

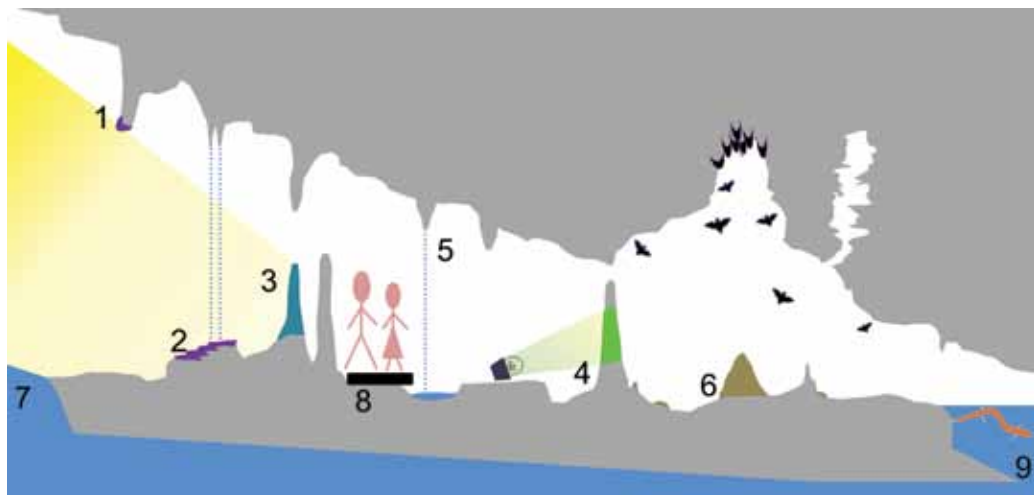
Vloga in pomen mikroorganizmov v Škocjanskih jamah

Janez Mulec

Znanje o mikroorganizmih in njihovi bolj ali manj očitni vlogi v različnih ekosistemih se postopoma širi v vse pore našega življenja. To je še posebej izrazito v zadnjem času, ko zaradi izjemnega napredka tehnologije vsak dan izvemo nekaj novega o odkrivanju skrajnih meja življenja, ki ga poznamo danes, zlasti z vidika prilagoditev mikroorganizmov na ekstremna okolja, odkrivanja novih vrst, metabolnih poti in biološko aktivnih snovi. Eno izmed posebnih okolij, ki v zadnjih letih vedno bolj zanima astrobiologe, pa tudi »klasične« mikrobne ekološke, je podzemlje z jamami, saj so jame v marsičem dober približek ekstremnih življenjskih razmer. Jamska mikrobiologija je tako postala novo interdisciplinarno področje mikrobiologije, geologije in kemije, ki celostno raziskuje mikroskopske oblike življenja v jamah in njihovo vlogo v biogeokemijskih ciklih z vidika sistemske biologije. Kakor drugje po svetu tudi v Sloveniji jamska mikrobiologija kot taka še nima dolge raziskovalne tradicije, saj je bila mi-

krobiologija zgodovinsko usmerjena predvsem v polje medicine, pridobivanja hrane in čiščenja okolja. O mikroorganizmih, njihovih življenjskih prostorih in vlogi, ki jo imajo v podzemeljskem ekosistemu, kot so Škocjanske jame, še ne vemo prav veliko. Na podlagi celostnega vpogleda v značilnosti okolja in njihov sistem pa lahko takoj ugotovimo, da je okolje, ki predstavlja robne razmere za mikroorganizme, heterogeno in zelo dinamično (slika 1).

Slika 1: Vstopne točke in nekateri mikrobni življenjski prostori v Škocjanskih jamah: 1 – biogeni stalaktit, usmerjen proti pribhajajoči svetlobi, 2 – stromatolitni stalagmit v vboodnem delu Schmidlove dvorane, 3 – osvetljena površina kapnika, na katerem rastejo cianobakterije, 4 – lampenflora, ki se razvija na sigovih površinah okoli svetil v turističnem delu jame, 5 – kapljajoča voda vnaša delce in organski ogljik v podzemlje, 6 – gvano pod kolonijo netopirjev, 7 – ponor reke v podzemlje, 8 – turistična infrastruktura in pohodne poti, 9 – podzemeljski tok reke in stigobiontske živali.



