

# Prostorski razpored in časovni potek temperatur v Potočki zijalki na Olševi - osnova za razumevanje morfologije jamskih tal

Andrej Mihevc<sup>1\*</sup>

## Povzetek

Potočka zijalka je morfološko enostavna, 120 m dolga jama, ki se od vhoda do konca vzpne za 20 m. Njen vhod (46°26'57.38"S, 14°40'8.29"V) je v južnem pobočju Olševe, na nadmorski višini 1662 m. Je pomembna arheološka jama, znana je tudi kot paleontološko nahajališče kvartarnih sesalcev. Manj znani so jamski pliocenski ali spodnje pleistocenski sedimenti, ki so pomešani v mlajše arheološke plasti.

V jami smo v letu 2017 na štirih mestih merili temperaturo zraka. Meritve so pokazale prostorsko razporeditev in letni potek temperatur na osnovi katerih lahko jamo razdelimo na dva dela. V vhodnem, spodnjem delu jame lahko zrak kroži celo leto, zato so tu velika temperaturna nihanja, ki sledijo poteku zunanjih temperatur. V notranjem, zgornjem delu jame prihaja do kroženja in izmenjave zraka le v topli polovici leta. V hladni polovici leta se ta cirkulacija prekine. Temperaturo zraka v njem tedaj določa temperatura okoliške kamnine, zato temperatura zraka nikoli ne pade pod ledišče.

Taka razporeditev temperatur je omogočila v notranjem delu hibernacijo jamskim medvedom, v vhodnih delih pa povzroča krioturbacijske procese. Ti procesi delujejo tudi v današnji klimi. Z njihovo prostorsko razporeditvijo lahko razložimo oblikovanje jamskih tal: enakomerne naklone v vzdolžnem in prečnem profilu pa tudi nastanek in oblikovanje arheoloških plasti.

