

Utjecaj posjetitelja na mikroklimu turističkog speleološkog objekta - primjer Gornje Baraćeve špilje

Prižmić, Mihaela

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:705672>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Mihaela Prižmić

**Utjecaj posjetitelja na mikroklimu turističkog
speleološkog objekta – primjer Gornje Baraćeve špilje**

Diplomski rad

**Zagreb
2021**

Mihaela Prižmić

**Utjecaj posjetitelja na mikroklimu turističkog
speleološkog objekta – primjer Gornje Baraćeve špilje**

Diplomski rad

predan na ocjenu Geografskom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog zvanja
magistra struke znanosti o okolišu

**Zagreb
2021**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Znanosti o okolišu* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Nevena Bočića

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Diplomski rad

Utjecaj posjetitelja na mikroklimu turističkog speleološkog objekta – primjer Gornje Baraćeve špilje

Mihaela Prižmić

Izvadak: Razvoj speleoturizma dovodi do potrebe za istraživanjem ljudskog utjecaja na osjetljive špiljske sustave radi zaštite i održivog upravljanja. Gornja Baraćeva špilja jedan je od mnogih speleoloških objekata na području općine Rakovica i turistima je dostupna u razdoblju od kraja svibnja do kraja listopada. U 2019. godini tijekom sezone posjeta provedeno je istraživanje utjecaja posjetitelja na temperaturu zraka u Gornjoj Baraćevoj špilji. Cilj je bio utvrditi odnos između broja posjetitelja i promjena temperature špiljskog zraka. Temperatura je mjerena na šest lokacija unutar špilje. Pet lokacija uz turističku stazu bilježi porast temperature u različitoj mjeri nakon prolaska grupe posjetitelja, a posljednja lokacija ne bilježi promjene jer se nalazi van staze. Na iznos porasta temperature utječe veličina i duljina zadržavanja grupe pa su lokacije gdje posjetitelji samo prolaze bilježile manji porast temperature u odnosu na lokacije gdje se grupe dulje zadržavaju. Izračunato je da jedan posjetitelj u prosjeku povisi temperaturu za 0,019 °C, a prilikom dolaska najvećih grupa porast temperature ne prelazi iznos od 0,7 °C. Nagli porast temperature desi se neposredno nakon prolaska grupe. Unutar dva sata temperatura se vrati na približno početnu vrijednost kakva je bila prije dolaska posjetitelja, a vremenski period u noći kada posjetitelja nema dovoljan je da se temperatura u potpunosti stabilizira. Zaključeno je da trenutni režim posjećivanja ne prelazi nosivi kapacitet špilje, stoga dodatne mjere regulacije nisu potrebne.

44 stranice, 29 grafičkih priloga, 5 tablica, 39 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: špiljski turizam, mikroklima, temperatura, speleološki objekti

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Neven Bočić
Povjerenstvo: prof. dr. sc. Nenad Buzjak
izv. prof. dr. sc. Marija Gligora Udovič
prof. dr. sc. Marijan Kovačić

Tema prihvaćena: 6. 7. 2020.
Rad prihvaćen: 1. 7. 2021.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Master Thesis

Impact of visitors on the microclimate in the show cave – the example of Upper Barač cave

Mihaela Prižmić

Abstract: The development of speleotourism brings with it the need to research the impact of visitors on fragile cave systems in order to protect them and establish the sustainable cave management. The Upper Barač's cave is one of the many speleological objects within the territory of the Municipality of Rakovica. For tourist visits it is open in period from the end of May to the end of October. The research on how visitors could affect the air temperature in a suggested time period has been made in 2019. The main goal was to establish the relationship between the number of visits and the air temperature changes. Temperature was measured at six spots within the cave. Five of these spots that were located on the tourist trail showed an increase in temperature values right after the visitors have passed near the measuring spots, while the sixth spot showed no temperature increase as tourists never set foot in that area. The size of a group and time the group spent in cave impacted the amount of temperature increase, so locations where they just passed by without staying in place showed less increase than those where groups stayed for a while. It is calculated that one visitor raises the temperature by 0,019 °C on average, and after the largest tourist groups the increase did not exceed 0,7 °C. A sudden rise in temperature occurs immediately after the group passes. Within two hours, the temperature returns to almost its initial value, and the night time period without visitors is long enough for the temperature to fully stabilize. It was concluded that the current visiting regime does not exceed the cave capacity, therefore no additional regulatory measures are required.

44 pages, 29 figures, 5 tables, 39 references; original in Croatian

Keywords: cave tourism, microclimate, temperature, speleological objects

Supervisor: Neven Bočić, PhD, Associate Professor
Reviewers: Nenad Buzjak, PhD, Full Professor
Marija Gligora Udovič, PhD, Associate Professor
Marijan Kovačić, PhD, Full Professor

Thesis title accepted: 06/07/2020

Thesis accepted: 01/07/2021

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

Sadržaj

1.	Uvod	1
1.1.	Krš, speleološki objekti i njihova važnost.....	1
1.2.	Gornja Baraćeva špilja	2
1.3.	Cilj i svrha istraživanja.....	3
1.4.	Pregled dosadašnjih istraživanja Baraćevih špilja	3
1.5.	Istraživanja odnosa posjetitelja na mikroklimu špilja u svijetu i u Hrvatskoj	4
2.	Mikroklima speleoloških objekata.....	5
3.	Prikaz istraživanog lokaliteta.....	6
4.	Metode rada	9
4.1.	Mjerenje temperature	9
4.2.	Posjetitelji	12
5.	Rezultati.....	13
5.1.	Temperatura zraka	13
5.2.	Posjetitelji	23
5.3.	Odnos kretanja temperature i broja posjetitelja	24
6.	Rasprava	31
7.	Zaključak	35
8.	Literatura i izvori	37
9.	Popis slika i tablica	42

1. Uvod

1.1. Krš, speleološki objekti i njihova važnost

Krš je tip reljefa koji zajedno s fluviokršem zauzima gotovo 44% površine Hrvatske (Bognar i sur., 2012). Čine ga specifične geomorfološke i hidrografske značajke. Za razvoj krša potrebna su tri temeljna uvjeta. Prvi su stijene podložne topljenju, najčešće su to karbonatne stijene tj. vapnenci i dolomiti. Drugi je postojanje pukotinsko-disolucijske poroznosti. Pukotinska poroznost oblik je sekundarne poroznosti, što znači da nastaje nakon formiranja stijene. Iako je karakteristična za stijene netopljive u vodi, kod vapnenaca i dolomita, pod utjecajem CO₂ ili sličnih sastojaka, pukotinske se šupljine proširuju te nastaje pukotinsko-disolucijska poroznost, koja se još naziva i krškom poroznosti (Herak, 1990). Značajna je za krš jer omogućuje protok vode u podzemlje, a samim time i formiranje krških oblika. Konačan uvjet je voda koja ima funkciju geomorfološkog agensa. Kako bi do okršavanja uopće moglo doći potrebno je da sva tri navedena uvjeta budu prisutna na jednom području. Okršavanje je proces nastanka krša. Mineral koji se otapa najbolje je kalcit (CaCO₃). Kalcit zajedno s vodom i ugljikovim dioksidom dovodi do stvaranja bikarbonatnog iona (HCO₃⁻). Taj se proces naziva disolucija kalcita. Geomorfološki proces kemijskog otapanja naziva se korozija. Svojstva krša mogu se gledati iz dva aspekta. Prvi je hidrogeološki aspekt koji se odnosi na dominantnu podzemnu cirkulaciju vode. Ona postoji jedino kad je krška poroznost dovoljno velika da je protok vode u podzemlju omogućen (Ford i Williams, 2007). Postoje dvije zone kojima voda prolazi u kršu. Prva je vadozna gdje je kretanje usmjereno gravitacijski. U freatskoj zoni dolazi do potpunog zasićenja prostora vodom te kretanje vode postaje lateralno. Drugi aspekt je geomorfološki aspekt i uključuje specifične površinske i podzemne reljefne oblike. Površinski su škrape, ponikve, uvale, krška polja, zaravni u kršu, krška uzvišenja i dr. dok su podzemni primarno vezani za speleološke objekte.

Speleogeneza je pojam koji označava nastanak i razvoj speleoloških objekata. Kako bi do speleogeneze uopće moglo doći potrebno je da voda otapa stijenu brže nego što bi se ta stijena erozijom uklonila sa svoga područja nastanka (Palmer, 2003). Nastanak speleološkog objekta je dugotrajan proces koji se odvija u tri faze. Prva je inicijalna faza kada se pukotina širi korozijom sve do speleogenetskog praga. U tom trenutku započinje druga, glavna faza gdje uz koroziju na širenje kanala započinje djelovati i erozija. Razvoj i širenje tog kanala prolazi kroz freatsku i vadoznu etapu. U konačnici se kanal formira u pravi speleološki objekt koji može biti špilja, jama ili kaverna. Završna faza je treća faza koja se odnosi na zatrpavanje, urušavanje i destrukciju speleološkog objekta.

Razvojem speleoturizma, javlja se sve veća potreba održivim upravljanjem špiljskih sustava. Preuređenje špilja za turističko korištenje dovelo je do promjenu u podzemlju, ali i na površini. Najčešće su posljedice turističkog korištenja promjene fizičko-kemijskih svojstava zraka, vode, biološko i svjetlosno onečišćenje, fizičke promjene, buka te unošenje otpada (Buzjak, 2008).

1.2. Gornja Baračeva špilja

Predmet ovog istraživanja i utjecaja posjetitelja na špiljsku mikroklimu je Gornja Baračeva špilja (slika 1). Nalazi se u općini Rakovica i pripada kompleksu od četiri špilje. Uz spomenutu Gornju, tu pripadaju Donja i Nova Baračeva špilja te izvor Baračevac. To su destruktivni endokrški reljefni oblici nastali korozijom i mehaničkim djelovanjem vode u podzemlju. Gornja Baračeva špilja smještena je na nadmorskoj visini od 331,5 metara, ekspozicije prema sjeveroistoku i zaobljenoga svoda. Ukupne duljine od 520 metara i dimenzije 4 x 4 metara. Veći dio špilje dostupan je posjetiteljima, a za turističke posjete je špilja otvorena od svibnja do listopada. Zbog hibernacije velikog šišmiša (*Myotis myotis*), malog potkovnjaka (*Rhinolophus hipposideros*) i velikog potkovnjaka (*Rhinolophus ferrumequinum*) špilja je ostatak godine zatvorena (slika 2).



Slika 1 - Ulaz u Gornju Baračevu špilju



Slika 2 - Šišmiš potkovnjak (*Rhinolophus sp.*) u Gornjoj Baračevoj špilji

1.3. Cilj i svrha istraživanja

Cilj je ovog istraživanja utvrditi postoji li utjecaj grupe posjetitelja na mikroklimatske karakteristike Gornje Baraćeve špilje, točnije na temperaturu zraka. Svrha istraživanja bila je odrediti, ako utjecaj postoji, u kojoj mjeri se on javlja te može li to imati trajnije posljedice.

Promjena temperature zraka te broj posjetitelja i vrijeme njihovog posjeta pratit će se i bilježiti tijekom cijelog perioda kada je špilja otvorena te će se ti podaci analizirati i obraditi.

1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja Baraćevih špilja

Speleološka istraživanja Baraćevih špilja i okolnih speleoloških objekata započinju početkom 20. stoljeća brojnim opisivanjima, izradom nacрта i određivanjem duljina špiljskih objekata. Prema najnovijim podacima mjerenja duljina Gornje Baraćeve špilje iznosi 520 metara, Donje Baraćeve špilje 565 metara i Nove Baraćeve špilje 94,5 metara (Kovačević, 2003). Na području Rakovice postoji oko 150 špilja i mnoge se još uvijek istražuju. Najdulja špilja na tom području špiljski je sustav Ponorac-Jovina pećina i iznosi 2834 metara (URL1).

Većina geoloških i geomorfoloških istraživanja obrađuje šire područje dok je vrlo malo provedenih istraživanja užeg područja oko Baraćevih špilja. Geološka građa ovog područja najdetaljnije je prikazana na listu Osnovne geološke karte 1:100 000 na listu Bihać i njemu pripadajućem tumaču (Polšak i sur., 1976 i 1981).

Bočić (2003, 2015) te Bočić i suradnici (2010, 2017, 2020) provode geomorfološka, geološka i geospeleološka istraživanja i vrednovanje područja Baraćevih špilja i okolice.

Pronalaskom i opisom kostiju špiljskog medvjeda (*Ursus spelaeus*) krajem 19. stoljeća započela su paleontološka istraživanja na području Gornje Baraćeve špilje (Kišpatić, 1885). Pronađene kosti potječu iz sedimenata u početnom dijelu špilje, a pripadaju razdoblju gornjeg pleistocena. Osim u ilovači, kosti špiljskog medvjeda pronađene su i u mjestimičnim brečama te jedan zanimljiv primjer uklopljen u sigi. Sve kosti ukazuju na visok stupanj razvitka i specijalizacije špiljskih medvjeda na ovom području (Malez, 1959).

Arheološko iskapanje se provodilo 2004. godine pod vodstvom Arheološkog muzeja u Zagrebu. Najzastupljeniji arheološki nalazi su keramičko posuđe. Nalazi se dijele na pretpovijesne i recentnije. Oni iz pretpovijesnog doba pripadaju kasnom brončanom i starijem željeznom dobu. Osim predmeta pronađenih tijekom navedenog iskapanja, važno je spomenuti i brončanu narukvicu iz starijeg željeznog doba koju je 1912. godine Arheološkom odjelu Narodnog muzeja poklonio dr. Anton Culek. Recentniji nalazi pripadaju medijsvalnom i postmedijsvalnom razdoblju i to su predmeti uglavnom izrađeni na lončarskom kolu (Mihelić i Balen, 2005).

Sustavna istraživanja lokaliteta započela su 2013. godine. Primarno su obavljena arheološka istraživanja, utvrđena je starost ljudskih kostiju, no nađeni su i novi vrijedni paleontološki nalazi. Među njima je špiljski lav, pleistocenski vuk, špiljski medvjed i dlakavi nosorog (Raguž, 2017).

Na temelju dosadašnjih istraživanja, potvrđeno je kako su Baraćeve špilje iznimno vrijedno arheološko i paleontološko nalazište s mnogo potencijala za buduća istraživanja.

Biološka istraživanja provođena su u nekoliko navrata. Sve identificirane vrste pripadaju kopnenoj špiljskoj fauni, jedini izuzetak je četvrta špilja iza izvora Baraćevec koja uključuje i vodenu faunu. U ulaznom dijelu špilje nalaze se brojni troglobleni koji se hrane nanosima organskih ostataka izvana. Organski materijal također je i u obliku guana – izmeta šišmiša, koji privlači guanofilnu faunu. U dubljim, mikroklimatski stabilnijim dijelovima špilje nalaze se eutroglabionti, to su predstavnici prave špiljske faune. Determinacija je još uvijek tijeku. Neke zanimljivije vrste su troglobionski puž vrste *Zospeum isselianum*, rak *Titanethes albus* i amfipodni rakušac *Niphargus sp.* Vrstama bogat razred u Baraćevevim špiljama su paučnjaci (*Arachnida*). Grinja vrste *Macrocheles penicilliger* prvi je primjerak te vrste pronađen u nekom speleološkom objektu. Dvije nađene vrste lažištupavaca su *Neobisium stygium ssp.* *Csiki* i lažištupavac roda *Chthonius* koji najvjerojatnije predstavlja novu, endemsku vrstu. Pauci su zastupljeni u velikom broju i najčešći su rodovi *Meta* i *Nesticus*. Fauna kornjaša (*Coleoptera*) najviše je istraživana, nađeno je i nekoliko pripadnika reda ravnokrilaca (*Orthoptera*). Vrlo zanimljivi pripadnici tog reda su pronađene vrste *Troglophilus cavicola* i *Troglophilus brevicauda* koje predstavljaju relikte tercijarne faune koje su nekoć živjele u vlažnim, mračnim tropskim šumama, a opstale prilagodbom i preseljenjem u špiljska staništa. Tu su još pripadnici redova tulara (*Trichoptera*) i leptira (*Lepidoptera*). Fauna šišmiša (*Chiroptera*), iako važna, nije još dovoljno istražena (Ozimec, 2003).

1.5. Istraživanja odnosa posjetitelja na mikroklimu špilja u svijetu i u Hrvatskoj

Modernija istraživanja špiljske mikroklimе započinju u drugoj polovici prošlog stoljeća. Arrigo Cigna (1968) dijeli kretanje zraka u špiljama na dva načina. Prvi je statički u koji spadaju utjecaj temperature, relativne vlažnosti i kemijske kompozicije te varijacije u atmosferskom tlaku. Drugi je dinamički na koji utječu tekućice unutar i izvan špilje. Na temelju te dvije grupe faktora Cigna stvara matematičke modele za kvantifikaciju podataka. Badino (2004) daje matematičke formule i izračune o temperaturi i toplinskom kapacitetu špiljskih sustava pod utjecajem klimatskih promjena. Brojna su istraživanja provedena na temu utjecaja na

mikroklimu različitih špilja diljem svijeta i tri su glavna parametra: uz temperaturu su najbitniji pokazatelji promjena ugljikovog dioksida (CO₂) i relativne vlažnosti.

Vrlo velik broj istraživanja proveden je u špiljama na području Španjolske koje su važna nalazišta paleolitičkog slikarstva (Hoyos i sur., 1998; Calaforra i sur., 2003; Fernandez-Cortes i sur., 2011) zbog ugroženosti tih nalazišta promjenom vlage i CO₂, ali i utjecajem posjetitelja na brojnost populacija gljivica i bakterija. U Sloveniji je istraživanje o utjecaju posjetitelja na mikroklimu provedeno na Postojnskoj jami (Šebela i sur., 2013) s utvrđenom korelacijom i na Škocjanskim jamama (Kranjc i Opara, 2002), gdje posjetitelji nemaju značajan utjecaj zbog izuzetne dinamičnosti špilje zbog rijeke Reke koja njome teče. Brojna istraživanja provedena su i u kršem bogatoj Kini, primjerice na špilji Baiyun (Song i sur., 2000) gdje je uz korelaciju spomenuta i činjenica da se kretanjem posjetitelja oslobađa više energije nego stajanjem.

