



**Špilja kao
prirodnoanstveni
laboratorij
(Tisuću zašto, tisuću zato)**

Milivoj Uroić | Speleološki odsjek HPD „Željezničar“

*Špiljski ukrasi u jami Muda labudova
Autor: Danko Cvitković*

Kad sam bio školarac, svidala mi se forma učenja u kojoj naslov postavlja neko pitanje, a tekst ispod odgovara na njega. Kažu da dijete koje nastavi postavljati pitanja i kad ostali prestanu, prema odrasloj dobi, na kraju postane znanstvenik. Ovdje ću pokušati prikazati pitanja i odgovore koji su me u 25 godina špiljarenja često potaknuli na razmišljanje o špiljama, naročito o razlikama podzemlja i vanjskog svijeta. Često stvari oko sebe uzimamo zdravo za gotovo ako su sveprisutne i svakodnevne, ma kako intrigantne bile. Špilja je mjesto koje prilično odstupa od naše svakodnevice, pa su pitanja često motivirana upravo pojavama koje susrećemo samo u speleološkim objektima. Neka su trivijalno jednostavna, a neka samo tako zvuče. Tiču se fizike, kemije, geologije, biologije... Umalo svih prirodnih znanosti. Iako se većina razmatranog odnosi i na jame, pri pisanju sam imao na umu dugačku ravnu špilju, recimo, Veternicu.

Zašto je u špilji stalna temperatura? Koliko je uopće stalna?

Iz iskustva znamo da se neki objekti brzo griju i hlade, a neki malo sporije. Tako će se automobil ostavljen na suncu zagrijati vrlo brzo, a kuća ili stan neće. Veličina koja to određuje u fizici se zove toplinski kapacitet. Zgrada s debljim zidovima ima veći toplinski kapacitet od zgrade s tankim, pa ćemo među debelim zidovima osjetiti temperaturu ovisnu ne samo o vremenu danas, nego nekoliko dana unatrag.

Špilja ima vrlo velik, praktički neograničen toplinski kapacitet. Možemo je shvatiti kao zgradu sa stotinjak metara debelim zidovima. Špilja tako „pamti“ vrijeme ne samo unatrag nekoliko dana, nego unatrag nekoliko godina. To je dovoljno da usrednji utjecaj ne samo dana i noći, nego i ljeta i zime. Možemo tvrditi da je u unutrašnjosti špilje, dovoljno daleko od ulaza, gdje je temperatura zraka u termalnoj ravnoteži s okolnom stijenom, temperatura jednaka prosječnoj temperaturi na ulazu, i vrlo malo varira tijekom godine.

Uočimo da klima varira bitno sporije, na skalam od desetaka i stotina godina. Dakle, temperatura u špilji ipak varira, ali klimatološki, a ne sezonski ili dnevno.

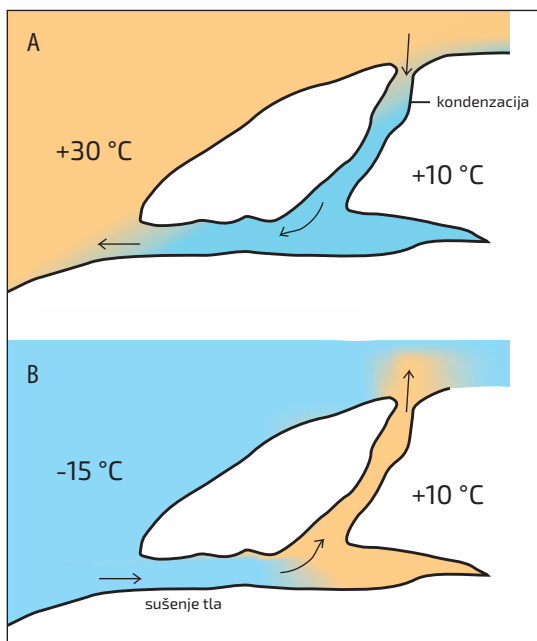
Zašto je u većini špilja blizu 100 % vlage?

