

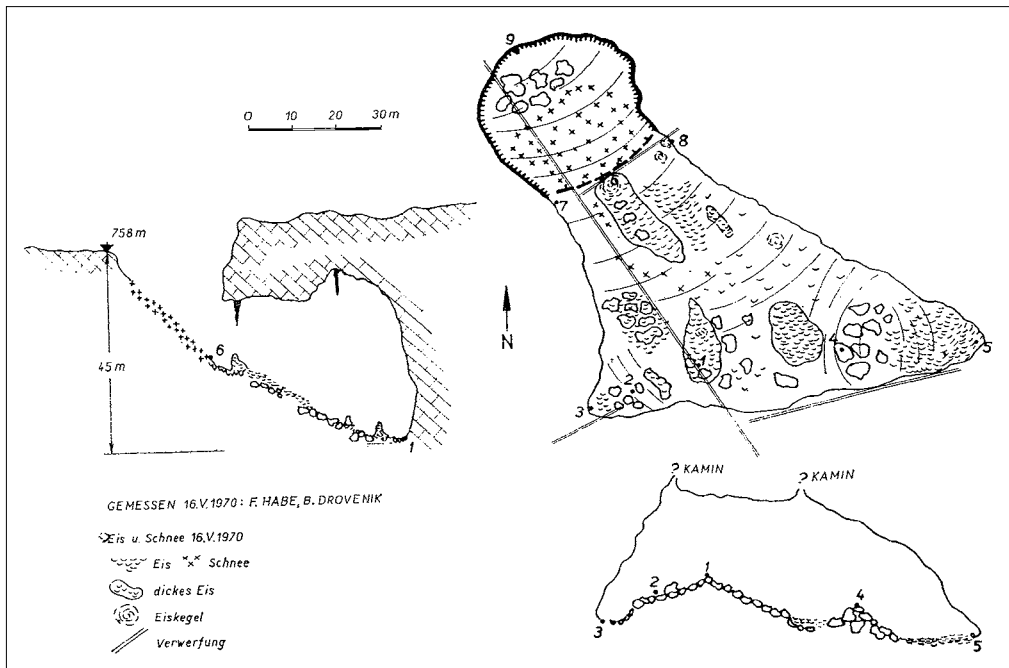
Ledena jama pri Kunču

Jure Košutnik

podiplomski študent krasoslovja, Univerza v Novi Gorici

Ledena jama pri Kunču (katastrska številka 669) leži v severnem delu visoke kraške planote Kočevski rog, na nadmorski višini 785 metrov. Nahaja se na območju naselja Podstenice, v občini Dolenjske Toplice. Jama nosi ime po bližnjem zapuščenem kočevarskem naselju Kunč (nemško: Kuntschen, Kunče po Krajevnem leksikonu Dravske banovine, 1937). Skozi udoren, proti severu orientiran vhod v jamo pridemo v edini jamski prostor, veliko dvorano, v katero vodi strmo pobočje in se proti dnu pahljačasto razširi. Dno jame prekriva avtohtoni grušč, večje skale in organski material s hlodi. Jama je 81 metrov dolga in 42 metrov globoka. Strm dostop do jame je zavarovan z jeklenico, ki je bila postavljena leta 2009 in je danes na več mestih pretrgana zaradi teže snega (Košutnik, Gostinčar, Mihevc, 2014).

Jama je bila prvič omenjena v članku objavljenem v *Illyrisches Blatt*, tedenski prilogi časnika *Laibacher Zeitung* dne 11.7.1829, pod naslovom *Ledena jama na Kočevskem rogu pri Dolenjskih Toplicah*. Članek, ki je podpisan le z inicialko G, lahko štejemo za prvi članek na Slovenskih tleh, ki je posvečen izključno ledenim jamam (Anon., 1829). V članku so objavljene prve izmerjene temperature, objavljen je opis prve nove ledene



Načrt Ledene jame pri Kunču (Habe, 1971).