Mnogo je radova na temu mikroklimе špiljskih objekata provedeno u Hrvatskoj. Najviše radova bavi se sigovinom, njenim svojstvima, formacijom i rekonstrukcijom te rekonstrukcijom paleookoliša (Paar i sur., 2016; Czuppon i sur., 2018; Surić i sur., 2017; 2018; 2020). Mikroklimu kao komponentu geokološkog vrednovanja špilja proučava Buzjak (2017).

Monitoring okolišnih parametara Gornje Baračeve špilje proveden je u sklopu diplomskog rada (Selak, 2019), a praćenje mikroklimatskih parametara te međuodnosa broja posjetitelja i porasta temperature provode Bočić i Buzjak (2017, 2020), a čiji su podaci korišteni za daljnju obradu i analizu u ovom radu.

2. Mikroklima speleoloških objekata

Razvoj digitalnih mjernih instrumenata u posljednjih dvadesetak godina doveo je do velikog napretka u istraživanju mikroklimе speleoloških objekata. Njeno je istraživanje važno u svrhu zaštite prirodne i kulturne baštine. Mikroklimom speleoloških objekata bave se speleometeorologija i speleoklimatologija. Razlika između tih dviju grana je vremenska komponenta - speleometeorologija proučava kratka vremenska razdoblja, a speleoklimatologija prati stanje klimatskih elemenata u duljim vremenskim periodima. Ovo poglavlje rada napisano je prema Paar i Buzjak (2017) iz knjige Speleologija.

U Hrvatskoj se mikroklimatska istraživanja intenzivno provode u posljednjih desetak godina i trenutno su poznati mikroklimatski podaci za više od 50 špilja i jama na području Hrvatske.

Nekoliko je glavnih faktora o kojima ovise mikroklimatska obilježja. To su geografska širina, nadmorska visina, broj, dimenzije, morfologija, topografski smještaj i zaklonjenost ulaza, morfologija i dimenzije kanala i dvorana, dubina, utjecaj temperature stijena i vode te

akumulacija snijega i leda. Vrijednosti temperature zraka slične su prosječnoj temperaturi zraka područja u kojem se špilja nalazi, uz mogući odmak koji je definiran djelovanjem prethodno navedenih mikroklimatskih faktora. U blizini ulaza oscilacije temperature i vlažnosti zraka su najveće i smanjuju se udaljavanjem od ulaza. Relativna vlažnost zraka u dubljim dijelovima špilje veća je od 90%.

Strujanje zraka u podzemlju rezultat je više čimbenika. Kod većih špilja s jednim ulazom rezultat je promjene vanjskog tlaka zraka i potrebe za izjednačavanjem vanjskog i unutarnjeg tlaka. Ako vanjski tlak naglo padne, zrak će strujati iz špilje, a u špilju će strujati ukoliko se vanjski tlak povisi. U objektima s vodenim tokom, kada dođe do povišenja vodostaja, strujanje će biti rezultat izlaska potisnutog zraka iz špilje. Strujanje može biti i rezultat bržeg protoka vodenog toka. U toplijih će mjeseci hladan špiljski zrak strujati uz tlo prema van, a topli vanjski zrak će uz strop ulaziti u špilju, dok će zimi situacija biti obrnuta. Uzlazni kanali će biti topliji jer će se u njima nakupljati topli ljetni zrak izvana, dok će silazni kanali biti hladniji. Hladniji kanali mogu tijekom cijele godine zadržavati snijeg (snježnice) ili led (ledenice). U slučaju kad speleološki objekt ima dva ili više ulaza, osobito ako su ti ulazi smješteni na različitim nadmorskim visinama) strujanje će biti još izraženije. Uski špiljski kanali mogu imati brzinu strujanja i po desetak metara u sekundi.

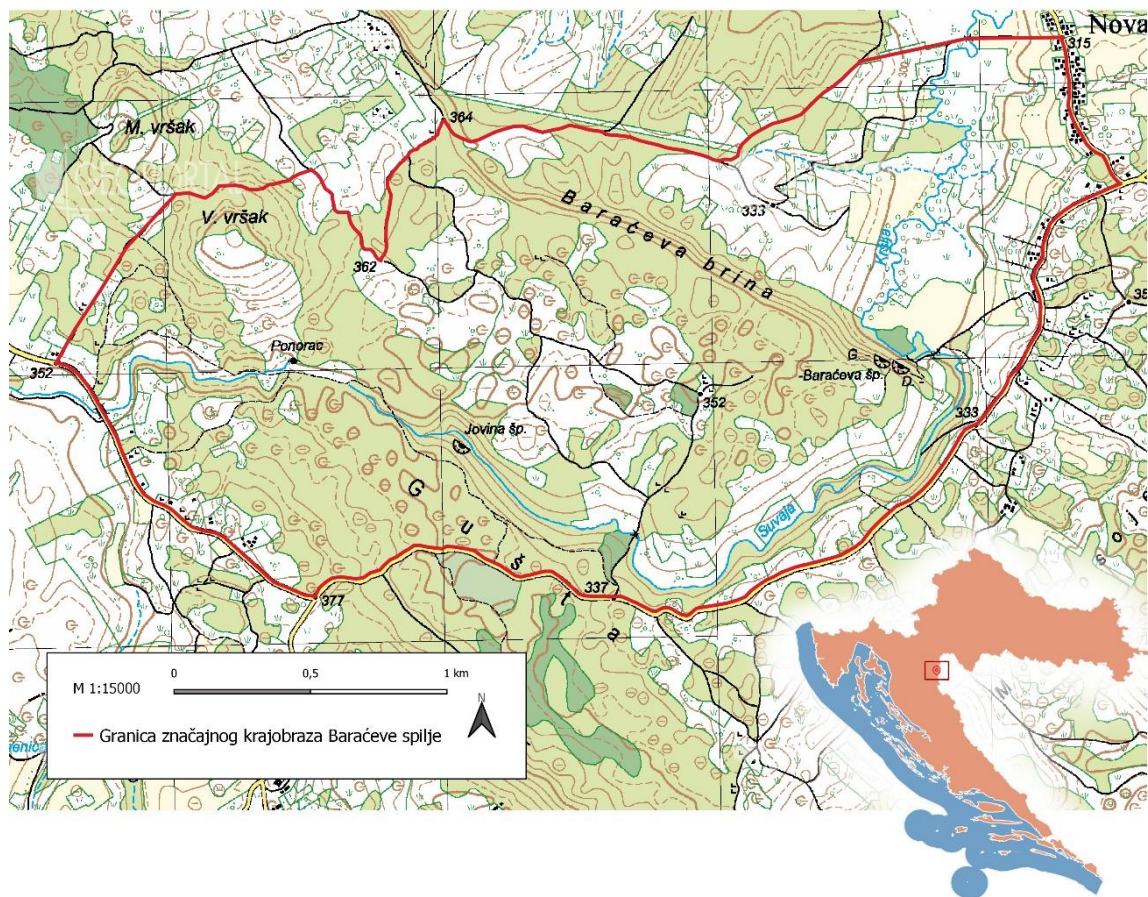
Plin čiju je koncentraciju potrebno pratiti u podzemlju je ugljikov dioksid (CO_2). Koncentracija mu je veća od atmosferske koja iznosi 0,04% (URL 2). U špilje ugljikov dioksid ulazi putem vode koja ga prolaskom kroz tlo apsorbira, može nastati kao produkt razgradnje organske tvari ili dolazi kroz pukotine iz dubljih slojeva Zemlje. Može imati negativan utjecaj na ljudsko zdravlje u koncentracijama većim od 1% (Paar i Buzjak, 2017).

Svjetlost se smanjuje s udaljenosti od ulaza, a brojna obilježja špilje utječu na to koliko će daleko svjetlost doprijeti.

3. Prikaz istraživanog lokaliteta

Gornja Baračeva špilja dio je područja značajnog krajobraza Baračeve špilje koje se nalazi u općini Rakovica unutar Karlovačke županije (Slika 3).

Područje je proglašeno značajnim krajobrazom 29. ožujka 2016. godine. Obuhvaća površinu od 5,19 km^2 . Prema geomorfološkoj regionalizaciji, ovo područje nalazi se unutar Slunjske zaravni koja je dio Unsko-koranske zaravni (Bognar, 2001).

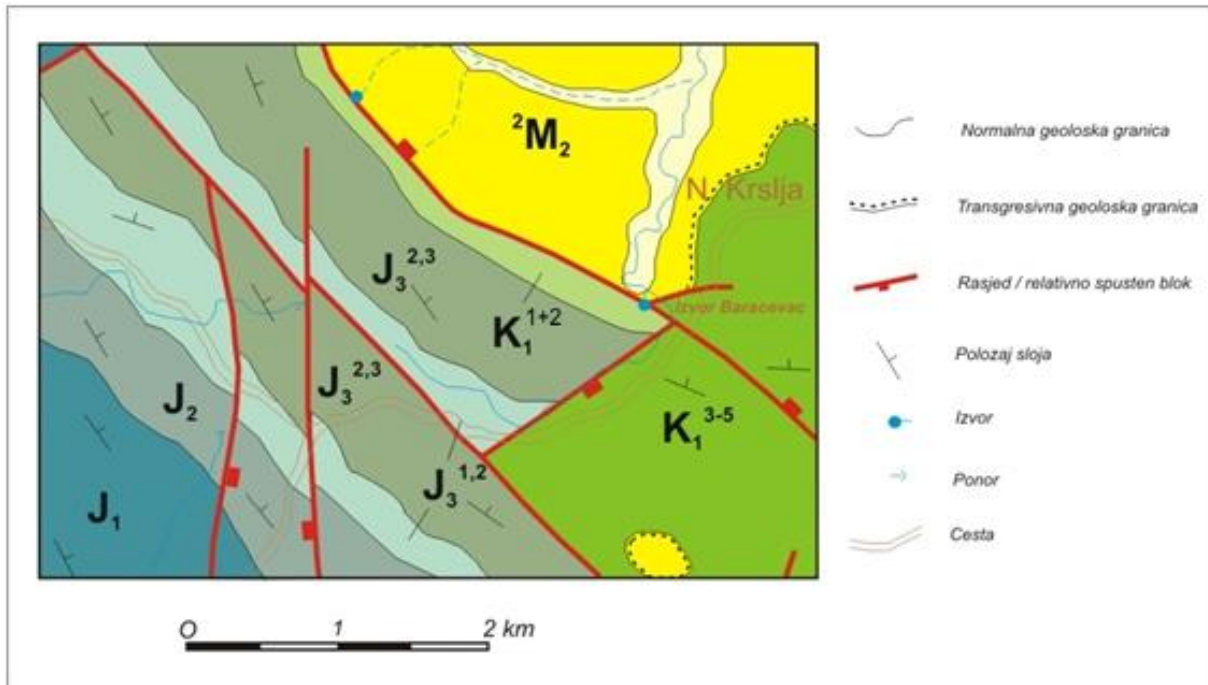


Slika 3 – Topografska karta područja Značajnog krajobraza Baračeve špilje. Izdanje DGU, izvorno mjerilo 1:25000, HTRS96/TM (Izvor: www.geoportal.hr; podacio granici Značajnog krajobraza preuzeti s www.baračeve-spilje.hr)

Geografski položaj, klimatska obilježja i povijest ljudskog djelovanja ovom području daju bogatstvo u geospeleološkom, geomorfološkom, paleontološkom, biološkom i krajobraznom smislu. Prisutna su čak četiri arealna morfogenetska tipa reljefa od ukupno sedam tipova koji u Hrvatskoj postoje. To su krški, fluviokrški, fluviodenudacijski i fluvijalni reljef. Reljefni su oblici različite starosti, a najstariji su nastali još prije miocena. Osim tih četiriju prirodna tipa, postoji i antropogeni tip (Bočić i sur., 2010).

Geološka građa većeg dijela područja prikazana je na Osnovnoj geološkoj karti u mjerilu 1:100 000 na listu Bihać (Polšak i sur., 1976). Prisutno je nekoliko naslaga različite starosti i sastava na širem području, a uglavnom se prostiru u normalnom slijedu jedna na drugu. To su naslage jure, krede i srednjeg miocena (Slika 4). Naslage donje jure (J_1) prostiru se prema jugoistoku i čine ih dolomiti i vapnenci. Dalje prema jugoistoku, u normalnom slijedu, nalaze se vapnenci s lećama dolomita srednje jure (J_2). Gornju juru čine dvije litostratigrafske jedinice

koje se pružaju u dva paralelna pojasa koja su u međusobnom rasjednom kontaktu. U naslagama kredne starosti (K_1), uz vapnence i dolomite pojavljuju se i karbonatne breče. Najmlađa jedinica pripada srednjem miocenu (2M_2), a čine ju glineni lapori, glina, pijesci i šljunci.



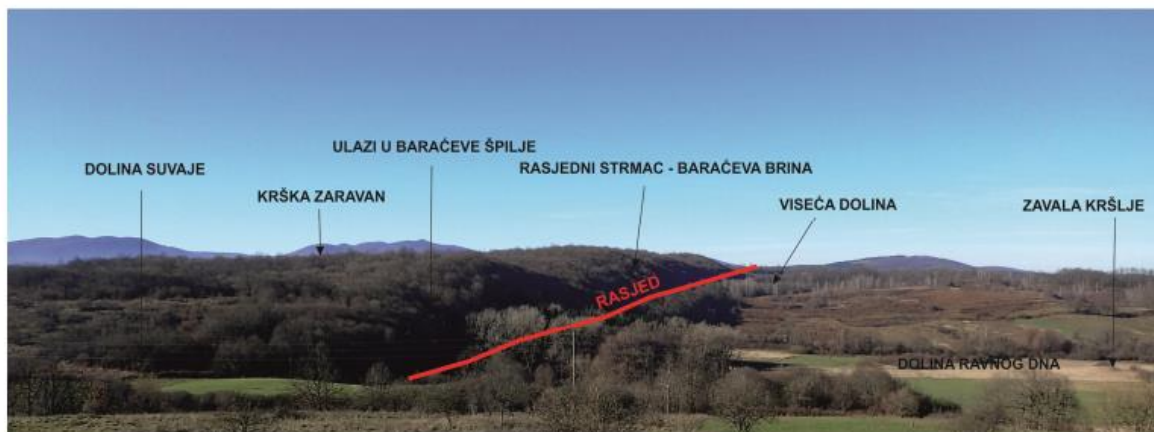
Slika 4 - Geološka karta područja Baračevih špilja i okolice, prema Polšak i dr., 1976 (Izvor: Bočić, 2015)

Glavna je tekućica potok Grabovac odakle tok vode počinje teći. Grabovac izvire južno od Rakovice. Zajedno s kraćim desnim pritokom Čelinovac ponire u Drežničkom Grabovcu. Voda se pojavljuje u špilji Ponorac te špiljskim kanalima izlazi kod izvora Jovina pećina. Dio toka koji tamo izvire i teče dolinom nosi naziv Suvaja. Suvaja je djelomično stalan tok, a nizvodno postaje povremeni tok i takva se pruža do proširenja doline u Novoj Kršlji podno Baračeve brine. Tamo se nalazi izvor Baračevac. Njegov kratki tok se ulijeva u Suvaju te od tog mjesta nosi naziv Kršlja. Potok Kršlja teče dalje prema sjeveru, ponire i čini podzemni tok špiljskoga sustava Panjkov ponor – Varićakova špilja. U Panjkov ponor također ponire i Perlinac pa se ta dva toka u špiljskom sustavu spajaju. Voda ponovno izvire u nizu izvora kod Kordunskog Ljeskovca i odande voda teče prema rijeci Korani (Bočić, 2015).

Reljef je primarno zaravnjen, ali su vidljivi i strukturno-geološki utjecaji. Rezultat tih poremećaja su dvije izdignute kompresijske morfostrukture, najvjerojatnije pop-up postanka, a nalaze se jugozapadno od Baračeve brine.

Rasjedi su vidljivi u reljefu u obliku izduženih ravnih polja velikog nagiba i iste orijentacije, ali i zonama veće vertikalne raščlanjenosti. Procesi vezani uz rasjede doveli su i do pojave niza ponora, izvora i laktastih skretanja.

Najzanimljiviji primjer je Baračeva brina (slika 5). Ona čini rasjedni strmac građen od krednih vapnenaca, dok s druge strane rasjednog kontakta nalazi se dolina oblikovana u miocenskim jezerskim naslagama. Pomaci krila rasjeda doveli su do stvaranja uvjeta za nastanak Baračevih špilja (Bočić, 2015).



Slika 5 – Osnovni elementi reljefa na području Baračevih špilja (Izvor: Bočić, 2015)

4. Metode rada

4.1. Mjerenje temperature

Temperatura (T) zajedno s relativnom vlažnosti zraka (RH) mjerena je na šest lokacija unutar špilje (5 lokacija unutar područja turističke staze i jedna lokacija van staze) i jednoj lokaciji izvan špilje pored ulaza u vremenskom rasponu od 20. svibnja 2019. godine u 21:15 do 1. siječnja 2020. godine u 15:45 sati. Za mjerenje su korišteni memorijski termohigrografi (logeri) HOBO U23 Pro v2 tvrtke Onset (slika 6). Logeri su pohranili vrijednosti temperature zraka izražene u °C te relativnu vlažnost zraka u % automatski izmjerenih svakih 15 minuta. Točnost senzora za temperaturu iznosi ± 0.21 °C dok za relativnu vlažnost $\pm 2.5\%$ (URL 3). Bili su smješteni na dovoljnoj udaljenosti od svjetlosnih uređaja (nekoliko metara) da emisija topline ne utječe na konačne podatke.

