


# **Paleontologija vaje**

*Aleksander Horvat in Luka Gale*

## **Ihnofosili**

**štud. I. 2008/09**



**Ihnofosili (*Ichnofossils*)**  
**Fosilni sledovi (*Trace fossils*)**

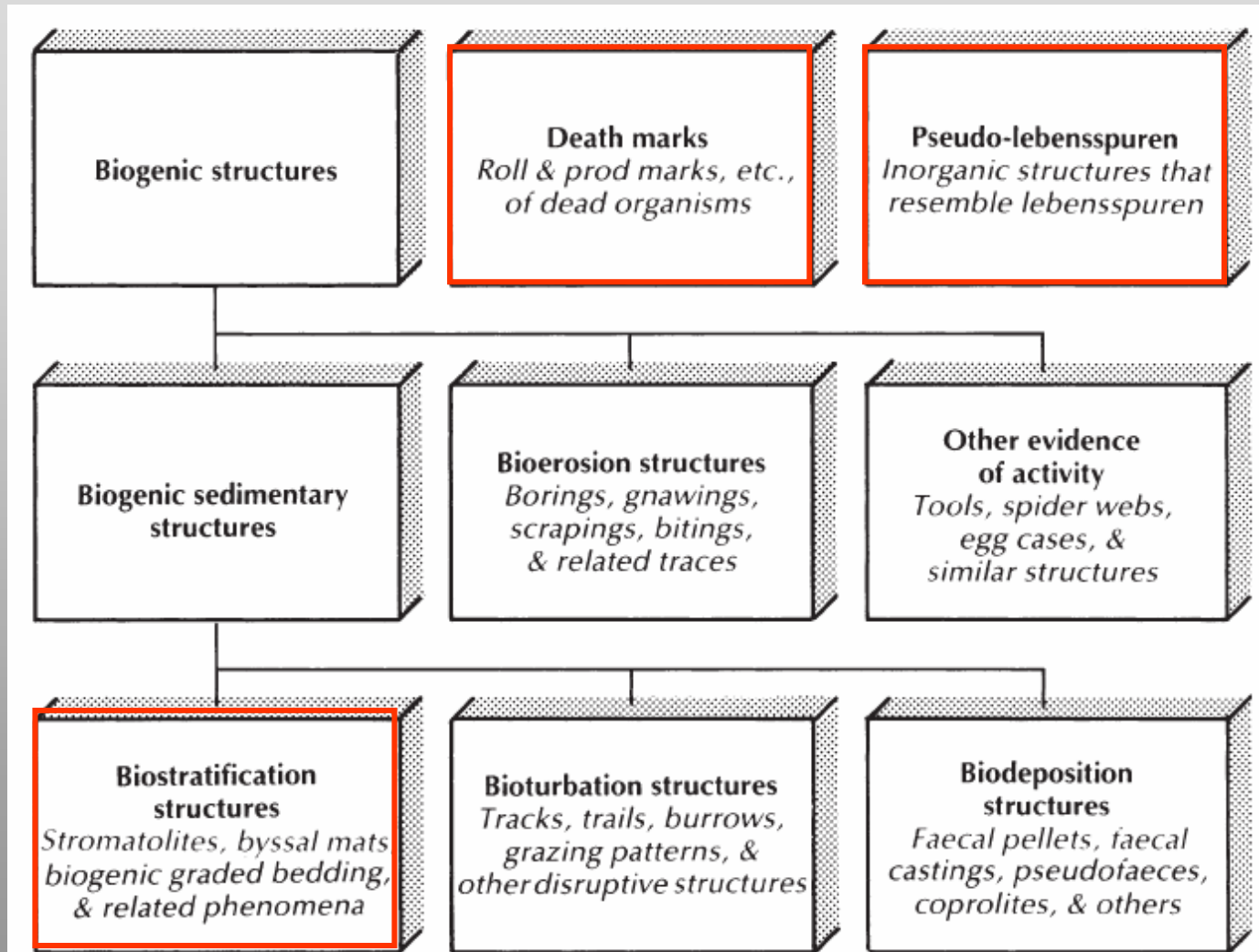
# Kaj so ihnofosili?

- Fosilni sledovi ali ihnofosili so biološko povzročene sedimentne teksture, ki vključujejo sledi, rove, izvrtanine, fekalne pelete in druge sledove, ki so jih povzročili organizmi. Med fosilne sledove ne prištevamo vse podobne sledove, ki ne odražajo funkcije delovanja oz. vedenja organizmov.
- Fosilni sledovi so sedimentološke in paleontološke entitete in kot take predstvaljajo svojevrstno zmes potencialnih okoljskih indikatorjev v stratigrafskem zapisu.
- Fosilne sledove povzročajo vse skupine organizmov, tako nevretenčarji kot vretenčarji, v vseh sedimentacijskih okoljih (kopno, sladka voda, šelf oz. plitvovodna okolja, globokomorska okolja)
- Ihnologija je veda o obnašanju nekoč živečih živali s pomočjo preučevanja sledov, sledi, izvrtin... ki so jih organizmi naredili za časa življenja.
- Uporabnost ihnofosilov v stratigrafiji je omejena zaradi:
  - oblike sledov niso odvisne od časa
  - sledovi so odvisni od faciesov
  - določeno strukturo lahko povzročita dva ali več različnih organizmov, ki živijo skupaj
  - posamezen osebek ali biološka vrsta lahko povzroči različne oblike sledov glede na različen način obnašanja
  - isti osebek lahko povzroči različne strukture z istim načinom obnašanja v različnih substratih (pesek, glina)
  - identične strukture lahko povzročijo sistematsko različni organizmi pri podobnih življenjskih funkcijah (aktivnosti, obnašanju)

# Uporabnost ihnofosilov

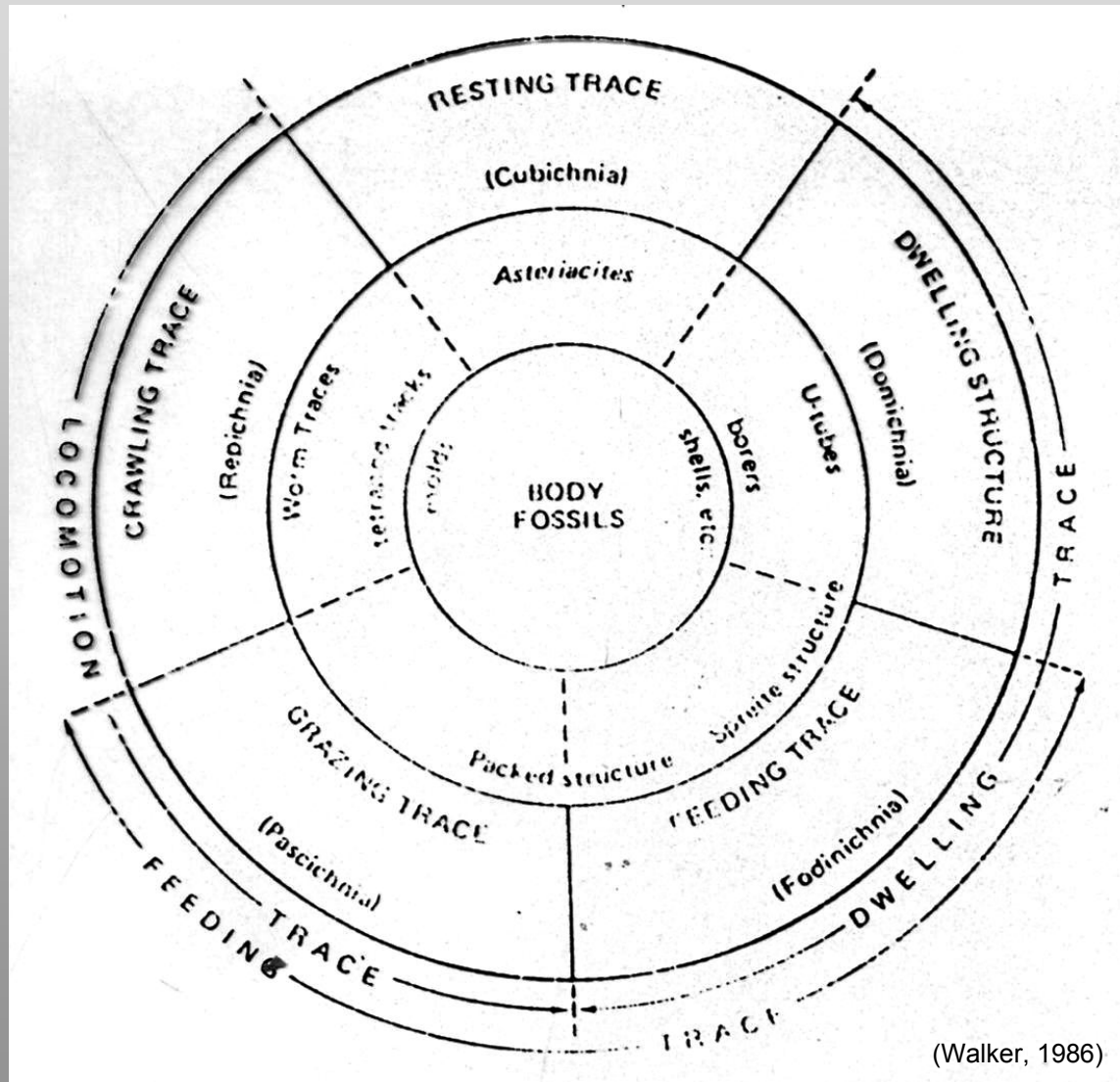
- Kljub prej naštetim omejitvam pa ima študij fosilnih sledov velik pomen v paleontologiji, sedimentologiji in paleoekologiji ter prav tako v stratigrafiji:
  - opazovanje sprememb v etologiji skozi čas
  - batimetrijo, količino kisika, slanost, kohezija in stabilnost podlage (ihnofaciesi)
  - nadomestek za "body" fosile
  - interpretacijo sedimentacijskega okolja:
    - ihnofosili so vedno ohranjeni in situ,
    - položaj plasti z ihnofosili v profilu,
    - pogosto so ohranjeni v sedimentih, kjer ni "body" fosilov,
    - diageneza jih ponavadi še poudari in ne uniči (poveča se kontrast v litologiji),
    - omejeni na ozka facialna območja,
    - ocena hitrosti sedimentacije,
    - znamenje dobro prezračenega sedimenta.
- Kljub temu, da so ihnofosili ohranjeni "in situ", tudi nanje vpliva tafonomija!!!:
- Zelo aktivni organizmi v vrhnjih plasteh sedimenta lahko uničijo druge sledi in se zato ohranijo le sledi globlje v sedimentu; podobno se ohranijo le globoke sledi v priobalnem pasu, kjer erozivna moč vode stalno briše površinske sledi.