**Ključne besede:** jama, temperatura, klima, morfologija tal, sedimenti, krioturbacija

**Key words:** cave, temperature, climate, ground morphology, sediments, cryoturbation

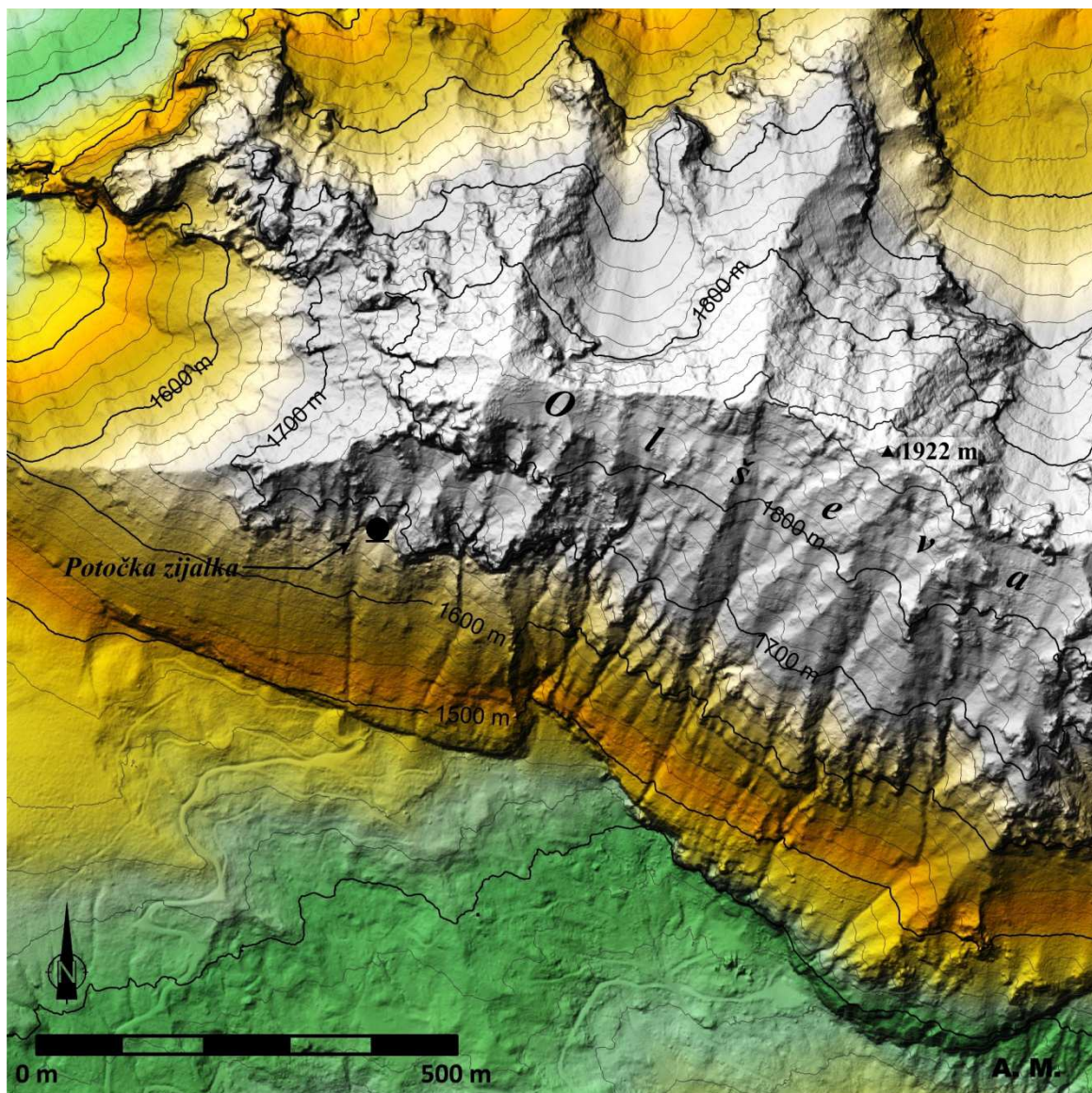
## Uvod

Ob arheoloških izkopavanjih med leti 1928-1935 je Srečko Brodar opazoval tudi klimatske poteze jame. Temperaturo je poleti meril s termografom, nekajkrat pa je obiskal in izmeril temperaturo v jami tudi pozimi. Opazil je, da hladni zrak v jami sega le do določene višine, nad njo tudi pozimi temperatura ni padla pod ledišče. Vhodni del jame je bil hladen, v njem so rasli ledeni kapniki, gruščnata tla pa so zmrzovala več metrov globoko in so bila zamrzla še v avgustu (Brodar, 1931).

Med izkopavanji je našel v jami med ostrorobim avtohtonim gruščem s paleolitskimi najdbami prodnike iz miocenskih apnencev, miocenske morske polže in drobce metamorfnih kamnin. Ker je predpostavljal, da jame ni oblikovala podzemna reka, oziroma, da je »tipična tektonska jama« (Brodar & Brodar 1983, str. 94), je sklepal, da so jih v jamo prinesli aurignacijski lovci. Mioč (1997) jih je pripisal občasnim tokovom s površja, zato naj bi jama takrat ležala v nižji nadmorski višini. Do tektonskega dviga Olševe in jame v sedanjo višino pa naj bi prišlo šele po odložitvi prodiv in arheoloških plasti. Kasneje so arheologi njihov izvor tolmačili s spiranjem na površju nad jamo odloženih miocenskih sedimentov (Kralj & Pohar 2001). Skozi špranje v stropu ali skozi jamski vhod naj bi se pomešali v arheološke plasti pred okrog 30.000 leti (Rabeder & Pohar 2004).