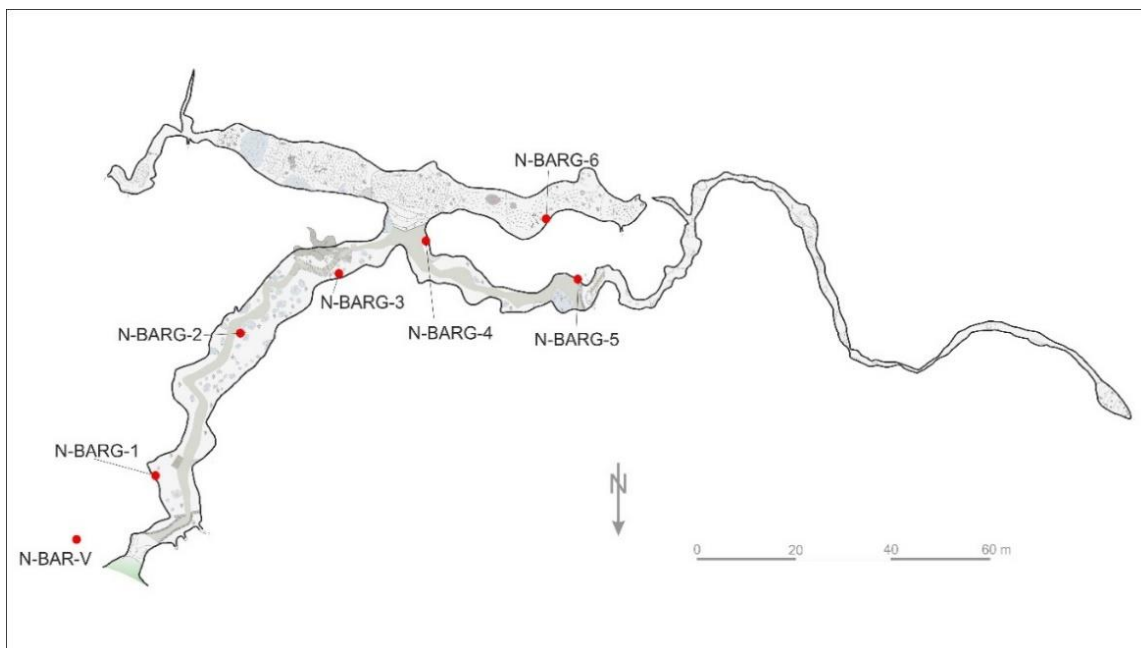


Slika 6 - Memorijski termohigrograf na mjernoj postaji N-BARG-2

Položaji logera označeni su na slici 7, a opis lokacija u tablici 1. Logeri su označeni šiframa. Prefiks „N“ (kao novo) dodan je kako bi se korištene lokacije logera lakše razlikovale od mjernih mjesta prijašnjih godina koja nisu u potpunosti jednaka. Ukupno je sedam logera za sedam lokacija. Logeri unutar špilje smješteni su iznad razine glave kako bi bilježili promjene temperature u gornjem području tunela špilje gdje se topao lakši zrak nastao prilikom izdisanja diže i zadržava.

Tablica 1 - Popis mjernih postaja s opisanom lokacijom (Izvor: Bočić i Buzjak, 2020)

RB	Šifra lokacije	Opis lokacije
1.	N-BAR-V	Na rubu platoa, nedaleko od ulaza u Gornju Baračevu špilju
2.	N-BARG-1	U Gornjoj Baračevoj špilji u ulaznoj dvorani, 25 m od ulaza
3.	N-BARG-2	U Gornjoj Baračevoj špilji u kanalu Slonovih nogu, 57 m od ulaza
4.	N-BARG-3	U Gornjoj Baračevoj špilji kod drvenog mosta, 82 m od ulaza
5.	N-BARG-4	U Gornjoj Baračevoj špilji kod vidikovca (balkona), 102 m od ulaza
6.	N-BARG-5	U Gornjoj Baračevoj špilji na kraju turističke staze, 138 m od ulaza
7.	N-BARG-6	U Gornjoj Baračevoj špilji u Baračevoj aveniji, 130 m od ulaza



Slika 7 - Shematski prikaz tlocrta Gornje Baraćeve špilje s označenim lokacijama logera (Izvor: Bočić, Buzjak, 2020)

Program HOBOWare tvrtke Onset korišten je za preuzimanje podataka te programiranje i kontrolu instrumenata. Podaci su prikazani i analizirani u programu MS Excel.

Uz grafičke prikaze, o kojima će biti detaljnije u sljedećim poglavljima rada, izračunati su i osnovni statistički pokazatelji. U tablici 2 opisana su značenja svakog pokazatelja (Bočić i Buzjak, 2020).

Tablica 2 – Osnovni statistički pokazatelji i njihove definicije

Statistički pokazatelji	Opis
N	Ukupan broj mjerenja
Prosjek	Suma svih mjerenja podijeljena s N
Medijan	Vrijednost središnjeg mjerenja
Maksimum	Najveća zabilježena vrijednost
Minimum	Najniža zabilježena vrijednost
Raspon	Razlika između maksimuma i minimuma
Standardna devijacija	Pozitivna vrijednost drugog korijena varijacije
Koeficijent varijacije V	Omjer standardne devijacije s prosjekom, izražena u postotku (%)
Prvi kvartil Q1	Dijeli podatke na četiri jednaka dijela u omjeru 1:3
Treći kvartil Q3	Dijeli podatke na četiri jednaka dijela u omjeru 3:1
Interkvartil IQ	Razlika trećeg i prvog kvartila
Koeficijent kvartilne devijacije VQ	Omjer interkvartila i zbroja kvartila

Izračunavanjem dvodnevnog kliznog srednjaka eliminiraju se kratkoperiodičke oscilacije u svrhu isticanja trendova i promjena u duljem vremenskom periodu. Na grafikonima u poglavlju Rezultati bit će za svaku postaju prikazane linija dvodnevnog kliznog srednjaka i linija temperature zraka izmjerena svakih 15 minuta. Klizni srednjaci predstavljaju srednje vrijednosti temperature zraka u dvodnevnim periodima (Šegota i Filipčić, 1996). Analizom odstupanja od kliznih srednjaka, mogu se opaziti promjene temperaturne vrijednosti uzrokovane dolaskom posjetitelja. Maksimum je najveći iznos odstupanja temperature, dok je minimum najmanji iznos. Raspon je razlika između maksimalne i minimalne vrijednosti odstupanja. Ovi podaci pomoći će u detaljnijoj analizi pojedinih dana, primjerice određenih blagdana ili praznika s brojem posjetitelja većim od prosjeka.

4.2. Posjetitelji

U vremenskom periodu od 21. svibnja do 30. listopada 2019. godine različiti vodiči ručno su bilježili broj posjetitelja i vrijeme kad bi grupe posjetitelja krenule od ulaza u područje Baračevih špilja. Bitno je napomenuti kako je od tog ulaza do dolaska u Gornju Baračevu špilju potrebno oko 10 minuta hoda. Podaci su ručno zapisivani su dalje preneseni u Excel tablicu te kasnije uspoređivani s podacima o temperaturi špilje. Podaci o broju posjetitelja za neke dane nedostaju, tj. nisu zapisani.

Za detaljnu analizu promjene temperature zraka u špilji u odnosu na vrijeme dolaska grupa i broja posjetitelja unutar njih izabran je za svaki mjesec u razdoblju posjećivanja (osim svibnja) po jedan primjer. Datum 12. lipnja uzet je kao primjer gdje će se razmotriti utjecaj grupe s najvećim brojem posjetitelja, 10. srpnja s velikim rasponom veličina grupa posjetitelja, 16. kolovoza s najvećim brojem posjetitelja u danu i najvećim brojem ulaza u špilju (najviše grupa), 6. rujna i 12. listopada kako bi se razmotrili podaci za svaki mjesec i dale usporedbe te 2. studenog kao primjer dana bez posjetitelja.

Za utvrđivanje stupnja međusobne povezanosti broja posjetitelja i porasta temperature od početne vrijednosti koristit će se Pearsonov koeficijent korelacije. Pearsonov koeficijent korelacije se koristi za varijable na omjernoj ljestvici koje su u linearnom odnosu koji se može očitati s točkastog dijagrama. Točke na točkastom dijagramu slijede i rasipaju se oko ravne crte. Koeficijent se označava slovom r i poprima vrijednosti od -1 do $+1$. Vrijednost od 0 do 1 je pozitivna korelacija (Udovičić i sur., 2007). Za izračun koeficijenta korelacije u Excelu korišteni su podaci od 5 detaljnije analiziranih dana, 12. lipnja, 10. srpnja, 16. kolovoza, 6. rujna i 12. listopada. Podaci o temperaturi preuzeti su s logera s lokacije N-BARG-5 jer pokazuje najizraženije promjene. To je lokacija na kojoj se posjetitelji zadržavaju dovoljno dugo da se

vidi jasan porast temperature, a s obzirom da je to najudaljenija točka od ulaza, nema prodora vanjskog zraka koji bi mogao značajnije utjecati na promjenu temperature koja nije povezana s posjetiteljima. Kao početna temperatura korištena je ona koju je loger pokazivao na početku svakog od tih 5 dana, prije dolaska prve grupe. Za svaki temperaturni skok izračunata je razlika između najviše temperature vezane za tu grupu posjetitelja i početne vrijednosti. Ta vrijednost uspoređena je s veličinom grupe za koju se veže te je pomoću 'correl' opcije u Excelu izračunat koeficijent korelacije između tih vrijednosti.

5. Rezultati

5.1. Temperatura zraka

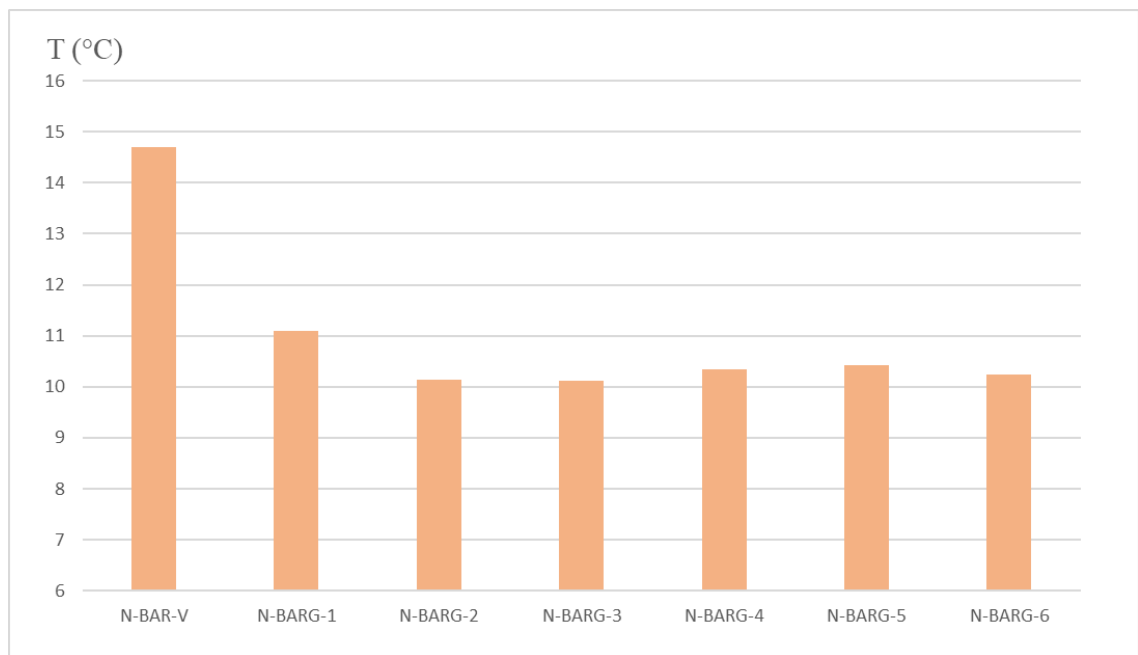
Vrijednosti statističkih pokazatelja vezanih za temperaturu zraka izmjerenu logerima na svim mjernim postajama navedene su u tablici 3.

Relativna vlažnost zraka nije uzimana u obzir prilikom analize podataka jer je na svim mjernim postajama nakon nekoliko prvih očitavanja iznosila 100% i taj iznos do kraja perioda mjerenja je ostao konstantan i bez odstupanja. Iako je moguće da je doista tijekom cijelog perioda mjerenja vlažnost iznosila 100%, razlog bi također mogao biti i kondenzacija na senzoru koja je dovela do netočnih podataka (Bočić i Buzjak, 2020).

Na slici 8 grafički je prikazana prosječna vrijednost temperature zraka na svim mjernim postajama, uključujući i vanjsku. U usporedbi s vanjskom temperaturom zraka, sve postaje, izuzevši postaju N-BARG-1, čija je prosječna temperatura zraka viša zbog utjecaja ulaza, pokazuju relativno slične prosječne vrijednosti.

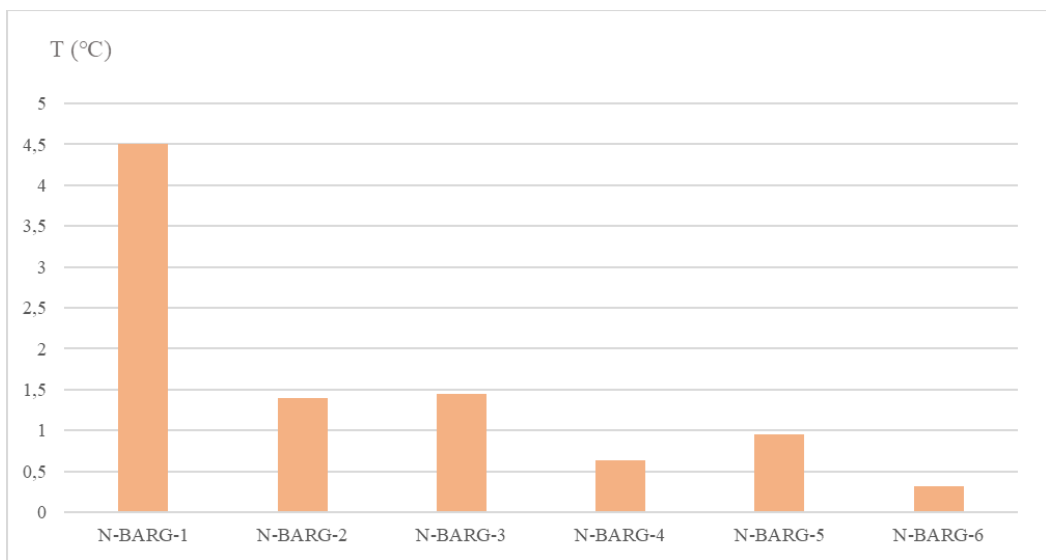
Tablica 3 - Vrijednosti statističkih pokazatelja temperature zraka za sve mjerne postaje (Bočić i Buzjak, 2020)

PARAMETAR	POSTAJA						
	N-BARG-V	N-BARG-1	N-BARG-2	N-BARG-3	N-BARG-4	N-BARG-5	N-BARG-6
N	21678	21678	21678	21676	21678	21678	21678
Prosjek	14,6928738	11,0962685	10,1390780	10,1107168	10,3446981	10,4313631	10,2455549
Medijan	15,175	11,175	10,222	10,222	10,369	10,394	10,198
Maksimum	34,704	13,473	10,785	10,785	10,834	11,273	10,467
Minimum	-8,630	8,965	9,386	9,336	10,198	10,320	10,149
Raspon	43,334	4,508	1,399	1,449	0,636	0,953	0,318
Standardna devijacija	7,76404950	1,04027749	0,37359023	0,23419156	0,07751467	0,07982869	0,09389374
Koeficijent varijacije	52,84227994	9,37502090	3,68465680	2,31627061	0,74931785	0,76527570	0,91643394
Prvi kvartil Q1	9,336	10,369	9,829	9,903	10,271	10,394	10,173
Treći kvartil Q3	20,222	11,880	10,467	10,296	10,394	10,443	10,320
Interkvartil IQ	10,886	1,511	0,638	0,393	0,123	0,049	0,147
Koeficijent kvartilne devijacije VQ	0,36829285	0,06791316	0,03143477	0,01945641	0,00595209	0,00235159	0,00717318



Slika 8 – Prosječne temperature zraka izmjerene u proučavanom periodu na svim mjernim postajama

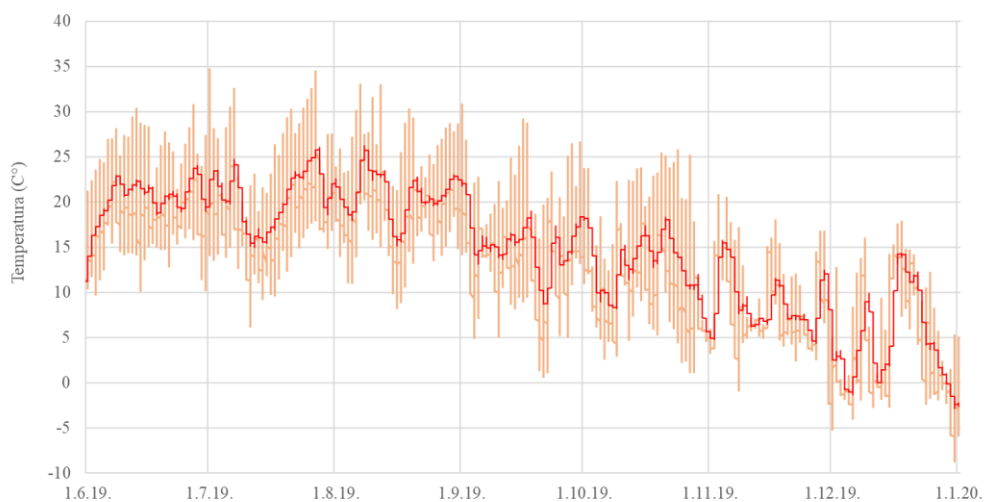
Raspon je razlika između maksimalne i minimalne vrijednosti temperature zraka i prikazan je na slici 9. Vidljivo je kako je raspon najveći na mjernoj postaji N-BARG-1 jer blizina ulaza dovodi do većih oscilacija u temperaturi zraka. Na postajama N-BARG-2 i N-BARG-3, iako trostruko manje vrijednosti raspona, i dalje su uzrokovane utjecajem ulaza.