# Glavni odnosi med biogenimi strukturami

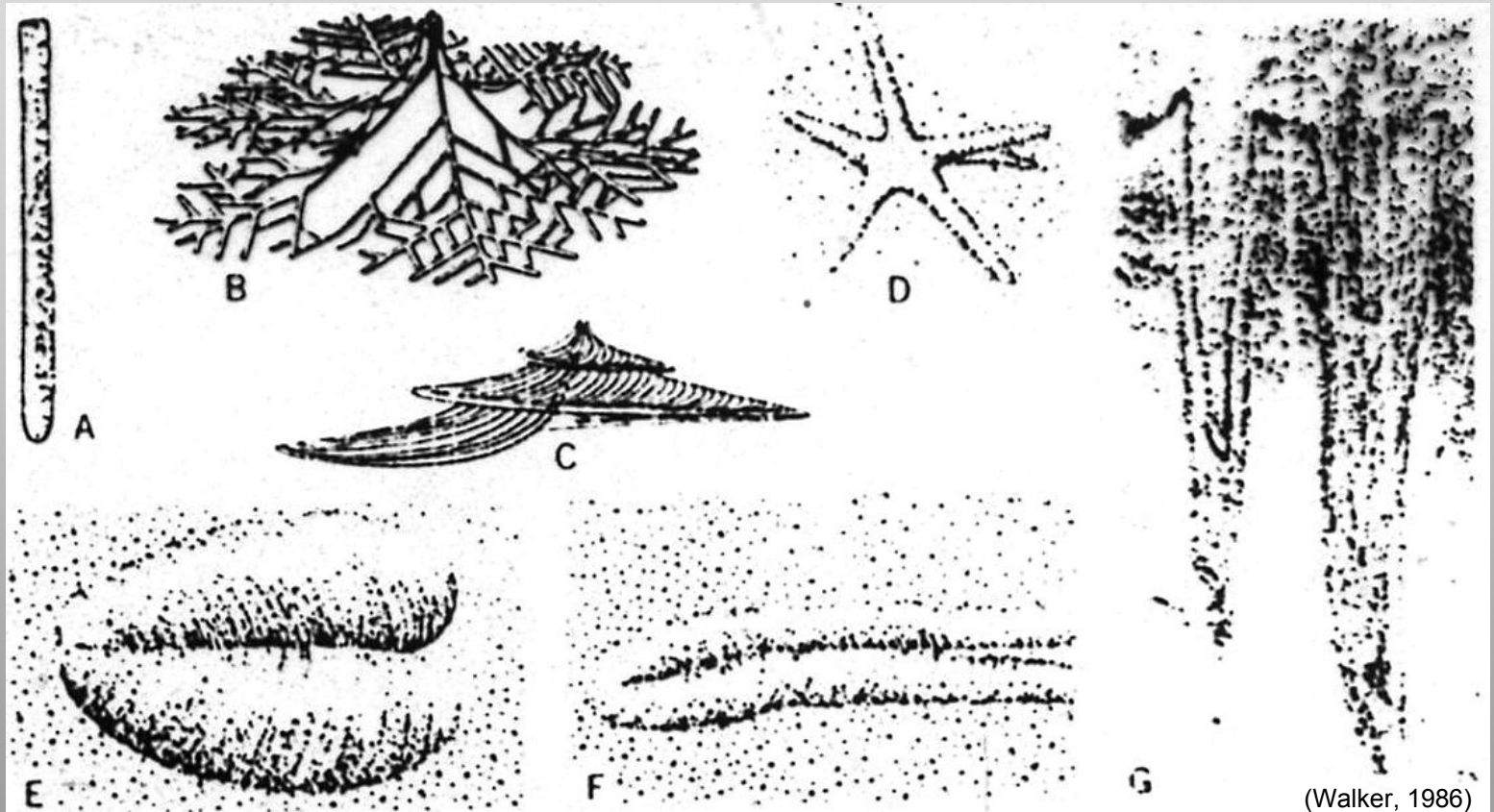


Glavni odnosi med biogenimi strukturami. "Death-marks", "Pseudo-lebensspuren" in biostratifikacija ne ustrezajo ožjemu pomenu izraza ihnofosil. Po Pemberton et al. (1990).

# Odnos fosilov in njihovih sledov

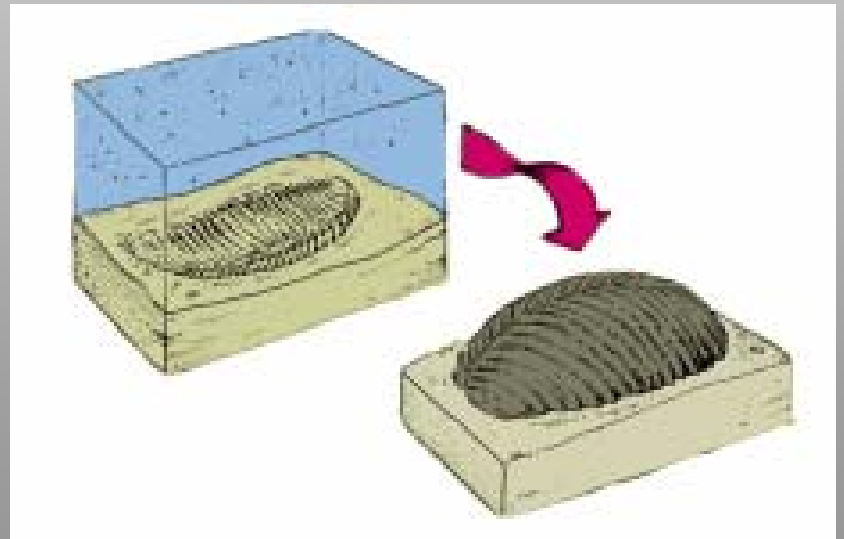
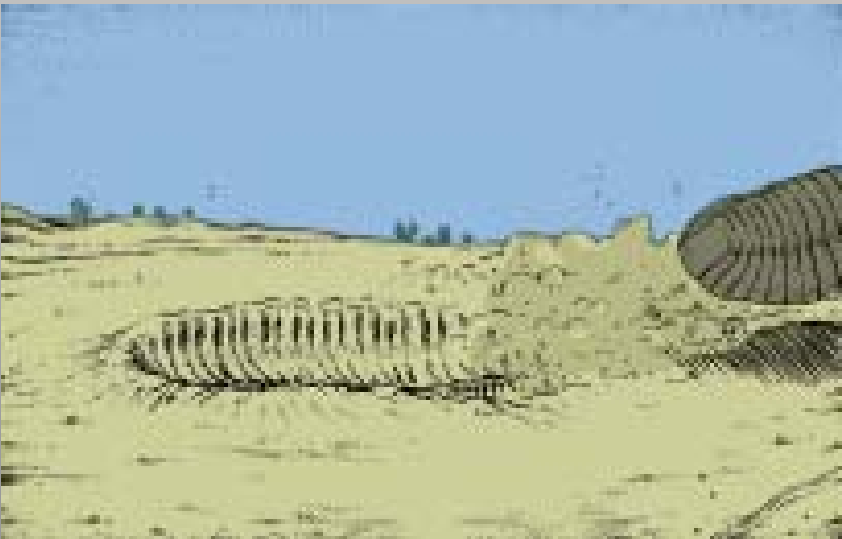
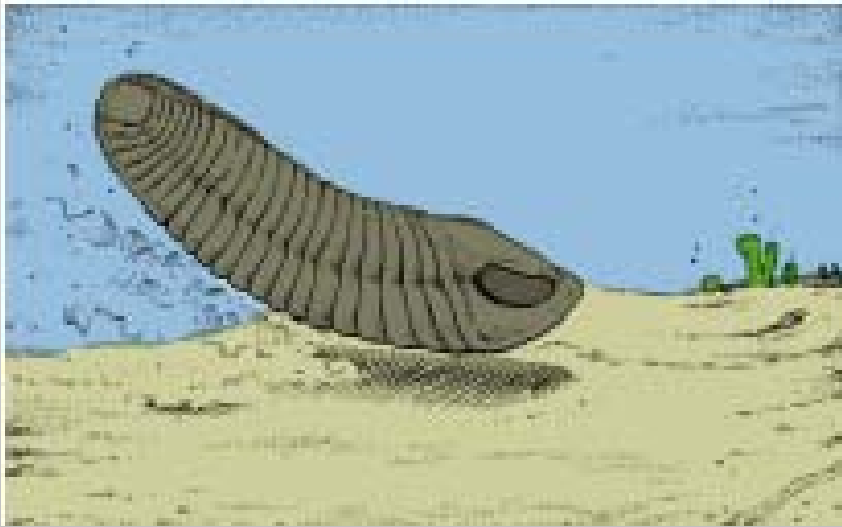