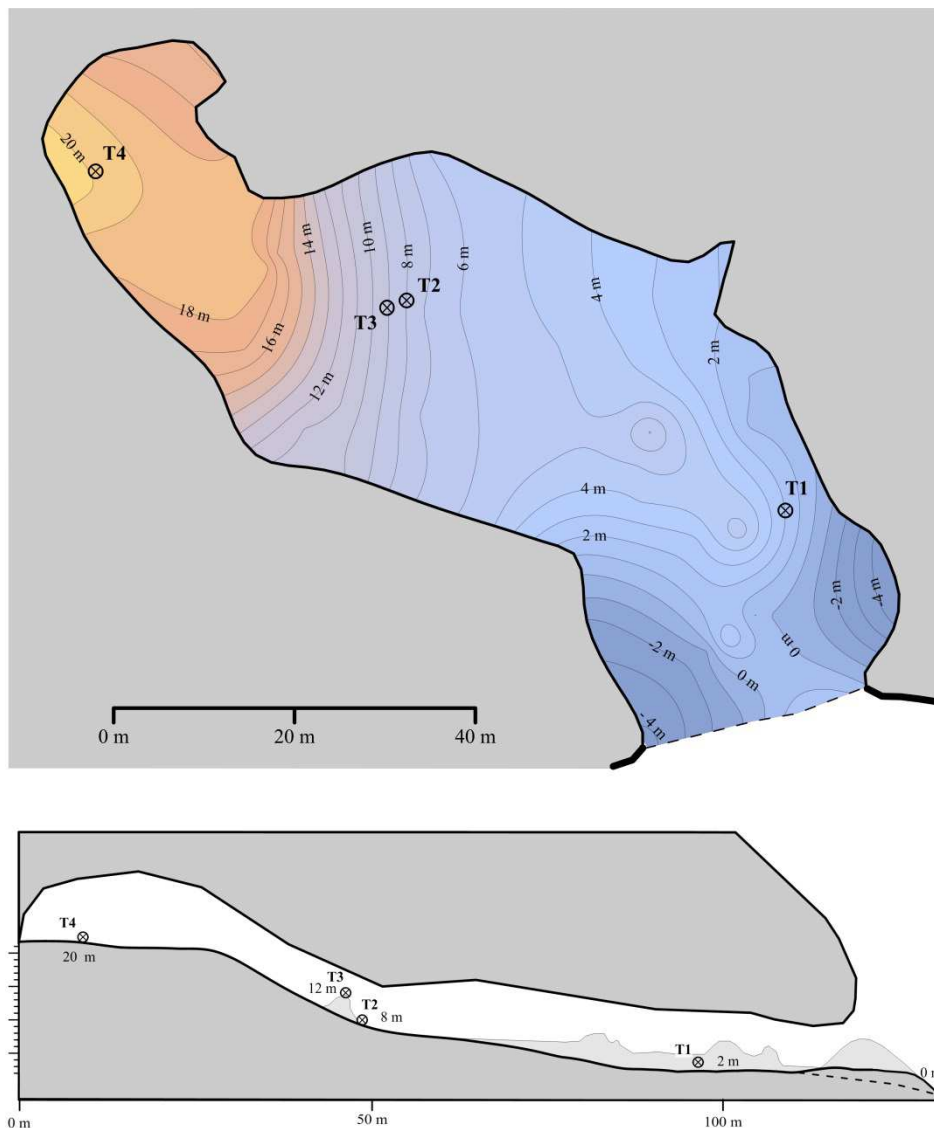
---

\*Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, SI-6230, Postojna, Slovenija



Slika 1: Lega Potočke zijalke v južnem pobočju Olševe.

