

Raziskovalna infrastruktura RI-SI-EPOS na področju krasoslovja

Stanka Šebela *

Povzetek

ZRC SAZU je poleg GeoZS, UL FGG in IJS partner v projektu RI-SI-EPOS, ki je namenjen nabavi in razširitvi raziskovalne infrastrukture (RI) na področju geoznanosti. Operacijo sofinancirata Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj. V okviru operacije smo v letu 2020 pridobili pomembno novo raziskovalno infrastrukturo, ki se vključuje v aktivnosti mednarodnega konzorcija EPOS ERIC.

Ključne besede: raziskovalna infrastruktura, RI-SI-EPOS, geoznanosti, krasoslovje, Slovenija.

Keywords: research infrastructure, RI-SI-EPOS, geosciences, karstology, Slovenia.

Uvod

Julija 2019 je ZRC SAZU kot vodilni partner z MIZŠ podpisal pogodbo (št. C3330-19-952056) za izvajanje projekta »RAZVOJ RAZISKOVALNE INFRASTRUKTURE ZA MEDNARODNO KONKURENČNOST SLOVENSKEGA RRI PROSTORA – RI-SI-EPOS« (<https://izrk.zrc-sazu.si/sl/programi-in-projekti/ri-si-epos#v>). Partnerji v projektu, ki se bo zaključil avgusta 2021, so poleg ZRC SAZU tudi GeoZS, UL FGG in IJS. Operacija je uvrščena v Načrt razvojnih programov (NRP) št. 3330-19-1142. Delež prispevka EU je 80%.

Ker so novembra 2018 partnerske države v ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures, <https://www.esfri.eu/esfri-roadmap>) raziskovalni infrastrukturi (RI) EPOS (www.epos-eu.org) ustanovile EPOS ERIC, in ker na slovenskem nacionalnem nivoju konzorcij partnerjev EPOS-SI obstaja že od 2016, smo se raziskovalne organizacije lahko prijavile na poziv MIZŠ. Med ustanovnimi članicami EPOS ERIC je tudi Slovenija. Partnerji v slovenskem konzorciju EPOS-SI so: ZRC SAZU, ARSO, GeoZS, UL FGG in IJS.

Infrastruktura EPOS - European Plate Observing System (https://www.youtube.com/watch?v=ORbPjESluUg&feature=emb_logo) se je razvila z vizijo ustvarjanja vse-Evropske infrastrukture za znanosti o trdni Zemlji, ki temelji na novih e-znanstvenih konceptih, ki omogočajo virtualni dostop do podatkov in servisov, kot tudi na fizičnem dostopu do povezav in institucij za široke skupnosti uporabnikov. Inovativen potencial EPOS infrastrukture omogoča uporabo multidisciplinarnih podatkov na področju znanosti o trdni Zemlji in uporabo servisov, ki temeljijo na nacionalnih raziskovalnih infrastrukturah, ki so razporejene po celotni Evropi.

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

RI-SI-EPOS je namenjen nabavi in razširitvi raziskovalne opreme na področju geoznanosti, 10% vrednosti RI je namenjeno za zaposlitve (uporaba RI, obdelava podatkov, dostop do baz podatkov itd.). Raziskovalna oprema, ki jo je pridobil ZRC SAZU, je nameščena v Vzhodni kohezijski regiji, ostali partnerji pa imajo RI tudi v Zahodni kohezijski regiji.

Operacijo sofinancirata Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa za izvajanje evropske kohezijske politike 2014-2020 v okviru prednostne osi 1: »Mednarodna konkurenčnost raziskav, inovacij in tehnološkega razvoja v skladu s pametno specializacijo za večjo konkurenčnost in ozelenitev gospodarstva«, prednostne naložbe 1.1 »Krepitev infrastrukture za raziskave in inovacije ter zmogljivosti za razvoj odličnosti na tem področju, pa tudi spodbujanje pristojnih centrov, zlasti takšnih, ki so evropskega pomena«, specifičnega cilja 1.1.1 »Učinkovita uporaba raziskovalne infrastrukture ter razvoj znanja/kompetenc za boljše nacionalno in mednarodno sodelovanje v trikotniku znanja«.

