

Konodonti – verjetni predniki vretenčarjev

Tea Kolar – Jurkovšek

Namen pričujočega sestavka je seznaniti bralce z novjšimi dokazi o zanimivi fosilni živalski skupini, ki je v zadnjih desetletjih prevzela pomembno mesto v biostratigrafiji paleozojskih in triasnih plasti. Konodontne živali uvrščamo v samostojni razred strunarjev. Celotna skupina je izumrla v času triasno-jurskega intervala zaradi naglih sprememb v okolju, povezanih predvsem z napredujočim razpadanjem nadceline Pangea. V kamnini so se le v redkih primerih na svetu ohranili fosili celih živali, zato vsa konodontna filogenija temelji na drobnih, zobem podobnih fosfatnih elementih, ki jih z raztapljanjem kamnine, najpogosteje v mravljinčni ali očetni kislini, pridobimo iz morskih sedimentnih kamnin. Gre za bilateralno simetrično razporejene zobcem podobne elemente, ki so bili nameščeni v začetnem delu prebavnega trakta konodontne živali. Prvič jih je opisal Heinz Christian Pander (1794–1865) iz devonskih in silurskih plasti ob Baltiškem morju. Izvor, pripadnost in pomembnost teh elementov so bili dolgo časa neznani in že v pionirski dobi preučevanja skupine so postopoma ugotovili njihovo kronostratigrafsko vrednost. V modernem obdobju konodontnih raziskav so postajali vse pomembnejši fosili za določevanje relativne geološke starosti plasti. Kratka kronostratigrafska in velika geografska razširjenost postavljata konodontne ob bok pomembnim vodilnim fosilom, na podlagi katerih temelji členitev paleozojskih in triasnih morskih sedimentnih kamnin.

Konodonti (grško: *kōnos*, stožec, *dont*, zob) so izumrli zgodnji vretenčarji, podobni jeguljam in uvrščeni v samostojni razred Conodonta. Znani so pretežno le po zobem podobnih tvorbah iz apatita (kalcijevega fosfata), velikih od 0,2 do 6 milimetra, ki jih najdemo v paleozojskih in triasnih morskih sedimentnih kamninah po svetu, raziskujemo pa jih kot mikrofosile. Konodontni elementi so edini skeletni deli živali. Njihova kemična sestava in njihova odpornost sta omogočili, da so se v kamninah kot fosil ohranili v dolgih časovnih obdobjih. Ker je bil večji del konodontnih živali iz mehkega tkiva, so se te cele živali redko fosilizirale, zato je bila njihova biološka pripadnost dolgo časa neznana. Poznavanje njihovih mehkih tkiv je razmeroma skromno in šele odkritje njihovih odtisov konec dvajsetega stoletja je pomenil premik v študiju te skupine. Fosili bolj ali manj celih živali, čeprav maloštevilni, razkrivajo njihovo bilateralno sime-

trijo, hrbtno struno, lego konodontnih elementov v začetnem delu prebavnega trakta, razmeroma velike oči in plavuti ter ne nazadnje tudi njihovo velikost, ki ni presegala štiridesetih centimetrov. Glede na geološko zelo zgodnji čas pojava prvih konodontnih živali bi bila morda dovoljena tudi trditev, da spadajo med prednike sodobnih vretenčarjev. O konodontih je *Proteus* že poročal, med drugim Ramovš v članku z naslovom *Konodonti – zagonetna živalska skupina* omenja njihovo možno sorodnost s škrgoustko (Ramovš, 1989). Vedno več dokazov potrjuje uvrstitev konodontov v samostojni razred, ki vsebuje več redov. Njihov izvor in filogenija zlasti konodontom podobnih skupin pa še nista povsem pojasnjena.

