

Vpliv zunanje temperature na koncentracijo radona v Postojnski jami

Asta Gregorič*, Janja Vaupotič* in Stanka Šebela**

Povzetek

Kontinuirne meritve koncentracije radona na dveh merilnih mestih, v Lepih jamah in na najnižji točki, kažejo v grobem na enoten letni cikel z višjimi poletnimi (med okrog 4 in 6 kBq m⁻³) in nižjimi zimskimi koncentracijami radona (med 1 in 2 kBq m⁻³). Obe merilni mesti se razlikujeta po geomorfoloških značilnostih rovov, kar vpliva na lokalno gibanje zračnih mas v različnih letnih obdobjih. Največji vpliv na kroženje zraka v jami ima spreminjanje temperature zunanjega zraka.

Uvod

V Postojnski jami, ki je najdaljša in najbolj obiskana kraška jama v Sloveniji, potekajo meritve naravnega radioaktivnega plina radona (²²²Rn) že od leta 1995 (Vaupotič et al., 2001). Znano je namreč, da se radon zaradi slabe prezračenosti kopiči v rudnikih in kraških jamah in je lahko potencialno zdravstveno tveganje predvsem za vodiče, ki se v jami zadržujejo največ časa. Od leta 2005 merimo koncentracijo radona s kontinuirnimi merilniki na Veliki gori (P1) in v Lepih jamah (P2), od 2010 v Pisanem rovu in dodatno od začetka leta 2011 na najnižji točki turističnega dela jame (NT) (Gregorič in Vaupotič, 2011; Gregorič et al., 2011). Vzporedno z meritvami radona potekajo od leta 2008 tudi kontinuirne meritve temperature na merilnih mestih P1 in P2 (Šebela in Turk, 2011a).

Zaradi velike dolžine rovov, velikih vhodov na različnih višinah, ponora reke Pivke ter velikih nihanj zunanje temperature in padavin med letom, je Postojnski jamski sistem precej zapleten klimatski sistem (Slika 1, prikaz a). Kljub temu za vse točke v jami velja enoten letni cikel z visokimi koncentracijami radona poleti in nizkimi koncentracijami tega plina v zimskem času. Pozimi je zrak v jami toplejši od zunanjega, zato je lažji in se dviga. S tem se sproži tako imenovani »efekt dimnika«. Topel zrak izhaja skozi vertikalne razpoke in manjše višje ležeče odprtine, kar omogoči vdor hladnega zunanjega zraka z nizkimi koncentracijami radona v jamski sistem skozi večje nižje ležeče vhode (Slika 1, prikaz b). V poletnem času je ventilacija zraka obrnjena in šibkejša (Slika 1, prikaz c), zato se koncentracije radona v jami povišajo (Gregorič in Vaupotič, 2011). V pomladanskem in jesenskem času, ko se režim menja, pa lahko opazimo tudi dnevna nihanja koncentracije radona, ki so predvsem izrazita na merilnih mestih v Lepih jamah in na Najnižji točki. Razlike v letnem ciklu nihanja koncentracije radona opazamo lokalno zaradi geomorfoloških posebnosti, ki vplivajo na gibanje zraka.

