



HRZZ-IP-2013-11-1623

**Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia  
using isotope methods**

**Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara  
primjenom izotopnih metoda**

**REQUENCRIM**

**2014 – 2018**

**FINAL WORKSHOP - ZAVRŠNA RADIONICA**

**Zbornik sažetaka**

ISBN 978-953-7941-22-2

Zagreb, 12. 11. 2018.



**ISBN 978-953-7941-22-2**

Zbornik sažetaka Završne radionice, projekt HRZZ-IP-2013-11-1623  
Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope  
methods - Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom  
izotopnih metoda – REQUENCRIM, 2014 – 2018., u Zagrebu 12.11.2018.

nakladnik: Institut Ruđer Bošković, Zagreb

mjesto izdanja: Zagreb

godina izdanja: 2018

urednica: Ines Krajcar Bronić



Projekt HRZZ-IP-2013-11-1623 naziva **Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda** (*Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods*) - **REQUENCRIM** financiran je sredstvima Hrvatske zaklade za znanost u razdoblju od 1. rujna 2014. do 30. studenoga 2018. godine.

**Završna radionica** održana 12.11.2018. u Zagrebu, na Institutu Ruđer Bošković, sastavni je dio diseminacijskih aktivnosti suradnika i financirana je sredstvima HRZZ, kao i izdavanje ovog Zbornika sažetaka.



## Sadržaj

<b>Program</b> .....	5
<b>Popis suradnika na projektu</b> .....	6
Pregled aktivnosti i postignuća projekta <i>Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda</i> .....	7
Geochemical and isotopic analyses of palaeoenvironmental records in the lake sediments of the Plitvice Lakes, Croatia .....	10
Carbon isotope composition in karst aquatic mosses and possibility of using mosses in correction of tufa dating .....	13
Sige – arhivi paleookolišnih promjena .....	15
Područje istraživanja i metodologija monitoringa špilja, uzorkovanja siga i izotopnih analiza u svrhu rekonstrukcije paleookoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara .....	18
Preliminarni rezultati istraživanja siga u okviru projekta REQUENCRIM .....	22
Algni vijenci kao markeri relativne promjene morske razine i klimatskih promjena tijekom kasnog holocena duž istočne obale Jadrana .....	26
Praćenje stanja algnih vijenaca u Hrvatskoj.....	29
Algal rims monitoring in Croatia .....	30
Sedre sa Zrmanje i Krupe kao arhivi promjena u paleookolišu.....	31
Evolucija fosilne sedrene barijere Gazin kuk u rijeci Zrmanji (Hrvatska) .....	33
Bibliografija projekta .....	35
Fotogalerija .....	40
Popis prijavljenih sudionika.....	54

## HRZZ-IP-2013-11-1623

## Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods

## Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda

REQUENCRIM, 2014 – 2018

### Program

8:40 – 9:00	<b>Registracija</b>
9:00 – 10:30	<b>Otvaranje</b> <b>Ines Krajcar Bronić:</b> Pregled aktivnosti i postignuća projekta <i>Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda</i> <b>Nada Horvatinčić:</b> Geochemical and isotopic analyses of palaeoenvironmental records in the lake sediments of the Plitvice Lakes, Croatia <b>Andreja Sironić:</b> Carbon isotope composition in karst aquatic mosses and possibility of using them in correction to tufa dating
10:30 – 11:00	<b>Pauza za kavu i čaj, razgledavanje postera</b>
11:00 – 12:30	<b>Maša Surić:</b> Sige – arhivi paleookolišnih promjena <b>Nina Lončar i Robert Lončarić:</b> Područje istraživanja i metodologija monitoringa špilja, uzorkovanja siga i izotopnih analiza u svrhu rekonstrukcije paleookoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara <b>Maša Surić:</b> Preliminarni rezultati istraživanja siga u okviru projekta REQUENCRIM
12:30	<b>Zajednička fotografija</b>
12:35 – 13:30	<b>Ručak za sve prijavljene sudionike</b>
13:30 – 14:30	<b>Sanja Faivre:</b> Algni vijenci kao markeri relativne promjene morske razine i klimatskih promjena tijekom kasnog holocena duž istočne obale Jadrana <b>Tatjana Bakran-Petricioli:</b> Praćenje stanja algnih vijenaca u Hrvatskoj
14:30 – 15:00	<b>Pauza za kavu, razgledavanje postera</b>
15:00 – 16:00	<b>Jadranka Barešić:</b> Sedre sa Zrmanje i Krupe kao arhivi promjena u paleookolišu <b>Iva Vevec:</b> Evolucija fosilne sedrene barijere Gazin kuk u rijeci Zrmanji (Hrvatska) <b>Završna rasprava i zatvaranje</b>

## Popis suradnika na projektu

HRZZ-IP-2013-11-1623, REQUENCRIM, 2014 – 2018

### Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods

### Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda

- Dr. sc. Nada Horvatinčić**, znanstvena suradnica u trajnom zvanju, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, voditeljica projekta 1.9.2014. – 31.12.2016., [nada.horvatincic@orb.hr](mailto:nada.horvatincic@orb.hr)
- Dr. sc. Ines Krajcar Bronić**, znanstvena suradnica u trajnom zvanju, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, voditeljica projekta 1.1.2017. – 30.11.2018., [krajcar@irb.hr](mailto:krajcar@irb.hr)
- Dr. sc. Tatjana Bakran-Petricioli**, izvanredni profesor, Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, [tbakran@biol.pmf.hr](mailto:tbakran@biol.pmf.hr)
- Dr. sc. Jadranka Barešić**, znanstvena suradnica u zvanju više znanstvene suradnice, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, [jadranka.baresic@irb.hr](mailto:jadranka.baresic@irb.hr)
- Dr. sc. Neven Bočić**, izvanredni profesor, Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb, [nbocic@geog.pmf.hr](mailto:nbocic@geog.pmf.hr)
- Dr. sc. Nenad Buzjak**, izvanredni profesor, Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb, [nbuzjak@geog.pmf.hr](mailto:nbuzjak@geog.pmf.hr)
- Dr. sc. Sanja Faivre**, redovita profesorica u trajnom zvanju, Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb, [sfaivre@geog.pmf.hr](mailto:sfaivre@geog.pmf.hr)
- Dr. sc. Nina Lončar**, izvanredna profesorica, Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, [nloncar@unizd.hr](mailto:nloncar@unizd.hr)
- Dr. sc. Robert Lončarić**, izvanredni profesor, Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru, Ulica dr. Franje Tuđmana 24 i, 23000 Zadar, [rloncar@unizd.hr](mailto:rloncar@unizd.hr)
- Dr. sc. Andreja Sironić**, stručna savjetnica u zvanju znanstvene suradnice, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, [asironic@irb.hr](mailto:asironic@irb.hr)
- Dr. sc. Maša Surić**, redovita profesorica, Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru, Ulica dr. Franje Tuđmana 24 i, 23000 Zadar, [msuric@unizd.hr](mailto:msuric@unizd.hr)
- Iva Veverec**, Osnovna škola Jelkovec, Dragana Plamenca 1, 10360 Sesvete, student doktorskog studija Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb, [iva.babic@student.geog.pmf.hr](mailto:iva.babic@student.geog.pmf.hr) [ivababic28@yahoo.com](mailto:ivababic28@yahoo.com)

## **Pregled aktivnosti i postignuća projekta *Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda***

**Ines Krajcar Bronić**  
**Institut Ruđer Bošković, Zagreb**

Hrvatska zauzima položaj između istočnog i zapadnog mediteranskog bazena, kao i između centralne Europe i Mediterana u kojima prevladavaju različiti klimatski sustavi. Dinarski krš prekriva polovicu teritorija Hrvatske i obiluje različitim karbonatnim sedimentima koji su se pokazali dobrim arhivima paleookolišnih i paleoklimatskih uvjeta. Za rekonstrukciju klime i okoliša u prošlosti na osnovi zapisa u karbonatnim arhivima potrebno je provesti kompleksno interdisciplinarno istraživanje. Različiti karbonatni sedimenti kao što su sige, sedre, sedimenti u krškim jezerima i morski algi vijenci pružaju neizmjerne mogućnosti za takva istraživanja, pod uvjetom da znamo „pročitati“ zapise sačuvane u njima. Primjena izotopnih metoda nam upravo to i omogućuje.

Ovaj projekt je pokrenut upravo s ciljem odgonetavanja izotopnih zapisa u različitim karbonatnim sedimentima Dinarskog krša iz raznih klimatskih zona. U planiranje projektnih aktivnosti uključile su se tri istraživačke grupe na poticaj dr. sc. Nade Horvatinčić s Instituta Ruđer Bošković: Laboratorij za mjerenje niskih radioaktivnosti Zavoda za eksperimentalnu fiziku Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu, Geografski odsjek i Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, te Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru. Projekt je predložen za financiranje Hrvatskoj zakladi za znanost (HRZZ) tijekom natječaja za istraživačke projekte raspisanog u studenom 2013. godine. Odobren je za financiranje u iznosu od 1 milijun kuna ravnomjerno raspoređenom kroz 4 godine s početkom 1. rujna 2014. godine. Voditeljica projekta je od početka projekta do 15.12.2016. bila dr. sc. Nada Horvatinčić, a nakon umirovljenja postala je vanjska suradnica projekta. Voditeljstvo projekta preuzela je dr. sc. Ines Krajcar Bronić (uz suglasnost HRZZ). Odobreno je i produljenje trajanja projekta za 3 mjeseca, do 30. studenog 2018. Popis suradnika na projektu dan je u posebnom prilogu.

U projektu su proučavane sige iz tri špilje u različitim klimatskim područjima, jezerski sediment iz Plitvičkih jezera, sedra s područja rijeke Zrmanje, te algi vijenci s nekoliko lokacija duž hrvatske obale Jadranskog mora (Slika 1). U istraživanju su primijenjene sljedeće izotopne metode: omjeri stabilnih izotopa  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  i  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  u karbonatnim sedimentima (uobičajeno se izražavaju kao  $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  vrijednosti), omjeri izotopa  $^2\text{H}/^1\text{H}$  i  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  u vodi ( $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ), radioaktivni izotop  $^{14}\text{C}$  i izotopi radioaktivnog niza U-Th. Pri tome stabilni izotopi daju informacije o okolišnim uvjetima u prošlosti, varijaciji temperature, bioprodukciji u jezerima, te ukazuju na porijeklo ugljika i mehanizme taloženja karbonata, dok se radioaktivni izotopi koriste za određivanje starosti karbonatnih sedimenata, kako bi se informacije dobivene drugim metodama postavile na vremensku skalu. Izotopni sastav ugljika ( $^{13}\text{C}$  i  $^{14}\text{C}$ ) u sustavu atmosfera – voda – bilje – sediment daje također informacije o ciklusu ugljika i procesima koji se odvijaju unutar navedenog sustava, a time i o okolišnim uvjetima koji su na njih utjecali.

Istraživanja su podijeljena u nekoliko radnih paketa, od kojih su se 3 odnosila na istraživanje specifičnih karbonatnih sedimenata: 1. *Reconstruction of paleoenvironmental/paleoclimate settings from the speleothem*, 2. *Reconstruction of paleoenvironmental/paleoclimate settings from freshwater carbonates (lake sediments and tufa)*, 3. *Relative sea-level changes reconstruction from algal rims*, a za svaki je zadužena jedna grupa suradnika. Radni paket 4 obuhvatio je sintezu rezultata i zajedničku interpretaciju odnosno korelaciju zapisa iz različitih karbonatnih arhiva, Paket 5 obuhvaća diseminaciju i suradnju, te paket 6 koordinaciju i praćenje provođenja projekta. Aktivnosti su se provodile u skladu s radnim i financijskim planom, a ponekad su bile potrebne manje izmjene plana, što je HRZZ s razumijevanjem prihvaćala i odobrivala.



Slika 1. Lokacije uzorkovanja karbonatnih sedimenata.

Istraživanja vezana uz sige uključivala su: praćenje okolišnih uvjeta (temperatura, relativna vlažnost) u tri špilje, sakupljali su se mjesečni uzorci oborina u blizini špilja i prokavnica u špiljama, izmjeren je izotopni sastav oborina i prokavnica ( $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  vrijednosti) te su sakupljeni su uzorci stalagmita i recentnog kalcita. U poduzorcima sigi izmjeren je sadržaj stabilnih izotopa ( $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  vrijednosti) te provedena analiza izotopa  $^{14}\text{C}$  te izotopa uranija i torija. O ovom dijelu istraživanja govorit će Maša Surić, Robert Lončarić i Nina Lončar.

Istraživanja sedre i jezerskog sedimenta nastavila su se na dugogodišnja istraživanja karbonatnih sedimenata na Plitvičkim jezerima. Za izotopne analize korištene su jezgre jezerskog sedimenta iz Proščanskog jezera i jezera Kaluđerovac. Rezultate tih istraživanja predstaviti će Nada Horvatinčić. Istraživanja sedre proširena su na područje rijeke Zrmanje s pritokom Krupom, gdje su praćeni fizikalno-kemijski parametri vode na nekoliko lokacija duž toka rijeka u 4 sezone kako bi se odredili uvjeti taloženja sedre, i usporedili s onima na području Plitvičkih jezera. Određen je i izotopni sastav ugljika ( $\alpha^{14}\text{C}$  i  $\delta^{13}\text{C}$ ) u otopljenom anorganskom ugljiku (DIC) u Zrmanji i Krupi. Sakupljeni su uzorci recentne sedre iz toka rijeke, te stare sedre izvan sadašnjeg toka. Određena je starost sedre metodom  $^{14}\text{C}$  i pokazalo se da se najvećim dijelom radi o holocenskim sedrama, a pronađene i starije sedre gotovo na granici  $^{14}\text{C}$  metode, o čemu će detaljnije izvijestiti Jadranka Barešić. O istraživanju sedrene barijere Gazin kuk na Zrmanji govorit će Iva Veverec. Na području Plitvičkih jezera i Zrmanje sakupljene su mahovine iz vodnih sustava i određen je njihov izotopni sastav ( $\alpha^{14}\text{C}$  i  $\delta^{13}\text{C}$ ). O rezultatima istraživanja mahovina govorit će Andreja Sironić.

Istraživanja algnih vijenaca koje gradi alga *Lithophyllum byssoides* duž istočne obale Jadranskog mora uključivalo je izviđanje novih bioloških i geomorfoloških markera, monitoring algnih vijenaca, određivanje morfologije, uzorkovanje za određivanje starosti ( $^{14}\text{C}$  metoda) i sadržaja stabilnih izotopa ( $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ), te povezivanje izotopnog sastava s morfološkim karakteristikama i okolišnim uvjetima tijekom kasnog Holocena, odnosno posljednjih 2000 godina. O praćenju stanja algnih vijenaca i zaključcima govorit će Tatjana Bakran-Petricioli. Tijekom istraživanja algnih vijenaca ustanovljeno je



da marinski rezervoar efekt (MRE), odnosno tzv. početna aktivnost  $^{14}\text{C}$  u morskim karbonatima, nije dovoljno poznat za područje Jadrana, a neophodan je za preciznije određivanje starosti algi i pravilnu interpretaciju dobivenih rezultata. Stoga je velik dio aktivnosti na projektu posvećen upravo određivanju marinskog efekta rezervoara  $^{14}\text{C}$ , što će detaljnije prikazati Sanja Faivre.

Važan dio ovog projekta su diseminacijske aktivnosti. Popis svih radova pridruženih projektu HRZZ-IP-2013-11-1623 dan je u posebnom prilogu. Projekt je vrlo složen i opsežan, zbog obimnog terenskog rada i sakupljanja uzoraka često na nepristupačnim lokacijama, velikog broja zahtjevnih analiza koje se dijelom provode u Hrvatskoj (npr.  $^{14}\text{C}$  analize), a dijelom u inozemstvu (npr. datiranje U-Th metodom, određivanje sadržaja stabilnih izotopa), i složene i dugotrajne obrade podataka odnosno njihovo međusobno povezivanje radi pravilne interpretacije. Zbog toga broj objavljenih radova u časopisima visokog čimbenika utjecaja (IF, *Impact Factor*) nije jako velik – objavljeno je 5 znanstvenih radova u međunarodnim časopisima. Mnogobrojni novi radovi su ili u postupku recenzije ili gotovo završeni, a dobiveni rezultati su bogata osnova za još nekoliko publikacija.

Međutim, suradnici su predstavili svoje rezultate na brojnim domaćim i međunarodnim skupovima, te je tako objavljen jedan cjeloviti rad u Zborniku radova, 40 sažetaka u zbornicima skupova, te nekoliko (neobjavljenih) predavanja na sveučilištima ili skupovima. Između ostalog, suradnici su prezentirali radove na *International Radiocarbon Conference* (2 rada na 2 konferencije), *International Karstological School* u Postojni (8 radova na 4 skupa), *Radiocarbon and Diet Conference* (1 rad), *Radiocarbon in Environment* (2 rada), *8<sup>th</sup> International Climate Change: The Karst Record (KR8) conference* (2 rada), *Regional INQUA symposium* (3 rada), *9<sup>th</sup> International Conference on Geomorphology* (2 rada). Posebno treba istaknuti *Isotope Workshop XIII of the European Society for Isotope Research (ESIR)* u Zadru, 20.-24.9.2015., na kojem je održana posebna poludnevna radionica posvećena projektu REQUENCRIM, na kojoj je prezentirano 8 radova s rezultatima prve dvije godine istraživanja. Planirano je da Iva Vevec izradi doktorski rad pod naslovom „Geomorfološka obilježja naslaga sedre srednjeg toka rijeke Zrmanje“, mentori Sanja Faivre i Nenad Buzjak. Prijavljena je i izrada jednog diplomskog rada: Lukrecija Sršen: Monitoring okolišnih uvjeta u špilji Modrič (mentor: R. Lončarić, komentor: M. Surić) na Odjelu za geografiju Sveučilišta u Zadru, u kojem bi se koristili dijelovi istraživanja ovog projekta.

Suradnici su održali 5 radnih sastanaka (2.9.2014., 26.3.2015., 12.2.2016., 27.1.2017. i 23.11.2017.) na kojima se raspravljalo o provedenim istraživanjima, dobivenim rezultatima i planovima za sljedeću godinu istraživanja.