# Osnovni načini obnašanja v bentosu in njihovi sledovi



(Walker, 1986)

A - strukture kopanja (*Skolithos*); B - strukture hranjenja (*Chondrites*); C - strukture paše (*Zoophycos*); D - strukture počivanja (*Rusophycos*); F - strukture plazenja, premikanja, lokomocija (*Cruziana*); G - strukture pobega knidarija



<http://museum.gov.ns.ca/mnh/nature/tracefossils/english/sections/whodunnit/traces/rusophycus2.html>



# Organizem : število sledi

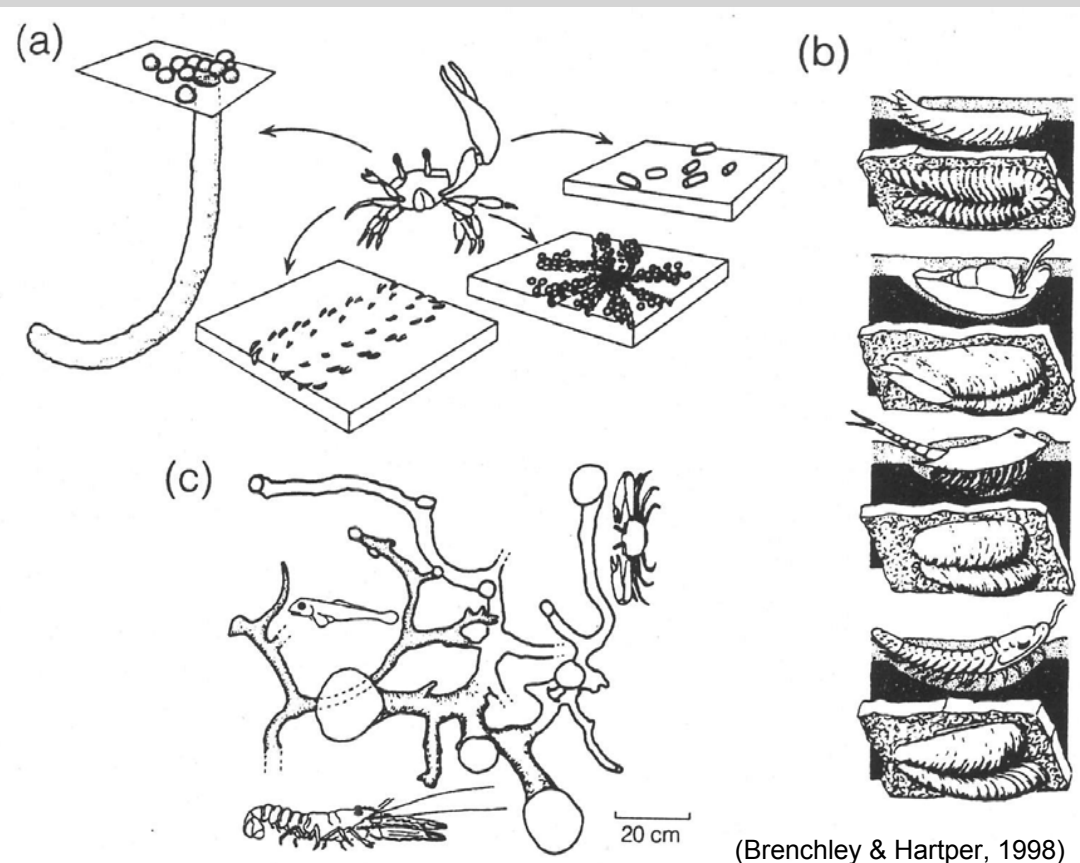
a) Pri različnih življenjskih funkcijah lahko organizem pušča morfološko različne oblike sledov (*število iħnorodov, iħnovrst je večje kot število bioloških rodov*).

Rak goslač (*Uca*) proizvaja sledove kopanja (*Psilonichus*), sledove hoje (*Diplichnites*), sledove paše in fekalne pelete.

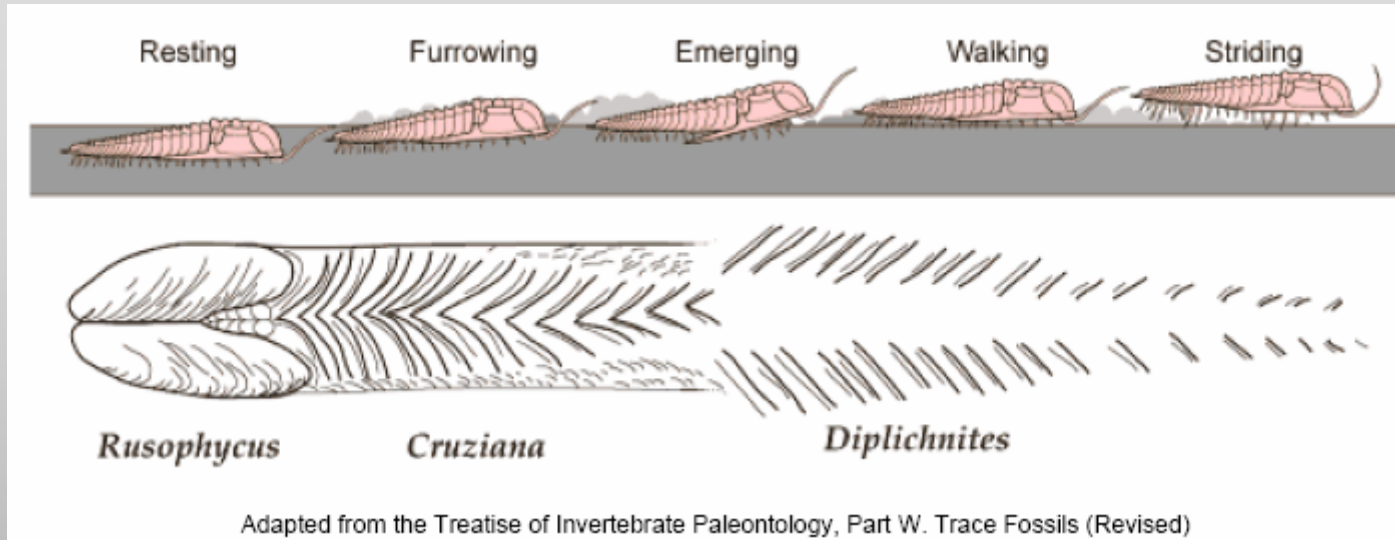
b, c) Različni organizmi puščajo pri istih dejavnostih morfološko podobne oblike sledov (*število iħnorodov oz. iħnovrst je manjše kot število biološki vrst*).

b - sled počivanja *Rusophycos*, ki jo pušča polihetni anelid, nasaidni polž, rak in/ali trilobit.

c - kompleksen sistem kanalov, ki so ga naredili riba, rakovica in jastog.



