

Značilnosti temperature zraka v Predjamskem jamskem sistemu

Stanka Šebela*, Janez Turk*

Povzetek

Od Avgusta 2009 se v Predjamskem jamskem sistemu opravljajo zvezne meritve temperature zraka ter primerjava z zunanjimi temperaturnimi razmerami. Vhodni rov imenovan Konjski hlev je močno podvržen zunanjim vplivom, v Veliki dvorani globlje v notranjosti jame pa so ta nihanja manjša. Temperatura zraka je v poletnem obdobju v Veliki dvorani zelo stabilna, v zimskem obdobju pa bolj odvisna od nihanja zunanje temperature. Predjamski jamski sistem je zaradi zapletene geometrije rogov in več vhodov na različnih višinah v smislu gibanja zračnih mas zelo dinamičen sistem.

Ključne besede: jamska meteorologija, Predjama, Slovenija

Keywords: cave meteorology, Predjama Cave, Slovenia

Uvod

Predjamski (13.092 m) jamski sistem je četrti najdaljši kraški sistem v Sloveniji. V okviru projektov Strokovni nadzor in svetovanje pri upravljanju z jamskimi sistemi, Klimatski in biološki monitoring jamskih sistemov (financer Postojnska jama d.d.) ter Meritve in analiza izbranih klimatskih parametrov v kraških jamah: primer sistema Postojnskih jam (sofinancer Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS) od leta 2009 izvajamo redni monitoring jamske mikroklimne na izbranih lokacijah.

V prispevku podajamo osnovne značilnosti jamske mikroklimne na podlagi urnih oziroma deset minutnih meritev. Glede na občasne meritve smeri in hitrosti vetra v jami predstavljamo tudi značilnosti gibanja zraka v poletnem in zimskem režimu.

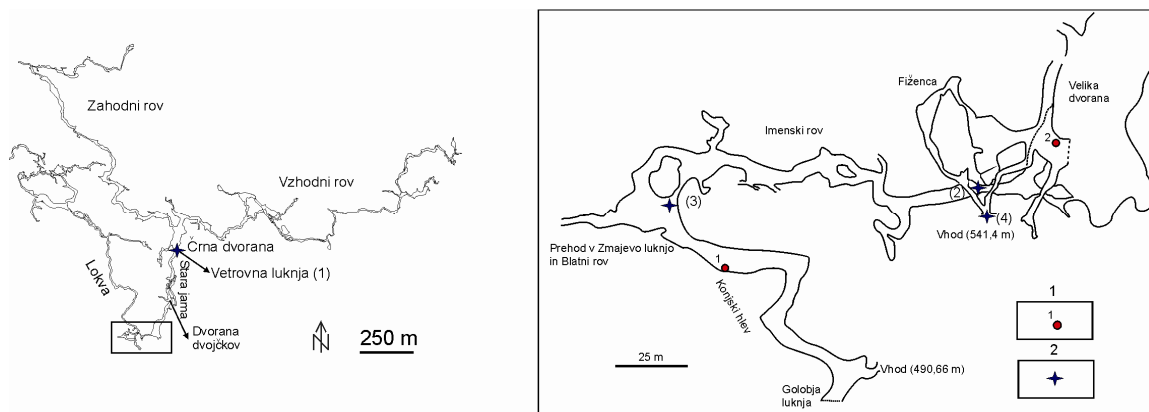
Predjamski jamski sistem je zaradi zapletene geometrije rogov in več vhodov na različnih nadmorskih višinah zanimiv za študij jamske meteorologije. Prva meteorološka opazovanja iz Predjame je zabeležil Schmidl (1854). Anelli je v obdobju 1941–44 predstavil meteorološka opazovanja v Predjamskem jamskem sistemu z gibanjem zraka in merjenjem temperature. Opisoval je princip zračne vreče, ki je značilen za Konjski hlev (Slika 1). Gre za dva zračna tokova različnih temperatur, ko eden vstopa v jamo in drugi iz nje odhaja. Ob nizkih zimskih temperaturah, kot je bilo januarja 1943, je iz Fižence izhajal topel jamski zrak, kar je v prvih jutranjih urah povzročilo oblak na vhodu v višje ležečo Fiženco (Anelli 1941–44).