Otvorena je internetska stranica projekta <https://www.irb.hr/requencrim>. Projekt ima svoju stranicu na portalu ResearchGate <https://www.researchgate.net/project/Reconstruction-of-the-Quaternary-environment-in-Croatia-using-isotope-methods-REQUENCRIM>, koja je posjećena 265 puta i ima 25 pratitelja (stanje 9.11.2018.).

## Zahvale

Projekt HRZZ-IP-2013-11-1623 **Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda** (*Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods*) – REQUENCRIM financiran je sredstvima Hrvatske zaklade za znanost u razdoblju 1.9.2014. – 30.11.2018.

Zahvaljujem svim suradnicima na projektu na uspješnoj suradnji tijekom provođenja projekta i na razumijevanju administrativnih zahtjeva, uvjeta i ograničenja. Posebnu zahvalnost dugujemo dr. sc. Nadi Horvatinčić, koja je bila idejni začetnik projekta i koja je okupila različite znanstveno-istraživačke grupe u zajedničko istraživanje krških fenomena u Hrvatskoj primjenom izotopnih metoda.

## Geochemical and isotopic analyses of palaeoenvironmental records in the lake sediments of the Plitvice Lakes, Croatia

Nada Horvatinčić

Ruđer Bošković Institute, Zagreb

The presented comprehensive multi-proxy study of lake sediments from two karst lakes of different sizes, Lake Prošće (0.68 km<sup>2</sup>) and Lake Kaluđerovac (0.02 km<sup>2</sup>), both belonging to the karst area of the Plitvice Lakes system, involved mineralogical, chemical (C/N and TOC) and carbon isotope analyses ( $\delta^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of carbonate and organic fractions) of 6 sediment cores.

The main aim of the study was to find out the following: 1) How does the lake sediment respond to the environmental conditions and what is the difference between two lakes of different sizes? 2) Which fraction, organic or carbonate, of the lake sediments better describes paleoenvironmental conditions? 3) What can we conclude about the changes in the environment of the Plitvice Lakes during the last  $\approx 150$  years by studying  $\approx 40$ -cm-long sediment cores?

Sediment cores were taken in each lake at three positions having different water depths and characterized by different environmental conditions. Some sites were close to the shore (P4, P5, Ka2), some were influenced by the stream of tributaries (P4, P5), and the process of eutrophication was observed at some of them (P4, P5, Ka1). The length of sediment cores varied from 22 cm to 46 cm.

The correlation of measured values (organic/carbonate ratio  $w$ , C/N, and isotope analyses  $\delta^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  for organic and carbonate fractions) represented by their mean, minimal and maximal values, in 6 sediment cores from the two lakes, with water depth is presented in Figure 1. Lake Prošće is almost 30 times bigger than Lake Kaluđerovac, significantly deeper and at a higher altitude. The water composition of both lakes showed slight differences and in both lakes water is supersaturated with regard to  $\text{CaCO}_3$ , leading to expressed precipitation of lake sediment in the form of calcite. Both lakes are oligotrophic.

In the small Lake Kaluđerovac all the cores were sampled in relatively shallow water, from 1.2 m to 14 m in depth. The measured parameters of carbonate and OM fractions (C/N,  $\delta^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) showed similar values for all three cores (Ka1, Ka2, Ka3) with small variations with depth in each core. Different water depths above these three cores do not particularly influence either of the measured parameters indicating mostly uniform conditions of sediment precipitation in Lake Kaluđerovac, regardless of the position of the sediment core inside the lake. All analyses indicated autochthonous calcite precipitation. Some differences in the sedimentation rate were observed, and the sedimentation rate decreases downstream in the lake (Ka1 > Ka2 > Ka3).

In the big Lake Prošće significant differences among the three cores are evident. In the deepest point of the Lake (P1, 40 m) all parameters show small variations and all data indicate the autochthonous origin of the calcite and mostly aquatic OM with increased primary productivity in the surface sediment layers. For shallow points P4 and P5, which are close to the coastline and under the influence of the Sušanj stream and the Matica River, respectively, the variations of each parameter are larger, particularly for the P5 core. The main reason for this is the strong influence of the land-derived material forming the sediment which becomes the mixture of allochthonous and autochthonous material. As a consequence, the sedimentation rate of the P4 core is higher than that of the P1 core and some extreme hydrological events were recorded.

In the big Lake Prošće significant differences among the three cores are evident. In the deepest point of the Lake (P1, 40 m) all parameters show small variations and all data indicate the autochthonous origin of the calcite and mostly aquatic OM with increased primary productivity in the

surface sediment layers. For shallow points P4 and P5, which are close to the coastline and under the influence of the Sušanj stream and the Matica River, respectively, the variations of each parameter are larger, particularly for the P5 core. The main reason for this is the strong influence of the land-derived material forming the sediment which becomes the mixture of allochthonous and autochthonous material. As a consequence, the sedimentation rate of the P4 core is higher than that of the P1 core and some extreme hydrological events were recorded.

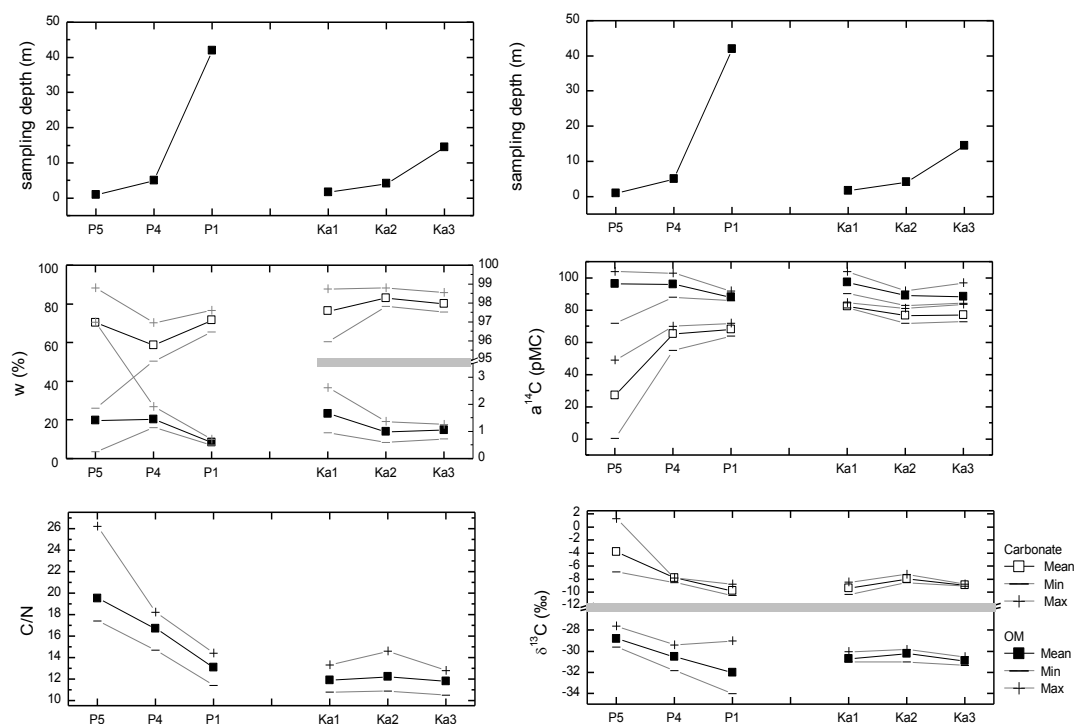


Figure 1. Summary results (organic/carbonate composition, C/N,  $a^{14}\text{C}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) for organic and carbonate fraction of sediment cores in Lake Prošće (P1, P4, P5) and Lake Kaluđerovac (Ka1, Ka2, Ka3) in correlation with water depth.

According to all the analyses of the Prošće and Kaluđerovac lake sediments we can conclude the following:

1) In the bigger Lake Prošće, the uppermost of a series of 16 lakes, settled mainly in dolomite and surrounded with mostly deciduous forest, the large differences in sediment composition from different cores indicated different conditions of sediment precipitation inside the lake and varied sources of sedimentary material. Significant fractions of land-derived both carbonate and organic components were indicated by mineralogical, C/N,  $a^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values in the shallow, coastal area indicating that the sediment was a mixture of allochthonous and autochthonous fractions. In contrast, the composition of deep-water sediment in the same lake indicated in-situ calcite precipitation and aquatic OM produced in the lake. The same analyses of the sediments in the small Lake Kaluđerovac, settled in the limestone canyon, indicated very homogenous precipitation of autochthonous calcite inside the lake, without an allochthonous fraction. Finally, the response of the lake sediment to the environmental conditions does not depend particularly on the size of the lake, but the surrounding environmental conditions could have great influence on the sediment composition. If one wants to study regional and long-term paleoclimatic records in lake sediments, the chosen sampling location should be far from local-scale influences where mostly authigenic calcite precipitates from DIC in water and organic matter is of limnic origin. Sediment locations closer

to the shore and influenced by local water inputs (feeding streams) that may occasionally bring terrigenous material to the lake are more appropriate for the determination of local short-term paleoenvironmental events.

2) The study of two karst lakes where the sediment is composed mainly of calcite showed that the OM fraction also has an important role and that analyses of both fractions and the relation between them give good overview of the processes in the lake. The  $\delta^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values of the carbonate fraction showed that all sediment from Lake Kaluđerovac and deep-water sediment (P1) from Lake Prošće are authigenic, i.e., formed by in situ precipitation from DIC in water, while two sediment cores in Lake Prošće are the mixture of the authigenic and allogenic carbonate. The authigenic/allogenic fraction ratio was determined based on  $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$  values of sediments. The sedimentation rate was determined based on the radiocarbon dating of macrofossils in Lake Kaluđerovac sediments (0.3 to 0.7 cm/yr) and the known occurrence of extreme hydrological events in Lake Prošće sediments (0.7 cm/yr). These values are in good agreement with the previously determined sedimentation rates by  $^{210}\text{Pb}$  dating. Isotope analyses of the organic fraction and correlation with C/N and TOC values of OM give additional information on carbon cycling and evidence of the biota that have lived in both lakes.

3) Using the lake sediment profiles of 30 – 40 cm in length from the two lakes which cover the time period of the last  $\approx 150$  years we can follow the influence of anthropogenic contamination and changes of environmental conditions in the area of the Plitvice Lakes. Extreme hydrological events in 1981 and 2010 were identified by disturbances in carbon isotopes distributions. Local anthropogenic influence was not evident, but the response to the global  $^{14}\text{C}$  contaminations was observed by the occurrence of the  $\delta^{14}\text{C}$  peak in both carbonate and organic fractions. Increased bioproductivity in the recent decades was found in Lake Prošće, which can be correlated with a slight increase of the lake water temperature in last three decades (Sironić et al, 2017). This process can be associated with the enhanced eutrophication in Lake Prošće.

The results of this work, particularly the isotope analyses in the lake sediments will be compared with previous study of the Plitvice Lakes sediments formed in the last  $\approx 150$  yr (Horvatinčić et al., 2008, 2014).

## References

- Horvatinčić, N., Barešić, J., Babinka, S., Obelić, B., Krajcar Bronić, I., Vreča, P., Suckow, A., 2008. Towards a deeper understanding how carbonate isotopes ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) reflect environmental changes: A study with recent  $^{210}\text{Pb}$  dated sediments of the Plitvice lakes, Croatia. *Radiocarbon* 50, 233-253.
- Horvatinčić, N., Sironić, A., Barešić, J., Krajcar Bronić, I., Todorović, N., Nikolov, J., Hansman, J., Krmar, M., 2014. Isotope analyses of the lake sediments in the Plitvice Lakes, Croatia. *Central European Journal of Physics* 12; 707-713.
- Sironić, A.; Barešić, J.; Horvatinčić, N.; Brozinčević, A.; Vurnek, M.; Kapelj, S., 2017. Changes in the geochemical parameters of karst lakes over the past three decades – The case of Plitvice Lakes, Croatia. *Applied geochemistry* 78, 12-22.

## Acknowledgements

The work was funded by the project HRZZ-IP-11-2013-1623, *Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods (REQUENCRIM)*, Croatian Science Foundation.

Most of the results were published in the paper: N. Horvatinčić, A. Sironić, J. Barešić, I. Sondi, I. Krajcar Bronić, D. Borković, Mineralogical, organic and isotopic composition as palaeoenvironmental records in the lake sediments of two lakes, the Plitvice Lakes, Croatia, *Quaternary International* (2017), [dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2017.01.022](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.01.022).

## Carbon isotope composition in karst aquatic mosses and possibility of using mosses in correction of tufa dating

Andreja Sironić

Ruđer Bošković Institute, Zagreb

Hygrophyte (true aquatic and wet-rock) moss and mesophyte (land) moss species were collected at the Plitvice Lakes and along the Zrmanja and Krupa rivers water path. Most of the aquatic moss species were tuficulou – tufa forming. Tufa is precipitated on the surface and on the base of the plant when plant uses dissolved inorganic carbon (DIC) from water. The carbon isotope concentrations ( $\delta^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) were measured in the plants and in DIC. Aquatic mosses can use carbon for the photosynthesis from two carbon reservoirs: atmospheric  $\text{CO}_2$  and DIC. Fraction of the atmospheric carbon in moss ( $\omega_{\text{atm. C}}$ ) was calculated from  $\delta^{14}\text{C}$  of the atmosphere, of DIC and of mosses. From their  $\delta^{13}\text{C}$  values and the calculated  $\omega_{\text{atm. C}}$ ,  $^{13}\text{C}$  fractionation from  $\text{CO}_2$  (as a part of DIC) to moss tissue ( $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$ ) was also calculated. The recent data were compared with the published data on  $\delta^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values of moss and DIC from  $\approx 30$  years ago (Srdoč et al. 1985; Marčenko et al. 1989), when  $\delta^{14}\text{C}$  of the atmosphere was 30 % higher.

All collected moss samples were identified as C3 photosynthetic cycle plants.  $^{13}\text{C}$  fractionation factor from atmospheric  $\text{CO}_2$  to terrestrial plant tissue for C3 types of plants is well studied and amounts to  $\approx -20$  ‰, however  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$  for aquatic plants depends on numerous conditions (e.g., concentrations of  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{CO}_2$ , pH, amount of available nutrients, water depth, temperature, water flow velocity). Currently, it is known that the carbon isotope composition in aquatic plants growing in hard-water karst lakes and rivers is strongly influenced by the compositions of DIC, however,  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$  has never been determined although different  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$  values could point to the difference in mosses carbon photosynthesis pathway.

A significant positive correlation of moss  $\delta^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  was found in both periods at Plitvice Lakes and at both Plitvice Lakes and Zrmanja-Krupa locations. It was also found that three species of mosses (true aquatic *Cinclidotus aquaticus* and wet-rock *Hymenostylium recurvirostrum* and *Ptychostomum pseudotriquetrum*) had calculated  $\omega_{\text{atm. C}} \approx 0$  % or even negative implying that they incorporate carbon only from DIC, i.e., that they turn to anabiosis during dry periods. For all other submerged mosses  $\omega_{\text{atm. C}}$  ranged up to 66 %. Calculated  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$  values ranged from -43 ‰ to -19 ‰. The anabiotic species, as well as a wet-rock *Gimnostomum aeruginosum* had the highest  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}} = 21.1 \pm 1.9$  ‰ on the average, which was similar to the fractionation factor for C3 plants from atmospheric  $\text{CO}_2$ .

Three groups of moss species were revealed after correlating  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$  with  $\omega_{\text{atm. C}}$ : (i) mosses with  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}} \approx -21$  ‰, (ii) other true aquatic mosses (*Cinclidotus riparius*, *Rhynchostegium riparioides* and *Fontinalis antipyretica*) and (iii) amphiphyte mosses (*Palustriella commutata* and *Eucladium verticillatum*). The groups (ii) and (iii) had lower  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$  values than -20 ‰. Group (ii) showed statistically significant correlation between  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$  and  $\omega_{\text{atm. C}}$ . Amphiphyte mosses (iii) had more intense  $^{13}\text{C}$  fractionation from DIC with higher water flow rates. This grouping clearly shows that by having different  $\epsilon_{\text{moss/g-aq}}$  values, mosses have different photosynthetic mechanisms and different adjustments to the same environment.

A statistically significant correlation between  $\delta^{13}\text{C}$  of moss and  $\omega_{\text{atm. C}}$  was observed for the other true aquatic and amphiphyte mosses. This feature opened a possibility of using  $\delta^{13}\text{C}$  of moss remains found in inactive tufas for determination of true tufa  $^{14}\text{C}$  age, which is often compromised with uncertain  $^{14}\text{C}$  initial activity.  $\omega_{\text{atm. C}}$  from measured  $\delta^{13}\text{C}_{\text{moss}}$  of a fossil moss with unknown age

could be calculated from the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{moss}} - \omega_{\text{atm.C}}$  correlation. Knowing  $a^{14}\text{C}$  of moss and approximating  $a^{14}\text{C}$  of tufa with  $a^{14}\text{C}$  of DIC at the time of tufa formation, the “ $a^{14}\text{C}$  of the atmosphere” could be calculated. This value is the percentage of non-decayed  $^{14}\text{C}$  atoms from the day of tufa formation which can then be used in a regular formula for  $^{14}\text{C}$  age determination. However, there are numerous limitations to this age determination, among others is the very large standard uncertainty of tufa ages derived in this way. This can be overcome by more moss and DIC sampling and  $\delta^{13}\text{C}$  and  $a^{14}\text{C}$  measurements in order to reduce the uncertainty of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{moss}} - \omega_{\text{atm.C}}$  correlation line. Nevertheless, with this current cognition, this procedure could be applied for the moss species *Palustriella commutata*, the most abundant one at the Plitvice Lakes, which introduced the highest amount of the atmospheric carbon and so had the lowest uncertainty.

### Acknowledgements

The work was funded by the project HRZZ-IP-2013-11-1623 Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods (REQUENCRIM), Croatian Science Foundation 2014-2018, and the Project with the Plitvice Lakes National Park “Influence of environmental and climate changes on the biologically induced calcite precipitation in form of tufa or lake sediment at the Plitvice Lakes” 2011-2014.

I would also like to thank Antun Alegro, Maja Vurnek, Andrijana Brozinčević for their contributions, as well as Nada Horvatinčić, Jadranka Barešić, Ines Krajcar Bronić, Damir Borković and Ivanka Lovrenčić Mikelić, the staff of the Laboratory for the Low-level Radioactivity.