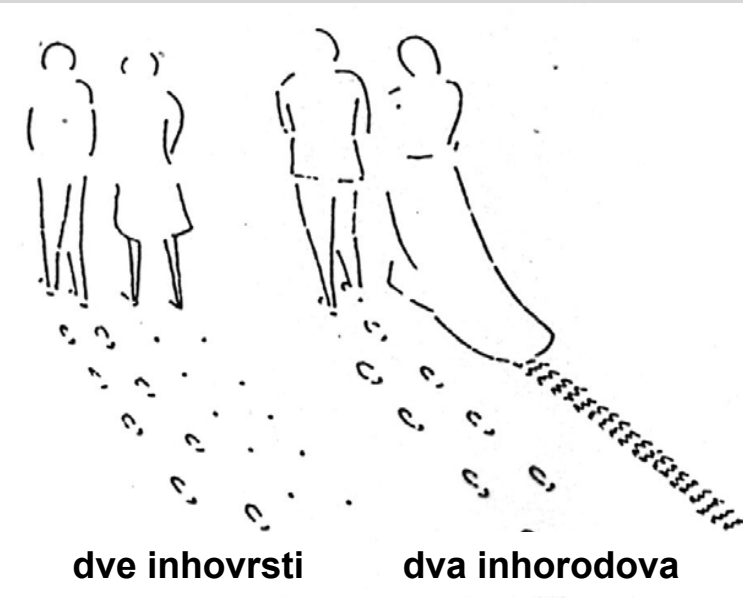
# Etološki koncept ihofosilov



<http://www.trilobites.info/trace.htm>

Image courtesy of Stefano Novello, July 2008

# Klasifikacija ihnofosilov

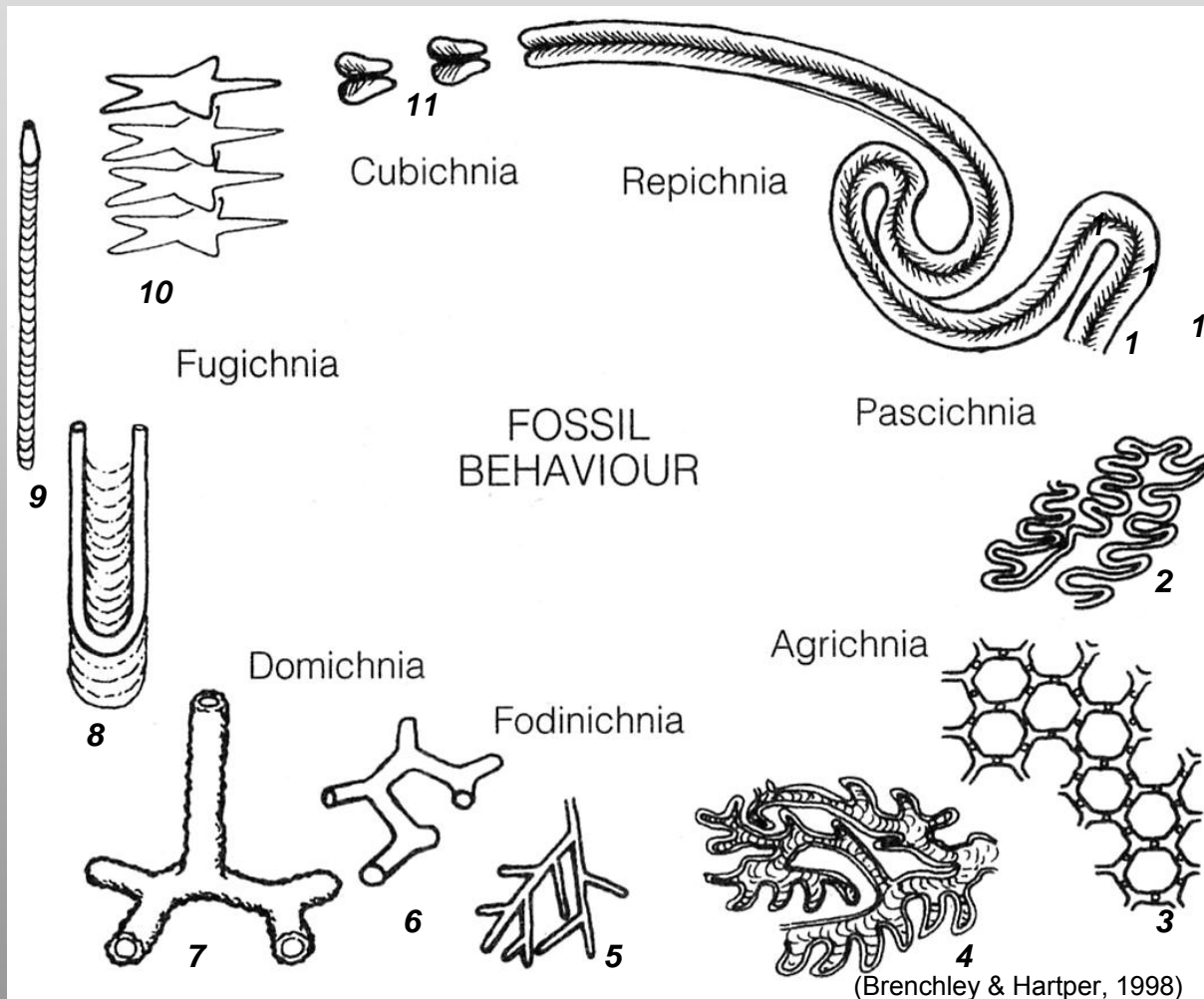


- Klasifikacija ihnofosilov se razlikuje od biološke oz. paleontološke klasifikacije saj običajno ne odraža sorodstvenih (genetskih) razmerij.
- Ker so fosilni sledovi opisani na osnovi morfologije, ki odraža določeno živlensko funkcijo povzročitelja, lahko morfološko podobne strukture pripadajo genetsko različnim osebkom, ali pa lahko morfološko različne strukture povzroči genetsko en osebek.
- Ihnofosilom so dodeljena generična (rodovna) in vrstna imena na osnovi njihove oblike, ne da bi jih sploh skušali povezati s povzročiteljem (**morfološka in ohranitvena klasifikacija**).
- Opisovanje biološkega taksonomskega položaja povzročiteljev sledi je redek in je mogoč predvsem pri vretenčarjih (**filogenetska klasifikacija**).
- Ker predstavljajo sledovi obnašanje organizmov in ne same organizme, temelji klasifikacija fosilnih sledi na etoloških (behaviorističnih) osnovah.
- **Etološka klasifikacija** združuje fosilne sledove glede na vrsto obnašanja organizmov. Ta sledove klasificira glede na to kakšna živlenska funkcija jih je povzročila, pri tem pa se ne ozira na genetski zapis povzročiteljev. Tako so sorodne tiste strukture, ki so nastale pri podobni dejavnosti, ne glede na genetsko sorodstvo njihovih povzročiteljev.

# Etološka (behavioristična) klasifikacija

- Glede na obnašanje organizmov danes klasificirajo sledove v sedem osnovnih "taksonomskih" kategorij:
  - **Repichnia** = sledovi plazenja (premikanje organizma po površini, npr. *Cruziana*);
  - **Cubichnia** = sledovi počivanja, (npr. *Rusophycus*, *Astericites*);
  - **Pascichnia** = sledovi paše, hranjenje na površini sedimenta, sistematično obdelovanje površine (značilni geometrično pravilni vzorci, npr. *Nereites*);
  - **Arichinia** = vzorčasti, globokovodni horizontalen sistem sledov, ki je posledica paše ali pasti za hrano.
  - **Fodinichnia** = sledovi hranjenja (izkopavanja muljojedov, tj. živali, ki živijo na površini in aktivno kopljejo v sediment za hrano; nekatere U cevi s spreiti, različne radialne strukture, npr. *Chondrites*);
  - **Domichnia** = sledovi bivanja – trajna bivališča, brlogi in izvrtine filtratorjev (živali bivajo v sedimentu in odstranjujejo delce iz vode nad njim; npr. *Skolithos* ; preproste, subcilindrične vertikalne izvrtine, U cevi brez spreite-ov);
  - **Fugichnia** = sledovi pobega – vertikalne cevi s sledovi umikanja živali v globino ali bliže površini (odvisno od sedimentacije); modificirana sledi bivanja; npr. *Diplocraterion yoyo*).
- Posamezne kategorije se do določene mere funkcionalno prekrivajo.

# Etološka klasifikacija ihnofosilov



1 - *Cruziana*; 2 - *Cosmoraphae*; 3 - *Palaeodictyon*; 4 - *Phylosiphon*; 5 - *Chondrites*; 6 - *Thalassinoides*; 7 - *Ophiomorpha*, 8 - *Diplocraterion*; 9 - *Gastrochaenolites*; 10 - *Asteriacites*; 11 - *Rusophycos*

# Ihnofacies

- Koncept ihnofaciesov je v paleontologijo, stratigrafijo, sedimentologijo in paleoekologijo uvedel A. Seilacher v 50- in 60-tih letih 20. stol.
- Koncept temelji na premisi, da se večina parametrov, ki kontrolirajo razporeditev sledov, spreminja progresivno z naraščajočo globino vode.
- Fosilni sledovi se spreminjajo z globino kot odgovor obnašanja (etologije) na batimetrični gradient in trofičnost.
- Ihnofaciesi tako služijo za rekonstrukcijo sedimentacijskega okolja, prvenstveno pa kot paleobatimeter.
- Ker so ihnofaciesi del sedimentnega zapisa, velja za njih, podobno kot za litofaciесе, Walterjev zakon.
- Vzorci obnašanja so direktno primerljivi s količino nutrientov. Če je stopnja trofičnosti velika, organizmom ni potrebno ohranjati energije in se lahko prehranjujejo neracionalno. Takrat so pogosti nepravilni sledovi in večkratno prečknaje starih sledov. Če je preskrba s hranili majhna oziroma omejena, pa organizmi skrajno racionalno izrabljajo energijo. Pri iskanju hrane skušajo pokriti čimvečjo površino sedimenta ob minimalni izgubi energije. Ob takšni strategiji so pogosti meandrasti in spiralni sledovi v pravilnih geometrični vzorcih.
- Glede na batimetrijo in vrsto substrata ločimo 8 ihnofaciesov: ***Trypaniets***, ***Teredolites***, ***Glossifungites***, ***Skolithos***, ***Psilonichnus***, ***Cruziana***, ***Zoophycos*** in ***Nereites***.