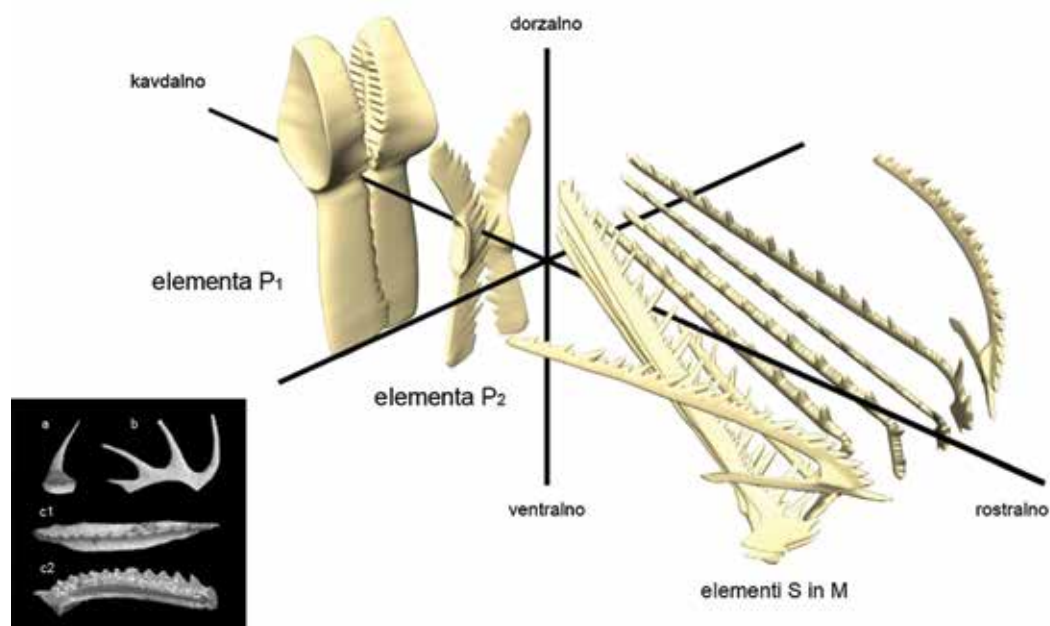
Sprva so nekateri raziskovalci konodontne živali povezovali z brezčeljustnicami (Agnatha), vendar so bili ti organizmi drugačni od vseh današnjih živali. Konodontni aparat, ki najpogosteje vsebuje petnajst raz-

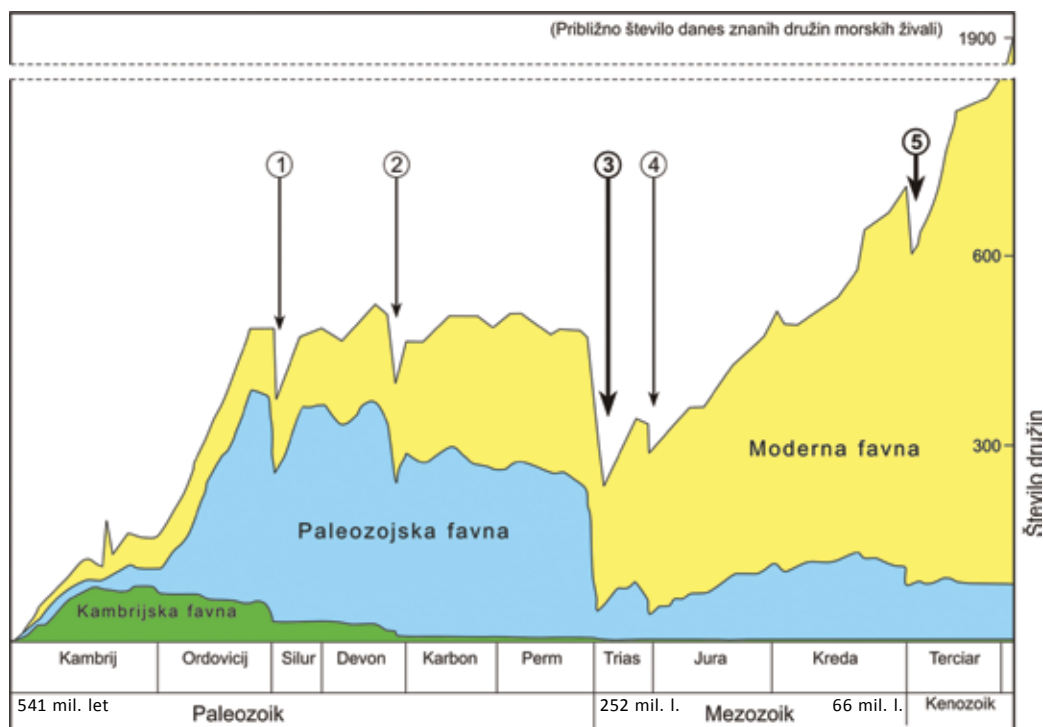
ličnih elementov, je bistveno drugačen od čeljusti sodobnih vretenčarjev. Razlikujemo tri osnovne oblike elementov: stožčaste, vejnate in ploščaste; oblika je odvisna od njihove funkcije v prehranjevanju. Kompleksna zgradba konodontnega aparata kaže na več različnih načinov prehranjevanja. Konodonti so bili sicer dobri plavalci, vendar je le malo verjetno, da so bili aktivni plenilci. Sestava konodontnega aparata kaže, da so se najverjetneje prehranjevali z živalskim planktonom. Uporaba vrstičnega elektronskega mikroskopa je pokazala celo znake obrabe nekaterih konodontnih elementov in pripeljala do zaključka, da je žival verjetno proizvedla le en niz konodontov v času svojega življenja.