### References:

- Marčenko, E., Srdoč, D., Golubić, S., Pezdič, J., Head, M.J. 1989. Carbon uptake in aquatic plants deduced from their natural  $^{13}\text{C}$  and  $^{14}\text{C}$  content. *Radiocarbon* 31: 785-794.
- Srdoč, D., Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N., Obelić, B. 1986. Increase of dissolved inorganic carbon along a river course. *Radiocarbon* 28: 515-521.

## Sige – arhivi paleookolišnih promjena

Maša Surić

Odjel za geografiju, Centar za istraživanje krša i priobalja, Sveučilište u Zadru,  
Zadar

Sige su sekundarni karbonatni sedimenti koji nastaju u špiljama kristalizacijom (najčešće) kalcita iz vode prokapanice prezasićene na  $\text{CaCO}_3$  (Slika 1). Tijekom taloženja one inkorporiraju različite izotope koji omogućavaju rekonstrukciju brojnih promjena koje su se odvijale u okolišu u vrijeme njihova rasta. Osim što se na temelju radioaktivnih izotopa U-Th niza i  $^{14}\text{C}$  sige mogu razmjerno precizno datirati, varijacije stabilnih izotopa ukazuju na paleookolišne promjene u smislu fluktuacije temperature, količine oborine, prevladavajuće vegetacije i sl.

Paleoklimatska uloga siga prepoznata je još prije pola stoljeća (Hendy & Wilson, 1968), no intenzivnije korištenje siga u paleookolišnim studijama započelo je prije 15-ak godina kad su se uvidjele brojne prednosti siga pred drugim 'arhivima' sličnih podataka, kao što su jezgre leda i dubokomorskih sedimenata koje pokrivaju oceanska i polarna područja, dok se sige mogu pronaći u krškom okolišu na svim kopnenim područjima. Osim toga, njihovo je datiranje tehnikom masene spektrometrije omogućilo rekonstrukciju okoliša u jako visokoj rezoluciji, nekada čak i do sezonskih promjena. Uz to, osim najčešće korištenih varijacija omjera stabilnih izotopa kisika i ugljika, u sigama je moguće pratiti i varijacije koncentracije elemenata u tragovima, mineraloške i petrografske promjene, sastav fluidnih inkluzija, prisutnost organskih molekula, pa čak i polena i vulkanske prašine. Još jedna od prednosti siga je njihov rast u špiljskom okolišu dobro zaštićenom od atmosferskih prilika, ali i jednostavnost čuvanja i arhiviranja uzoraka za buduće analize (što je u slučaju jezgri leda i dubokomorskih sedimenata bitno zahtjevnije).



Slika 1. Sige u Novoj Grgosovoj špilji

Iako je *klasični krš* kojem pripada i Hrvatska bio kolijevka karstoloških istraživanja, sige su u znanstvenim istraživanjima u Hrvatskoj u upotrebi od 70-ih godina prošlog stoljeća i to u okviru arheoloških, paleontoloških i speleoloških studija, dok su se u paleookolišnim istraživanjima prvo koristile za rekonstrukciju kolebanja morske razine i tek potom za paleoklimatske rekonstrukcije (pregled svih dosadašnjih istraživanja u Surić, 2018). Unatoč maloj površini (ali s >10000 speleoloških objekata), Hrvatska nudi izniman potencijal u ovoj disciplini zbog geografskog položaja na granici između sredozemnih maritimnih i srednjoeuropskih kontinentskih utjecaja. Pomicanje te granice uslijed globalnih klimatskih promjena već je zabilježeno u sigama susjednih područja (Luetscher et al. 2015) i namjera je projektom REQUENCRIM ustanoviti kako su hrvatska područja tijekom značajnih klimatskih događaja (LGM, 8,2 ka) reagirala po pitanju temperature, distribucije oborina, vegetacije i dr.

Temeljni preduvjet za ovakva istraživanja, odnosno za vjerodostojnost paleoklimatskog zapisa, jest pretpostavka da se kalcit siga taložio u izotopnoj ravnoteži s vodom prokapnicom pri čemu bi varijacije kisikovih izotopa bile isključivo odraz temperaturnih promjena (odnosno klime s obzirom da je u špiljama u principu temperatura stalna i jednaka prosječnoj godišnjoj temperaturi zraka tog područja). Zbog tog preduvjeta, naizgled manje bitan, ali neophodan i po trajanju duži dio ovih istraživanja je monitoring. Pod monitoringom se podrazumijeva praćenje atmosferskih uvjeta u špiljama i na površini, intenziteta prokapavanja, količine oborina te izotopnog sastava kišnice, prokapnice i recentnog kalcita. Nakon najmanje 1-godišnjeg praćenja, poželjno je za analize uzeti sige iz stabilnih špiljskih uvjeta, koje su prihranjivane vodom ujednačenog izotopnog sastava ( $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta^2\text{H}$ ) i čiji je recentni kalcit taložen u izotopnoj ravnoteži s prokapnicom. Dodatna potvrda ravnotežnih uvjeta je i repliciranje izotopnog signala u sigama iz istog razdoblja (Dorale and Liu, 2009), a provodi se i tzv. Hendy test duž lamina siga (Hendy, 1971), kako bi se isključila mogućnost utjecaja kinetičke frakcionacije na izotopni signal.

U okviru REQUENCRIM projekta rekonstrukcija paleookolišnih promjena temeljila se na varijacijama omjera stabilnih izotopa kisika i ugljika ( $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta^{13}\text{C}$ ) u kalcitu sedam siga iz špilja s tri različita područja: Nove Grgosove špilje kod Samobora (središnja Hrvatska), Lokvarke (gorska Hrvatska) i špilje Modrič (primorska Hrvatska). U Novoj Grgosovoj i Lokvarci monitoring voda provodio se 1 godinu, atmosferski uvjeti praćeni su dvije godine u Novoj Grgosovoj, odnosno 4 godine u Lokvarci, dok je kompletan monitoring u špilji Modrič u potpunosti nastavljen i neće se prekidati ni po završetku projekta. U-Th datiranje provodilo se na School of Earth Sciences, University of Melbourne, Australija,  $^{14}\text{C}$  datiranje na Institutu Ruđer Bošković i University of Georgia, Atlanta, SAD, dok su izotopne analize voda i kalcita obavljene dijelom na University of Melbourne, a dijelom u Geological and Geochemical Research, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences Hungarian Academy of Sciences, Mađarska. Sa znanstvenicima navedenih ustanova uspostavljena je suradnja koja će se nastaviti u području istraživanja paleoekoloških zapisa u sigama i po završetku projekta.

Uz ranije navedene prednosti siga pred drugim 'arhivima', brojne su i nesigurnosti i zapreke koje se tijekom monitoringa, analiziranja i interpretacije mogu javiti: od jednostavnog kvara opreme koji naruši kontinuirani monitoring, prestanka rasta sige neovisno o okolišnim uvjetima ili rekristalizacije, preko nepoznavanja početne aktivnosti prilikom  $^{14}\text{C}$  datiranja ili povećanog sadržaj detritusa tijekom U-Th datiranja, pa do problema određivanja dominantnog uzroka izotopnog signala (temperatura, količina oborina, porijeklo oborina i dr.) (Surić, 2017). Neovisno o tome, ova istraživanja rezultiraju spoznajama koja upotpunjuju sliku kvartarnih promjena u Europi i bit će temelj budućim multidisciplinarnim studijama.



## Zahvala

Istraživanja su financirana projektom Hrvatske zaklade za znanost HRZZ-IP-2013-11-1623 **Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda** (*Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods*) – REQUENCRIM, 2014 – 2018.

Zahvaljujemo na suradnji obitelji Grgos - koncesionarima Nove Grgosove špilje i Marjanu Buzovu - koncesionaru špilje Modrič, te obitelji Šafar u Lokvama i obitelji Matković u Rovanjskoj za pomoć prilikom prikupljanja kišnice. Uspješna suradnja ostvarena je s Javnim ustanovama za zaštitu prirode Zagrebačke županije Zeleni prsten, Primorsko-goranske županije Priroda i Zadarske županije Natura Jadera. Zahvaljujemo Državnom hidrometeorološkom zavodu koji nam je ustupao višegodišnje nizove meteoroloških podataka. Petra Bajo i Russell N. Drysdale (University of Melbourne) bili su nam od iznimne stručne i praktične pomoći prilikom izotopnih analiza. Posebna zahvala na pomoći ide i brojnim kolegama i prijateljima koji su nam se znali pridružiti tijekom terenskih izlazaka, uključujući i veći broj djece kojima smo, nadamo se, pobudili interes za znanost i prirodu.

## Literatura

- Dorale, J.A., Liu, Z. 2009. Limitations of Hendy Test criteria in judging the paleoclimatic suitability of speleothems and the need for replication. *Journal of Cave and Karst Studies* 71, 73-80.
- Hendy, C.H., Wilson, A.T. 1968. Palaeoclimatic data from speleothems. *Nature* 219, 48-51.
- Hendy, C.H. 1971. The isotopic geochemistry of speleothems-I: the calculations of the effects of different modes of formation on the isotopic composition of speleothems and their applicability as paleoclimate indicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 35 (8), 801-824.
- Luetscher, M., Boch, R., Sodemann, H., Spötl, C., Cheng, H., Edwards, R. L., Frisia, S., Hof, F., Müller, W. 2015. North Atlantic storm track changes during the Last Glacial Maximum recorded by Alpine speleothems. *Nature Communications* 6, 6334.
- Surić, M., Lončarić, R., Bočić, N., Lončar, N., Buzjak, N. 2017. Monitoring of selected caves as a prerequisite for the speleothem-based reconstruction of the Quaternary environment in Croatia. *Quaternary International*. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.042>
- Surić, M. 2017. Challenges in cave monitoring and sampling – experiences from speleothem-based researches in Croatian caves. *Acta carsologica* 46, 2/3, 217-227.
- Surić, M. 2018. Speleothem-based Quaternary research in Croatian karst – a review. *Quaternary International*. 490, 113-122.

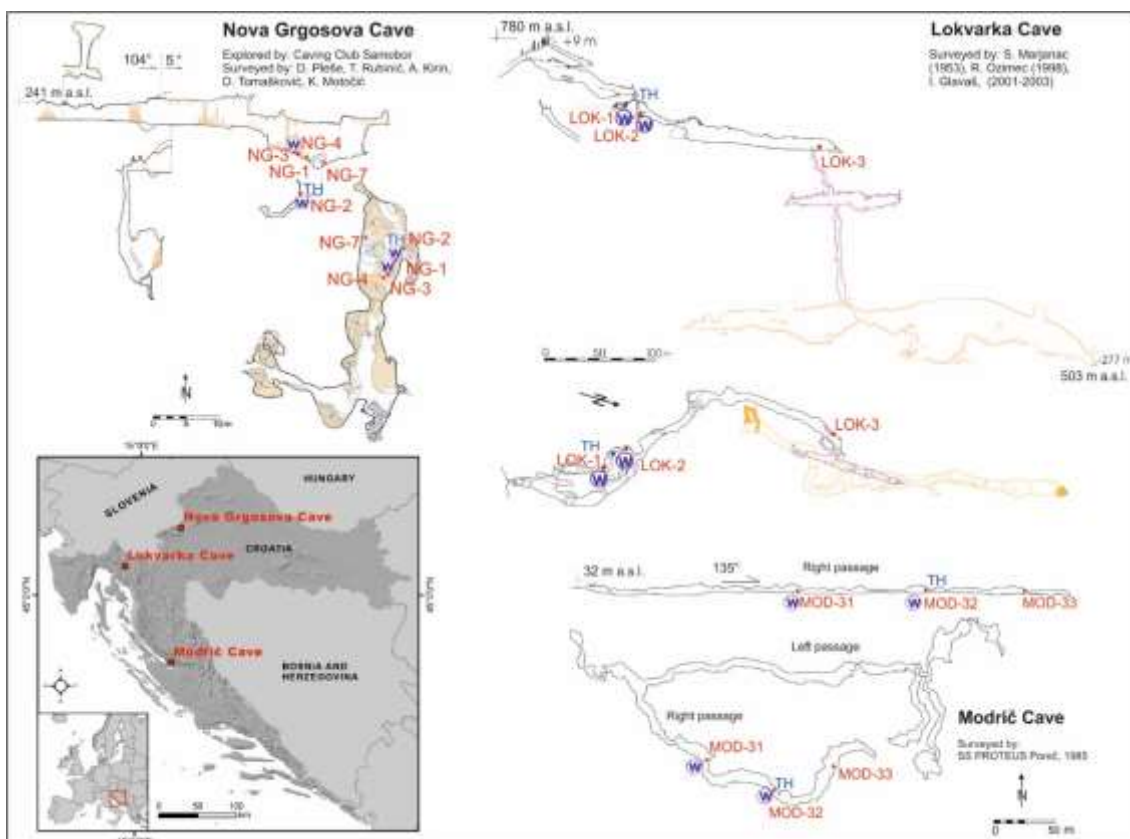
## Područje istraživanja i metodologija monitoringa špilja, uzorkovanja sige i izotopnih analiza u svrhu rekonstrukcije paleookoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara

Nina Lončar, Robert Lončarić

Odjel za geografiju, Centar za istraživanje krša i priobalja, Sveučilište u Zadru, Zadar

### Područje istraživanja

Za potrebe paleoklimatskih i paleokolišnih istraživanja temeljenih na sigama nužno je poznavati obilježja špiljskog okoliša u kojem su sige istaložene kao i klimatska obilježja šireg područja istraživanih špilja zbog usporedbe sadašnjeg stanja sa zabilježenim paleoklimatskim signalima, a s konačim ciljem utvrđivanja paleokolišnih promjena koje su utjecale na taloženje sige u prošlosti. Za istraživanja u sklopu REQUENCRIM projekta odabrane su tri špilje u različitim klimatskim zonama i na različitim nadmorskim visinama (Slika 1). Sve tri su turistički uređene špilje (tzv. show caves).



Slika 1. Lokacije i nacrti špilja s naznačenim mjestima mjerenja temperature i relativne vlažnosti zraka (TH), uzorkovanja vode (W), te s lokacijama s kojih su uzete sige.

Špilja Lokvarka (760 m n.v.) smještena je u Gorskom kotaru, 6 km južno od Delnica u blizini naselja Lokve (Slika 1). Špilja se nalazi unutar područja s Cfb klimom po Köppenu. To je klimatski tip koji prevladava u kontinentalnoj Hrvatskoj, ali je na području Gorskog kotara modificiran nadmorskom visinom što bitno utječe na količinu oborina (orografski efekt), pa je područje oko Lokvarke najkišovitije od svih istraživanih lokacija s prosječnom godišnjom količinom oborina oko

3000 mm, dok je prosječna godišnja temperatura zabilježena na klimatološkoj postaji Delnice iznosila 8,4 °C (1981.-2014.). Lokvarka je i morfološki najsloženiji speleološki objekt u kojem su se provodila istraživanja u sklopu ovog projekta jer je riječ o špilji čija je ukupna duljina 1179 m, dubina 277 m, a proteže se na tri razine formirane u vapnencima donje jure. Vegetacijski pokrov iznad špilje čini gusta, pretežno crnogorična šuma.

Nova Grgosova špilja nalazi se u blizini Samobora na obroncima Samoborskog gorja na 238 m n.v., u području intenzivno okršanih litotamnijskih vapnenaca neogenske starosti i najmanji je od tri istraživana objekta s ukupnom duljinom od svega 97 m i dubinom od 14 m (Slika 1). Špilja je morfološki jednostavna i sastoji se od dvije dvorane spojene kanalom koji je mjestimice proširivan radi lakšeg pristupa posjetitelja. Kao i Lokvarka, i Nova Grgosova špilja se također nalazi u području sa Cfb klimom, ali sa znatno manjom količinom oborina od one u Gorskom kotaru. Prosječna godišnja količina oborina je na postaji Samobor iznosila 1076 mm, dok je kišomjerna postaja Rude (oko 6 km od špilje) zabilježila višegodišnji prosjek od 1176 mm. Najveća količina oborina padne tijekom ljetnih mjeseci s maksimumom u rujnu pa većina oborina dolazi u obliku konvekcijskih kiša, dok su zimski mjeseci uglavnom suši zbog utjecaja suhih i hladnih kontinentalnih zračnih masa (Sibirska anticiklona). Područje iznad špilje prekriveno je uglavnom smrekovom šumom.

Špilja Modrič smještena je na obroncima Velebita 8 km JI od Starigrada Paklenice na 32 m n.v. (Slika 1.). Špilja je se sastoji od dva glavna kanala ukupne duljine 829 m i nastala je unutar 2,5 km široke rasjedne zone u dobro uslojenim gornjokrendim vapnencima. Područje u kojem se nalazi špilja Modrič ima Cfa klimu po Köppenu. To je submediteranska klima bez izraženog sušnog razdoblja. Srednja godišnja količina oborina na postaji Starigrad Paklenica je 1207 mm, dok je srednja godišnja temperatura zraka 16,1 °C (1981.-2014.). Iako se špilja nalazi na svega 32 m nadmorske visine, prisutan je orografski efekt zbog neposredne blizine Velebita. Unatoč nepostojanju izraženog sušnog razdoblja podaci o potencijalnoj evapotranspiraciji (PET) pokazuju izraziti manjak vode tijekom ljetnih mjeseci tako da se vodonosnik unutar kojeg se nalazi špilja Modrič puni gotovo isključivo tijekom hladnijeg dijela godine (Rudzka et al., 2012). U vegetacijskom pokrovu iznad špilje dominiraju biljne zajednice tipične za submediteranska krška područja (različite grmolike biljke i rijetka trava). Okoliš iznad špilje Modrič značajnije je modificiran i antropogenim utjecajem, najprije kroz krčenje autohtone vegetacije, a zatim kroz sadnju stabala čempresa i borova.

#### *Metodologija monitoringa špilja, uzorkovanja siga i izotopnih analiza*

U sklopu REQUENCRIM projekta monitoring je proveden s ciljevima procjene dominantnih atmosferskih utjecaja u području istraživanih speleoloških objekata, određivanja mikroklimе špilja, karakterizacije krških vodonosnika, mjerenja varijacija sastava stabilnih izotopa ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) iz oborina i prokapnice, te odabira stalagmita najprikladnijih za daljnje izotopne analize.

