Mikroklima speleoloških objekata

Petrović, Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:961053

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

GEOGRAFSKI ODSJEK

MIKROKLIMA SPELEOLOŠKIH OBJEKATA

The microclimate of speleological objects

SEMINARSKI RAD

Marija Petrović

Preddiplomski studij Znanosti o okolišu

(Undergraduate study of Environmental sciences)

Mentor: izv.prof.dr.sc. Nenad Buzjak

Zagreb, 2017.

SADRŽAJ

I.UVOD.....3
II.RAZRADBA.....4
1) Cirkulacija zraka u speleološkim objektima.....4
2) Temperatura i vlažnost zraka.....5
3) Metode i instrumenti za mjerenje mikroklimatskih elemenata.....6
4) Mikroklima kao komponenta istraživanja.....7
a. Biološka istraživanja.....7
b. Geografska istraživanja.....10
c. Geološka istraživanja.....12
III.ZAKLJUČAK.....13
IV.LITERATURA.....14
V.SAŽETAK.....15
VI.SUMMARY.....15

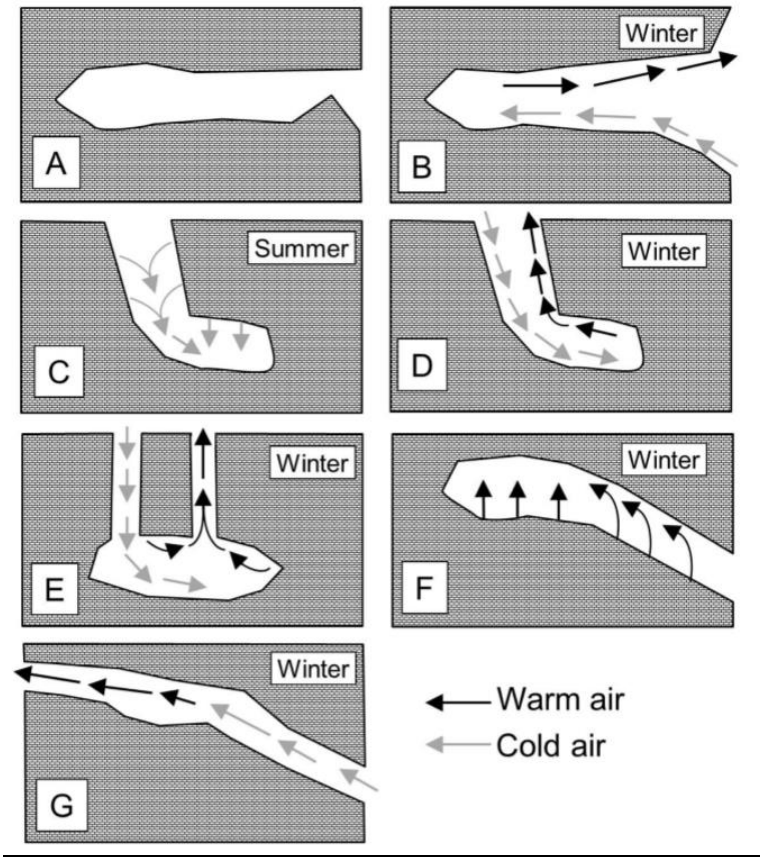
I. UVOD

Klima planete Zemlje prolazila je niz mnogobrojne promjene tijekom vladanja različitih civilizacija te je vrlo rano u povijesti ljudske populacije postala objektom proučavanja. Upravo se zbog svoje promjenjivosti istražuje i danas, a razvoj tehnologije omogućuje kvalitetnije istraživanje koje se može primijeniti u različitim disciplinama. U novije doba naglasak se stavio i na mikroklimu speleoloških objekata. Speleološki objekti predstavljaju uvelike neistražen dio krškog svijeta, a važnost tih objekata leži u klimatološkom, hidrogeološkom, biološkom i ekološkom smislu. U ovom seminaru analizirat će se važnost proučavanja mikroklime kao komponente biološkog geografskog i geološkog istraživanja. Svrha mikroklime u biološkim istraživanjima objasnit će se na primjeru korelacije temperature i vlažnosti s hibernacijom šišmiša, u geografskim istraživanjima objasnit će se kao jedna od najbitnijih komponenti za pravilno iskorištavanje špilja u turističke svrhe, a u geološkim kao indirektna komponenta u proučavanju paleoklime. Objasnit će se model cirkulacije zraka i navesti osnovni instrumenti za praćenje klimatskih parametara.