Snežne razmere v jamskem vhodu. FOTO JURE KOŠUTNIK

jame po Valvasorju, hkrati članek predstavlja odmik od Valvasorja, saj se predhodni raziskovalci ledenih jam od začrtane poti niso odmikali. Avtor članka je najverjetneje Sigmund Graf (1801-1838), doktor kemije in botanik rojen v Ljubljani, ki v svojem vodniku o Dolenjskih Toplicah (1831) natančno opiše Ledeno jamo pri Kunču, navaja meritve temperature zraka v jami ter se sklicuje tudi na omenjeni članek iz leta 1829. V 19. st. so v poletnih mesecih domačini z ledom iz jame oskrbovali zdravilišče v Dolenjskih Toplicah. Marsikaterega gosta zdravilišča je premagala radovednost in se je na konjskem hrbtu pustil odvesti do ledene jame, zato je Ledena jama pri Kunču naša najbolj obiskana ledena jama 19. stoletja. Jama je opisana v vsaj petih vodnikih, ki opisujejo Dolenjske Toplice (Graf, 1831; Jellouschek, 1857; Kulovic, 1867; Radics, 1878 in Zhuber, 1900) in omenjena v več kot 25 literatnih delih. V jami pa so nastale tudi najstarejše znane fotografije iz slovenskih ledenih jam (Zhuber, 1900).

Ledeno jamo definira prisotnost stalnega ledu (Luetscher and Jeannin, 2004). Številni avtorji se strinjajo (Racovita, Onac, 2000; Luetscher, 2005; Persoiu, et al., 2006; Luetscher, et al., 2008; Stoffel, et al., 2009; Hercman, et al., 2010; Persoiu, et al., 2011), da so ledene jame zmernih geografskih širin in nizkih nadmorskih višin mesta, kjer se tudi najmanjše spremembe zunanjih klimatskih pogojev opazijo že v kratkem časovnem intervalu in so kot take zelo primerne za spremljanje podnebnih sprememb, ki se odražajo z višanjem jamskih temperatur in zmanjšanim volumnom ledu. Vse več raziskav (Rachlewicz, Szczucinski, 2004; Luetscher, et al, 2005; Lauritzen, et al, 2005;





Razmere v jami po obilni snežni zimi aprila 2010. FOTO MARKO PRŠINA

Fuhrmann, 2007; Behm, et al., 2009; Moradr, et al., 2010) potrjuje, da se temperature v ledenih jamah dvigujejo in da se več ledu stali, kot ga pozimi nastane. Pravimo, da so ledene jame v neravnovesju, ki se odraža kot zmanjševanje volumna stalnega ledu. Nekatere jame lahko svoj stalni led povsem izgubijo, v njih se led pojavlja le še sezonsko (npr.: Ledenica pri Dolu).

Zrak v jamah ima približno enako temperaturo, kot je povprečna temperatura zraka na površju, saj nanjo vpliva predvsem pretakanje vode skozi kraški sistem. Povprečna temperatura vode pa je približno enaka povprečni temperaturi zraka na površju nad jamo (Badino, 2010). Mikroklimo ledenih jam pa ključno oblikuje pretakanje zraka. Temperatura jamskega zraka je torej odvisna od tokov (voda, zrak, s poudarkom na slednjem), ki se po jami pretakajo, od kondukcije skozi apnenec in v manjši meri od geotermalne energije in radiacije sonca (Luetscher, 2005). V ledenih jamah so zaradi njihove značilne morfologije in posledično specifičnega zimsko-poletnega kroženja zraka povprečne temperature nižje od letnega povprečja na površju.

Po klimatoloških značilnostih ledene jame delimo na dinamične in statične jame. Za prve je značilno, da imajo enega ali več, ne nujno prehodnih vhodov, med katerimi se oblikuje t. i. efekt dimnika (značilni primeri so: Velika ledena jama v Paradani, Snežna jama na Raduhi; Mihevc, 2008). Statične jame pa so vrečaste oblike, z velikimi, navadno proti severu orientiranimi vhodi in enostavno morfologijo. Ledena jama pri Kunču je klasičen primer statične ledene jame.

Raziskave

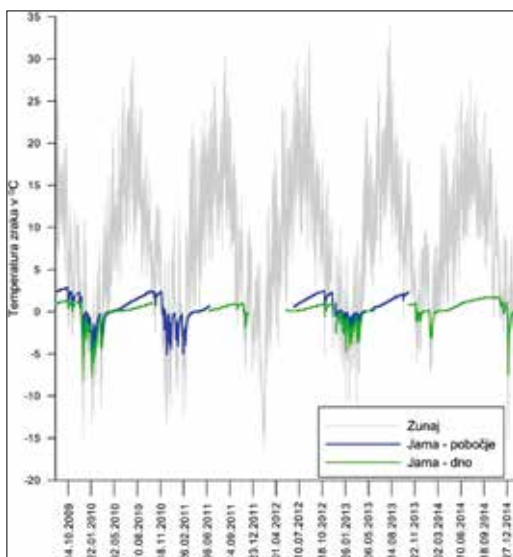
V jami smo med avgustom 2009 in februarjem 2015 opravljali meritve zračne temperature in opazovali spremembe v volumnu ledu. Raziskave bodo del doktorske disertacije z naslovom Ledene jame v Sloveniji, ki nastaja v okviru podiplomskega študija krasoslovja na Univerzi v Novi Gorici in pod mentorstvom dr. Andreja Mihevca z Inštituta za raziskovanje krasa.