Za potrebe praćenja atmosferskih uvjeta u špiljama i na površini postavljeni su *Hobo*<sup>®</sup> data loggeri za viskorezolucijsko bilježenje temperature i relativne vlage zraka, podešeni za mjerenje u intervalima od 1 sata (Slika 2a). Uređaji su u špiljama postavljeni na udaljenostima od 50 m, 80 m i 170 m od ulaza (Slika 1). Vanjski uređaji postavljeni su na najprikladnijim mjestima u blizini špilja (10 m od ulaza u NG, 80 m od ulaza u LOK i 500 m od ulaza u MOD).

Mjerenje intenziteta prokapavanja provedeno je korištenjem automatskog akustičnog brojača kapljica (Drip logger *Stalagmate*<sup>®</sup>, Collister & Matthey, 2005). Postavljeno je sedam uređaja (Slika 2c) koji su bilježili vrijednosti broja kapljica u jednom satu na mjestima uzorkovanih siga (Slika 2b). Mjesečni kompozitni uzorci oborina i prokapnice prikupljeni su u plastičnim posudama (10 l i 1,5 l) na unaprijed određenim mjestima u blizini špilja (Slika 2d) odnosno na mjestima postavljanja drip loggera (Slika 2c). Također, kako bi se procijenila početna <sup>14</sup>C aktivnost kao i za provjeru ravnotežnih uvjeta taloženja, na staklenim pločicama sakupljan je i recentni kalcit (Slika 2e).



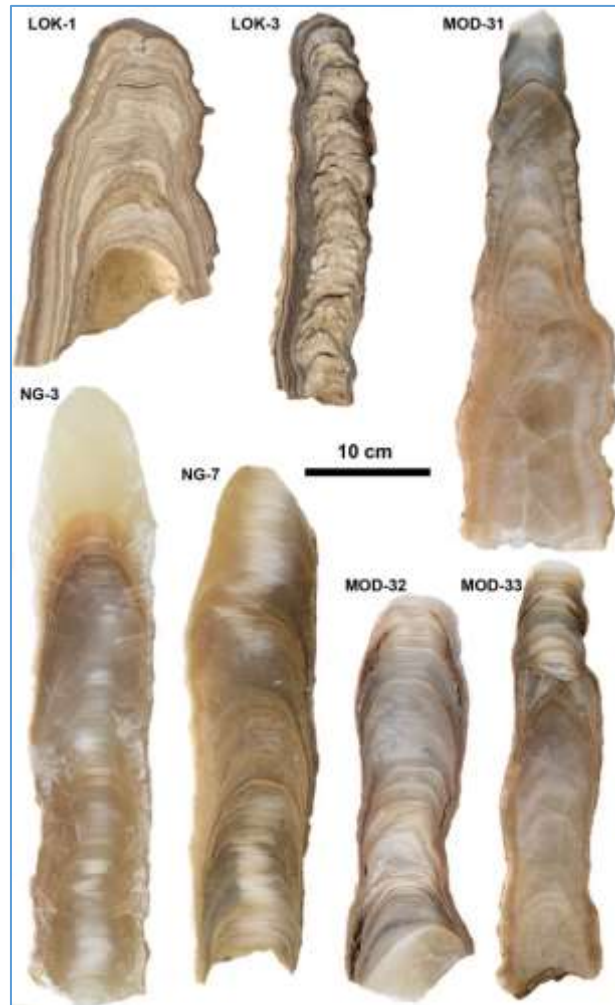
Slika 2. a) TH logger; b) aktivna siga MOD-31 koja je uzeta za analize; c) drip-logger postavljen na mjesto uzorkovane sige MOD-31; d) prikupljanje kišnice u Lokvama; e) prikupljanje recentnog kalcita u Lokvarci.

Uzorci sige izabrani za istraživanje kvartarnih paleoekoloških promjena uzeti su oprezno pomoću žičane pile, daleko od turističkih putova kako bi se smanjio estetski gubitak. Prikupljeno je sedam stalagmita (NG-3, NG-7, LOK-1, LOK-2, MOD-31, MOD-32 i MOD-33). Svi stalagmiti su uzdužno prepiljeni (Slika 3), ispolirani i pregledani kako bi se odredila njihova pogodnost za daljnje analize (određivanje starosti i varijacija omjera stabilnih izotopa visoke razlučivosti).

Analize omjera stabilnih izotopa kisika i vodika ( $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta^2\text{H}$ ) u uzorcima oborina i prokapnice provedena su u laboratoriju u School of Geography, The University of Melbourne (Australija). Napravljene su analize 211 uzoraka vode, uz upotrebu uređaja *Picarro L2120 cavity ring-down isotope analyser*. Analize su provedene na  $\approx 2$  mL poduzorka filtrirane vode korištenjem instrumenta u *high-precision* načinu rada (šest injekcija po uzorku). Uzorci izotopnih omjera normalizirani su na međunarodnu V-SMOW skalu koristeći funkciju prijenosa u četiri točke pomoću dva međunarodna (GISP2, VSMOW) i dva interna standarda (WOOLIES, LAKE).

Analize omjera stabilnih izotopa ugljika i kisika ( $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ) na 450 uzoraka kalcita sige iz Lokvarke provedene su u Geological and Geochemical Research, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences Hungarian Academy of Sciences (Mađarska) upotrebom automatiziranog uređaja za pripreme uzoraka *GASBENCH II* pričvršćenog na *Thermo Finnigan Delta Plus XP* maseni spektrometar. Izotopne varijacije ( $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ) na 910 poduzoraka iz 2 sige iz Nove Grgosove špilje, te 1160 poduzoraka iz 3 sige iz Modriča analizirane su na University of Melbourne (Australija) na *Analytical Precision AP2003 continuous-flow isotope-ratio* masenom spektrometru.

Određivanje starosti sige provedeno je na temelju analiza radioaktivnih izotopa ugljika ( $^{14}\text{C}$ ) te uranija i torija (U-Th niz) koje sige sadrže. U-Th mjerenja su izvedena na *Nu Instruments Plasma MC-ICPMS (Multi Collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)* u School of Earth Sciences, The University of Melbourne (Australija) gdje je do sada analizirano ukupno 48 poduzoraka iz sige iz Nove Grgosove i Modrič špilje koje su imale zadovoljavajuću kvalitetu i količinu U i Th. Kako bi se kronologija dodatno popravila još je 15 poduzoraka u pripremi za U-Th datiranje.



Slika 3. Uzdužni presjeci uzoraka siga iz istraživanih špilja

Zbog velikog udjela detritusa u sigama (inkorporirane čestice gline) koji kod određivanja starosti metodom U-Th uzrokuju pogrešku, uzorci siga LOK-1 i LOK-2 iz Lokvarke nisu bili pogodni za U-Th analize, te je starost određena metodom  $^{14}\text{C}$ . Priprema za datiranje ukupno 12 uzoraka je napravljena u Laboratoriju za mjerenje niskih radioaktivnosti Instituta Ruđer Bošković, dok su mjerenja na provedena na *500kV compact Pelletron AMS* u Center for Applied Isotopes Studies, University of Georgia (SAD). Osim datiranja 12 poduzoraka siga, mjerena je i  $^{14}\text{C}$  aktivnost na 3 uzorka recentnog kalcita.

#### Zahvala

Istraživanja su financirana projektom Hrvatske zaklade za znanost HRZZ-IP-2013-11-1623 **Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda – REQUENCRIM.**

#### Literatura

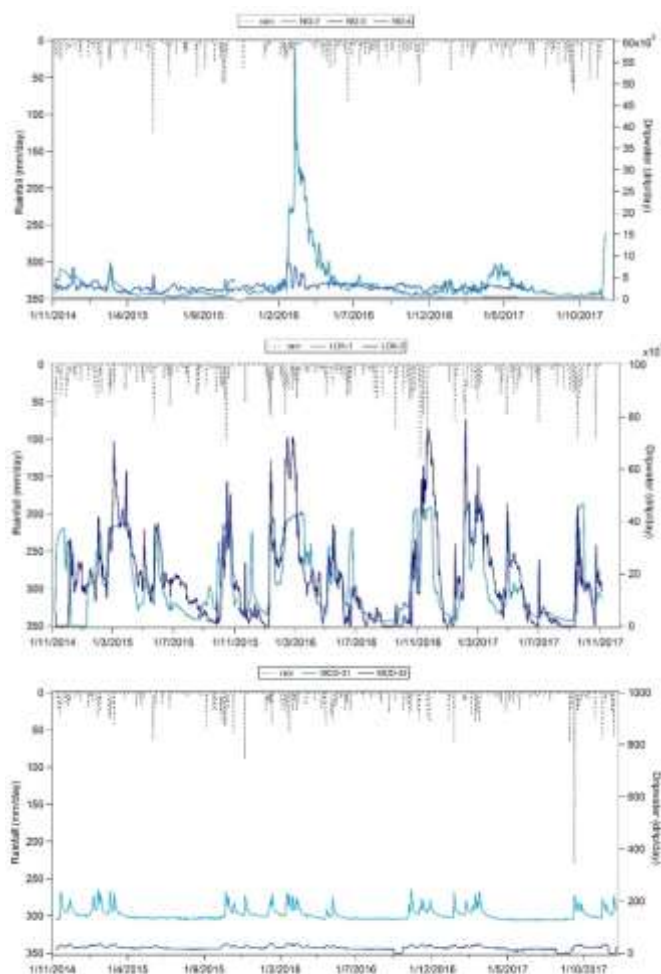
- Collister, C., Matthey, D. 2005. High resolution measurement of water drip rates in caves using an acoustic drip counter. American Geophysical Union Fall Meeting 2005. San Francisco, USA, pp. 31A-1496.
- Rudzka, D., McDermott, F., Surić, M. 2012. A late-Holocene climate record in stalagmites from Modrič Cave (Croatia). *Journal of Quaternary Science* 27, 585-596.

## Preliminarni rezultati istraživanja siga u okviru projekta REQUENCRIM

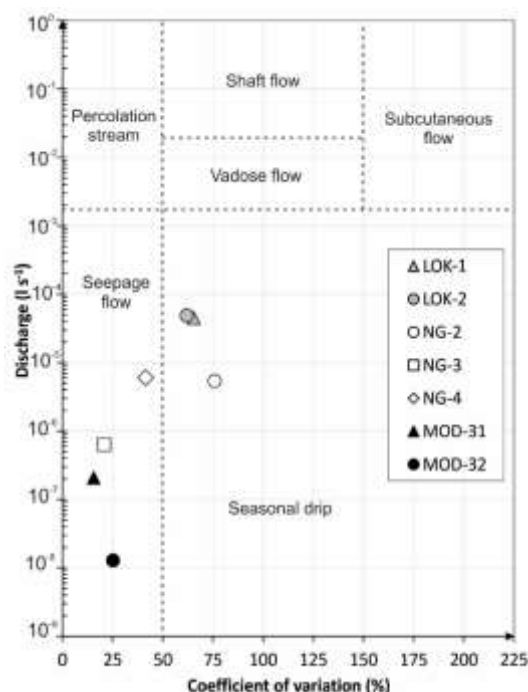
Maša Surić

Odjel za geografiju, Centar za istraživanje krša i priobalja, Sveučilište u Zadru, Zadar

Prva faza paleookolišnih istraživanja na temelju zapisa iz siga obuhvaća monitoring recentnih uvjeta taloženja siga u Novoj Grgosovoj špilji, Lokvarci i Modriču, kojim se trebala dobiti potvrda o pouzdanosti izotopnih zapisa u sigama, te otkriti dominantne recentne atmosferske utjecaje u području njihova taloženja. Ustanovljeno je da u sve tri špilje vladaju pravi špiljski uvjeti u smislu ujednačene temperature zraka (Nova Grgosova 11,2 °C, Lokvarka 7,5 °C, Modrič 16,6 °C, sa sezonskim amplitudama unutar 1 °C) i relativne vlažnosti zraka (100%) što je jedan od preduvjeta da izotopni zapis u sigama ukazuje na višegodišnje (klimatske) promjene. Intenzitet prokapavanja na mjestima gdje su uzete sige varirao je od iznimno ujednačenog (npr. 3 kapi/sat u špilji Modrič), pa do izrazito varijabilnog tj. ovisnog o intenzitetu oborina (npr. u Lokvarci) (Slika 1). Na temelju hidrogeoloških značajki vodonosnika, odnosno pojedinih mjesta prokapavanja determiniranih na temelju varijacija intenziteta i količine prokapavanja (Slika 2) mogla se već dijelom pretpostaviti unutrašnja struktura pripadajućih siga i njihova kvaliteta za daljnje analize (Surić et al., 2017).

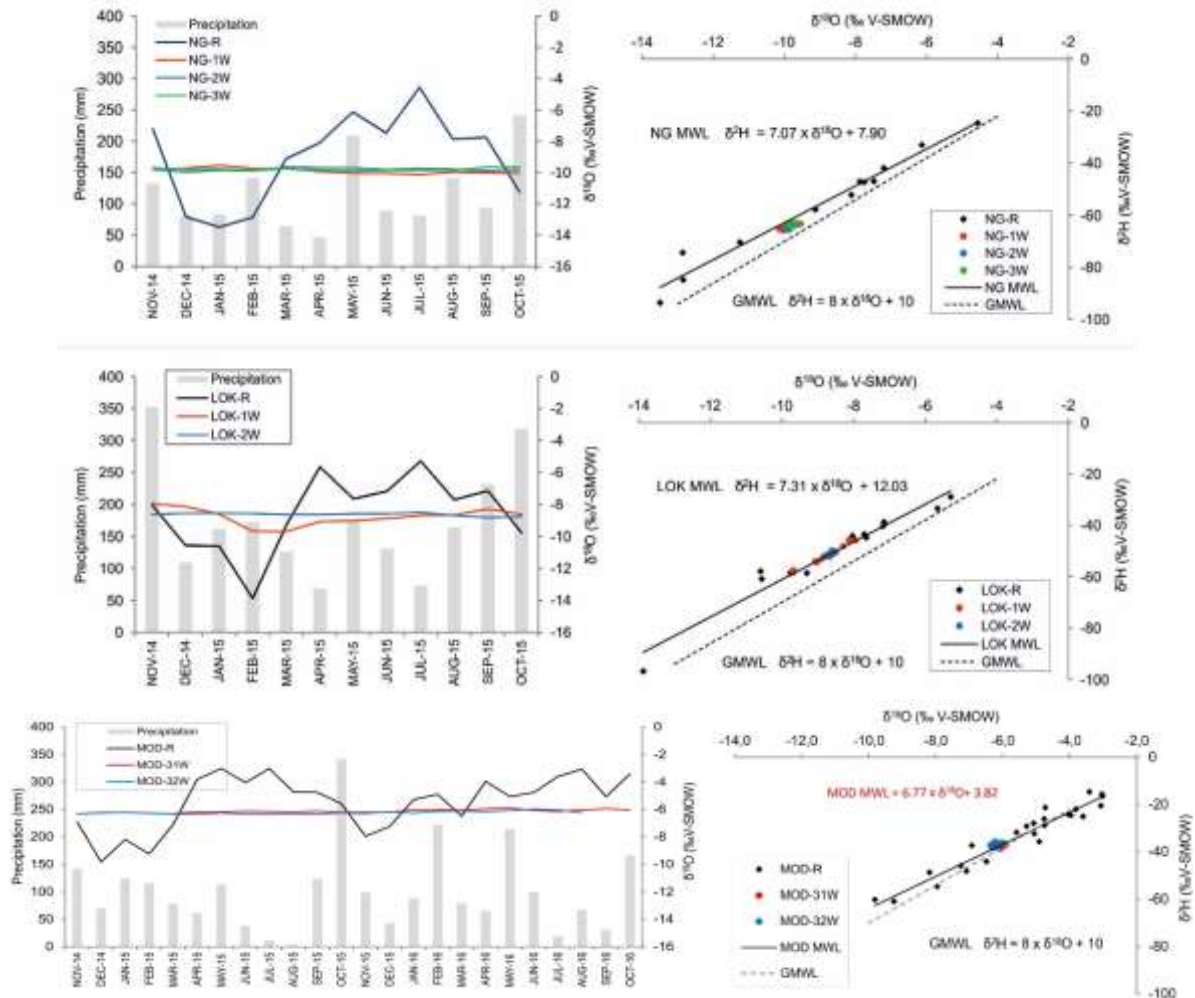


Slika 1. Intenziteti prokapavanja na mjestima uzorkovanih siga u odnosu na intenzitet oborina



Slika 2. Klasifikacija tipova prokapavanja

Izotopni sastav vode prokapsnice ( $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ), na svim mjestima prokapsavanja (osim djelomično na LOK-1), je izrazito stabilan, odnosno prokapsnica je dobro homogenizirana bez izraženih sezonskih varijacija (Slika 3), što također ide u prilog činjenici da će varijacija izotopnih zapisa u sigama odražavati višegodišnje okolišne promjene. Usporedbom lokalnih linija meteorske vode i d-suviška utvrđeno je da se na sve tri lokacije miješaju atlantski i sredozemni utjecaji.



