

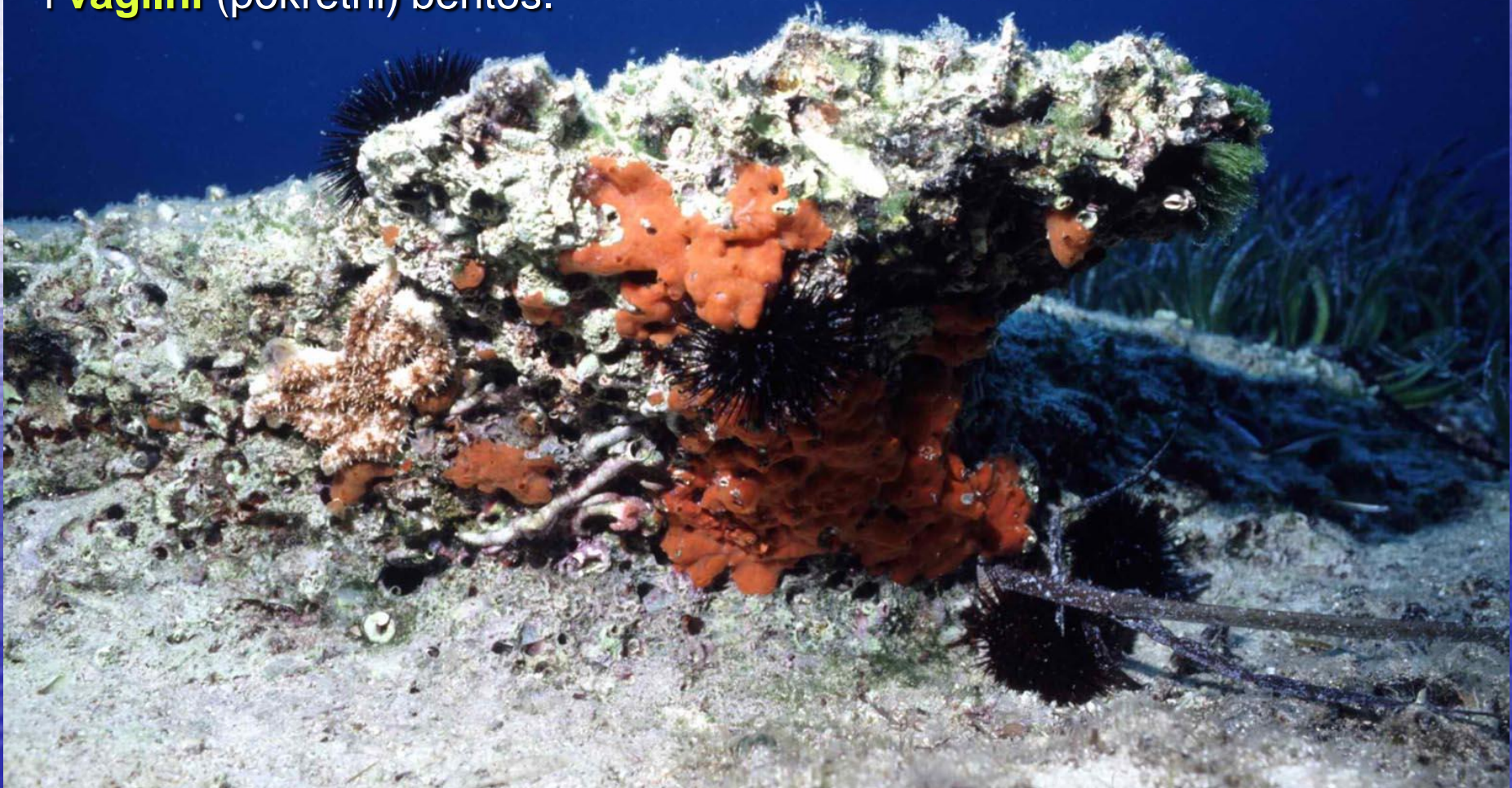
# Geologija mora

## Život na morskome dnu (9)

Mladen Juračić, Geološki odsjek PMF-a,  
Sveučilište u Zagrebu, 2013/14

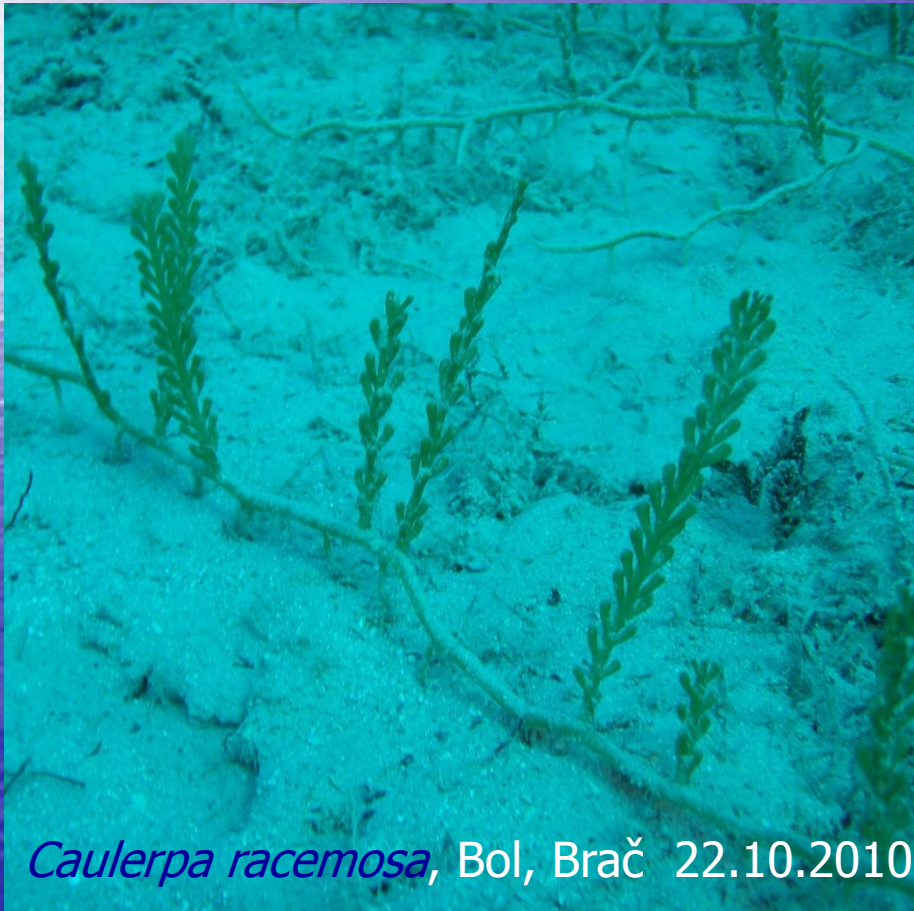
# Život na morskome dnu

Tu je važna interakcija organizama i sedimenata: stvaranje, prerada i razgradnja. Najveći dio morskog dna vrvi od bentičkih organizama. Razlikujemo **sesilni** (nepokretni bentos, spužve, koralji, brahiopodi, briozoi) i **vagilni** (pokretni) bentos.

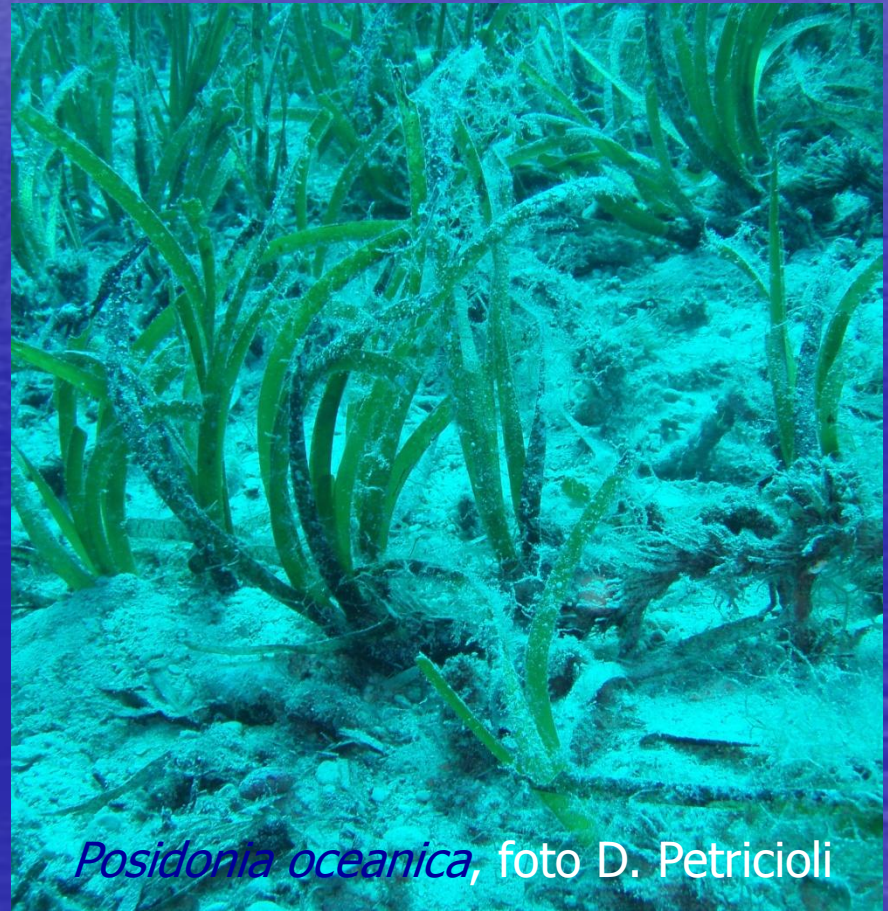


# Život na morskome dnu

- Alge i biljke žive samo na 2-3 % morskoga dna (na morskome dnu u fotičkoj zoni).