Izvor eksotičnih sedimentov je po analogiji s Snežno jamo na Raduhi pripisal jamski reki ponikalnici, ki je jamo oblikovala, potem pa v njej odložila alogene sedimente. V analiziranem profilu v Snežni jami je sedimentacija potekala od okrog 5Ma do okrog 2 Ma (Zupan et al. 2008, Mihevc et al. 2013, Hauselmann et al. 2015). Prenehanje sedimentacije ima vzrok v tektonskemu dvigovanju, ki je povzročilo vrezovanje Savinje in njenih pritokov. Potočka zijalka je zadnji ostanek nekdanje velike jame, ki je nastala podobno kot Snežna jama. Ko so jo dosegli pobočni procesi v doline Savinje in se je odprl sedanji vhod, je v jamo začela prodirati tudi zimska zmrzal. Ta je ustvarila pogoje za krioklastične in krioturbatne procese. Zato se je začel stari sediment mešati s stropa odpadlim kamenjem in polzeti po jami pa tudi ven iz jame. Zlasti hitre odjuge in močne padavine so povzročale polzenje površinske plasti sedimenta po še zamrzlih tleh, pri čemer so nastale nove plasti. To se je dogajalo v času aurignacijskih lovcev, dogaja pa se še danes (Mihevc 2001).



Slika 2: Tloris in shematični prerez Potočke zijalke. Označena so mesta kjer so bili nameščeni termoregistratorji. Na prerezu je narisana le najvišja višina stropa, različne višine tal pa predstavljajo debelejšje in tanjše oziroma prekinjene črte

Ker so najdbe starih jamskih sedimentov, s katerimi lahko datiramo ali rekonstruiramo razvoj reliefa v čas pred nastankom sedanjega reliefa v alpskih jamah redka, je nahajališče starega proda v Potočki jami zelo pomembno. Da bi ugotovili prostorsko razporeditev pogojev, ki omogočajo polzenje ali drugačno premikanje sedimentov v jami smo merili letno nihanje temperature zraka.

### Meritve

V jami smo s pomočjo termoregistratorjev (uporabili smo termoregistratorje iButton, DS1922L, z ločljivostjo 0,1 °C in natančnostjo  $\pm 0,5$  °C) merili temperature med 2. decembrom 2016 in 29. septembrom 2017. V jami smo namestili štiri registratorje in merili temperature v dvournih intervalih (glej sl. 2). En registrator smo namestili zunaj, vendar tako, da nanj gibanje zraka iz jame ni moglo vplivati. Zračne vlage in gibanja zraka v jami

nismo merili, nanje lahko sklepamo iz poteka in razporeditve temperatur v različnih delih jame.

### Rezultati in interpretacija meritev

Čeprav meritve niso potekale celo leto, manjkata meseca oktober in november, so izmerjene vrednosti dovolj značilne, da pokažejo temperaturne razmere v jami in njihovo odvisnost od zunanjih temperatur.

Termometer, ki smo ga pritrdili na smreko, 2 m nad tlemi, je zabeleži najvišjo temperaturo, 26,3° C v začetku avgusta, najnižjo pa v prvi polovici januarja, -18° C (glej tab. 1). Povprečna vrednost vseh izmerjenih temperatur je bila 5,9° C.

Temperaturo zraka v jamah določa temperatura okoliške kamnine in prenašanje toplote s površja s tekočo vodo ali zrakom. Ker v Potočki zijalki ni večjih dotokov kapljajoče vode določa letni potek temperatur predvsem kroženje zraka, ki ga določa oblika jame.

V topli polovici leta je zrak v Potočki zijalki hladnejši in gostejši, oziroma težji kot zunanji zrak. Zato se pri tleh giblje navzdol in nato ven iz jame, kar povzroči, da pod stropom vhoda priteka v jamo zunanji, toplejši zrak. Ta zrak ogreva strop in stene, pri tem se ohladi in pri tleh izteka iz jame. Poletna kroženje zraka tako zajame celo jamo.

Tabela 1: Temperature izmerjene pred in v Potočki zijalki med 2.12.2016 in 29. 9. 2017. Višine termometrov v jami so merjene od srednje višine tal vhoda, ki je v nadmorski višini 1662 m.