Ovo je usko vezano za prethodno pitanje i odgovor. Udio vlage u našem se okolišu mijenja upravo zbog promjena temperature te doticaja s vlažnijim ili manje vlažnim objektima. 100 % vlage u zraku je stanje kada je voda u zraku u ravnoteži s tekućom vodom. No udio vlage koji zrak može primiti ovisi jako (eksponencijalno) o temperaturi. Na primjer, vrlo hladan zrak može imati vrlo malo vlage, čak i kada je 100 % zasićen. Tako hlađenjem povećavamo relativnu vlažnost zraka (do temperature rosišta, kada vlaga dosegne 100 % i doslovno se višak vode izbacuje u obliku rose ili inja), a grijanjem je smanjujemo, tj. isušujemo zrak.

Špilja je sustav koji bi fizičari koji se bave termodinamikom nazvali toplinska smrt – u njoj nema promjene temperature, pa nema ni izlaska iz ravnoteže jednom kad se ona uspostavi. A rekli smo već da je u ravnoteži 100 % vlage. U ostatku našeg okoliša to se trajno ne događa upravo zato što se temperatura stalno mijenja.

Zašto i kada puše vjetar u špilji?

Iako je špiljska meteorologija znatno složenija od odgovora koji slijedi, dominantni učinak vezan je za stalnu temperaturu. Najjači vjetar prisutan je u objektima s dva ili više ulaza (ne nužno prohodnih za ljude) na različitim nadmorskim visinama, a najjače se osjeti u suženjima kanala. Zimi takav sustav djeluje kao dimnjak: vanjska je temperatura niža, pa topli špiljski zrak, koji je rjeđi, pokušava izaći van na gornji ulaz. Pritom se naglo hladi i postaje prezasićen vlagom, pa često oko takvog ulaza zimi nalazimo rosu ili inje. Takav odušnik stvara podtlak, sniženi tlak u špilji, koji onda na donjem ulazu uvlači hladni zrak. Čak i ako je taj zrak 100 % zasićen vlagom, on će isušivati ulazne dijelove špilje jer se naglo zagrijava i time mu raste sposobnost daljnje primanja vlage. Ljeti je obrnuto, hladni špiljski zrak je gušći od okolnog, pa izlazi na donjem otvoru. Podtlak uvlači zrak s gornjeg otvora, koji onda također ispušta vlagu hlađenjem, ali ovaj put od ulaza prema unutrašnjosti, te nastaje pojava zvana špiljska rosa. Općenito, što je veća razlika u temperaturi izvan i unutar objekta, lakše ćemo zapaziti i strujanje zraka.



Slika 1. Strujanje zraka u špilji s dva otvora – ljeti (A) i zimi (B) (preuzeto iz Rnjak i dr., 2019., autor Hrvoje Malinar)

Zašto u špilji nema biljaka i kako to utječe na živi svijet?

Ovo zvuči prejednostavno da bi zaslužilo osvrt. Pa ipak... U špilji nema sunčeve svjetlosti, pa nije moguća fotosinteza, stvaranje organskih molekula i proces od primarne važnosti za sav živi svijet. Dakle, osim u ulaznim dijelovima ili pod umjetnom rasvjetom, biljaka u špiljama nema. No životinje se hrane ili biljkama ili drugim organskim materijalom, dakle, u konačnici, opet biljkama. Čime se onda uopće hrani špiljska fauna?

Ako hrana ne nastaje u špilji, jedina je mogućnost da dolazi izvana. No prilično je jasno da je dotok hrane u špilju usputan, vezan za vodotoke ili kolonije šišmiša i prilično siromašan. To odmah eliminira velike životinje. Zato su špiljski stanovnici, bili oni grabežljivci ili direktni konzumenti dolaznog materijala, vrlo sitni.

Ako vas je kao dijete zanimalo pitanje „Ima li u špilji zmaja?“, morali biste prvo odgovoriti na pitanje čime bi se taj zmaj hranio. Ako ne izlazi iz špilje, to bi bio nepremostiv problem – speleolozi kao potencijalna hrana su prerijetko i neredovito prisutni.

Zašto uopće ima života u špiljama?