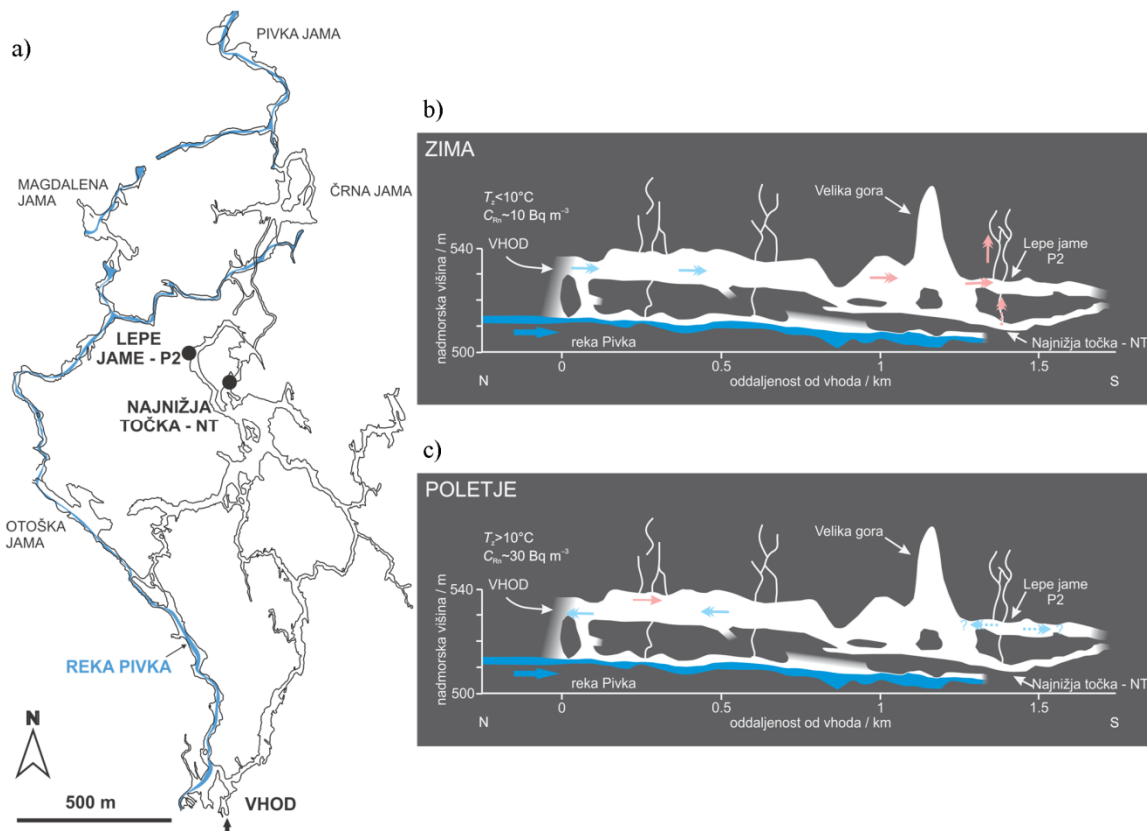
V prispevku primerjamo in analiziramo nihanje koncentracije radona na merilnih mestih P2 in NT v letih 2010 in 2011 in odvisnost le-te od gibanja zraka v različnih obdobjih. Za razumevanje in interpretacijo gibanja zraka na merilnem mestu P2 so zelo pomembni tudi urni podatki temperature zraka na tej lokaciji.

Opis meritev

* Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, SI-1000 Ljubljana

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

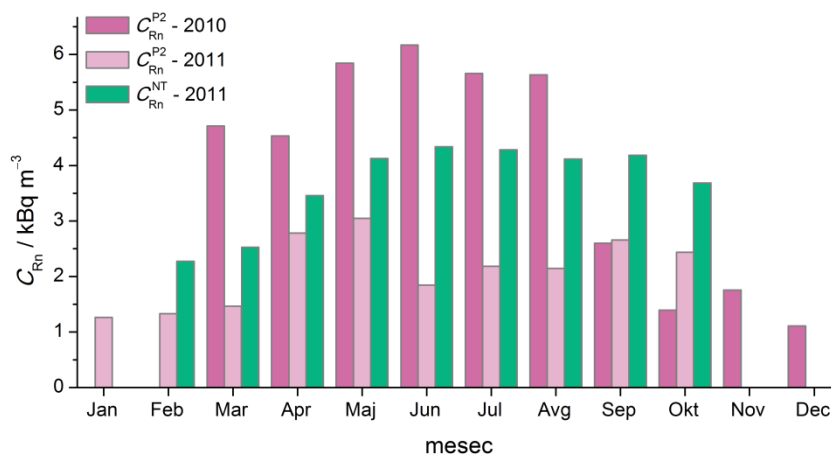
Koncentracijo radona na merilnem mestu P2 merimo s kontinuirnim merilnikom Radim 5 WP (SMM Company, Češka republika) (občutljivost 50 Bq m^{-3}), na merilnem mestu NT pa z merilnikom Barasol (MC-450, ALGADE, Francija), ki je namenjen predvsem meritvam v okoljih z višjimi koncentracijami radona in ima zato višjo spodnjo mejo detekcije in nekoliko manjšo natančnost. Merilnika shranjujeta podatke s frekvenco 1 h^{-1} . Poleg radona na merilnem mestu P2 beležimo temperaturo zraka z avtomatskim instrumentom proizvajalca Van Essen (t. i. *diver*, temperaturna natančnost $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$). Merilno mesto P2 leži v umetno povečanem stranskem rovu v Lepih jamah, merilno mesto NT pa na najnižji točki turističnega dela jame.