Meritve temperature so potekale z merilci temperature T-button DS1922L (Maxim ltd., razpon $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, natančnost $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, resolucija $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), v urnih intervalih, na dveh lokacijah v jami in eni zunaj. Zunanje merilno mesto je locirano pred vhomom v jamo, dva metra visoko na drevesu. Jamski merilni mesti sta bili razporejeni vertikalno, prvo v najnižjem delu jame, med skalnimi bloki in v bližini večnega ledu ter drugo višje v pobočju, ob severovzhodni steni jame. Zaradi mehanskih okvar loggerjev so nizi temperatur večkrat prekinjeni.

Preglednica 1: Letne maksimalne, minimalne in povprečne temperature zraka v Ledeni jami pri Kunču.

Leto	Jama – dno			Jama – pobočje			Zunaj		
	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG
2010	-	-	-	-5,3	2,5	0,32	-13,6	29,8	6,76
2011	-	-	-	-	-	-	-12,6	30,3	7,76
2012	-	-	-	-	-	-	-16,4	31,9	-
2013	-4,8	1,0	-0,27	-	-	-	-11,1	33,9	7,49
2014	-6,9	1,8	+0,71	-	-	-	-14,8	27,3	8,72

Najnižje temperature se v jami pojavljajo v najnižjem delu, kamor se steška zunanji hladen zrak. Ob robu dvorane višje v pobočju so temperature višje in v povprečju pozitivne. Da jamske temperature padejo pod ledišče, morajo biti zunanje vsaj 24 ur pod lediščem, temperatura zunanjega zraka pa mora pasti pod $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prve negativne temperature se pojavijo v jami zelo različno, lahko šele konec decembra, ali pa že sredi oktobra, vztrajajo pa do julija. Daljša obdobja negativnih površinskih temperatur so potrebna, da merilno mesto v pobočju reagira, saj je merilno mesto odmaknjeno od glavnih zračnih poti v jamo. Nizke temperature v jami ohranja vpliv taljenja ledu. Takoj, ko ledu v bližini merilnega mesta zmanjka, temperature začnejo zložno naraščati (Košutnik, Gostinčar, Mihevc, 2014). Najhladnejši mesec je februar, viden je tudi vpliv taljenja ledu (angl.: zero curtain effect), ko se zračne temperature zaradi absorpcije energije talečega se ledu ustalijo blizu ledišča.



Prikaz vseh izmerjenih temperatur zraka.

Iz izmerjenih temperatur sklepamo na porast povprečnih temperatur zraka, tako pred jamo kot v njej. Leta 2014 je povprečna temperatura v dnu jame pozitivna, zunanje povprečje pa za najmanj eno stopinjo Celzija odstopa od povprečij preteklih let. Za jamo smo izračunali indeks zmrzovanja, ki pove število negativnih meritev temperature v določenem časovnem obdobju (Frauenfeld et al., 2007).

Preglednica 2: Indeks zmrzovanja (FI), izračunan za Ledeno jamo pri Kunču (nadmorska višina 785 m).

Merilno mesto	FI	FI	FI	FI	FI
	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Zunaj	-8048,1	-8313,4	-	-4792,3	-2049,2
Jama – dno	-7385,8	-	-	-4411,6	-1077,7
Jama – pobočje	-3865,5	-4339,2	-	-1760,5	-