*Caulerpa racemosa*, Bol, Brač 22.10.2010.



*Posidonia oceanica*, foto D. Petricioli

# Život na morskome dnu

- Ovisno o tome žive li životinje na morskome dnu (ili drugim organizmima) imamo **epifaunu**, ili žive skriveni u stijeni ili sedimentu imamo **infaunu**.
- Veća je raznolikost/brojnost epifaunalnih vrsta (125.000) u odnosu na 30.000 infaunalnih vrsta.
- Da li stoga što postoji više ekoloških niša za epifaunalni način života ili više mogućnosti za različit način epifaunalnog života?

# Infauna

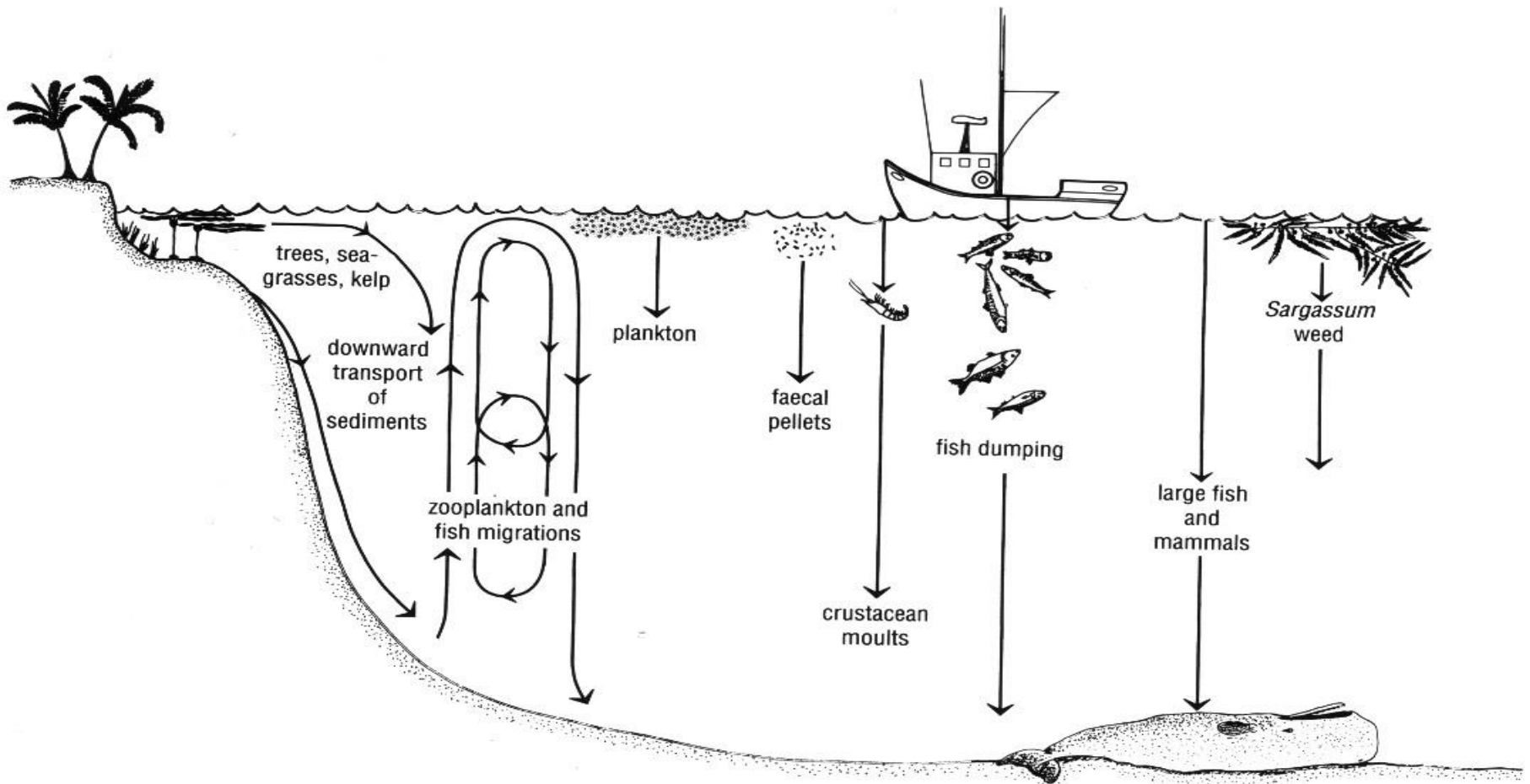


*Eusyllis* sp.

- U infauni se posebno izdvaja **meiofauna**: organizmi/životinje veličine 0,1-1 (0,063-0,5) mm (intersticijska fauna). To su organizmi posebno priviknuti na život među zrnima pijeska ili u intersticijama (malom veličinom, izduženošću, zaštitnim ovojnicama, adhezivnim organima).

# Hrana i podloge

- Bentičke životinje u principu žive od hrane koja pada (kiši) odozgo ili im stiže niz padine duž morskog dna.



# Hrana i podloge

- Biolozi plankton + detritus (organski i anorganski) zovu **seston**, a geolozi to zovu **suspendirani materijal**.
- Kao posljedica smanjenja hranjive "kiše" s dubinom u moru (jer se troši/koristi na putu) bentička biomasa se također smanjuje s povećanjem dubine morskog dna.
- Smanjuje se i lateralno s udaljenošću od fertilnih (plodnih) obalnih zona!
- Budući da u dubokom moru preostaje malo hrane organizmi tamo moraju biti vrlo **energetski efikasni**.

# Promjena biomase s dubinom

dubina (m)	biomasa (grama mokre težine/ m <sup>2</sup> )
intertajdal	3000
do 200	200
500-1000	40
1500-2500	<20
4000-5000	<2
7000-9000	<0,03
>9000	<0,01



# Načini hranjenja

- **Sesilni bentos**, naravno, čeka hranu (seston, suspendirani materijal) da joj stigne. To su **filter** ili **suspension feeders**. Filtriraju vodu pasivno ili aktivno. Vrlo su česti na kamenitim dnima.