Slika 9 – Raspon (Razlika između maksimalne i minimalne vrijednosti) temperature zraka u proučavanom periodu na mjernim postajama u špilji

Postaja N-BARG-V

Prosječna vanjska temperatura za cijeli taj polugodišnji period mjerenja iznosila je 14,7 °C. Crvena linija označava klizni srednjak za 192 mjerenja, odnosno srednju vrijednost za svakih 48 sati (slika 10). Pomoću njega lakše je uočiti promjenu srednjih temperaturnih vrijednosti tijekom tog polugodišnjeg perioda. Odstupanja od srednjih dnevnih temperatura karakteristična su za vanjski okoliš gdje je razlika između viših temperatura danju i nižih noću izražena zbog izravnog utjecaja Sunčevog zračenja, osobito tijekom ljetnih mjeseci. Osim dnevnih, jasno su vidljiva i sezonska odstupanja. Raspon temperaturnog maksimuma i minimuma iznosi čak 43,4 °C, s maksimumom od 34,7 °C zabilježenim u srpnju i minimumom od -8,6 °C zabilježenim na samom kraju perioda mjerenja. U usporedbi s podacima o prosječnoj srednjoj temperaturi zraka za srpanj na širem području prema Klimatskom atlasu Hrvatske, čiji je raspon između 18 i 21 °C, može se reći da se podaci izmjereni na postaji N-BARG-V u iznosu prosječne temperature zraka od 20,6 °C poklapaju s podacima očitanim s atlasa. Prema Klimatskom atlasu Hrvatske srednja godišnja temperatura zraka za šire područje iznosi 9-10 °C (Zaninović i sur., 2008).



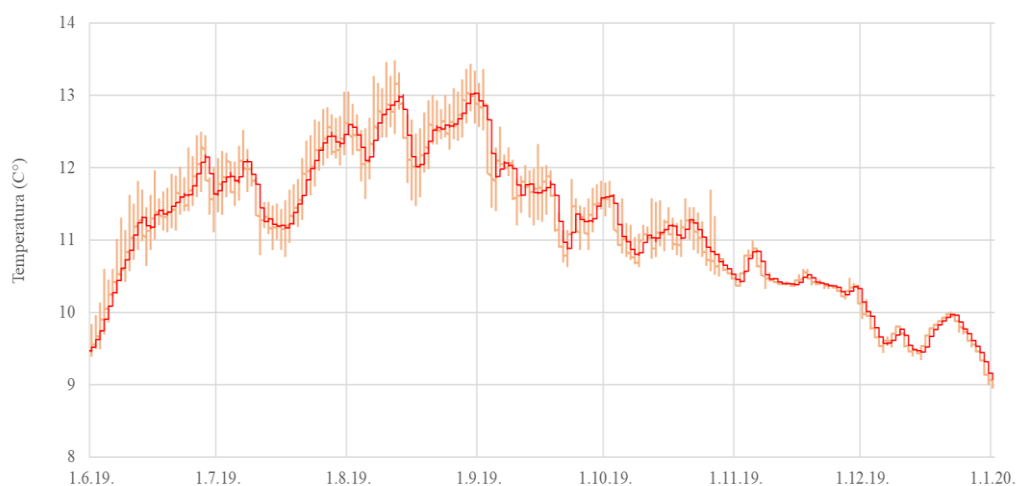
Slika 10 – Hod prosječne temperature s naglašenim dnevnim odstupanjima od srednjaka za cijeli period mjerenja na vanjskoj postaji N-BARG-V

Postaja N-BARG-1

Postaja N-BARG-1 najbliža je ulazu u špilju te su stoga utjecaji ulaza i vanjskih klimatskih parametara najizraženiji (slika 11). S obzirom da je raspon minimuma (8,9 °C) i maksimuma (13,5 °C) relativno malen (4,5 °C) premda najveći od svih mjernih postaja u špilji te je srednja temperatura od 11,18 °C bliža ukupnoj prosječnoj temperaturi špilje (10,39 °C) nego vanjskoj

temperaturi, iako su temperaturne oscilacije znatno manje. Vanjski je utjecaj vidljiv u pojavi više sekundarnih maksimuma dok bi općenito kod špiljske klime karakterističnija bila pojava samo jednog maksimuma i jednog minimuma. Još jedna zanimljiva pojava koja se može uočiti ako se usporede maksimumi sa slike 8 i slike 9 je kašnjenje maksimuma mjerne postaje N-BARG-1 u odnosu na vanjsku postaju N-BARG-V od otprilike mjesec dana.

Odstupanja od kliznog srednjaka, koja se vide tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci, rezultat su povišenja temperature prilikom dolaska posjetitelja. Dokaz koji to potvrđuje na slici 9 su gotovo neprimjetna odstupanja od srednjaka u studenome i prosincu kada posjetitelja nije bilo. Dnevni maksimum odstupanja od kliznog srednjaka je 0,83 °C. N-BARG-1 je postaja s najvećim utjecajem posjetitelja na dnevna odstupanja od srednjaka.



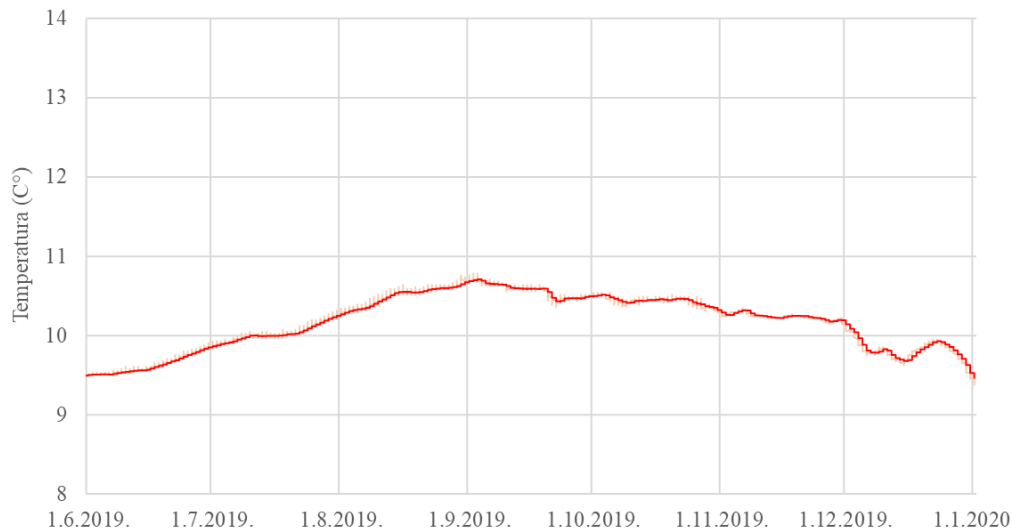
Slika 11 – Prosječna temperatura s naglašenim dnevnim odstupanjima za cijeli period mjerenja na postaji N-BARG-1

Postaja N-BARG-2

Ova je mjerna postaja udaljena pedesetak metara od ulaza i utjecaj je i dalje vidljiv, no u znatnije manjoj mjeri nego kod prethodne postaje. Prosječna temperatura je 10,13 °C, a temperaturni raspon iznosi 1,39 °C s maksimumom od 10,79 °C početkom rujna, oko mjesec dana kasnijim u odnosu na vanjski maksimum, te minimumom od 9,33 °C. I dok maksimum kasni mjesec dana, početak minimuma na ovoj i prethodnoj mjernoj postaji u odnosu na vanjsku mjernu postaju kasni svega nekoliko dana (slika 12). Takva je vremenska razlika zato što ljeti topao zrak, koji ulazi u podzemlje uz strop, puno teže izbacuje gušći hladni zrak van špilje, a zimi gušći hladni zrak ulazi uz donji dio otvora pa topli zrak pri stropu puno brže izlazi van špilje.

Za razliku od prethodne postaje gdje je zabilježena pojava sekundarnih maksimuma, ovdje su prisutni samo jedan maksimum i minimum, dakle radi se o tipičnoj špiljskoj mikroklimi koja je puno stabilnija i pod minimalnim utjecajem prodora vanjskog zraka.

Znatnijih dnevnih odstupanja od kliznog srednjaka nema jer se posjetitelji na ovom mjestu ne zadržavaju, već samo prolaze pored postaje.

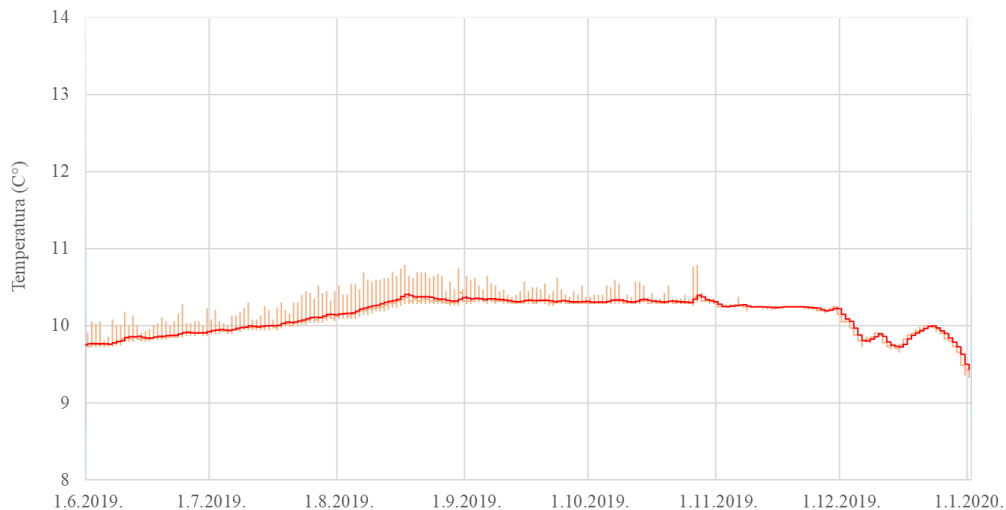


Slika 12 – Prosječna temperatura za cijeli period mjerenja na postaji N-BARG-2

Postaja N-BARG-3

Ovo je postaja sa zabilježenom najmanjom prosječnom temperaturom od svih postaja u tom periodu mjerenja, a iznosi 10,11 °C (Slika 13). Maksimum u kolovozu koji, iako nije toliko izražen, je i dalje primjetan, a raspon temperatura nešto je viši u odnosu na postaju N-BARG-2 i iznosi 1,45 °C.

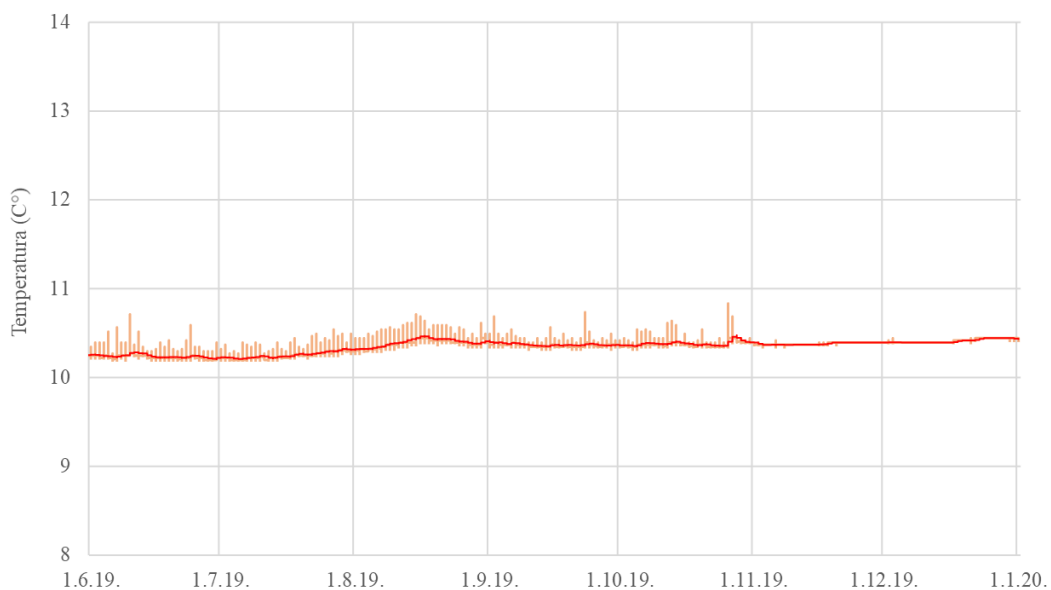
Od početka mjerenja pa sve do studenog, kada su dozvoljeni turistički posjeti, dnevna odstupanja od srednjaka su vrlo izražena te se iz toga može zaključiti kako se na tom mjestu posjetitelji puno dulje zadržavaju. Dnevni maksimum odstupanja od kliznog srednjaka je 0,45 °C u usporedbi s podacima sa postaje N-BARG-2 gdje je on iznosio 0,088 °C. N-BARG-3 je treća postaja po maksimalnom dnevnom odstupanju od srednjeg kliznog srednjaka, iza N-BARG-1 i N-BARG-5.



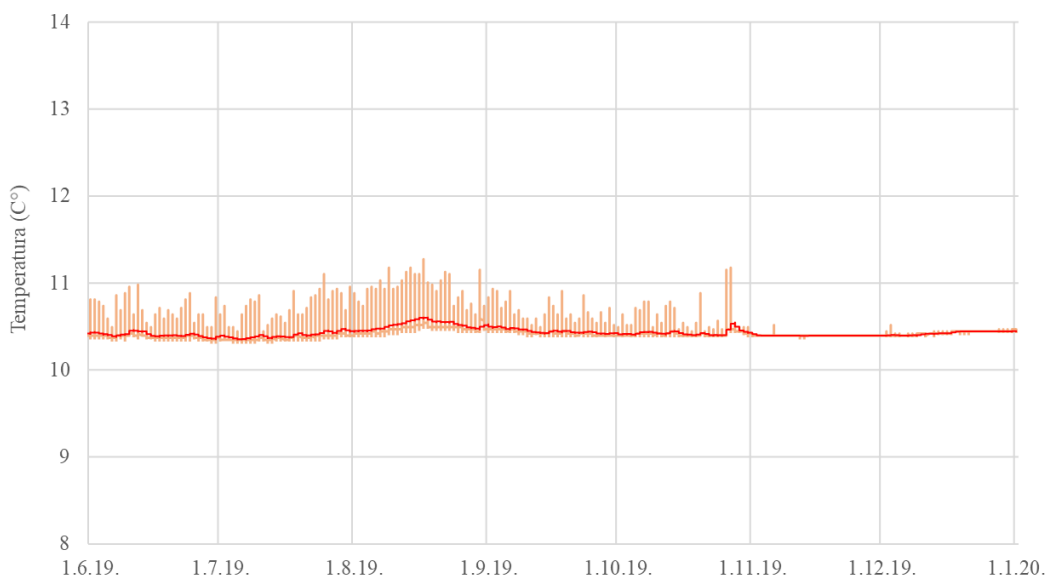
Slika 13 – Prosječna temperatura s naglašenim dnevnim odstupanjima na postaji N-BARG-3

Postaja N-BARG-4

Prosječna temperatura zraka na mjernoj postaji N-BARG-4 je 10,34 °C (slika 14). Raspon je drugi najmanji po redu i iznosi 0,64 °C. Za razliku od prethodne postaje, ovdje više nema utjecaja prodora hladnog zraka zimi izvana pa je klizni srednjak tijekom zimskih mjeseci gotovo konstantan. Utjecaj posjetitelja na dnevna odstupanja od kliznog srednjaka je sličan kao na prethodnoj mjernoj postaji, no nešto niži, s maksimumom od 0,41 °C. Tijekom sezone posjećivanja vidljivo je nekoliko maksimuma koji su u ovom slučaju uzrokovani zadržavanjem posjetitelja. Iz toga se može zaključiti kako je raspon temperatura izmjenjenih na postaji N-BARG-4 takav isključivo zbog utjecaja posjetitelja na njega te kako bi u slučaju bez posjetitelja bio znatno niži. S obzirom na opisane uvjete postavlja se pitanje zašto maksimalna dnevna odstupanja nisu i viša od spomenutih. Tako je najvjerojatnije zbog lokacije uz Baračevu aveniju otkud je zapaženo lagano strujanje zraka koje ublažava utjecaj posjetitelja.



Slika 14 – Prosječna temperatura s naglašenim dnevnim odstupanjima na postaji N-BARG-4



Slika 15 – Prosječna temperatura s naglašenim dnevnim odstupanjem na postaji N-BARG-5

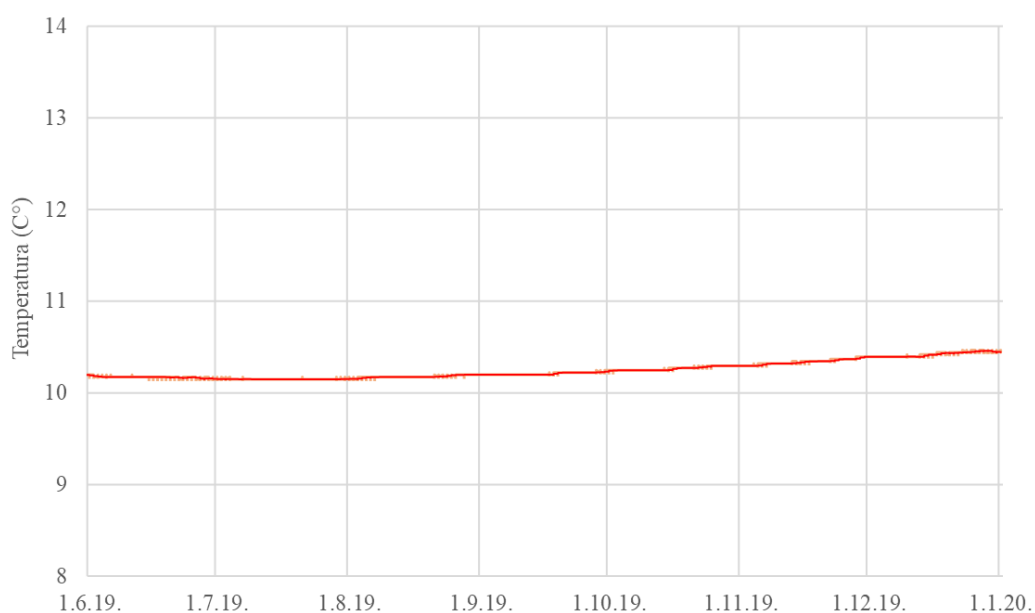
Postaja N-BARG-5

Mjerna postaja N-BARG-5 (Slika 15) posljednja je mjerna postaja gdje posjetitelji mogu pristupiti te je, zajedno s postajom N-BARG-6 najudaljenija postaja od ulaza. Utjecaj temperature izvana već kod prethodne postaje nije vidljiv pa tako nije ni ovdje. Izuzevši

prosječnu temperaturu na postaji N-BARG-1, čiji je iznos itekako pod utjecajem viših ljetnih temperatura izvana, ovo je postaja s najvišom prosječnom temperaturom u iznosu od 10,43 °C. Raspon između maksimalnog i minimalnog iznosa je 0,95 °C. Maksimalna zabilježena temperatura je 11,27 °C, a maksimum dnevnog odstupanja od kliznog srednjaka je 0,66 °C. Utjecaj posjetitelja jasno je vidljiv te je puno jači nego kod postaje N-BARG-4 jer je lokacija zatvorenija. Relativan utjecaj ovakvih odstupanja je i dalje malen ako uzmemo u obzir činjenicu da gotovo 94% mjerenja (od ukupnog broja mjerenja N) pokazuje iznos odstupanja manji od 0,1 °C. To bi značilo da koliko god posjetitelji mogu uzrokovati trenutni porast temperature, temperatura će se svejedno u kratkom roku vratiti na početnu, normalnu vrijednost.

