Živi svijet podmorskih špilja na Dugom otoku

Tatjana Bakran-Petricioli[1], Donat Petricioli[2]

[1]Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb
[2]D.I.I.V. d.o.o. – ekologija mora, voda i podzemlja, Sali IV 2, 23 281 Sali

Uvod

Na našoj obali Jadranskoga mora, zbog njezine pretežno vapnenačke geološke građe i izrazitih procesa okršavanja, postoji mnogo špilja i jama, kako na kopnu tako i pod morem. Morem preplavljeni speleološki objekti nastajali su na kopnu, u tzv. zračnim uvjetima. Transgresija nakon zadnjeg ledenog doba preplavila ih je i ispunila morem. Surić i sur. (2010) navode više od 235 poznatih morem preplavljenih špilja i jama, naglašavajući da ih sigurno ima tisuće koje nam još nisu poznate. Unatoč tome što se hrvatska obala smatra jednim od najviše istraživanih područja Sredozemlja s obzirom na geologiju i bioraznolikost morskih i anhihalinih špilja, malo je sustavnih i kvantitativnih istraživanja (Petricioli i Bakran-Petricioli 2019; kao i reference navedene u tom radu).

Bakran-Petricioli (2011) navodi sljedeće za ove specifične ekosustave: „Glavno je obilježje morskih špilja naglo smanjivanje količine svjetlosti, ovisno o morfologiji špilje, od ulaza prema unutrašnjosti. Tako u morskim špiljama, osim u ulaznome dijelu, ne mogu živjeti alge koje su primarni proizvođači organske tvari – hrane. Time se smanjuje i količina hrane za organizme te u unutrašnjosti špilja žive samo životinje. Okolišni uvjeti obično postaju sve stalniji što se dublje ulazi u unutrašnjost špilje, a hidrodinamizam se smanjuje".

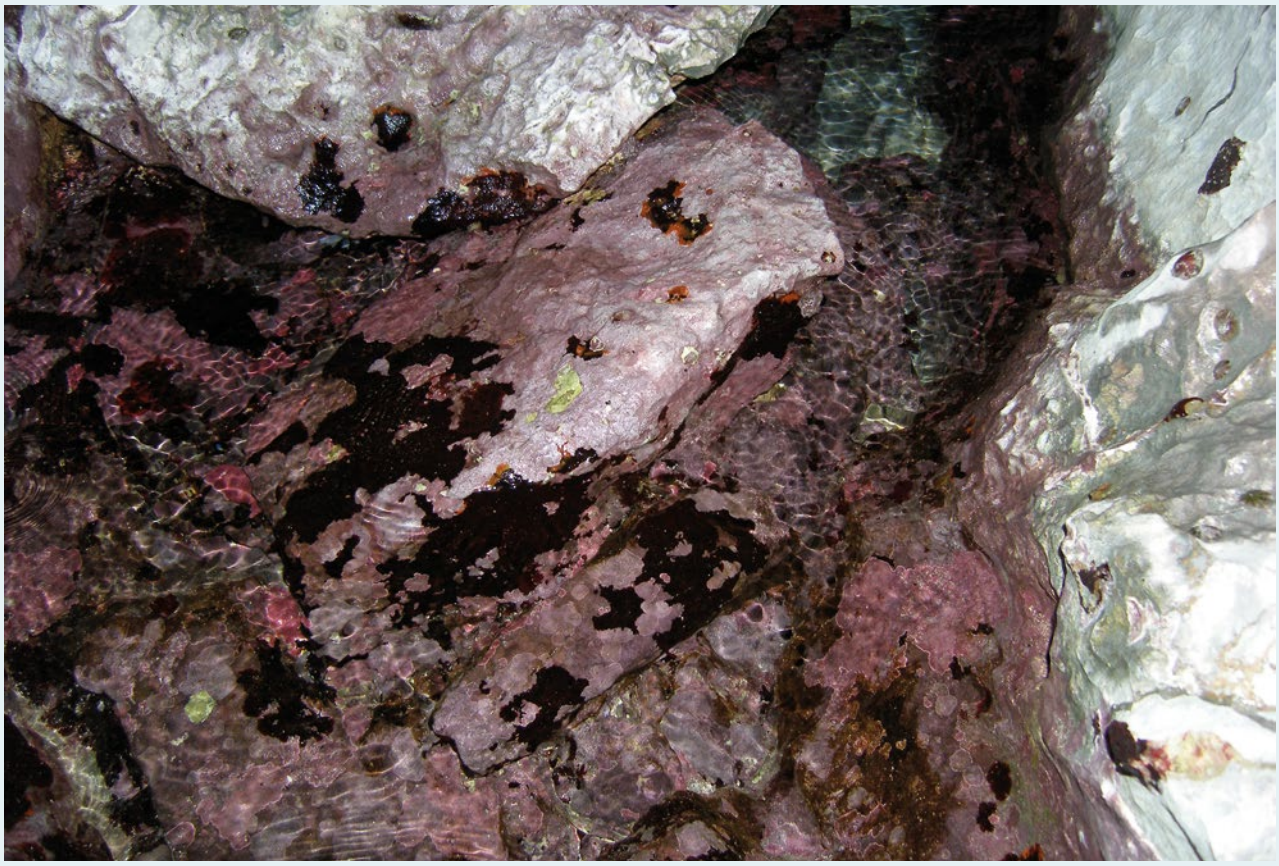
Morske su špilje tzv. točkasta staništa, pa iako relativno brojne, ne obuhvaćaju velika područja. Prema klasifikaciji NATURA 2000 morske špilje pripadaju u ugrožena morska staništa (NATURA stanište 8330: Preplavljene ili dijelom preplavljene morske špilje). Prema Europskoj crvenoj listi staništa, u procjeni za morska staništa (Gubbay i sur. 2016) za zajednice sredozemnih mediolitoralnih špilja utvrđeno je da nema dovoljno podataka (DD, *Data Deficient*), a zajednice sredozemnih cirkalitoralnih špilja klasificirane su kao najmanje zabrinjavajuće (LC, *Least Concern*) zbog njihove široke rasprostranjenosti i male dostupnosti ljudskim aktivnostima. Većina morskih špilja u Hrvatskoj nalazi se unutar Ekološke mreže.