D. Petricioli



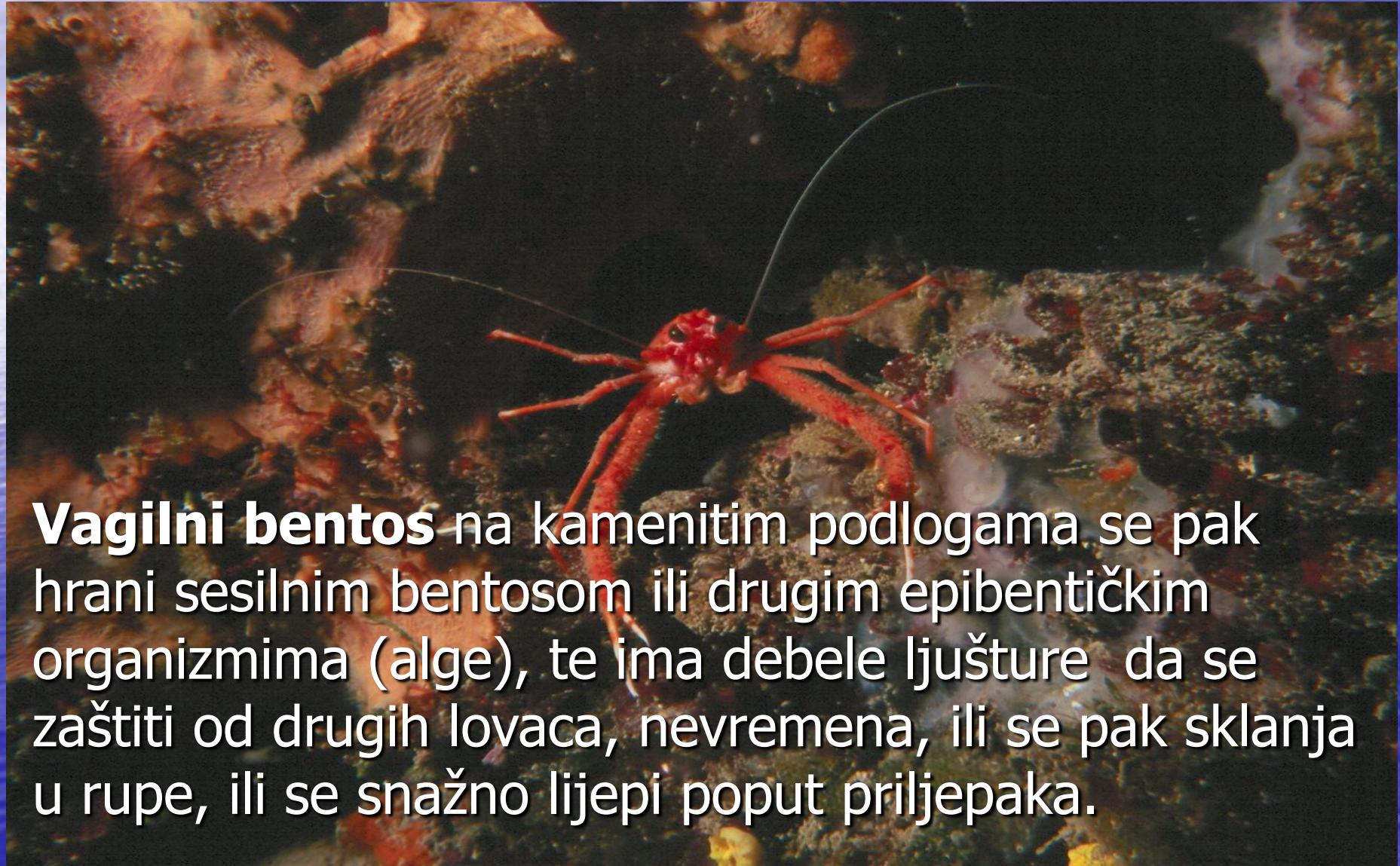
# Načini hranjenja

- Na mekanim (muljevitim) dnima vagilni bentos jede podlogu i iz nje ekstrahira hranu (**deposit feeders**) ili pak lovi žrtve.



D. Petricioli

# Načini hranjenja



**Vagilni bentos** na kamenitim podlogama se pak hrani sesilnim bentosom ili drugim epibentičkim organizmima (alge), te ima debele ljuštore da se zaštiti od drugih lovaca, nevremena, ili se pak sklanja u rupe, ili se snažno lijepi poput priljepaka.

# Život na morskome dnu

- Iz navedenog slijedi da život na morskome dnu značajno ovisi o tipu podloge (supstratu).
- Podloga kao i organizmi također odražava faktore okoliša: temperaturu, salinitet, kisik, struje, mikrotopografiju.
- Sedimentacijski procesi i život na morskome dnu vrlo su isprepleteni. Ostaci organizama u vlastitom *habitatu* upućuju na uvjete rasta ali i sedimentacije!
- K tome bentički organizmi u znatnoj mjeri i **proizvode** podlogu (supstrat) ili ga prerađuju.

# Proizvodnja biogenog karbonata

- Ekološki aspekt važan za geologiju je **brzina proizvodnje** ljuštura i skeleta tj. karbonata.
- Makrobentos ispred Floride proizvodi u intertajdalju i do  $1000 \text{ g CaCO}_3/\text{m}^2\text{a}$  a u plitkom moru od  $400-1 \text{ g CaCO}_3/\text{m}^2\text{a}$ .
- U plitkim vodama Zaljeva primjerice samo bentičke foraminifere vrste *Heterostegina depressa* proizvode do  $150 \text{ g karbonata}/\text{m}^2\text{a}$ . Žive u simbiozi sa zelenim algama.
- Tip i brzina mineralizacije važne su za paleoekologiju, a to je područje čvrstog dodira geologije i biologije.
- Bentičke foraminifere su posebno zahvalne za paleoekološka istraživanja.

# Podloge / supstrati

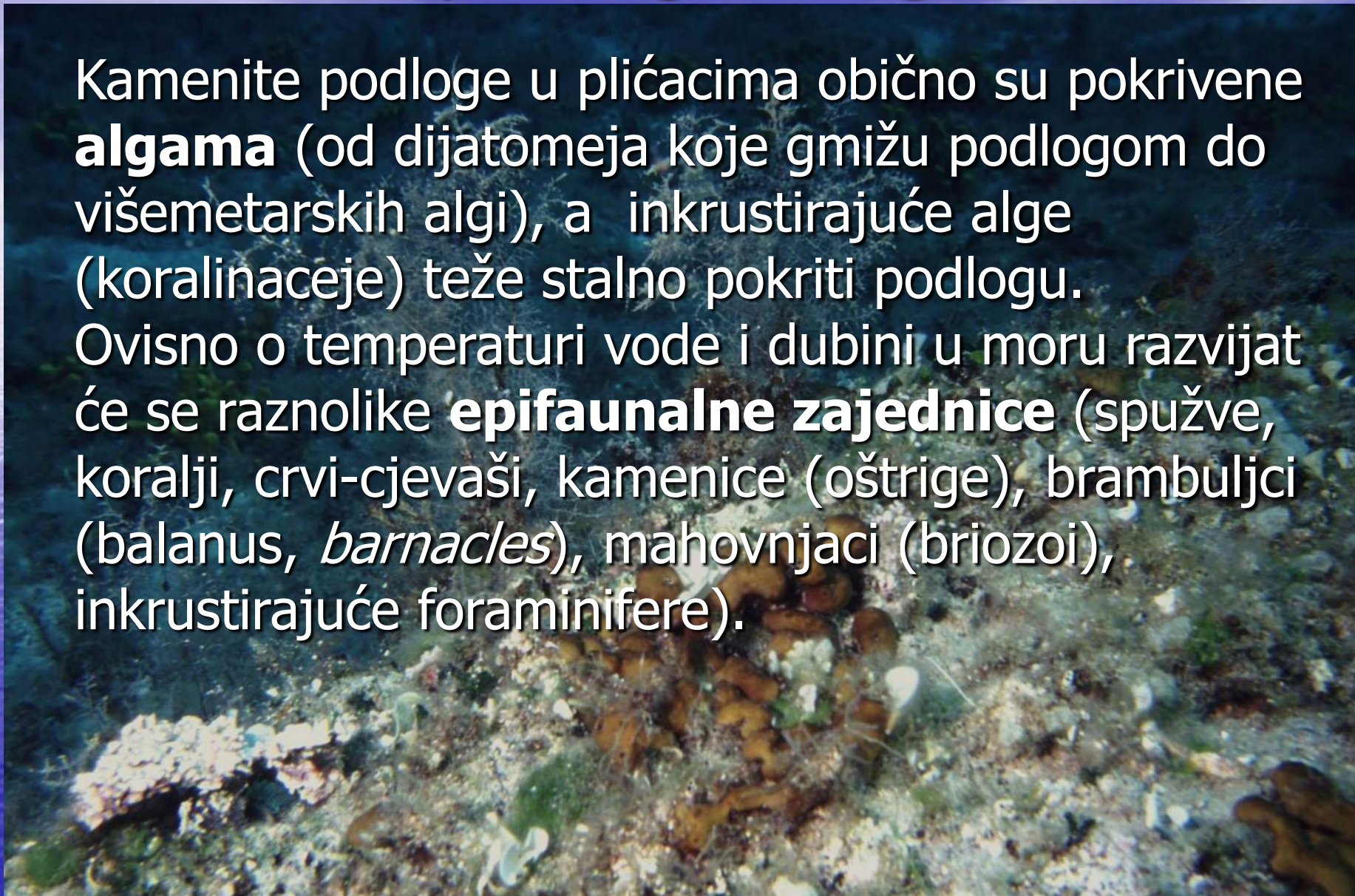
- U moru postoje tri osnovna tipa podloga:
- **kamenite**
- **muljevite**
- **pjeskovite.**
- Stoga malo detaljnije o odnosu organizama i tri osnovna tipa podloge u moru.

