



# Gljive u podzemlju

**Leo Hrs** | Speleološki odsjek HPD »Željezničar«, Hrvatsko biospeleološko društvo

*Vrsta roda **Hirsutella** na lešini kornjaša  
roda **Parapropus**, zabilježena u špilji  
na području Korduna  
Autor: Tin Rožman*

## Uvodno o gljivama

Gljive možemo naći na veoma različitim staništima – u dubinama oceana, u slatkoj vodi (Naranjo-Ortiz i sur., 2019), u stijenama (Liu i sur., 2022), na koži, drugim životinjama, biljkama, u piću, u kruhu i na kruhu, u oblacima (Hassett i sur., 2015), pa i u svakom dahu koji udahnemo je 1 – 10 gljivljih spora (Fröhlich-Nowoisky i sur., 2009) te bismo mogli reći da je nemoguće naći kutak gdje ih nema.

Kada čujemo riječ gljiva ono na što uglavnom prvo pomislimo jest zapravo samo rasplodno tijelo gljive (plodište) koje nalazimo kod određenih skupina (ugl. odjeljka stapčarki – Basidiomycota) što imaju izgled »klasične gljive« (eng. *mushroom*), odnosno plodišta s klobukom i stručkom, te se ne sjeti odmah svatko plijesni ili kvasca, a kamoli tek drugih suptilnih i manje znanih oblika. Najbrojniji vrstama je pak odjel gljiva mješinariki (Ascomycota), koji s odjelom stapčarki čini skup »viših gljiva« te zajedno predstavljaju 90 % poznatih vrsta gljiva (Slika 1).

Podjela carstva gljiva je u konstantnoj promjeni. Čak ni legendarni »otac moderne taksonomije« Linnaeus nije dirao u nomenklaturu gljiva i već je 1751. godine konstatirao: »*Fungorum ordo in opprobrium artis etiamnum Chaos est, nescientibus Botanicis in his, quid Species, quid Varietas sit*« (Odjel gljiva još uvijek je sramota za disciplinu [klasifikacije], budući da botaničari tek trebaju utvrditi što je vrsta, a što varijetet) (Kowallik i Martin, 2021). Kao što se vidi iz navedenog, gljive su zapravo do relativno nedavno svrstavane u carstvo biljaka te su tek nedavno smještene u zasebno carstvo (Whittaker, 1959).

U međuvremenu su neke skupine iz carstva gljiva, danas zvane »gljivama nalik organizmi« (eng. *Fungus like organism* – FLO) preseljene u carstvo protista (Protista) ili, točnije, kromista (Chromista), zajedno s dijatomejama i smeđim algama, poput tzv. gljiva sluznjača (*Myxomycetae*) i vodenih plijesni (*Oomycetae*). Postoje i dvije konvencionalne grupe gljiva koje nisu prepoznate kao službene taksonomske skupine, a to su: *Hyphomycetes* i lišajevi. U *Hyphomycetes*, nekada zvane i *Deuteromycota* (lat. *fungi imperfecti* – »nesavršene gljive«), se ubrajaju gljive nepoznatog sistematskog položaja koje tvore samo nespodne spore ili gljive u posve nespodnom stanju (*mycelia*

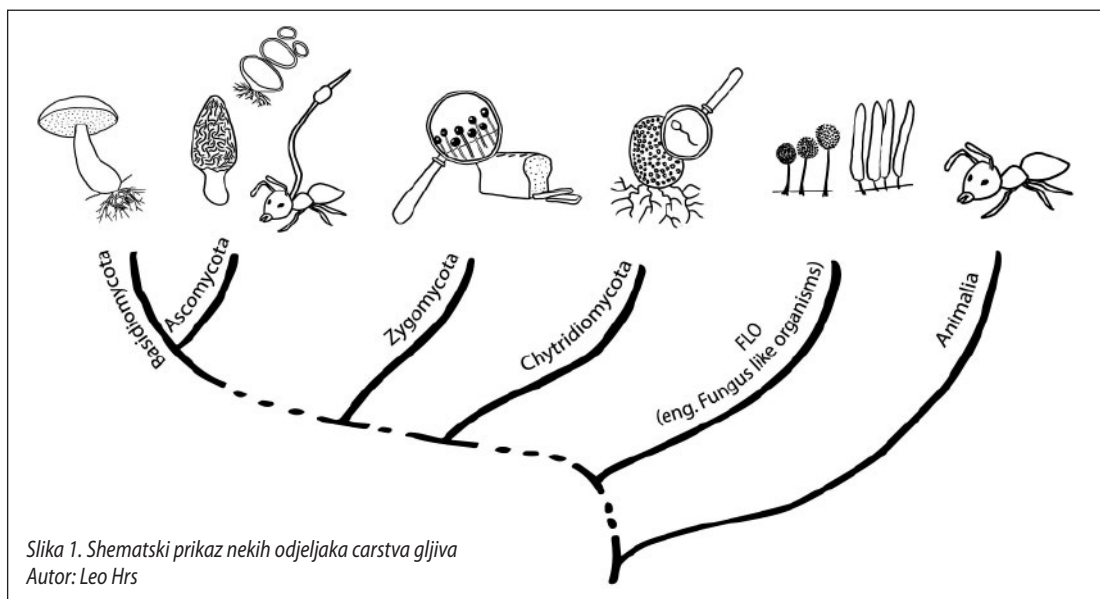
**Heterotrofija** (grč. *heteros* – tuđi, stran, onaj drugi; *trophe* – hranjenje) je karakteristika organizma da ugljikohidrate potrebne za život uzima iz organskih tvari, za razliku od biljaka, koje ugljikohidrate dobivaju fotosintezom uz pomoć sunčeve energije (autotrofija).