# Klasifikacija ihnofaciesov

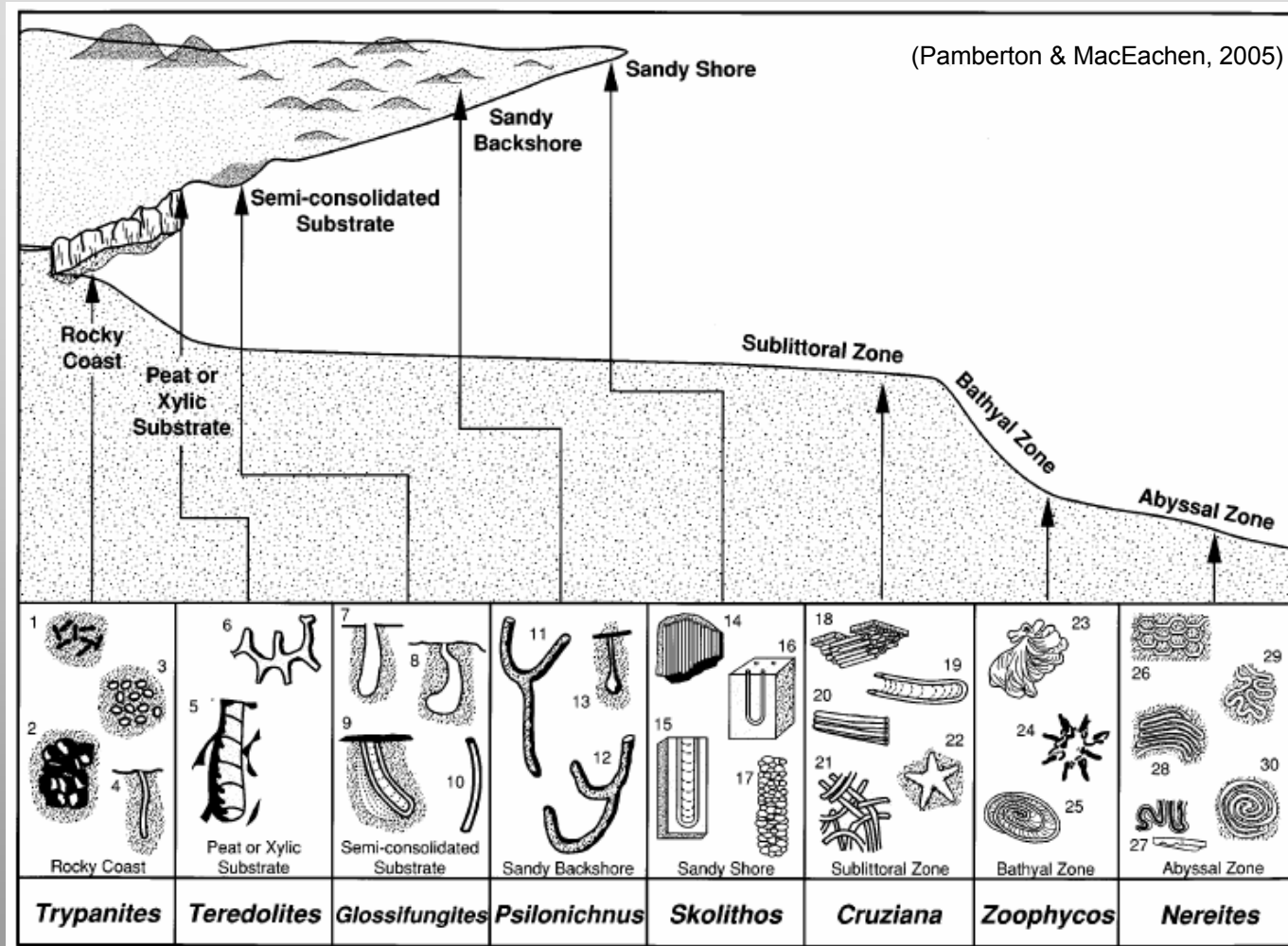
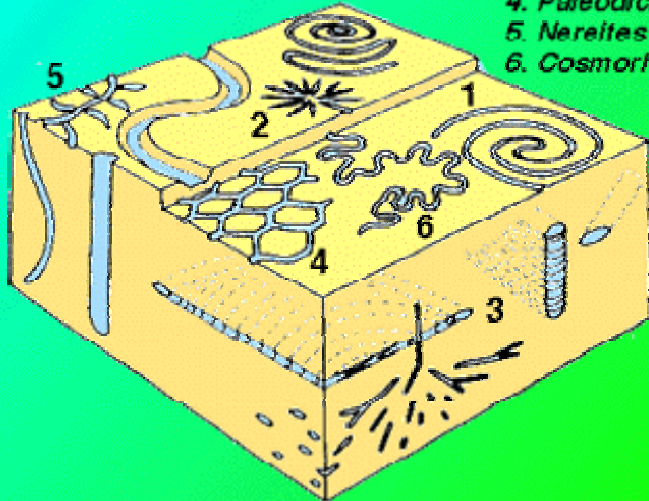


Figure 1. Synoptic diagram illustrating recurring marine ichnofacies, placed in a representative, but not exclusive, suite of environmental gradients. Local physical, chemical, and biological factors ultimately determine which traces occur at which sites. Typical trace fossils include: (1) *Caulostrepsis*, (2) *Entobia*, (3) echinoid borings, unnamed, (4) *Trypanites*, (5) *Teredolites*, (6) *Thalassinoides*, (7, 8) *Gastrochaenolites* or related ichnogenera, (9) *Diplocraterion* (*Glossifungites*), (10) *Skolithos*, (11, 12) *Pylonichnus*, (13) *Macanopsis*, (14) *Skolithos*, (15) *Diplocraterion*, (16) *Arenicolites*, (17) *Ophiomorpha*, (18) *Phycodes*, (19) *Rhizocorallium*, (20) *Teichichnus*, (21) *Planolites*, (22) *Asteriacites*, (23) *Zoophycos*, (24) *Lorenzinia*, (25) *Zoophycos*, (26) *Paleodictyon*, (27) *Taphrhelminthopsis*, (28) *Helminthoidea*, (29) *Cosmorhapha*, and (30) *Spirorhapha*. Modified from Frey and Pemberton (1985).

# Ichnofacies

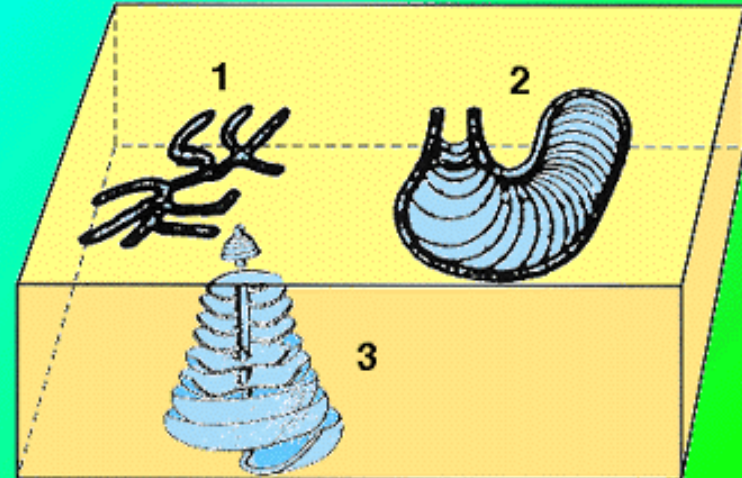
## Nereites Ichnofacies

1. *Spiroraphe*
2. *Lorenzinia*
3. *Chondrites*
4. *Paleodictyon*
5. *Nereites*
6. *Cosmorhaphe*

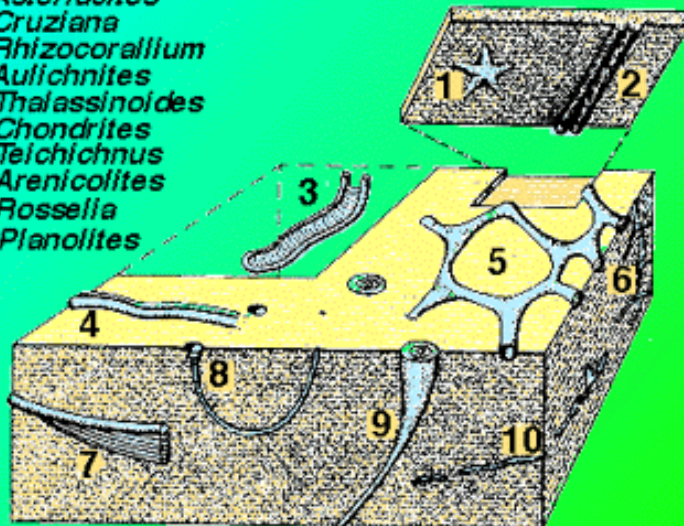


## Zoophycos Ichnofacies

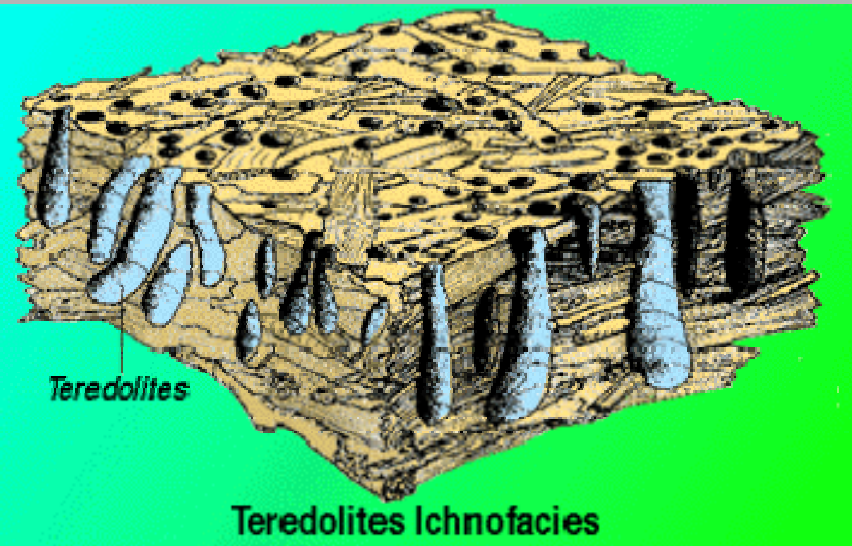
1. *Phycosiphon*
2. *Zoophycos*
3. *Spirophyton*



1. *Asteriacites*
2. *Cruziana*
3. *Rhizocorallium*
4. *Aulichnites*
5. *Thalassinoides*
6. *Chondrites*
7. *Tellichnus*
8. *Arenicolites*
9. *Rosselia*
10. *Planolites*



## Cruziana Ichnofacies



## Teredolites Ichnofacies



# Ihnofosili kot pokazatelji položaja plasti



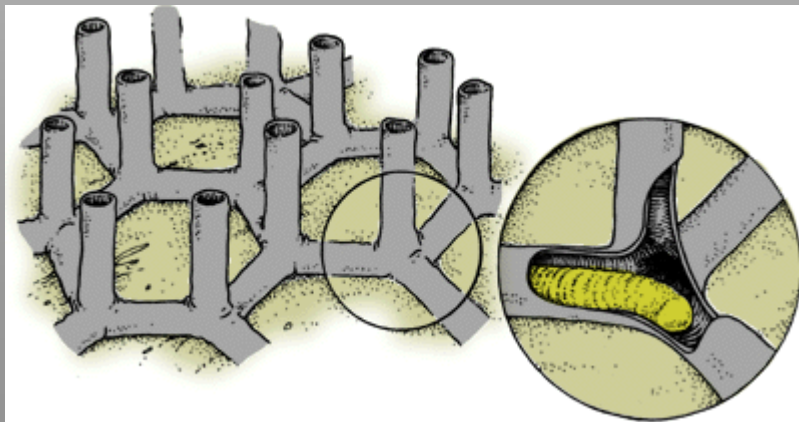
S pomočjo ihnofosilov lahko dokaj zanesljivo določimo lego plasti (normalna - inverzna), saj so ponavadi ohranjeni na spodnji strani stratigrafsko mlajše (višje) plasti, kar nam pride prav zlasti pri tektoniki in sedimentologiji.