Med mikroorganizme prištevamo bakterije, cianobakterije, arheje, glive, alge in praživali. Ko se združba mikroorganizmov oziroma njen najbolj zastopani del izjemno razraste po površinah ali v vodnih telesih, jih, še zlasti, če sintetizirajo pigmente, hitro opazimo že s prostim očesom. Na naravno osvetljenih kamnitih stenah pred vhodom v jame in v ustjih jam lahko opazimo površine z različno obarvanostjo, od rumenkaste, zelenkaste, rjave pa tudi črne. Na previsnih stenah v Veliki dolini v Parku Škocjanske jame se v bolj ali manj vzporednih navpičnih pasovih, dolgih tudi več deset metrov,

raztezajo tako imenovane črnilaste proge (nemško *Tintenstriche*). Za takšen videz strukture, ki se ob povišani vlagi v zraku in mezeči vodi še razločneje vidi, so v največji meri odgovorne cianobakterije (slika 2). Mikrobne biofilme pa včasih jasno vidimo tudi v notranjosti jam na različnih površinah kamnin, kapnikov in sedimentov tudi tam, kjer ni svetlobe. Rastejo na mestih, kjer je vstopna točka organskih snovi v podzemlje, na primer blizu navpičnih razpok in podzemnih vodotokov. Ob osvetlitvi takšnih organskih prevlek, ki so pogosto prekrite še s kapljicami kondenzirane vode, s svetilko se



Slika 2: Previsne stene v Veliki dolini nad vhodom v Schmidlovo dvorano v Škocjanskih jamah, ki jih izdatno osvetljuje Sonce, prekriva črnkasti biofilm fototrofnih mikroorganizmov, pretežno cianobakterij, v nemščini imenovan Tintenstriche. Foto: Janez Mulec, 2004.

te zasvetlikajo v srebrni in zlati barvi. Med jamarji so te prevleke poznane kot »jamsko srebro« in »jamsko zlato«. Čeprav ti biofilmi še niso bili raziskani v Škocjanskih jamah, pa iz drugih slovenskih jam, na primer Paj-sarjeve jame, vemo, da so zelo raznovrstni s številnimi predstavniki bakterij, ki jih v laboratoriju (še) ne znamo vzgojiti (Pašič in sod., 2010).

Danes vemo, da so mikroorganizmi v jamah udeleženi pri litolitičnih (razpadanje kamnin) in litogenih (odlaganje mineralov) procesih. Mikrobi s svojim biokemijskim delovanjem neprestano sodelujejo pri prepe-revanju kamnin in s tem povečevanju pod-zemeljskih kraških kanalov. Nasprotno pa je rezultate litogenega procesa, to je odlaganja kalcita, zlasti lepo videti v Schmidlovi dvo-rani Škocjanskih jam v obliki ukrivljenih stalaktitov, ki so usmerjeni proti prihaja-joči svetlobi, ter stromatolitnih stalagmitov (Mulec in sod., 2007), ki jih prav tako osvetljuje dnevna svetloba (slika 1).

V krasu je voda (ponorne reke, prenikla voda) najpomembnejši prenašalec številnih snovi (slika 1). Reka Reka, ki ponika v Ško-cjanske jame, je bila v bližnji preteklosti že močno organsko obremenjena. Danes je nje-no fizikalno-kemijsko stanje boljše, vendar pa navzočnost indikatorskih mikroorganiz-mov še vedno kaže na (vsaj občasno) obse-žno fekalno onesnaženje.

Pomembni povzročitelji vnašanja in prena-šanja mikroorganizmov v jamah so živali in ljudje (slika 1). Škocjanske jame gostijo po-pulacijo netopirjev, ki redno vnašajo v pod-zemlje delce iz zunanosti, s svojimi izločki pa izdatno pripomorejo k vnosu vira organ-skih molekul ter mikroorganizmov.