*sterilia*) te se kao takve trenutno ne mogu sa sigurnošću smjestiti ni u jednu službenu skupinu. Kod lišajeva je pak posebnost to što oni nisu jedan organizam, već simbiotski odnos između gljiva i alga (i/ili cijanobakterija). Često ove gljive ne mogu rasti bez alge simbionta, što ih čini problematičnima za pravu klasifikaciju. Dugo su svrstavane u carstvo biljaka, no ono što razlikuje gljive od (većine) biljaka jest to što ne posjeduju klorofil, potreban za fotosintezu, već se hrane **heterotrofno**, što znači da se hrane organskim spojevima drugih organizama. Osobitost gljiva je i to što se hrane upijanjem već dijelom probavljene hrane, za razliku od gutanja i uobičajenog odvijanja tog procesa npr. u životinja. Naime, gljive najprije ispuštaju svoje probavne enzime u hranu te potom upijaju tako obrađene tvari. K tome, hranjive tvari ne skladište u obliku škroba, nego u obliku glikogena, poput životinja, a i stanična stijenka gljiva sadrži molekulu **hitin**, spoj koji nalazimo i u ljušturama člankonožaca.

Ovdje su navedene samo neke od karakteristika koje gljive izdvajaju od ostalih skupina živoga svijeta i omogućuju im da ispunjavaju važne uloge u različitim ekosustavima. Tijekom povijesti života na Zemlji gljive su osvojile zapanjujuće širok raspon staništa, uključujući i špilje!

## Ekološka funkcija gljiva u podzemlju – tko tu koga jede?

Kada pričamo o gljivama u podzemlju, molim vas nemojte odmah zamisliti samo vrganje! Jasno, zbog pogodne klime u podzemlju (stalna temperatura i visoka vlaga) Francuzi već barem 200 godina koriste napuštene rudnike za kultivaciju gljiva, no ono što određuje opstanak određenih vrsta u prirodnim uvjetima jesu ograničeni izvori hranjivih tvari. Stoga, kako bolje predočiti kakve gljive možemo očekivati u podzemlju, nego da se zapitamo – čime se hrane? Koje su njihove hranidbene strategije?



**Hitin** je organski spoj nalik celulozi. Široko je rasprostranjen u prirodi, posebice u morskim beskralježnjacima, kukcima, i gljivama.

Mnoge gljive ulaze u **mikorizni** odnos s korijenjem biljaka ili pak s algama i/ili cijanobakterijama tvoreći lišajeve. No čim se zađe malo dublje u podzemlje, nema svjetlosti koja bi omogućila razvoj lišaja, niti korijenskog sustava biljaka, pa se ne treba nadati susretu s mikoriznom gljivom, poput

vrganja. Uobičajeno je da se lišajevi nalaze na ulazima u speleološke objekte, sve dokle dopire dovoljno svjetlosti, no također se mogu razviti i na trajno postavljenoj rasvjeti, poput one koju nalazimo u turistički uređenim objektima. Smatra se da takvi obraštaji organizama uz umjetnu rasvjetu (njem. *lampenflora*), koji često uključuju alge i cijanobakterije, no ponekad čak i biljke, značajno negativno utječu na bioraznolikost špiljskih ekosustava tako što remete rasprostranjenost i prehrambene navike organizama (Baković, 2016). Stoga, moglo bi se reći da uobičajena gljiva u podzemlju funkcionira uglavnom kao parazit ili razgrađivač mrtve organske tvari (Slika 2), iako jedno često ne isključuje drugo (Rawat i sur., 2018).

