

Rekonstrukcija sedimentacijskega okolja Strelovske formacije

Jure Žalohar in Tomaž Hitij

Depositional environment of the Strelovec Formation

In the major part of Strelovec Formation, the laminated style of sediments, absence of mollusk fauna and bioturbation traces, and occurrence of well articulated fish and reptile skeletons indicate a semi-enclosed depositional environment with stratified water-body and hypoxic and/or anoxic conditions. There are no indications of the current action and no indications of the seasonal character in deposition of the sediments. Synsedimentary structures (slump-folds, micro-faults, and resedimented blocks) are common, indicating an inclined depositional surface or irregular sedimentation rate and/or subsidence. Based on the sedimentological, paleontological, mineralogical and geographical data, we suppose that the Strelovec Formation was deposited in a deep intraplatform basin that spread in the Pelsonian throughout the present territory of the Kamniško-Savinjske Alps. With additional outcrops of the Strelovec Formation that have been recently discovered in the Julian Alps, the basin might have measured several tens of kilometres in diameter.

V nasprotju s plastmi Horizonta Velike planine je večina ribjih skeletov v plasteh Strelovske formacije celih in artikuliranih, kar kaže na prevladujoče anoksične razmere v sedimentacijskem okolju. Znaki vpliva morskih tokov so zelo redki, prav tako tudi znaki, ki bi kazali na sezonski značaj razmer v sedimentacijskem okolju. Zelo pogoste so sinsedimentne teksture zdrsov, mikroprelomov in presedimentiranih blokov, ki kažejo na relativno nestabilno morsko dno; na nagnjenost, neenakomerno hitrost sedimentacije, pogrezanje ipd.

V približno 5 m debelem horizontu svetlega laminiranega do tankoplastnatega apnenca v spodnjem delu Strelovske formacije na območju Robanovega kota lahko na ribjih koščicah najdemo majhne piritne framboide, ki kažejo na hitro sedimentacijo z organskim drobirjem bogatega sulfidnega blata (BRETT IN BEIRD, 1986) in na anaerobne pogoje (TINTORI, 1992). Takšna sedimentacija je bila verjetno povezana s postopnim spreminjanjem aerobnega okolja v popolnoma anoksično. Nad temi

plastmi ležijo temni laminirani do tankoplastnati bituminozni apneneci, meljeveci, laporovci in glinavci, ki tvorijo pretežni del profila Strelovske formacije. Verjetno so bile odložene v okolju s popolnoma anoksičnimi razmerami in z visoko produkcijo hranil v okolici sedimentacijskega bazena (TINTORI, 1992). V teh plasteh nismo našli nobenih znakov piritizacije fosilov. V redkih plasteh pa smo našli številne piritne framboide, razpršene v sedimentu, kar je tipično za anaerobne pogoje (BRETT IN BAIRD, 1986).

Lokalno se med plastmi laminiranega bituminoznega apnenca pojavljajo tudi do 4 m debele sekvence svetlega debeloplastnatega apnenca. V njih smo našli pogoste posamične kosti in fragmente kosti plazilcev. Te plasti zato kažejo na občasne bolj odprte oziroma prezračene morske razmere. Na vrhu horizonta temnih laminiranih bituminoznih plasti v Kamniški Bistrici sledi do 15 m debelo zaporedje temnih plasti apnenca s številnimi školjkami, ki ponekod tvorijo prave lumakele.



Nahajališče fosilnih vretenčarjev v plasteh Strelovške formacije.
Outcrop with fossil vertebrates in the beds of Strelovec Formation.

Na drugih mestih v Kamniško-Savinjskih Alpah te sekvence nismo opazili. Tudi te plasti kažejo na občasne bolj odprte oziroma prezračene morske razmere.

Ostanki rastlin tipa *Voltzia*

Rastlinski ostanki so v spodnje- in srednjetriasnih plasteh Kamniško-Savinjskih Alp in Karavank izjemno redki. V plasteh Strelovške formacije smo našli zelo redke ostanke morfološkega tipa »*Voltzia*«. Izjema je le zgornji del plasti Strelovške formacije pod Rjavčkim vrhom, kjer so v približno 10 m debelem zaporedju plasti okremenjenega tufa rastlinski ostanki dokaj pogosti. Ostanki tipa »*Voltzia*« pripadajo triasnim golosemenkam in so značilni za vroče in aridno podnebje. Poudariti moramo, da izraz »*Voltzia*« ne označuje nekega določenega rastlinskega rodu. Fosilni ostanki rastlin so najpogostejše nepopolni, zato ločeno najdemo veje, liste, plodove in semena, ki jih v paleontološki literaturi pogosto opisujejo z različnimi imeni. Po Mednarodnem kodeksu botanične nomenklature (ICBN) je zato ime »*Voltzia*« le oznaka za sterilne vejice (FRASER, 2006). Skupaj z ostanki tipa *Aetophyllum* so ostanki voltzij najpogostejši triasni rastlinski ostanki. Domnevajo, da so bile voltzije majhne razvejane grmičaste rastline. Glede na skorajšnjo odsotnost rastlinskih ostankov v spodnjetriasnih in srednjetriasnih anizijskih plasteh lahko sklepamo, da je bilo takrat pri nas podnebje bodisi izrazito sušno in/ali pa je bilo kopno relativno zelo oddaljeno.