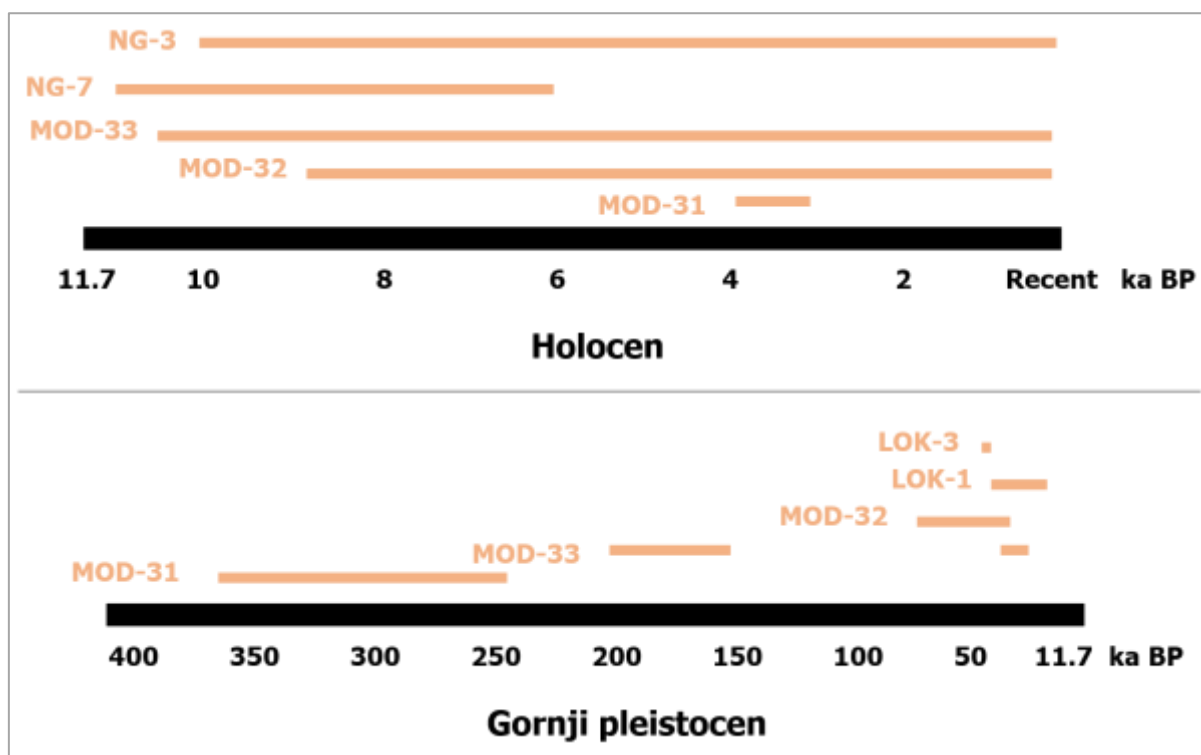
Slika 3. Mjesečne varijacije izotopnog sastava ( $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ) kišnice i prokapsnica, te usporedba lokalnih s globalnom linijom meteorske vode (GMWL)

Drugi i glavni dio ovih istraživanja obuhvatio je analizu izotopnih signala zabilježenih u varijacijama izotopnog sastava ( $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ) apsolutno datiranih sigi. Preliminarni rezultati mjerenja starosti sigi daju raspon od MIS 10 pa do sadašnjosti (Slika 4) s većom količinom podataka iz holocena jer su ciljano bile uzimane aktivne sigi.

Objekte sigi iz Nove Grgosove špilje (NG-3 i NG-7) su u potpunosti holocenske starosti te je izotopni zapis očekivano nešto manje varijabilnosti. Međutim, s obzirom na vrlo homogenu teksturu kalcita bez prisutnih hijatusa što je posljedica ujednačenog dotoka otopine, i taloženja u uvjetima izotopne ravnoteže što je potvrđeno Hendy testom i analizom recentnog kalcita, pokušat će se detaljnije rekonstruirati paleoklimatski signali od prije 8,2 ka i 4,2 ka koji su zabilježeni u mnogim holocenskim sigama (e.g. Drysdale et al., 2006; Zanchetta et al., 2016; Lončar et al., 2017). Iako kratkog vremenskog raspona, petrografija, kvaliteta sigovine i koncentracija U i Th čine ove stalagmite najboljima od svih uzorkovanih sigi.

Sige iz Lokvarke (LOK-1 i LOK-3), su nažalost bile najlošije kvalitete zbog neujednačenog prihranjivanja ovisnog o promjenjivom intenzitetu oborina (*fracture flow*). Takvi pukotinski otvori omogućuju prolazak i glinovitog detritusa koji inkorporacijom u sigama onemogućuje datiranje U-Th metodom. Metodom  $^{14}\text{C}$  ipak su određeni intervali rasta siga, no zbog blizine limita metode (47,8-45,6 ka) i izrazito heterogenog teksture, uzorak LOK-3 izuzet je iz daljnjih analiza. Na stalagmitu LOK-1 taloženom od prije 42,7 ka do prije 12,9 ka osim izotopnog profila napraviti će se i analize fluidnih inkluzija.

Sige iz špilje Modrič (MOD-31, MOD-32, MOD-33) obuhvaćaju najdulje vremenske intervale od prije 365 ka BP do sadašnjosti (Slika 4). Velike amplitude  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\approx 11\%$ ) i  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\approx 5\%$ ) upućuju da su zabilježene značajne promjene temperature, količine oborina, vegetacijskog pokrova i sl., a njihova točna geokronološka determinacija bit će moguća nakon dodatnih U-Th datacija koje su u tijeku. Istodobni rast pojedinih dijelova različitih siga dat će uvid u eventualnu replikaciju izotopnog signala koja bi dodatno potvrdila ravnotežne taložne uvjete pretpostavljene već Hendy testovima.



Slika 4. Vremenski raspon kojeg pokrivaju analizirane sige

Tijekom cijelog trajanja projekta susretali smo se s različitim zaprekama ili problemima od kojih su se neki mogli očekivati kao što su npr. sušna razdoblja ili događaji s iznimno visokim intenzitetom oborina (npr. 11. rujna 2017. u Starigradu i Zadru), prekidi rada instrumenata zbog potrošenih baterija, jednostavno pucanje opreme zbog izloženosti atmosferilijama i sl. (Surić, 2017). Drugi vid zapreka je bio objektivne prirode jer su analize rađene u laboratorijima u kojima je često bilo potrebno „čekati red“ na dostupnost instrumenta, te se neprekidno kasnilo s predviđenim planom. Međutim, bilo je i neočekivanih situacija poput te kad je u nekoliko navrata životinja (vjerojatno kuna) razbacivala opremu u špilji Modrič, odnosno kad je australska carinska služba u karanteni procijenila biološku opasnost te ozračila uzorke vode i narušila inicijalni izotopni sastav. Unatoč svemu, rezultati su u najvećoj mjeri zadovoljavajući i bit će značajan prilog rekonstrukciji kvartarnog okoliša u Hrvatskoj, ali i na regionalnoj i globalnoj razini.



## Zahvala

Istraživanja su financirana projektom Hrvatske zaklade za znanost HRZZ-IP-2013-11-1623 **Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda** (*Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods*) – REQUENCRIM, 2014 – 2018.

## Literatura

- Drysdale R.N., Zanchetta G., Hellstrom J., Maas R., Fallick A.E., Pickett M., Cartwright I., Piccini L. 2006. Late Holocene drought responsible 10 for the collapse of Old World civilizations is recorded in an Italian cave flowstone. *Geology*, 34, 101-104.
- Lončar N., Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Surić, M., Faivre, S. 2017. Early and mid-Holocene environmental conditions in the eastern Adriatic recorded in speleothems from Mala špilja Cave and Velika špilja cave (Mljet island, Croatia). *Acta carsologica*. 46, 2/3; 229-249.
- Surić, M. 2017. Challenges in cave monitoring and sampling – experiences from speleothem-based researches in Croatian caves. *Acta carsologica* 46, 2/3, 217-227.
- Surić, M., Lončarić, R., Bočić, N., Lončar, N., Buzjak, N. 2017. Monitoring of selected caves as a prerequisite for the speleothem-based reconstruction of the Quaternary environment in Croatia. *Quaternary International*. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.042>
- Zanchetta G., Regattieri E., Isola I., Drysdale R.N., Bini M., Baneschi I., Hellstrom J.C., 2016. The so-called “4.2 event” in the central Mediterranean and its climatic teleconnections. *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 29, 1, 5-17.

## Algni vijenci kao markeri relativne promjene morske razine i klimatskih promjena tijekom kasnog holocena duž istočne obale Jadrana

Sanja Faivre<sup>1</sup>, Tatjana Bakran-Petricioli<sup>2</sup>, Jadranka Barešić<sup>3</sup>, Damir Borković<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb

<sup>3</sup>Institut Ruđer Bošković, Zagreb

Najveći broj istraživanja paleo-morske razine kako u Svijetu tako i duž istočne obale Jadrana odnose se na razdoblje kasnog holocena. Za istraživanje relativne morske razine tijekom posljednjih 2000 godina koriste se i kombiniraju različiti markeri (geomorfološki, sedimentološki, biološki, arheološki i povijesni izvori) koji su do sada korišteni i u istraživanjima duž istočne obale Jadrana (npr. Fouache i dr., 2000; Faivre i Fouache, 2003; Antonioli i dr. 2004; Benac i dr., 2004; Faivre i dr., 2010, 2011, 2013; Faivre i Butorac, u tisku).

Izvan tropskog pojasa najznačajniji graditelji biokonstrukcija su koralinske alge koje pripadaju crvenim algama, a karakterizira ih tvrdi talus ojačan vapnenačkim naslagama unutar staničnih stjenki. Rasprostranjene su na stjenovitim obalama cijelog svijeta. Pod povoljnijim uvjetima alga *Lithophyllum byssoides* gradi algne vijence upravo u zoni biološke srednje razine mora koji se mogu datirati metodom <sup>14</sup>C. Algni vijenci uglavnom se istražuju u Mediteranu (Laborel, 1986) i pokazali su se dobrim indikatorom nekadašnje morske razine duž mikroklimnih obala (Laborel i dr., 1994, Laborel i Laborel-Deguen, 1996; Faivre i dr., 2013), jer alge mogu živjeti samo u zoni plime i oseke. To je ujedno najviša biogena konstrukcija na Mediteranu (Rovere i dr., 2015). Istraživanje bioloških markera morske razine duž istočne obale Jadrana počelo je relativno nedavno (Faivre i dr., 2010, 2013) s ciljem dobivanja preciznijih rezultata za analizu i usporedbu različitih pokazatelja morske razine.

Potencijal algnih biokonstrukcija danas je nedovoljno iskorišten zbog ne razriješenog pitanja morskog rezervoar efekta (MRE), ili efekta spremnika, potrebnog za točnu kalibraciju rezultata dobivenih <sup>14</sup>C analizom karbonata morskog podrijetla. Osim toga budući da alga živi u zoni plime i oseke, tj. da je potopljena tijekom plime, a izložena atmosferskim uvjetima za vrijeme oseke postavlja se pitanje koji ugljik koristi alga *L. byssoides* i pitanje visine morskog rezervoar efekta. Stoga je veliki dio ovog projekta bio posvećen upravo razrješavanju pitanja morskog rezervoar efekta u Jadranu (Faivre i dr., 2015).

Iako su istraživanja varijabilnosti MRE sve češća ima jako malo podataka za Jadran. Prva istraživanja MRE načinjena su na 6 uzorka infralitoralnih organizama iz pre-bomb razdoblja, (Siani i dr., 2000; Reimer i McCormac, 2002), dakle organizmi koji su izvađeni iz mora prije termonuklearnih pokusa. Rezervoar tih uzoraka varira od 242 - 487 <sup>14</sup>C god.

Za određivanje MRE prvenstveno se koriste školjkaši, dok se o MRE algi vrlo malo zna. Budući da u muzejima u Hrvatskoj ne postoje uzorci alge *Lithophyllum byssoidesa* iz Jadrana iz razdoblja prije 1950. analizirane su najprije druge vrste alga (*Corallina officinalis* i *Jania rubens*) i školjkaši koje često nalazimo u algnim biokonstrukcijama. Rezultati <sup>14</sup>C starosti i MRE morskih organizama pokazuju veliki raspon <sup>14</sup>C starosti i rezervoara od 51 ± 26 do 869 ± 53 god <sup>14</sup>C (Faivre i dr., 2015). Rezervoari analiziranih pre-bomb ljuštura školjkaša i algi iz Jadranskog mora bitno se razlikuju, iako i školjke i alge nastanjuju čvrste podloge, od mediolitoralne zone do plitkog mora, i jedni i drugi koriste C iz morske vode iz DIC-a, alge kao primarni proizvođači, a školjkaši (dagnje) kao selektivni primarni potrošači.

S obzirom na dobivene rezultate istraživanja (veliku varijabilnost MRE) nastavili smo pretraživanje muzejskih zbirki u Europi (u potrazi za algom *L. byssoides*) te uspjeli dobiti i analizirati ukupno 8 uzoraka iz Mediterana i jedan uzorak iz Atlantika. Načinjene analize  $^{14}\text{C}$  uzoraka poznate starosti dale su direktne dokaze o rezervoaru alge *L. byssoides* koji prosječno iznosi  $R(t)$   $336 \pm 47$   $^{14}\text{C}$  god i  $\Delta R$   $-28 \pm 41$   $^{14}\text{C}$  god. za karbonatne frakcije. Dobivene vrijednosti MRE znatno su homogenije i generalno su niže u odnosu na vrijednosti rezervoara školjki iz Mediterana u istom razdoblju koji iznosi  $437 \pm 115$   $^{14}\text{C}$  god,  $\Delta R$   $100 \pm 99$   $^{14}\text{C}$  god. Iako je rezervoar algi niži od rezervoara školjkaša razlika nije statistički značajna budući da se rezultati preklapaju unutar  $1\sigma$  zbog velike varijabilnosti MRE kod školjkaša.

U šest od devet uzoraka *L. byssoides* uočena je značajna razlika između rezervoara karbonatnih i organskih frakcija jer je MRE organskih frakcija znatno veći.  $\delta^{13}\text{C}$  organskih frakcija alge *L. byssoides* varira od 13.4‰ do -18.7‰ VPDB što znači da su vrijednosti relativno homogene unutar vrste. Dobivene  $\delta^{13}\text{C}$  vrijednosti ne pokazuju nedvojbeno koji ugljik alge koriste ali nešto niže vrijednosti rezervoara  $R(t)$  karbonatnih frakcija *L. byssoides* u odnosu na MRE školjkaša u Mediteranu može upućivati na parcijalno korištenje ugljika iz atmosfere do cca 20 % no to za sada nije moguće statistički potvrditi. Homogene vrijednosti *L. byssoides*  $\delta^{13}\text{C}$  upućuju na vrlo oštro razgraničene uvjete okoliša mediolitoralne zone u kojoj alga raste. Naš rad ujedno naglašava važnost pažljivo popisanih i očuvanih muzejskih zbirki za suvremena istraživanja u prirodnim znanostima (Bakran-Petricioli i dr. 2014).

Kod istraživanja paleookoliša (globalnih promjena u okolišu) precizno određivanje starosti uzoraka od iznimne je važnosti. Sve veći interes za predviđanjem relativnih promjena morske razine i za utvrđivanjem uzroka tih promjena (Milne i dr., 2009) zahtijeva dobro poznavanje prošlosti jer samo dobro poznavanje i razumijevanje promjena u prošlosti omogućuje i realno predviđanje budućih promjena. Kada je razdoblje istraživanja kratko, kao što je to u našem slučaju (2000 god.) tada je preciznost još važnija.

U okviru projekta *Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods* nadalje, istraživanja relativne morske razine načinjena su na području Istre. Analizirane su četiri algne strukture na tri lokacije, dvije strukture na području južne Istre i dvije na području istočne istarske obale. U odnosu na algne vijence u Mediteranu čija širina maksimalno doseže i 2 m, ili one na području Srednjeg Jadrana gdje dosežu 1,8 m (Favre i dr., 2013) aljni vijenci na području Istre znatno su manjih dimenzija.

Na terenu je obavljeno kartiranje i uzorkovanje vijenaca. Dubine su korigirane na srednju morsku razinu. Datirano je ukupno 47 uzoraka algi i ljuštura školjkaša iz algnih biokonstrukcija s različitim dubina. Dobiveni su rezultati korigirani za lokalni rezervoar efekt. Time se je greška vezana za starost uzoraka značajno smanjila i omogućila izradu precizne krivulje relativne morske razine za razdoblje od 1500 godina na području Istre. Vertikalna greška iznosi  $\pm 10$  cm, što je u odnosu na druge dostupne markere gotovo zanemarivo.

Dobiveni podaci omogućuju distinkciju četiriju osnovnih faza promjena morske razine koje možemo povezati s fazama brzih klimatskih promjena. Tijekom ranog srednjeg vijeka morska razina bila je stabilna, potom je došlo do ubrzanog rasta morske razine tijekom toplog srednjeg vijeka. Na prijelazu u malo ledeno doba vidljiva je velika fluktuacija temperature i stabilizacija relativne morske razine, dok u drugom dijelu malog ledenog doba alge ne rastu što upućuje na vjerojatni pad relativne razine mora. U industrijskom razdoblju ponovo dolazi do rasta relativne morske razine. Korelacija između globalnih klimatskih faza i  $\delta^{18}\text{O}$  alga jasno pokazuje da klimatske promjene na sjevernom Jadraniu odgovaraju globalnim promjenama te da su aljni vijenci jako dobri indikatori paleookoliša jer omogućuju rekonstrukciju paleoklime i paleo morske razine. Dobiveni su rezultati potom povezani s drugim indikatorima promjena morske razine.

## Zahvale

Ova su istraživanja načinjena u okviru projekta *Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods* – REQUENCRIM – HRZZ-IP-11-2013-1623 uz dodatno sufinanciranje iz Potpora Sveučilišta u Zagrebu tijekom 2014., 2015. i 2016. godine.

Želimo zahvaliti i Prirodoslovnim muzejima u Rijeci i Zagrebu, Narodnom muzeju u Zadru, Prirodoslovnom muzeju i zoološkom vrtu u Splitu kao i Prirodoslovnim muzejima u Parizu i Beču te Sveučilištu u Hamburgu što su nam ustupili uzorke bez kojih dijelove ovog istraživanja ne bi bilo moguće napraviti.

Također želimo zahvaliti Donatu Petriciolu na pomoći tijekom uzorkovanja na području Premanture.