Morske špilje može se istraživati isključivo autonomnim ronjenjem. Takvo je ronjenje zahtjevno i potencijalno opasno, pa stručnjaci koji se bave istraživanjem morskih špilja, osim što moraju biti iskusni morski biolozi, moraju biti i iskusni ronioci koji su spremni da se u moru bave još nekom aktivnošću osim ronjenjem (npr. bilježenjem podataka o organizmima i staništima, uzimanjem uzoraka, postavljanjem trajnih mjerača i/ili fotografiranjem, mjerenjem dimenzija špilja te topografskim snimanjem), a često i s više njih u tijeku istog zarona. Općenito možemo reći da se prikupljanjem podataka pod morem mogu baviti samo iskusni ronioci, odnosno samo oni koji su prošli propisanu obuku i obavili dovoljno stažnih ronjenja da se pod morem osjećaju ugodno. Ronjenja se moraju planirati i treba poštovati sve sigurnosne mjere, počevši od izdržljivosti ronioca, kakvoće opreme, grupe, ronilačkoga broda, mjesta ronjenja, meteoroloških prilika i morskih struja (Bakran-Petricioli 2007). Ronioci koji zadovoljavaju navedene uvjete mogu zabilježiti položaj, dubinu, oblik i veličinu ulaza morskih špilja, udaljenost ulaza od obale, te prema ulaznom otvoru procijeniti je li riječ o špilji ili jami. No, za ulazak u morske špilje i njihovo ozbiljno istraživanje iskusni ronioci moraju još dodatno biti educirani o karakteristikama špiljskog ronjenja (speleoronjenja) te o pravilima i procedurama koje pri takvim ronjenjima treba poštivati.

Zajednice organizama u morskim špiljama

Načelno, morem preplavljene ili dijelom preplavljene špilje i jame naseljavaju tri zajednice prema Nacionalnoj klasifikaciji staništa – NKS (NN 27/2021), odnosno po EUNIS klasifikaciji morskih staništa Europske Unije (2022): biocenoza mediolitoralnih špilja (NKS G.2.4.3., EUNIS MA155), biocenoza polutamnih špilja (NKS G.4.3.2., EUNIS MC152) te biocenoza špilja i prolaza u potpunoj tami (NKS G.5.3.2., EUNIS ME152). U morskim se špiljama uz kopno ili otoke u kojima je prisutan stalni ili povremeni utjecaj slatke vode ponekad u plićim dijelovima pojavljuje i zajednica anhijalinih krških špilja i jama (NKS H.1.4.1.).

U biocenozi mediolitoralnih špilja koja se razvija u špiljama pod utjecajem plime i oseke, gdje ima nešto svjetlosti i puno vlage u zraku, dominiraju cijanobakterije i neke crvene alge **(Slika 1)**. Biocenozu polutamnih špilja karakterizira smanjena količina svjetlosti, no još uvijek ima dovoljno hrane pa tu dominiraju sesilni filtratori: spužve, koralji i mahovnjaci, dok alga nema, osim u ulaznim dijelovima špilja. Ova je zajednica, kad je dobro razvijena, vrlo šarolika jer organizmi često prerastaju jedni druge, pokrivajući cijelu površinu stijene (**Slika 2**). Biocenoza špilja i prolaza u potpunoj tami razvija se u unutarnjim dijelovima morskih špilja, gdje više ne dopire svjetlost. Karakterizira je smanjena količina hrane za organizme, slabija izmjena vode te stabilnija



Slika 1. Tipična biocenoza mediolitoralnih špilja, uvala Južni Vavošćak, pučinska strana Dugog otoka. Foto: Tatjana Bakran-Petricioli



Slika 2. Tipična biocenoza polutamnih špilja, podmorski prolaz Buža uz uvalu Brbišćica, Dugi otok, dubina 6 m. Foto: Hrvoje Čižmek



Slika 3. Tipična biocenoza špilja i prolaza u potpunoj tami, unutrašnji dio špilje Y uz uvalu Brbišćica, Dugi otok, dubina 5 m. Foto: Donat Petricioli

temperatura i kao rezultat toga izrazito smanjena ukupna biomasa organizama. Tu su prisutne koraste spužve, sesilni mnogočetinaši, neki mahovnjaci i često ramenonošci, no ovdje, zbog smanjene količine hrane, ti organizmi nikad ne prekrivaju cijelu površinu stijene (**Slika 3)**.

Geomorfologija, dubina i utjecaj slatke vode koja se procjeđuje kroz krš čine okoliš koji uvjetuje raspodjelu živih organizama i zajednica unutar morskih špilja jedinstvenim (Bakran-Petricioli i sur. 2007; Radolović i sur. 2015). Vrlo često, tri gore navedene tipične zajednice u morskim špiljama dolaze u različitim kombinacijama pa u nekima mogu biti prisutne sve tri zajednice, pojedine špilje mogu biti naseljene samo biocenozom mediolitoralnih špilja, u nekima može biti prisutna samo biocenoza polutamnih špilja, neke mogu biti na površini anhijaline te ispod tog sloja potpuno tamne, a neke, u kojima ponekad žive dubokomorski organizmi, mogu biti potpuno tamne s batijalnim elementima (Petricioli i Bakran-Petricioli 2019).

