



# Radionice projekta CARDIKARST 2024. i 2025. godine

Dr. Vanessa Johnston predstavlja metode mjerenja hidrokemijskih parametara i uzorkovanja vode na vrelu Baračevac | Foto: Dalibor Paar

Nenad Buzjak

Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

**CARDIKARST**  
Slovenia - Croatia // IPS-2022-02 // ARRS - HRZZ



## ► Što je CARDIKARST?

Projekt IPS-2022-02-2260 „Dinamika i distribucija CO<sub>2</sub> u krškoj vadoznoj i epifreatičkoj zoni“ (kratica CARDIKARST) bilateralni je slovensko-hrvatski znanstvenoistraživački projekt dvije partnerske institucije: Inštituta za raziskovanje kraša ZRC SAZU (Postojna, Slovenija) i Geografskog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Slovenski tim predvodi akademik prof. dr. sc. Franci Gabrovšek (IZRK ZRC SAZU), a članovi su: dr. sc.

Vanessa E. Johnston (IZRK ZRC SAZU), dr. sc. Matej Blatnik (IZRK ZRC SAZU), prof. dr. sc. Matthew Covington (Department of Geosciences, University of Arkansas, SAD) i dr. sc. Mitja Prelovšek (IZRK ZRC SAZU). Hrvatski tim vodi prof. dr. sc. Nenad Buzjak (GO PMF SuZ), a članovi su: izv. prof. dr. sc. Dalibor Paar (FO PMF SuZ), prof. dr. sc. Neven Bočić (GO PMF SuZ), dr. sc. Aurel Perșoiu (Romanian Academy, „Emil Racovita“ Institute of Speleology, Rumunjska), dr. sc. Christos Pennos (School of Geology, Department of Physical Geography, Aristotle University of

Thessaloniki, Grčka) i Valerija Rossi (GO PMF SuZ). Projekt je počeo u studenom 2022. godine, a završava u siječnju 2026. godine. Financiraju ga ARIS – Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije i HRZZ – Hrvatska zaklada za znanost.

## ► Zašto CARDIKARST?

Karbonatne stijene pokrivaju oko 15 % površine kontinenta (bez dijelova pokrivenih trajnim ledom). Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), uz vodu koja ga otapa

te druge komponente krškog procesa, ima središnju ulogu u trošenju karbonata čime nastaje krški reljef s razgranatom mrežom podzemnih šupljina u kojima se nakupljanjem i cirkulacijom podzemne vode u stalno potopljenoj ili freatskoj zoni formiraju krški vodonosnici. Oni su bitni ne samo kao rezervoari pitke vode, već i kao staništa. Osim toga, oni posreduju u kruženju CO<sub>2</sub> između litosfere, hidrosfere i atmosfere. No, značajan dio krškog podzemlja sastoji se od prozračne ili vadozne zone, koja je tek relativno nedavno prepoznata kao bogat rezervoar CO<sub>2</sub>. Ovaj svojevrsan rezervoar propustan je te se dio CO<sub>2</sub> ne prenosi samo dublje, već se ispušta u vanjsku atmosferu prirodnom ventilacijom uzrokovanom vanjskim meteorološkim promjenama i fizikalnim procesima u podzemlju. Projekt CARDIKARST kao cilj ima identificirati i kvantificirati procese koji se odvijaju u krškom sustavu, a koji pokreću izmjenu CO<sub>2</sub> između vadozne zone, (epi)freatske zone i atmosfere. Cilj je da rezultati projekta pruže nove uvide u globalni ciklus ugljika i s njime povezanu speleogenezu.

### ► Aktivnosti CARDIKARST-a

Temelj projekta mikroklimatska su

istraživanja u odabranim spiljama s naglaskom na koncentraciju CO<sub>2</sub>, strujanje i temperatura zraka, praćenje i uzorkovanje podzemnih voda te usporedbe s vanjskim meteorološkim, klimatskim i hidrološkim uvjetima. U spiljama vadozne i epifreatske zone instalirana je mreža automatskih meteoroloških stanica i logera za prikupljanje podataka, koji će pružiti dugoročne vremenske serije parametara spiljske mikroklimata. Osim toga, radi se na razvoju i implementiranju pristupačnijih meteoroloških stanica i logera za mjerenje CO<sub>2</sub> i temperature, temeljenih na platformi Arduino, kako bismo postigli veću prostornu i vremensku rezoluciju podataka, a također i kako bismo zainteresiranim studentima, mladim istraživačima, speleolozima i upraviteljima zaštićenih područja pružili pristupačne alate za praćenje stanja, istraživanje i edukaciju. Više informacija o projektu dostupno je na <https://cardikarst.geog.pmf.hr>.