## Literatura

- Antonioli, F., Carulli, G.B., Furlani, S., Auriemma, R., Marocco, R., 2004. The enigma of the submerged marine notches in the northern Adriatic sea. *Quat. Nova* 8, 263-275.
- Bakran-Petricioli, T., Faivre, S., Barešić, J., Horvatinčić, N., 2014. Važnost muzejskih zbirki u prirodoslovnim istraživanjima, Knjiga sažetaka III. kongresa muzealaca Hrvatske s međunarodnim sudjelovanjem, Arko-Pijevac, M., Latinović, S., (ur) Zagreb: Hrvatsko muzejsko društvo, 39.
- Benac, Č., Juračić, M., Bakran-Petricioli, T., 2004. Submerged tidal notches in the Rijeka Bay NE Adriatic Sea: indicators of relative sea-level change and of recent tectonic movements. *Mar. Geol.* 212, 21-33.
- Faivre, S., Fouache, E., 2003. Some tectonic influences on the Croatian shoreline evolution in the last 2000 years. *Z. Geomorph. N.F.* 47, 4, 521-537.
- Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Horvatinčić, N., 2010. Relative Sea-Level Change during the Late Holocene on the Island of Vis (Croatia) – Issa harbour archaeological site, *Geodynamica Acta*, 23/5-6, 209-223.
- Faivre, S., Fouache, E., Ghilardi, M., Antonioli, F., Furlani, S., Kovačić, V. 2011. Relative sea level change in Istria (Croatia) during the last millenia, *Quaternary International* 232, 132-143.
- Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Horvatinčić, N., Sironić, A., 2013. Distinct phases of relative sea level changes in the central Adriatic during the last 1500 years – influence of climatic variations?, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369, 163-174.
- Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J., Horvatinčić, N., 2015. New data on the marine radiocarbon reservoir effect in the Eastern Adriatic based on pre-bomb marine organisms from the intertidal zone and shallow sea. *Radiocarbon*, Vol 57, 4, 527–538.
- Faivre, S., Butorac, V., 2018. Recently submerged tidal notches in the wider Makarska area (Central Adriatic, Croatia), *Quaternary International*, *Quaternary of Croatia*, in press
- Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J., Morhange, C., Borković, D., Marine radiocarbon reservoir age of the coralline intertidal alga *Lithophyllum byssoides* in the Mediterranean, submitted.
- Fouache, E., Faivre, S., Dufaure, J.-J., Kovačić, V., Tassaux, F., 2000. New observations on the evolution of the Croatian shoreline between Poreč and Zadar over the past 2000 years, *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.122*, 33-46.
- Laborel, J., Laborel-Deguen, F., 1994. Biological indicators of relative sea-level variations and co-seismic displacements in the Mediterranean region. *J. Coast. Res.* 10 (2), 395-415.
- Laborel, J., Laborel-Deguen, F. 1996. Biological indicators of Holocene sea-level and climatic variations on rocky coasts of tropical and subtropical regions. *Quaternary International* 31, 53–60.
- Laborel, J. 1986. Vermetid Gastropods as Sea-level Indicators. In: van de Plassche, O. (Ed.), *Sea-Level Research: A Manual for the Collection and Evaluation of Data*. Geo Books, Norwich, Amsterdam, pp. 281–310.
- Milne, G.A., Gherels, W.R., Hughes, C.W., Tamisiea, M.E. 2009. Identifying the causes of sea-level change. *Nature Geoscience* 2, 471-478.
- Reimer, P.J., McCormac, F.G. 2002. Marine radiocarbon reservoir corrections for the Mediterranean and Aegean seas. *Radiocarbon* 44(1), 159–66.
- Rovere, A., Antonioli, F., Bianchi, C.N. 2015. Fixed biological indicators. *Handbook of Sea-level Research*, eds Shennan I, Long AJ, Horton BP (Wiley, 2015) pp. 268-280.
- Siani G, Paterne M, Arnold M, Bard E, Metivier B, Tisnérat N, Bassinot F. 2000. Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon* 42(2), 271–80.

## Praćenje stanja algnih vijenaca u Hrvatskoj

Tatjana Bakran-Petricioli<sup>1</sup>, Sanja Faivre<sup>2</sup> i Donat Petricioli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

<sup>2</sup>Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu,  
Zagreb

<sup>3</sup>D.I.I.V. d.o.o. za ekologiju mora, voda i podzemlja, Obala Petra Lorinija 52,  
23281 Sali

Algni vijenci koje gradi koralinska alga *Lithophyllum byssoides* u mediolitoralu predstavljaju važan marker relativne promjene razine mora. Naše nedavno započeto istraživanje paleo-okoliša i paleo-klime na algnim vijencima duž istočne obale Jadrana korištenjem izotopnih metoda pokazalo je da se morfologija algnih vijenaca može povezati s određenim periodima klimatskih promjena tijekom zadnja dva tisućljeća. U okviru istraživačkog projekta Hrvatske zaklade za znanost br. HRZZ-IP-11-2013-1623 Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda (REQUENCRIM) fokusirali smo se na istraživanje algnih vijenaca s ciljem da utvrdimo kronologiju relativnih promjena razine mora duž hrvatske obale te povezanost morfoloških struktura, klimatskih promjena i promjena razine mora u kasnom holocenu. Istražujući mogući utjecaj klimatskih promjena, povećanja temperature i razine mora na žive alge *Lithophyllum byssoides* započeli smo praćenje stanja postojećih algnih vijenaca na dvije lokacije duž hrvatske obale (otoku Visu i na Dugom otoku). Bilježili smo trenutno stanje živih talusa alge (živ, djelomice erodiran, potpuno erodiran/ne postojeći) dva puta godišnje (tijekom ljeta i zime). U kontekstu projekta rezultati su jasno pokazali povezanost porasta razine mora/temperature mora i promjena u morfologiji algnog vijenca. U prezentaciji će biti prikazane i prodiskutirane metode korištene u procjeni stanja praćenih živih talusa kao i izazovi s kojima smo se suočili u ovom istraživanju. Naše je istraživanje pokazalo da iako alga raste ona danas ne gradi vijence što se može povezati s trenutnim bržim porastom razine mora. Postojeći algni vijenci danas su pod značajnim utjecajem biodegradacije i deterioracije.

### Zahvala

Istraživanja su financirana projektom Hrvatske zaklade za znanost HRZZ-IP-2013-11-1623 **Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda** (*Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods*) – REQUENCRIM, 2014 – 2018.

## Algal rims monitoring in Croatia

Tatjana Bakran-Petricioli<sup>1</sup>, Sanja Faivre<sup>2</sup>, Donat Petricioli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zagreb

<sup>2</sup>Department of Geography, Faculty of Science, University of Zagreb, Zagreb

<sup>3</sup>D.I.I.V. Ltd., for Marine, Freshwater and Subterranean Ecology, Obala Petra Lorinija 52, HR-23281 Sali, Croatia

Intertidal algal rims build by coralline alga *Lithophyllum byssoides* represent an important marker for relative sea-level change. Our recently started palaeoenvironment and palaeoclimate research on algal rims along the eastern Adriatic coast using isotope methods showed that algal rims morphology could be related to the distinguished periods of climate changes during last two millennia. In the framework of the Croatian Science Foundation research project no. HRZZ-IP-11-2013-1623 Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods (REQUENCRIM) we focus on research of algal rims in order to establish the chronology of relative sea level changes along the Croatian coast and the link between the morphological structure, climate change and sea level change for the late Holocene. To explore the potential effects of climate change, raising temperature and sea level on living *Lithophyllum byssoides* we started monitoring of existing algal rims on two locations along the Croatian coast (on Vis Island and on Dugi otok Island). In order to record the present state of alga living *thalli* (living, partly eroded, completely eroded/non-existing) the monitoring has been performed twice a year (during summer and winter). In the context of the project results clearly show the relationship between the increased sea level rise/sea temperature rise and the changes of algal rim morphology. The methods used for the assessment of the prospected living *thalli*, as well as challenges we faced will be explained and discussed in the presentation. Our research showed that although the alga grows today, it does not form rims at this time and that could be connected to recent faster sea level rise. The existing algal rims are today subjected to considerable biodegradation and deterioration.

### Acknowledgement

The work was funded by the project HRZZ-IP-11-2013-1623, *Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods (REQUENCRIM)*, Croatian Science Foundation.

## Sedre sa Zrmanje i Krupe kao arhivi promjena u paleookolišu

Jadranka Barešić

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

Sekundarni karbonati poput jezerskog sedimenta i siga priznati su kao paleookolišni arhivi zahvaljujući njihovom polaganom taloženju u uvjetima izotopne ravnoteže (Demeny i dr. 2017, Rudzka i dr. 2012, Drysdale i dr. 2005). Sedra, koja je također sekundarni karbonat, ima potencijala u paleoistraživanjima, ali zbog uglavnom neravnotežnog taloženja karbonata, brzog i nejednolikog rasta u raznim i često teško uočljivim smjerovima, te inkorporiranja detritičnog materijala, manje je istražena i upotrebljavana (Blyth i dr. 2017) u istraživanju paleookoliša. Obzirom da je u određenim područjima sedra jedini dostupni materijal koji može poslužiti u istraživanjima paleookoliša, tijekom duljeg niza godina pokušavalo se utvrditi pravilnosti u nastajanju sedrenih naslaga i obrazložiti rezultate dobivene datiranjem metodama  $^{14}\text{C}$  i U-Th, te određivanjem sastava stabilnih izotopa ( $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ) (Pazdur i dr. 1999, Horvatinčić i dr. 2003). Zbog brzog i nepravilnog rasta sedre, rezultati datiranja metodom  $^{14}\text{C}$  često nisu pouzdani što je slučaj sa starijim (pleistocenskim) naslagama zbog čega se stare sedre datiraju metodom U-Th, ali i u ovom slučaju treba biti oprezan. Naime, sedra koja nije kompaktna sadrži značajnu količinu detritičnog materijala koji je kontaminiran torijem. Kod ovakvih uzoraka, kao jedna od pouzdanih metoda datiranja uzoraka gornjeg pleistocena predloženo je datiranje organskog dijela uzoraka sedre metodom  $^{14}\text{C}$  kao jedinog pouzdanog materijala u sedri (Blyth i dr. 2017, Brook i dr. 2011).

Sedra je široko rasprostranjena u dinarskim krškim rijekama i jezerima Hrvatske, a u ovom radu prikazano je istraživanje sedre na Zrmanji i Krupi s posebnim naglaskom na nalazište starije sedre u kanjonu rijeke Zrmanje kod sela Sanaderi.

Zrmanja je duga 69 km, a istraživana je od njenog izvora do grada Obrovca u kojem je voda rijeke u znatnoj mjeri bočata zbog blizine Jadranskog mora u koje Zrmanja utječe (udaljenost Obrovca od mora iznosi 10 km). Istraživanjem je obuhvaćena i rijeka Krupa, pritok Zrmanje, koja je duga svega 8 km, ali izrazito bogata vodom. Obje rijeke karakteriziraju sedrene barijere nastale taloženjem autigenog kalcita koje su i dalje aktivne što su potvrdili rezultati provedenih fizikalno kemijskih analiza voda. Vode su uzorkovane na 9 lokacija na rijeci Zrmanji, te 3 lokacije na Krupi, uključujući mjesto utoka Krupe u Zrmanju.

Izmjerene vrijednosti temperature, pH i koncentracije bikarbonata i kalcija pokazale su da su uvjeti za nastajanje sedre zadovoljeni na svim lokalitetima ( $I_{\text{SAT}}$ , indeks zasićenja kalcijevim karbonatom  $\approx 5$ ) osim na izvorima ( $I_{\text{SAT}} < 1$ ).  $^{14}\text{C}$  aktivnosti određene u otopljenom anorganskom ugljiku (*dissolved inorganic carbon, DIC*,  $a^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ ) pokazale su porast u rijeci Zrmanji u nizvodnom toku od  $a^{14}\text{C}_{\text{DIC}} \approx 78$  pMC (izvor rijeke Zrmanje) do  $\approx 90$  pMC (Berberov buk).  $\delta^{13}\text{C}$  vrijednosti ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ) su uglavnom ujednačene u nizvodnom toku (između  $-12,8$  i  $-11,4$  ‰). Na Krupi nije uočen porast  $a^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$  i iznosi  $\approx 88$  pMC u cijelom toku, dok  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  ima blagi porast nizvodno (od  $-14,2$  do  $-13,3$  ‰).

$^{14}\text{C}$  datiranja naslaga starih sedri pronađenih u kanjonima na lokacijama Gazin kuk, Vratolom kod Ogarovog buka, otočić kod Berberovog buka (Zrmanja) i kod Manastira na Krupi pokazala su da se najvećim dijelom radi o holocenskim sedrama što su pokazala i ranija istraživanja (Horvatinčić i dr. 2003). Međutim, na lokalitetu u selu Sanaderi pronađeni su uzorci sedre na raznim visinama u kanjonu iznad Zrmanje, a izmjerene  $a^{14}\text{C}$  su pokazale raspon starosti od recentnih i holocenskih sedri nađenih uz samu rijeku do uzoraka starih 30000 do 40000 godina pronađenih na vrhu kanjona (oko 20 m iznad nivoa rijeke). Od ukupno 7 uzoraka stare sedre za koje su rezultati datiranja metodom  $^{14}\text{C}$  upitni, samo dva uzorka su djelovala prikladno za datiranje metodom U-Th kojom su izmjerene

starosti od oko 130 000 godina. Obzirom na sumnju kontaminacije detritičnim torijem pristupilo se  $^{14}\text{C}$  datiranju organskih ostataka sedri, a najveća izmjerena starost iznosila je oko 18000 godina. Usporedba starosti dobivenih datiranjem organskog dijela sedri  $^{14}\text{C}$  metodom i izotopnog sastava kisika u karbonatu ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ukazala je na mogućnost rasta sedre i u glacijalnom MIS2 razdoblju u ovom dijelu Hrvatske.

## Zahvala

Rad je ostvaren u okviru Projekta Hrvatske zaklade za znanost HRZZ-IP-2013-11-1623 **Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda** (*Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods*) – REQUENCRIM, 2014 – 2018.

U istraživanju su sudjelovali Nada Horvatinčić, Sanja Faivre, Nenad Buzjak, Iva Vevec, Ines Krajcar Bronić, Andreja Sironić, Damir Borković, Petra Bajo i Russell Drysdale.

## Literatura

- Blyth, A. J., Hua, Q., Smith, A., Frisia, S, Borsato, A. 2017. Exploring the dating of „dirty“ speleothems and cave sinters using radiocarbon dating of preserved organic matter. *Quaternary Geochronology* 39: 92-98.
- Brook, G.A., Railsback, L.B., Marais, E. 2011. Reassessment of carbonate ages by dating both carbonate and organic material from an Etosha Pan (Namibia) stromatolite: evidence of humid phases during the last 20 ka. *Quat. Int.* 229: 24-37.
- Demeny, A., Kern, Z., Czuppon, G., Nemeth, A., Leel-Ossy, S., Siklosy, Z, Lin, K., Hu, H., Shen, C., Vennemann, T.W., Haszpra, L. 2017. Stable isotope compositions of speleothems from the last interglacial - Spatial patterns of climate fluctuations in Europe. *Quaternary Science Reviews* 161: 68-80.
- Drysdale, R.N., Zanchetta, G., Hellstrom, J.C., Fallick, A.E., Zhao, J. 2005. Stalagmite evidence for the onset of the Last Interglacial in southern Europe at  $129 \pm 1$  ka. *Geophys. Res. Lett.* 32: L24708.
- Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I., Obelić, B. 2003. Differences in the  $^{14}\text{C}$  age,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of Holocene tufa and speleothem in the Dinaric karst. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193(1):139–157.
- Pazdur, A., Goslar, T., Pawlyta, M., Hercman, H., Gradzinski, M. 1999. Variations of isotopic composition of carbon in the karst environment from Southern Poland, present and past. *Radiocarbon* 41/1: 81-97.
- Rudzka, D., McDermott, g., Surić, M. 2012. A late Holocene climate record in stalagmites from Modrič Cave (Croatia). *Journal of Quaternary Science* 27(6): 585–596.



## **Evolucija fosilne sedrene barijere Gazin kuk u rijeci Zrmanji (Hrvatska)**

**Iva Veverec<sup>1,2</sup>, Sanja Faivre<sup>2</sup>, Jadranka Barešić<sup>3</sup>, Nenad Buzjak<sup>2</sup>,  
Nada Horvatinčić<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Osnovna škola Jelkovec, Sesvete

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb

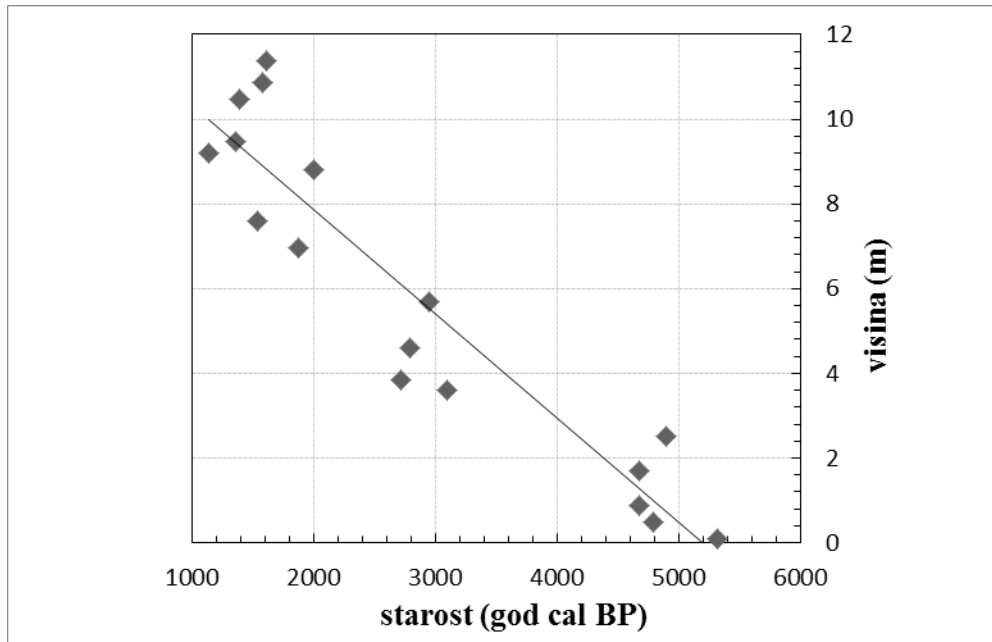
<sup>3</sup>Institut Ruđer Bošković, Zagreb

Zrmanja i njezina najveća pritoka Krupa su fluviokrške rijeke Dinarskoga krša u kojima se taloži sedra. Na njezin nastanak i geomorfološka obilježja utječu brojni čimbenici, poput klime, tektonike, hidrologije, fizikalno-kemijskih svojstava vode, izmjena CO<sub>2</sub> te prisutnost živih organizama. Karbonatna podloga te povoljna klima uz hidrodinamiku može utjecati na razvoj i brzinu taloženja te oblikovati različite geomorfološke tipove sedrenih naslaga. Među njima, važniji fluviokrški reljefni oblici su sedrene barijere koje nastaju kao rezultat taloženja kalcijevog karbonata. One omogućuju rekonstrukciju paleoklime i paleookoliša, zbog čega područje rijeke Zrmanje i Krupe predstavlja izvrstan potencijal za takva istraživanja. U ovome radu prikazani su rezultati datiranja fosilne sedre na barijeri Gazin kuk u rijeci Zrmanji radi spoznavanja geokronoloških obilježja i razumijevanja njezine evolucije. Provedene analize fizikalno-kemijskih parametara vode u Zrmanji i Krupi pokazale su postojanje povoljnih uvjeta sedrenja i u Krupi i u Zrmanji.