Svakako treba naglasiti da se definicija špiljskog organizma razlikuje za morske i kopnene špilje. U kopnenim špiljama ispunjenim vodom žive stigobionti, isključivo špiljske vodene životinje koje cijeli životni ciklus provode u tom okolišu i izvan njega ne mogu preživjeti. Uz njih u kopnenim špiljama mogu biti organizmi koji su u njih slučajno dospjeli s površine te organizmi koji mogu naseljavati i površinske i podzemne vode. Organizmi u morskim špiljama načinom su života i blizinom drugih morskih zajednica puno više povezani s okolnim morem. Tako u polutamnim dijelovima morskih špilja žive organizmi koji također žive i u nešto dubljim, zasjenjenijim područjima mora, npr. u koraligenu (koji na strmcima naših pučinskih otoka može biti dobro razvijen već na desetak metara dubine). To su mnoge vrste sesilnih životinja: spužve, mahovnjaci, koralji, cjevaši, koji podizanjem mora u tim novostvorenim polutamnim staništima nalaze slične uvjete kao u dubljem moru. S obzirom na to njih ne bismo u tom slučaju zvali špiljskima jer ih nalazimo i drugdje u okolnom moru, no oni su u svakom slučaju karakteristični organizmi u zajednici polutamnih špilja. Za razliku od toga mnogi pokretni organizmi koje redovito bilježimo u morskim špiljama dnevno migriraju između špilje i okolnog mora značajno ekološki utječući na donos hrane u špilju. Tako su na primjer neke vrste račića iz porodice Mysidae tijekom dana uvijek unutar špilja dok noću po tami izlaze van njih hraniti se. Njihova prisutnost ukazuje na dobro ekološko stanje morske špilje u kojoj žive. S obzirom da te vrste tijekom dana

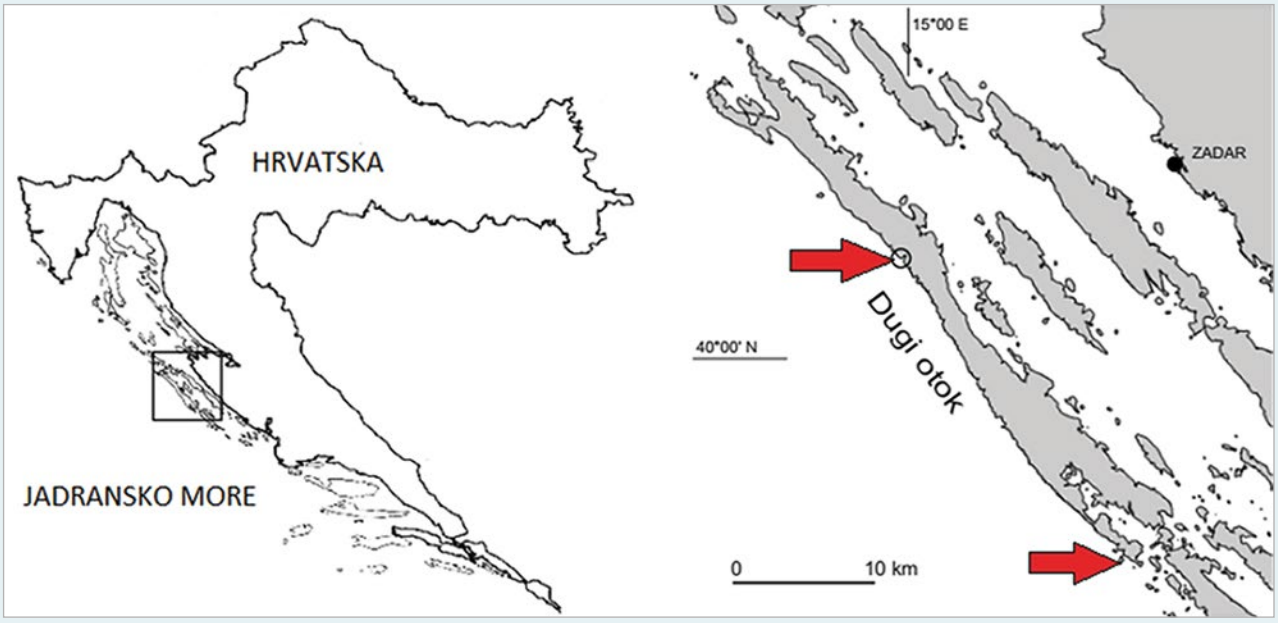
nećemo naći u okolnom moru, mogli bismo ih okarakterizirati kao špiljske. U potpuno tamnim dijelovima morskih špilja, koji ekološki najviše podsjećaju na kopnene špilje ispunjene vodom, žive pak organizmi koje svakako možemo nazvati špiljskima jer njih nećemo susresti u okolnom moru iste dubine. U Sredozemlju, u posebnim uvjetima, moguće je u tamnim dijelovima hladnomorskih jama u plitkom moru naići na organizme koji potječu iz dubokog mora, kao npr. mesojedna spužvica *Lycopodina hypogea* iz podmorske jame na otočiću Velom Garmenjaku.