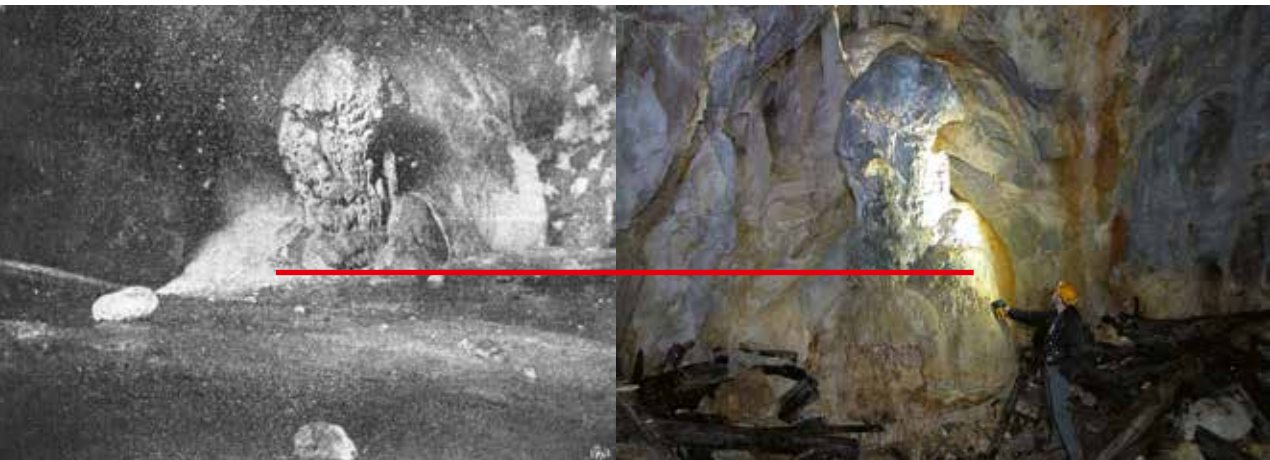
V širši raziskavi smo ugotovili, da je za ohranjanje ledenih jam, na geografski lokaciji Slovenije in ob predpostavki, da se indeks nanaša na urne meritve, potreben indeks zmrzovanja nižji od -7000 . Na podlagi izračunanih indeksov smo potrdili, da vsaj od zime 2012/2013 jama ne dosega več klimatskih značilnosti, ki bi omogočale ohranjanje ledenih jam. Dejstvo smo potrdili tudi z opazovanjem ledu.

Opazovanja sprememb v količini ledu so potekala ob rednih obiskih jame, s pomočjo fotografij in merilnih mest. Na merilnih mestih smo odčitali razdaljo med fiksno točko in površino ledu ali odčitali relativno spremembo površine ledu, glede na v led zabiti 28 cm dolg železen žebelj. Občasni led se v jami pojavlja pod stropom, v obliki do

tri metre dolgih ledenih sveč in v obliki nekaj m² velikih zaplat talnega ledu. Občasni led se obdrži najpозnejše do junija. Čeprav v letih z veliko snežnih padavin v vhodnem delu obleži tudi več metrov debela snežna odeja, se le-ta v celoti stali do prihodnje zime. Stalni led se v jami pojavlja v najglobljem delu, med skalnimi bloki in organskim materialom. Volumen ledu je nemogoče z gotovostjo oceniti, verjetno pa količina ne presega 100 kubičnih metrov. V današnjih razmerah nastaja stalni led izključno iz kapljajoče vode. Dopuščamo možnost, da je v preteklosti k skupni količini stalnega ledu prispeval tudi led nastal iz snega, ki je polzel v spodnje dele jame. Led v jami nastaja skozi celotno zimo, v pogojih negativnih temperatur. Največ pa ga nastane ob spomladanskem taljenju snega na površju, ko hladna snežnica v podhlajeni jami zmrzuje.

Spremembe v količini ledu so letne in dolgoročne. V enem koledarskem letu je količina ledu največja aprila ali maja, nato pa upada do naslednje zime. Raziskave so pokazale, da je količina ledu v jami med jesenjo 2009 in jesenjo 2013 stagnirala. V poznejših letih se led spomladi ni obnavljal, kar je pripeljalo do intenzivnega zmanjševanja njegove skupne količine. Posledica manjše količine ledu so pobočni procesi v jami in posedanje ter drsenje nestabilnih apnenčevih blokov.

Stanje ledu iz preteklosti nam orisujejo starejše fotografije. Na fotografijah, ki so bile leta 1900 objavljene v Zhubrovi knjižici, lahko vidimo, da so bile količine ledu večje. Pojavljale so se tudi ravne ledene ploskve, ki nastanejo z razlivanjem kapljajoče vode. Primerjava starih fotografij z današnjim stanjem pokaže, da je v dobrem stoletju povsem izginila do dva metra debela ledena gmota, ki je zapolnjevala vzhodni del jame.