Fosilna sedrena barijera Gazin kuk smještena je na lijevoj obali srednjega toka rijeke Zrmanje (44° 11,618' N, 15° 47,615' E) na nadmorskoj visini od 29,9 m u području umjereno tople vlažne klime s jakim modifikatorskim utjecajem reljefa i Sredozemnog mora. Visina barijere iznosi 11,37 m, a danas predstavlja fosilnu sedru s vrlo oskudnom vegetacijom, dok su u njezinom donjem dijelu vidljive posljedice erozivnog djelovanja vode. Metodom terenskog istraživanja na njezinoj lijevoj strani prikupljeno je 17 uzoraka fosilne sedre, koji su obrađeni u Fizičkogeografskom laboratoriju Geografskog odsjeka PMF-a u Zagrebu. Uzorci su datirani metodom <sup>14</sup>C, tehnikom tekućinskog scintilacijskog brojača (LSC) u Laboratoriju za mjerenje niskih radioaktivnosti na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu.

Rezultati datiranja pokazali su da se taloženje odvijalo tijekom tri različita klimatska razdoblja holocena, tj. od 5313±79 god cal BP do 1618±78 god cal BP. Dio barijere do 0,10 m nastao je u atlantiku (5000-8000 god. BP), od 0,5 m do 5,70 m u subborealu (5000-2500 god. BP), a preostali dio od 6,95 m do 11,37 m u subatlantiku (2500-0 god. BP). Dobiveni rezultati datiranja i visine upućuju da je rast barijere od 0,31 cm/god bio uglavnom pravilan (Slika 1.). S ozbirom da je u razdoblju rasta holocenska klima pokazala značajnu varijabilnost kroz promjene iz najtoplijeg i vlažnog razdoblja u toplo i suho te u hladno i vlažno, može se pretpostaviti da je bilo značajnih promjena u temperaturama i padalinama. Njezin vertikalni profil te sadašnja razina vode ukazuju da je u prošlosti vjerojatno dolazilo do promjena i u hidrološkom režimu što implicira i moguće promjene u okolišu.

Osim klimatskih i bioloških čimbenika, za taloženje sedre moraju biti zadovoljeni fizikalno-kemijski parametri vode, poput temperature, pH, vodljivosti i količine kisika te optimalne koncentracije iona Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Uzorkovanje vode izvršeno je na četiri lokacije u Zrmanji i tri lokacije u Krupi. Rezultati mjerenja parametara vode te laboratorijske analize potvrdili su da u rijekama postoje povoljni uvjeti za sedrenje.



Slika 1. Odnos visine i starosti barijere Gazin kuk

Dobiveni rezultati pokazali su da su sedrene naslage prepoznate kao paleoklimatski i paleookolišni zapisi. Stoga ovo istraživanje može pomoći u daljnjem praćenju morfologije i dinamike taloženja sedre te tumačenju klimatskih promjena, kao i rekonstrukciji paleookoliša u ovome dijelu Dinarskoga krša.

### Zahvala

Ovaj rad dio je znanstvenog projekta HRZZ-IP-11-2013-1623 Rekonstrukcija okoliša u Hrvatskoj tijekom kvartara primjenom izotopnih metoda, financiranoga od Hrvatske zaklade za znanost, uz potporu Zaklade Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti te Hrvatskih voda.

## Bibliografija projekta

### Hrvatska znanstvena bibliografija CROSBİ

Dokument generiran: 08.11.2018. u 16:29

Pregled po projektu: HRZZ-IP-2013-11-1623 REQUENCRIM

---

## Radovi u časopisima

### Znanstveni i pregledni radovi

1. Surić, M. (2018) Speleothem-based Quaternary research in Croatian karst – a review. *Quaternary International* 490, 113-122. doi:10.1016/j.quaint.2018.04.043
2. Surić, M. (2017) Challenges in cave monitoring and sampling – experiences from speleothem-based researches in Croatian caves. *Acta carsologica* 46 (2/3), 217-227. doi:10.3986/ac.v46i2-3.4832.
3. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J. & Horvatinčić, N. (2015) New data on the marine radiocarbon reservoir effect in the eastern Adriatic based on pre-bomb marine organisms from the intertidal zone and shallow sea. *Radiocarbon* 57 (4), 527-538 doi:10.2458/azu\_rc.57.18452

### Radovi u postupku objavljivanja

4. Horvatinčić, N., Sironić, A., Barešić, J., Sondi, I., Krajcar Bronić, I. & Borković, D. (2017) Mineralogical, organic and isotopic composition as palaeoenvironmental records in the lake sediments of two lakes, the Plitvice Lakes, Croatia. Prihvaćen za objavljivanje u *Quaternary International*. [Preprint].
5. Surić, M., Lončarić, R., Bočić, N., Lončar, N. & Buzjak, N. (2017) Monitoring of selected caves as a prerequisite for the speleothem-based reconstruction of the Quaternary environment in Croatia. Prihvaćen za objavljivanje u *Quaternary International*. [Preprint].

## Radovi u zbornicima skupova

1. Horvatinčić, N., Sironić, A., Barešić, J., Todorović, N., Nikolov, J., Hansman, J. & Krmar, M. (2015) PRIMJENA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA <sup>14</sup>C, <sup>137</sup>Cs I <sup>210</sup>Pb U ISTRAŽIVANJU JEZERSKOG SEDIMENTA. U: Petrinec, B., Bituh, T., Milić, M. & Kopjar, N. (ur.) Zbornik radova Desetog simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja. Zagreb, str. 292-298.

## Sažeci sa skupova u zbornicima i časopisima

1. Faivre, S. (2018) Relative Sea-Level Change along the Northern Adriatic during the Late Holocene. U: *Ecole d'été – Summer school. Exploitation des ressources et mise en valeur du territoire au 1er millénaire de notre ère: Nouvelles méthodes en archéobotanique, archéométrie, modélisation. Land use and exploitation of natural resources in the 1<sup>st</sup> millennium AD: New methods in archeobotany, archaeometry and modeling Programme and Abstracts book.* Tar, Crikvenica, Hrvatska, str. 36-36.
2. Krajcar Bronić, I., Barešić, J., Horvatinčić, N., Sironić, A., Surić, M., Lončarić, R., Lončar, N., Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Bočić, N., Buzjak, N. & Veverec, I. (2018) Reconstruction of the karst Quaternary environment in Croatia based on radiocarbon results. U: *23<sup>rd</sup> International Radiocarbon Conference, June 17-22 2018, Trondheim - Book of Abstracts.* Trondheim, Norway, NTNU, str. 78-78.

3. Surić, M. & Lončarić, R. (2018) Scientific research in Modrič Cave (Croatia) – an overview. U: Prelovšek, M. (ur.) "Show Cave and Science" Abstract & Guide book, 26th International Karstological School, Postojna 2018. Postojna, IZRK SAZU, str. 92-92.
4. Sršen, L., Lončarić, R., Surić, M. & Kulišić, M. (2018) Monitoring of the cave environmental settings in Modrič show cave (Croatia). U: Prelovšek, M. (ur.) "Show Cave and Science" Abstract & Guide book, 26<sup>th</sup> International Karstological School, Postojna 2018. Postojna, IZRK SAZU, str. 91-92.
5. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J. & Horvatinčić, N. (2017) Late Holocene Relative Sea-Level Change and Climate Change in the Northern Adriatic (Croatia). U: Abstract of Volume of the 9<sup>th</sup> International Conference on Geomorphology Vigyan Bhawan, New Delhi, India (6-11 November, 2017). New Delhi, Indija, International Association of Geomorphologists; Indian Institute of Geomorphologists, str. 266-266.
6. Lončar, N., Surić, M., Bočić, N., Lončarić, R. (2017) Epikarst hydrology – an insight from the Croatian cave monitoring. Abstract of Volume of the 9<sup>th</sup> International Conference on Geomorphology. New Delhi: International Association of Geomorphologists, Indian Institute of Geomorphologists (IGI), 2017.
7. Barešić, J., Sironić, A., Borković, D., Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I., Faivre, S., Buzjak, N. & Veverec, I. (2017) Tufa growth at the Zrmanja and the Krupa rivers and possibilities for palaeoclimate reconstruction, Croatia. U: Ljerka Marjanac (ur.) 5th regional meeting on Quaternary geology dedicated to geohazards / Marjanac, Ljerka (ur.). - Zagreb: Croatian Academy of Science and Art, 2017. Zagreb: Croatian Academy of Science and Art, str. 3-3.
8. Sironić, A., Horvatinčić, N., Barešić, J., Brozinčević, A., Vurnek, M. & Krajcar Bronić, I. (2017) C-isotope composition of freshwater submerged mosses as an indicator of carbon during photosynthesis. U: Marjanac, L. (ur.) 5th regional meeting on Quaternary geology dedicated to geohazards: abstracts. Zagreb, Croatian Academy of Science and Art, str. 64-64.
9. Surić, M., Lončarić, R., Lončar, N., Bočić, N., Bajo, P. & Drysdale, R. (2017) Progress and constraints in speleothem-based palaeoenvironmental research in Croatian Dinaric karst within the REQUENCRIM project. U: Marjanac, L. (ur.) The 5th regional scientific meeting on Quaternary geology dedicated to geological hazards - Abstracts. Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, str. 68-68. (<https://www.bib.irb.hr/904857>).
10. Veverec, I., Buzjak, N., Faivre, S., Barešić, J. & Horvatinčić, N. (2017) Sedrene naslage na rijeci Zrmanji - iznimno vrijedni geomorfološki lokaliteti. U: Krušić Tomaić, I., Lupret-Obradović, S. & Šilić, T. (ur.) Zbornik sažetaka. Zagreb, str. 96-97.
11. Horvatinčić, N. (2017) Radiocarbon in environmental and palaeoclimate investigations in the Dinaric karst. U: Molnar, M. (ur.) 2<sup>nd</sup> Radiocarbon in the Environment Conference, Book of Abstract. Debrecen, str. 51-51.
12. Barešić, J., Veverec, I., Faivre, S., Horvatinčić, N. & Buzjak, N. (2017) Tufa formation at Zrmanja and Krupa rivers, Croatia. U: Molnar, M. (ur.) 2<sup>nd</sup> Radiocarbon in the Environment Conference, Book of Abstract, 3-7 July 2017, Debrecen, Hungary. Debrecen, Hungary, str. 45-45.
13. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J., Borković, D. & Horvatić, D. (2017) Marine radiocarbon reservoir age of the coralline rhodophyte alga *Lithophyllum byssoides* in the Mediterranean. U: Radiocarbon and Diet 2017 2, Book of abstracts. AARHUS, Danska, 32-33.
14. Veverec, I., Faivre, S., Barešić, J., Buzjak, N. & Horvatinčić, N. (2017) Fossil tufa barrier Gazin kuk at the Zrmanja River (Croatia). U: Gostničar, P. (ur.) 25<sup>th</sup> International Karstological School "Classical Karst" - Milestones and Challenges in Karstology: Abstract & Guide Book. Postojna, Slovenija, IZRK SAZU, str. 55-55.
15. Horvatinčić, N., Sironić, A., Barešić, J., Sondi, I., Krajcar Bronić, I. & Borković, D. (2017) Carbon Based Proxies of Palaeoenvironmental Records in the Sediments of Two Lakes, the Plitvice Lakes, Croatia. U: Ionete, R. (ur.) ESIR Isotope Workshop XIV, Book of Abstracts. Rm. Valcea,

- Rumunjska, National Research and Development Institute for Cryogenics and Isotopic Technologies - ICSI, str. 139-139. (<https://www.bib.irb.hr/884561>).
16. Surić, M., Lončar, N., Lončarić, R. & Bočić, N. (2017) Drip hydrology recognized in speleothem architecture. U: Gostničar, P. (ur.) 25<sup>th</sup> International Karstological School "Classical Karst" - Milestones and Challenges in Karstology: Abstract & Guide Book. Postojna, Slovenija, IZRK SAZU, str. 53-53.
  17. Lončarić, R., Krajcar Bronić, I., Surić, M., Faivre, S., Horvatinčić, N., Lončar, N., Bočić, N., Bakran Petricioli, T., Barešić, J., Sironić, A. & Veverec, I. (2017) Quaternary palaeoenvironmental records in secondary carbonate deposits from Croatian karst. U: Krklec, K. (ur.) International Scientific Meeting Man and Karst 2017: Abstract and Guidebook. Zadar, Sveučilište u Zadru, str. 33-33.
  18. Lončarić, R., Bočić, N., Czuppon, G., Surić, M., Lončar, N. & Barešić, J. (2017) Comparison of Lokvarka and Nova Grgosova Cave environments (Croatia) – initial outcomes after 2-year monitoring. U: Climate Change: The Karst Record, 8th International Conference KR8, Scientific program and abstracts. Austin, TX, SAD, University of Texas at Austin, str. 74-74.
  19. Surić, M., Lončarić, R., Lončar, N., Bočić, N., Bajo, P., Columbu, A., Drysdale, R. & Hellstrom, J. (2017) Eastern Adriatic paleoenvironmental changes recorded from MIS 10 to the Recent in the Modrič Cave (Croatia) speleothems – preliminary report. U: Climate Change: The Karst Record, 8<sup>th</sup> International Conference KR8, Scientific program and abstracts. Austin, TX, SAD, University of Texas at Austin, str. 105-105.
  20. Surić, M., Lončarić, R., Lončar, N., Buzjak, N. & Bočić, N. (2016) Assessment of the cave environments appropriate for the reconstruction of the Quaternary settings in Croatia – speleothem-based approach. U 35<sup>th</sup> International Geological Congress Symposium Programme. Cape Town, Južnoafrička Republika, paper 1052.
  21. Bočić, N., Buzjak, N., Surić, M., Lončar, N. & Lončarić, R. (2016) Lokvarka Cave (Croatia) microclimate and dripwater settings: Implications for comprehensive speleothem paleoclimate records interpretation. U: Otoničar, B. & Gostinčar, P. (ur.) 24<sup>th</sup> International Karstological School "Classical Karst": Paleokarst. Abstracts & Guide book. Postojna, IZRK SAZU, Postojna, str. 12-13.
  22. Surić, M., Buzjak, N., Bočić, N., Lončarić, R. & Lončar, N. (2016) Microclimate and dripwater hydrology in Nova Grgosova Cave (Croatia) - results from one-year monitoring for paleoclimate study. U: Otoničar, B. & Gostinčar, P. (ur.) 24<sup>th</sup> International Karstological School "Classical Karst": Paleokarst. Abstracts & Guide book. Postojna, IZRK SAZU, Postojna, str. 31-32.
  23. Surić, M., Lončarić, R., Lončar, N., Buzjak, N. & Bočić, N. (2016) Characterization of Modrič Cave (Croatia) hydrological and geochemical settings as prerequisite for the palaeoenvironmental studies. U: Otoničar, B. & Gostinčar, P. (ur.) 24<sup>th</sup> International Karstological School "Classical Karst": Paleokarst. Abstracts & Guide book. Postojna, IZRK SAZU, Postojna, str. 32-33.
  24. Sironić, A., Barešić, J., Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I., Felja, I., Nikolov, J., Todorović, N., Hansman, J. & Krmar, M. (2016) Response of carbonate deposits of Plitvice Lakes, Croatia, to the bomb-produced <sup>14</sup>C. U: Pazdur, A. (ur.) Geochronometria, Conference Abstracts Series. Gliwice, Silesian University of Technology, str. 85-86.
  25. Horvatinčić, N., Sondi, I., Sironić, A., Barešić, J. & Krajcar Bronić, I. (2015) Isotope composition and morphological and structural properties of freshwater calcium carbonate from the Plitvice Lakes (Croatia). U: Book of abstracts, 22<sup>nd</sup> International Radiocarbon Conference, 2015. Dakar, Senegal, str. 97-98.
  26. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J., Horvatinčić, N. (2015) Two millennia relative sea-level change and climate change in the northern Adriatic based on algal rims. U: Furlani, Stefano; Antonioli, Fabrizio & Anzidei, M. (ur.) GEOSUB, International congress 2015, Underwater geology, Proceedings. Trst, str. 40-40.