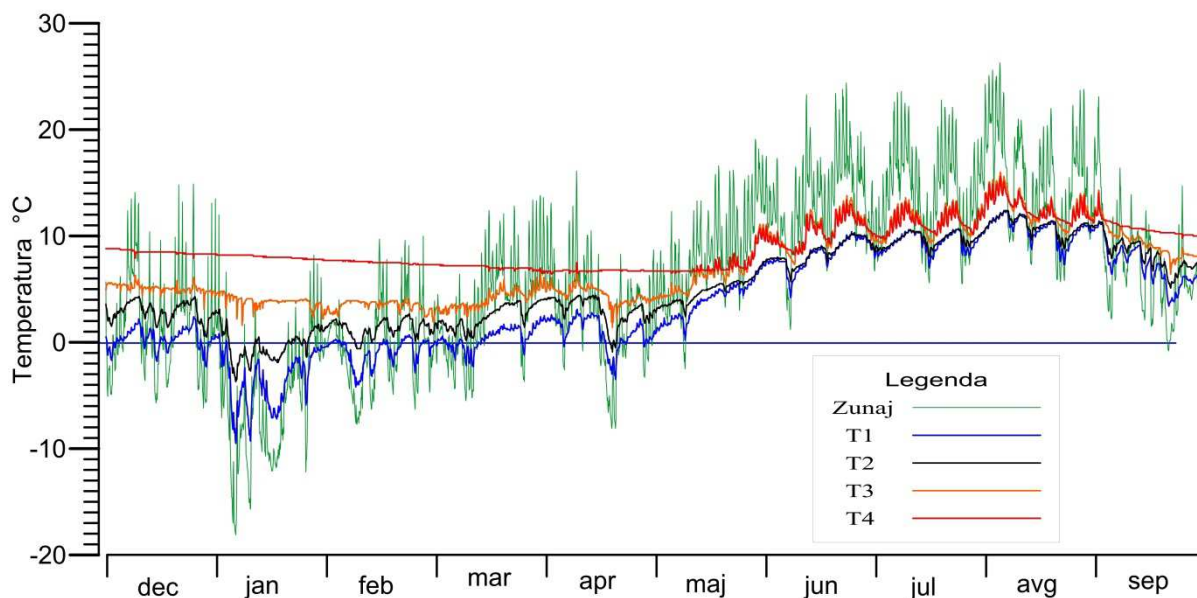
Merilno mesto	Višina	Oddaljenost od vhoda	Temperatura (° C)		
			minimalna	maksimalna	povprečna
Zunaj	1665 m	20 m	-18,1	26,3	5,9
T 1	2	20	-9,5	12,4	3,6
T 2	8	78	-3,7	12,4	5,1
T 3	12	80	1,4	16	7,1
T 4	20	110	6,4	15,6	8,9

Pozimi je jamski zrak toplejši kot zunanji, saj se ogreva od stropa in sten jame. Toplejši in zato lažji zrak stagnira v notranjem, zgornjem delu jame. Mejo med notranjim in vhodnim delom jame približno določa odprtina jamskega vhoda, ki je približno 7 m visoka. Kroži lahko zrak, ki leži pod to višino. Jama se tako razdeli na dva klimatsko ločena dela, notranjega v katerem zrak stagnira in odraža temperaturo okoliške kamnine in na zunanjega, v katerem zrak kroži in se izmenjuje z zunanjim. Zato se v njem pozimi temperature približajo zunanjim temperaturam zraka.

Takšno gibanje zraka dobro potrjuje potek na štirih mestih v jami izmerjenih temperatur. Termometer T1 smo namestili v spodnjem delu jame 20 m od vhoda v višini 2 m nad višino tal pri vhodu. Povprečna temperatura merilnega obdobja je bila 2,2° C, temperatura pa je nihala v razponu med -9,5° C v januarju in 12,4° C v avgustu (glej tab1). Temperaturna krivulja ima pozimi in spomladi podoben potek kot krivulja zunanjih temperatur, vendar so dnevna nihanja močno dušena, kar kaže vpliv jame (glej sl. 3). Zunaj so nihale temperature med -18° C in 15° C, pri T1 pa med -9° C in 3° C. Po zadnji močni ohladitvi v aprilu se je temperatura zraka počasi dvigovala, vendar do srede maja ni presegla 4° C. Temperatura je nato počasi naraščala ter julija dosegla 12° C. Po prvih septembrskih ohladitvah pa so se v jami spet močneje izražali vplivi zunanje temperature.