Habe (1970) je predstavil nekatere podatke o jamski meteorologiji s temperaturnim grafom od februarja 1956 do februarja 1957 za Lokvo, Staro jamo, Fiženco, Blatni rov, Veliko dvorano, Črno dvorano in Vzhodni rov. Meril je veter, vlažnost in temperaturo zraka ter skale. Habe (1970) je opisoval poletni in zimski režim ter vmesno dobo, ko prihaja do menjavanja zimske in letne smeri vetra. V poletnem zračnem gibanju teče zračni tok iz Zahodnega in Vzhodnega rova skozi Vetrovno luknjo do Velike dvorane, kjer se mu pridruži ohlajeni hladnejši zrak iz Fižence (Slika 2). Hladnejši jamski zrak tako uhaja iz vseh odprtih Lokve in Zmajeve luknje. Pozimi zračni tok vdira skozi Vetrovno luknjo v

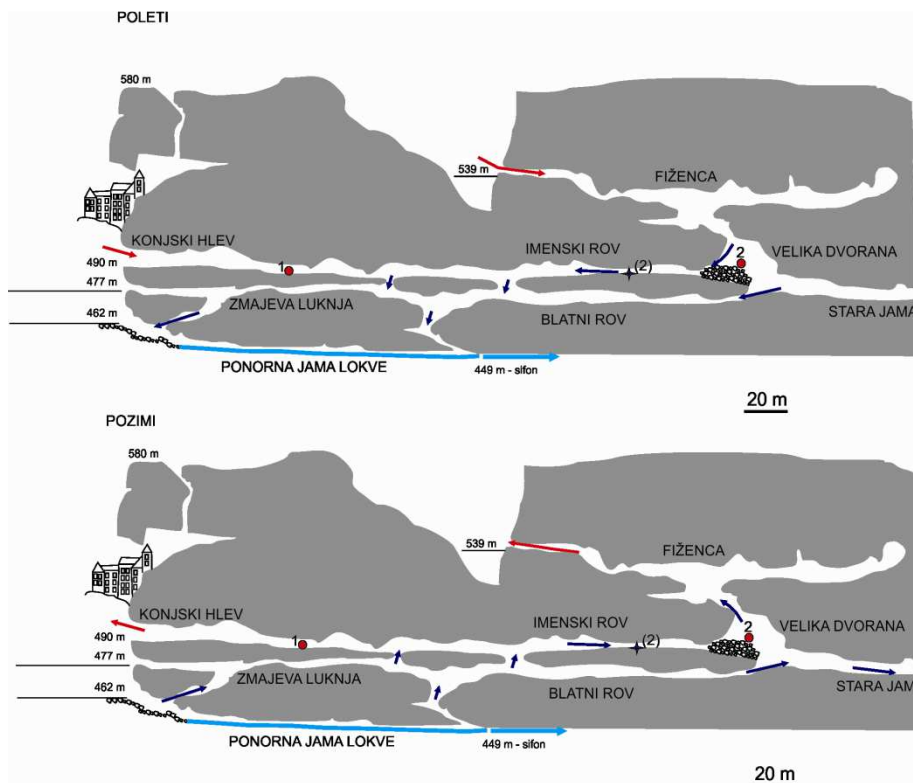
* ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, SI-6230 Postojna

Črna dvorano. Največja hitrost vetra v Vetrovni luknji je bila februarja leta 1956 izmerjena na 8,3 m/s. Ob nizkih zunanjih temperaturah pa segajo ledeni kapniki vse do Dvorane dvojčkov (Habe 1970), kar kaže na vdor hladnega zraka globoko v notranjost jame.

Kranjc (1983) je opisal vpliv zmrzali na odlaganje sige v vhodnih delih Predjamskega jamskega sistema. Največ sige je odpadlo v pozni jeseni, najmanj pa poleti in zgodaj jeseni. V obdobju od 9.1.1980 do 31.3.1981 je opravljal redne meritve temperature zraka in vlage v Golobji luknji in Vetrovni luknji. Največja izmerjena hitrost vetra v Vetrovni luknji je bila dne 9.1.1981, in sicer 9 m/s.



Slika 1 – Predjamski jamski sistem in položaj merilnih mest jamske mikroklimе. 1 – merjenje temperature zraka (1=Konjski hlev, 2=Velika dvorana), 2 – merjenje smeri in hitrosti vetra (1=Vetrovna luknja, 2=prelaz v Imenskem rovi, 3=prehod iz Imenskega rova v Zmajevo luknjo in Blatni rovi, 4=vhod v Fiženca).