II. RAZRADBA

1) Cirkulacija zraka u speleološkim objektima

Brzina i smjer cirkulacije zraka u speleološkim objektima određena je razlikom u gustoći špiljskog i površinskog zraka. Gustoća zraka izravno je povezana s temperaturom zraka pa je temperatura glavni indikator cirkulacije. S obizorm da je temperatura u špiljama većinom konstantna, a temperatura na površini jako varijabilna, može se lako opisati osnovni model izmjene zraka. Ako je temperatura zraka na površini niža od špiljske, teži hladni zrak ulazit će u špilju te pritom izgurati topliji zrak koji će se zbog manje gustoće izdignuti te izaći na površinu niz gornji dio ulaza (sl. 1.B). Obrnutno, ako je vani viša temperatura zraka, hladni špiljski zrak cirkulirat će prema izlazu (Freitas 2010). Osim opisanog osnovnog koncepta cirkulacije uzrokovane termičkom konvecijom, cirkulacija ovisi o položaju kanala i broju otvora pa će tako u špiljama s jednim kratkim tunelom biti slaba cirkulacija (sl. 1.A), a u jamama, vertikalnim speleološkim objektima, nagomilavat će se hladni zrak za vrijeme ljeta (sl. 1.C), a zimi će hladni zrak ulaziti, potom se zagrijavati te izlaziti van (sl. 1.D). Špilje kod kojih je ulaz na nižoj nadmorskoj visini od kanala, mogu funkcionirati kao "zamke" za topli zrak koji se izdiže do stropa, a teški hladni zrak ga ne može izgurati van zbog specifičnog položaja ulaza (sl. 1.F). U sustavima s više otvora pri istoj nadmorskoj visini, hladni zrak tijekom zime može ulaziti na jedan otvor, ugrijati se unutar špilje te potom izaći kroz drugi otvor (sl. 1.E). U sustavima s više otvora na različitim nadmorskim visinama, dogodit će se "efekt dimnjaka" (sl. 1.G), po zimi će topli zrak ugrijan unutar špilje izlaziti kroz gornji izlaz, a hladni zrak će ulaziti kroz niži otvor. Tijekom ljeta, zrak će se hladiti te silaziti prema nižem izlazu. Takve sustave lako je prepoznati zbog konstatne cirkulacije zraka koja se osjeti kao puhanje vjetra te koja mijenja smjer s obzirom na godišnje doba. Opisani načini samo su osnova za istraživanje mikroklime, svaka špilja predstavlja zaseban sustav sa specifičnim strujanjem zbog različite veličine otvora, pružanja kanala, kompleksnosti samog objekta te položaja na nadmorskoj visini te se ti objekti i moraju istraživati kao posebne cjeline.