Osim istraživanja, za aktivnost i ostvarenje ciljeva Projekta bitan je i transfer znanja, odnosno njegova primjena u edukaciji i zaštiti prirode. Zbog toga su do sada organizirane dvije radionice za učenike osnovnih škola te dvije radionice za stručnjake u zaštiti prirode, istraživače, speleologe i studente. Upravljanje

speleološkim objektima kao zaštićenim dijelovima prirode i lokalitetima ekološke mreže Natura 2000 zahtijeva sustavno prikupljanje, analizu i interpretaciju različitih podataka: geomorfoloških, hidroloških, mikroklimatskih, bioloških i sl. Svrha je razumijevanje stanja, procesa i trendova vezanih uz prirodne procese, direktne i indirektno antropogene utjecaje, klimatske promjene te druge prijetnje i pritiske kako bi se smanjili rizici za prirodnu baštinu i za njene usluge te poduzele potrebne mjere očuvanja i održivog upravljanja. To uključuje identificiranje ključnih značajki koje je potrebno pratiti, odabir metodologije prikupljanja podataka, dinamiku praćenja (monitoringa) i odabir lokacija izvan i unutar speleoloških pojava kako bi se dobili reprezentativni podatci za znanstvene analize, kvalitetno upravljanje i osiguranje kvalitetnih usluga ekosustava i s aspekta turizma i s aspekta živih bića u podzemnim staništima.

Kroz suradnju javnih ustanova i znanstvene zajednice bitno je izgraditi povjerenje i suradnju te dogovoriti standardizirane protokole za prikupljanje podataka kako bi se osigurala usporedivost kroz vrijeme. Prikupljeni podatci analiziraju se kako bi se identificirali trendovi i obrasci. To uključuje statističku



Otvorenje radionice u Perušiću | Foto: Nenad Buzjak



Dr. Christos Pennos | Foto: Nenad Buzjak



Sudionici radionice CARDIKARST u Pećinskom parku Grabovača | Foto: Marko Danilović

analizu, modeliranje i usporedbu s referentnim vrijednostima ili povijesnim podacima. Cilj je prepoznati promjene u osjetljivim staništima krškog ekosustava koje mogu signalizirati prijetnje te osiguravanje uspješnih mjera zaštite geobaštine i bioraznolikosti. Rezultati monitoringa i odluke o upravljanju trebaju biti transparentno komunicirani s relevantnim dionicima, ali i javnošću koja mora razumjeti zašto je zaštita prirodnih vrijednosti stvarna potreba, a ne luksuz ili pomodarski hir.

#### ► Radionica CARDIKARST u Perušiću 2024.

Prva radionica, „Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) – značaj u (mikro)klimatskim procesima spilja i kako ga pratiti“, održana je u Perušiću 4. listopada 2024. Radionicu su organizirali Geografski odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu) i Javna ustanova Pećinski

park Grabovača. Radionica je obuhvatila različite teme, uključujući identificiranje ključnih značajki koje treba pratiti u spiljama i njihovom nadzemlju, odabir metodologija prikupljanja podataka, dinamiku praćenja i odabir lokacija unutar i izvan spiljskih sustava za prikupljanje reprezentativnih podataka za znanstvene analize, upravljanje kvalitetom i osiguravanje visokokvalitetnih usluga ekosustava.

Radionicu je otvorila ravnateljica JU Pećinski park Grabovača Jelena Milković te u ime Projekta akademik prof. dr. sc. Franci Gabrovšek i prof. dr. sc. Nenad Buzjak. Predavači su bili (po redoslijedu održanih predavanja):

- akademik SAZU, prof. dr. sc. Franci Gabrovšek (Institut za istraživanje krša ZRC SAZU, Slovenija) – predavanje: CO<sub>2</sub> u krškom sustavu I (CO<sub>2</sub> in karst systems I)