Slika 2 – Poletni in zimski režim smeri vetra v vhodnih delih Predjamskega jamskega sistema. $T_{zun} > T_{jama}$ = poletni režim (iz Velike dvorane > v Imenski rovi; iz Črne dvorane skozi

Vetrovno luknjo v Staro jamo), $T_{\text{zun}} < T_{\text{jama}}$ = zimski režim (iz Imenskega rova v Veliko dvorano; skozi Vetrovno luknjo v Črno dvorano in Staro jamo).

V zadnjih letih se sistematične raziskave jamske mikroklimе opravljajo v Postojnskem jamskem sistemu (Gabrovšek in Mihevc 2009, Šebela in Turk 2011a, Gregorič *et al.* 2012, Šebela *et al.* 2012), Škocjanskih jamah (Debevec Gerjevič in Jovanovič 2012), Županovi jami (Ravbar in Košutnik 2012) ter v Predjamskem jamskem sistemu (Gabrovšek *et al.* 2011, Šebela in Turk 2011b).

Opis merilnih mest in metodologija

Temperaturo zraka smo merili z avtomatskimi inštrumenti (t.i. *diver*) proizvajalca Van Essen. Z meritvami smo pričeli 6. avgusta 2009. V jami smo vzpostavili dve meritveni mesti. Prvo je v vhodnem delu, to je v Konjskem hlevu na nadmorski višini 488 m, drugo pa v Veliki dvorani (492,5 m) (Slika 1).

Poleg merilnih mest v jami pa smo od 7.10.2009 vzpostavili tudi merilno mesto izven jame, in sicer na površju v gozdu nad Otoško jamo na nadmorski višini 545 m, ki je od Predjame oddaljena približno 9 km.

Temperaturna natančnost znaša $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. V Predjamskem jamskem sistemu so temperaturne meritve potekale zvezno na obeh merilnih mestih, časovni interval med dvema meritvama je znašal 10 minut ali 1 uro.

Za primerjavo z jamskimi meritvami so prikazani tudi podatki zunanje temperature, in sicer za Postojno (podatke smo pridobili na ARSO) ter za površje nad Otoško jamo. Menimo, da se temperature zraka na površju pri Predjami in nad Otoško jamo bistveno ne razlikujejo.

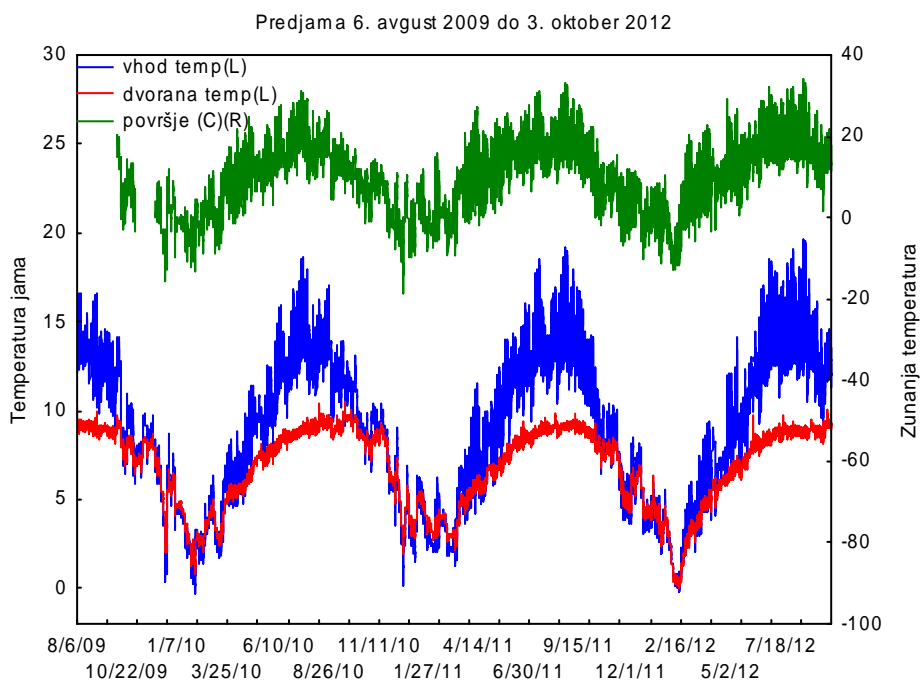
Občasno smo izvajali tudi meritve smeri in hitrosti vetra na štirih lokacijah (Slika 1).