Raziskovalna infrastruktura RI-SI-EPOS na področju krasoslovja

Vsa raziskovalna infrastruktura iz RI-SI-EPOS, ki jo upravlja ZRC SAZU se nahaja v Vzhodni kohezijski regiji in je v prvi meri namenjena za področje krasoslovja.

V okviru RI-SI-EPOS je ZRC SAZU pridobil zmogljivo računalniško-strežniško infrastrukturo za potrebe projekta, in sicer za vzpostavitev središča RI-SI-EPOS (povezava med koordinatnim, partnerji in uporabniki opreme ter podatkov) ter za vozlišče določenih raziskovalnih podatkov pridobljenih iz opreme RI-SI-EPOS.

Za potrebe geomorfoloških in geoloških raziskav smo pridobili dron - brezpilotno letalo in programski paket za obdelavo podatkov. Pet sodelavcev IZRK ZRC SAZU je opravilo tudi tečaj pilotiranja in pridobilo izpit. Dron se je že izkazal zelo uporaben tudi za izdelavo natančnega modela reliefa, spremljanje hidroloških razmer na kraških poljih in izviroh ter kot izredno sredstvo za fotodokumentacijo.

3D terestični laserski skener (Slika 1) za notranje in zunanje skeniranje – Riegl VZ 2000i je velika pridobitev za skeniranje kraških jam kot tudi površja, saj ima doseg meritev 2-2,5 km. Škocjanske jame so že bile skenirane s pomočjo angleških kolegov (Walter in Zupan Hajna 2020). To skeniranje je pokazalo, da je Martelova dvorana v Škocjanskih jamah enajsta največja jamska dvorana na svetu (2,55 milijona kubičnih metrov). Nov 3D terestični laserski skener smo že uspešno uporabili za spremljanje kriogenih procesov v kraški depresiji na pobočju Snežnika, za spremljanje rasti ledu v Snežni jami na Raduhi, za skeniranje kraških jam in kraškega površja.

Gravimeter Scintrex CG-6 je nameščen v kletnih prostorih IZRK ZRC SAZU v Postojni. V preteklih letih je bil podoben inštrument uporabljen za analize nihanja podzemnih kraških voda na območju Škocjanskih jam, kjer so ugotovili površinske deformacije povzročene s poplavnimi dogodki v podzemnih kraških kanalih (Braitenberg in drugi, 2019).

GNSS sprejemnik Leica GS18T (Slika 2) za določanje koordinat in nadmorskih višin je potreben za natančno določanje kraških objektov (npr. vhodov v jamo, kraških izvirov, ponorov itd.).



Slika 1 – Lasersko skeniranje Postojne z okolico (Sovič in Nanos v ozadju) iz kočice Mladike na Pečni rebri nad Postojno, februar 2020, foto S. Šebela.



Slika 2 – Geodetska točka na ploščadi pred Postojnsko jamo, foto S. Šebela.

Že obstoječe lokacije tenziometrov TM 71 za merjenje mikro-premikov v kraških jamah so bile v okviru RI-SI-EPOS posodobljene s petimi novjšimi tenziometri TM 72, ki omogočajo avtomatske meritve in shranjevanje podatkov. Štirje instrumenti TM 72 so od marca 2020 nameščeni v Postojnski jami na dveh dinarsko usmerjenih prelomnih conah, en tenziometer TM 72 pa je nameščen v Kostanjeviški jami (Slika 3). Meritve se opravljajo enkrat dnevno.



Slika 3 – tenziometer TM 72 za merjenje mikro-premikov v Kostanjeviški jami, foto S. Šebela.

V Postojnski jami smo v letu 2020 namestili tudi spektrometer Opsis (nabavljen preko Industrie Automation Graz), za merjenje koncentracij metana v zraku. Gre za prve meritve metana v kraški jami v Sloveniji. Geokemija ogljikovega dioksida in metana se prepletata v ogljikovem ciklu. Naravna ventilacija v kraških jamah je lahko pomemben ponor atmosferskega metana, kar je bilo dokazano v nekaterih raziskavah (Webster in drugi, 2018; Matthey in drugi, 2013).