Termometra T2 in T3 smo namestili okrog 80 m od jamskega vhoda v višini 8 in 12 m, ob vznožju in na vrhu velike skale. To mesto smo izbrali, ker v tej višini poteka klimatska meja med spodnjim in zgornjim delom jame, ki jo je zaznal že Brodar (1931).

Na spodnjem termometru je (T2) bila najnižja zabeležena temperatura  $-3,7^{\circ}\text{C}$  v januarju, najvišja  $12,4^{\circ}\text{C}$ , pa konec julija (glej sl. 3). Povprečna temperatura je bila  $5,1^{\circ}\text{C}$ . Potek temperatur preko leta je zelo podoben poteku pri T1, le temperature so bile za okrog  $4^{\circ}\text{C}$  višje, manjše pa so bile amplitude v hladni polovici leta, med  $-3,7^{\circ}\text{C}$  in  $4^{\circ}\text{C}$ . Od sredine maja do konca septembra pa sta poteka temperatur skoraj enaka.



Slika 3: Potek temperatur v Potočki zijalki med 2. dec. 2016 in 29. sept. 2017.

Termometer T3 je bila nameščen na vrhu velike skale, 4 m nad T2 oziroma 12 m nad vhomom. Najnižja temperatura je bila  $1,4^{\circ}\text{C}$  sredi aprila, najvišjo pa  $16^{\circ}\text{C}$  v začetku avgusta (glej sl. 3). Povprečna letna temperatura zraka je bila  $7,1^{\circ}\text{C}$ , kar je več kot povprečna temperatura zraka izmerjena pred jamo.

Od začetka decembra do srede maja je temperatura nihala med  $2^{\circ}\text{C}$  in  $6^{\circ}\text{C}$ . Krivulja kaže krajša in tudi daljša nihanja, ki pa ne odražajo vedno sprememb zunanje temperature. Od sredine maja je krivulja skoraj identična s potekom temperatur na T4 a z močnejše izraženimi dnevnimi nihanji. Dnevna nihanja prekine prva močna ohladitev, vzpostavi se zimska cirkulacija ali celo mirovanje zraka.

Termometer T4 je bil nameščen na najvišjem delu jamskih tal, v višini 20 m in 110 m od vhoda, na skalah, ki jih pokriva jamsko mleko. Najnižjo temperaturo,  $6,4^{\circ}\text{C}$ , je zabeležil konec marca, najvišjo  $15,6^{\circ}\text{C}$  pa konec julija (glej sl. 3). Povprečna letna temperatura pa je bila  $8,9^{\circ}\text{C}$ .

Temperatura zraka se je tu od začetka decembra, ko je bila okrog  $9^{\circ}\text{C}$ , zniževala do okrog  $6,5^{\circ}\text{C}$  sredi maja. V tem delu je potek temperatur brez dnevnih nihanj, kar nakazuje ogrevanje zraka od stropa in njegovo počasno ohlajanje. To omogoča stagnacijo oziroma le počasno gibanje zraka. Nato se v krivulji začnejo odražati krajši nato pa vedno daljši in močnejši vdori zunanjega, toplejšega zraka, ki pa se seveda v jami že precej ohladi. Temperaturni potek kaže izrazita dnevna, pa tudi daljša temperaturna nihanja, ki odražajo spremembe vremena. V začetku septembra, po prvi močni ohladitvi se nihanje temperature

oziroma zračna cirkulacija, ki to nihanje povzroča prekine, temperature zraka nato odražajo temperaturo okoliške kamnine.

