - <i>Orbulina</i>	0.64	-6.40	47.89	45.99
2b - <i>Globigerina bulloides</i>	0.26	-6.02	45.77	44.15
2b - <i>Globigerinoides</i>	0.84	-6.57	48.85	46.82
2b - <i>Elphidium</i>	1.28	-0.56	18.47	18.52
2b - <i>Cibicidoides</i>	0.66	-2.15	25.85	25.85
Dilj 13 - <i>Orbulina</i>	1.60	-0.13	16.59	16.59
Dilj 13 - <i>Globigerina bulloides</i>	0.19	-0.29	17.30	17.32
Dilj 13 - <i>Globigerinoides</i>	2.11	-1.01	20.51	20.59
Dilj 13 - <i>Cibicidoides</i>	0.69	1.08	11.46	11.17

?

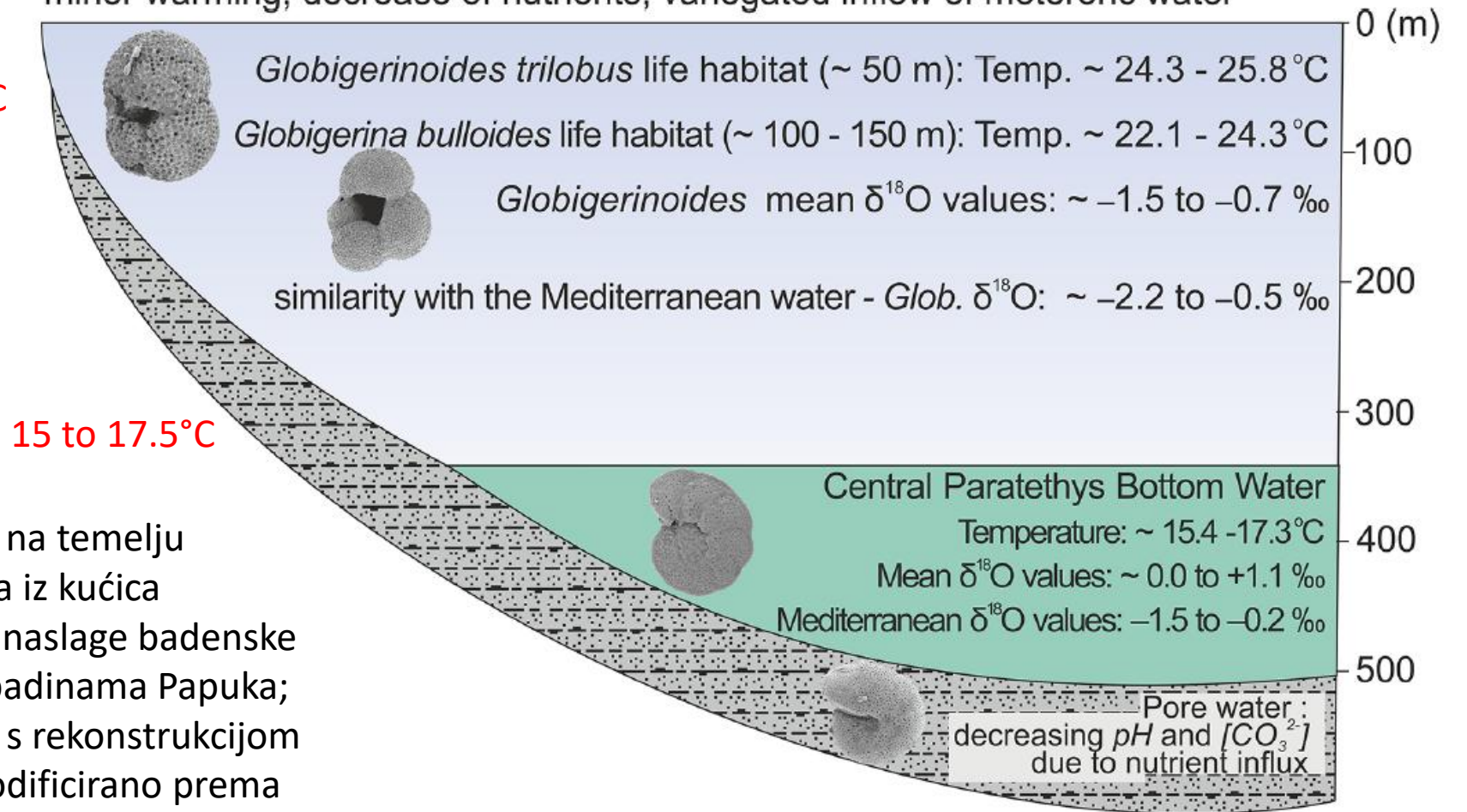
OK



Temperature and isotopic composition of the Carpathian Foredeep Sea after the Middle Miocene Climatic Optimum