V sodelovanju z ARSO Urad za seizmologijo smo v letu 2020 na ozemlju med Postojno, Jelšanami in gradom Snežnik v okviru RI-SI-EPOS namestili 6 prenosnih seizmoloških opazovalnic proizvajalca Kinometrics (Pasadena, California, USA). Namen raziskave je določitev potresno aktivnih tektonskih struktur z analizo šibke seizmičnosti v Pivški kotlini in v okolici Snežnika (1796 m). Beleženje šibkih potresov dosežemo z zgostitvijo mreže potresnih opazovalnic, kar je tudi eden od ciljev RI-SI-EPOS (Blatnik in drugi, 2020; Šebela in drugi, 2020a in 2020b). Seizmološki podatki, ki jih beležijo prenosne seizmološke opazovalnice, se zbirajo na ARSO in na IZRK ZRC SAZU.

V Postojnski jami se sicer že od 2010 izvajajo seizmološke meritve (Živčič in drugi, 2014) v umetnem tunelu v Tartarusu. Vzpostavitev mreže prenosnih seizmoloških postaj južno od Postojne je pomembna za določitev aktivnih tektonskih struktur v Pivški kotlini in na območju Snežnika.

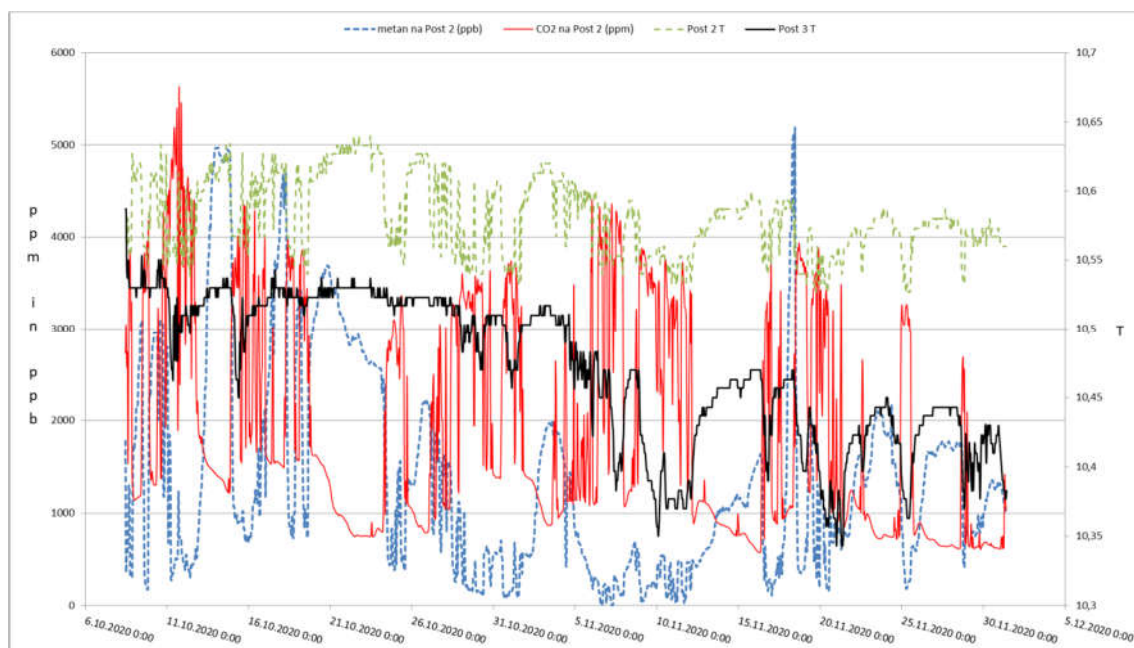
Hkrati je bila na že obstoječo lokacijo ARSO v državni mreži potresnih opazovalnic v Bojancih (Bela krajina) nameščena širokopasovna seizmološka postaja (Nanometrics, Kanada) kupljena v okviru RI-SI-EPOS. Seizmološki podatki z oznako BOJS se pošiljajo v mednarodno bazo podatkov ORFEUS od 3.9.2020 (<https://www.orfeus-eu.org/data/>).