Na fotografiji so sledovi ohranjeni na zgornji strani mlajše (drobnozrnate) plasti kar kaže na inverzno lego plasti v profilu. Če bi bila lega normalna, bi morali biti ihnofosili ohranjeni na spodnji površini mlajše plasti.



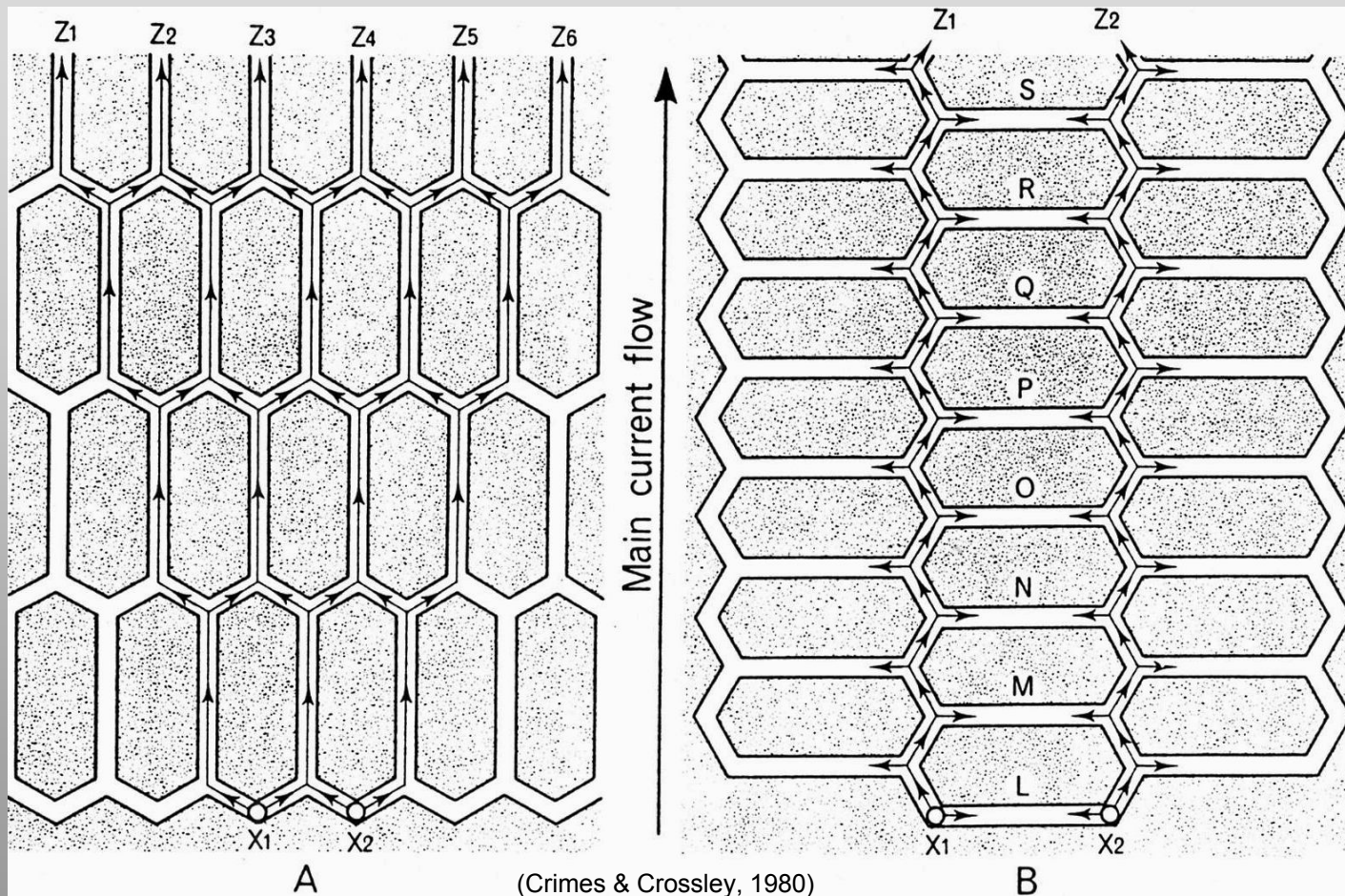
## ***Paleodictyon***

Pravilen heksagonalen vzorec; posamezna polja so lahko velika le nekaj mm do skoraj 10 cm. Na vsakem križišču so bile postavljene vertikalne cevke, skozi katere je padal plen. Plenilec (anelid) ga je nato zlahka pobral. Pravilen heksagonalen vzorec najbolje izkorišča prostor in predstavlja ekonomičen način izrabe energije pri prehranjevanju. Primer je iz eocena Strunjana.



<http://museum.gov.ns.ca/mnh/nature/tracefossils/english/sections/whodunit/traces/paleodictyon.html>

# Palaeodictyon



Sistem tokov, kjer je glavni tok vzporeden (A) in pravokoten (B) na daljšo os sistema kanalov. Voda priteče v sistem po vertikalnih rovih (X, Y) in teče horizontalno v smereh puščice.



<http://www.hontzamuseoa.com/paleoamigos/almeria/museo/helminthoida.jpg>

### ***Helminthoida***

Ozke meandrirajoče zanke z U-jastimi zavoji; preprosta cilindrična oblika vzporedna s plastnatostjo; sistematično pregledovanje terena (paša - Pascinchia).

### ***Helminthopsis***

Večje in bolj na široko zaobljene zanke z manjšimi amplitudami. Sled je verjetno pustil strgalec ali muljojed. Pojavlja se v zelo različnih okoljih, a je najpogostejši v globokomorskih sedimentih.



[http://www.naturamediterraneo.com/forum/topic.asp?TOPIC\\_ID=4919](http://www.naturamediterraneo.com/forum/topic.asp?TOPIC_ID=4919)



***Spirorhappe***: spiralno zavita sled; sled paše (Pascichnia).



***Rhizocorallium***: nekoliko asimetričen subhorizontalen U-jast rov, zapolnjen s “spreits”; U-jasta cev ima močan rob; ponavadi je plitvovoden ihnofosil, vendar ga poznamo tudi iz globljenga okolja. Gre za sled hranjenja ali bivanja. V robnih ceveh lahko pogosto najdemo pelete.



*Rhizocorallium*  
Helenske grape pri Mežici; karnij.



***Glockeria***: radialna sled hranjenja. Primerek iz eocena Strunjana.





### ***Scolicia***

subcilindrični, rahlo zavijajoče horizontalne strukture, široke do 7 cm; fosilen brlog iregularnih morskih ježkov.