Postaja N-BARG-6

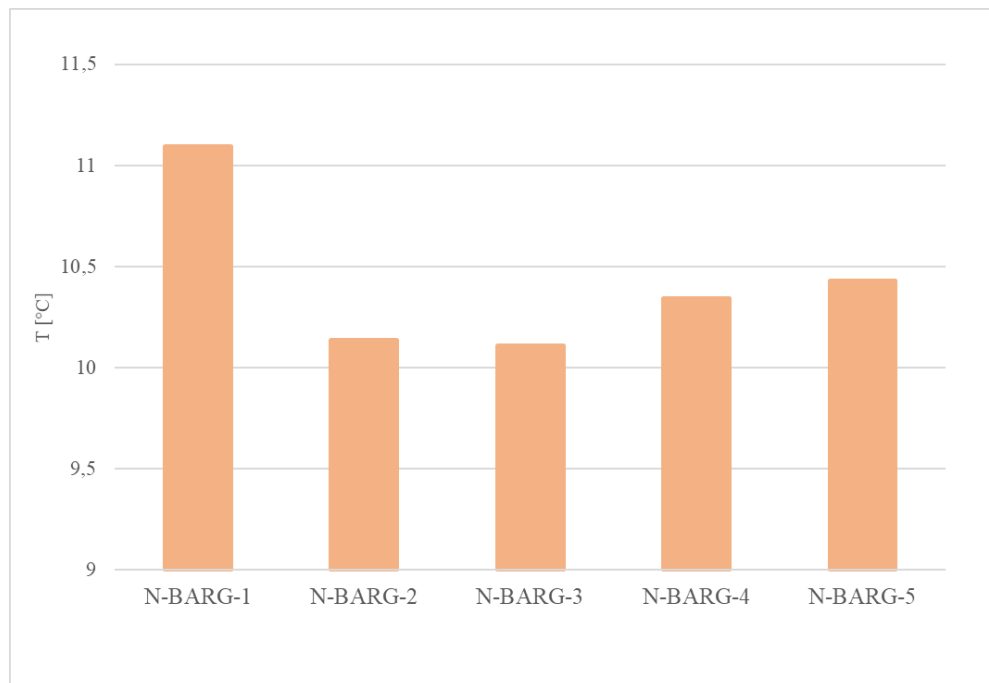
Posljednja mjerna postaja, N-BARG-6, ne nalazi se u turističkom dijelu špilje, tako da utjecaja posjetitelja na temperaturna odstupanja nema (slika 16). Krivulja je gotovo ravna, s vrlo blagim porastom temperature tijekom zimskih mjeseci. Prosječna temperatura zraka zabilježena na ovoj mjernoj postaji u danom periodu iznosila je 10,25 °C, s rasponom od svega 0,32 °C. Maksimalna dnevna vrijednost odstupanja od kliznog srednjaka je znatno niža od vrijednosti svih ostalih postaja i iznosi 0,025 °C. Udio mjerenja (N) s iznosom manjim od 0,1 je 100%, dakle ne postoji nijedno mjerenje koje je pokazalo značajnije odstupanje.



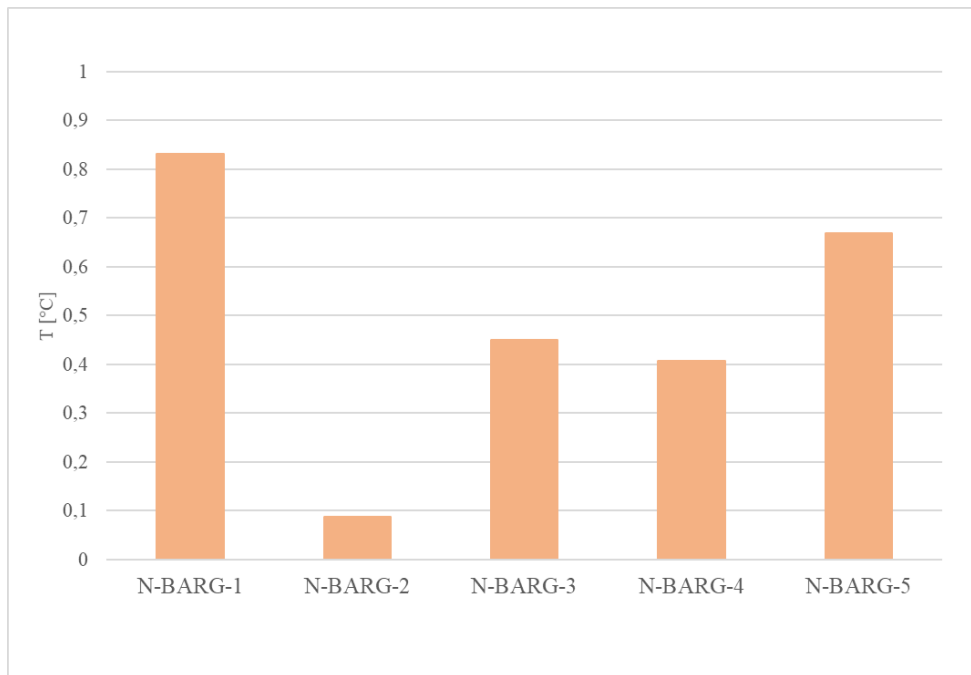
Slika 16 – Prosječna temperatura na postaji N-BARG-6

Prostorna raspodjela prosječnih temperatura zraka na postajama je slična onoj očekivanoj. Prosječna vrijednost temperature zraka cijele špilje iznosi 10,39 °C. Postaja N-BARG-1 očekivano ima mnogo višu temperaturu zbog blizine ulaza. Temperatura se već kod postaje N-BARG-2 i N-BARG-3 spušta na najniže vrijednosti te kod sljedećih postaja se vrijednosti postepeno dižu. Razlog nije u potpunosti razjašnjen, no moguće je da su druga i treća postaja hladnije od udaljenijih zbog plitkog nadsloja, strujanja zraka i utjecaja s površine za udaljenije postaje (Bočić i Buzjak, 2020).

Mjerna postaja N-BARG-6 nije uključena u grafički prikaz (slika 17) jer ne pripada prostornom nizu koji nam služi za analizu prostorne raspodjele temperatura. Ona se nalazi u sporednom kanalu, najbliže točki N-BARG-4 i nije najudaljenija točka u nizu.



Slika 17 – Usporedba prosječnih temperatura zraka na mjernim postajama smještenim a u blizini staze za turiste



Slika 18 – Maksimalna odstupanja vrijednosti od dvodnevno kliznog srednjaka na mjernim postajama smještenima u blizini staze za turiste

Odstupanja vrijednosti od dvodnevno kliznog srednjaka (Slika 18) ukazuju na vidljiv utjecaj turističkih grupa na promjene temperature zraka za sve mjerne postaje osim N-BARG-6. Razlika između postaja je u intenzitetu tih promjena. Kod postaje N-BARG-1 taj je intenzitet najveći s maksimalnim odstupanjem od 0,83 °C. Na toj postaji posjetitelji tek ulaze u špilju, a s obzirom da su prethodno izloženi višim vanjskim temperaturama i usponu do špilje, imaju veći utjecaj nego na sljedećim postajama kada su već dulje izloženi špiljskim klimatskim uvjetima. Druga postaja po veličini odstupanja je N-BARG-5 s maksimalnom vrijednosti od 0,67 °C. S obzirom da je to zadnja postaja u nizu, posjetitelji se najvjerojatnije, kao i u slučaju s N-BARG-1, tamo najdulje zadržavaju.

Druga postaja od ulaza, N-BARG-2, pokazuje najnižu vrijednost maksimalnog odstupanja od svega 0,088 °C. Posjetitelji se na toj lokaciji ne zadržavaju, već samo prolaze, pa je njihov utjecaj minimalan.

Postaje N-BARG-3 i N-BARG-4 su po maksimalnoj vrijednosti odstupanja od srednjaka međusobno najslabije. Njihove vrijednosti odstupanja iznose 0,45 i 0,41 °C. Posjetitelji se zadržavaju na tim lokacijama, no najvjerojatnije kraće i nema toliko izraženog utjecaja kao na postaji N-BARG-1 jer su ovdje posjetitelji već neko vrijeme u špilji. Osim toga, ove postaje su smještene u području špilje gdje je volumen nešto veći u odnosu na ostala područja pa i to u određenoj mjeri ublažava trenutni porast temperature.

Utjecaj na temperaturu može se prikazati i podacima o udjelu mjerenja dnevnog odstupanja od srednjaka s vrijednostima manjima od 0,1 °C. Vrijednost od 100% u slučaju postaje N-BARG-6 govori nam o tome kako ni u jednom trenutku nije došlo do značajnijeg odstupanja od srednje vrijednosti koje bi inače ukazivalo na prolazak ili zadržavanje posjetitelja u blizini. Sve ostale postaje pokazuju iznos ispod 100%. Ako pretpostavimo da je odstupanje od 0,1 °C pa nadalje značajnije odstupanje pod utjecajem posjetitelja koje treba razmotriti, onda vidimo da se za relativno malen broj mjerenja (svega nekoliko %) može smatrati da su pod većim utjecajem promjena zbog posjetitelja. Bilo kakva odstupanja od srednje vrijednosti vrlo se brzo vrate na normalnu vrijednost.

5.2. Posjetitelji

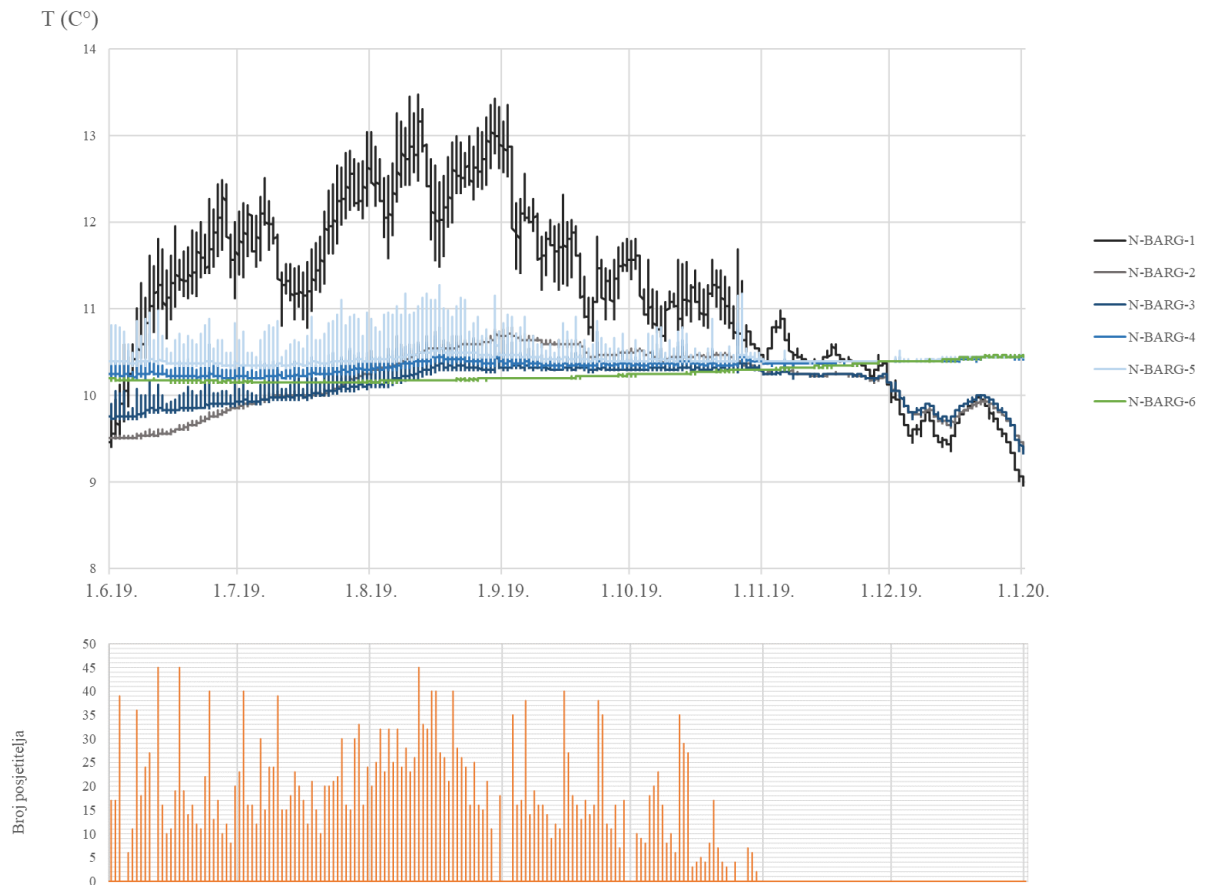
Gornja Baračeva špilja za posjetitelje u 2019. godini bila je otvorena od 21. svibnja do kraja listopada. U tom periodu zabilježeno je ukupno 12748 posjetitelja. Čak trećina (33%) posjetitelja pripada mjesecu kolovozu. Drugi mjesec po brojnosti posjetitelja je srpanj s 23,6% od ukupnog broja posjetitelja. Najmanji broj posjetitelja (7%) zabilježen je u listopadu (Tablica 4).

Sezonski hod broja posjetitelja pokazuje kako je na samom početku sezone niži broj, on postepeno raste do maksimuma u kolovozu nakon čega se naglo smanjuje.

Tablica 4 – Podaci o broju posjetitelja u 2019. godini

	N	%
Ukupan broj posjeta	12748	100
Ukupan broj u svibnju	1050	8,24
Ukupan broj u lipnju	1892	14,84
Ukupan broj u srpnju	3006	23,58
Ukupan broj u kolovozu	4238	33,24
Ukupan broj u rujnu	1671	13,11
Ukupan broj u listopadu	891	6,99

Ukupan broj posjeta turističkih grupa iznosio je 1132. Najveći broj posjetitelja unutar jedne grupe iznosio je 45 i dogodio se 12. i 17. lipnja te 12. kolovoza. Najveći broj posjetitelja u danu, čak njih 283, bio je 16. kolovoza. Najveći broj ulaza turističkih grupa u špilju u jednom danu bio je 12 ulaza koji su se desili 13. i 14. kolovoza. Prosječan broj posjetitelja po grupi (jednom ulazu u špilju) za cijeli proučavani period je 11.



Slika 19 – Temperatura zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s brojem posjetitelja

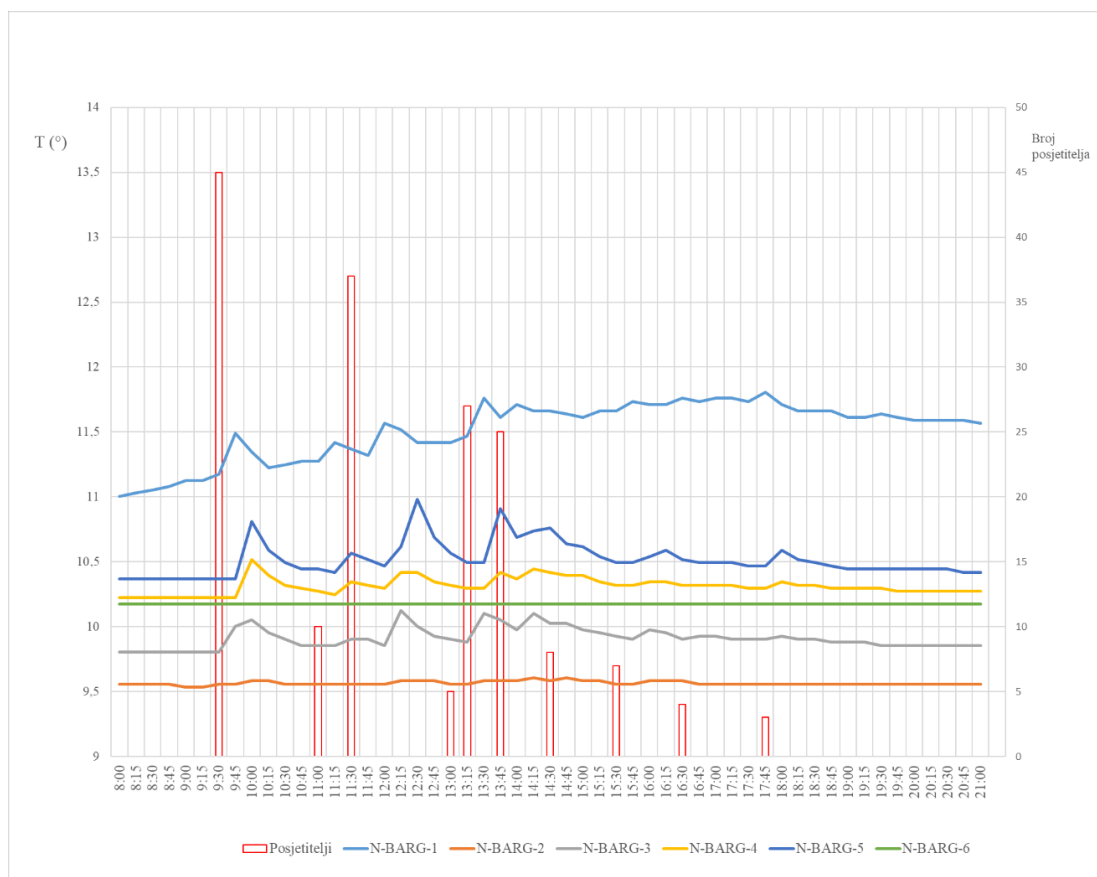
Na slici 19 prikazana je usporedba hoda temperature s brojem posjetitelja za cijeli vremenski okvir proučavanja. Gornji grafički prikaz uključuje sve mjerne postaje čiji su podaci u prethodnom potpoglavlju zasebno prikazani. S donjeg grafičkog prikaza vidljiva je najveća gustoća posjeta u kolovozu, te su na gornjem prikazu u istom periodu vidljiva najgušća odstupanja od kliznog srednjaka. Početkom studenog, kada prestaju turistički posjeti, istovremeno nestaju i dnevna odstupanja temperature.