Tako vrste reda Onygenales mogu biti **saprofiti** na izmetu, na ostacima životinjskog tkiva (koštanim, rožnatim i hitinskim), ali i paraziti na kralješnjacima (npr. šišmišima). Vrste redova Eurotiales i Microascales najčešće su saprotrofni, **fimikolni** organizmi (razvijaju se na na životinjskom izmetu) (Slika 3). Malobrojni zigomiceti (Zygomycota) također su najviše zastupljeni kao



**Mikoriza** (grč. *mykós* – gljiva + *riza* – korijenje) je simbiotski oblik interakcije između gljiva i korijenja viših biljaka.

**Simbioza** (grč. *syn* – zajedno + *biōsis* – življenje) je trajna ili privremena životna zajednica dvaju organizama različitih vrsta, koji od toga mogu imati korist ili štetu.

fimikolni organizmi, ali značajne su i neke **hiti-nolitičke** vrste i mikoparaziti (paraziti na drugim gljivama), poput *Syncephalis* spec. nov. nađene u sustavu Vilina špilja – izvor Omble, koja vjerojatno parazitira na drugoj fimikolnoj zigomiceti (Matočec, 2015) (Slika 4).

Određene skupine izvor hrane nalaze u životinjama. Poznate su vrste reda Laboulbeniales kao komezali na kukcima (Slika 5). Komezalizam je odnos u kojem jedna vrsta ostvaruje korist od druge, a da joj pri tome ne šteti. Čini se da kornjaši

zaraženi ovom gljivom održe sve bitne životne funkcije, osim u ekstremnim obraštajima.

Među vrstama reda Hypocreales (koji uključuje rodove *Cordyceps* i *Ophiocordycipitaceae*) nalazimo važne patogene na člankonošcima (Slika 6, 7 i 8). U sustavu Vilina špilja – izvor Omble pronađena je vjerojatno jedna za znanost nova vrsta (Matočec, 2015), preliminarno smještena u rod *Isaria*, koji je u prošlosti bio upotrebljavan za vrlo velik broj entomopatogenih anamorfnih gljiva koje proizvode sličan tip plodišta, a danas su većinom razvrstane po drugim rodovima (npr. *Hirsutella*, *Paecilomyces*, *Gibellula*) (Slika 9). U Veternici je pak zabilježen primjer hiperparazitizma (parazitiranja na parazitu), a riječ je o vrsti *Polycephalomyces ramosus*, koja je hiperparazit na drugoj gljivi, koja pak parazitira na muhi roda *Heteromyza* (Matočec i sur., 2014).



Slika 3. Zajednica gljiva na izmetu s vrstom *Penicillium vulpinum* iz Vjetrenice  
Autor: Roman Ozimec

**Štetnici** su životinjski organizmi koji se hrane poljoprivrednim, šumskim, ukrasnim biljem ili proizvodima biljnoga podrijetla. U štetnike ubrajamo kukce, grinje, oblice, puževe, glodavce, divljač i ptice.

Vrste reda Helotiales (Slika 10), Thelebolales i Sordariales su saprotrofi na izmetu i biljnim ostacima, a vrste odjeljka Basidiomycota (Slika 11 i 12) pretežno su razlagači biljnih ostataka (najviše rodovi *Coprinus* i *Hemimycena*). Kako na površini, tako i u podzemlju gljive igraju značajnu ulogu u razgradnji tvari drugim organizmima neprobavljivima ili teško probavljivima (poput **celuloze**, **lignina**, **keratina** itd.), čineći tako hranjive tvari dostupnijima drugim vrstama. U okolišu biomase gljiva ima u izobilju i ona ima visoku hranjivu vrijednost za mnogostanične životinje. U usporedbi s celulozom, **hitin**, polisaharid koji sadrže gljive i člankonošci, lakše je probavljiv i sadrži veći udio dušika. U mnogim špiljskim ekosustavima gljive i bakterije predstavljaju bitan izvor hrane za prazivotinje (Protozoa) i troglobiontske beskrležnjake, kao što su člankonošci, kolutičavci, mekušci i oblici (Naranjo-Ortiz i sur., 2019; Rawat i sur., 2018; Vanderwolf i sur., 2013).