# Kamenite podloge i organizmi

- To su podloge kojima valovi i struje ne daju da se čestice talože ili je čak aktivna erozija. To su uglavnom neravne podloge.
- Najčešće kamenite podloge u oceanima su **bazalti** nastali izljevima lave na oceanskim hrptovima. Oni su samo lokalno naseljeni jer su duboko ispod fotičke zone.
- U podmorskim kanjonima nalazimo kamene podloge, na blokovima potonulim s ledenih bregova, na fero-manganskim konkrecijama.
- **U priobalnom području** su česte kamenite podloge na starijim stijenama (pješčenjacija, vapnencima, eruptivima), na potopljenim mrtvim koraljima, cementiranim žalima ili aktivnim grebenima, te na antropogenim podlogama (podrtinama).

# Kamenite podloge i organizmi

Kamenite podloge u plićacima obično su pokrivene **algama** (od dijatomeja koje gmižu podlogom do višemetarskih algi), a inkrustirajuće alge (koralinaceje) teže stalno pokriti podlogu. Ovisno o temperaturi vode i dubini u moru razvijat će se raznolike **epifaunalne zajednice** (spužve, koralji, crvi-cjevaši, kamenice (oštrige), brambuljci (balanus, *barnacles*), mahovnjaci (briozoi), inkrustirajuće foraminifere).





# Kamenite podloge i organizmi

- **Infauna** se aktivno ubušuje u podlogu. To svojstvo su postigli mnogi tipovi organizama uključujući spužve, crve, školjkaše, ali ima i i inflore (endolitske alge).
- Uzrokuju **biokoroziju** tj. oslabljivanje stijene koja bude poput ementalera (mala rupa na površini veća u dubini, npr. prstaci).
- Potom stijena može biti urušena djelovanjem valova ili organizama, npr. riba - komarča (podlanica, orada) drobi stijenu u potrazi za hranom
- To je primjer **sinergijskog djelovanja**, pa imamo bioeroziju.
- Vapnenačke obale su posebno podložne takvoj bioeroziji. Zašto?

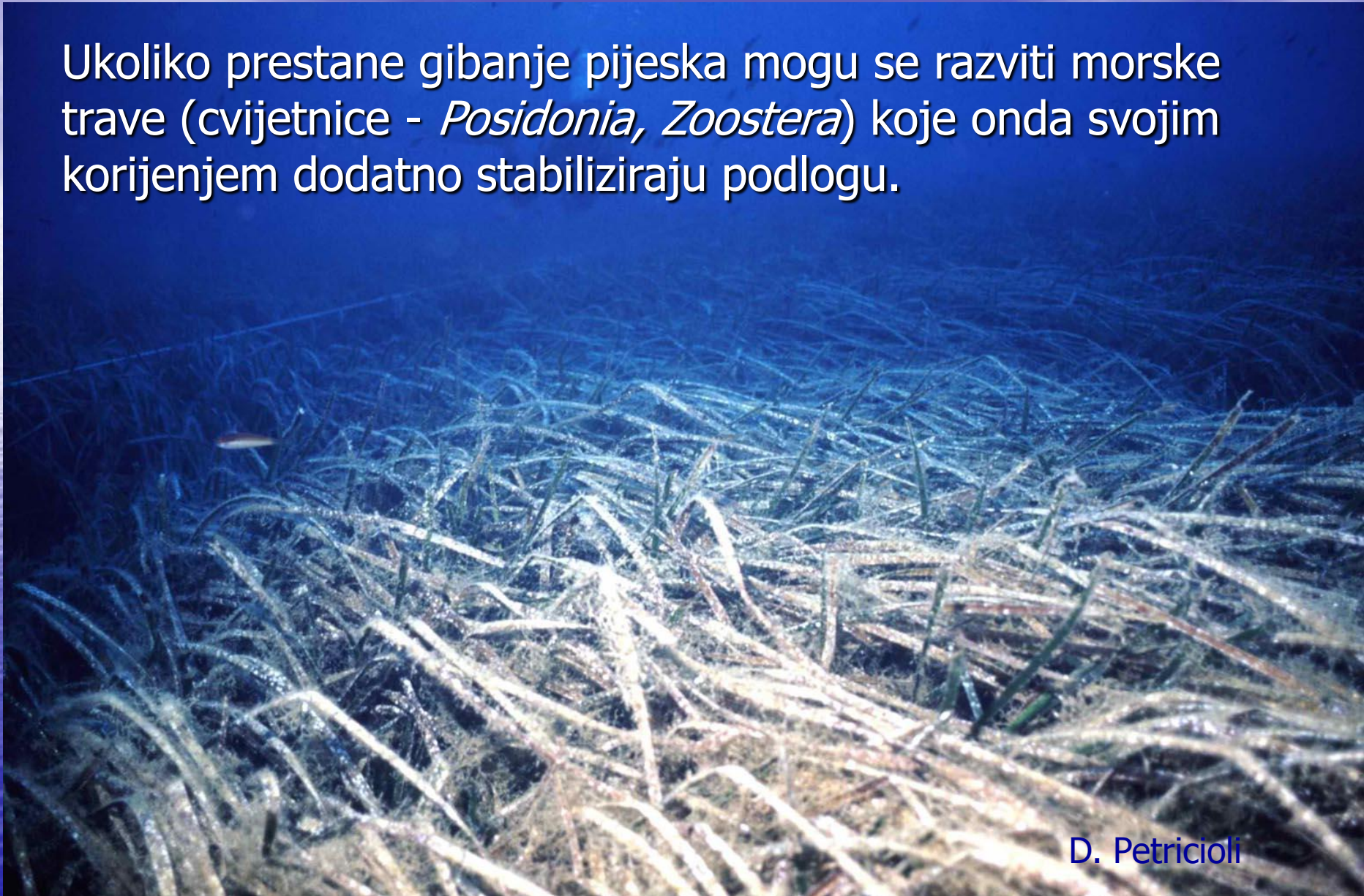
# Biokorozija

- Novija istraživanja pokazuju da se biokorozija kod školjkaša (*Litophagus*, *Botula*) događa djelovanjem neutralnih mukoproteina koji vezuju (helatiziraju) Ca. Nekad se mislilo da do otapanja dolazi pomoću slobodne kiseline, a bušenje se događa i mehaničkim djelovanjem.
- Brzine ubušivanja kreću se od 0.001 - 0.1 mm/dan. Ispod grebena se tako stvara *reef talus* (grebensko kršje) predgrebenski facijes (porozno – tzv. naftni kolektori).