Rezultati in razprava

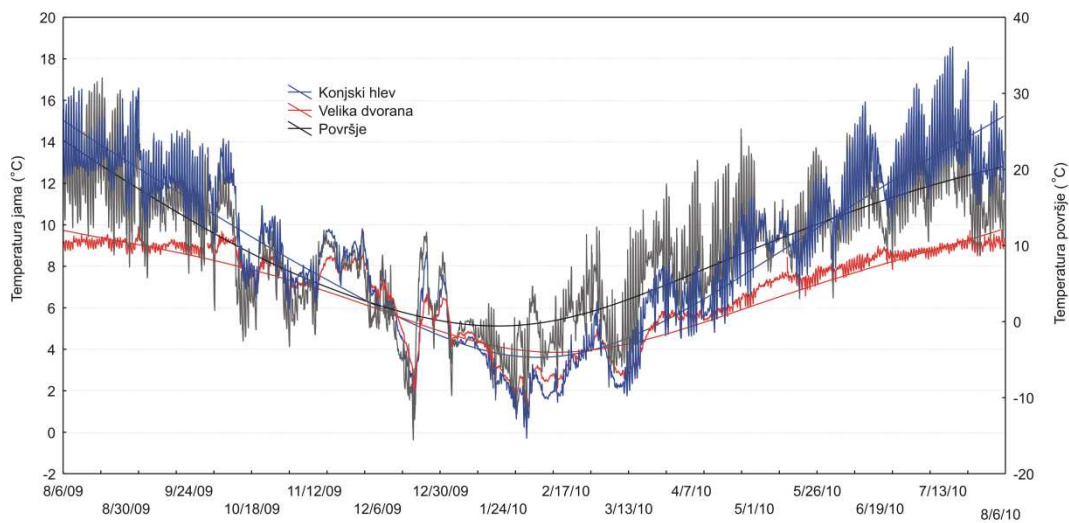
Temperatura zraka je predstavljena za obdobje od 6. avgusta 2009 do 3. oktobra 2012 (Slika 3).

Nihanje temperature zraka v Konjskem hlevu je zelo podobno razmeram na površju. V Veliki dvorani pa je zimski vpliv močnejši kot poletni. V obdobju od leta 2009 do konca leta 2012 je opazen rahel trend naraščanja temperature zraka v Konjskem hlevu in na površju. V Veliki dvorani pa trend naraščanja ni opazen in je temperatura zraka povprečno bolj stabilna.

Povprečna letna temperatura zraka (od 6.8.2009 do 6.8.2010, Slika 4) na merilnem mestu v Konjskem hlevu znaša $8,67^{\circ}\text{C}$. V istem primerjalnem obdobju je bila povprečna letna temperatura zraka v gozdu nad Otoško jamo pri Postojni $9,25^{\circ}\text{C}$ (Preglednica 1). Izmerjena povprečna temperatura v Konjskem hlevu pa je zelo podobna dolgoletni povprečni temperaturi Postojne (1960-1990), ki znaša $8,4^{\circ}\text{C}$ (vir: ARSO). Zanimiva je razmeroma nizka povprečna letna temperatura zraka v Veliki dvorani, ki znaša zgolj $6,80^{\circ}\text{C}$, kar je celo za $2,45^{\circ}\text{C}$ manj od temperature na površju – merjena v gozdu nad Otoško jamo (Preglednica 1).



Slika 3 – Zvezne meritve temperature zraka za Konjski Hlev (vhod), Veliko dvorano (dvorana) in površje v °C.



Slika 4 – Temperatura zraka za obdobje 6.8.2009 – 6.8.2010.

Preglednica 1 - Osnovni statistični podatki merjenja temperature zraka v °C za Predjamski jamski sistem (6.8.2009 do 6.8.2010).