Slika 4. Nova vrsta gljive roda *Syncephalis*, koja parazitira na drugoj fimikolnoj zigomiceti, nađena u Vilinoj špilji – izvor Omble  
Autor: Roman Ozimec

Neke špiljske gljive jedu i paštetu! Naime, jedna neobična gljiva pronađena je na pašteti postavljenoj kao mamac u svrhu istraživanja podzemnih beskrležnjaka (Slika 13). Trenutno je taksonomski određena kao članica (konvencionalne) grupe Hyphomycetes, a vrlo vjerojatno predstavlja za znatnost novu vrstu (Matočec, 2015). Neke gljive »jedu čak i kamen«, no ne doslovno, već bi se tako mogle vizualno opisati posljedice njihove kolonizacije i korozije površina stijena. Kada napišem da ne jedu stijenu doslovno, želim reći da ne koriste stijene kao izvor organskih ili anorganskih hranjivih tvari,

Slika 5. Vrsta gljive reda Laboulbeniales, što se razvija kao komezal na špiljskom trčku  
Autor: Roman Ozimec



*Slika 6. Vrsta roda Hirsutella na lešini kornjaša roda Parapropus, zabilježena u špilji na području Korduna  
Autor: Leo Hrs*



Slika 7. Gljiva reda *Hypocreales* na kornjašu roda *Hadziella*  
 Autor: Branko Jalžić



**Saprotrofi** (grč. *saprós* – pokvaren, truo + *trophē* – ishrana) su organizmi koji žive od mrtvog ili raspadajućeg organskog materijala.

već kao mjesto za naseljavanje i razmnožavanje. Izuzetno spora stopa rasta ovih gljiva i nedostatak razlikovnih morfoloških karakteristika rezultirali su lošim razumijevanjem njihove bioraznolikosti, no ne može se zanemariti njihov doprinos u optjecaju anorganskih tvari te stvaranju špiljskih ukrasa, kao što su sekundarne naslage kalcijevog karbonata, otapanjem temeljne stijene (Liu i sur., 2022; Rawat i sur., 2017).

### Istraženost gljiva u podzemlju

Općenito, gljive pripadaju među slabije istražene organizme. S obzirom na to da je od pretpostavljenih između 2,2 i 3,8 milijuna vrsta gljiva u svijetu (Hawksworth i Lücking, 2017) tek oko 120 000 vrsta potvrđeno, vidljiva je niska globalna istraženost bioraznolikosti gljiva (mikrobiote) (Webster i Weber, 2007). Zahvaljujući svojem primarno mediteranskom položaju, Hrvatska se svrstava među europska područja najbogatija vrstama s potvrđenih



Slika 8. Entomopatogena gljiva reda *Hypocreales* na komaru (*Tipulidae*)  
 Autor: Leo Hrs

**Fimikolni organizmi** (lat. *fungus* – izmet + *colere* – nastaniti) žive ili rastu na životinjskom izmetu. Primjera takvih gljiva ima u rodovima *Aspergillus*, *Mucor*, *Mortierella* itd.

oko 5500 vrsta gljiva, od procijenjenih najmanje oko 20 000 (Radović i sur., 2009). Iako se svjetska neistraženost gljiva u jednu ruku može ogledati i na razini istraženosti u Hrvatskoj (Tkalčec i sur., 2008), u drugu ruku prema svjetskom pregledu istraženosti gljiva u podzemlju (Vanderwolf i sur., 2013) Hrvatsku svrstavaju u bolje istražene dijelove svijeta po broju objavljenih radova i javno dostupnih podataka. Kada se tome pribroje radovi objavljeni u međuvremenu i materijali pohranjeni u znanstvenoj zbirci Hrvatski nacionalni fungarij (eng. *Croatian National Fungarium* – CNF) Hrvatskog mikološkog društva te velika količina još neobjavljenih podataka (Matočec, 2015), možemo smatrati



Slika 9. Nesporno plodište neopisane vrste grupe *Isaria* iz Viline špilje – izvora Omble  
Autor: Roman Ozimec

**Hitinolitički organizmi** su organizmi koji mogu razgraditi hitin. Primjera takvih gljiva ima u rodovima *Aspergillus*, *Mucor*, *Mortierella* itd.



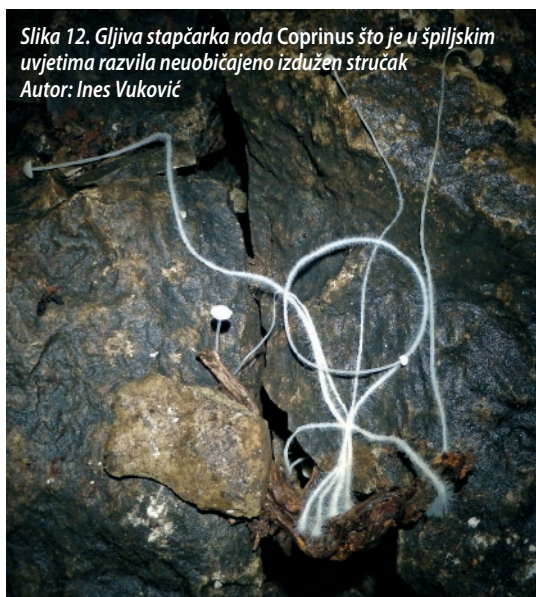
Slika 10. Plodišta neopisane nove vrste gljive *Ombrophila* iz Viline špilje – izvora Omble  
Autor: Roman Ozimec