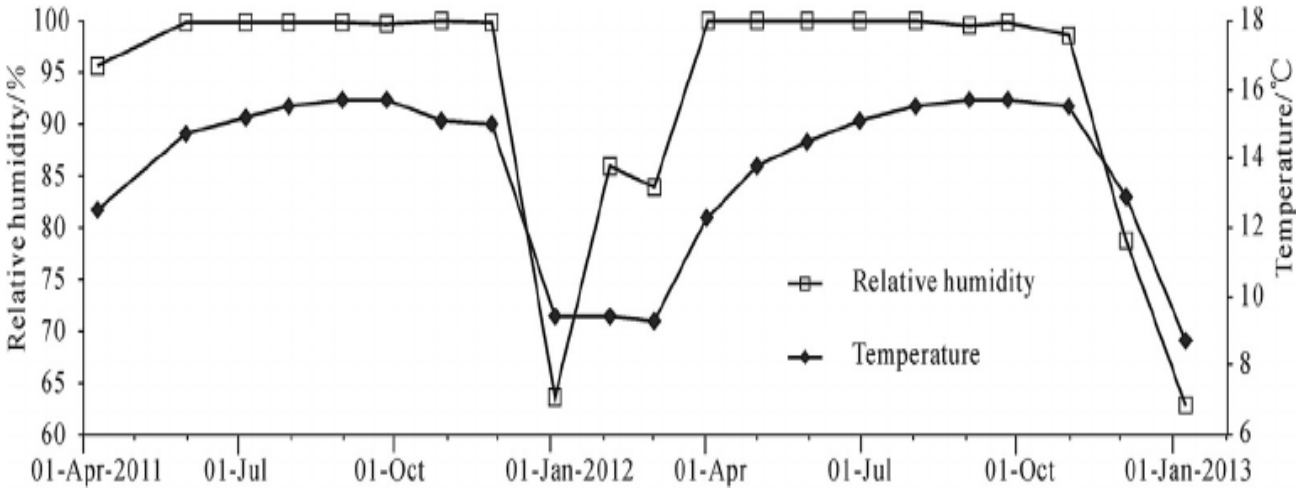


Slika 1. Cirkulacija zraka u različitim speleološkim objektima. Izvor: Perry 2013

2) Temperatura i vlažnost zraka

Promjena temperature i vlažnosti zraka relativno su male tijekom godine. U ulaznom dijelu varijacije su veće zbog velikog utjecaja vanjskih vremenskih uvjeta, a povećanjem dubine, navedeni parametri postaju stabilniji. Temperatura zraka u speleološkim objektima većinom je slična srednjoj godišnjoj temperaturi zraka tog područja te se tako može zaključiti da na temperaturu i vlažnost utječu i nadmorska visina i geografska širina. Također, temperature zraka ovise i o temperaturi stijena koja se povećava dubinom, što je poznato kao geotermički stupanj pri kojem se temperatura stijene, nakon neutralnog temperaturnog sloja, povećava za 1°C na svakih 100 metara (Freitas 2010). No, taj stupanj je u krškim sustavima poremećen utjecajem vode i cirkulacije zraka. Voda može povećavati i snižavati temperaturu zraka u špiljama ovisno o izvoru iz kojeg potječe. Površinska voda, ugrijana sunčevom radijacijom, povećavat će temperaturu zraka, a hladna voda, nastala otapanjem snijega i leda, snizit će temperaturu. Vlaga i

temperatura međusobno su povezane te je hladniji zrak ujedno i suši jer dolazi do kondenzacije, dok se prilikom cirkulacije toplijeg zraka vlažnost povećava do maksimuma (sl. 2).



Slika 2. Međusobna ovisnost temperature zraka i relativne vlažnosti u Liangfeng špilji (Kina). Izvor: Luo 2014.

3) Metode i instrumenti za mjerenje mikroklimatskih elemenata

Kako bi se pravilno opisala mikroklima pojedinog speleološkog objekta, potrebno je provesti dugogodišnje istraživanje. Potrebno je kontinuirano mjeriti temperaturu, relativnu vlažnost i strujanje (Freitas 2010). Za mjerenje temperature i relativne vlažnosti mogu se koristiti termometri, obrtni psihrometri, higrotermometri i bimetalni termohigrografii (Buzjak 2010). Navedeni insturmenti najčešće se koriste za meteorološka mjerenja, odnosno trenutačna istraživanja. U novije vrijeme koriste se elektronički uređaji koji omogućuju višegodišnje mjerenje. Primjer takvog uređaja je memorijski termohigrograf (sl. 3) koji sondama prikuplja podatke i pohranjuje ih u memoriju. Instrumenti se trebaju postaviti na ulaznom dijelu te u unutrašnjosti na više lokacija koje se procijene kao najpovoljnije. Bitno je postaviti uređaj na mjesto iznad kojeg ne curi voda.