	Konjski hlev (°C)*	Velika dvorana (°C) ¹	Površje (°C) ²
POVPREČJE	8,67	6,80	9,25
STANDARDNA DEVIACIJA	4,00	2,176	8,79
ŠTEVILO MERITEV	52399	52424	8756
NAJNIŽJA VREDNOST	-0,35	0,81	-15,61
NAJVIŠJA VREDNOST	18,67	10,25	32,10

Temperaturna nihanja v Konjskem hlevu imajo enak trend kot temperaturna nihanja na površju. Merilno mesto v Konjskem hlevu je dovolj blizu vhoda, da ima površinski zrak zelo jasen in izrazit vpliv na jamsko temperaturo (Sliki 3 in 4).

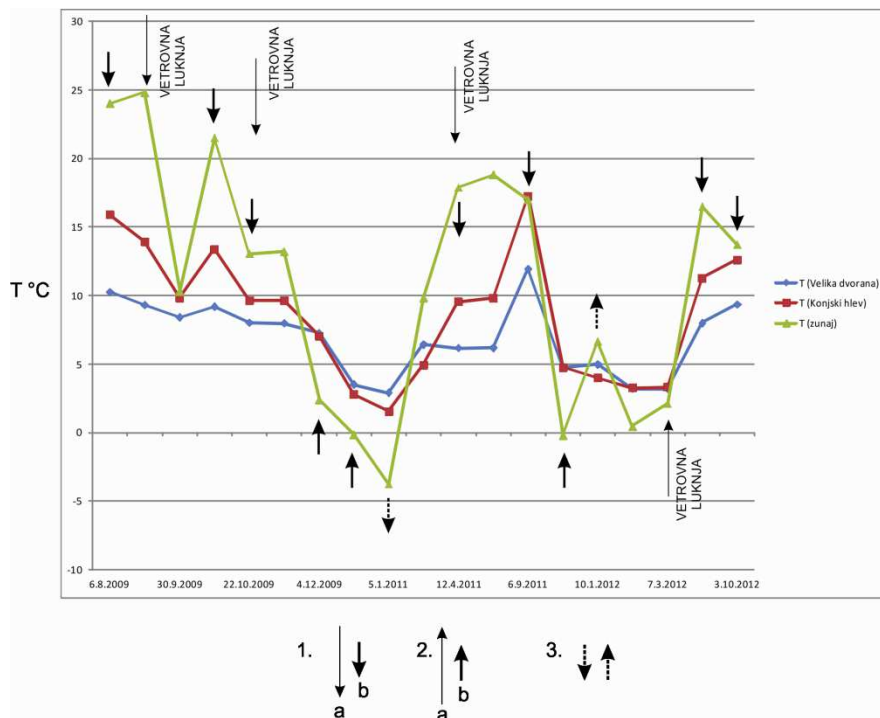
Podatki kažejo, da temperatura na merilnem mestu v Konjskem hlevu niha za več kot 18°C v letnem ciklu. Glede na podatke za obdobje 6.8.2009 – 6.8.2010, se temperatura pozimi spusti za nekaj desetink stopinj Celzija pod ničlo, poleti pa naraste tudi do 18,67°C (Preglednica 1). Tudi v dnevnem ciklu temperatura niha za skoraj 6°C. Takšna velika dnevna temperaturna nihanja so značilna za toplejšo polovico leta, predvsem za poletje.

Habe (1970) je poročal, da se v Konjskem hlevu ustvarja lokalni zračni tok. Zračni tok je zaključen, del zraka se vrača in odhaja iz jame po istih jamskih rovih kot vanjo priteka. Takšen zračni tok lahko pojasni izrazit vpliv zunanjih temperaturnih razmer v Konjskem hlevu, kjer beležimo zelo jasna dnevna nihanja (s periodo 12 ur). Ta nastanejo zaradi temperaturnih razlik med dnevom in nočjo.

Drugo merilno mesto predstavlja Velika dvorana (Slika 1) v kateri so zunanji vplivi manjši, kot v Konjskem hlevu. V Veliki dvorani so dnevna nihanja sicer še opazna, vendar je njihova amplituda neprimerno manjša kot na merilnem mestu v Konjskem hlevu. Temperatura nihanja zraka v Veliki dvorani v letnem ciklu znaša skoraj 10,5°C, v dnevnem ciklu pa temperatura niha za okoli 1°C ali manj (Sliki 3 in 4).