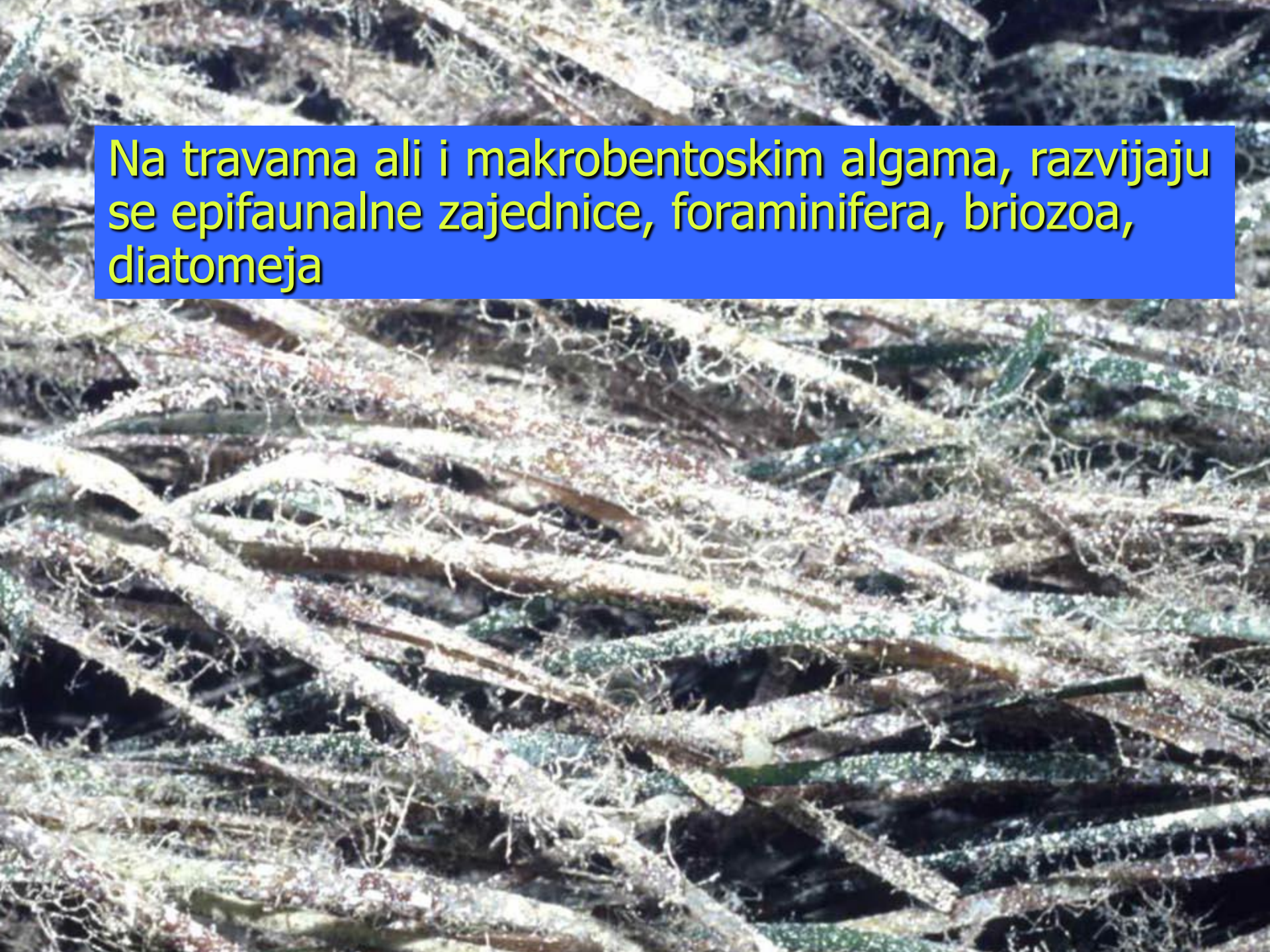
# Pjeskovite podloge i organizmi

- Za razliku od bogatih i raznovrsnih zajednica koje nalazimo na kamenitim podlogama od tropa do Antarktike, na pjeskovitim podlogama puno se manje vidi.
- Organizmi su skriveni u pijesku. Sésilna epifauna nedostaje jer je pijesak najčešće pokretan.

Ukoliko prestane gibanje pijeska mogu se razviti morske trave (cvijetnice - *Posidonia*, *Zoostera*) koje onda svojim korijenjem dodatno stabiliziraju podlogu.



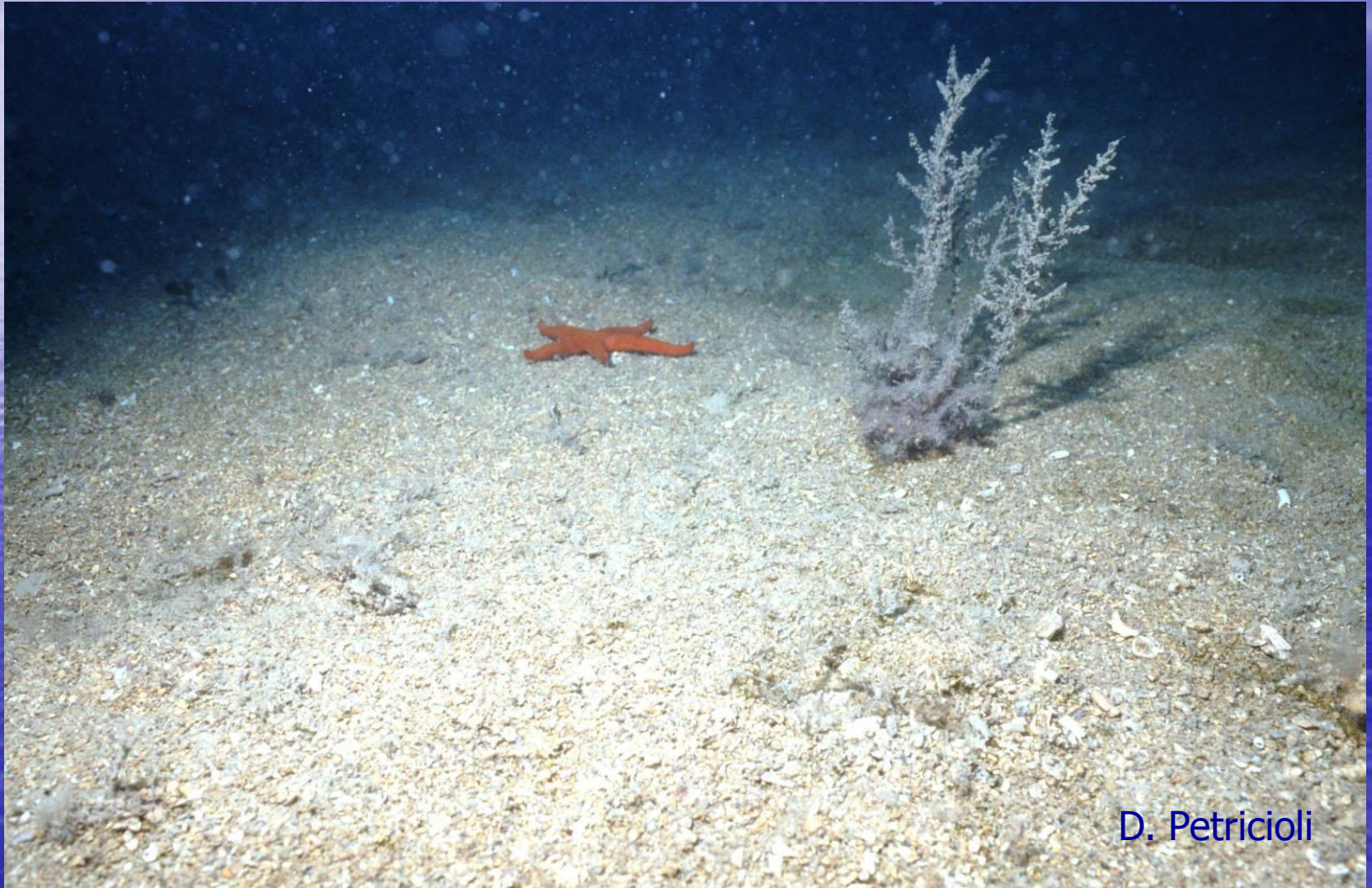
D. Petricoli

The image shows a close-up view of a dense thicket of seagrass or macroalgae. The plants are brownish-green and have a fibrous, root-like structure. They are heavily covered with small, white, fuzzy organisms, likely epifaunal species such as foraminifera, bryozoa, and diatoms. The background is dark, suggesting an underwater environment.

Na travama ali i makrobentoskim algama, razvijaju se epifaunalne zajednice, foraminifera, briozoa, diatomeja

# Pjeskovite podloge i organizmi

- Vagilni bentos (s rupama za skrivanje ili bez njih) relativno je čest. Rakovi, puževi, zvjezdače, ježevi.



# Pjeskovite podloge i organizmi

- Veće prisustvo lovaca i nestabilnost pijeska koja može otkriti infaunu uzrokuje čestu mogućnost organizama za **brzim ukopavanjem**, pa su česte školjke glatkih ljuštura a s jakim stopalom, ili rakovi (škampi).
- Mehanizmi i tragovi tih aktivnosti, zajedno s kretanjem, hranjenjem... predmet su posebnog proučavanja (ihnofosili) i posebno su značajni za bioturbaciju.