Slika 3. Memorijski termohigrograf i prijenosni čitač podataka. Izvor: Buzjak 2010.

Za mjerenje brzine vjetra koristi se anemometar koji se treba postaviti na ulaznom dijelu te na mjestima sužavanja i širenja kanala s obzirom da se tamo brzina vjetra mijenja. Pri sužavanju, brzina vjetra se povećava, a pri širenju kanala brzina vjetra se smanjuje. Osim spomenutih osnovnih elemenata, pri isatraživanju je poželjno opisati i kondenzaciju te kemijski sastav zraka, odnosno koncentraciju CO_2 i radona (Freitas 2010). Koncentraciju pojedinih plinova moguće je izmjeriti senzorima za praćenje kvalitete zraka.

4) Mikroklima kao komponenta bioloških, geografskih i geoloških istraživanja

a) Biološka istraživanja

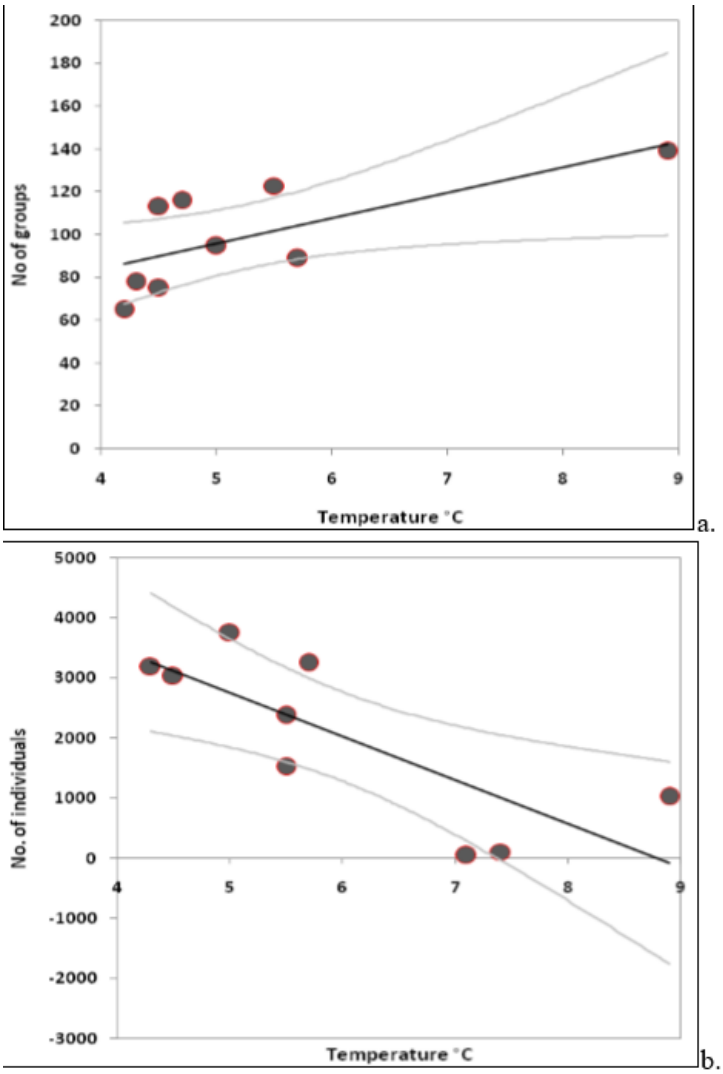
Špiljski organizmi razvili su posebne prilagodbe na ekstremne špiljske uvjete pa ekološki pripadaju stenovalentnim vrstama, odnosno vrsatma osjetljivim na kolebanje pojedinih ekoloških čimbenika. Zbog velike biološke raznolikosti špiljskih organizama te njihove specijaliziranosti, speleološki objekti vrijedni su očuvanja pa su ‘špilje i jame zatvorene za javnost’ proglašene stanišnim tipom kao dio ekološke mreže Natura 2000. Vrste šišmiša koje obitavaju na teritoriju Republike Hrvatske navedene su na listi divljih vrsta od interesa za Europsku uniju.