Celestin

Na relativno vroče podnebje lahko sklepamo tudi na podlagi evaporitnega minerala celestina (stroncijev sulfat, SrSO_4), ki je pogost v nekaterih plasteh srednjetriasne Strelovške formacije. V laminiranih bituminoznih apnencih najdemo celo do 3 cm dolge celestinove kristale. V morskem okolju je celestin

primarno prisoten kot skeletna komponenta morskih planktonskih organizmov *Acantharia* (BERNSTEIN *et al.*, 1992). V vodnem stolpcu se raztaplja v odvisnosti od slanosti (RUSHDI *et al.*, 1992). Skeleti akantarij se zato ne morejo fosilizirati. Prisotnost celestina lahko razložimo kot posledico evaporacije morske vode v obalnih morskih območjih. Ko so goste slane raztopine potonile v globlje dele karbonatnih platform in pronicale skozi tam odlagajoč se sediment, se je iz njih, da bi prišlo do kemijskega uravnoveženja, izločila velika količina stroncija (HANOR, 2004).

Odlaganje dolomita

Za rekonstrukcijo paleookolja so pomembne tudi plasti dolomita z odlično ohranjenimi ribami in členonožci, ki smo jih našli na več mestih v spodnjem delu Strelovške formacije. Fosilne ribe in členonožci so v teh plasteh tako dobro ohranjeni, da lahko izključimo kakršno koli možnost kasnejše dolomitizacije apnenca. Ta dolomit torej ni nastal iz apnenca, temveč je bil neposredno odložen na morskno dno. Dolomit nastaja s kemičnim izločanjem kalcijevo-magnezijevega karbonatnega minerala iz nasičene morske vode (na primer NOVAK, 2010). Kadar je razmerje med magnezijevimi in kalcijevimi ioni višje od 0,67, reakcija poteka v prid izločanja dolomita, v nasprotnem primeru pa se izločata kalcit in aragonit. V povprečju je v današnji oceanski vodi razmerje približno 5,2, kar bi vsaj teoretično vodilo v izločanje dolomita. Zanimivo pa je, da se dolomit v normalnih razmerah kljub temu ne izloča. V procesu hitrega izločanja karbonatov se kristalna rešetka dolomita namreč ne more zgraditi. Poleg tega se zaradi hidratacije ionov magnezija z molekulami vode kalcijevi ioni hitreje vključujejo v kristalno rešetko, pri čemer nastajata kalcit in aragonit. Danes se dolomit neposredno izloča na zelo redkih krajih; v zelo slanih jezerih v južni Avstraliji, v zelo slanih lagunah v anaerobnih razmerah vzdolž obale Ria de Janeiro in v globokih morjih z veliko vsebnostjo organskih snovi (NOVAK, 2010).



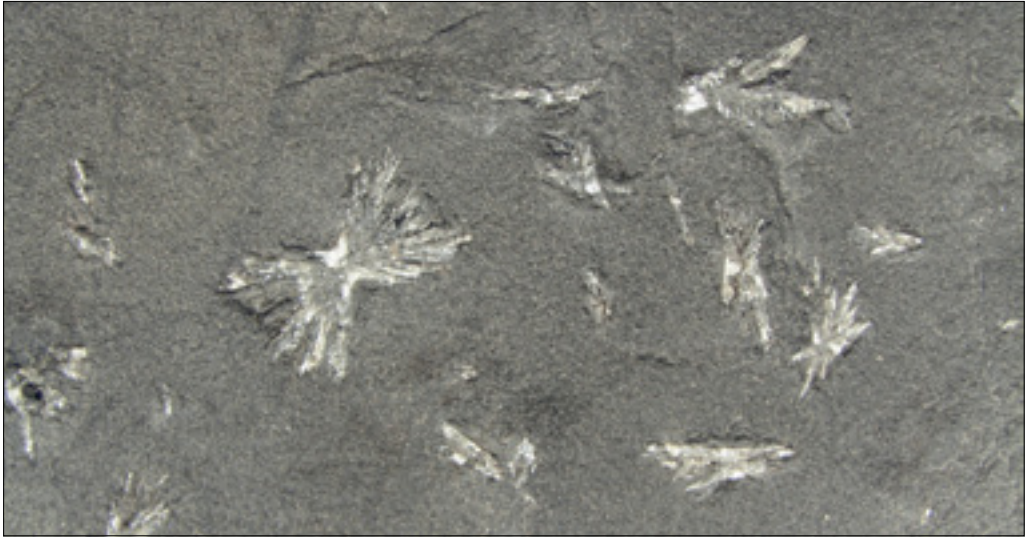
Vejica triasnega iglavca »*Voltzia*« (T-815), Strelovška formacija, dolžina 60 mm.

»*Voltzia*« conifer (T-815), Strelovec Formation, length 60 mm.