Preliminarni rezultati meritev metana v Postojnski jami

V Postojnski jami v okviru rednega mikro klimatskega monitoring že od leta 2009 merimo temperaturo zraka, ogljikov dioksid, vlago, hitrost in smer ventilacije na več lokacijah v turističnem in neturističnem delu jame.

V Lepih jamah, ki je najbolj turistično obiskan rov v Postojnski jami, merimo temperaturo zraka na dveh mestih (Postojna 2 in 3). Lokacija Postojna 3 je tik ob turistični poti, Postojna 2 pa predstavlja stranski delno umetno izkopen rov (Šebela in Turk 2011; Šebela in Turk 2014; Gregorič in drugi, 2014), ki kaže različne mikro klimatske značilnosti od le nekaj metrov oddaljene lokacije Postojna 3.

Poleg temperature zraka na lokaciji Postojna 2 merimo tudi koncentracije CO₂, od sredine leta 2020 pa tudi metan. Slika 4 kaže urne podatke koncentracije metana (v ppb) in CO₂ (v ppm) ter temperature zraka za obdobje od 8.10.2020 do 1.12.2020. V obdobju zimske ventilacije ($T_{out} < T_{cave}$), ko zunanji hladnejši zrak prodira v jamo in ohlaja tudi zrak v Lepih jamah, se vidi kot nižanje temperature na Postojna 3. Medtem ko na Postojna 2 temperatura ne pada tako izrazito kot na Postojna 3. Koncentracije CO₂ so visoke, dne 11.10.2020 ob 21:00 je bila najvišja vrednost 5600 ppm (Slika 4). V oktobru 2020 je bilo v Postojnski jami zelo malo obiskovalcev. Od 26.10.2020 pa je jama zaprta zaradi pandemije covid-19. Na koncentracije CO₂ v tem obdobju obiskovalci torej ne morejo vplivati in gre za naravne vrednosti. Koncentracije metana v zraku na lokaciji Postojna 2 dosežejo najvišjo vrednost 5100 ppb dne 18.11.2020 ob 11:00. Razmerje med metanom in CO₂ kaže šibko negativno korelacijo.



Slika 4 – Meritve urnih vrednosti metana (ppb), CO₂ (ppm) in temperature zraka na lokacijah Postojna 2 in 3 za obdobje od 8.10.2020 do 1.12.2020.

Za razumevanje vzrokov sprememb koncentracije metana in virov metana v zraku Postojnske jame so potrebne dolgotrajnejše meritve z upoštevanjem jamske ventilacije v Lepih jamah.

Zaključek

V okviru projekta »RAZVOJ RAZISKOVALNE INFRASTRUKTURE ZA MEDNARODNO KONKURENČNOST SLOVENSKEGA RRI PROSTORA – RI-SI-EPOS« smo v letu 2020 na IZRK ZRC SAZU pridobili pomembno novo raziskovalno infrastrukturo (RI): zmogljivo računalniško-strežniško opremo, brezpilotno letalo, 3D terestični laserski skener za notranje in zunanje skeniranje, gravimeter, GNSS sprejemnik, pet tenziometrov TM 72 za merjenje mikro-premikov, spektrometer za merjenje koncentracij metana v zraku, 6 prenosnih seizmoloških opazovalnic in širokopasovno seizmološko opazovalnico. Gre za raziskovalno opremo na področju geoznanosti, ki se vključuje v aktivnosti mednarodnega konzorcija EPOS ERIC. Doprinos nove RI za znanost predstavlja uporabo naj sodobnejše opreme na področju aktivnih tektonskih struktur, pridobivanje baz podatkov iz področja geologije, geodezije, seizmologije ter sodelovanje z mednarodno skupnostjo na področju geoznanosti. Projekt sofinancirata Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.