Istraživani objekti: podmorske špilje Dugog otoka

Dugi otok, površine 114 km^2 i dužine 44,4 km, najveći je i najduži otok Zadarskog arhipelaga. Ima dinarski pravac pružanja (u pravcu SZ – JI), a najviša točka obale otoka, visine 146 metara (Grpašćak), nalazi se na strukturnom strmcu koji se proteže velikim dijelom otoka s pučinske strane te se naglo obrušava u more do dubine od 90 metara. Pored uvale Brbišćica (jedno od naših istraživanih područja, gdje smo pronašli najveći broj morskih špilja, **Slika 4**) nalazi se strmac dužine dva kilometra, visine do 15 metara, koji se spušta u more do dubine od 20 metara. Najstarije, a ujedno i najrasprostranjenije naslage koje sudjeluju u građi Dugog otoka stijene su kredne starosti. S obzirom na litološki sastav, otok je skoro u potpunosti izgrađen od karbonatnih stijena (Džaja 2003). Upravo geološki sastav ovog područja i uvjeti koji su vladali u prošlosti odgovorni su za nastanak brojnih speleoloških objekata od kojih je, prema Magaš i Surić (2005) zabilježeno njih 57, ali većina nije u potpunosti ili uopće istražena.

Na pučinskoj strani otoka, otprilike nasuprot mjesta Brbinj, nalazi se uvala Brbišćica s čije smo sjeverozapadne strane zabilježili više speleoloških objekata, koji su dijelom (**Slika 5**) ili u cijelosti preplavljeni morem. Neke od njih samo smo kratko posjetili, a neke: podmorski prolaz Buža (zbog turističke promidžbe poznat kao Zmajevo oko), dijelom morem preplavljenu špilju Golubinka i morsku špilju Y, detaljnije smo istražili. Golubinka, lokalno poznata kao Vranina, odnosno u ovom tekstu Golubinka 1 kod Brbišćice, turističkom je promocijom i pod utjecajem društvenih mreža postala poznata samo kao Golubinka, dok se Golubinka 2, odnosno Golubinka u uvali Južni Vavošćak (**Slika 5**) rjeđe spominje. Sigurno je da špilja preplavljenih morem na Dugom otoku ima puno više, no za njihovo rekognosciranje potrebni su kvalificirani ljudi i značajna sredstva.

Naša istraživanja morskih špilja na Dugom otoku, koja s većim ili manjim intenzitetom provodimo od 2000. godine, primarno su bila usmjerena na bioraznolikost, naročito vrsta koje pripadaju u koljeno Porifera,



Slika 4. Područja istraživanih morskih špilja na pučinskoj strani Dugog otoka; gornja, sjevernija strelica označava područje oko uvale Brbišćica, a južnija područje otočića Velog Garmenjaka.



Slika 5. Ulaz u dijelom morem preplavljenu špilju Golubinka 2 (Golubinka u uvali Južni Vavošćak; lijevi otvor), koja se nalazi sjeverozapadno od uvale Brbišćica s pučinske strane Dugog otoka. Foto: Donat Petricioli

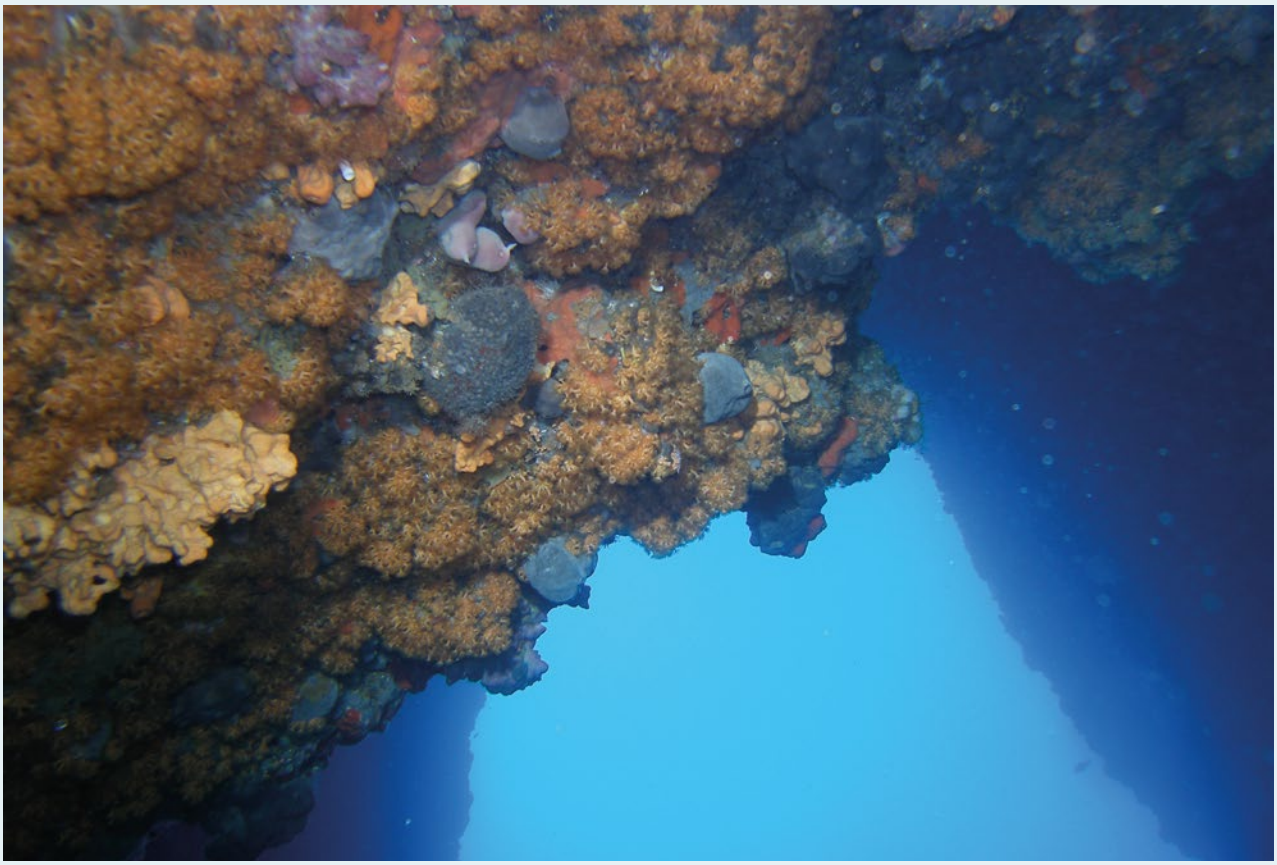


Slika 6. Kopneni ulaz u podmorski prolaz Buža kraj Brbišćice, Dugi otok. Snimljeno u doba oseke ljeti za bonace. Foto: Tatjana Bakran-Petricioli