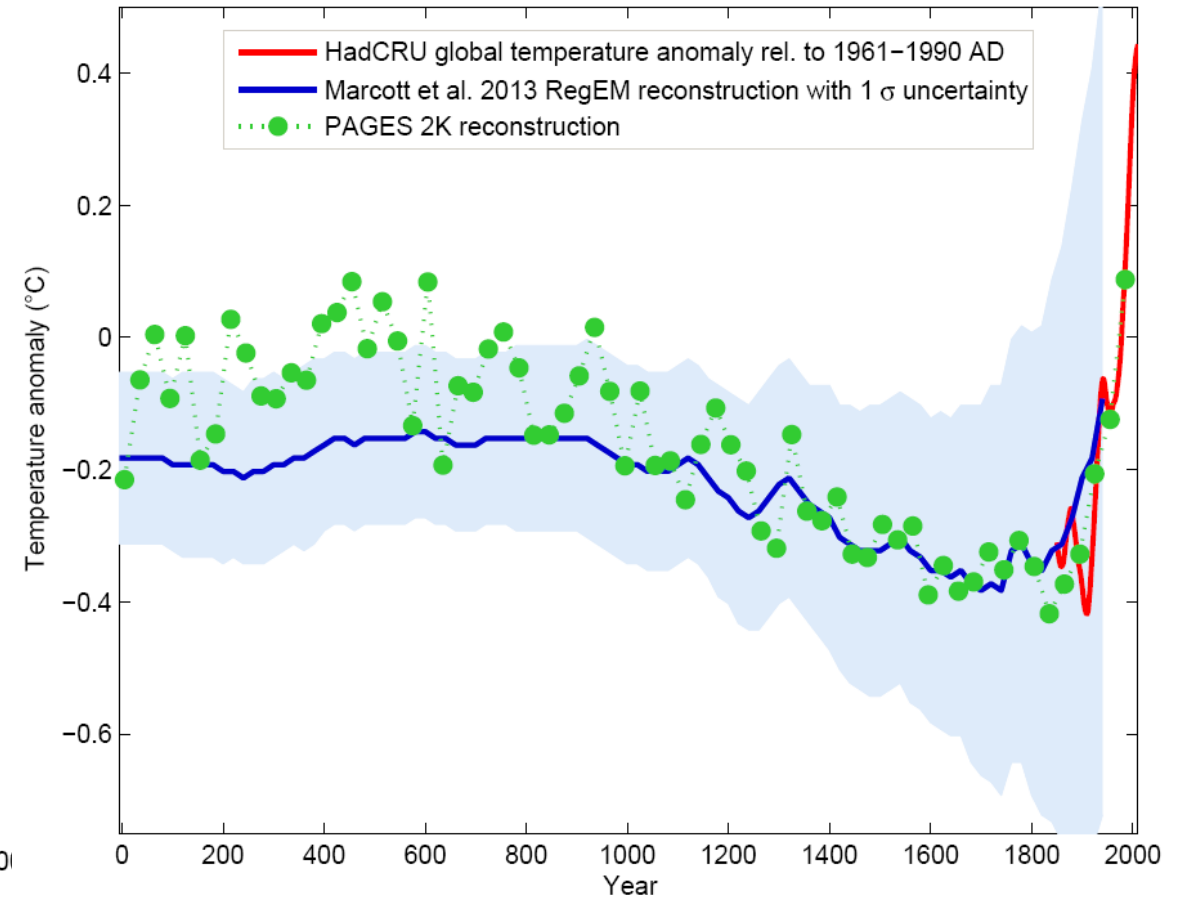
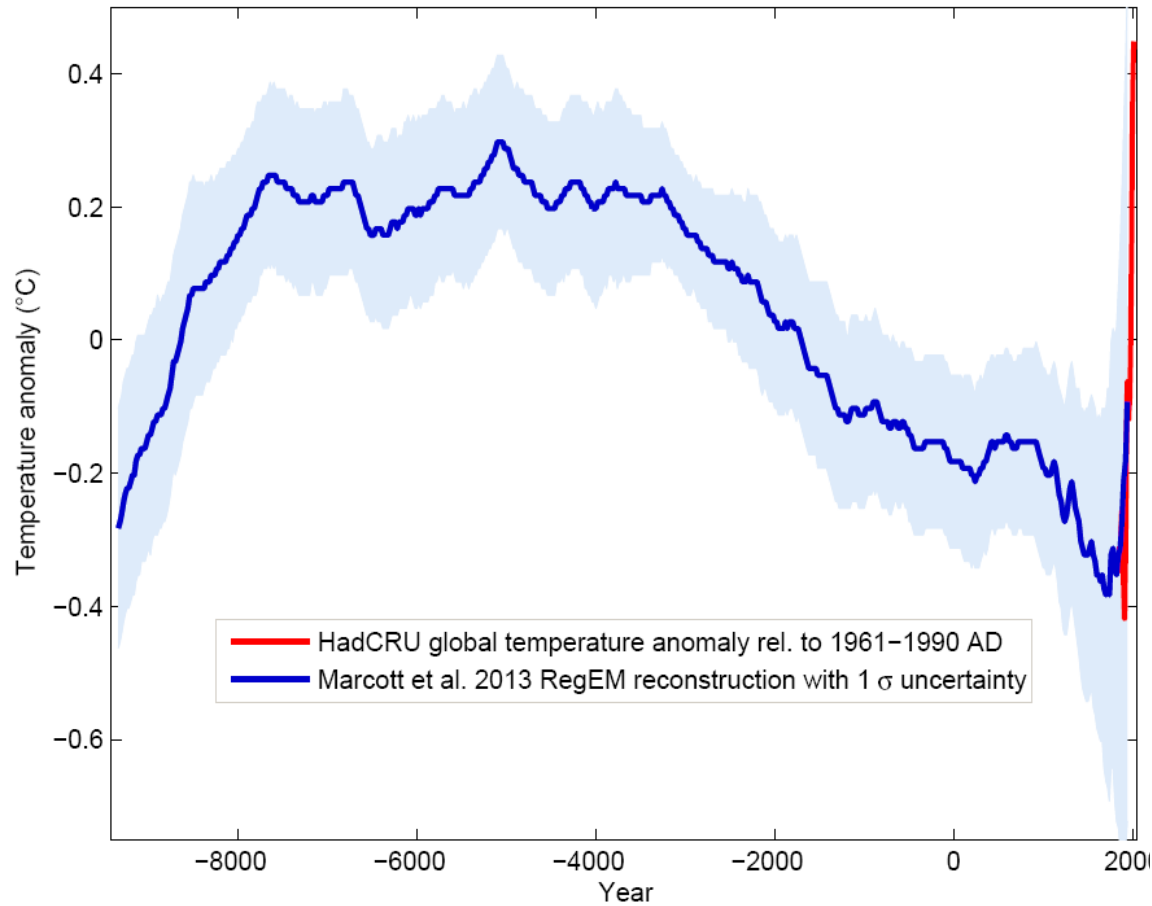
Subtropical climate; 14.4 Ma - 14.35 Ma
minor warming; decrease of nutrients; variegated inflow of meteoric water