5.3. Odnos kretanja temperature i broja posjetitelja

Na sljedećim primjerima odabranih datuma bit će detaljnije analizirano kretanje vrijednosti temperature u danu u odnosu na vrijeme dolaska grupa i njihove veličine.

Prvi primjer je srijeda 12. lipnja 2019 (slika 20). Taj dan je špilju posjetilo ukupno 171 posjetitelja podijeljenih u 10 grupa. Prije dolaska prve grupe temperature izmjerene na svim postajama bile su konstantne, osim na lokaciji N-BARG-1 gdje je vidljiv blagi porast temperature ujutro te spuštanje tijekom noćnih sati koji su rezultat blizine ulaza i utjecaja

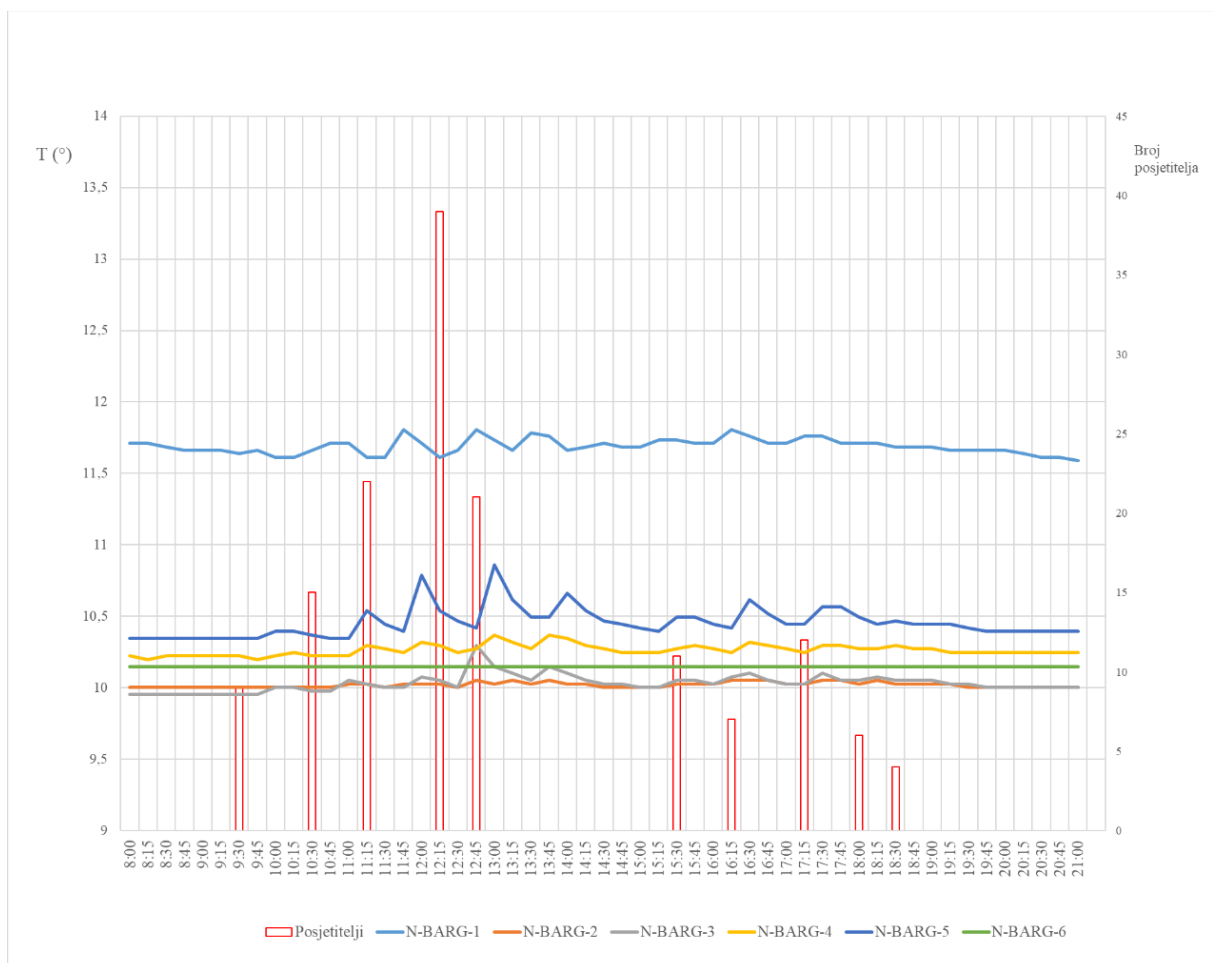
dnevnih oscilacija vanjske temperature. Na lokaciji N-BARG-6, kao što se i očekivalo, nema nikakve promjene temperature tijekom dana. Kod postaje N-BARG-2 također nije vidljiv utjecaj posjetitelja, iako su vidljive izuzetno male promjene temperature nekoliko puta u danu. Sa slike se ne može zaključiti jesu li te promjene uzrokovane prolaskom posjetitelja pored mjerne postaje ili nekim drugim faktorom. Postaja N-BARG-5 mjeri najveću temperaturnu promjenu svaki put nakon dolaska grupe posjetitelja. Nagli porasti temperature zraka nastupaju nekoliko minuta nakon prolaska posjetitelja, temperatura može porasti do 0,4 °C, ali se odmah krene vraćati na normalnu vrijednost. Taj povratak traje dulje nego porast, a rezultira da prosječna temperatura tijekom dana bilježi blagi kontinuirani porast sve do večernjih sati kada nema više posjeta do sljedećeg jutra.



Slika 20 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 12. lipnja 2019.

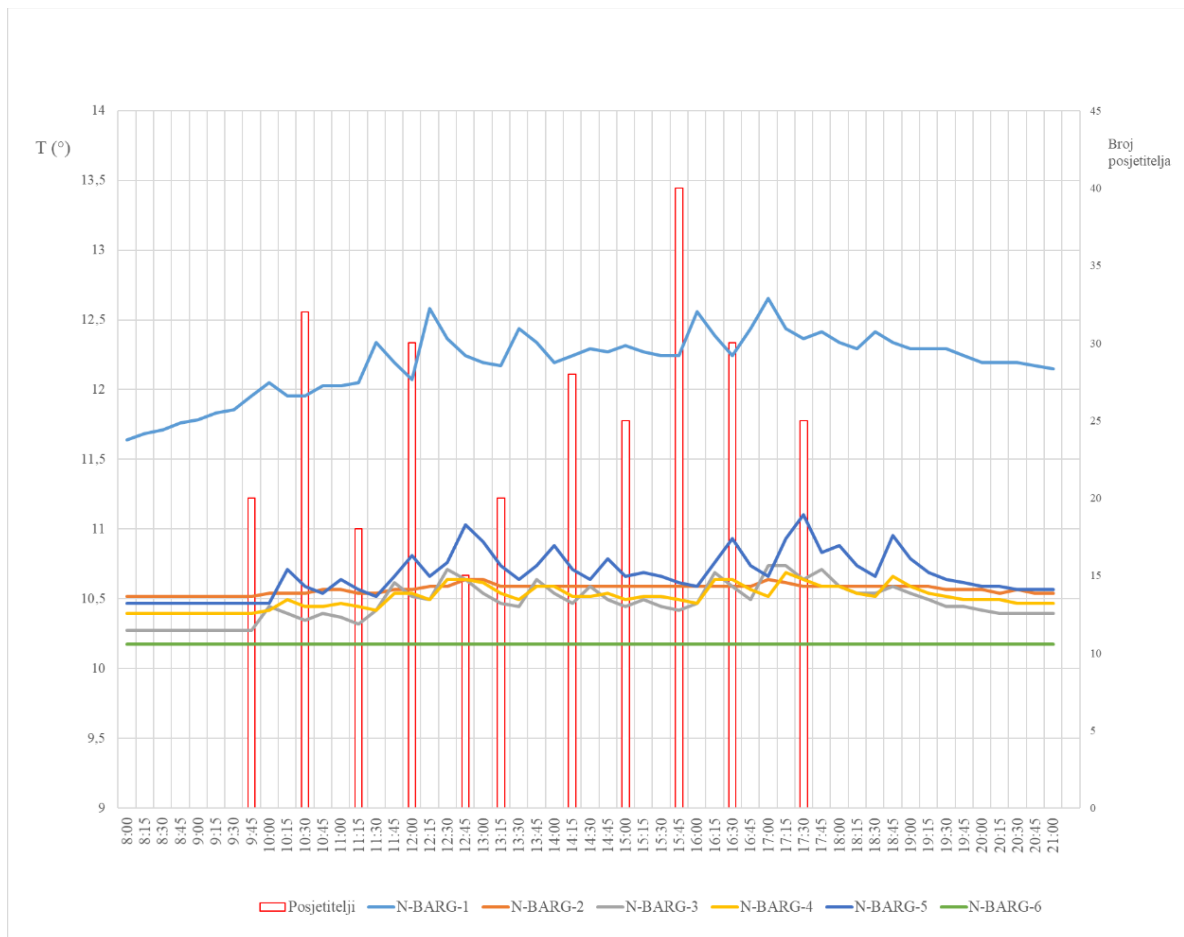
Drugi promatrani datum je 10. srpanj (slika 21). Ovdje su prisutne velike varijacije u brojevima posjetitelja unutar grupa, što nam može dati uvid u to postoji li razlika u vrijednosti porasta temperature između manjih i većih grupa. Taj dan je špilju posjetilo ukupno 146 posjetitelja podijeljenih u deset grupa. Broj posjetitelja unutar grupe varira između četvero i 39. Prosječna temperatura, ako izuzmemo nagle poraste prilikom posjeta, nema blagi kontinuirani

porast ni na jednoj mjernoj postaji u odnosu na prethodni primjer. Radi se o srpnju koji u odnosu na prethodni mjesec lipanj nema toliko veliku razliku u dnevnim i noćnim temperaturama koje bi se mogle odraziti na temperature zraka izmjerene na mjernim postajama koje su smještene bliže ulazu u špilju, no ovakvi podaci isto tako mogu biti rezultat meteoroloških prilika pojedinih dana. Ponovo su najveći porasti zabilježeni na mjernoj postaji N-BARG-5, gdje maksimalni trenutni porast dolazi do oko 0,4 °C. Vidljiva je razlika ovisno o broju posjetitelja po grupama, gdje grupe od oko 20 posjetitelja značajnije utječu na trenutni porast, srednji utjecaj imaju grupe s oko desetak posjetitelja, dok izuzetno blagi porast uzrokuju grupe do 5 posjetitelja. S obzirom da se posjetitelji najmanje zadržavaju na postajama N-BARG-2 i N-BARG-3 ovdje su temperaturni porasti minimalni, a N-BARG-6 kao i u svakom sljedećem slučaju, ima konstantnu temperaturu bez ikakvih promjena zbog svog položaja van turističke staze. Prosječne dnevne temperature svih mjernih postaja u ovom su slučaju nešto više u odnosu na prethodni primjer iz lipnja.



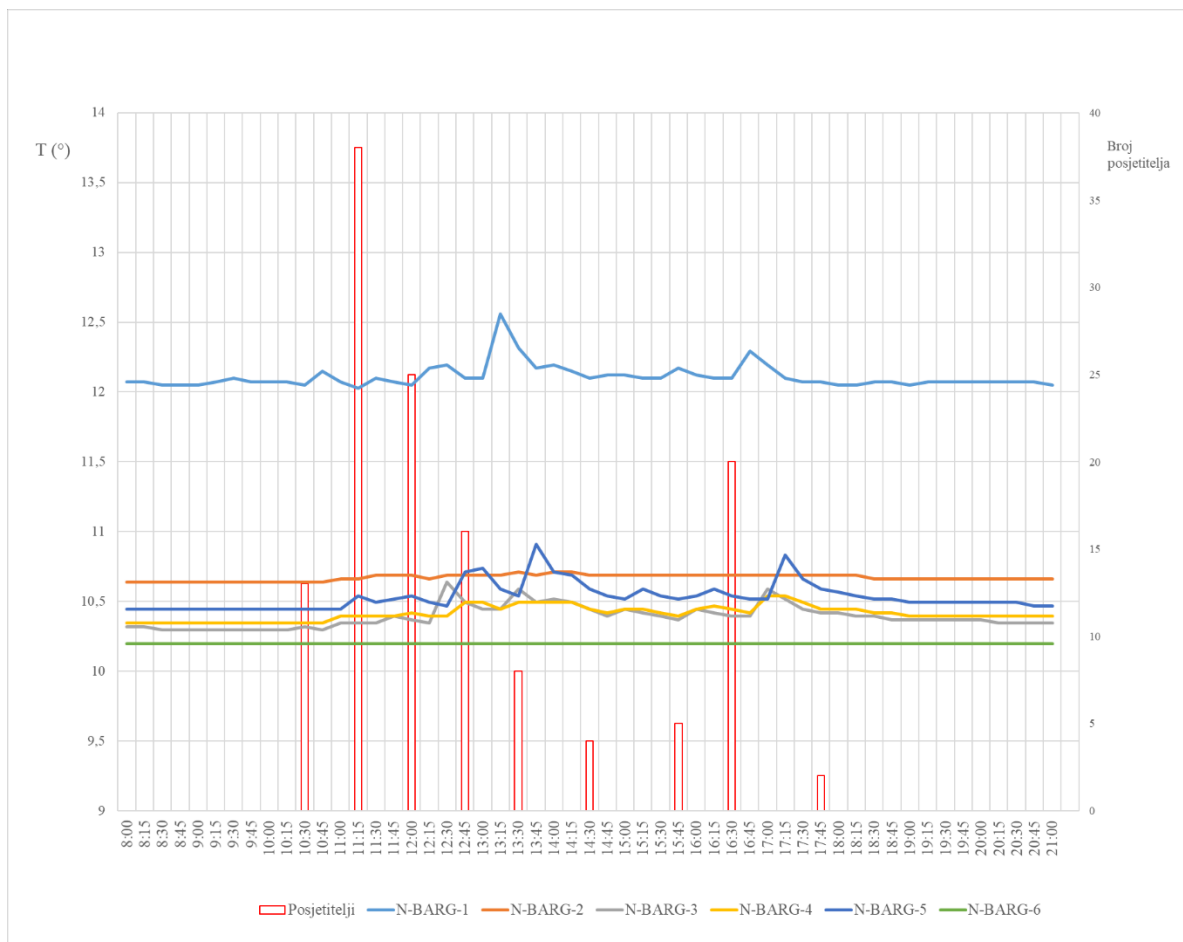
Slika 21 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 10. srpnja 2019.

Sljedeći je datum 16. kolovoz (slika 22). Radi se o danu nakon blagdana Velike Gospe s najvećim brojem posjeta u 2019. godini, 283 posjetitelja podijeljenih u 11 grupa. Izraženiji temperaturni skokovi vidljivi su na svim postajama osim postaje N-BARG-2 te postaje N-BARG-6 koja se ne nalazi unutar područja staze. Prosječna temperatura zraka izmjerena na postaji N-BARG-1 je znatno viša od svih ostalih postaja, dok je na postaji N-BARG-6 najniža temperatura. N-BARG-5 i N-BARG-1 bilježe najveće temperaturne skokove, koji kod određenih grupa dosežu čak oko 0,5 °C. S obzirom da grupe kontinuirano dolaze u špilju i nema neke duže pauze tijekom cijeloga dana, u određenoj mjeri utječu na povišenje prosječne dnevne temperature špilje koja se ponovo vraća na normalnu vrijednost tek dolaskom noćnih sati i prestankom dolazaka posjetitelja.



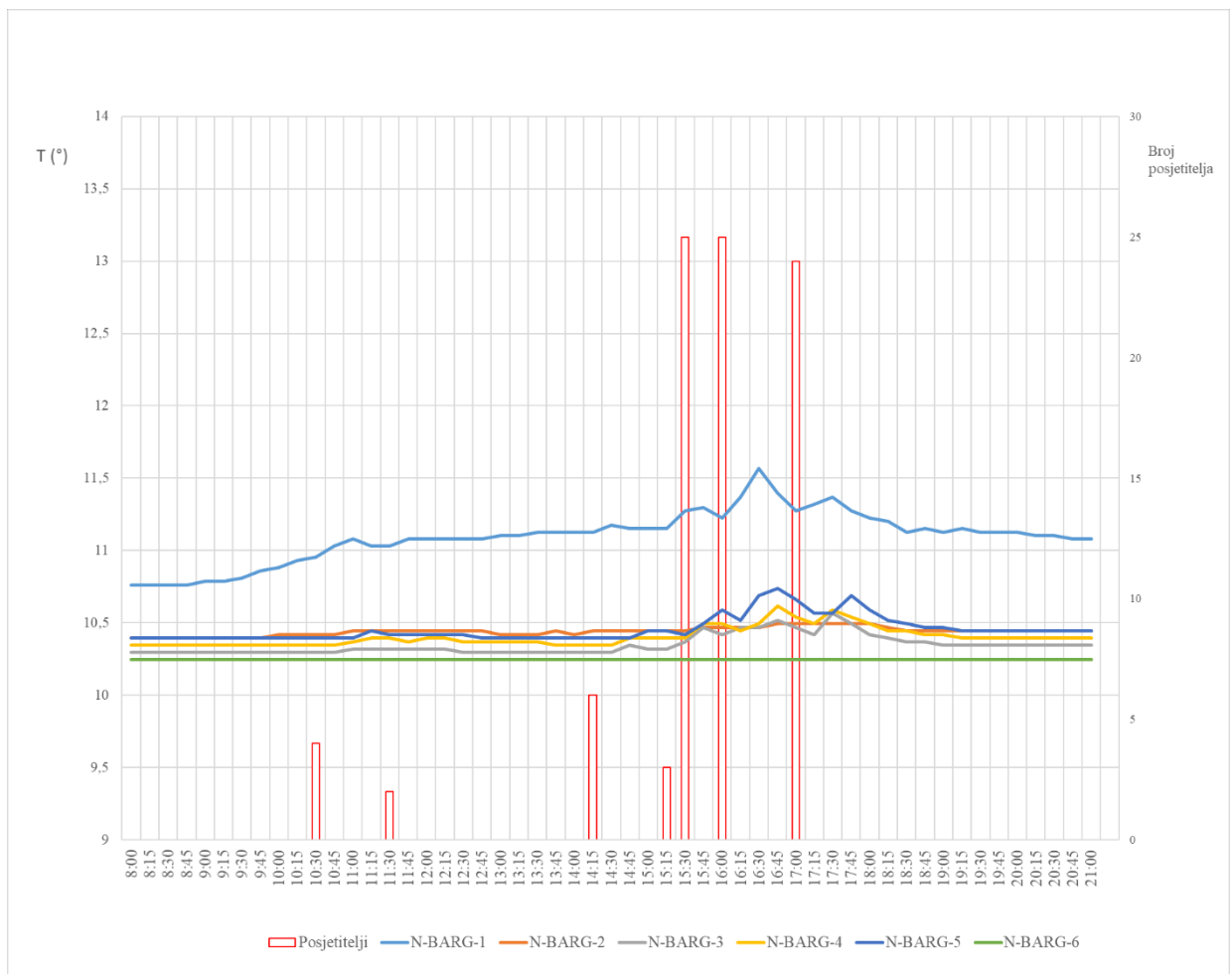
Slika 22 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 16. kolovoza 2019.