jer su spužve vrlo zastupljene u morskim špiljama te prilagođene na ekološke uvjete koji u njima vladaju (morfologija, temperatura, svjetlost, hidrodinamizam). Uz fotografsko snimanje korišteno je i konzervativno uzimanje uzoraka organizama, jer mnoge vrste nije bilo moguće odrediti bez laboratorijskih tehnika. Temeljem izmjerenih i prikupljenih podataka te uzoraka organizama sakupljenih prilikom istraživanja, izrađeno je nekoliko diplomskih radova na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Dujmović 2002; Bogdanović 2004; Žvorc 2004; Radolović 2006), te je objavljeno nekoliko znanstvenih priloga i radova (Juračić i sur. 2002; Bakran-Petricioli i sur. 2007; Bakran-Petricioli i sur. 2012; Radolović i sur. 2015).

Podmorski prolaz Buža (turistički poznat kao Zmajevo oko)

Podmorski prolaz Buža pruža se uz samu obalu otoka, sjeverozapadno od uvale Brbišćica, a orijentiran je u pravcu istok – zapad. Njegova je ukupna dužina 45 metara, dubine 8 do 12 m i širine 6 do 10 m. Formiran je u turonskim tankoslojnim vapnenačkim naslagama. Na istočnoj strani otvor Buže orijentiran je prema JI i tu se prolaz produžuje u nenatkriveni usjek dužine tridesetak metara. Na sredini, na svodu prolaza, nalazi se otvor veličine 6 x 15 m kroz koji svjetlost ulazi u prolaz i tuda je najlakše zaroniti i izroniti u prolaz s obale (**Slika 6**). U samom se objektu nalazi nekoliko malih slijepih udubljenja te nekoliko otvora u stijeni. Dno je na zapadu prekriveno šljunkom i kamenčićima, dok se na istočnoj strani nalaze samo veće stijene i kamenje. Stjenovita i strma obala (nagib od oko 20° uz središnji otvor prolaza) pružaju se čitavim područjem oko prolaza, a more uz obalu u neposrednoj blizini doseže dubinu i veću od 30 metara. Cijelo je područje otvoreno na pučinu i izloženo vjetrovima i valovima sa zapada i s juga.



Slika 7. Unutrašnjost podmorskog prolaza Buža kraj Brbišćice, Dugi otok. Foto: Donat Petricioli