Ker pa je del Škocjanskih jam opremljen tudi za turistični obisk, so obiskovalci po-memben dejavnik vnosa in razširjanja mi-kroorganizmov tako po zraku (dihanje, ka-šljanje, kihanje) kot po pohodnih površinah. S turisti v jamah je povezana tudi izgradnja turistične infrastrukture, na primer poti, ograje in podobno. Za jamsko okolje pome-

ni umetna osvetlitev največjo spremembo. Površine, ki so v jami umetno osvetljene, postanejo polagoma zelenkasto obarvane zaradi razraščanja evkariontskih alg in ci-anobakterij, pa tudi mahov in praproti. To združbo okoli svetil imenujemo lampenflo-ra. Lampenflora, ki je običajno močno pri-trjena na podlago, je vzrok za njeno postopno propadanje (sliki 1 in 10).

Biogeni kapniki

Nastanek številnih karbonatnih tvorb je tesno povezan z živimi organizmi. Na eni strani lahko služijo kot kristalizacijsko je-dro, s svojo biokemijsko zgradbo pa lahko tudi vplivajo na značilnosti okolja, prihaja namreč do izločanja mineralov, na primer kalcita ob povišanju okoljskega pH. Kapniki so prav gotovo najbolj značilne podzemne kraške oblike. V vodoravnih jamskih vho-dih ponekod opazimo ukrivljene stalaktite, ki rastejo v smeri prihajajoče svetlobe. Na konici takšnih mehkih, še ne litificiranih kapnikov (slika 1), kot jih najdemo tudi v Schmidlovi dvorani, v fototrofni združbi prevladujejo cianobakterije (86 odstotkov).

Iz vhoda kraških jam poznamo tudi poseb-ne, do štiri metre velike kapniške strukture, imenovane stromatolitni stalagmiti. Prvič so bili opisani v jamah Novega Južnega Wa-lesa iz Avstralije. Njihova notranja struk-tura je zapletena, opazne so plasti eolskih sedimentov, kalcita in detritusa. Površina je prekrita z mikrobno biomaso, pretežno cianobakterijsko. Morfologija in rast teh bi-ogenih kapnikov sta odvisni od intenzitete vpadne svetlobe, izdatnosti kapljajoče vode ter hitrosti rasti cianobakterij. Do izločanja kalcita v takšni obliki pride na različne na-čine. Prenikla voda ima višji parcialni tlak ogljikovega dioksida kot jamsko ozračje. Zaradi porušenega ravnotežja parcialnih tlakov ogljikovega dioksida v vodi in jam-skem ozračju prihaja do abiotskega izločanja kalcita. Višja temperatura jamskega vhoda dodatno zmanjšuje topnost ogljikovega dio-ksida v vodi in s tem pospeši proces izlo-

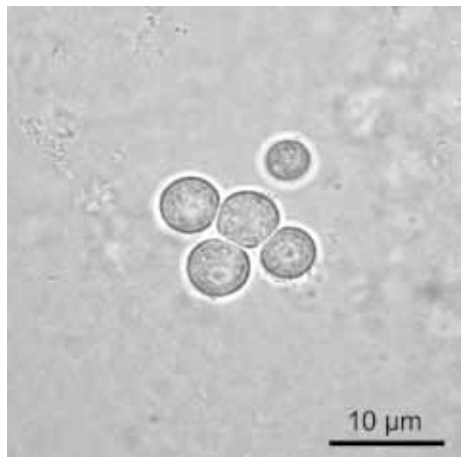


Slika 3: Stromatolitni stalagmit v Schmidlovi dvorani, spodaj desno izsek. Foto: Janez Mulec, 2011.