- izv. prof. dr. sc. Dalibor Paar (Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu) – predavanje: Važnost fizikalnih mjerenja u zaštićenim krškim područjima: metodologija, interpretacija i suradnja sa znanstvenicima
- dr. sc. Christos Pennos (Odsjek za fizičku geografiju, Aristotelovo sveučilište, Grčka), predavanje: Maaras cave (Greece) – challenges of water temperature monitoring
- dr. sc. Aurel Perșoiu (Speleološki institut „Emil Racovita“, Rumunjska) – predavanje: Stable isotopes in cave science – why, where, how
- prof. dr. sc. Neven Bočić (Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu) – predavanje: Četiri godine



Na radionici u osnovnoj školi u Perušiću | Foto: Nenad Buzjak

kontinuiranog monitoringa koncentracije CO<sub>2</sub> u Gornjoj Baračevoj špilji

- prof. dr. sc. Nenad Buzjak (Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu i Speleološki institut „Emil Racovita“) – predavanje: Metode mikroklimatskog monitoringa – zašto, gdje i kako
- Iztok Miklavčič (Pileus, Slovenija) – prezentacija mjerne opreme na Projektu.

Nakon predavanja sudionici su posjetili spilju Samograd kako bi upoznali različite mjerne instrumente i raspravljali o optimalnim strategijama za praćenje na licu mjesta i kontinuirano praćenje.

Na radionici je sudjelovalo 23 sudionika, od čega pet članova Projekta

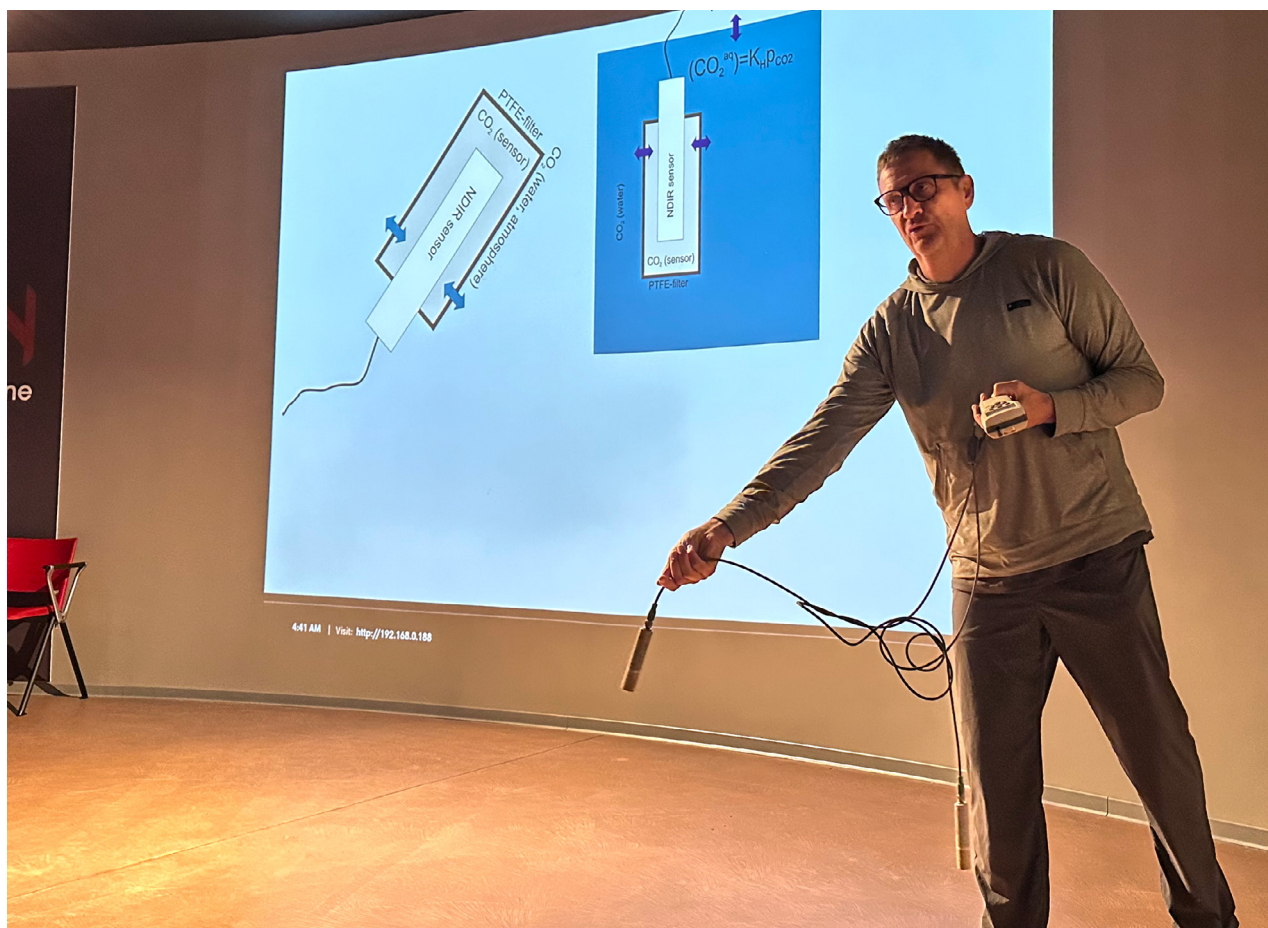
te 18 sudionika iz 12 institucija (po redu prijavljivanja): JU PP Grabovača, Geografski odsjek PMF-a (Zagreb), JU PP Žumberak – Samoborsko gorje, JU Priroda (PGŽ), Odjel za fiziku Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, JU Baračeve špilje, Pileus, JU PP Medvednica, Zavod za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije, JU Natura Histrica, SD Istra, Pazinska jama i JU NP Plitvička jezera.