Najzgodnejši konodonti so se pojavili verjetno že v predkambriju, zanesljivo pa je njihova prisotnost potrjena v spodnjekambrijskih morskih sedimentih. Po njihovem

hitrem razvoju in razširjenosti v kambriju je zaradi globalnih podnebnih sprememb sledilo še nekaj večjih nihanj števila njihovih rodov. Največje izumiranje v zadnjih 550 milijonih let zemeljske zgodovine, med permom in triasom, v katerem je izginilo kar šestindevetdeset odstotkov vseh morskih vrst, je ogrozilo tudi konodontne. Razmema kmalu je sledil ponovni razcvet, ki je trajal vse do poznega triasa, ko je postopoma pričelo upadati število konodontnih rodov, vzporedno pa se je manjšala tudi njihova velikost. Izumrtje konodontov sodi v sklop triasno-jurskega izumiranja, ki glede na število izginulih skupin organizmov po končnem učinku zaseda četrto mesto med petimi glavnimi epizodami množičnega izumrtja v geološki zgodovini Zemlje. Zagotovo so bili glavni sprožilci dokončnega izumrtja konodontov tesno povezani z napredujočim razpadanjem nadceline s

Risba živali s konodontnimi elementi, ki so razporejeni v kompleksnem aparatu in so imeli vlogo pri prehranjevanju. Levo spodaj: trije tipi konodontnih elementov – primerki so bili najdeni v najmlajših triasnih plasteh profila Kobla. Privrejeno po Purnell, Donoghue, 1997, Kolar – Jurkovšek, Jurkovšek, 2019.