¹ Statistika na podlagi podatkov zabeleženih na vsakih 10 minut in

² urnih podatkov.



Slika 5 – Smer vetra, temperatura zraka na dveh mestih v Predjamskem jamskem sistemu ter zunanja temperatura za obdobje od 2009 do 2013. 1 – $T_{zun} > T_{jama}$ = poletni režim (a- Vetrovna luknja, b-Imenski rov, smer vetra je iz Velike dvorane v Imenski rov ter iz Črne dvorane skozi Vetrovno luknjo v Staro jamo), 2 – $T_{zun} < T_{jama}$ = zimski režim (a-Vetrovna luknja, b-Imenski rov, smer vetra je iz Imenskega rova v Veliko dvorano ter skozi Staro jamo in Vetrovno luknjo v Črno dvorano), 3 – izjemni dogodki.

Zanimivo je, da v toplejši polovici leta temperatura zraka v Veliki dvorani niha le v dnevnem ciklu. Nenadne spremembe v zunanjih temperaturnih trendih, pa se v Veliki dvorani ne odražajo, seveda v kolikor se ne spremeni smer zračne cirkulacije v jami. Temperatura zraka je bila v topli polovici merilnega obdobja uravnotežena na približno 9,5°C. Takoj spomladi, ko zunanje temperature narastejo in ne padajo več pod povprečno letno temperaturo zraka na površju (okoli 9 °C), se prične zrak v Veliki dvorani počasi segrevati. Ta proces je postopen in traja do vrhunca poletja, ko se temperatura ustali na približno 9°C.

Občasne meritve smeri in hitrosti vetra na štirih mestih (Slika 1) so potrdile poletni in zimski režim (Slika 2). Poleti potuje zrak od zgornjih proti spodnjim vodom, saj je hladen jamski zrak relativno gostejši od toplega zunanjega. Pozimi pa je pot zraka od spodnjih vodom skozi jamo proti zgornjim vodom. Hitrost vetra narašča s padanjem zunanje temperature. Tok zraka se ustavi, ko se zunanja temperatura približa 8°C (Gabrovšek *et al.* 2011). V Vetrovni luknji smo hitrost vetra izmerili od 1 do 5,5 m/s, v Imenskem rovu pa od komaj zaznavne hitrosti do max. 2 m/s.

Naleteli pa smo tudi na izjemne situacije, ki niso v skladu s poletnim ali zimskim režimom. Tak je primer 5 januarja 2011 in 10 januarja 2012 (Slika 5) na merilni točki v Imenskem rovu. Glede na nizke zunanje temperature in višje jamske temperature bi 5 januarja 2011 veter moral pihati iz Imenskega rova proti Veliki dvorani, pihal pa je ravno obratno s hitrostjo 1 m/s. V drugem primeru (10.1.2012) so bile zunanje temperature nekoliko višje kot jamske, veter pa je pihal s hitrostjo 0,5 m/s iz Imenskega rova proti Veliki dvorani.

Do mešanja med zimskim in poletnim režimom torej ne prihaja le spomladi in jeseni ampak tudi pozimi in verjetno tudi na dnevnem nivoju. Tudi Kranjc (1983) opisuje, da se v Vetrovni luknji pojavlja ponavljajoče se spreminjanje smeri vetra, kar je opazil 20.3.1981 ob hitrosti vetra okoli 0,5 m/s.

Sklep

Predjamski jamski sistem ima številne vhode, nanizane na različnih nadmorskih višinah. Gre za dinamičen in zapleten klimatski sistem, kjer se zunanji temperaturni vplivi čutijo daleč v notranjost. Zasedimo zimski in poletni režim zračne cirkulacije.

Na dveh merilnih mestih v Predjamskem jamskem sistemu opravljamo zvezne meritve temperature zraka od leta 2009. Izbrane podatke za obdobje od 6.8.2009 do 6.8.2010 smo analizirali z osnovnimi statističnimi metodami. Povprečna letna temperatura zraka v Konjskem hlevu znaša 8,67°C, v Veliki dvorani pa le 6,80°C. V istem obdobju je bila povprečna letna temperatura zraka v gozdu nad Otoško jamo pri Postojni 9,25°C (Preglednica 1). Temperaturna nihanja v Konjskem hlevu imajo enak trend kot temperaturna nihanja na površju. V Veliki dvorani so zunanji vplivi manjši, kot v Konjskem hlevu (Sliki 3 in 4). Temperatura nihanja zraka v Veliki dvorani v letnem ciklu znaša skoraj 10,5°C, medtem ko je ta podatek za Konjski hlev 19 °C. V Konjskem hlevu pozimi temperatura pade tudi pod 0 °C. Temperatura zraka je v poletnem obdobju v Veliki dvorani zelo stabilna.