Primerjava stanja ledu leta 1900 z današnjim. FOTO LEVO NEZNAN, DESNO JURE KOŠUTNIK

V želji, da bi ocenili letna nihanja volumna ledu, smo v led zabili 28 cm dolge pocinkane železne žeblje. Na merilnem mestu (glej naslednjo stran), smo zaznali normalni letni potek akumulacije in taljenja ledu do jeseni 2013. Vse nadaljnje meritve kažejo le taljenje ledu, brez faze akumulacije. Žebelj smo odstranili avgusta 2014, saj je led v njegovi okolici povsem izginil. Položaj žeblja skozi leta je pokazal, da se zaradi taljenja ledu kamnite gmote premikajo. Pozimi 2011/2012 je del skale neposredno ob žeblju zdrsnil nadenj.



Primerjave količine ledu z žebljem v različnih letih in delih leta. FOTO JURE KOŠUTNIK

Zaključek

Ledena jama pri Kunču je predvsem zaradi lege v nizki nadmorski višini primer-
na za raziskovanje mikroklimе ledenih jam in potencialnega vpliva klimatskih spre-
memb na klimatsko ravnovesje. Obenem jama leži neposredno ob gozdni cesti in ni
zahtevna z vidika vstopa vanjo. Med avgustom 2009 in februarjem 2015 smo v jami
opravljali meritve zračne temperature in spremljali količino ledu in njegove spremem-
be. Glavne ugotovitve študije o ledenih jamah v Sloveniji, ki hkrati dobro veljajo tudi
za Ledeno jamo pri Kunču, so naslednje:

- zimsko vdiranje zunanega zraka z negativnimi temperaturami ohlaja jamske stene
ter ustvarja velike količine ledu;
- ohlajene jamske stene in taljenje ledu ohranjajo nizke temperature zraka v ledenih
jamah v topli polovici leta;
- večina ledu nastane iz tekoče vode, ki priteka skozi jamski strop, v spomladanskih
mesecih, ko se na površju tali sneg, v jami pa prevladujejo negativne zračne tem-
perature;
- taljenje ledu pospešujejo poletni močni nalivi, katerih posledica je hiter vtok rela-
tivno toplejše padavinske vode v jamo.

Posledica milih zim, z redkimi in kratkimi obdobji negativnih površinskih zračnih temperatur so pozitivne zračne temperature v ledenih jamah in stagnacija oz. taljenje akumuliranega stalnega ledu. Ob odsotnosti snega se jamski led v spomladanskih mesecih ne obnovi, k taljenju ledu pa negativno prispevajo hladnejša poletja, z močnimi, kratkotrajnimi nalivi. Do jeseni leta 2013 je količina ledu v Ledeni jami pri Kunču sledila normalnim letnim ciklom spomladanske akumulacije in poletno-jesenskega taljenja, pozneje pa se je, z nastopom drugačnih površinskih klimatskih pogojev, količina ledu v jami začela pospešeno zmanjševati.