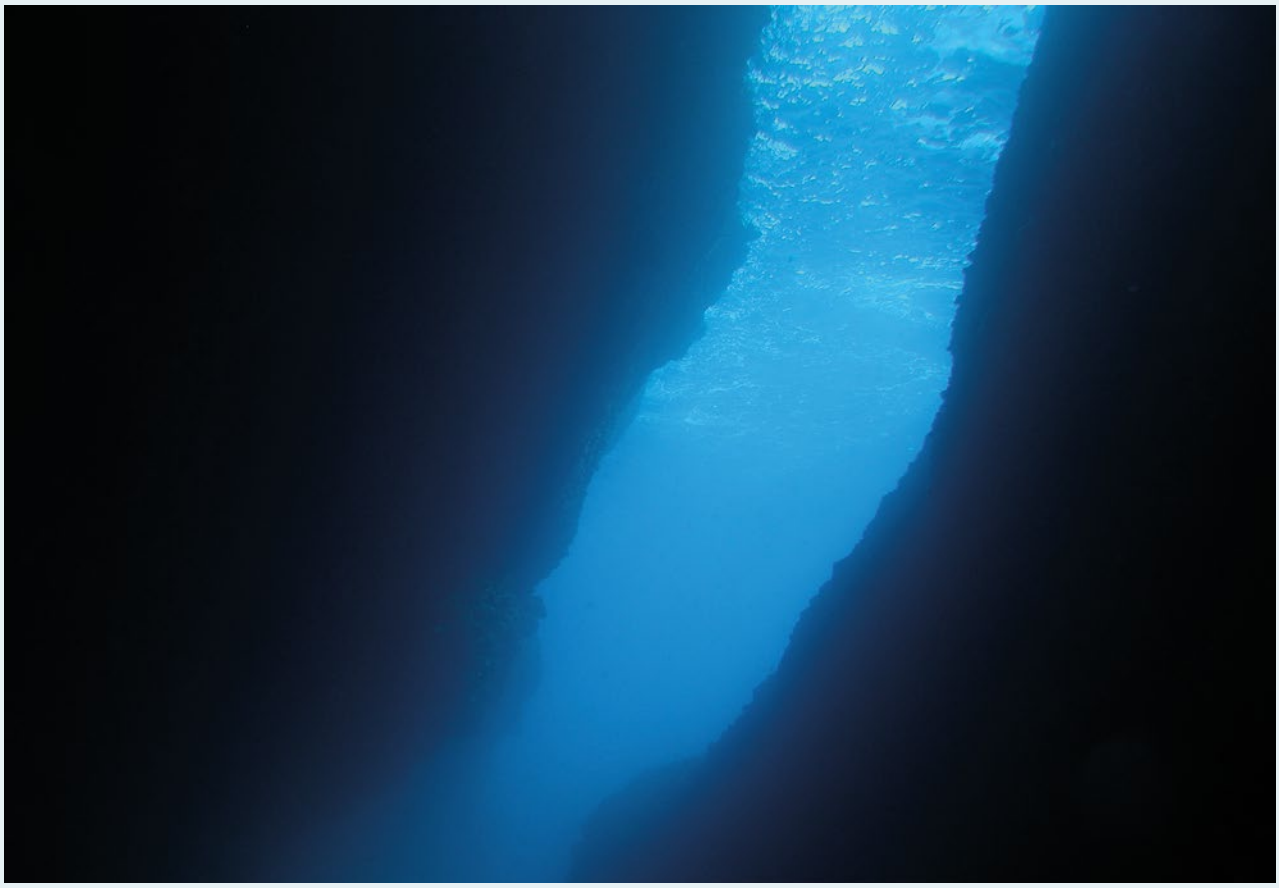
Živi svijet u podmorskom prolazu Buža iznimno je bogat i raznolik vrstama (ukupno su do sada zabilježene 244 vrste makroorganizama), a ukupna pokrovnost podloge u scijafilnim (polutamnim) se dijelovima prolaza ne spušta ispod 90 % (**Slika 7**). Ovako velik broj vrsta može se objasniti time da su u prolazu zbog njegove morfologije i prodora veće količine svjetlosti prisutne tri zajednice: biocenoza fotofilnih algi, koraligenska biocenoza i biocenoza polutamnih špilja. Dok prva pripada infralitoralu druge su dvije enklave cirkalitorala u infralitoralu. Isto tako, čitavom dužinom prolaza izražen je pojačani hidrodinamizam koji organizmima donosi veću količinu hrane, što omogućava razvoj velikog broja vrsta s velikom gustoćom populacija. Kvalitativno uzorkovanje pokazalo je da su spužve najbrojnije vrstama, s ukupno 46 pronađenih vrsta (2 Calcarea, 3 Homoscleromorpha, 41 Demospongiae, oko 19 % od ukupno zabilježenih vrsta). Najčešće zabilježene vrste spužva bile su: *Crambe crambe* (Schmidt, 1862), *Scalarispongia scalaris* (Schmidt, 1862), *Corticium candelabrum* (Schmidt, 1862) te spužve iz roda *Ircinia*. Od svih pronađenih vrsta posebno je značajna spužva *Thymosiopsis conglomerans* (Vacelet, Borchiellini, Pérez, Bultel-Poncé, Brouard & Guyot, 2000) pronađena na dubini od pet metara, a prvi je zabilježeni nalaz ove vrste u Jadranu (Dujmović 2002).

Špilja Golubinka

Špilja Golubinka (Vranina, odnosno Golubinka 1 kod Brbišćice, da ne bude zabune zbog još jedne špilje toga iznimno čestog imena u blizini) također je dijelom preplavljena morem, a nalazi se sjeverozapadno od uvale Brbišćica (**Slike 8** i **9**) i podmorskog prolaza Buža. Špilja se pruža gotovo okomito na pravac obale otoka u duljini od 84,5 m, visine je od morske razine 18,5 m, od najniže točke dna do kopnenog jamskog ulaza ukupno 28,5 m, a širine do 12 m. Samo je dijelom preplavljena morem pa je u unutrašnjim dvoranama iznad mora moguće vidjeti vrlo lijepe speleoteme (**Slika 10**). Najveća dubina ulaznog podmorskog dijela je 10 m (**Slika 11**), a u unutrašnjosti se smanjuje tako da je u zadnjoj prostoriji šljunčano žalo. U špilji se uz nekoliko kanala nalaze i dvije dvorane, a na svodu postoje dva velika otvora kroz koja prodire danje svjetlo tako da je u cijelom