Vertikalna razlika med merilnim mestom v Veliki dvorani in vhodom v Fiženco (541 m) znaša 49 m ter 35 m na horizontalni dolžini. Med ponorom Lokve (462 m) in Fiženco pa je 79 m vertikalne razdalje. Razporeditev večjih vhodov na različnih višinah omogoča dober dostop zunanjega zraka in dinamičnost Predjamskega jamskega sistema globoko v notranjost, to je vsaj do Vetrovne luknje.

Letno število obiskovalcev Predjamskega jamskega sistema je okrog 6.000. Obiski so organizirani od maja do konca septembra. Vpliv turizma na jamsko mikroklimo je zanemarljiv.

Literatura

- Anelli, F. 1941–44. Osservazioni di meteorologia ipogea nelle Grotte di Castel Lueghi presso Postumia. *Le Grotte d'Italia serie 2a vol. V*, 5-34, Trieste.
- Debevec Gerjevič, V. in Jovanovič, P. 2012. Environmental monitoring and radiation protection in Škocjan caves, Slovenia. "Scientific research in show caves", 13 – 15 September 2012, Guide book and abstracts, 22-23, Škocjan – Borgo Grotta Gigante/Briščiki – Postojna.
- Gabrovšek, F., in Mihevc, A. 2009. Cave climate. 17th international karstological school "Classical Karst", 15-20th June 2009, Guide book & Abstracts. 1-92, Postojna.
- Gabrovšek, F., Mihevc, A., Mulec, J., Pipan, T., Prelovšek, M., Šebela, S. in Turk, J. 2011. Poročilo skrbnika (IZRK ZRC SAZU) o opravljanju koncesije v Postojnskem in Predjamskem jamskem sistemu – v letu 2010. 1-54, Postojna.
- Gregorič, A., Bezek, M. in Vaupotič, J., 2012. Radon as a tracer of cave ventilation and health hazard – the case of the Postojna Cave. "Scientific research in show caves", 13 – 15 September 2012, Guide book and abstracts, 26, Škocjan – Borgo Grotta Gigante/Briščiki – Postojna.
- Habe, F. 1970. Predjamski podzemeljski svet. *Acta Carsologica* 5/1, 7-94, Ljubljana.
- Kranjc, A. 1983. Dinamika odpadanja sige v Golobji luknji, Predjama. *Acta Carsologica* 11, 99-116, Ljubljana.
- Ravbar, N. in Košutnik, J. 2012. Monitoring and analysis of cave air temperature variations in Županova Jama show cave, Central Slovenia. "Scientific research in show caves", 13 – 15

- September 2012, Guide book and abstracts, 25, Škocjan – Borgo Grotta Gigante/Briščiki – Postojna.
- Schmidl, A. 1854. Die Grotten un Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas, 1-316, Wien.
- Šebela, S. in Turk, J. 2011a. Local characteristics of Postojna Cave climate, air temperature, and pressure monitoring. *Theor. appl. climatol.* 105/3-4, 371-386, Wien, New York. doi: [10.1007/s00704-011-0397-9](https://doi.org/10.1007/s00704-011-0397-9).
- Šebela, S. in Turk, J. 2011b. Air temperature characteristics of the Postojna and Predjama cave systems. *Acta geogr. Slov.* 51/1, 43-64, Ljubljana. doi: [10.3986/AGS51102](https://doi.org/10.3986/AGS51102).
- Šebela, S., Prelovšek, M. in Turk, J. 2012. Impact of peak period visits on the Postojna Cave (Slovenia) microclimate. *Theor. appl. climatol.*, <http://www.springerlink.com/content/kt122v61708p7784/fulltext.pdf>, doi: [10.1007/s00704-012-0644-8](https://doi.org/10.1007/s00704-012-0644-8).
- <http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/postojna.html>. (15.7. 2012)