# Pjeskovite podloge i organizmi

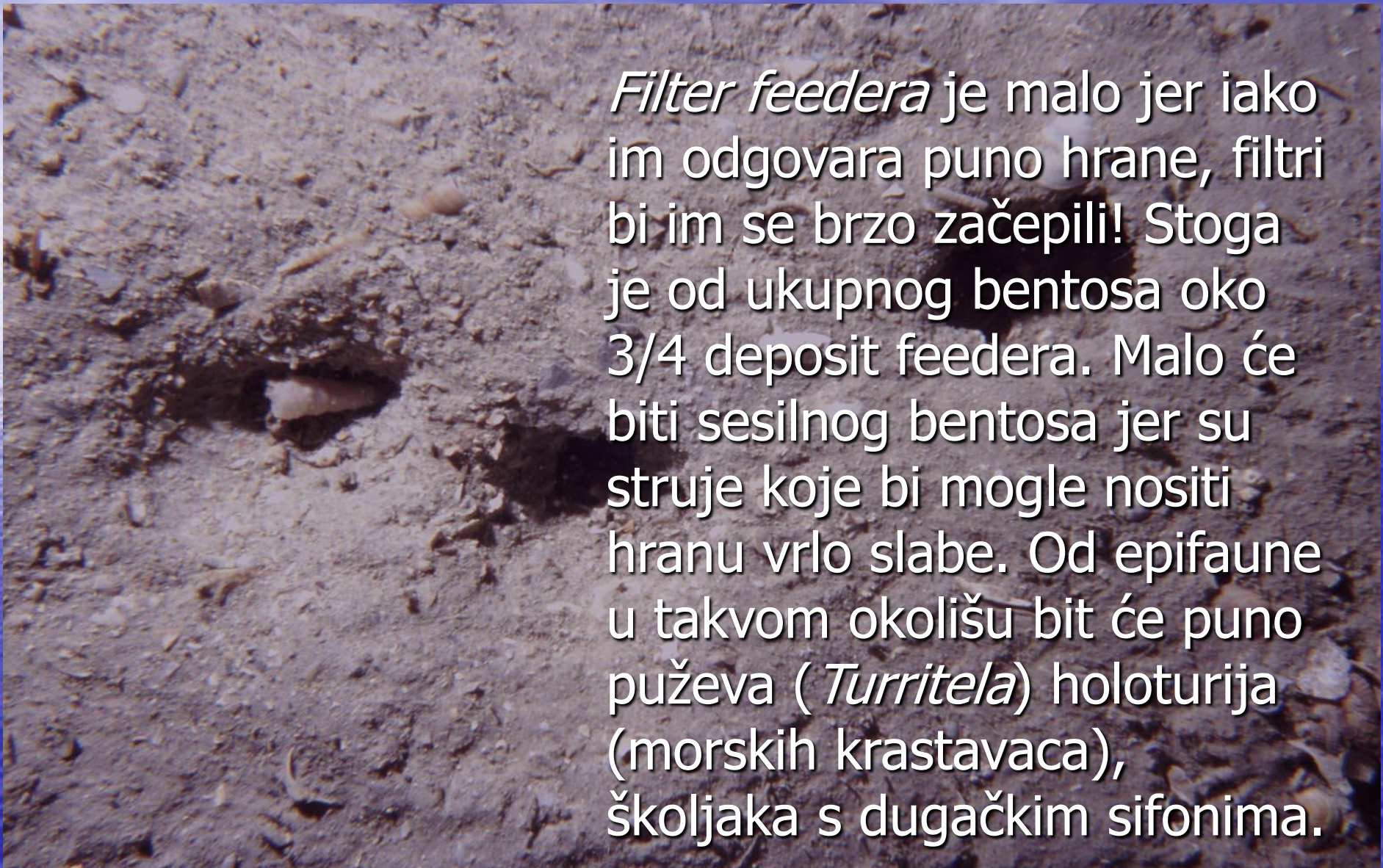
- Školjke koje su ukopane često su *suspension* ili *filter feeders*. Imaju stoga dugačke ulazne i izlazne sifone. Zašto?
- Hrana (organska tvar) je pretežno u suspenziji, jer je energija okoliša viša, pa su čestice koje se sastoje od specifički lagane organske tvari suspendirane.
- Nakon uginuća ljuštore se koncentriraju djelovanjem valove u kokine zbog hidrauličkih razlika prema pijesku koji ih okružuje.



# Muljevite podloge i organizmi

- Na muljevitim podlogama, drugačiji su izazovi za bentičke organizme. Stoga su zajednice u tom okolišu (habitatu) vrlo različite od onih u pijescima ili na kamenitim podlogama.
- Muljevi se sastoje od vrlo sitnih čestica ( $<63 \mu\text{m}$ ) ali posebno 1-2  $\mu\text{m}$  u kojima često ima i organskih čestica i ovojnica. Jaka je kohezija među tim malim česticama pa su ti substrati stabilniji i teže je ubušivnje, ali su i jednom napravljene bušotine stabilnije i lakše se očuvaju.
- Povećani postotak organske tvari čini te sedimente privlačnim za **deposit feeders** (muljojede).

# Muljevite podloge i organizmi



*Filter feedera* je malo jer iako im odgovara puno hrane, filtri bi im se brzo začepili! Stoga je od ukupnog bentosa oko 3/4 deposit feedera. Malo će biti sesilnog bentosa jer su struje koje bi mogle nositi hranu vrlo slabe. Od epifaune u takvom okolišu bit će puno puževa (*Turritela*) holoturija (morskih krastavaca), školjaka s dugačkim sifonima.

# Muljevite podloge i organizmi

- Organizmi ostavljaju negativne tragove na površini (kretanje, hranjenje) i pozitivne (uzdignuće - fekalne izlučevine). Obično se takvi tragovi ne sačuvaju (eventualno ukoliko stigne kakav turbidit!).



(a) Deep-sea red clays are found throughout the oceans at depths of 4000–4500m or greater, and cover nearly half of the Earth's surface. Vast areas of the deep ocean floor are almost featureless and such detail as can be seen is difficult to interpret. Some of the small mounds in this picture are burrows and some are faeces.

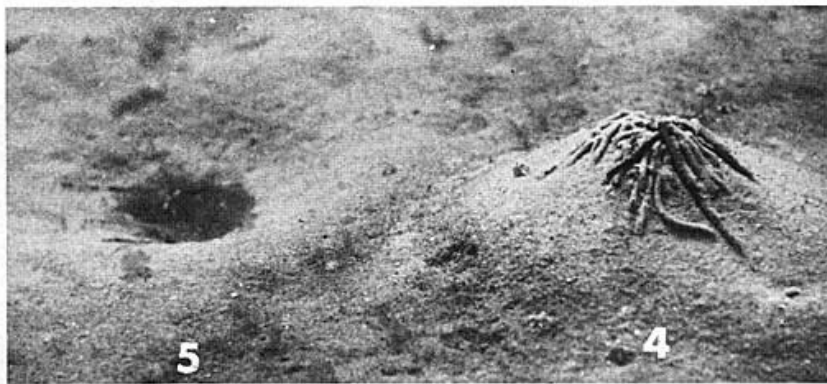
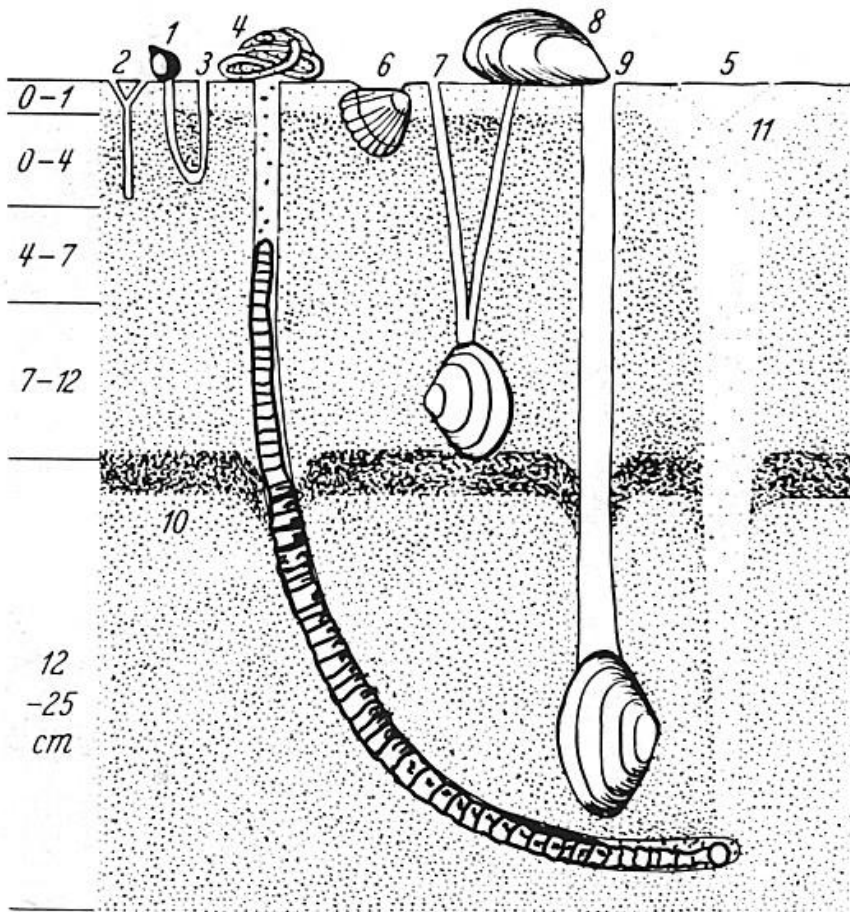


(b) A track in the centre may have been made by an acorn worm. Superimposed on this, from top left to bottom right, is a four-row trail. This was made by a holothurian, an echinoderm of the genus *Psychropotes*, see (c).