Premda šišmiši nisu potpuno špiljske životinje, veliki dio svoga životnog ciklusa provedu unutar špilja te su vrijedni istraživanja upravo zbog njihove velike važnosti u ekosustavu, u kojem održavaju broj insekata na normalnoj razini. Zimska staništa šišmiša su zaklonjeni mračni prostori, odnosno antropogene građevine i prirodna staništa poput jama i špilja u kojima šišmiši hiberniraju po nekoliko mjeseci. Hibernacija je osjetljiv proces u kojem životinja reducira metabolizam te snizi temperaturu tijela do temperature staništa kako bi sačuvala energiju tijekom nepovoljnih uvjeta (Baltag 2012). U slučaju šišmiša nepovoljni uvjeti uzrokovani su nedostatkom hrane zbog niskih temperatura. Upravo zato, životinje traže staništa sa stabilnim uvjetima u kojima će neometano boraviti tijekom tog perioda te tako špilje predstavljaju idealna prirodna staništa zbog rijetke varijacije u klimatskim i meteorološkim uvjetima. Kako bi se pravilno zaštitili šišmiši, nužno je fokusirati se na mikroklimu njihovih staništa jer je upravo mikroklima najvažniji čimbenik odabira staništa. Ne svrstavaju se sve špilje u povoljna staništa, to ovisi o njihovoj nadmorskoj visini, temperaturi, cirkulaciji zraka i vlažnosti (Boyles 2009). U zadnjem desetljeću razvile su se potrebe za istraživanjem kako pojedine vrste reagiraju na promjene klimatskih uvjeta. Jedna od najčešćih prepreka kod takvih istraživanja je manjak dugogodišnjih podataka o klimi pojedinih špilja te podataka o životinjskim ponašanjima. Šišmiši najbolje reagiraju na stabilne temperature iznad točke smrzavanje, najčešće do 10°C pri kojima najbolje postižu dugoročnu tromost te visoku vlažnost koja reducira gubitak vode za vrijeme hibernacije (Klys 2010). Ukoliko se stabilnost uvjeta naglo poremeti, šišmiši se ne mogu dovoljno brzo prilagoditi.

Unutar same špilje postoje mikrostaništa koja se razlikuju po temperaturi ovisno o udaljenosti od ulaza, visine stropa i cirkulacije zraka. Ukoliko su šišmiši smješteni preblizu ulaza, mogu se smrznuti tijekom teških zima jer ne mogu proizvesti dovoljno energije kako bi se ugrijali (Perry 2013). Ako postoji jaka cirkulacija zraka, onda se razlikuju temperature pri stropu, gdje se izdignuo topliji zrak i pri dnu, gdje je teži hladni zrak pa se, ovisno o vrsti šišmiša, zadržavaju na povoljnijem dijelu. Šišmiši, s obzirom na druge sisavce, relativno puno gube vodu evaporacijom zbog velikih pluća te velikih, golih membrana koja igrađuju krila pa su podložni dehidraciji tijekom hibernacije ukoliko nema dovoljno vlage.

Šišmiši hiberniraju na način da formiraju manje i veće grupe ili se smještaju individulano. Prilikom pada temperature i vlažnosti, šišmiši hiberniraju u grupama, jedan blizu drugoga, a

prilikom velike vlažnosti i stabilnih temperatura, odvajaju se i hiberniraju u malim grupama ili kao pojedinci (sl. 4).



Slika 4. Odnos temperature i broja formiranih grupa (a) i broja individualnih šišmiša (b). Izvor: Boyles 2009.