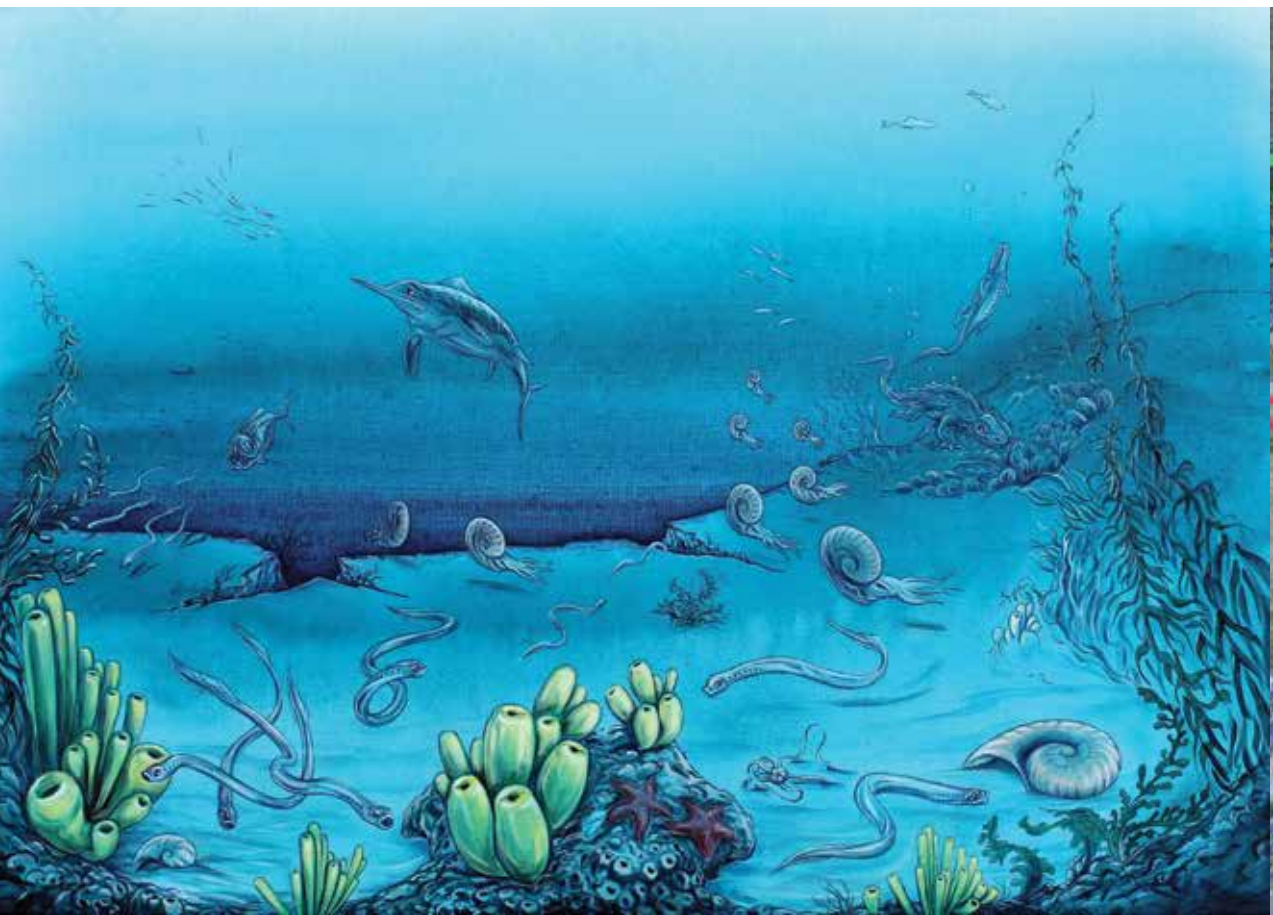
Spremembe števila družin morskih nevretenčarjev v fanerozoiku z označenimi petimi velikimi izumiranjmi. Prirejeno po Sepkoski, 1984, Isozaki, 2009, Jurkovšek, Kolar – Jurkovšek 2021.

spremljajočo močno povečano vulkansko aktivnostjo. Vzporedni pojavi, kot so morska anoksija (pomanjkanje kisika v morju), sprememba višine morske gladine in kislosti morske vode ter sproščanje strupenih snovi v okolje, so delovali na organizme enako pogubno kot v času permsko-triasne katastrofe. Tudi na konodontne živali so spremembe v morskem okolju v boju za preživetje delovale zelo obremenilno. Njihovo postopno upadanje kaže, da je šlo za več stopenj izumiranja. Zdi se, da se izumrtje konodontov ujema tudi z razvojem dinoflagelatov in prvim pojavom apnenčevih nanofosilov.

Konodontne živali so naseljevale številne morske življenjske prostore. Med njimi so tako odprtomorske oceanske vrste kot tudi vrste, ki so se prilagodile plitvomorskim razmeram obcelinskih morij. Naseljevale so

morja od tropskega do zmernege pasu in celo hladnejša morja visokih zemljepisnih širin.

Zato so številne med njimi izjemno pomembne za razumevanje paleoekoloških in paleogeografskih razmer v paleozoiku in triasu. Prve raziskave konodontov pri nas segajo v čas izdelave *Osnovne geološke karte Jugoslavije 1:100.000*, to je v šestdeseta leta preteklega stoletja. Konodontne raziskave so še danes ena od najpomembnejših paleontoloških metod za določanje relativne starosti kamnin, ki jih opravljamo na Geološkem zavodu Slovenije. V Sloveniji je najstarejših paleozojskih kamnin le malo na površini, pa še te običajno ne vsebujejo vodilnih makrofosilov, na katerih temelji *ortostratigrafija*. Tudi v mlajšem delu paleozoika in v starejšem delu mezozoika si marsikje ni mogoče pomagati z vodilnimi makrofosili, saj so nji-