*Nereites*

### ***Nereites***

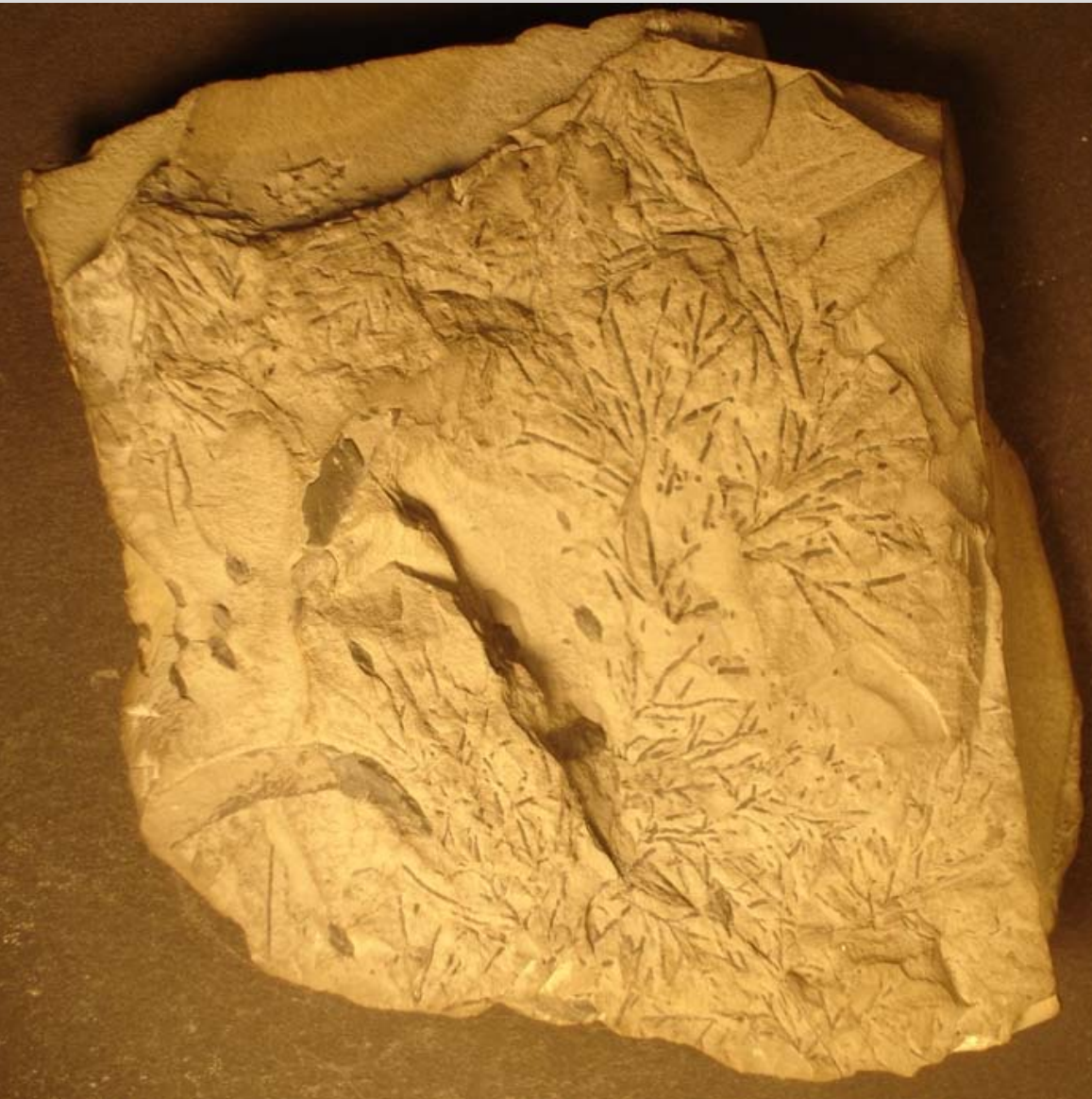
ukrivljena sled, s široko medialno depresijo in dvema stranskima (lateralnima) grebenoma. Ornamentacijo lateralnih grebenov sestavljajo majhni loki – verjetno sled okončin. Sled je interpretirana kot premikanje anelida.



### ***Lorenzinia***

Osem krakov se radialno žarkovito širi od središča navzven. Sled počivanja vampiromorfa (ali sled hranjenja?)

## ***Chondrites***



Subhorizontalna sled, sploščeni tuneli, bifurkacija v nepravilnih intervalih pod kotom 40-90°; odseki so ravni ali rahlo ukrivljeni.

Eden najpogostejših nevretenčarskih ihnofosilov.

Razširjen od priobalnega pasu do globokega morja, pogosto v zelo stresnih okoljih (meja z anaerobnimi razmerami; pogost v sedimentih z veliko org. snovi in malo kisika), hkrati pa tudi v oligotrofičnih razmerah globokomorskih glinavcev (malo org. snovi, dovolj kisika) ter v brakičnih ali hiperslanih okoljih.

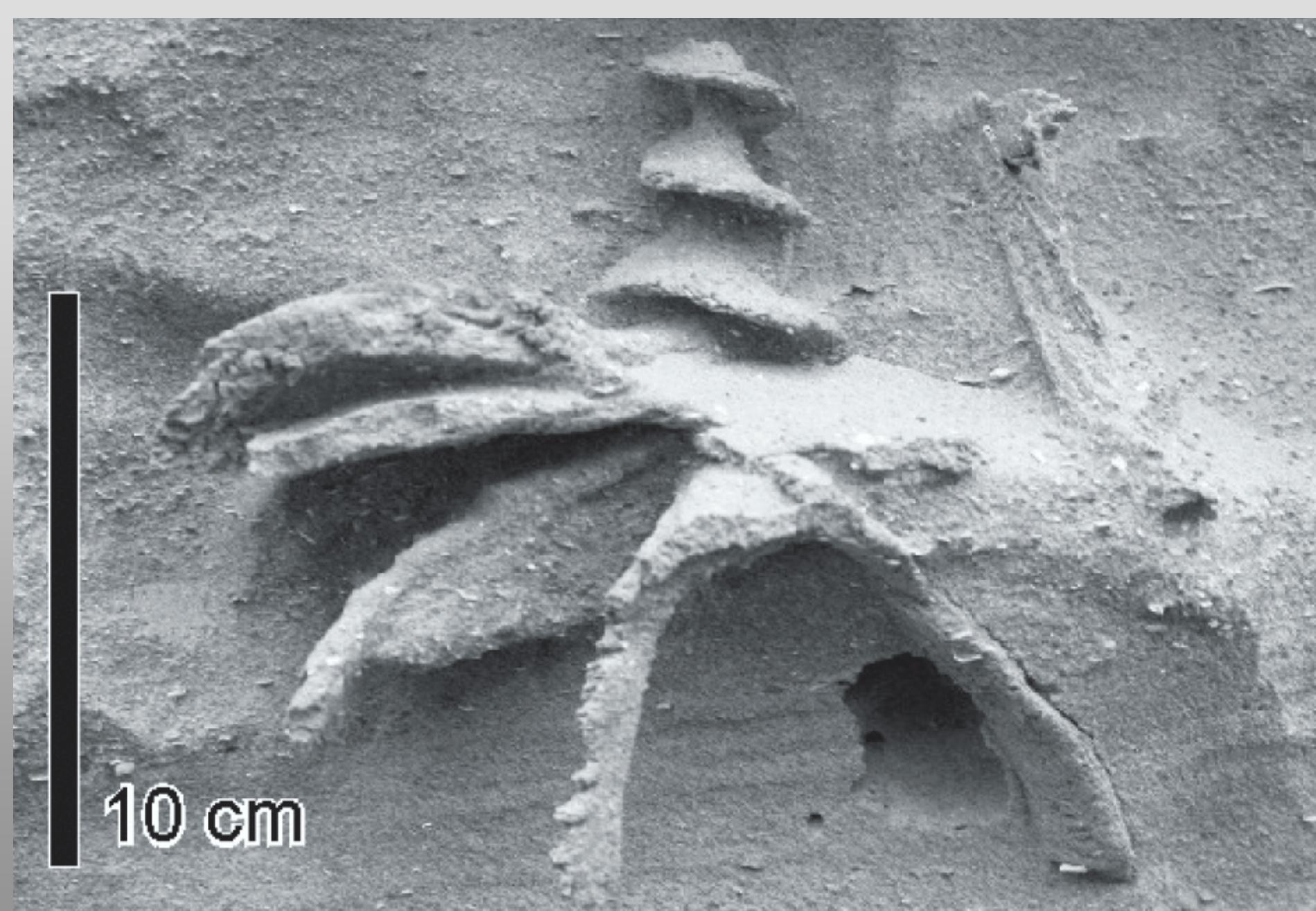
Združuje okoli 170 ihnovrst!

Žival, ki je ustvarila te sledove je lahko živel na anaerobni/aerobni meji kot kemotsimbiontski organizem, ki je črpal metan in H<sub>2</sub>S iz sedimentov.



## **Zoophycos**

Planarne vijačne spreite strukture, ki v spodnjem delu preidejo v številne rhizokoralium podobne dolge lobe. Zavijanje poteka v urni ali protiurni smeri. Lobi imajo nagib  $10-30^\circ$ , premer zavojev se navzdol povečuje. Gre za J-jaste ali U-jaste brloge/"izkopanine" muljojeda, katerih premik je pustil lobne strukture (spreite). V geološki zgodovini migrira iz šelfa v globoko morje: v paleozoiku nastopa v plitvo- in globokovodnih sedimentih, od mezozoika dalje pa je omejen na kontinentano pobočje in bazenske sedimente, v kenozoika nastopa le v globokovodnih sedimentih.

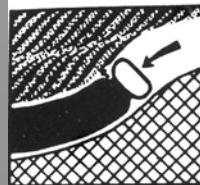


*Zoophycos* isp. iz miocena Avstrije (Pervesler & Uchman 2004).