Slika 11. Gljiva stapčarka roda *Coprinus* u špiljskim uvjetima na Dinari  
Autor: Roman Ozimec



Slika 12. Gljiva stapčarka roda *Coprinus* što je u špiljskim uvjetima razvila neuobičajeno izdužen stručak  
Autor: Ines Vuković



**Celuloza** je važan sastojak stanične stijenke biljaka, mnogih algi i oomiceta (Protozoa). Smatra se najraširenijim organskim spojem u prirodi.

područje hrvatskog krškog podzemlja dobro istraženim. Samo u neobjavljenoj internoj bazi podataka (Matočec, 2015) o istraživanjima mikrobiote (raznolikosti gljiva) podzemlja s prostora dinarske i jadranske mikroploče, provedenih na više od 250 speleoloških objekata, 2015. godine ukupan broj vrsta (ne uključujući gljive odjeljka stapčarki) iznosio je 320, u najvećoj mjeri gljiva iz odjeljka mješinariki (Ascomycota). Među njima veliki udio čine vrste koje još nisu poznate znanosti, a utvrđeni su i neki za znanost novi rodovi (npr. *Spelaodiscus* nom. prov.) (Matočec, 2015) i opisana je za znanost nova vrsta *Ramgea ozimecii* (Kušan i sur., 2017) (Slika 14), prva špiljska gljiva čiji je ***locus classicus*** u Hrvatskoj. Budući da je pregled špiljskih gljiva Hrvatske objavljen još prije više od 20 godina (Matočec, 2002), nakon čega je tek uslijedilo još intenzivnije istraživanje gljiva krškog podzemlja Dinarida (Matočec, 2015), pregled špiljskih gljiva nužno je ažurirati.

Određene vrste gljiva dobivaju veću pažnju istraživača, tako da su najčešće zabilježeni nalazi podzemnih gljiva u svijetu, prema Vanderwolf i sur. (2013), naravno, oni koji imaju nekakvo djelovanje

na čovjeka. Vrsta *Histoplasma capsulatum* zaslužila je svoje mjesto među najčešće istraživanim jer ova gljiva koja se razvija na guanu (izmetu ptica i šišmiša) može uzrokovati i infekciju na ljudima (tzv. histoplazmozu) uslijed udisanja njenih spora. Ipak, najčešće zabilježena gljiva u podzemlju je vrsta *Geomyces destructans*, no ovaj put ne zbog štete po zdravlje čovjeka, već po džep! Procjenjuje se da je od iznenadne pojave ove za šišmiše smrtonosne gljive u Sjevernoj Americi od 2006. do 2012. godine infekcija indirektno uzrokovala poljoprivredne gubitke od oko 3,7 milijardi dolara godišnje, ubivši između 5,7 i 6,7 milijuna šišmiša (Vanderwolf i sur., 2013). Kada se drastično smanjila populacija šišmiša, povećao se broj insekata štetnika te, osim same štete nastale na poljoprivrednim usjevima, mnogo novčanih gubitaka nastalo je zbog povećane potrebe za uporabom pesticida. Zato danas u turistički uređenim špiljama u SAD-u (poput špilje Mammoth Cave u Kentuckyju) prilikom turističke posjete u špilju oblačite odoru i čizme koje se dezinficiraju prilikom ulaska kako bi se spriječilo moguće širenje infekcija. Iako je najviše nalaza ove

**Lignin** je složeni organski polimer koji s celulozom čini glavni sastojak drva. Najrasprostranjeniji je organski spoj na Zemlji nakon celuloze.