Rekonstrukcija zgornjetriasnega morskega okolja s konodontnimi živalmi. Avtorica: Barbara Jurkovšek.

hove najdbe na površini razmeroma redke, zaradi velikosti pa je vprašljiva tudi njihova ohranjenost, ki je za natančno določitev fosila zelo pomembna. In tu stopijo v veljavo fosili tistih skupin organizmov, ki so bili zaradi svoje majhnosti v preteklosti pogosto spregledani in na videz nepomembni. V Zemljini zgodovini se je pojavljalo nešteto vrst foraminifer, radiolarijev, diatomej, kokolitoforidov in drugih mikroorganizmov, ki so se prav tako naglo kot zveličavni amoniti ves čas odzivali na spremembe v okolju. Kljub majhnosti jih je v kamnini marsikdaj lažje najti kot njihove velike sodobnike – makrofosile – in praviloma jih je mnogo več.

Številne prepoznamo v mikroskopskih preparatih – zbruskih, nekatere lahko izlužimo iz kamnine s kemikalijami, kot so vodikov peroksid, glauberjeva sol in podobne, pri drugih oponašamo naravne procese in kamnino večkrat zaporedoma zamrzujemo in tajamo, včasih celo kuhamo. Fosile organizmov, ki so imeli kremenčev skelet, kot so radiolariji, pridobimo iz kamnine z namakanjem v agresivnejših kislinah. V to skupino spadajo tudi konodonti, ki so v zadnjih desetletjih prevzeli pomembno vlogo vodilnih fosilov in uspešno nadomeščajo amonite pri raziskavah paleozojskih in triasnih kamnin. Danes je znano, da so konodontne živali



*V prehodnih plasteh profila Lukač pri Žireh je bila na podlagi konodontne vrste *Hindeodus parvus* določena geološka meja med starim in srednjim zemeljskim vekom. Foto: Bogdan Jurkovšek.*

naseljevale bolj odprtomorske biotope, podobno kot amoniti, zato z njimi v zadnjih desetletjih vse uspešneje določamo relativno starost plasti tam, kjer so amoniti in drugi vodilni fosili redki ali pa se sploh niso ohranili.

Zagotovo so bili konodonti ena od najuspešnejših živalskih skupin, saj so naseljevali Zemljo več kot tristo milijonov let. Ves čas so se hitro razvijali, dosegali veliko geografsko razširjenost, njihovi fosili pa so prisotni v kamninah zelo kratkih geoloških obdobj, kar je osnovna značilnost dobrih vodilnih fosilov. Zato so prav konodonti med najbolj uporabnimi fosili za določanje relativne sta-

rosti kamnin in za posodobitev poznavanja paleozojskih in triasnih plasti. Na podlagi njihovih združb so bile revidirane in natančneje določene meje mnogih geoloških obdobj paleozoika in triasa. Ugotovljene so bile številne konodontne cone, od katerih nekatere obsegajo zelo kratka časovna obdobja. Verjetno nobena druga biostratigrafska metoda datiranja, ki je trenutno na voljo, ne presega njihove natančnosti. Konodonti so pomembni tudi za študij paleogeografije paleozojskih in triasnih plasti v svetu, pri geološkem kartiranju, raziskavah mineralnih surovin in tako dalje.



Pelagične karnijske plasti (zgornji trias) na Kozji dnini pod Triglavsko severno steno vsebujejo pogoste konodontne elemente. Foto: Bogdan Jurkovšek.

Slovarček:

Anoksija. Odsotnost ali zelo hudo pomanjkanje kisika v morju.

Biostratigrafija. Veja stratigrafije, ki se osredotoča na primerjavo in določanja relativne starosti kamnin na podlagi fosilnih združb, ki jih vsebujejo.

Dinoflagelati. Enocelični, bičkasti, pretežno planktonski organizmi.

Kronostratigrafija. Veja stratigrafije, ki preučuje starost kamnin glede na čas.

Nanofosil. Fosil velikosti od enega do petdeset mikrometrov.