Slika 1 – a) tloris Postojnskega jamskega sistema z označenima merilnima mestoma P2 in NT; b) skica vzdolžnega preseka Postojnske jame, s puščicami je nakazana smer gibanja zraka v zimskem času; c) skica vzdolžnega preseka Postojnske jame, s puščicami je nakazana smer gibanja zraka v poletnem času

Rezultati meritev

Skladno z znanim zimskim in poletnim režimom ventilacije v jami so koncentracije radona višje v poletnem kot v zimskem času na obeh merilnih mestih (Slika 2). Povprečna poletna koncentracija radona se na P2 v letih 2010 in 2011 izrazito razlikuje in je bila leta 2010 $5080 \pm 1800 \text{ Bq m}^{-3}$, leta 2011 pa le $2480 \pm 970 \text{ Bq m}^{-3}$. Pozimi so koncentracije na P2 primerljive, v povprečju okrog 2000 Bq m^{-3} (Tabela 1). Povprečna koncentracija radona na merilnem mestu NT je $4090 \pm 720 \text{ Bq m}^{-3}$ v toplem in $2910 \pm 1230 \text{ Bq m}^{-3}$ v hladnem delu leta.



Slika 2 – mesečna povprečja koncentracij radona na merilnem mestu P2 (C_{Rn}^{P2}) v letu 2010 in 2011 in na merilnem mestu NT (C_{Rn}^{NT}) v letu 2011

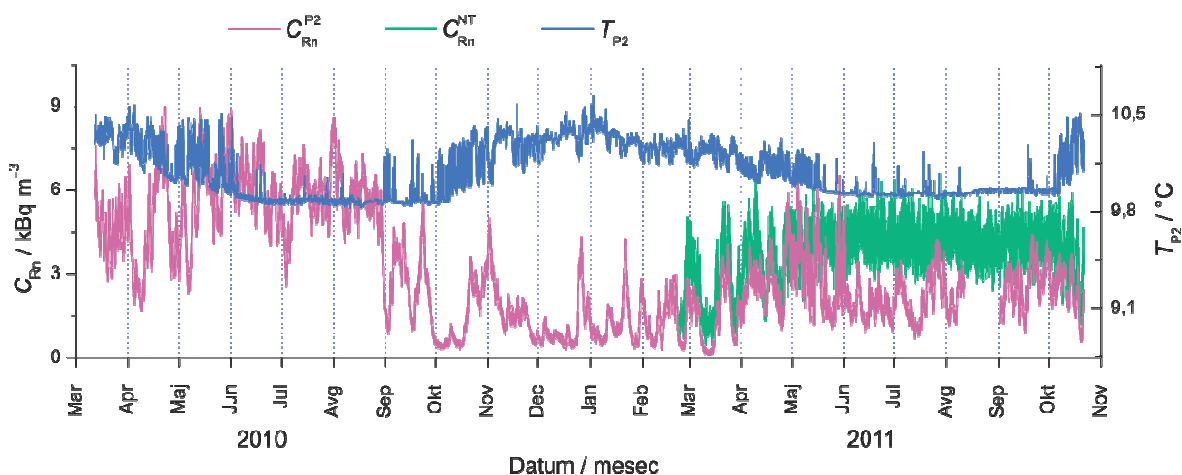
Sezonsko nihanje temperature na merilnem mestu P2 je obratno kot nihanje temperature zunanjega zraka. Temperatura je najnižja in skoraj konstantna poleti (okoli 9,9–10 °C), v preostalih treh letnih časih, ko zunanje temperature (vsaj del dneva) padejo pod jamsko temperaturo 10–11 °C, se prične temperatura zraka na P2 zelo spreminjati in je v povprečju izrazito višja kot poleti. Velika temperaturna nihanja v dnevnem ciklu, do katerih prihaja predvsem v prehodnih obdobjih spomladi in jeseni, so v glavnem posledica spreminjanja smeri gibanja lokalnih zračnih mas v jami (Šebela in Turk, 2011b).