čanja kalcita. Cianobakterije s svojo metabolno aktivnostjo na površini stromatolita še dodatno znižajo parcialni tlak ogljikovega dioksida, kar vodi do intenzivnejšega izločanja kalcita. Podobne stromatolitne stalagmite, kot jih poznajo v Avstraliji, poznamo tudi v Schmidlovi dvorani v Škocjanskih jamah (slika 3). V mehkem, osvetljenem delu stromatolitnega stalagmita je večina fototrofov cianobakterij (74 odstotkov), le manjši del predstavljajo evkariontske alge (zelene alge – 17 odstotkov, in diatomeje – 9 odstotkov) (Mulec in sod., 2007).

V zapleteni združbi fototrofnih in hetero-

trofnih organizmov na površini stromatolitnega stalagmita v Škocjanskih jamah je bil prvič opisan nov rod prostoživečih ameb – *Allovahlkampfia spelaea* gen. nov., sp. nov. (slika 4). V nekaterih primerih je ta organi-



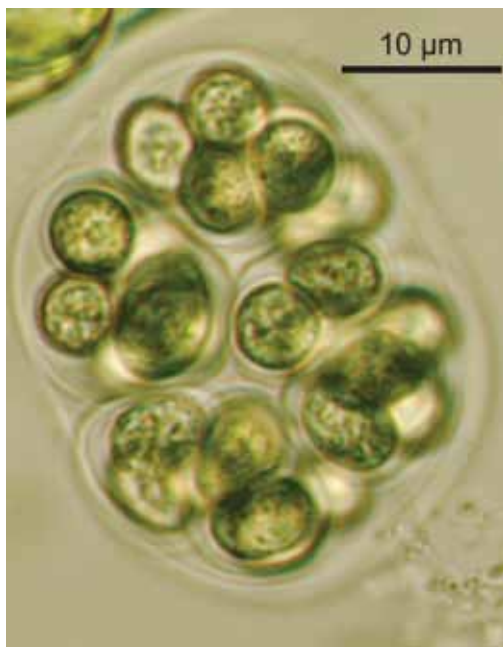
Slika 4: Ciste prostoživeče amebe *Allovahlkampfia spelaea*, ki je bila prvič opisana iz mikrobne združbe, ki naseljuje površino stromatolitnega stalagmita. Foto: Julia Walocznik, 2008.

zem lahko tudi patogen za človeka (Tolba in sod., 2016). Mikroskopske amebe prav gotovo imajo pomembno ekološko vlogo v dinamiki tega »mini« ekosistema. Sicer pa so prostoživeče amebe znane tudi iz drugih neosvetljenih življenjskih prostorov v kraških jamah v Sloveniji, kjer prihaja do odlaganja kalcita (Walochnik in Mulec, 2009). Ne smemo pozabiti omeniti ostalih (ne)posredno z naravno svetlobo osvetljenih in z mikroskopskimi fototrofi obraslih površin v vhodnih delih jam, ki tudi predstavljajo vir biomase za jamski ekosistem. Cianobakterije so najbolj raznovrstna in najpogosteje zastopana skupina fotoavtotrofnih organizmov, ki jih za razliko od zelenih alg najdemo najgloblje v notranjosti jam. Na stenah Schmidlove dvorane v Škocjanskih jamah je bilo ugotovljenih osemdeset različnih taksonov alg in cianobakterij (slika 5).

Mikroorganizmi in vodni krog

Slika 5: Med mikroskopskimi fototrofi v aerofitski združbi na površini sten v Schmidlovi dvorani so pogoste kokalne cianobakterije, na primer Gloeocapsa.

Foto: Janez Mulec.



Vodni krog v krasu ni pomemben samo za napajanje in vzdrževanje vodonosnika, ampak tudi za kroženje drugih snovi in pretok energije. Preko vodnega kroga vstopajo skozi epikras (preperela vrhnja cona krasa s povečano poroznostjo) v podzemlje različne raztopljene snovi, razni delci in mikrobiota. V ponor v Škocjanskih jamah ponika reka Reka, ki pomeni vstopno točko tudi za mikroorganizme, ki potujejo skupaj z vodnim tokom do izvirov reke Timave. Ponikalnica je dinamično okolje, ki je odvisno od trenutnih zunanjih razmer, na primer nizkega vodostaja in organskega onesnaženja. Kapljajoča in mezeča voda, ki navpično potuje skozi jamski strop, se različno dolgo zadrži v tem okolju. Na tej poti snovi v vodi vstopajo v različne medsebojne interakcije kakor tudi v interakcije s kamnino in tamkajšnjimi sedimenti.