## Zaključki

Meritve so potrdile dve izraziti temperaturni sezoni v jami, pa tudi dva klimatsko različna dela jame. Topla sezona se prične sredi maja, konča pa s prvo močno jesensko ohladitvijo, ki ji sledi tudi splošno znižanjem zunanjih temperatur. V tem času jamski, relativno hladnejši zrak teče pri tleh iz jame, pod stropom pa v jamo priteka topel zunanji zrak.

V hladnem delu leta se kroženje zraka v jami spremeni. Še naprej kroži zrak v delu jame, ki leži pod višino zgornjega roba jamskega vhoda. V zgornjem delu jame, nad višino stropa pri vhodu, kroženje preneha, temperatura zraka pa se uravna na temperaturo okoliške kamnine.

Tak potek in razporeditev temperatur določa oblika jame, predvsem oblika in velikost vhoda. Ker se oblika vhoda ne spreminja hitro, lahko sklepamo, da so bili podobni temperaturni pogoji v jami tudi v času zadnje poledenitve oziroma v času nastanka arheoloških paleolitskih plasti.

Potek temperatur v jami ima tudi morfološki učinek na jamska tla. Del tal, ki sezonsko zamrzuje ima manjši naklon, tla visijo zvezno ven iz jame, manjši kamni in drobir pa kaže sortiranost oziroma poligonalna tla, to pa pomeni premikanje sedimenta. Le večje skale, ki so padle s stropa ležijo pod mesti odloma. Nad njimi leži del jame, kjer tla nikoli ne zamrznejo. Tu so jamska tla bolj strma in zvegana, kar kaže na počasnejše premikanje sedimentov oziroma oblikovanje tal z odpadanjem skal s stropa in gravitacijskimi procesi.

## Literatura

- Brodar S., 1931. Temperature v Potočki zijalki na Olševi. Geografski vestnik, 7, 109-114, Ljubljana.
- Brodar S., & Brodar M., 1983. Potočka zijalka – visokogorska postaja aurignacijskih lovcev (Potočka zijalka – eine hochalpine Aurignacjäger-Station). - Dela 1. in 4. razr. SAZU, 24.1-213, Ljubljana.
- Häuselmann P., Mihevc A., Pruner P., Horaček I., Čermak S., Hercman H., Sahy D., Fiebig M., Zupan Hajna N., Bosak P. 2015: Snežna jama (Slovenia) : interdisciplinary dating of cave sediments and implication for landscape evolution. *Geomorphology*, vol. 247, pp. 10-24.
- Kralj P. & Pohar V., 2001. Klastični sediment v Potočki zijalki (Clastic Deposits in the Potočka zijalka cave). *Razpr. 4. razr. SAZU*, 42(1):25–36, Ljubljana.
- Mihevc A., 2001. Jamski fluvialni sedimenti v Snežni jami na Raduhi in v Potočki zijalki. *Geol. zbor. (Povzetki referatov)*, 16:60–63, Ljubljana.
- Mihevc, A., Horaček, I., Pruner, P., Zupan Hajna, N., Čermák, S., Wagner, J., Bosak, P., 2013. Miocene–Pliocene age of Cave Snežna jama na Raduhi, Southern Alps, Slovenia. V: Filippi, M., Bosák, P. (Ur.), *Proceedings of the 16th International Congress of Speleology*. vol. 3. Czech Speleological Society, Praha, pp. 379–383.
- Mioč P., 1997. Tectonic Structures Along the Periadriatic Lineament in Slovenia. *Geologia Croatica*, 50/2, 251-260, Zagreb.
- Rabeder G. & Pohar V., 2004. Stratigraphy and Chronology of the Cave Sediments from Potočka zijalka (Slovenia). *Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss.*, 13:235–246, Wien.
- Zupan Hajna N., Mihevc A., Pruner P., Bosák P. 2008. Palaeomagnetism and magnetostratigraphy of Karst sediments in Slovenia, (*Carsologica*, 8). Založba ZRC, Ljubljana.