Tabela 1 – srednja vrednost in standardni odklon koncentracije radona na merilnih mestih P2 in NT in temperature na merilnem mestu P2 za tople in hladne dele leta 2010 in 2011

	$\bar{x} \pm \sigma$			
	april–september		januar–marec, oktober–december	
	2010	2011	2010	2011
$C_{Rn}^{P2} / Bq m^{-3}$	5080 ± 1800	2480 ± 970	2010 ± 1580	1560 ± 920
$C_{Rn}^{NT} / Bq m^{-3}$	/	4090 ± 720	/	2910 ± 1230
$T_{P2} / °C$	10,0 ± 0,2	10,0 ± 0,1	10,3 ± 0,1	10,2 ± 0,1

Nizke koncentracije radona v zimskem času (ko so zunanje temperature nižje od temperatur zraka v jami) so predvsem posledica vdorov svežega zunanjega zraka z nižjo koncentracijo radona skozi večje nižje ležeče vhode (Slika 1, prikaz b). Toplejši jamski zrak je lažji in se zato dviguje in izhaja iz jame skozi razpoke in manjše odprtine. Na merilnem mestu P2 prihaja zrak iz glavnega rova Lepih jam in nižjih delov jame. Zato v obdobju z zimskim režimom ventilacije opazamo visoko korelacijo med koncentracijami radona na merilnih mestih P2 in NT (Slika 3), obenem pa tudi višje temperature zraka z večjimi nihanji na P2.

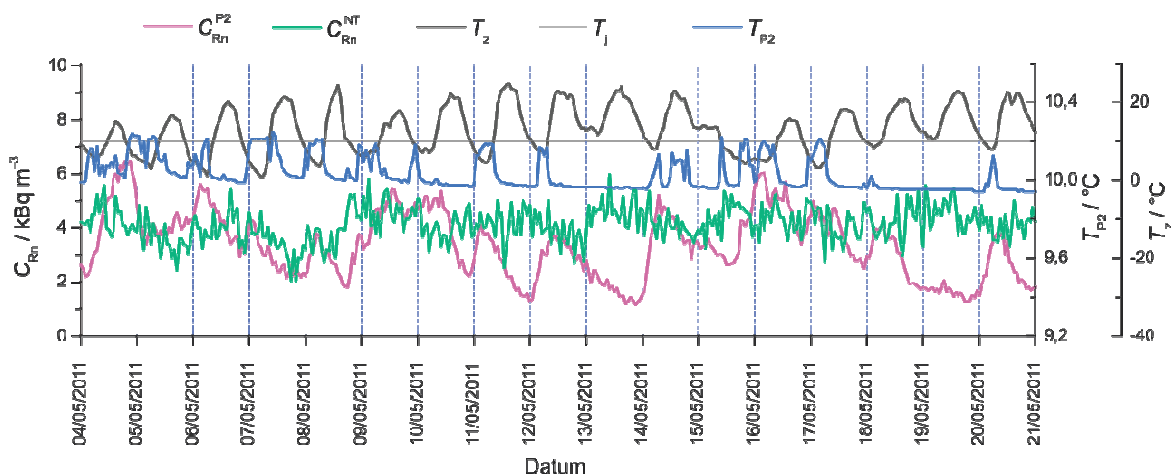
Poleti, ko so temperature zunanjega zraka višje od temperatur v jami, je gibanje zraka počasnejše, kar povzroči kopičenje radona v jamskem zraku in zato višje koncentracije. Ta vzorec lahko opazimo na merilnem mestu na najnižji točki (NT) poleti, ko so koncentracije radona konstantno visoke, brez izrazitih nihanj.