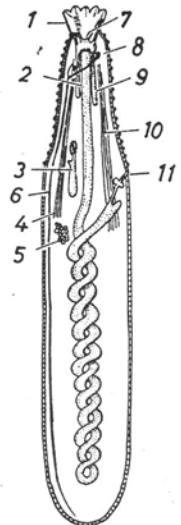
# Zoophycos - rekonstrukcija

elements	U-Form (A)	J-Form (B)
<b>Shaft spreiten</b> Block diagram ~ 2 cm		
<b>Deviation spreiten</b> Block diagram ~ 4 cm		
<b>Regression spreiten</b> Block diagram ~ 3 cm		
<b>Feeding spreiten</b> Continuously formed Top view > 15 cm Apex line .....		
Discontinuously formed Top view		

Helicoidal		Trumpet-like		Tongue-like		
(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1) Continuously formed (2) Discontinuously formed
						U-types
Block diagrams						
				not observed		J-types
 Four and more coils of feeding spreiten		 Three and more flats of feeding spreiten		 Three and more flats of feeding spreiten		Possible variations in vertical sections (schematic diagrams)



- (Wetzel & Werner, 1981)
- sediment
  - fecal material
  - thigmotactically selected grains
  - basic tube
  - proximal part of the introvert
  - introvert
  - direction of motion
  - ingestion of sediment
  - back fill of { selected grains  
fecal material



Sl. 1.3.2. Sipunculoidea. Unutrašnja grada štrcalca:

1. vijenac lovki, 2. trbušna stežljiva cijev, 3. nefridij, 4. trbušni mišić za uvlačenje prednjeg dijela tijela, 5. gonada, 6. trbušna živčana vrpca, 7. usta, 8. moždani ganglij, 9. jedna stežljiva cijev, 10. ledni mišić za uvlačenje prednjeg dijela tijela, 11. crijevni otvor



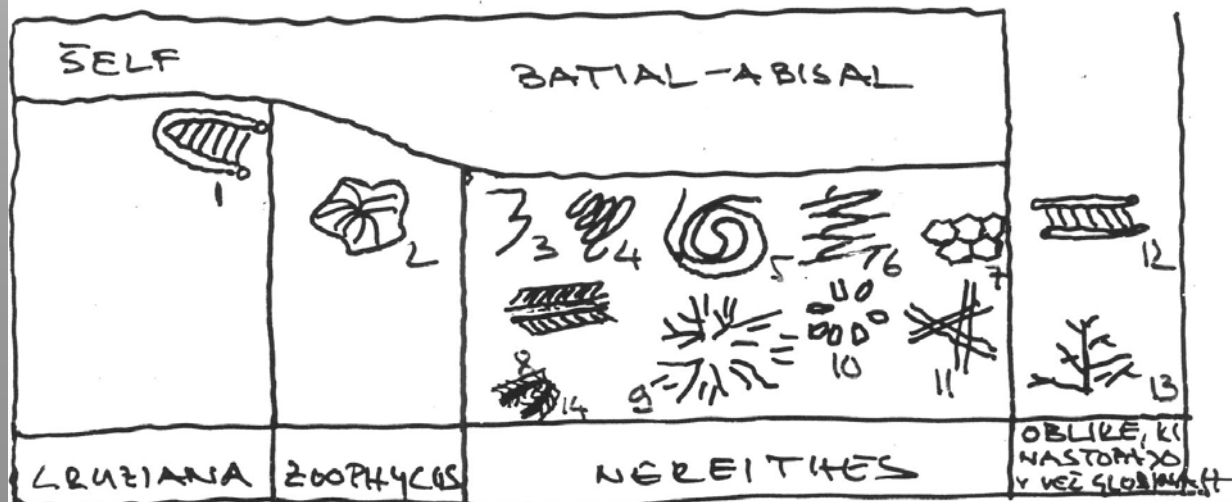
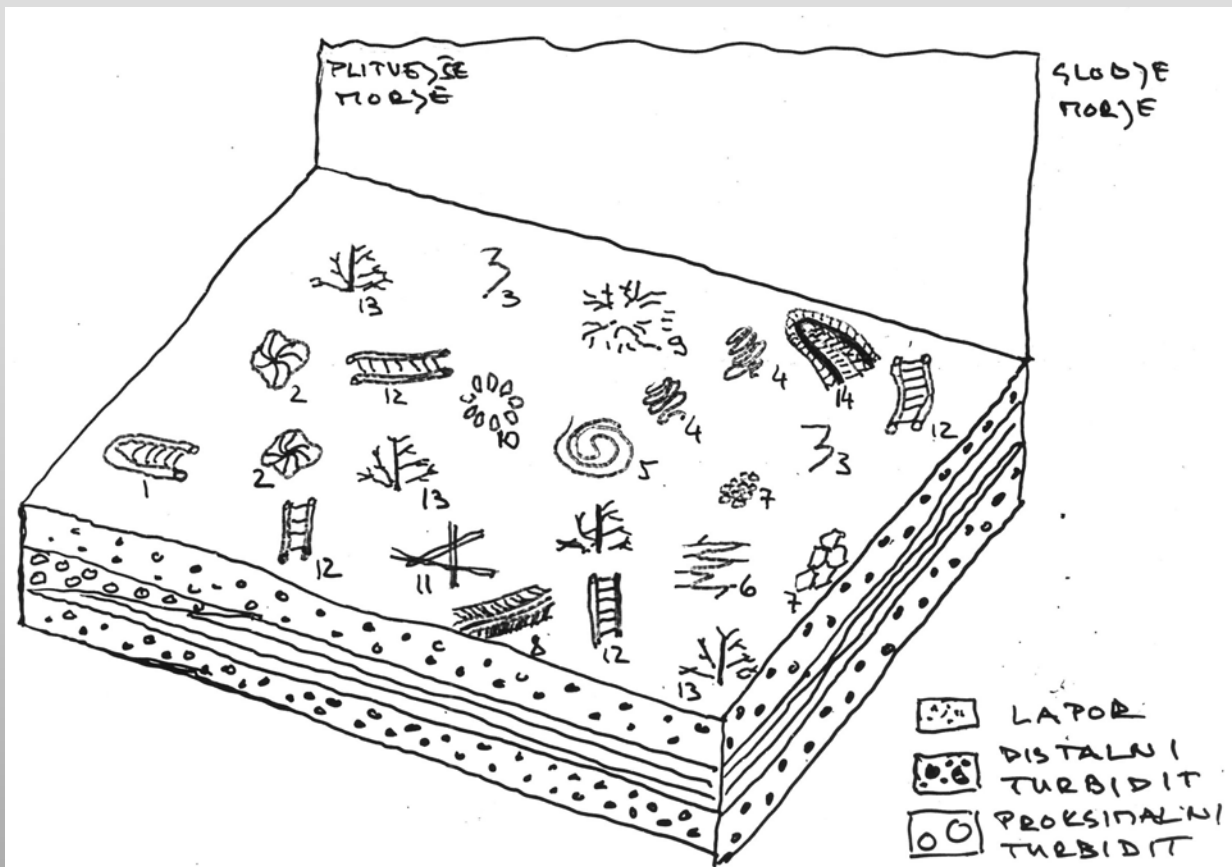
***Thalassinoides*** (sledovi rakov v sedimentu) – primerek je iz eocenskega fliša Strunjana. Lepe primerke lahko vidimo tudi v starem kamnolomu na Lesnem Brdu v karnijskih plasteh.



***Teredo***: les, v katerega je vrtala školjka, je pooglenel v premog (Teredolites  
ihnofacies). Od izvrtin so se ohranile tanke kalcinirane prevleke sten. Poljšica, oligocen.

# Ihnofacies sr. eocenskega fliša v okolici Izole

- 1 *Rhizocorallium*
- 2 *Zoophycos*
- 3 *Helminthopsis*
- 4 *Helminthoida*
- 5 *Spiroraphae*
- 6 *Urohelminthoida*
- 7 *Palaeodictyon*
- 8 *Taphrhelminthopsis*
- 9 *Glockereria*
- 10 *Lorenzina*
- 11 *Fucosopsis*
- 12 *Scolicia*
- 13 *Chondrites*
- 14 *Nereites*





## Literatura:

- Brenchley, P. J. & Hartper, D. A. T. 1998: *Palaeoecology: Ecosystem, environments and evolution*. – Chapman & Hall, 420 pp.
- Clarkson, E. N. K. (1993) *Invertebrate paleontology and evolution*. – Chapman and Hall, 434 pp.
- Cherns, L., Wheeley, J. R. & Karis, L. 2006: Tunneling trilobites: Habitual infaunism in an Ordovician carbonate seafloor. – *Geology*, 34/8, 657-660.
- Crimes, T. P. & Crossley, J. D. 1980: Inter-turbidite bottom current orientation from trace fossils with an example from the Silurian flysh of Wales. - *J. Sed. Petrol.*, 50, 821-830.
- Gaillard, C. & Racheboeuf, P. R. 2006: Trace fossils from nearshore to offshore environments: Lower Devonian of Bolivia. – *J. Paleont.*, 80/6, 1205-1226.
- Mikulaš, R. 1998: Trace fossils from the Letná Formation (Ordovician, Czech Republic). – *Sbornik geologických ved, Paleontologie*, 34, 5-25, Praha.
- Pavšič, J. (2003) *Paleontologija, I. del, Paleobotanika in paleontologija nevretenčarjev*. Ljubljana : Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 451 pp.
- Pemberton, S. G., Frey, R. W. & Saunders, T. D. A. 1990: Trace fossils. (V: Briggs, D. E. G. & Crowther, P. R. eds.: *Palaeobiology: A synthesis*.) - Blackwell Scientific Publ., 355-362.
- Pemberton, S. G. & MacEachern, J. A. 2005: Significance of Ichnofossils to Applied Stratigraphy . (V: E.A.M. Koutsoukos ed.: *Applied Stratigraphy*) - Springer Verlag, 279-300.
- Pervesler, P. & Uchman, A. 2004: Ichnofossils from the type area of the Grund formation (Miocene, Lower Badenian) in northern Lower Austria (molasse basin). – *Geologica Carpathica*, 55/2, 103-110.

## Literatura

Rodriguez-Tovar, F. J. & Perez-Valera, F. 2008: Trace fossil *Rhizocorallium* from the Middle Triassic of the Betic Cordillera, Southern Spain: characterization and environmental implications. – *Palaios*, 23, 78-86.

Uchman, A., Mikulaš, R. & Houša, V. 2003: The trace fossil *Chondrites* in uppermost Jurassic-Lower Cretaceous deep cavity fills from the Western Carpathians (Czech Republic). – *Geol. Carpathica*, 54/3, 181-187.

Wetzel, A. & Wermer, F. 1981: Morphology nad ecological significance of *Zoophycos* in deep-sea sediments of NW Africa. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 32, 185-212.