Padom temperature pada i broj grupa koje su formirali šišmiši jer su iz više manjih grupa formirali manji broj velikih grupa (sl. 4.a) kako bi se zaštitili od smrzavanja i prevelike evaporacije. Usporedno, prilikom pada temperature pada i broj osamljenih šišmiša (sl. 4.b.).

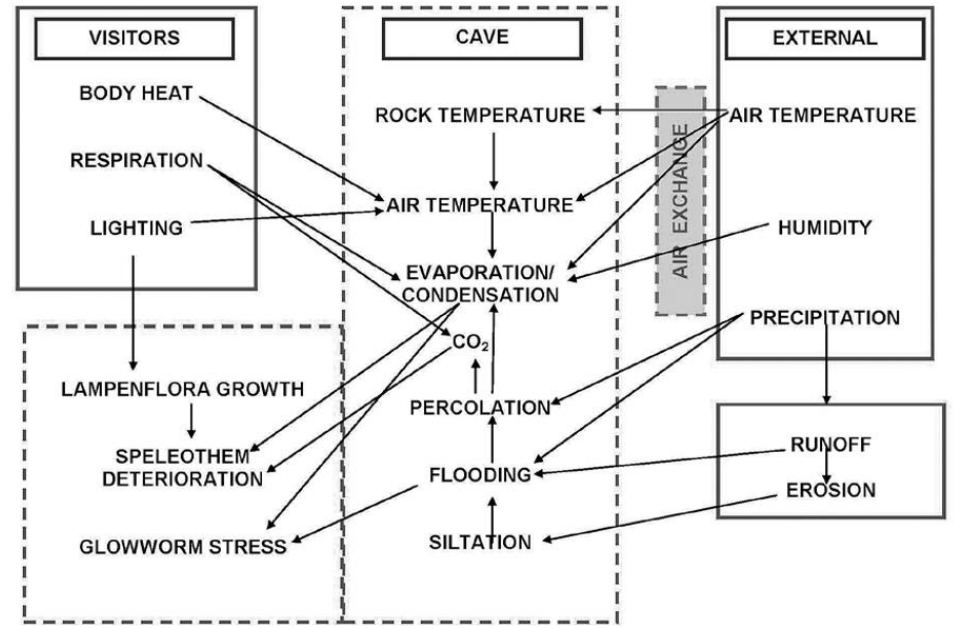
Kompleksnija špilja sa više tunela i prostorija pruža veću mogućnost termalnih mikrostaništa koja su povoljna za različite vrste te je tako idealna špilja ona koja pruža široki spektar temperatura i veću vlažnost.

Osim što zimi šišmiši špilje koriste za hibernaciju, porodiljne kolonije ih koriste i tijekom ljeta, a prilikom proljeća i jeseni koriste ih kao privremena skloništa kada je vani vrijeme varijabilno. Bitno je naglasiti da većina porodijalnih kolonija ne koristi istu špilju kao za hibernaciju jer su im potrebni drugačiji uvjeti, odnosno više temperature. Ukoliko šišmiši nemaju na raspolaganju povoljnu špilju, često se zadržavaju u dupljama drveća.

b) Geografska istraživanja

Korištenje prirodnih resursa u gospodarske svrhe kvalitetan je način razvijanja društva u ekonomskom i ekološkom smislu. Zbog svojih mračnih i neotkrivenih kanala, špilje su oduvijek interesirale različite ljude pa je iskorištavanje špilja u turističke svrhe jedan od načina educiranja građana o podzemlju te širenje svijesti o važnosti očuvanja te prirodne baštine. Kako bi se neka špilja mogla iskorištavati kao turistička, potrebno je obaviti niz različitih dugogodišnjih istraživanja poput hidrogeoloških, geomorfoloških, klimatoloških (Buzjak 2008). Nisu sve špilje jednako osjetljive na ulazak stranog tijela. Špilje s jačom cirkulacijom i protokom vode manje su osjetljive od špilja bez cirkulacije i protoka vode jer se, upravo zbog ta dva razloga, mogu lakše vratiti u prvobitno stanje (Freitas 2010).