Kje so se torej odložile plasti Strelovške formacije?

Glede na vse zgoraj navedene podatke o okolju, v katerem je nastajala Strelovška formacija, lahko zaključimo, da je v tem delu anizija (pelson) prišlo do relativno kratkotrajnega, a za slovenske razmere pomembnega poglobljanja večjega dela Slovenske karbonatne platforme. Strelovška formacija je nastala v intraplatformnem bazenu evaporitno-karbonatne platforme, ki so bile takrat pogoste v zahodnem delu Tetide; točneje na območju današnjih Dolomitov, Karnijskih Alp, Durmitorja, Krasa (ZHARKOV & CHUMAKOV, 2001) in očitno na območju današnjih Kamniško-Savinjskih ter Julijskih Alp. Intraplatformni bazen je obsegal celotno ozemlje današnjih Kamniško-Savinjskih Alp, saj so le-tu plasti Strelovške formacije povsod prisotne. Osrednji del bazena je bil na prostoru današnjega Strelovca, kjer dosežejo plasti Strelovške formacije največjo debelino. Poleg tega na prostoru Strelovca, Rjavčkega vrha in Logarske doline skoraj ne najdemo svetlih in debelejših plasti

apnenca z ostanki plazilcev, ki so se denimo na ozemlju Kamniške Bistrice odlagale v bolj prezračeni morski vodi. Kot kaže, so v osrednjem delu bazena vladali dokaj konstantni pogoji z anoksičnimi ali hipoksičnimi razmerami. Proti zahodu, na ozemlju Kamniške Bistrice, ter proti jugu v Robanovem kotu so plasti Strelovške formacije nastajale v obrobnejših delih bazena, kar kažejo številni horizonti in vložki tanko- do debeloplastnatih svetlih apnencev s plazilci ter posamezne plasti s školjkami in ramenonožci. Proti severu, na območju Matkovega kota, proti vzhodu na območju Raduhe ter dalje proti zahodu pod Kalško goro nad Suhadolnikom se debelina plasti Strelovške formacije manjša. Temni, laminirani in bituminozni muljevci, tako značilni za območje Strelovca, pa se tu nemalokrat pojavljajo v povsem podrejeni količini. Zanimivo je, da so v Julijskih Alpah pod Vernarjem v Krmi plasti Strelovške formacije skoraj enako razvite kot na prostoru Robanovega kota. Sklepamo lahko, da so tamkajšnje plasti Strelovške formacije nastajale v južnem podaljšku nekdanjega sedimentacijskega bazena, ki se je razprostiral prek



Kristali celestina (SrSO_4) v laminiranem bituminoznem apnencu (T-875), Strelovska formacija, premer kristalnih skupkov 20 mm.

Celestine (SrSO_4) in laminated bituminous limestone (T-875), Strelovec Formation, length of the crystals 20 mm.

današnjega ozemlja Kamniško-Savinjskih Alp ter severnega dela Julijskih Alp.

Glede na fosilno makrofavno (kot so kačjerepi in ostvarji), odlaganje dolomitov z ostanki rib in prisotnost minerala celestina lahko domnevamo, da je bila globina morske vode v osrednjem delu bazena precejšnja, morda celo več sto metrov. Zaradi stalnega dotoka zelo slane in goste vode iz okoliških

evaporitnih delov platforme je prišlo do stratifikacije vodnega stolpca, zato so v spodnjem delu nastale izrazito anoksične ali hipoksične razmere, v katerih so se odlagali temni bituminozni sedimenti, dolomit in celestinovi kristali. Takšne razmere so občasno zmotili vulkanski izbruhi, s katerimi povezujemo odlaganje plasti tufa, intraformacijskih breč in številnih tekstur sinsedimentnih zdrsov.

- BERNSTEIN, R. E., BYRNE, R. H., BETZER, P. R., GERCO, A. M. 1992: Morphologies and transformations of celestine in seawater: the role of acantharians in strontium and barium geochemistry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 65: 3273–3279.
- BRETT, C. E., BAIRD, G. C. 1986: Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios*. 1: 207–227.
- FRASER, N. C. 2006: *Down of the Dinosaurs: life in the Triassic*, Indiana University Press: 305–307.
- HANOR, J. S. 2004: A model of the origin of large carbonate- and evaporite-hosted celestine (SrSO_4) deposits. *J. Sed. Res.*, 74 (2): 168–175.
- NOVAK, M. 2010: Dolomit – kamnina leta 2010. *Proteus*, 72 (9/10): 455–460.
- RUSHDI, A. I., MCMANUS, J., COLLIER, R. W. 2000: Marine barite and celestine saturation in seawater. *Mar. Chem.*, 69: 19–31.
- TINTORI, A. 1992: Fish taphonomy and Triassic anoxic basins from the Alps: a case history. *Riv. It. Paleont. Strat.*, 97 (3-4): 393–408.
- ZHARKOV, M. A., CHUMAKOV, N. M. 2001: Paleogeography and Sedimentation Settings during Permian – Triassic Reorganizations in Biosphere. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 9 (4): 340–363.