# Bioturbacija

Bušenja u muljevitim sedimenta vrlo su česta. U muljevitoj intertajdalnoj ravnici umjerenog pojasa čest je crv *Arenicola* kojeg može biti i do 200 primjeraka /m<sup>2</sup>, a svaki probavi nekoliko stotina grama sedimenta dnevno.

Ukoliko je dubina hranjenja/bušenja 20 cm, znači da ukupni sediment može biti prerađen u samo nekoliko tjedana pomoću *deposit feedera*.



# Bioturbacija

- Slijedi da je muljevito dno zapravo više puta reciklirani fekalni materijal!!!
- **Brzina reciklaže** opada s porastom dubine u moru (kao i količina hrane!). Tako je u intertajdalu nekoliko tjedana dok na oceanskom dnu može biti i 1000 godina (sličan odnos kao donos hrane).
- Budući da je to fekalni materijal vide se peleti i niti. U karbonatnim muljevima ti se peleti mogu cementirati i fosilizirati pa tako nastaju zrna veličine 30-100  $\mu\text{m}$ , koja se često vide u izbruscima vapnenaca.

# Bioturbacija

- Biološko prerađivanje površinskog sedimenta proces je od globalne geokemijske važnosti.
- Bez bioturbacije istaloženi bi materijal brzo nestao iz morskog kemijskog sustava. Ovako je nekoliko cm sedimenta u kontaktu s vodom pa se procesom remineralizacije nutrijenti vraćaju iz sedimenta u morsku vodu.
- To je pak važno za fertilitet oceana.

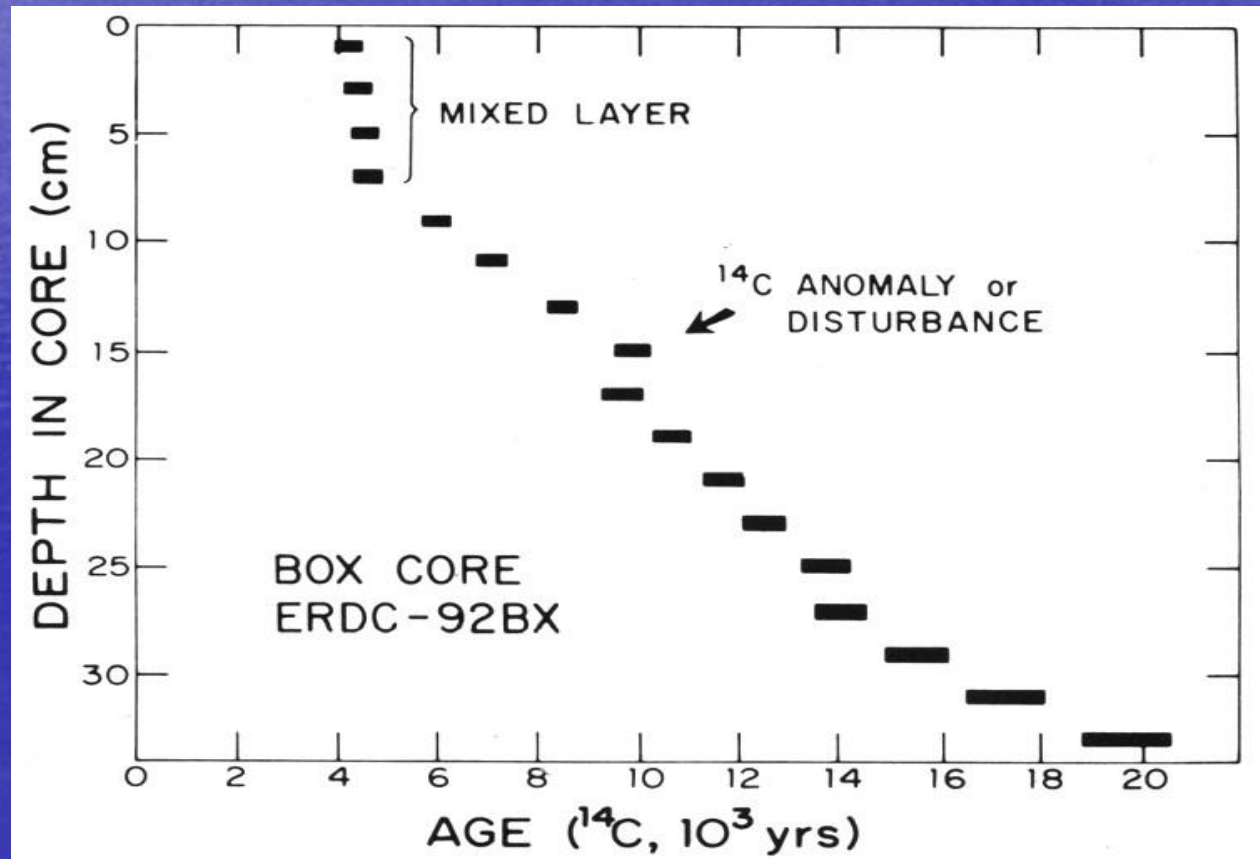
# Ihnofosili

- Tragovi kretanja, hranjenja, fekalni ostaci, bušotine s fekalnim materijalom, bušotine za stanovanje napunjene naknadno sedimentima (*lebenspurren, life traces, tragovi života*).
- Tako se fosilizira **ponašanje** bentičkih organizama (a ponašanje je također adaptacija na okolinu, kao i npr. izgled školjke, oklopa).
- Tragovi se ne mogu transportirati kao školjke, pa ukazuju na *in situ* uvjete (količinu hrane, stabilnost sedimenta, djelovanje valova, dubinu vode i sl.).
- Očuvanje tragova je **diferencijalno** (duboke bušotine najbolje će se očuvati, površinske karakteristike samo rijetko, pri epizodnim, momentalnim, događajima (turbiditi, olujno nevrijeme, poplavni val i sl.).
- U plicacima površinski se sloj kontinuirano miješa i površinski se tragovi ne mogu očuvati.

# Bioturbacija

- **Bioturbacija** sprečava očuvanje godišnjih slojeva, lamina, varvi, tankih turbidita ili slojeva konturita. Ranije u geološkoj prošlosti, smatra se da je bilo manje otopljenog kisika u dubokom moru pa je taloženo više tanko-uslojenih /**laminiranih** sedimenata

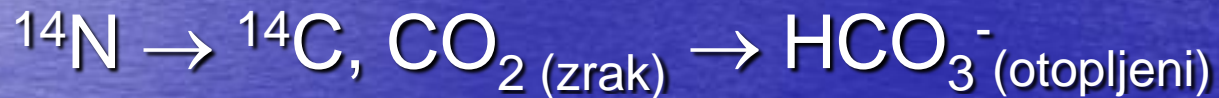
- Bioturbacijom se uprosječnjavaju zapisi različitih uvjeta nastanka sedimenta. Miješani zapis kod  $^{14}\text{C}$  stratigrafije.





# $^{14}\text{C}$ metoda

- Određivanje starosti i brzine sedimentacije određivanjem apsolutne starosti **radioaktivnim ugljikom**.



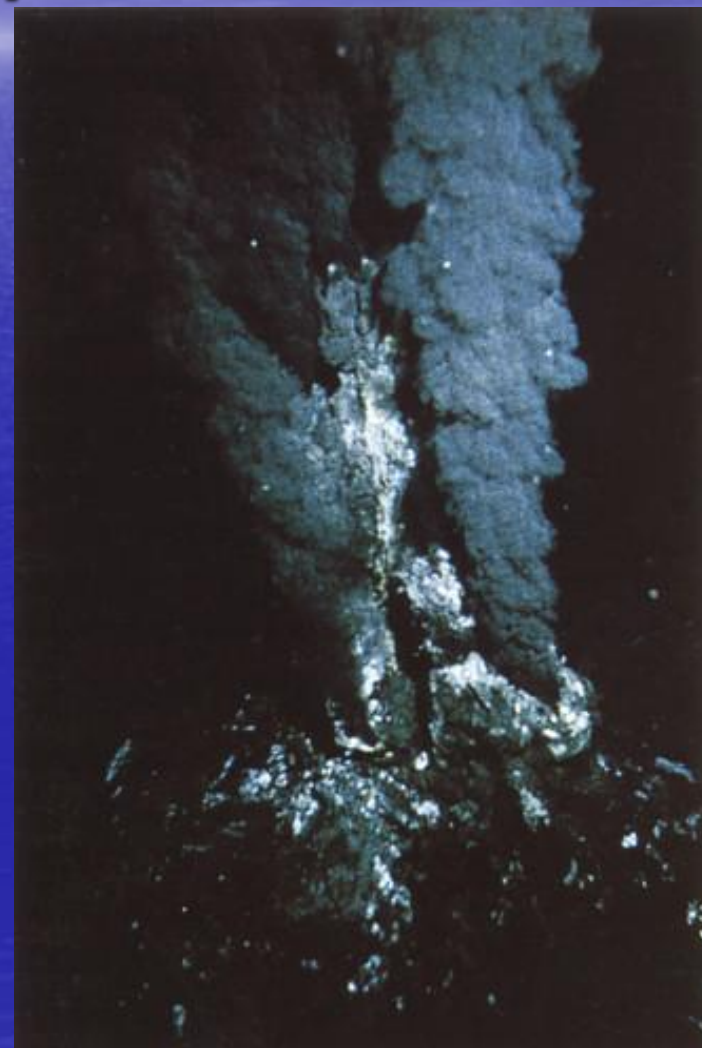
- Aktivna ravnoteža, dok se ugrađuje. Nakon toga opada aktivnost. Početna aktivnost  $A_0$  se smanjuje  $T_{1/2} = 5770$  godina. (Mogućnost datiranja do 40.000 godina). Povišenje 1950ih godina zbog nuklearnih eksplozija.
- Druge metode idu dalje u prošlost, U/Th, K/Ar...