Iskustvo biologa govori da će život naseliti i vrlo negostoljubiva mjesta, pa tako i špilje. Zašto? Nije li jednom kornjašu bolji život u šumi? Što ga je natjeralo u podzemlje? Univerzalni odgovor je da u ekstremnim staništima poput špilja, iako su negostoljubiva, ima manje konkurencije i manje potencijalnih predatora. Nisu ni kornjašu u šumi uvjeti idealni, on je učesnik surove borbe za opstanak, a njegove „uvjete“ uglavnom čine druga živa bića, a ne neživi parametri okoliša. Iako ovo zvuči surovo, prisjetimo se da je tako život izašao iz mora na kopno, stvorio toplokrvne organizme, koji su naselili hladna polarna područja, stvorili vrstu koja je prisiljena koristiti razum da bi preživjela... Da smo malo objektivniji, rekli bismo da je sva bioraznolikost nastala upravo zato jer ne možemo svi biti bakterije – ta je niša zauzeta i tu je konkurencija bila prejak za naše pretke, pa su se upustili u sve kompliciranije načine preživljavanja.

Zašto su špiljske vrste često endemične? Zašto izgube oči?

Špilja kao stanište prilično je izolirana i pogodna za razvoj endemičnosti. Možda bi bilo primjerenije pitati zašto endemičnost nije potpuna i kako živi svijet uopće migrira iz jedne špilje u drugu? Organizam koji je potpuno prilagođen špilji vrlo će teško prevaliti vanjski prostor između špilja i pronaći drugu špilju. No ima i izuzetaka. Za zaposjedanje nekog staništa nije nužno da dođu odrasle jedinke, to mogu uraditi i oplođena jajašca. Također, mnoge su špilje povezane vanjskim vodenim tokom, stalno ili povremeno. Ako vrsta uspije „osvojiti“ novo stanište, taj pothvat često rezultira trajnim naseljavanjem, tako da je sadašnja populacija često i relikv naseljavanja u drukčijim uvjetima, npr. tijekom ledenog doba ili ranije.

Meni se u početku špiljarenja činilo nelogičnim da špiljska fauna izgubi oči. Zašto se ne bi prilagodila špilji i uz to zadržala oči? Isto pitanje odnosi se i na pigment ili bilo što potrebno u vanjskom svijetu, a u špilji suvišno. Koja je štetnost očiju ili pigmentata da bi ih životinje koje su ih već razvile izgubile pri prilagodbi špilji? Pa... Funkcionalan organ zahtijeva resurse. I oči i pigment zahtijevaju specijalizirane stanice ili proteine ili ostale resurse koji su zbog manjka hrane u špilji izuzetno skupi.

Tako da logika „ne može im naškoditi ako zadrže oči, možda ih njihovi potomci zatrebaju“ nije evolucijski prihvatljiva. Prvo, može im naškoditi uzimajući dragocjene resurse, i drugo, evolucija nagrađuje uglavnom preživljavanje, a izuzetno rijetko investiciju u daleku budućnost.

Zašto u špilji rastu sige?

Špilju oblikuje voda, pa očekujemo i da nastaje u stijeni topivoj u vodi. U našim i svjetskim razmjerima ta je stijena uglavnom vapnenac, kalcijev karbonat. Topivost u vodi jako ovisi o uvjetima, tlaku i temperaturi, što će svaki kemičar potvrditi. Što se onda promijeni ulaskom vode u špilju kapanjem kroz strop? Ovaj put, začudo, odgovor nije u temperaturi, nego u tlaku. Zamislite uski kanalčić ili pukotinu u stijeni kojom voda dolazi. Protočnost je vrlo mala (kad je velika, obično ne nastaju sige), pa voda „čeka u cjevčici“ da dođe na red za ulazak u špilju, tj. zračni prostor. Ako je stupac vode visok, recimo, 1 metar, to stvara dodatni pritisak (1/10 atmosferskog tlaka) na dnu. Ulaskom u prazan prostor, taj pritisak naglo padne. U tim uvjetima otopina postaje prezasićena i izlučuje otopljenu tvar. Iako siga nastaje taloženjem kalcijevog karbonata, pritom važnu ulogu ima i naglo oslobađanje