Pomemben medij prenosa mikroorganizmov v jamski ekosistem je torej prenikla voda. V stalno aktivnih curkih prenikle vode v Dvorani ponvic v Škocjanskih jamah je bila koncentracija bakterij ob enkratnem merjenju sicer nekoliko nizka - od 0,5 do 2,2 CFU (kolonijskega števila) na mililiter - v primerjavi z drugimi jamami po svetu, vendar če predpostavimo, da gre za stalno kapljanje s pretokom približno 7 mililitrov v minuti, pride po tej poti v jamo samo v enem curku kar 10^6 CFU na leto (Gerič in sod., 2004) (slika 6). Iz takšnih oligotrofnih okolij je delež bakterij, ki jih lahko vzgajimo v laboratoriju, zelo nizek, približno en odstotek, tako da je dejansko celokupna mikrobna biomasa, ki doseže jamo, precej višja. Upoštevati je treba, da je v celotnem jamskem sistemu veliko curkov, številni se aktivirajo le ob padavinah, tako da po tej poti doseže jamo nezanemarljiva količina organskega materiala. Moramo pa omeniti tudi, da pri razširjanju življenjskega prostora mikroorganizmov ima lokomocija pomembno vlogo.



Slika 6: Zrasle kolonije mikroorganizmov iz curka prenikle vode v Dvorani ponvic v Škocjanskih jamah na filtru s porami 0,22 mikrometra po filtraciji in dvotedenski inkubaciji na hranilnem agarju pri 20 stopinjah Celzija.

Foto: Janez Mulec, 2016.

Mikrobi in migrirajoče živali

Škocjanske jame gostijo pomembne populacije netopirjev, zlasti dolgokrilih netopirjev (*Miniopterus schreibersii*). V predelu jame, kjer se nahaja kolonija, ne pride le do spremenjene mikroklimе, ampak tudi povišane koncentracije mikroorganizmov v zraku. Površine pod jamskim stropom, kjer je bila kolonija, so običajno temnejše obarvane, kar kaže na navzočnost netopirjev. Pod kolonijo netopirjev je običajno kup gvana, katerega količina se sčasoma povečuje, če je kolonija vedno na istem mestu (slika 7). V takšnem primeru gvano za tako jamo in njeno bioto predstavlja izdatno količino organskih snovi

in mikroorganizmov. Kljub relativni številčnosti netopirjev v Škocjanskih jamah celokupna količina gvana v tem delu jame ni velika, saj se večina netopirjev v poletnem času zadržuje pod stropom nad glavnim kanalom reke Reke, zato se veliko gvana redno odplavi.

Gvano je poseben talni življenjski prostor in pomemben vir hranil za jamske nevretenčarje. S starostjo postaja kisel. Ker to okolje zagotavlja ugodne razmere za dobro ohranjeni organski material (na primer pelodi, ostanki žuželk), ga je mogoče uporabljati tudi pri rekonstrukciji preteklega stanja v okolju. Gvano ob turistični poti v Tihi jami,



Slika 7: Kup gvana v Tibi jami, nad katerim vse od namestitve osvetlitve v tem delu jame v sezoni 1975/1976 ne domuje več kolonija netopirjev. Foto: Borut Peric, 2009.

kjer ni več kolonije netopirjev že od konca sedemdesetih let dvajsetega stoletja (slika 7), ima izrazito kisli pH (3,9) in izdatno vsebnost težkih kovin (Krištufek in sod., 2010). Zanimivo, da koncentracije kadmija, bakra in cinka v tem gvanu presegajo mejne vrednosti, ki so v Evropski uniji dovoljene za kmetijske površine (*Direktiva Sveta evropskih skupnosti 86/278/EEC*). V primerjavi s sveže odloženim gvanom je koncentracija bakterij in gliv, ki jih lahko gojimo v laboratoriju, iz tega gvana precej nižja.