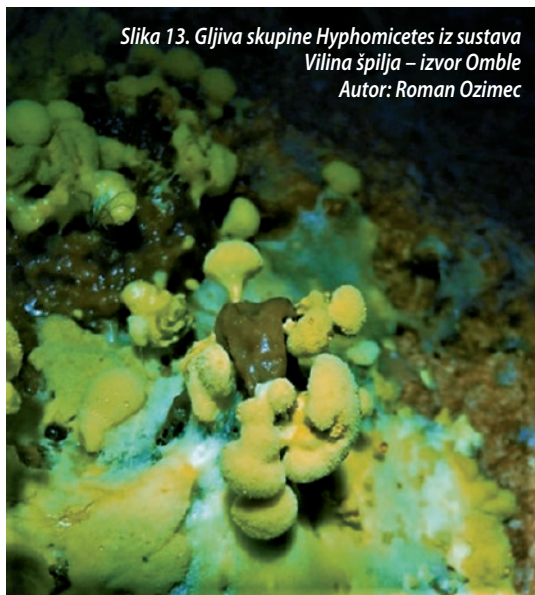
---

**Keratin** je glavni protein koji tvori kosu, vunu, perje, nokte i rogove mnogih vrsta životinja.

---

vrste iz podzemlja, zabilježena je i izvan speleoloških objekata. Ova gljiva uzrokuje tzv. »sindrom bijelog nosa« (eng. *white nose syndrome*) na šišmišima tako što im se naježđuje duboko u kožno tkivo te zaražene šišmiše može probuditi iz hibernacije, uzrokujući trošenje ključnih zaliha masti, što nerijetko dovodi i do smrti od gladi. Pretpostavlja se da je vrsta donesena iz Europe, gdje je prije zabilježena, ali iz nekog razloga ne uzrokuje tako masovna stradanja šišmiša.

Pregled rodova obrađenih u mikološkim istraživanjima u speleološkim objektima dali su Vanderwolf i sur. (2013), a, osim već spomenutih rodova *Histoplasma* i *Geomyces*, najčešći su: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Pacilomyces*, *Acremonium*, *Chrysosporium*, *Laboulbenia*, *Rhizopus*, *Mortierella*, *Chaetomium*, *Rhachomyces*, *Trichophyton*, *Humicola*, *Isaria*, *Absidia*, *Beauveria*, *Phoma*, *Verticillium*, *Aureobasidium*, *Gliocladium*, *Coprinus*, *Cunninghamella*,



Slika 13. Gljiva skupine *Hyphomycetes* iz sustava Vilina špilja – izvor Omble  
Autor: Roman Ozimec

---

*Locus classicus* (klasično nalazište) u botanici ili *locus typicus* (tipski lokalitet) u zoologiji je mjesto gdje je tipski primjerak (jedinka po kojoj je vrsta opisana) uhvaćen, sakupljen ili promatran.

---

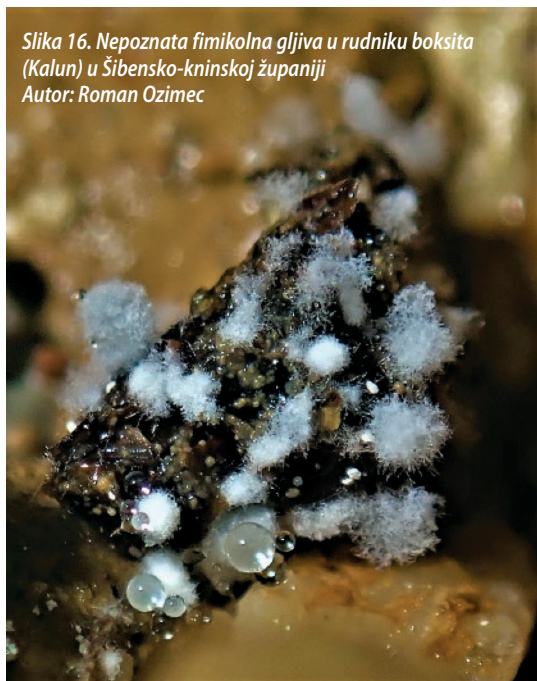
Slika 14. Plodišta *Ascomycota* na špiljskim ukrasima  
Autor: Leo Hrs



Slika 15. Čardačina jama – locus classicus prve špiljske gljive opisane u Hrvatskoj  
Autor: Roman Ozimec



Slika 16. Nepoznata fimikolna gljiva u rudniku boksita (Kalun) u Šibensko-kninskoj županiji  
Autor: Roman Ozimec



Slika 17. Zaraženi šišmiš *Myotis lebeii* sa sindromom bijelog nosa  
Autor: Ryan von Linden, NYDEC

*Epicoccum*, *Geotrichum*, *Microsporium*, *Botrytis*, *Candida*, *Mycena*, *Scopulariopsis* i *Stachybotrys*. No to što neke vrste čini češće zabilježenima jest sigurno i odraz metodologije uzorkovanja, a ne stvaran odraz bioraznolikosti (Rawat i sur., 2017; Vanderwolf i sur., 2013).

## Evolucija špiljskih gljiva i njihova zaštita

Većina svojti gljiva zabilježenih u špiljama su kozmopolitski rašireni oportunistički saprotrofi povezani s tlom, biljnim materijalom ili kukcima (Vanderwolf i sur., 2013). No postoje li prave špiljske gljive, prilagođene isključivo životu u podzemlju? Mogu li se gljive čiji su nalazi zabilježeni u podzemlju smatrati i pravim špiljskim organizmima (troglobiontima) – teško je reći. Postoje vrste koje su zabilježene jedino u podzemlju, ali to je možda samo odraz nedovoljnog uzorkovanja na površini (Vanderwolf i sur., 2013).