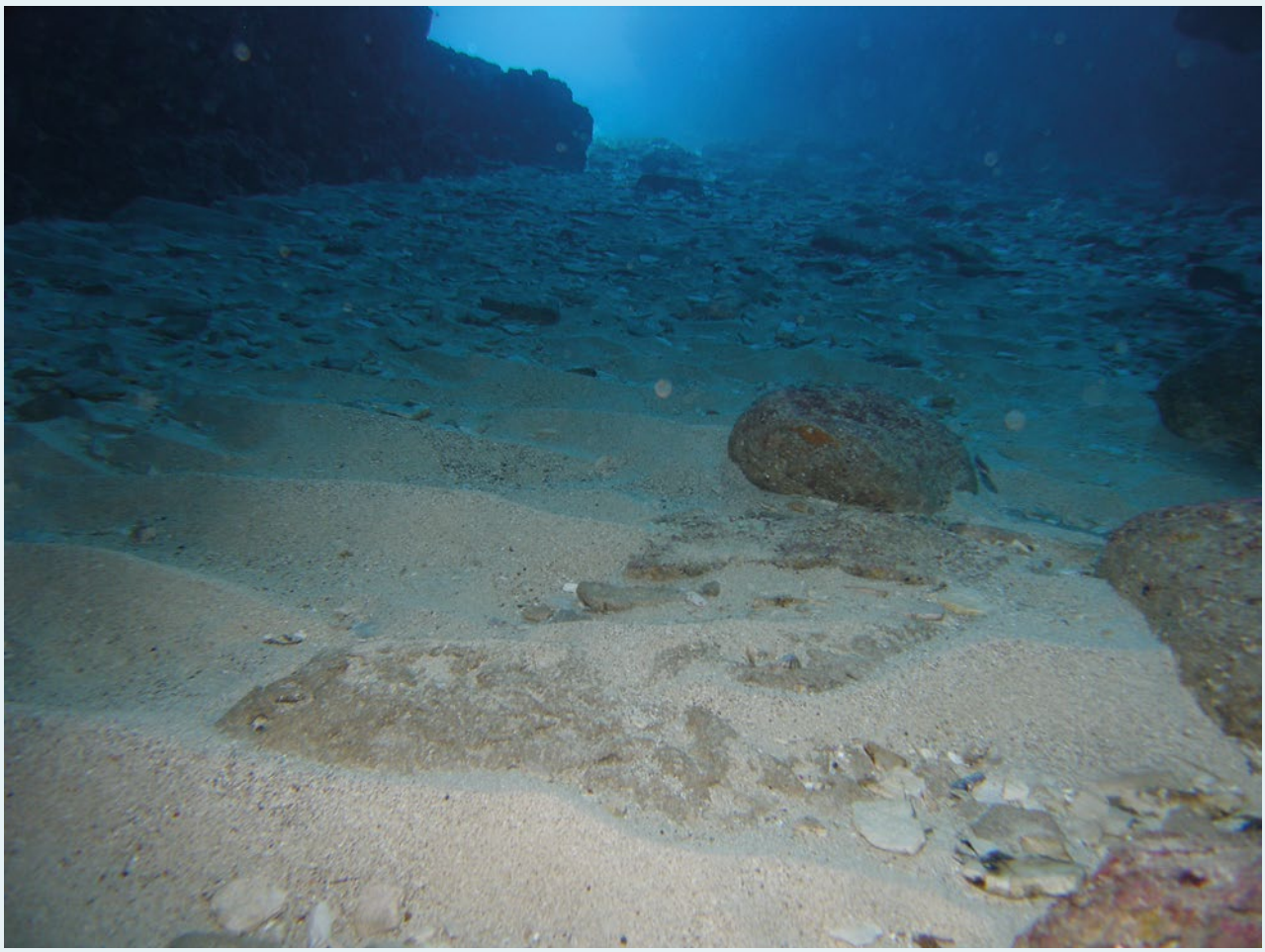
Slika 8. Ulaz u dijelom morem preplavljenu špilju Golubinka (Vranina, Golubinka 1), koja se nalazi uz uvalu Brbišćica s pučinske strane Dugog otoka. Foto: Donat Petricioli



Slika 9. Ulazni, morem preplavljeni dio špilje Golubinka (Vranina, Golubinka 1), pogled iz špilje prema van. Foto: Donat Petricioli



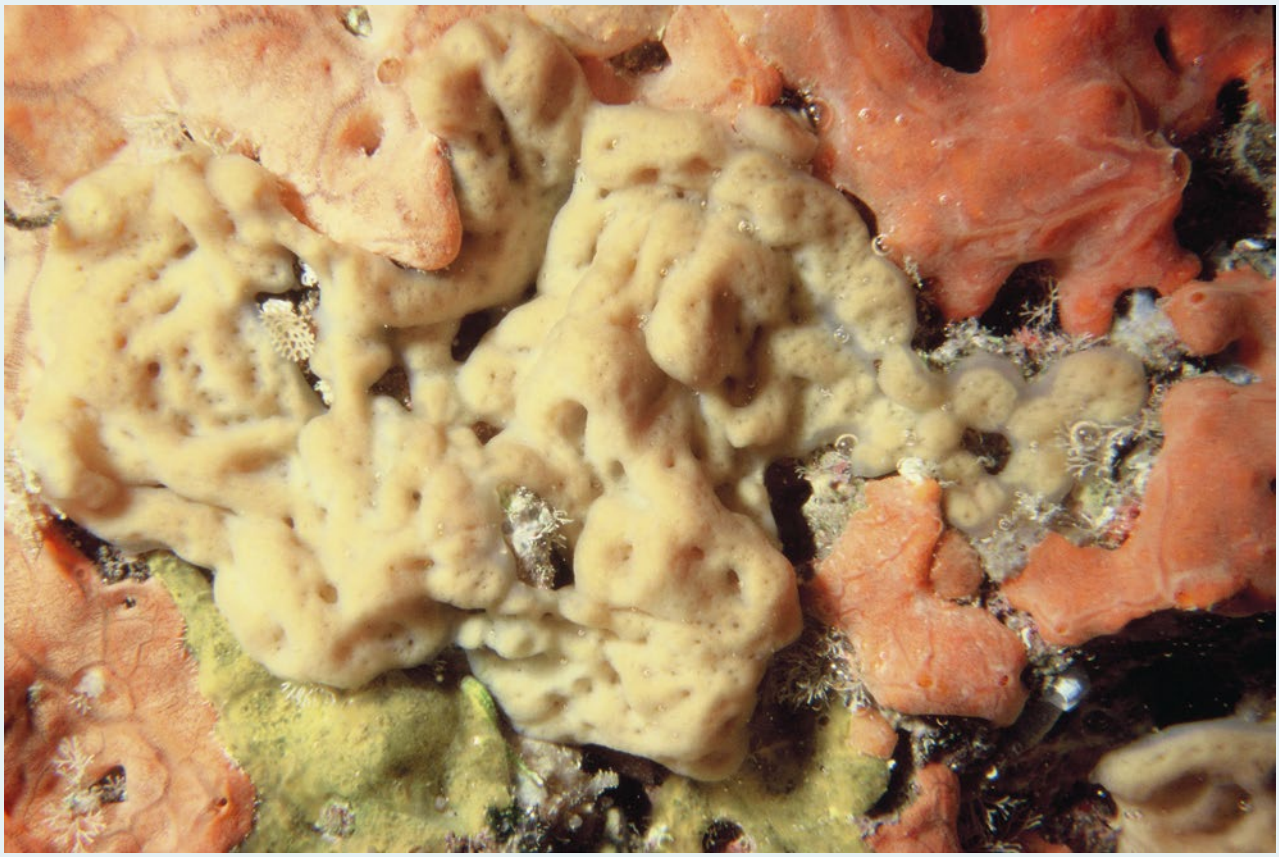
Slika 10. Speleotemi na stijenama u zračnom dijelu unutrašnjosti špilje Golubinka (Vranina, Golubinka 1). Foto: Donat Petricioli