Gvanu pa ne dajejo dinamike le bakterije in glive, ampak tudi drugi gvanofilni organizmi. Sem sodijo tudi prostoživeče amebe, ki v marsikaterem naravnem okolju imajo pomembno vlogo pri razširjanju bakterij in uravnavanju njihove populacije. Pestrost prostoživečih ameb v gvanu je odvisna tudi od koncentracije bakterij in gliv. V gvanu iz

Škocjanskih jam so bile ugotovljene amebe rodov *Copromyxa*, ki so pogoste v iztrebkih, *Tetramitus*, ki so znane po svoji toleranci za kislo okolje, ter *Thecamoeba*, na katero pogosto naletimo v različnih habitatih (Mulec in sod., 2016).

Netopirski gvanu je na drugi strani lahko tudi vir patogenih mikroorganizmov. Tako je bilo v gvanu iz Škocjanskih jam dokazano zaporedje nukleotidov DNA glivnega patogena (*Pseudogymnoascus destructans*, prej poimenovan *Geomyces destructans*), ki v Severni Ameriki povzroča visoko smrtnost in krčenje populacij netopirjev (Mulec in sod., 2013). Ker so netopirji izjemno pomemben del narave, saj med drugim sodelujejo pri oprasevanju rastlin, širjenju rastlinskih semen in uravnavanju številčnosti insektov, je njihovo zdravje ključnega pomena za ohranjanje stabilnega ravnotežja v naravi.

Razumevanje njihove ekologije kakor tudi ekologije njihovih patogenov je pomembno z vidika ohranjanja njihove stabilne in zdrave populacije. Neustreznih interakcij z ljudmi in umetno infrastrukturo v jamah, na primer fizično motenje hibernacije ter osvetljevanje kolonij, ki bi lahko ogrozile njihovo populacijo, se je treba čim bolj izogibati.

Mikrobni odtis turistične rabe, kakovost zraka in organska obremenjenost površin

Zrak je pomemben življenjski prostor za mikroorganizme, pa tudi vektor njihovega prenosa. Preučevanje mikrobov v zraku (aerobiologija), vpliv atmosferskih parametrov na njihovo porazdelitev, sezonsko nihanje in koncentracijo, lahko preučujemo tudi v kraških jamah (slika 8). V turističnih jamah

je navzočnost turistov dodatni dejavnik, ki znatno vpliva na kakovost jamskega zraka.

Vzdolž turistične poti se koncentracije mikroorganizmov, značilnih za človeka, ob navzočnosti turistov znatno povečajo. Tako se je na primer ob prehodu 310 turistov v Tihi jami (Šotor) povišala koncentracija bakterij v zraku od osnovne koncentracije pred njihovim prihodom kar za štiridesetkrat. Povišana koncentracija mikroorganizmov v zraku, ki jih vnesejo turisti, se ohranja v zraku še nekaj ur po njihovem odhodu (Mulec, 2014).

Turisti vnesejo v jamo precejšnjo količino snovi tudi z obuvali (Mulec, 2014). Ob turistični poti se nekateri turisti kljub prepovedi dotikajo kapnikov (slika 9).

Podzemlje z odsotnostjo svetlobe in pone-

Slika 8: Vzorčevanje zraka v Tihi jami (Šotor) za mikrobiološke analize ob hkratnem merjenju atmosferskih parametrov – temperature, relativne vlage in koncentracije ogljikovega dioksida. Foto: Janez Mulec, 2014.