18 to 25°C



Podatci o paleotemperaturama na temelju vrijednosti omjera izotopa kisika iz kućica foraminifera za lokalitet Nježić (naslage badenske starosti (srednji miocen) na JZ padinama Papuka; Fio Firi i sur., 2024) i usporedba s rekonstrukcijom iz rada Scheiner i sur. (2018, modificirano prema Kovač i sur., 2017) za naslage na području Slovačke (nekadašnji središnji Paratethys)

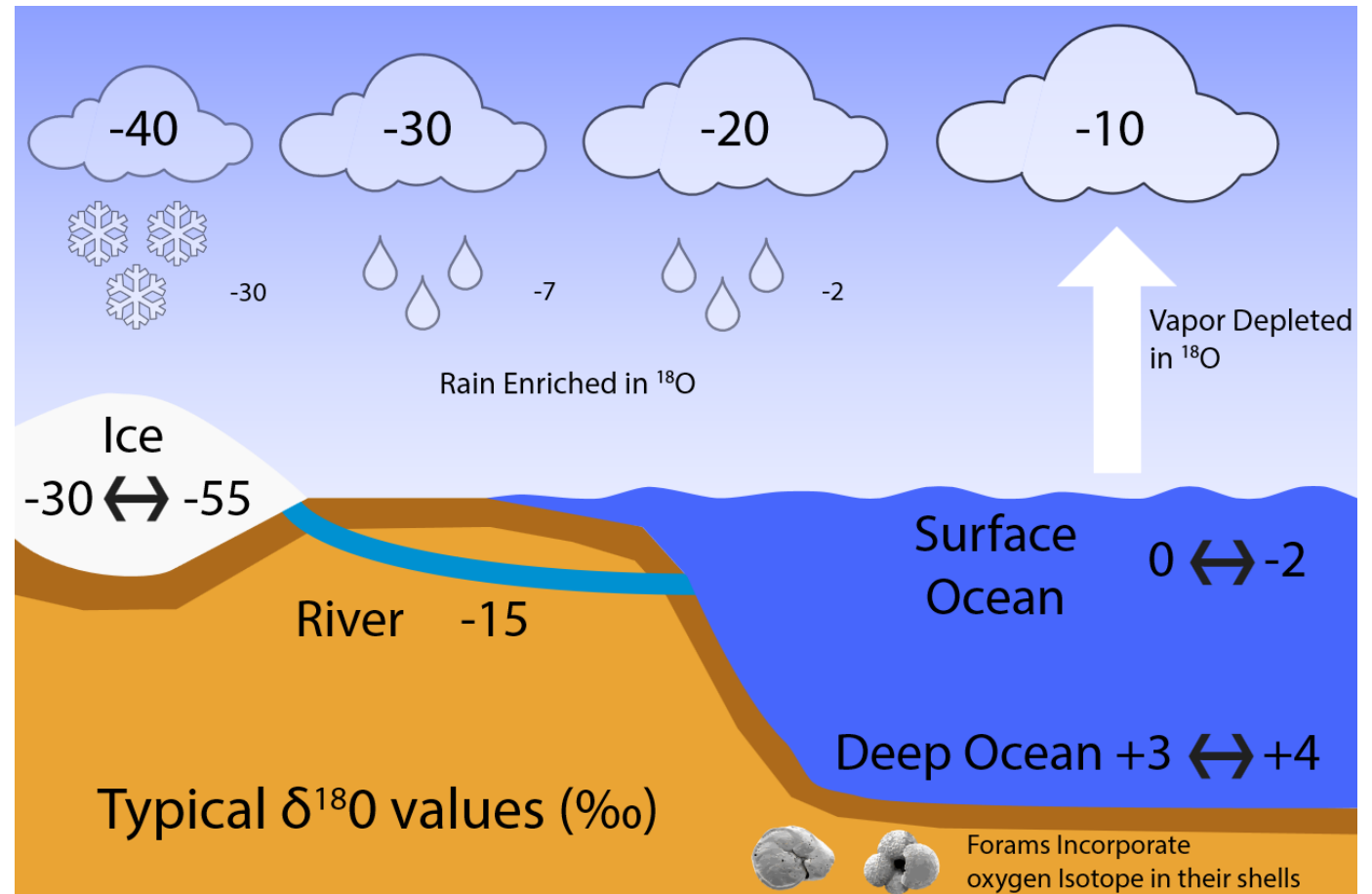
LEDENE I SEDIMENTNE JEZGRE → paleoklimatologija



Rekonstrukcije promjena u globalnoj temperaturi za holocensku epohu i razdoblje od 1961. do 1991. godine na temelju podataka dobivenih iz sedimentnih jezgri, jezgri leda, analizama koralja i sl. (<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1228026>)

OMJERI VRIJEDNOSTI IZOTOPA KISIKA → paleotemperature

- $\delta^{18}\text{O} \sim 0 \text{ ‰}$ – vrijednosti površinske vode u oceanima
- zbog frakcioniranja tijekom **isparavanja** (različite brzine isparavanja lakših i težih izotopa) lakši izotopi dopijevaju u zrak, što dovodi do negativnijih δ vrijednosti
- tijekom **kondenzacije** više je težih izotopa pa je vrijednost $\delta^{18}\text{O}$ manje negativna (-2 ‰,)
- preostala vodena para koja ide u unutrašnjost kopna će biti dodatno osiromašena na ^{18}O u odnosu na ^{16}O te su vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ sve negativnije (-20 ‰) sa svakom sljedećom oborinom
- led ima vrlo negativne vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ (između -30 i -55 ‰)



Uzroci klimatskih promjena

- Milankovićeви ciklusi – tri ciklusa, na 21 000, 41 000 i 100 000 godina vezana uz precesiju Zemlje i količinu sunčeve radijacije koja dopijeva do Zemlje, promjene nagiba osi Zemlje (21,5 do 24,5°) i ekscentričnost Zemljine orbite
- Promjena raspodjele morskih struja – uzrokovana tektonikom
- Razlike u količini zračenja sa Sunca
- Vulkanska aktivnost
- Promjene koncentracije CO₂ u atmosferi

- Utjecaj čovjeka?

Interpretacije na temelju fosila, na što paziti?

- Određivanje prisutnih fosilnih ostataka, ali i karakteristika stijene u kojoj se nalaze
- Tip okoliša – definiranje abiotičkih čimbenika (npr. dubina, količina hrane, količina otopljenog kisika, salinitet, količina svjetlosti, temperatura...)

ZADATAK

1. Probajte objasniti što sve možete objasniti temeljem nalaza kostiju dinosaura sačuvanih u jezerskim naslagama?
2. Osmislite vlastiti primjer interpretacije na temelju nalaza mnogobrojnih ljuštura školjkaša!

KOJI BI BILI DOBRI UVJETI ZA FOSILIZACIJU?

- Brza sedimentacija
- Smanjena količina kisika (anoksija)
- Visoka koncentracija organske tvari
- Niska energija okoliša