U sklopu ovoga događaja održana je i radionica pod nazivom „Uloga ugljikovog dioksida u kršu i klimatskim promjenama“ za učenike Osnovne škole Perušić. Kroz primjere iz projekta CARDIKARST, učenici su naučili kako funkcionira znanstvenoistraživački projekt i kako znanstvenici traže odgovore na važna pitanja te su i sami mogli isprobati različite mjerne instrumente.

### ► Radionica CARDIKARST u Rakovici 2025.

Druga radionica, u organizaciji Geografskog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Javne ustanove Baračeve špilje iz Rakovice, održana je 11. i 12. rujna 2025. u Rakovici. Prvog dana održana je edukativna radionica „CO<sub>2</sub> i mikroklima u podzemlju: kako znanost promatra klimatske promjene“ za učenike OŠ Eugena Kvaternika u Rakovici, koju je vodio fizičar i popularizator znanosti izv. prof. dr. sc. Dalibor Paar (Fizički odsjek PMF-a). Učenici su kroz eksperimente i primjere iz stvarnih istraživanja upoznali temeljne fizikalne procese povezane s kruženjem ugljikova dioksida u prirodi te važnost mikroklimatskih pojava u razumijevanju procesa klimatskih promjena.

Središnja stručna radionica pod nazivom „Mikroklima i CO<sub>2</sub> u



Akademik Franci Gabrovšek demonstrira metode mjerenja ugljikovog dioksida u vodi | Foto: Dalibor Paar

speleološkim objektima – alati, metode i interpretacija podataka“ održana je 12. rujna u Centru podzemne baštine Speleon. Radionica je bila usmjerena na važnost kontinuiranog praćenja i istraživanja parametara koji utječu na stabilnost podzemnih staništa i održivo upravljanje speleološkim lokalitetima u suradnji zaštićenih područja i znanstvenika. Program je obuhvatio teme o ulozi mikroklima u geokološkom sustavu krša, metode mjerenja temperature, relativne vlažnosti i koncentracije CO<sub>2</sub>, interpretaciju sezonskih i prostorno-vremenskih obrazaca, prepoznavanje ranih pokazatelja promjena i standardizaciju pristupa u mikroklimatskom monitoringu. Cilj je bio ojačati vezu između znanstvene zajednice i djelatnika sektora zaštite prirode koji upravljaju speleološkim lokalitetima te omogućiti razmjenu znanja i iskustava u istraživanju i zaštiti krških podzemnih ekosustava kroz primjere znanstvenih istraživanja i rezultata.

Radionicu je otvorila ravnateljica JU Baračeve špilje Tihana Oštrina, a u ime Projekta akademik prof. dr. sc. Franci Gabrovšek i prof. dr. sc. Nenad Buzjak. U okviru predavačkoga dijela sudionici su poslušali sljedeća izlaganja:

- akademik SAZU, prof. dr. sc. Franci Gabrovšek (Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Slovenija) – predavanje: CO<sub>2</sub> u vodi i atmosferi krša: teorijski okviri i mjerenja
- dr. sc. Vanessa Johnston (Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Slovenija) – predavanje: Geokemija voda u kršu
- prof. dr. sc. Nenad Buzjak (PMF, Sveučilište u Zagrebu) – predavanje: Strategije speleološkog mikroklimatskog monitoringa.