Istraživanja Zhang i sur. (2018) na 20 različitih vrsta gljiva zabilježenih u podzemlju upućuju na ne-špiljsko porijeklo špiljskih gljiva. Čini se da je geografska povijest krških špilja u pokrajini Guizhou u Kini prekratka za procese specijacije istraživanih gljiva, te su, prema njihovim rezultatima, istraživane vrste evoluirale puno prije nego što su se formirali speleološki objekti u kojima su zabilježene. Na primjer, za specijaciju vrste *Metapoehonia variabilis* procjenjuje se da se odvila prije 7,2 milijuna godina u kasnom Miocenu, a vrste *Gymnoascus exasperates* prije 158 milijuna godina, dok se formacija špilja razvila tek prije 3,5 – 4,0 milijuna godina u Pliocenu. Čini se da stalno niža temperatura i izrazito ograničeni izvori energije također dovode i do ograničene mikroevolucije u špiljama. Stoga je zaključeno da nove vrste opisane iz ovih špilja vjerojatno nisu nastale kao troglobiontske gljive, već su opstale u špiljama, a doputovale su zapravo iz drugih okruženja, iako nisu nikada zabilježene u kopnenom okruženju (Zhang i sur., 2018).

Izgledno je da su uslijed prilagodbi na razne uvjete u okolišu mnoge vrste sada ostale vezane za podzemna staništa i više ne mogu nastaniti područja koja su nekoć nastanjivala (Naranjo-Ortiz i Gabaldón, 2019; Matočec i sur., 2014). Neke gljivlje vrste takvog životnog scenarija mogle bi se smatrati

osjetljivima (u konzervacijskom smislu: ugroženima) jer njihov opstanak ovisi o nekoliko osjetljivih staništa ili vrsta domadara. Tako je, osim svih životinja cijelim životnim ciklusom vezanih za špiljska staništa (troglobionti), za sada, barem na papiru (Narodne novine 73/2016), zaštićena i jedna vrsta špiljske gljive (*Cordyceps riverae*).

Sve se više pažnje pridaje gljivama i sve se više razotkriva njihova vrijednost. Potrebno je provesti još mnogo istraživanja raznolikosti, biologije, ekologije i evolucije kako bismo se još približili spoznaji o bogatstvu, složenosti i sveprisutnosti carstva gljiva, ali jedno je neupitno, a to je da one imaju važnu i nezamjenjivu ulogu u funkcioniranju svih ekosustava.

## Literatura

- Baković, N., 2016: Širenje lampenflore u špilji Veternici (Park prirode Medvednica) u razdoblju od 2012. do 2014. godine, *Subterranea Croatica*, 14 (1), 26-30.
- Gottstein Matočec, S. (ur.), Bakran-Petricioli, T., Bedek, J., Bukovec, D., Buzjak, S., Franičević, M., Jalžić, B., Kerovec, M., Kletečki, E., Kralj, J., Kružić, P., Kučinić, M., Kuhta, M., Matočec, N., Ozimec, R., Rađa, T., Štamol, V., Ternjej, I., N. Tvrtković, 2002: An overview of the cave and interstitial biota of Croatia, *Natura Croatica*, Vol. 11, Suppl. 1, 1-112.
- Hassett, M. O., Fischer, M. W. F., Money, N. P., 2015: Mushrooms as Rainmakers: How Spores Act as Nuclei for Raindrops, *PLOS ONE* 10 (10), e0140407, DOI: 10.1371/journal.pone.0140407.
- Hawksworth, D. L., Lücking, R., 2017: Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species, *Microbiol Spectrum* 5 (4), FUNK-0052-2016, DOI: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016.
- Frohlich-Nowoisky, J., Pickersgill, D. A., Despres, V. R., Poschl, U., 2009: High diversity of fungi in air particulate matter, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (31), 12814–12819, DOI: 10.1073/pnas.0811003106.
- Kušan, I., Matočec, N., Mešić, A., Tkalčec, Z., 2017: *Ramgea ozimecii*, *Fungal Diversity* 87, 125, DOI: 10.1007/s13225-017-0391-3.
- Kowallik, K. V., Martin, W. F., 2021: The origin of symbiogenesis: An annotated English translation

Slika 18. Fimikolna gljiva na guanu

Autor: Leo Hrs



of Mereschkowky's 1910 paper on the theory of two plasma lineages, *Biosystems* 199, 104281, DOI: 10.1016/j.biosystems.2020.104281.