Prije korištenja potrebno je definirati optimalne raspone okolišnih uvjeta koji trebaju prevladavati te ih potom održavati koristeći princip monitoringa (Lobo 2015). Putem praćenja utvrđuje se koji parametar nije u željenom rasponu te se potom utvrđuje koji je točno uzrok tome. Ima indirektnih i direktnih utjecaja na klimu špilje (sl. 5).



Slika 5. Glavni parametri koji utječu na promjenu mikroklime turističkih špilja. Izvor: Freitas 2010.

Direktni utjecaji podrazumijevanju širenje kanala i modifikacije ulaznog dijela što izravno mijenja cirkulaciju zraka, tjelesne temperature posjetitelja koje zagrijavaju špiljski zrak ,povećvanje CO_2 disanjem posjetitelja koje potom utječe na organizme te destrukciju špiljskih ukrasa zbog kiseline koja se stvara. Također, posjetitelji unose sitne čestice prašine i spora koje je teško naknadno ukloniti. Turističke špilje otvorene za širu javnost su osvijetljene (sl. 6) te svjetlo izravno utječe na zagrijavanje temperature zraka i razvitak kolonija algi i mikroorganizama (Lobo 2012).

Indirektni utjecaji podrazumijevaju općenite utjecaje na sve špilje zbog propusnosti krškog terena. To su ispušteni spojevi tijekom poljoprivrede, izgradnja antropogenih građevina poput parkirališta, sanitarnih čvorova i dr.



Slika 6: Posjetitelji u osvijetljenoj špilji Veternici. Izvor: LINK 1

c) Geološka istraživanja

Poznavajući promjenjivost klime, nužno je poznavati klimu Zemljine prošlosti kako bi se bolje predvidjele i raspoznale buduće promjene. S obzirom da su špilje i jame otvorene rupe unutar Zemlje, one su prepoznate kao prirodne "zamke" za sediment koji određenim metodama daje informacije o hidrogeološkim i paleoklimatskim uvjetima. U špiljama je moguće naći dvije osnovne vrste sedimenata, klastične i kemijske (White 2007). Klastični sedimenti formirani su mehanički, donešeni izvana ili premješteni unutar špilje. Kemijski sedimenti, stalaktiti i stalagmiti, formirani su na mjestu kapanjem vode, odnosno taloženjem. Upravo zbog sporog kemijskog procesa pod kojim nastaju kemijski sedimenti, moguće je različitim metodama ustanovniti stanje atmosfere u prošlosti. Metode kojima se mogu ustanoviti podaci o prošlosti uključuju radioizotopna datiranja koja mogu otkriti koncentracije pojedinih elemenata u prošlost, poput ugljika i kisika, pomoću kojih je moguće rekonstruirati atmosferu, vegetaciju i sastav stijena (White 2007). Zbog kompleksnosti metoda, neće se posebno obrađivati, ali njihovi rezultati bitni su za razumijevanje sadašnjih procesa.

Mnoge jame i špilje u svijetu zatrpane su snijegom i ledom, koji se ne otapa tijekom godine. Led nam također može dati informaciju o temperaturi i koncentraciji različitih plinova u vremenu u kojem se akumulirao te on treba biti predmet istraživanja (Kern 2011).

III. ZAKLJUČAK

Mikroklima svakog speleološkog objekta poseban je svijet za sebe te se tek detaljnim i dugogodišnjim istraživanjem mogu ustanoviti pojedini parametri. Razvoj tehnologije omogućuje lakše mjerenje tih parametra jer se uređaj može ostaviti unutar špilje na određeno vrijeme. Zbog različitih uvjeta unutar špilje, postoje brojna mikrostaništa te je mikroklima upravo zbog toga jedna od važnih komponenti pri zaštiti bioraznolikosti i pri odabiru mjesta hibernacije šišmiša. Turističke špilje mogu se posjećivati sve dok su zadovoljeni optimalni uvjeti, a njih je moguće održavati pravilnim monitoringom. Kemijski sedimenti te led daju informacije o dalekoj i bližoj Zemljinoj prošlosti te ih je nužno istražiti. Poznavanjem prošlosti, lakše se analizira sadašnjost te predviđa budućnost.