Slika 3 – primerjava časovnih nizov koncentracije radona na P2 (C_{Rn}^{P2}) in NT (C_{Rn}^{NT}) in temperature na P2 (T_{P2}) od marca 2010 do oktobra 2011

Drugačen ciklus gibanja zraka pa opazamo na merilnem mestu P2, kjer so večja nihanja v koncentraciji radona značilna tudi za poletno obdobje (Slika 3). Na tem merilnem mestu se poleti temperatura izrazito razlikuje od temperature v drugih treh letnih časih (Slika 3), kar kaže na lokalno spremembo gibanja zračnih mas v tem delu jame.

Opazamo pa tudi, da so se koncentracije radona na P2 od obsežnejših poplav septembra 2010 znižale na najnižjo raven, kljub jesenskim temperaturam, ki so podobne jamskim. Od takrat dalje so koncentracije radona na P2 v vsem letu občutno nižje kot v preteklih letih. Zaznati je tudi občutno znižanje koncentracije radona vsakokrat, ko se vzpostavi poletni režim ventilacije in je opazno znižanje temperature na P2 na poletni nivo (9,89 °C) (Slika 4).



Slika 4 – izsek časovnega niza koncentracije radona na merilnem mestu P2 (C_{Rn}^{P2}) in NT (C_{Rn}^{NT}), temperature na merilnem mestu P2 (T_{P2}), temperature zunanjega zraka (T_z) in povprečne temperature v jami (T_j)

Zaključek

Za Postojnski jamski sistem sta značilna izrazit zimski in poletni režim ventilacije, kar se odraža na visokih poletnih in nizkih zimskih koncentracijah radona. Največji vpliv na ventilacijo ima temperatura zunanjega zraka. V zimskem obdobju, ko prevladuje »efekt dimnika«, so koncentracije radona na obeh merilnih mestih, v Lepih jamah in na najnižji točki, primerljive, medtem ko opažamo izrazito nižjo korelacijo koncentracije radona med obema merilnima mestoma poleti. Takrat je prezračevanje precej počasnejše in so koncentracije radona na najnižji točki konstantno višje, brez izrazitih nihanj. Nasprotno pa so koncentracije radona v Lepih jamah poleti odvisne od dotoka zraka iz neznanega ozadja, kar hkrati vpliva tudi na znižanje temperature na najnižji nivo. Izrazito spremembo v koncentracijah radona lahko opazimo v Lepih jamah po poplavih septembra 2010, saj so od takrat dalje koncentracije na tem merilnem mestu izrazito nižje kot v prejšnjih letih. Možna razlaga bi bila, da se je v času poplav jeseni 2010 v delu jame, od koder doteka zrak med poletnim režimom ventilacije, odprl dodaten »prehod«, skozi katerega vdira zrak z nižjo koncentracijo radona.

Literatura

- Gregorič, A., Vaupotič, J. 2011. Radon concentration and ventilation in two different passages in the Postojna Cave. European Geoscience Union, General Assembly 2011, Vienna, Austria, 03-08 April 2011.
- Gregorič, A., Zidanšek, A., Vaupotič, J. 2011. Dependence of radon levels in Postojna Cave on outside air temperature. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 11, 1523–1528.
- Šebela, S., Turk, J. 2011a. Local characteristics of Postojna Cave climate, air temperature, and pressure monitoring. *Theor. and Appl. Climatol.*, 1–16.
- Šebela, S., Turk, J. 2011b. Klimatske značilnosti Postojnskega jamskega sistema, v: Kuhar, M. (Ur.), *Raziskave s področja geofizike in geodezije, 2010: zbornik predavan.* Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 7–11.
- Vaupotič, J., Csige, I., Radolič, V., Hunyadi, I., Planinič, J., Kobal, I. 2001. Methodology of radon monitoring and dose estimates in Postojna Cave, Slovenia. *Health Phys.* 80, 142–147.