27. Lončarić, R., Surić, M., Lončar, N., Buzjak, N. & Bočić, N. (2015) Cave-based palaeoenvironmental research within the REQUENCRIM project. U: Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N. & Obelić, B. (ur.) Book of Abstracts - ESIR isotope Workshop XIII. Zagreb, Institut Ruđer Bošković, str. 80-80.
28. Surić, M., Lončar, N., Buzjak, N. & Lončarić, R. (2015) Altitudinal and seasonal isotope variation in meteoric and cave drip water in north Dalmatia (Croatia) – importance for the palaeoenvironmental studies. U: Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N. & Obelić, B. (ur.) Book of Abstracts - ESIR isotope Workshop XIII. Zagreb, Institut Ruđer Bošković, str. 69-69.
29. Surić, M. (2015) Speleothems as archives of Quaternary palaeoenvironmental changes in Croatian karst – isotopic approach. U: Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N. & Obelić, B. (ur.) Book of Abstracts - ESIR isotope Workshop XIII. Zagreb, Institut Ruđer Bošković, str. 29-29.
30. Bakran-Petricioli, T., Faivre, S., Horvatinčić, N. & Petricioli, D. (2015) Monitoring of algal rims within the scope of the project REQUENCRIM. U: Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N. & Obelić, B. (ur.) Book of Abstracts - ESIR Isotope Workshop XIII. Zagreb, Institut Ruđer Bošković, str. 83-83.
31. Barešić, J., Veverec, I., Faivre, S., Buzjak, N. & Horvatinčić, N. (2015) Isotope and chemical analyses of water and tufa in the Zrmanja River, Croatia. U: Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N. & Obelić, B. (ur.) Book of Abstracts - ESIR Isotope Workshop XIII. Zagreb, Institut Ruđer Bošković, str. 82-82.
32. Sironić, A., Horvatinčić, N., Barešić, J. & Borković, D. (2015) Isotope and chemical analyses of the surface lake sediments in two karstic lakes, Plitvice Lakes, Croatia. U: Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N. & Obelić, B. (ur.) Book of Abstracts - ESIR Isotope Workshop. Zagreb, Institut Ruđer Bošković, str. 81-81.
33. Horvatinčić, N., Surić, M., Faivre, S., Krajcar Bronić, I., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J., Buzjak, N., Bočić, N., Lončarić, R., Lončar, N., Sironić, A. & Veverec, I. (2015) Study of Dinaric karst using isotope methods: project REQUENCRIM. U: Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N. & Obelić, B. (ur.) Book of Abstracts - ESIR isotope Workshop XIII. Zagreb, Institut Ruđer Bošković, str. 79-79. (<https://www.bib.irb.hr/779969>).
34. Veverec, I., Barešić, J., Horvatinčić, N., Buzjak, N. & Faivre, S. (2015) Geomorfološka obilježja naslaga sedre srednjeg toka rijeke Zrmanje. U: Orešić, D, Cvitanović, M. (ur.) 6. hrvatski geografski kongres; Integrativna i primijenjena istraživanja u prostoru, Knjiga sažetaka. Zagreb, Hrvatsko geografsko društvo, str. 69-69.
35. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J. & Horvatinčić, N. (2015) Relativne promjene morske razine i faze brzih klimatskih promjena tijekom posljednjih 2 000 godina u Sjevernom Jadranu. U: Orešić, D, Cvitanović, M (ur.) 6. hrvatski geografski kongres; Integrativna i primijenjena istraživanja u prostoru, Knjiga sažetaka. Zagreb, Hrvatsko geografsko društvo, str. 27-27.
36. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J. & Horvatinčić, N. (2015) Relative sea-level change and climate change in the Eastern Adriatic based on the isotopic study of algal rims. U: Krajcar Bronić, I., Horvatinčić, N. & Obelić, B. (ur.) Book of Abstracts: ESIR Isotope Workshop XIII. Zagreb, Institut Ruđer Bošković, str. 84-84.
37. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J. & Horvatinčić, N. (2015) Algal rims as markers of 2ka relative sea-level change and climate change in the Eastern Adriatic. U: Quaternary Perspectives on Climate Change, Natural Hazards and Civilization. Nagoya, Japan, Science Council of Japan; Japan Association for Quaternary Research; International Union for Quaternary Research.
38. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J. & Horvatinčić, N. (2015) Marine radiocarbon reservoir effect in the eastern Adriatic. U: Marjanac, L. (ur.) 4<sup>th</sup> Scientific meeting Quaternary geology in Croatia and Slovenia: book of abstracts. Zagreb, Croatian Academy of Sciences and Arts, 8-9.
39. Lončarić, R., Surić, M., Lončar, N., Buzjak, N. & Bočić, N. (2015) Speleothem-based reconstruction of the Quaternary environments in Croatia. U: Zupan Hajna, N., Mihevc, A. &

- Gostničar, P. (ur.) 23<sup>rd</sup> International Karstological School "Classical Karst": Caves - Exploration and Studies. Guide book & Abstracts. Postojna, IZRK SAZU, str. 130-130.
40. Horvatinčić, N., Surić, M., Faivre, S., Krajcar Bronić, I., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J., Buzjak, N., Bočić, N., Lončarić, R., Lončar, N. & Sironić, A. (2015) Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods. U: Marjanac, L. (ur.) 4<sup>th</sup> Scientific meeting Quaternary geology in Croatia and Slovenia: book of abstracts. Zagreb, Croatian Academy of Sciences and Arts, str. 15-17.

### Druga sudjelovanja na skupovima

1. Lončarić, R., Surić, M., Lončar, N., Bočić, N. Speleothem-based paleoclimate reconstruction in coastal regions of Croatia - knowing the past to predict the future. 2018 International Geographical Union Regional Conference, Quebec, Kanada, 6.-10.8.2018.
2. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Barešić, J., Morhange, Ch., Borković, D., Horvatić, D. Variation of the 1.5 ka surface water marine radiocarbon reservoir age in the Adriatic based on the study of algal rims. 4<sup>th</sup> COASTAL AND MARITIME MEDITERRANEAN CONFERENCE CM2, Split, Hrvatska, 2017. str. 1-3
3. Carre, M.-B., Faivre, S., Tassaux, F. Le niveau moyen de la mer en Istrie a l'epoque romaine. Tavola rotonda "AdriAtlas e i paesaggi costieri dell'Adriatico tra Antichità e Altomedioevo Per un bilancio consultivo e prospettivo". Bari, Italija, 2017. (pozvano predavanje)
4. N. Horvatinčić, M. Surić, S. Faivre, I. Krajcar Bronić, T. Bakran-Petricioli, J. Barešić, N. Buzjak, N. Bočić, R. Lončarić, N. Lončar, A. Sironić. Reconstruction of the Quaternary environment in Croatia using isotope methods. Workshop: Interdisciplinary Quaternary Investigations, University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb, Hrvatska, 2015. (predavanje)

### Ostale vrste radova

1. Horvatinčić, Nada. Primjena izotopa ugljika <sup>14</sup>C i <sup>13</sup>C u istraživanju Dinarskog krša. 2016. (Predavanje na PMFu, Univerzitet u Novom Sadu, 26.10.2016.).

Broj zapisa: 51



Izvezeno sa <https://www.bib.irb.hr/pretraga/?operators%3Dand%7CHRZZ-IP-2013-11-1623%7Ctext%7Cproject>

## Fotogalerija

Fotografije koje se odnose na terenski rad, rad u laboratoriju i sudjelovanje u diseminacijskim aktivnostima snimili su suradnici projekta REQUENCRIM.

### Terenska istraživanja



Krupa, Manastir – uzorkovanje vode



Izvor Krupa – uzorkovanje vode i mjerenje temperature vode

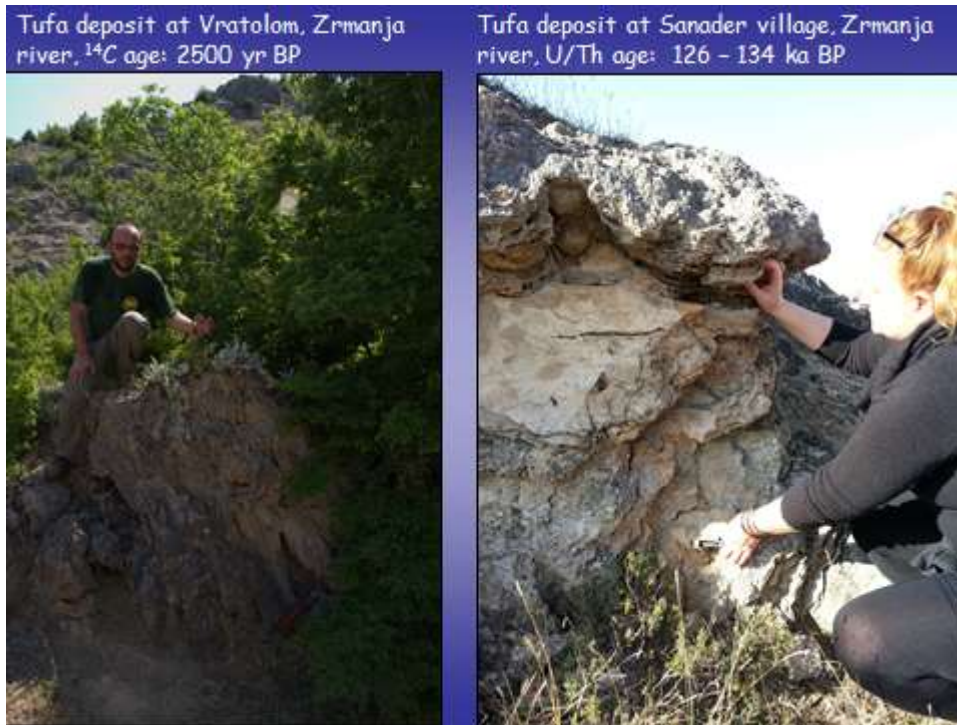




Pogled na fosilnu sedrenu barijeru Gazin kuk fotografiranu s lijeve obale rijeke Zrmanje, snimljene u jesen 2013. godine.



Sedrena barijera Gazin kuk na Zrmanji, pogled na mjesta uzorkovanja





U Modrič Špilji



Uzorkovanje u Modrič špilji



Lokvarka



Postavljanje TH loggera u Lokvarci (bilježi temperaturu i relativnu vlažnost zraka)



Nova Grgosova špilja



Uzorkovanje – Nova Grgosova

Montiranje drip loggera (za bilježenje intenziteta prokapavanja) i posude za prikupljanje prokapnice



Prikupljanje kišnice



Prikupljanje recentnog kalcita na staklu





Neven Bočić, Nina Lončar, Maša Surić, Nenad Buzjak, Robert Lončarić





Algi vijenci na Visu i Biševu



Monitoring na Dugom otoku

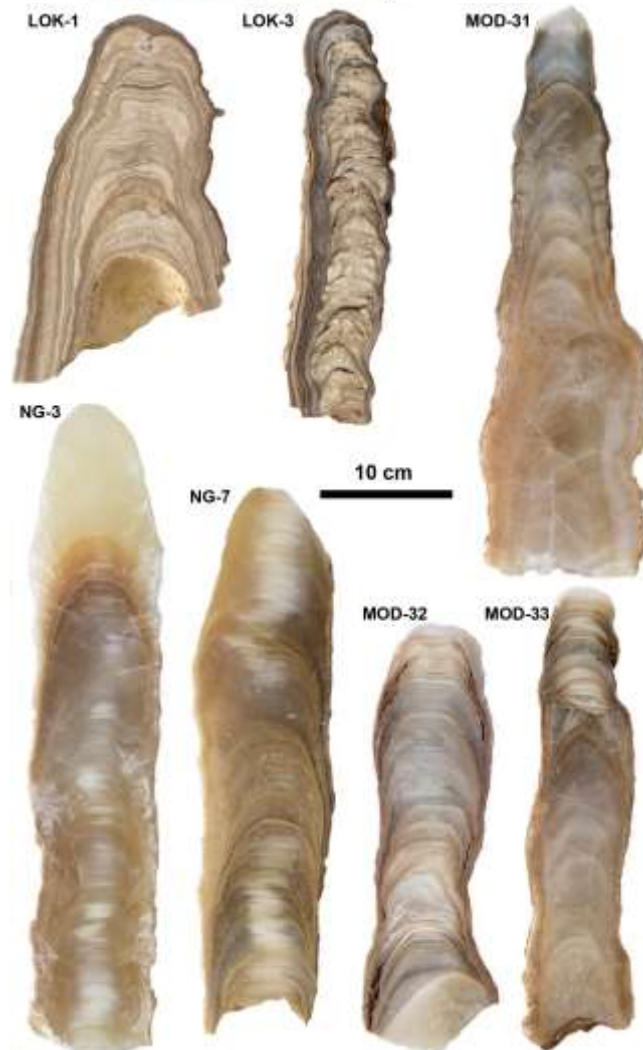


Uzorkovanje na Dugom otoku



**Laboratorijski rad**

Rezanje i poliranje siga



Uzdužni presjeci siga

**Diseminacijske aktivnosti**



23th International Karstological School, Postojna, Slovenija, 2015.



24th International Karstological School, Postojna, Slovenija, 2016



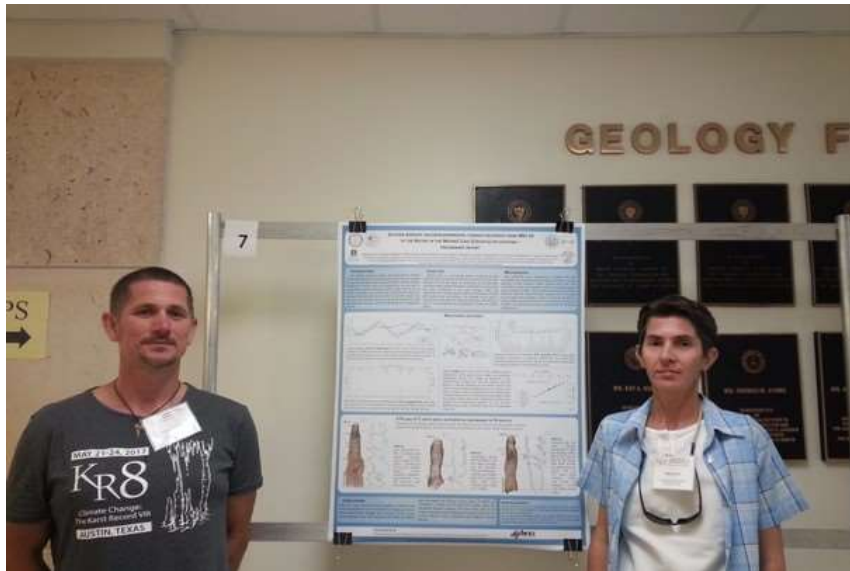
ESIR2015 - Isotope Workshop XIII, Zadar 2015: suradnici projekta REQUENCRIM i svi sudionici



Sanja Faivre (lijevo) te Tatjana Bakran-Petricioli i Jadranka Barešić (desno) na radionici posvećenoj projektu REQUENCRIM tijekom ESIR 2015 – Isotope Workshop XIII,



Sudionici ESIR 2015 – Isotope Workshop XIII na stručnoj ekskurziji u Modrič Špilji



KR8, Texas



???



Nada Horvatinčić u Debrecenu, Mađarska, 2017.



Robert Lončarić, Andreja Sironić, Jadranka Barešić i Maša Surić na 5th Regional Scientific Meeting on Quaternary Geology, Starigrad Paklenica, 9.10.-10.11.2017.

## Popis prijavljenih sudionika

Ime i prezime	Email	Institucija
Andreja Sironić	asironic@irb.hr	Institut Ruđer Bošković
Ines Krajcar Bronić	krajcar@irb.hr	Institut Ruđer Bošković
Robert Lončarić	rloncar@unizd.hr	Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju
Damir Borković	damir.borkovic@irb.hr	Institut Ruđer Bošković
Maša Surić	msuric@unizd.hr	Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru
Jadranka Barešić	jbasesic@irb.hr	Institut Ruđer Bošković
Matea Krmpotić	Matea.Krmpotic@irb.hr	
Tatjana Bakran-Petricioli	tatjana.bakran-petricioli@biol.pmf.hr	Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Biološki odsjek PMF
Zvezdana Klaić	zklaic@gfz.hr	Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek
Igor Felja	igorfelja@geol.pmf.hr	Imirovljenik, bivši suradnik LNA
Bogomil Obelić	obelic@obelli.ch	Institut Ruđer Bošković
Nada Horvatinčić	nada.horvaztincic@irb.hr	
Maja Vurnek	maja.vurnek@np-plitvicka-jezera.hr	Nacionalni park Plitvička jezera
Andrijana Brozinčević	andrijana.brozincevic@np-plitvicka-jezera.hr	JU NP Plitvička jezera
Kazimir Miculinić	kazimir.miculinic@np-plitvicka-jezera.hr	JU NP Plitvička jezera
Tea Frketić	tea.frketic@np-plitvicka-jezera.hr	Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera
Ljerka Marjanac	ljerka.marjanac@gmail.com	HAZU
Dalibor Paar	dpaar@phy.hr	Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu
Nikola Markić	nikola.markic@np-plitvicka-jezera.hr	Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera
Donat Petricioli	donatpetricioli@gmail.com	D.I.I.V. za ekologiju mora, voda i podzemlja, Sali
Ivanka Lovrenčić Mikelić	ivanka.lovrencic@irb.hr	IRB
Iva Vevec	iva.babic@student.geog.pmf.hr	
Katarina Botić	katarina.botic@iarh.hr	Institut za arheologiju
Sanja Faivre	sfaivre@geog.pmf.hr	PMF, Geografski odsjek
Neven Bočić	nbocic@geog.pmf.hr	Prirodoslovno-matematički fakultet
Nadja Zupan Hajna	zupan@zrc-sazu.si	ZRC SAZU Karst Research Institute
Nina Lončar	nloncar@unizd.hr	Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju
Sanja Kapelj	skapelj@gfv.hr	Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin
Vuko Brigljević	vuko.brigljevic@irb.hr	Institut Ruđer Bošković

Milko Jakšić	jaksic@irb.hr	Institut Ruđer Bošković
Stjepko Fazinić	sfazinic@irb.hr	Institut Rudjer Boskovic
Suzana Szilner	szilner@irb.hr	Ruder Boskovic Institute
Deša Jelavić Malenica	djelavic@irb.hr	Institut Ruđer Bošković
Davorin Sudac	dsudac@irb.hr	Institut Rudjer Boskovic
		PMF, Geografski odsjek, student,
		Diplomski studij Fizička geografija s
		geoekologijom
Marin Mićunović	marin.micun@gmail.com	IRB
Vibor Jelić	vibor@irb.hr	Hrvatski geološki institut
Koraljka Bakrač	kbakrac@hgi-cgs.hr	IRB
Irena Ciglencečki-Jušić	irena@irb.hr	Hrvatski geološki institut
Lidija Galović	lgalovic@hgi-cgs.hr	HAZU
Mladen Juračić	mjuracidc@gepl.pmf.hr	Hrvatski geološki institut
Tamara Marković	tmarkovic@hgi-cgs.hr	IRB
Maja Ivanić	mivanic@irb.hr	Institut Ruđer Bošković
Petar Ujčić	Petar.Ujcic@irb.hr	Hrvatski geološki institut
Lara Wacha	lwacha@hgi-cgs.hr	Inst. R. Bošković
Sanja Tomić	sanja.tomic@irb.hr	RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Bruno Tomljenović	bruntom@rgn.hr	DIR
mirko stanković	mirsta@eunet.rs	IRB
Benjamin Mesic	Benjamin.Mesic@irb.hr	Institut Ruđer Bošković
Anita Rajtarić	arajtar@irb.hr	DHMZ, Sektor hidrologije
Tatjana Vujnović	tvujnovic@yahoo.com	Hrvatski geološki institut
Dea Brunović	dea.brunovic@hgi-cgs.hr	IRB
Sandi Orlić	sorlic@irb.hr	PMF - Biološki odsjek
Nikola Koletić	nikola.koletic@biol.pmf.hr	Prirodoslovno-matematički fakultet
Irena Katanec	irena.katanec@gmail.com	JU Zeleni prsten Zagrebačke županije
Stjepan Klak	stjepan@zeleni-prsten.hr	IRB
Damir Kralj	kralj@irb.hr	IRB
Branko Vekić	bvekic@irb.hr	IRB