- Liu, B., Fu, R., Wu, B., Liu, X., Xiang, M., 2021: Rock-inhabiting fungi: terminology, diversity, evolution and adaptation mechanisms, *Mycology* 13 (1), 1–31, DOI: 10.1080/21501203.2021.2002452.
- Matočec, N., 2015: Mikrobiota, globalna i regionalna istraženost gljiva krškog podzemlja, u: *Studija Glavne ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu HE OMBLA, Knjiga 3. Bioraznolikost špiljskih objekata na širem području zahvata*, Oikon, Hrvatski prirodoslovni muzej i Geonatura, 118.
- Matočec, N., Kušan, I., Ozimec, R., 2014: The genus *Polycephalomyces* (Hypocreales) in the frame of monitoring Veternica cave (Croatia) with a new segregate genus *Perennicordyceps*, *Ascomycete.org* 6, 125-133.
- Matočec, N., Kušan, I., Ozimec, R., 2017: Prvi nalaz špiljske gljive *Rhachomyces hypogaeus* (Ascomycota) na području Nacionalnog parka Sjeverni Velebit, u: *Znanstveno-stručni skup »Od istraživanja k dobrom upravljanju Nacionalnim parkom Sjeverni Velebit«*: Zbornik sažetaka (ur. Krušić Tomaić, I., Lupret-Obradović, S., Šilić, T.).
- Matočec, N., Ozimec, R., Kušan, I., 2012: *Polycephalomyces ramosus* (Hypocreales, Ascomycota) an interesting troglophilic entomogenous fungus, new for Croatia, u: *21st International Conference on Subterranean Biology, 2–7 September, 2012, Košice, Slovakia – Abstract book* (ur. Kováč, L., Uhrin, M., Mock, A., Luptáčík, P.).

- Money, N. P., 2016: Fungal Diversity, *The Fungi*, 1-36, DOI: 10.1016/b978-0-12-382034-1.00001-3.
- Naranjo-Ortiz, M. A., Gabaldón, T., 2019: Fungal evolution: major ecological adaptations and evolutionary transitions, *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 94 (4), 1443-1476, DOI:10.1111/brv.12510.
- Radović, J., Čivić, K., Topić, R., Posavec Vučkelić, V. (ur.), 2009: *Biodiversity of Croatia, 2nd rev. Ed. State Institute for Nature Protection*, Ministry of Culture, Zagreb.
- Rawat, S., Rautela, R. i Johri, B. N., 2017: Fungal World of Cave Ecosystem, *Developments in Fungal Biology and Applied Mycology*, 99-124, DOI: 10.1007/978-981-10-4768-8\_7.
- Tkalčec, Z., Mešić, A., Matočec, N., Kušan, I., 2008: *Crvena knjiga gljiva Hrvatske*, Ministarstvo kulture, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 1-428.
- Vanderwolf, K. J., Malloch, D., McAlpine, D. F., Forbes, G. J., 2013: A world review of fungi, yeasts, and slime molds in caves, *International Journal of Speleology* 42, 77-96, DOI: 10.5038/1827-806X.42.1.9.
- Webster, J., Weber, R., 2007: *Introduction to Fungi* (3rd ed.), Cambridge: Cambridge University Press, DOI: 10.1017/CBO9780511809026.
- Whittaker, R. H., 1959: On the Broad Classification of Organisms, *The Quarterly Review of Biology* 34 (3), 210-226, DOI: 10.1086/402733.
- Zhang, Z.-F., Zhao, P., Cai, L., 2018: Origin of Cave Fungi, *Frontiers in Microbiology* 9, DOI: 10.3389/fmicb.2018.01407.

## Fungi in the underground

In some form, mushrooms can be found in very different habitats – in the depths of the ocean, in fresh water, in rocks, on human skin, other animals, plants, in drinks, in clouds, and in every breath we take there are 1 – 10 fungal spores, so we could say that it is impossible to find a place without them. According to the worldwide overview of cave fungi research, Croatia can be classified as one of the better researched parts of the world. Most fungal taxa recorded from caves are cosmopolitan, opportunistic saprotrophs associated with soil, plant material or insects. Underground fungi mainly function as parasites or decomposers of dead organic matter, although one often does not exclude the other. According to new research, it seems that the geographical history of caves is too short for the processes of fungal speciation, and, according to their results, the researched species evolved long before the speleological objects in which they were recorded were formed. Despite this, some species have never been recorded outside caves, and it seems that due to adaptations to various conditions in the environment, they have now remained tied to underground habitats and can no longer repopulate the areas they once inhabited. Some such fungal species could be considered threatened, as their survival depends on several sensitive habitats or host species. It is still necessary to carry out many studies of diversity, biology, ecology and evolution in order to get closer to the knowledge of the richness, complexity and entanglement of the mushroom kingdom, but one thing is unquestionable – fungi have an important and irreplaceable role in the functioning of all ecosystems.