Slika 9: Odvzem brisa za mikrobiološke analize s površine kapnika (rjavo obarvanje), ki se ga ob turistični poti dotikajo obiskovalci v Tíbi jami. Foto: Samo Šturm, 2011.

kod z omejenimi hranili predstavlja stresno okolje za organizme. Vendar pa lahko jamsko okolje, ki ga spremeni človek, omogoča rast organizmom, ki v temi sicer ne bi uspevali. Danes si jamskega turizma namreč ne moremo predstavljati brez umetne osvetlitve. V jamah so umetno osvetljene številne naravne površine, kapniki, sedimenti in razne kulturne ostaline. Te površine postanejo sčasoma zelenkasto obarvane zaradi kolonizacije alg in cianobakterij. V sukcesiji vrst pa v nadaljevanju nastopajo tudi mahovi in praproti. Ta združba, lampenflora, je rezultat svetlobne eutrofikacije podzemlja in vzrok biološkega propadanja osvetljenih površin, na katerih raste (Mulec in Kosi, 2009). Tovrstna problematika je še zlasti pereča v jamah s prazgodovinskimi poslikavami, na primer v jami Lascaux v Franciji. Lampenfloro je mogoče opaziti tudi v Škocjanskih jamah vzdolž turistične poti na nekaterih mestih (slika 10), na nekaj mestih je tudi že prekrita s sigo. Zlasti ta inkrustrirana lampenflora je zapuščina neustreznega obravnavanja te problematike še pred ustanovitvijo Regijskega parka pred

dvajsetimi leti. V Škocjanskih jamah, kljub sektorskemu osvetljevanju, luči razmeroma dolgo svetijo, saj imajo turistični obisk vse leto. V raziskavi, opravljeni leta 2003, je bilo v Škocjanskih jamah ugotovljenih 21 taksonov mikroskopskih fototrofov, od tega 57 odstotkov cianobakterijskih taksonov, 29 odstotkov taksonov iz debla Chrysophyta ter 14 odstotkov iz debla Chlorophyta. Najpogostejša vrsta je bila zelena alga *Trentepohlia aurea* (Mulec in sod., 2008). V združbi lampenflora je bil pogost mah *Eucladium verticillatum*.

Za upravitelje jam je omejevanje rasti lampenflora eden pomembnejših izzivov. Tudi v tem pogledu je upravitelj Škocjanskih jam, Park Škocjanske jame, v letih od 2013 do 2014 namesto dotrajanih halogenskih reflektorjev uvedel sektorsko osvetljevanje jame s svetili LED. Prednost tovrstnega osvetljevanja je možnost namestitve svetil z ozko določenim emisijskim spektrom, ki v manjši meri omogoča rast fototrofov. Lampenfloro je treba sproti odstranjevati, s tem preprečujemo, da bi se širila tudi po drugih, še ne koloniziranih delih jame. (Mulec, 2014).



Slika 10: Lampenflora daje poraščeni površini zelenkasto patino. Tiba jama. Foto: Janez Mulec, 2003.

Zaključki

Mikroorganizmi imajo v podzemlju številne vloge, od aktivnega speleogenetskega dejavnika pa do vzdrževanja višjih trofičnih ravni. Mikrobni svet v Škocjanskih jamah je dinamičen in močno dovzeten za zunanje vplive. Mikroorganizmi za razširjanje svojega habitata uporabljajo gibanje voda in zračnih mas, pa tudi migrirajoče organizme.

S spremljanjem mikrobniških indikatorskih skupin lahko enostavno in hitro opazujemo zdravje podzemeljskega ekosistema, še posebej človekove dejavnosti, kar se kaže s povečanim vnosom hranil, mikrobov ter ostalih onesnaževal v podzemlje. Množični turizem z vnosom jami tujerodnih snovi nedvomno pušča posledice v podzemlju. Zato je pomembno, da izsledke okoljske mikrobiologije dejavno vključimo v trajnostno upravljanje jam in krasa (Zakotnik, 2011; Robič,

2012). Velja tudi omeniti, da Škocjanske jame predstavljajo še neraziskano območje za odkrivanje novih vrst mikroorganizmov, tudi takšnih, ki sintetizirajo snovi, uporabne v medicini in farmaciji. Popolnoma so prezrte arheje in virusi v jamah kot pomembni generatorji mikrobne raznolikosti in povzročitelji bolezenskih stanj pri človeku.