Šestog rujna zabilježen je manji broj posjetitelja u odnosu na prethodne primjere, ali s velikim varijacijama u njihovom broju po grupama (slika 23), ukupno 131 posjetitelj raspoređen unutar devet grupa. Nakon većih grupa javljaju se značajniji temperaturni skokovi s maksimumom porasta temperature za oko 0,4 °C kod postaje N-BARG-5 i oko 0,5 °C kod postaje N-BARG-1. Grupe s pet ili manje posjetitelja gotovo da i nemaju vidljivi utjecaj na promjenu mjerene temperature. Promjene možda i postoje, ali su mjerni instrumenti nedovoljno jake razlučivosti i osjetljivosti da bi ta promjena bila zabilježena. Vanjska temperatura zraka i dalje je visoka te utječe na prosječne temperature na postajama najbližima ulazu, a to je prije svega N-BARG-1, no također i N-BARG-2.



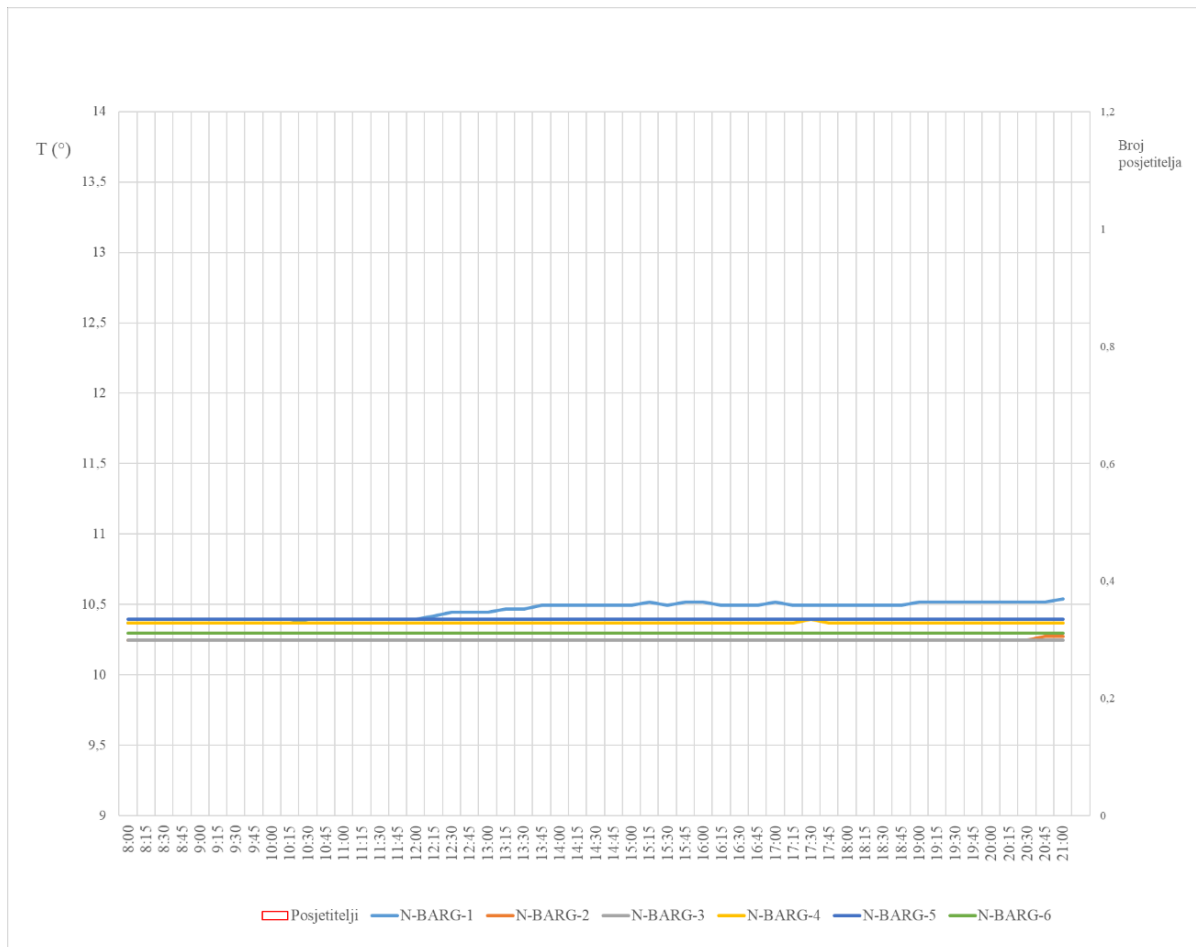
Slika 23 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 6. rujna 2019.

Predzadnji je primjer 12. listopada s ukupnim brojem od 89 posjetitelja unutar 7 grupa (Slika 24). Nagli skokovi temperature uzrokovani dolaskom posjetitelja vidljivi su tek nakon prolaska većih grupa u popodnevним satima. Vidi se opadanje dnevne vanjske temperature u primjeru niže prosječne temperature na postaji N-BARG-1. U usporedbi sa svim prethodnim primjerima, ovdje je vidljiv najmanji utjecaj posjetitelja, kao i tijekom cijelog listopada.



Slika 24 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 12. listopada 2019.

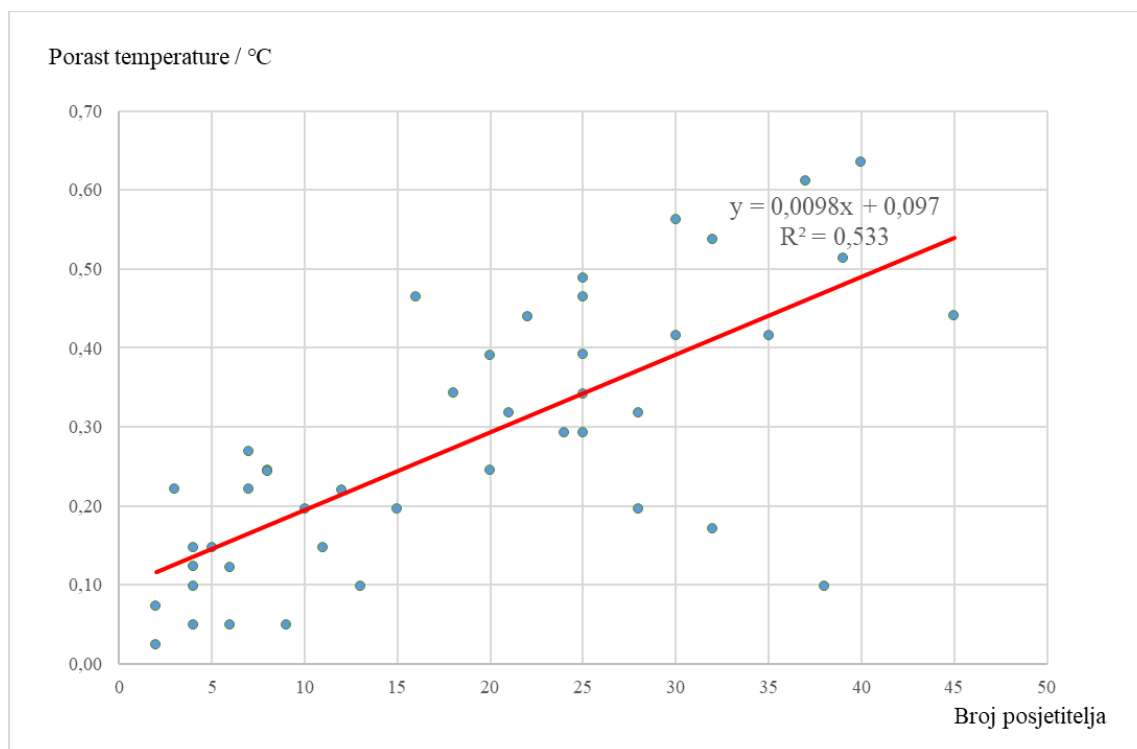
Posljednji primjer (Slika 25) prikazuje dan bez posjetitelja u studenom gdje se jasno vidi kako temperaturnih promjena nema. Prosječna vanjska temperatura znatno je niža jer se radi o zimskom dijelu godine pa je i temperatura na postaji N-BARG-1 bliža temperaturama na ostalim postajama. Blagi porast temperature na N-BARG-1 postaji tijekom kasnih jutarnjih sati pa do kraja dana je rezultat porasta dnevne vanjske temperature.



Slika 25 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjestnim postajama na dan 2. studenog 2019. bez posjetitelja

6. Rasprava

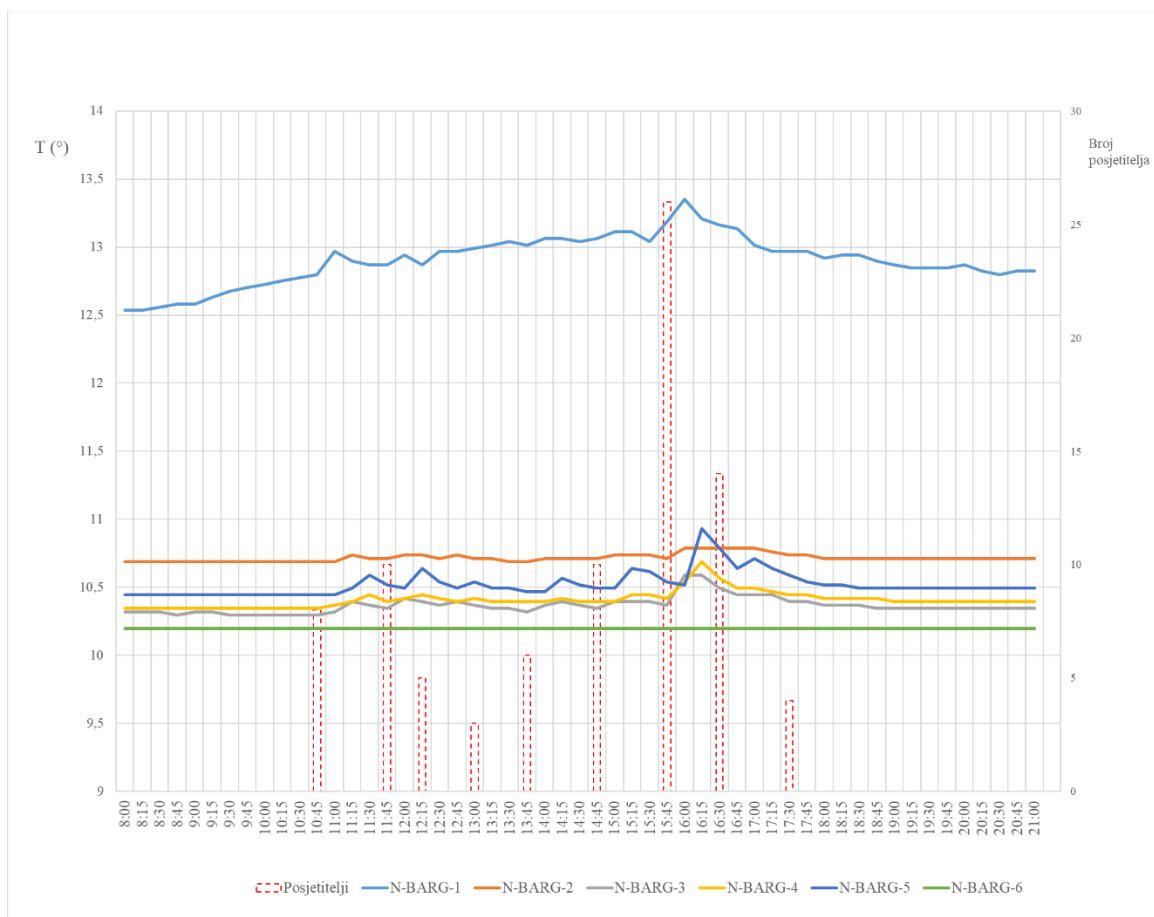
Pearsonov koeficijent korelacije za odnos između veličine grupe posjetitelja i pretpostavljene temperaturne promjene koju je ta grupa uzrokovala iznosi 0.73, što ukazuje na pozitivnu korelaciju i statističku značajnost. Na grafičkom prikazu korelacije (Slika 26) na osi x je smještena nezavisna varijabla, a to je broj posjetitelja unutar grupa, dok je na y osi zavisna varijabla, a to je porast temperature u odnosu na prosječnu temperaturu u tom danu.



Slika 26 – Odnos broja posjetitelja unutar grupe s porastom temperature zraka

Prilikom popisivanja broja posjetitelja za pojedine datume nije vođena evidencija, iako temperaturni skokovi ukazuju na dolaske posjetitelja tijekom tih dana. Stoga je izabran jedan takav dan s ciljem predviđanja broja grupa i broja posjetitelja unutar tih grupa na temelju promjene temperature. Podaci koji su prethodno korišteni za izračun korelacije su upotrijebljeni i ovdje. Za svaku grupu iznos porasta temperature podijeljen je s brojem posjetitelja unutar te grupe i dobiven je temperaturni porast po osobi. Od ukupno 44 podataka iz prethodnih 5 datuma dobiven je prosjek koji iznosi 0,019 °C povećanja temperature zraka po osobi. Za određivanje broja grupa i posjetitelja izabran je datum 2. rujna jer se vide jasni temperaturni skokovi iako posjetitelji nisu popisivani. Svaki temperaturni skok podijeljen je s iznosom od 0,019 °C i rezultat tog izračuna zaokružen na cijeli broj procijenjen je broj posjetitelja u toj grupi. Konačni

rezultat je grafički prikaz na slici 27. Podaci o točnom iznosu porasta temperature u odnosu na početnu vrijednost toga dana te pretpostavljen broj posjetitelja i vrijeme ulaska svake grupe prikazani su i tablično (Tablica 5).



Slika 27 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama i pretpostavljeno vrijeme i veličina turističkih grupa za dan 2. rujna 2019. (procjena napravljena na temelju podataka za mjernu točku N-BARG-5, dok su ostale postaje prikazane radi usporedbe)

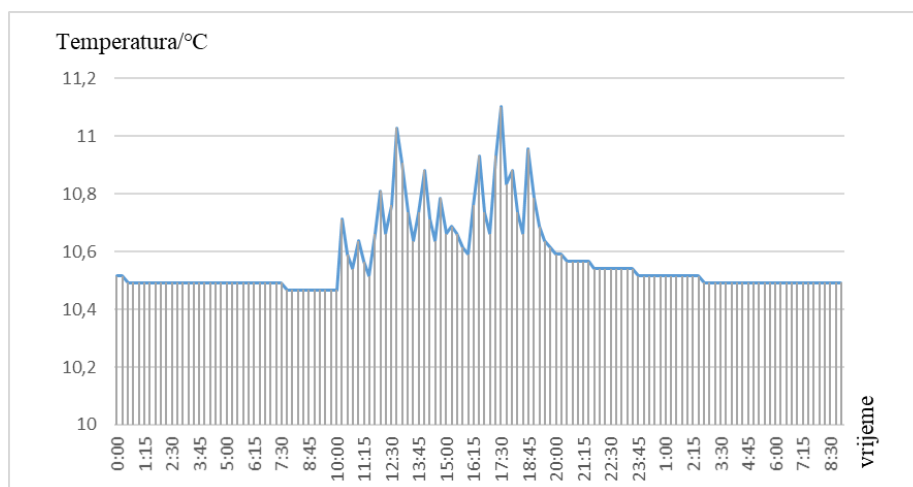
Tablica 5 – Pretpostavljen broj grupa i posjetitelja unutar grupa na temelju podataka N-BARG-5

Pretpostavljeno vrijeme ulaska grupe	Porast temperature u odnosu na početni iznos /°C	Pretpostavljen broj posjetitelja unutar grupe
10:45	0,147	8
11:45	0,195	10
12:15	0,098	5
13:00	0,049	3
13:45	0,122	6
14:45	0,195	10
15:45	0,489	26
16:30	0,269	14
17:30	0,073	4

Prema procjeni, na dan 2. rujna Gornju Baraćevu špilju je posjetilo 86 posjetitelja unutar 9 grupa. Najveća grupa od 26 posjetitelja je najviše utjecala na porast temperature u popodnevним satima, dok su grupe između 8 i 10 posjetitelja srednje jako utjecale, a sve manje grupe su u vrlo maloj mjeri utjecale na porast temperature.

Calaforra i sur. (2003), koji su proučavali ljudski utjecaj na temperaturu u špilji Cueva del Agua, smatraju kako je temperatura kritičan parametar u podzemnim okolišima i daje nam precizan uvid u izračun vremena nakon turističkih posjeta koje je špilji potrebno da se 'oporavi', tj. da se temperatura vrati u normalnu vrijednost prije dolazaka posjetitelja.