IV. LITERATURA

Baltag, E. 2012: Bat communities from Liliecilor cave of Raru mountains. *Biologie animală* 57, 137-150

Boyles, J., Willis, C. 2009: Could localized warm areas inside cold caves reduce mortality of hibernating bats affected by white-nose syndrome? *Front Ecol Environ.* 8(2), 92–98

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

Buzjak, N. 2007: Mikroklima kao komponenta geoekološkog vrednovanja spilja – primjer spilje u Belejskoj komunadi (Belej, otok Cres). *Geoadria* 12/2, 97-110

Buzjak, N. 2010: Mikroklimatski monitoring u speleološkim pojavama. *Stručni seminar o zaštiti špilja i podzemne faune – Ogulin.*

Freitas, C. 2010: The role and importance of cave microclimate in the sustainable use and management of show caves. *Acta Carsologica* 39/3, 477-489.

Frick, W. i dr. 2012: Climate and Weather Impact Timing of Emergence of Bats. *PLoS ONE* 7/8, 2-9.

Kern, Z. i dr. 2011: Glaciochemical investigations of the ice deposit of Vukušić Ice Cave, Velebit Mountain, Croatia. *The Cryosphere,* 5, 485–494

Kern, Z., i dr. 2008: Paleoenvironmental record from ice caves of Velebit mountains – Ice pit in Lomska duliba and Vukušić snowcave, Croatia. *The Cryosphere.* 108-113

Klys, G., Woloszyn, B. 2010: Ecological aspects of bat hibernicula in temperate climate zone of Central Europe. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle «Grigore Antipa»* 53, 489–497

Lobo, H. 2012: Speleoclimate and it's applications in tourism management in caves. *Journal of Geography Department* 23, 27-54.

Lobo, H. 2015: Speleoclimate dynamics in Santana Cave: general characterization and implications for tourist management. *International Journal of Speleology* 44 (1), 61-73

Perry, R. 2013: A review of factors affecting cave climates for hibernating bats in temperate North America. *Environmental Rev.* 21, 28–39

White, W. 2007: Cave sediments and paleoclimate. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69/1, 76-93

Internet izvori:

LINK 1: http://www.pp-medvednica.hr/turisticka-ponuda/spilja-veternica/

V. SAŽETAK

Mikroklimu speleoloških objekata čini veliki broj elemenata koji se međusobno isprepliću i konstantno utječu jedan na drugoga. Kako bi se opisala klima pojedine špilje, potrebno je izmjeriti najvažnije elemente poput temperature, vlažnosti, cirkulacije zraka te kemijskog sastava zraka. Poznavanje mikroklime moguće je primijeniti u različita znansvena istraživanja, uključujući biološka, geografska i geološka. U biološkim istraživanjima, stabilnost mikroklime ima veliku ulogu jer o njoj direktno ovisi bioraznolikost podzemnog života. U geografskim istraživanjima, mikroklima ima veliku ulogu u održivom korištenju špilja u turističke svrhe. U geološkim istraživanjima, mikroklima ima veliku ulogu u povezivanju sadašnjosti sa paleoklimom.

VI. SUMMARY

Cave microclimate is complicated system in which a large number of elements interfere with each other. In order to describe the climate of individual caves, it is necessary to measure the most important elements such as temperature, humidity, air circulation and chemical composition of air. Knowledge of microclimate can be applied to various scientific studies, including biological, geographic and geological research. In biological research, the stability of microclimate plays a major role in the biodiversity of underground life. In geographic research, microclimate plays a major role in the sustainable use of caves for tourism purposes. In geological research, microclimate has a major role in connecting the present with paleoclimatic conditions.