Glede na pomen, ki ga jame kot naravni spomeniki imajo za ohranjanje kulturne in naravne dediščine ter za razumevanje biotske pestrosti, vpliva na zdravje ljudi in živali ter pojavnosti multiplih antibiotičnih rezistenc pri mikrobih, je nedvomno pomembno in potrebno, da takšne raziskovalne projekte podpiramo z javnimi raziskovalnimi sredstvi. Za to je pri nas pristojna Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS).

Viri:

- Gerič, B., Pipan, T., Mulec, J., 2004: *Diversity of culturable bacteria and meiofauna in the epikarst of Škocjanske jame Caves (Slovenia)*. *Acta Carsologica*, 33 (1): 301–309.
- Krištúfek, V., Chroňáková, A., Mulec, J., 2010: *The heavy metal content in bat guano heaps in karst caves*. *Abstract book: 20th International Conference on Subterranean Biology, Postojna*, 101–102.
- Mulec, J., 2014: *Human impact on underground cultural and natural heritage sites, biological parameters of monitoring and remediation actions for insensitive surfaces: case of Slovenian show caves*. *Journal for Nature Conservation*, 22 (2): 132–141.
- Mulec, J., Covington, E., Walocnik, J., 2013: *Is bat guano a reservoir of Geomyces destructans?*. *Open Journal of Veterinary Medicine*, 3 (2): 161–167.
- Mulec, J., Dietersdorfer, E., Üstüntürk, M., Walocnik, J., 2016: *Acanthamoeba and other free-living amoebae in bat guano, an extreme habitat*. *Parasitology research*, 115 (4): 1375–1383.
- Mulec, J., Kosi, G., 2009: *Lampenflora algae and methods of growth control*. *Journal of Cave and Karst Studies*, 71 (2): 109–115.
- Mulec, J., Kosi, G., Vrhovšek, D., 2007: *Algae promote growth of stalagmites and stalactites in karst caves (Škocjanske jame, Slovenia)*. *Carbonates and Evaporites*, 22 (1): 6–9.
- Mulec, J., Kosi, G., Vrhovšek, D., 2008: *Characterization of cave aerophytic algal communities and effects of irradiance levels on production of pigments*. *Journal of Caves and Karst Studies*, 70 (1): 3–12.
- Pašić, L., Kovče, B., Sket, B., Herzog – Velikonja, B., 2010: *Diversity of microbial communities colonizing the walls of a Karstic cave in Slovenia*. *FEMS Microbiology Ecology*, 71 (1): 50–60.
- Robič, N., 2012: *Analiza bakterijske združbe in sedimentov štirih nepovezanih jamskih sistemov*. *Diplomsko delo*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. 94 str. www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_robic_nadja.pdf.
- Tolba, M. E. M., Husein, E. A. M., Farrag, H. M. M., Mohamed, H. E. D., Kobayashi, S., Suzuki, J., Ali, T. A. M., Sugano, S., 2016: *Allovalkampiia spelaea causing keratitis in humans*. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 10 (7): e0004841.
- Walocnik, J., Mulec, J., 2009: *Free-living amoebae in carbonate precipitating microhabitats of karst caves and new valkampioid amoeba, Allovalkampiia spelaea gen. nov., sp. nov.* *Acta Protozoologica*, 48 (1): 25–33.
- Zakotnik, T., 2011: *Sestava in aktivnost bakterijskih mikrobnih združb v sedimentih Postojnske jame, starih do 700.000 let*. *Diplomsko delo*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. 85 str. www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_zakotnik_tina.pdf.



Janez Mulec je mikrobiolog, ki se ukvarja z jamsko mikrobiologijo, delovanjem ekosistemov ter varovanjem narave. Kot član raziskovalne skupine na Inštitutu za raziskovanje krasi ZRC SAZU sodeluje pri bazičnih in aplikativnih raziskavah.