Ako se ne drži vremenski dovoljno dugačak razmak između posjeta, osobito kada se radi o većim grupama koje dovode do većeg temperaturnog porasta, toplina se akumulira, što u konačnici može rezultirati trajnim porastom prosječne temperature. U istraživanju korelacije posjetitelja i porasta temperature u špilji Candamo (Hoyos i sur., 1998) izračunat je potencijalni mjesečni porast temperature od 0,04 °C ukoliko se ne pridržava vremenskog razmaka. U prosjeku taj vremenski razmak bi najčešće trebao iznositi oko 2 sata između grupa tijekom dana. Potreban je individualni pristup i izračun za svaku špilju zbog različitih dužina, volumena, brojeva posjetitelja, klimatskih i meteoroloških uvjeta u okolišu u kojem se špilja nalazi, arheoloških, bioloških, geoloških vrijednosti koje mogu biti ugrožene. Špilje u svijetu na kojima su određene procjene maksimalnog broja posjetitelja najčešće su špilje volumenom i dužinom mnogo veće od Gornje Baraćeve špilje, te grupe broje i po nekoliko stotina posjetitelja. Kako bi se dobila okvirna vrijednost za Gornju Baraćevu špilju, izabran je datum 16. kolovoza 2019. jer je to bio dan s najvećim zabilježenim brojem posjetitelja i jutro 17. kolovoza prije prvih posjetitelja (Slika 28).



Slika 28 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na postaji N-BARG-5 u vremenskom razdoblju od 16. kolovoza do jutra 17. kolovoza 2019.

Podaci su uzeti s postaje N-BARG-5. Temperatura u noći sve do jutarnjih sati na dan 16. kolovoza iznosila je 10,49 °C. Odmah nakon dolaska posjetitelja u jutarnjim satima temperatura naglo raste, ali i naglo pada. Kad padne ispod 10,6 °C, povratak temperature na normalnu vrijednost se znatno usporava. U noći nakon najvećeg broja posjetitelja temperatura ponovo dolazi do iste vrijednosti kao i prethodne noći, u iznosu od 10,49 °C pa možemo pretpostaviti kako su noći između turističkih posjeta dovoljne da se temperatura 'oporavi' te nije potrebna veća regulacija posjetitelja. Akumulacija topline tijekom dana je prisutna, osobito ako grupe ulaze u špilju zaredom u vremenskom razmaku manjem od sat vremena, no također nije zapaženo da to utječe na nemogućnost povratka temperature na normalne vrijednosti tijekom noći.

Rijetki, ali pojedini radovi osvrnuli su se i na problem širenja bakterija i plijesni izvana u špiljske okoliše putem posjetitelja, osobito tijekom ljetnih mjeseci. Fernandez-Cortes i sur. (2011) odredili su nekoliko vrsta plijesni i bakterija pronađenih u špilji Ardales. Osim što su brojne alohtone, dakle putem posjetitelja unesene u špiljski okoliš, porast temperature tijekom turističkih posjeta može pogodovati bržem i uspješnijem razmnožavanju i širenju. Uočena je štetnost za drevne slike i arheološke nalaze u špilji Ardales. Druga opasnost su patogeni mikroorganizmi koji su identificirani i pronađeni u većoj količini od propisane za europske standarde u četirima špiljama u Rumunjskoj (Constantin i sur., 2021). Oni predstavljaju potencijalnu opasnost za vodiče i posjetitelje pa je bitno što kraće zadržavanje u špilji. Za Gornje Baraćeve špilje nije provedeno slično istraživanje, međutim tijekom ovog istraživanja je uočena vrlo velika brojnost plijesni na drvenom mostu (slika 29). S obzirom da su to vrste koje se hrane drvenim materijalom, ovdje se radi o alohtonoj vrsti/vrstama pa postoji potencijalna opasnost za autohtone vrste. Ovdje se prije svega misli na špiljske kukce, kojima bi ta plijesan mogla biti izvor veće količine hrane, što bi u konačnici moglo poremetiti špiljski ekosustav.



Slika 29 – Plijesan koja se hrani drvnim materijalom na drvenom mostu u Gornjoj Baraćevoj špilji

Za uvid u to utječu li posjetitelji i promjene mikroklimatskih parametara dugotrajno na žive i nežive komponente špilje bit će potrebna višegodišnja istraživanja jer, ukoliko promjene i postoje, one su toliko male da bi mogle biti značajne isključivo za dulji vremenski period.

7. Zaključak

- U razdoblju proučavanja utjecaja posjetitelja na temperaturu zraka u Gornjoj Baraćevoj špilji, u 2019. godini od 20. svibnja sve do kraja listopada, kada završava sezona turističkih posjeta špilji potvrđena je korelacija te dvije skupine podataka.
- U tom je vremenskom periodu zabilježeno preko 12700 posjetitelja podijeljenih unutar više od 1100 grupa.
- Pomoću metode odstupanja od kliznih srednjaka za svaku je mjernu postaju napravljen grafički prikaz koji pokazuje u kojoj mjeri posjetitelji dovode do odstupanja u temperaturi, na postajama gdje posjetitelji samo prolaze i ne zadržavaju se (primjerice N-BARG-2 i N-BARG-4) ta su odstupanja znatno niža od postaja gdje se posjetitelji zadržavaju (N-BARG-

1 i N-BARG-5) dok postaja N-BARG-6, koja je smještena van staze posjetitelja, nema odstupanja od kliznih srednjaka.

- Za daljnje analize izabrani su podaci s mjerne postaje N-BARG-5 zbog najdužeg zadržavanja posjetitelja na toj lokaciji pa tako i najvećim temperaturnim odstupanjem od kliznog srednjaka (iako je N-BARG-1 postaja s najvećim odstupanjem, na to je utjecao i prodor vanjskog zraka zbog blizine ulaza pa su podaci s postaje N-BARG-5 precizniji za ovu svrhu).
- Neposredno nakon ulaska grupe u špilju temperatura naglo raste na mjernim postajama u blizini kojih se posjetitelji zadržavaju, ali se i vrlo brzo vraća na normalnu vrijednost. Kad su grupe veće, potrebno je više vremena da se vrati, a ako razmak između dviju ili više grupa nije dovoljan (oko 2 sata između grupa) toplina se akumulira pa je potrebno puno više vremena da se vrati na normalnu vrijednost.
- Pearsonov koeficijent korelacije između broja posjetitelja i temperaturnog porasta ukazuje na pozitivnu korelaciju, a prosječan porast temperature zraka uzrokovan pojedincem iznosi 0,019 °C te se dobiveni podaci mogu koristiti u daljnjim procjenama.
- U pravilu je period bez posjetitelja tijekom noći dovoljan da se temperatura potpuno stabilizira, čak i nakon dana s najvećim brojem posjetitelja pa regulacije nisu potrebne.
- Za uvid u to imaju li posjetitelji utjecaj na živi svijet i geološke procese u špilji, bit će potrebna višegodišnja istraživanja.

8. Literatura i izvori

Badino, G. (2004) Cave temperatures and global climatic change. *International Journal of Speleology*, 33 (1/4), str. 103-114.

Bočić, N. (2003) Basic morphogenetic characteristics of caves in the Grabovac Valley (Slunj, Croatia). *Geoadria*, 8/1, str. 5-16.

Bočić, N. (2015) *Geomorfološko i geospeleološko vrednovanje područja Baračevih špilja*. Izvještaj, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, Hrvatska.

Bočić, N., Pahernik, M., Bognar, A. (2010) Geomorfološka obilježja Slunjske zaravni. *Hrvatski geografski glasnik*, 72/2, str. 5-26.

Bočić, N., Buzjak, N. (2017) *Mikroklimatska obilježja Baračevih špilja u razdoblju 2014.-2016*. Izvještaj. Zagreb

Bočić, N., Buzjak, N. (2020) *Mikroklimatska obilježja Gornje Baračeve špilje u 2019. godini*. Izvještaj, Zagreb

Bognar, A. (2001) Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta Geographica Croatica*, 34 (1999.), str. 7-29.

Bognar, A., Faivre, S., Buzjak, N., Pahernik, M., Bočić, N. (2012) Recent landform evolution in the Dinaric and Pannonian region of Croatia. *Recent landform evolution*, Springer, str. 313-344.

Buzjak, N. (2008) Geoekološko vrednovanje speleoloških pojava Žumberačke gore. *Hrvatski geografski glasnik*, 70/2, str. 73-89.

Buzjak, N. (2017) Mikroklima kao komponenta geoekološkog vrjednovanja spilja-primjer Spilje u Belejskoj komunadi (Belej, otok Cres). *Geoadria*, 12 (2), str. 97-110.

Calaforra, J., M., Fernandez-Cortes, A., Sanchez-Martos, F., Gisbert, J., Pulido-Bosch, A. (2003) Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in a potential show cave before tourist use. *Environmental Conservation*, 30(2), str. 160-167.

Cigna, A. (1968) An analytic study of air circulation in caves. *International Journal of Speleology (Edizione Italiana)*, 3(1/2), str. 41-54.

Constantin, S., Mirea, I., C., Petculescu, A., Arghir, R., A., Mantoiu, D., S., ., Kenesz, M., Robu, M., Moldovan, O., T. (2021) Monitoring Human Impact in Show Caves. A Study of Four Romanian Caves. *Sustainability*, 13(4), 1619

Czuppon, G., Bočić, N., Buzjak, N., Ovari, M., Molnar, M. (2018) Monitoring in the Barać and Lower Cerovačka caves (Croatia) as a basis for the characterization of the climatological and hydrological processes that control speleothem formation. *Quaternary International*, 494, str. 52-65.

Fernandez-Cortes, A., Cuezva, S., Sanchez-Moral, S., Cañaveras, J., C., Porca, E., Jurado, V., Martin-Sanchez, P., M., Saiz-Jimenes, C. (2011) Detection of human-induced environmental disturbances in a show cave. *Environmental Science and Pollution Research*, 18, str. 1037- 1045.

Ford, D., Williams, P. (2007) *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Herak, M. (1990) *Geologija. Postanak, tektonika i dinamika Zemlje*. Peto izdanje. Zagreb: Školska knjiga.

Hoyos, M., Soler, V., Cañaveras, J., C., Sanchez-Moral, S., Sanz-Rubio, E. (1998) Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). *Environmental geology*, 33(4), str. 231-242.

Kišpatić, M. (1885) Kostii iz Baraćeve špilje kod Kršlja. *Viestnik hrvatskoga arkeološkoga društva*, Zagreb, 7 (2), str. 33-38.

Kranjc, A., Opara, B. (2002) Temperature Monitoring in Škocjanske jame caves. *Acta carsologica*, 31/1 (7), str. 85-96.

Kovačević, T. (2003) *Baraćeve špilje*, Turistička zajednica općine Rakovica, Rakovica.

Malez, M. (1959) Paleontološka istraživanja i speleološka rekognosciranja u 1959. godini. *Ljetopis Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti za godinu 1959*, Knj. 66, str. 309-324.

Mihelić, S., Balen, J. (2005) Arheološka iskapanja u Gornjoj Baraćevoj špilji. *Subterranea Croatica*, 3 (4), Str. 30-33.

Ozimec, R. (2003) Baraćeve špilje kod Nove Kršlje i njihova fauna. *Ekološki glasnik*, 7-8/srpanj-kolovoz, str. 18-24.

Paar, D., Frančišković-Bilinski, S., Buzjak, N., Maldini, K., Milović, S., Pichler, S. (2016) Geochemical and mineralogical characterization of speleothems from the karst of Croatia as potential sources of data for environmental researches. *Journal of geochemical exploration*, 167, str. 20-37.

Paar, D., Buzjak, N. (2017) Mikroklima i druga fizikalno-kemijska svojstva speleoloških objekata. U: Rnjak, G. (ur.) *Speleologija*. Zagreb: Planinarsko društvo Velebit, Hrvatski planinarski savez, Hrvatska gorska služba spašavanja, Speleološko društvo Velebit, str. 631-640.

Palmer, A.N. (2003) *Speleogenesis in carbonate rocks. Speleogenesis and evolution of karst aquifers*. The Virtual Scientific Journal.

Polšak, A., Juriša, M., Šparica, M., Šimunić, A. (1976) *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000*, list Bihać, L33-116. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd

Polšak, A., Crnko, J., Šimunić, An., Šimunić, Al., Šparica, M., Juriša, M. (1981) *Tumač Osnovne geološke karte 1 : 100 000 za list Bihać*, Savezni geološki zavod, Beograd, str. 52.

Raguž, K. (2017) *Arheološka istraživanja Baračevih špilja*. Baraceve-spilje.hr. Dostupno na: <https://baraceve-spilje.hr/arheoloska-istrazivanja-baracevih-spilja/> [19. lipnja 2021.]

Selak, L. (2019) *Monitoring okolišnih parametara u turistički uređenoj špilji - primjer Baračevih špilja kod Rakovice*. Diplomski rad, Geografski odsjek, PMF, 68 str

Song, L., Wei, X., Liang, F. (2000) The influences of cave tourism on CO₂ and temperature in Baiyun cave, Hebei, China. *International Journal of Speleology*, 29B (1/4), str. 77-87.

Surić, M., Lončarić, R., Lončar, N., Buzjak, N., Bajo, P., Drysdale, R., N. (2017) Isotopic characterization of cave environments at varying altitudes on the eastern Adriatic coast (Croatia) – implications for future speleothem-based studies. *Journal of hydrology*, 545, str. 367-380.

Surić, M., Lončarić, R., Bočić, N., Lončar, N., Buzjak, N. (2018) Monitoring of selected caves as a prerequisite for the speleothem-based reconstruction of the Quaternary environment in Croatia. *Quaternary International*, 494, str. 263-274.

Surić, M., Czuppon, G., Lončarić, R., Bočić, N., Lončar, N., Bajo, P., Drysdale, R., N. (2020) Stable isotope hydrology of cave groundwater and its relevance for speleothem-based paleoenvironmental reconstruction in Croatia. *Water*, 12 (9), str. 1-24.

Šebela, S., Prelovšek, M., Turk, J. (2013) Impact of peak period visits on the Postojna Cave (Slovenia) microclimate. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1-2), str. 51-64.

Šegota, T., Filipčić, A. (1996) *Klimatologija za geografe*. Treće izdanje, Zagreb: Školska knjiga.

Udovičić, M., Baždarić, K., Bilić-Zulle, L., Petrovečki, M. (2007) Što treba znati kada izračunavamo koeficijent korelacije? *Biochemia Medica*, 17(1), str. 10-15.

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. et al, (2008) Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000. *Državni hidrometeorološki zavod*, Zagreb, 200 str.

Internetski izvori:

URL 1: <https://baraceve-spilje.hr/speleoloski-objekti/>

URL 2: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u23-001a/>

URL 3: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>

www.geoportal.hr

www.baraceve-spilje.hr

9. Popis slika i tablica

Slika 1 - Ulaz u Gornju Baraćevu špilju

Slika 2 - Šišmiš potkovnjak (*Rhinolophus sp.*) u Gornjoj Baraćevoj špilji

Slika 3 – Topografska karta područja značajnog krajobraza Baraćeve špilje. Izdanje DGU, izvorno mjerilo 1:25000, HTRS96/TM (Izvor: www.geoportal.hr)

Slika 4 - Geološka karta područja Baraćevih špilja i okolice, prema Polšak i dr., 1976 (Izvor: Bočić, 2015)

Slika 5 – Osnovni elementi reljefa na području Baraćevih špilja (Izvor: Bočić, 2015)

Slika 6 - Memorijski termohigrograf na mjernoj postaji N-BARG-2 (Autor: Mihaela Prižmić)

Slika 7 - Shematski prikaz tlocrta Gornje Baraćeve špilje s označenim lokacijama logera (Izvor: Bočić, Buzjak, 2020)

Slika 8 – Prosječne temperature zraka izmjerene u proučavanom periodu na svim mjernim postajama

Slika 9 – Raspon (Razlika između maksimalne i minimalne vrijednosti) temperature zraka u proučavanom periodu na mjernim postajama u špilji

Slika 10 – Hod prosječne temperature s naglašenim dnevnim odstupanjima od srednjaka za cijeli period mjerenja na vanjskoj postaji N-BARG-V

Slika 11 – Prosječna temperatura s naglašenim dnevnim odstupanjima za cijeli period mjerenja na postaji N-BARG-1

Slika 12 – Prosječna temperatura za cijeli period mjerenja na postaji N-BARG-2

Slika 13 – Prosječna temperatura s naglašenim dnevnim odstupanjima na postaji N-BARG-3

Slika 14 – Prosječna temperatura s naglašenim dnevnim odstupanjima na postaji N-BARG-4

Slika 15 – Prosječna temperatura s naglašenim dnevnim odstupanjem na postaji N-BARG-5

Slika 16 – Prosječna temperatura na postaji N-BARG-6

Slika 17 – Usporedba prosječnih temperatura zraka na mjernim postajama smještenima u blizini staze za turiste

Slika 18 – Maksimalna odstupanja vrijednosti od dvodnevnog kliznog srednjaka na mjernim postajama smještenima u blizini staze za turiste

Slika 19 – Temperatura zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s brojem posjetitelja

Slika 20 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 12. lipnja 2019.

Slika 21 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 10. srpnja 2019.

Slika 22 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 16. kolovoza 2019.

Slika 23 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 6. rujna 2019.

Slika 24 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama u usporedbi s veličinom i vremenom dolaska turističkih grupa za dan 12. listopada 2019.

Slika 25 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama na dan 2. studenog 2019. bez posjetitelja

Slika 26 – Odnos broja posjetitelja unutar grupe s porastom temperature zraka (koeficijent korelacije = 0,73)

Slika 27 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na svim mjernim postajama i pretpostavljeno vrijeme i veličina turističkih grupa za dan 2. rujna 2019.

Slika 28 – Kretanje trenutnih vrijednosti temperature zraka na postaji N-BARG-5 u vremenskom razdoblju od 16. kolovoza do jutra 17. kolovoza 2019.

Slika 29 – Plijesan koja se hrani drvenim materijalom na drvenom mostu u Gornjoj Baraćevoj špilji

Tablica 1 - Popis mjernih postaja s opisanom lokacijom

Tablica 2 – Osnovni statistički pokazatelji i njihove definicije

Tablica 3 - Vrijednosti statističkih pokazatelja temperature zraka za sve mjerne postaje

Tablica 4 – Podaci o broju posjetitelja u 2019. godini

Tablica 5 – Pretpostavljen broj grupa i posjetitelja unutar grupa na temelju N-BARG-5 podataka