Paleoekologija. Veda o odnosih organizmov z okoljem v geološki preteklosti; del ekologije, ki se ukvarja z značilnostmi nekdanjih okolij.

Paleogeografija. Del geologije, ki obravnava geografske razmere v geološki preteklosti.

Stratigrafija. Del geologije, ki opisuje in razvršča kamnine po času nastanka in jih na podlagi značilnosti združuje v različne enote (na primer geokronološke, stratigrafske, litostratigrafske).

Literatura:

Isizaki, Y., 2009: *Illawarra Reversal: The fingerprint of superplume that triggered Pangean breakup and the end-Guadalupian (Permian) mass extinction*. *Gondwana Research*, 15: 421–432.

Jurkovšek, B., Kolar – Jurkovšek, T., 2021: *Fosili Slovenije / Fossils of Slovenia*. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 258 str.

Kolar – Jurkovšek, T., Jurkovšek, B., 2019: *Konodonti Slovenije / Conodonts of Slovenia*. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 260 str.

Purnell, M. A., Donoghue, P. C. J., 1997: *Architecture and functional morphology of the skeletal apparatus of ozarkodinid conodonts*. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B*, 352: 1545–1564.

Ramovič, A., 1989: *Konodonti: zagonetna živalska skupina*. *Proteus*, 52 (1) (1989/90): 11–16.

Sepkoski, J. J., Jr., 1984: *A kinetic model of Phanerozoic taxonomic diversity III. Post Paleozoic families and mass extinctions*. *Paleobiology*, 10: 246–267.



Tea Kolar – Jurkovšek je znanstvena svetnica Geološkega zavoda Slovenije in vodja raziskovalnega programa *Regionalna geologija Slovenije*. V svoji dolgoletni raziskovalni karieri je kot paleontologinja sodelovala v številnih geoloških raziskavah. Dejavno sodeluje v raziskavah stratigrafskih mej in pri usmerjanju konodontologije v svetu in je avtorica ali soavtorica številnih znanstvenih, strokovnih in poljudnoznanstvenih del. V letu 2022 je prejela Panderjevo medaljo za življenjsko delo na področju konodontologije.

Foto: osebni arhiv.

Ledenodobni rosomah (*Gulo gulo*) tudi v Ajdovski jami pri Nemški vasi

Matija Križnar

Pred nekaj časa smo v *Proteusu* poročali o izjemni in zanimivi najdbi lobanje rosomaha (*Gulo gulo*) iz Erjavčeve jame blizu Solčave. Le malokdo si je predstavljal, da bomo lahko tako kmalu pisali še o enem najdišču te ledenodobne kune. V tem kratkem prispevku predstavljamo redko in nepoznano spodnjo čeljustnico iz muzejskega depoja Prirodoslovnega muzeja Slovenije, ki je bila izkopana v Ajdovski jami pri Nemški vasi blizu Krškega in je veljala za izgubljeno.

Brodarjeva izkopavanja v Ajdovski jami

Pred drugo svetovno vojno so bila arheološka izkopavanja na slovenskem ozemlju še redka. Med bolj dejavnimi je bil geolog in arheolog Srečko Brodar, ki je v letih pred vojno izkopaval v Potočki zijalki, Mornovi zijalki pri Šoštanj, Špehovki pri Zgornjem Doliču, Hudi luknji pod Herkovim (Herkovimi pečmi) in Ajdovski jami pri Nemški vasi. Prav zadnje najdišče je Brodarja privabilo zaradi debelih nanosov sedimentov in predhodnih nenačrtanih izkopavanj, ki so

kazala, da so mogoče v jami tudi ostanki ledenodobnega človeka in s tem tudi paleolitske najdbe. Izkopavanja je opravil v mesecu juliju leta 1938. Izkopal je dve večji sondi v levem in desnem vhodnem kraku jame (Brodar, Korošec, 1953: 8). Izkopani arheološki inventar naj bi po dogovoru z Rajkom Ložarjem, takratnim vodjem Narodnega muzeja v Ljubljani, pripadal omenjenemu muzeju. Nekoliko drugačno usoda pa je doletela večjo zbirko fosilnih kosti (paleontološkega gradiva), ki je bilo med drugo vojno