Na temelju evaluacije prve radionice i prijedloga sudionika, na ovoj je radionici organiziran opsežniji terenski rad. Obuhvatio je metode mjerenja CO<sub>2</sub> u vodi i hidrokemijskih parametara na vrelu Baračevac (voditelji F. Gabrovšek i V. Johnston) te demonstraciju strategija mikroklimatskog monitoringa i praćenja CO<sub>2</sub> u Gornjoj Baračevoj špilji (voditelji N. Bočić, S. Vuković, D. Paar, N. Buzjak) s prikazom dosadašnjih rezultata monitoringa i Projekta. U ovome dijelu aktivno je sudjelovao i Slaven Vuković, voditelj odjela nadzora i održavanja zaštićenih područja – glavni čuvar prirode u Javnoj ustanovi Baračeve špilje, ujedno i vanjski suradnik na projektu. Sudionicima je prenio svoja iskustva obavljanja periodičnih mikroklimatskih mjerenja u Baračevim špiljama i na izvoru Baračevac. Iz perspektive djelatnika javne ustanove, govorio je o motivaciji i važnosti aktivnog uključivanja djelatnika zaštićenih područja u znanstvena istraživanja, istaknuvši da takva suradnja,



Prof. dr. sc. Neven Bočić prisutne upoznaje s svojstvima Baračevih spilja | Foto: Nenad Buzjak



Slaven Vuković prenosi iskustva o svojim aktivnostima na projektu CARDIKARST | Foto: Nenad Buzjak



Sudionici radionice CARDIKARST u Rakovici 2025. | Foto: Hrvoje Cvitanović

u mjeri u kojoj je organizacijski i kadrovski moguća, pridonosi boljem razumijevanju i upravljanju prirodnim baštinom.

Na radionici je sudjelovao ukupno 31 sudionik, od čega pet članova istraživačkog tima projekta CARDIKARST, te 26 vanjskih sudionika iz 16 institucija (prema redoslijedu prijavljivanja): Hrvatski speleološki savez, Hrvatski geološki institut, Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU (Slovenija), Javna ustanova Natura Histrica (Istarska županija), Javna ustanova Pećinski park Grabovača, Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku,

Javna ustanova More i krš (Splitsko-dalmatinska županija); Javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Dubrovačko-neretvanske županije, Zavod za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije, Javna ustanova Nacionalni park Paklenica, Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera, Geografski odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Javna ustanova Park prirode Žumberak – Samoborsko gorje, Javna ustanova Park prirode Medvednica, Javna ustanova za zaštitu i očuvanje prirode Ličko-senjske županije i Javna ustanova Natura Viva (Karlovačka županija).

Članovi projekta CARDIKARST zahvaljuju Javnoj ustanovi Baraćeve špilje i Javnoj ustanovi Pećinski park Grabovača na podršci, suorganizaciji i terenskoj pomoći. Njihova suradnja ključna je za uspješnu provedbu aktivnosti projekta CARDIKARST. Za korištenje prostora zahvaljujemo Vatrogasnoj postrojbi i DVD-u Perušić. Obje stručne radionice sufinancirale su HRZZ i ARIS, dok su obje radionice za učenike sufinancirali JU Pećinski park Grabovača te D. Paar i N. Buzjak iz vlastitih sredstava.

## Workshops of the CARDIKARST Project in 2024 and 2025

The Croatian-Slovenian scientific project CARDIKARST, supported by the Croatian Science Foundation and the Public Agency for Scientific Research and Innovation of the Republic of Slovenia, investigates the dynamics and distribution of CO<sub>2</sub> in the subterranean karst. It is based on microclimate measurements, groundwater research and the development of accessible instruments for long-term monitoring in caves. The project workshops in Perušić (2024) and Rakovica (2025) brought together experts in science and nature conservation, speleologists, students and employees of public institutions. Participants were introduced to the theoretical foundations of CO<sub>2</sub> dynamics, methods of measuring and interpreting microclimate data and the importance of standardized monitoring. Special emphasis was placed on cooperation between scientists and managers of protected areas and the exchange of experiences in monitoring the state of karst ecosystems. Both workshops included fieldwork in the Samograd and Barac caves, including demonstrations of measurement methods. Educational workshops were organized for elementary school students, which introduced them with scientific work and the concept of climate processes in karst.