VIRI IN LITERATURA

- ANON., 1829. Ledena jama na Kočevskem rogu pri Dolenjskih Toplicah na Dolenjskem. *Illyrisches Blatt* (11. 7. 1829), 28, p. 109–110.
- BADINO, G., 2010. Underground meteorology - What's the weather underground?. *Acta carsologica* 39, 3, p. 427–448.
- BEHM, M., DITTES, V., GREILINGER, R., HARTMANN, H., PLAN, L., SULZBACHER, D., 2009. Decline of cave ice – a case study from the Austrian Alps (Europe) based on 416 years of observation, In: *Proc. 15th Intern. Congr. Speleol.*, Kerrville, Texas, 19–26 July, 3, p. 1413–1416.
- FRAUENFELD, O.W., ZHANG, T., MCCREIGHT, J.L., 2007. Northern hemisphere freezing/thawing index variations over the twentieth century. *International journal of Climatology*, no. 27, p. 47–63.
- FUHRMANN, K., 2007. Monitoring the disappearance of a perennial ice deposit in Merrill cave. *Journal of Cave and Karst Studies*, vol. 69, no. 2, p. 256–265.
- GRAF, S., 1831. *Geschichte und chemische Analyse des warmen Bades zu Töplitz im Neustädter Kreise des Herzogthums Krain*. Prag, Gottlieb Haase Söhne, 43 p.
- HABE, F., 1971. Die Eishöhlen im Slowenischen Karst. *Slovensky Kras*, 9, p. 135–145.
- HERCMAN, H., GAŚIOROWSKI, M., GRADZIŃSKI, M., KICIŃSKA, D., 2010. The first dating of cave ice from the Tatra Mountains, Poland and its implication to palaeoclimate reconstructions. *Geochronometria*, no. 36, p. 31–38.
- JELLOUSCHEK, A., 1857. *Historische und topografische Nachrichten über das Mineralbad Töplitz bei Neustadtl*. Ljubljana, I. V. Kleinmayr & F. Bamberg, 32 p.
- KOŠUTNIK, J., GOSTINČAR, P., MIHEVC, A., 2014. Ledene jame in nekatere geomorfološke značilnosti Kočevske. *Vodnik po ekskurziji*. 8. November 2014. Ljubljana, Geomorfološko društvo Slovenije, 37 p.
- Krajevni leksikon Dravske banovine, 1937. Ljubljana, Zveza za tujski promet za Slovenijo v Ljubljani, p. 715.
- KULOWIZ, A., 1867. Die Mineralquelle zu Töpliz nächst Rudolfswerth in Unterkrain: dargestellt zum selbstständigen badeärztlichen Kurgebrauche. Ljubljana, J. Blasnik, 39 p.
- LAURITZEN, S-E., BAASTAD, L., BJORLIEN, J., FEDJE, E., HOLMLUND, P., 2005. The svarthamar cave research project, Fauske, north Norway. 14th International congress of speleology, Athen-Kalamos, str. 1–5.
- LUETSCHER, M., 2005. Processes in ice caves. *SISKA, La Chaux-de-Fonds*, 154 p.
- LUETSCHER, M., JEANNIN, P.Y., 2004. A process-based classification of alpine ice caves. *Theoretical and Applied Karstology*, no. 17, p. 5–10.

- LUETSCHER, M., JEANNIN, P.-Y., HAEBERLY, W., 2005. Ice caves as an indicator of winter climate evolution: a case study from the Jura Mountains. *The Holocene*, 15, 7, p. 982–993.
- LUETSCHER, M., LISMONDE, B., JEANNIN, P.-Y., 2008. Heat exchanges in the heterothermic zone of a karst system: Monlesi cave, Swiss Jura mountains. *Journal of geophysical research*, 113, p. 1–13.
- MIHEVC, A., 2008. Distribution and characteristics of ice caves in Slovenia. 3.rd International Workshop on Ice Caves, Kungur Ice Cave, Perm Region, Russia, May 12–17, Kungur, Mining institute of Ural branch of RAS, Perm State University, p. 61–64.
- MORARD, S., BOCHUD, M., DELALOYE, R., 2010. Rapid changes of the ice mass configuration in the dynamic Diablotins ice cave–Fribourg prealps, Switzerland. *The cryosphere discussions*, 4, p. 1035–1061.
- PERȘOIU, A., FEIER, I., CITTERIO, M., TURRI, S., AND MAGGI, V., 2006. Preliminary data on air temperature in Focul Viu Ice Cave (Bihor Mts., Romania). *Proceedings of 2nd International Workshop on Ice Caves – Demänovska dolina, Slovak Republic*, p. 62–64.
- PERȘOIU, A., ONAC, B.P., PERȘOIU, I., 2011. The interplay between air temperature and ice mass balance changes in Scărișoara ice cave, Romania. *Acta Carsologica*, 40/3, p. 445–456.
- RACHLEWICZ, G., SZCZUCIŃSKI, W., 2004. Seasonal and decadal ice mass balance changes in the ice cave Jaskinia Lodowa w Cieniaku, the Tatra Mountains, Poland. *Theoretical and Applied Karstology* 17, p. 11–18.
- RACOVITĂ, G., ONAC, B. P., 2000. Scărișoara Glacier Cave. *Monographic study*. Ed. Carpatica, Cluj-Napoca, 140 p.
- RADICS, P., 1878. *Mineralbad Töplitz in Unterkrain und seine Umgebungen*. Dunaj, Wilhelm Braumüller, 117 p.
- STOFFEL, M., LUETSCHER, M., BOLLSCHWEILER, M., AND SCHLATTER, F., 2009. Evidence of NAO control on subsurface ice accumulation in a 1200-yr old cave-ice sequence, St. Livres ice cave, Switzerland. *Quaternary Research*, no. 72, p. 16–26.
- ZHUBER, P., 1900. *Zdravišče Toplice na Kranjskem*. Kranjski Gaštajn. Gorke in grezne kopeli. Novo mesto, v zalogi zdraviščnega opravništva, 23 p.