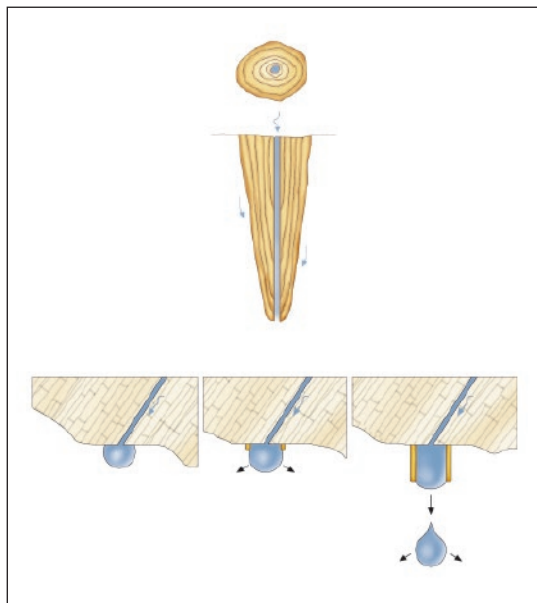
ugljkovog dioksida, CO_2 . Ako vam zvuči sumnjivo, prisjetite se otvaranja boce gaziranog pića. Otvaranjem čepa postizemo isti učinak, naglo smanjenje tlaka. I tada se otopljena tvar, u ovom slučaju mjehurići CO_2 , odjednom pojavi, a proces je, za razliku od rasta sige, vrlo brz, često na štetu vlasnika boce i na zabavu društva oko njega.

Umjesto zaključka

Prikazao sam svoj izbor, što zbog pitanja, što zbog odgovora. Uz dužnu ispriku specialistima za pojedine prirodoslovne teme, primjeri su pojednostavljeni do te mjere da odgovori pokrivaju dominantni uzrok, ali ne i detalje koji, iako prisutni, često odvlače pažnju i zakompliciraju objašnjenje toliko da izgubimo interes za tematiku. Opravdana kritika mogla bi glasiti da sam napisao primjere za djecu, a „prava“ znanstvena objašnjenja treba potražiti u knjizi Speleologija i drugdje. No ako sam ikoga potaknuo na razmišljanje izvan svog područja ekspertize ili naveo stručnjaka da kritički razmotri i eventualno korigira ovdje napisano, postigao sam cilj. A ne zaboravite da u svakom od nas ipak čuči radoznalo dijete. Ako na temelju ovih pitanja dobijem, uz kritike, i nova pitanja, bit ću vam zahvalan.

Literatura

- Rnjak, G., Bakšić, D., Paar, D., Novak, R., Glušević, M., Božić, V., Buzjak, N., Barišić, T., Aleraj, B., Bočić, N., Malinar, H., Novosel, D., Rnjak, D., Surić, M., Josipović, Č., Bach, F., Bajo, P., Barišić, A., Basara, D., Cucančić, D., Cukrov, N., Čuković, T., Čukušić, A., Čukušić, I., Donlagić, L., Filipović, F., Gorički, D., Grgić, H., Jalžić, B., Jelinić, I., Josipović, Lj., Kovačević, A., Kovač Konrad, P., Kukuljan, L., Kušić, D., Lacković, D., Matišić, T., Miculinić, K., Mišur, I., Mudronja, L., Mustapić, M., Raguž, K., Redovniković, L., Rosić, R., Stopić, D., Stroj, A., Strigo, V., Šuica, N., Talaja, M., Vrbanc, Z., Železnjak, J., Železnjak, R. (2019), Speleologija, II. izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Hrvatski planinarski savez, Hrvatska gorska služba spašavanja, Speleološko društvo „Velebit“, Zagreb, 641, 674
- Dawkins, R. (1997): Sebični gen, Izvori, Zagreb
- https://hr.wikipedia.org/wiki/Vlažnost_zraka (datum pristupa 10. 12. 2019.)



Slika 2. Začetak rasta sige (preuzeto iz Rnjak i dr., 2019., autor Krešić 1988)