# U prošlost

- Ograničenja u paleoekološkoj rekonstrukciji:
- Fosili se slučajno sačuvaju i to neki češće a neki rjeđe, a neki nikako.
- Pogotovo rijetko sačuvat će se oni bez skeleta i školjke!

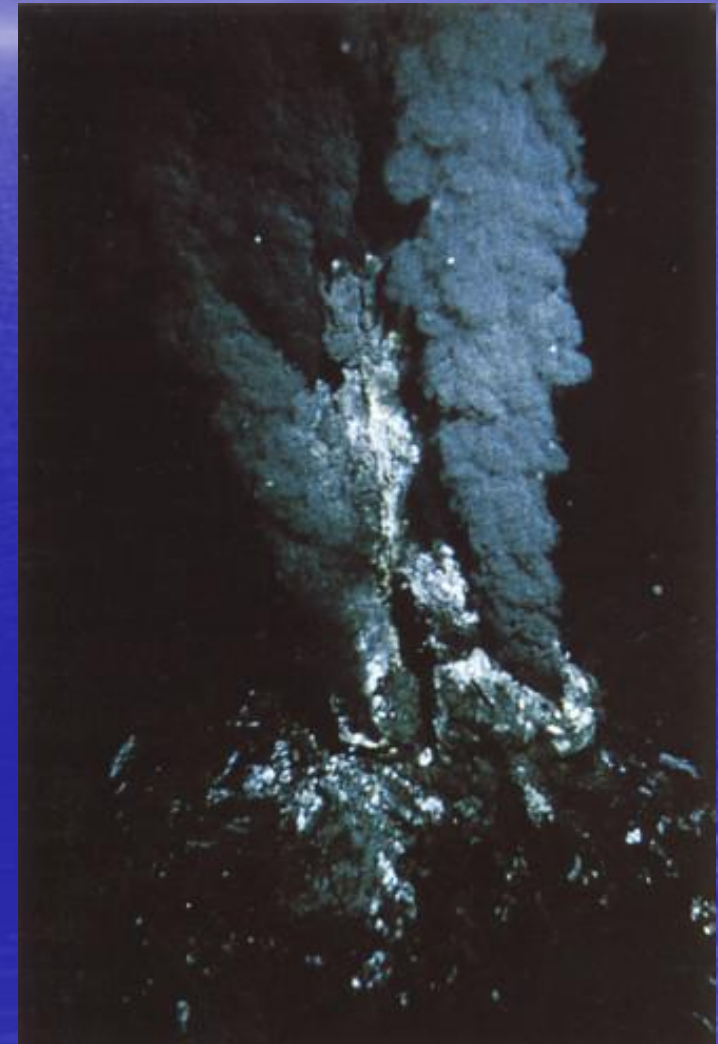
# Hidrotermalni otvori i hladno procurivanje (seep)

- Istraživanjem termičke anomalije (povišene temperature duboke morske vode) ispred otočja Galapagos u zoni širenja morskog dna (oceanskog hrpta) 1977. godine prvi put je otkrivena bogata zajednica organizama uz hidrotermalne otvore na dubini od 2500 m.



# Hidrotermalni otvori i hladno procurivanje (seep)

- Izvori mineralizirane tople vode:
  - a) 5-100 °C koja difuzno izlazi kroz pukotine na morskome dnu,
  - b) perjanica superzagrijane vode (250-400 °C) na izlasku iz dimnjakolikih otvora.
- Miješanjem s morskom vodom temperatura se spušta na 8-25 °C
- U toj vodi je niska koncentracija O<sub>2</sub> ali povišena sumporovodika H<sub>2</sub>S, koji je obično vrlo otrovan životinjama čak i u vrlo niskim koncentracijama.



# Hidrotermalni otvori

- No, nađen je niz životinja od kojih su mnoge vrlo velike. Odakle hrana za njihov razvoj?
- Cijeli se hranidbeni lanac bazira na prisutnosti H<sub>2</sub>S tj. reduciranog sumpora koji se nalazi u hidrotermalnoj vodi. Taj H<sub>2</sub>S koriste bakterije koje ga oksidiraju (e.g. *Thiomicrospira* i *Beggiatoa*) a oslobođena energija se koristi za proizvodnju organske tvari istim biokemijskim putem kao i kod fotosintetskih organizama. Za to je potreban i kisik koji je otopljen u okolnoj vodi:



# Hidrotermalni otvori

- Bakterijama se hrane crvi, serpulidi, školjkaši, rakovi (cijeli novi svijet).
- 95 % otkrivenih životinja su dotada bile nepoznate, te je već opisano preko 300 novih vrsta, i veći broj novih porodica.
- Gustoća biomase može biti i do 30 kg mokre težine / m<sup>2</sup>.

# Hidrotermalni otvori

- Spektakularni su ogromni crveni “crvi cjevaši”
- *Riftia pachyptila*
- novi rod i vrsta mnogočetinjaša u koljenu kolutićavaca (*Annelida*) 1,5 m x 37 mm. Imaju simbiotske bakterije (čak do 60 % težine!).



- Druga dominantna vrsta je školjka *Calyptogena magnifica* koja može dostići dužinu 30 - 40 cm. Također je crvena tijela jer u krvi ima hemoglobin a ne hemocijanin kao druge školjke (adaptacija na niske i varirajuće koncentracije otopljenog kisika!). Na škrgama ima također nakupine sumpornih bakterija koje joj sigurno pomažu u prehrani.

## Hidro- termalni otvori





# Hidrotermalni otvori i hladno procurivanje

- Kasnije su slične zajednice nađene i na središnjem Atlantskom i na drugim Pacifičkim grebenima.
- 1984. g. zajednice egzotičnih organizama nađene su i u Meksičkom zaljevu uz floridski rasjed (eskarpmen) na dubini od 3270 m.
- Tamo hipersalina voda s visokom koncentracijom sulfida i metana izbija na morsko dno. Iako je voda niske temperature, zajednice organizama su slične onim oko hidrotermalnih otvora.

# Hidrotermalni otvori i hladno procurivanje

- Bioraznolikost (*species diversity*) je nizak kod ovih neobičnih zajednica, prevladavaju endemske vrste, a nedostaju žarnjaci (osim anemona), bodljikaši, spužve, brahiopodi briozi, a ribe su rijetke ili nedostaju.
- Veličine zajednica su male 25-60 m u promjeru a odvojene stotinama kilometara.
- To znači da imaju sposobnost brzog razmnožavanja i mogućnost dalekog odnošenja i brze kolonizacije.

# Hidrotermalni otvori

- Zajednice organizama oko hidrotermalnih otvora su geološki stare, u Omanu i na Cipru u krednim ofiolitima, te u karbonskim stijenama New Foundland-a nađene su zajednice cjevastih crva u zajednici s masivnim sulfidnim rudama.
- Sada se ti fosili javljaju u potpuno novom svjetlu.
- Novijim istraživanjima nađeni su končasti mikrofosili (vjerojatno termofilni kemotropni prokarioti) u vulkanogenim masivnim sulfidnim ležištima starim 3,23 milijardi godina (Pilabra kraton u Australiji).

# Život na hidrotermalnim otvorima

- Ostaju otvorena i mnoga zanimljiva pitanja:
- Kako preživljavaju te zajednice, budući su hidroterme kratkoživuće (deseci godina)?
- Kako se organizmi prilagođavaju otrovnosti  $H_2S$  i teških metala?
- Koje su implikacije na razvoj života, pogotovo u dalekom prekambriju s reduktivnom morskom vodom?
- Je li Sunce neophodno za nastanak života?