Literatura

- Blatnik, M., Culver, D. C., Gabrovšek, F., Knez, M., Kogovšek, B., Kogovšek, J., Liu, Hong, Mayaud, C., Mihevc, A., Mulec, J., Aljančič, M., Otoničar, B., Petrič, M., Pipan, T., Prelovšek, M., Ravbar, N., Shaw, T. R., Slabe, T., Šebela, S., Zupan Hajna, N., 2020. Karstology in the classical karst, (*Advances in karst science*). Cham: Springer, XII, 222 pp., doi: [10.1007/978-3-030-26827-5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26827-5).
- Braitenberg, C., Pivetta, T., Barbolla, D. F., Gabrovšek, F., Devoti, R. in Nagy, I. 2019. Terrain uplift due to natural hydrologic overpressure in karstic conduits. *Scientific reports*, 9, 3934, 1-10, <https://www.nature.com/articles/s41598-019-38814-1>, doi: [10.1038/s41598-019-38814-1](https://doi.org/10.1038/s41598-019-38814-1).
- Gregorič, A., Vaupotič, J. in Šebela, S. 2014. The role of cave ventilation in governing cave air temperature and radon levels (Postojna Cave, Slovenia). *International Journal of Climatology*, 34, 1488–1500. DOI: [10.1002/joc.3778](https://doi.org/10.1002/joc.3778)
<https://izrk.zrc-sazu.si/sl/programi-in-projekti/ri-si-epos#v> (4.12.2020)
<https://www.orfeus-eu.org/data/> (4.12.2020)
https://www.youtube.com/watch?v=ORbPjESluUg&feature=emb_logo (4.12.2020)
- Mattey, D.P., Fischer, R., Atkinson, T.C., Latin, J.-P., Ainsworth, M., Lowry, D. in Fairchild, L.J. 2013. Methane in underground air in Gibraltar karst. *Earth and Planetary Science Letters*, 374, 71-80. Doi: [10.1016/j.epsl.2013.05.011](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.05.011)
- Šebela, S. in Turk, J., 2011. Local characteristics of Postojna Cave climate, air temperature, and pressure monitoring. *Theoretical and Applied Climatology*, 105, 371–386. DOI: [10.1007/s00704-011-0397-9](https://doi.org/10.1007/s00704-011-0397-9)
- Šebela, S. in Turk, J. 2014. Natural and anthropogenic influences on the year-round temperature dynamics of air and water in Postojna show cave, Slovenia. *Tourism management*, 40, 233-243, doi: [10.1016/j.tourman.2013.06.011](https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.06.011).
- Šebela, S., Costa, G., Vaupotič, J., Živčič, M., Viršek Ravbar, N. in Năpăruș-Aljančič, M. 2020a. Postojna Cave as Near Fault Observatory site in SW Slovenia. EGU2020-4657, EGU General Assembly 2020, Abstract 1-2 pp. [egu2020-4657-print.pdf](https://www.egu2020.org/abstract/4657)
- Šebela, S., Tasič, I., Živčič, M., Mali, M., Krebelj, M., Čeligoj, J., Pančur, L., Pahor, J., Čarman, M., Zupančič, P. in Gosar, A. 2020b. Mreža prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne - "RI-SI-EPOS". [Postojna: ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa]. https://izrk.zrc-sazu.si/sites/default/files/prenosne_potresne_opazovalnice_a3_format.pdf

- Živčić, M., Costa, G., Suhadolc, P. in Šebela, S. 2014. Temporary seismological measurements in Postojna cave system. *Acta carsologica*, 43, 1, 149-157, <http://ojs.zrc-sazu.si/carsologica/article/view/569/713>, doi: [10.3986/ac.v43i1.569](https://doi.org/10.3986/ac.v43i1.569).
- Walters, R. in Zupan Hajna, N. 2020. 3D laser scanning of the natural caves: example of Škocjanske Jame. *Geodetski vestnik*, 64, 1, 89-103, http://www.geodetski-vestnik.com/64/1/gv64-1_walters.pdf, doi: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.89-103.
- Webster, K.D., Drobnjak, A., Etiope, G., Mastalerz, M., Sauer, P.E. in Schimmelmann, A. 2018. Subterranean karst environments as a global sink for atmospheric methane. *Earth and Planetary Science Letters*, 485, 9-18, doi: 10.1016/j.epsl.2017.12.025