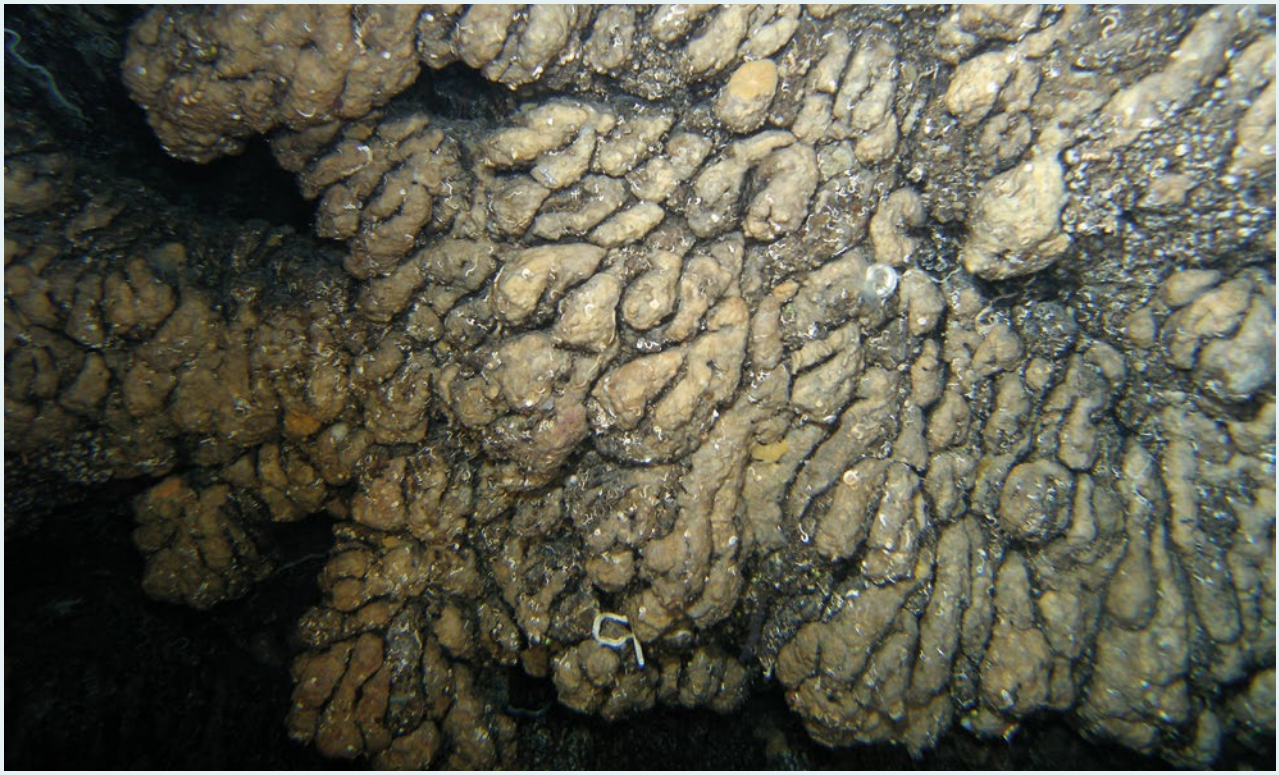
Slika 11. Sedimentno dno (krupni pijesak bez mulja i kamenje) u ulaznome dijelu morske špilje Golubinka (Vranina, Golubinka 1), dubina 10 m. Foto: Donat Petricioli

objektu polutama. Dno špilje na ulazu pokriveno je sitnim pijeskom bez mulja (**Slika 11**), u srednjem je dijelu stjenovito, a na kraju špilje prekriveno krupnim valuticama. Na stijenama u morem preplavljenom dijelu prisutne su: biocenoza polutamnih špilja u kojoj dominiraju spužve (široko rasprostranjena u polutamnom dijelu špilje, **Slika 12**) kao i biocenoza špilja i prolaza u potpunoj tami (prisutna samo na nekoliko zaista tamnih mjesta, **Slika 13**). Na ulazu u špilju utvrđen je i pretkoraligen.

U špilji Golubinka zabilježeno je 50 vrsta spužva, od kojih je 43 vrsta kremenorožnatih (Demospongiae), četiri su vrste vapnenačke Calcarea, a tri vrste pripadaju razredu Homoscleromorpha (Žvorc, 2004). Uočeno je da spužve dominiraju pokrovnošću. Vrste *Agelas oroides* (Schmidt, 1864), *Cliona celata* (Grant, 1826), *Petrosia (Petrosia) ficiformis* (Poiret, 1789) i *Haliclona (Rhizoniera) sarai* (Pulitzer-Finali, 1969) bile su najčešće zastupljene. Slijede vrste *Corticium candelabrum* (Schmidt, 1862), *Erylus discophorus* (Schmidt, 1862), *Haliclona (Reniera) cratera* (Schmidt, 1862) i *Haliclona (Halichoclona) fulva* (Topsent, 1893), dok se vrste *Aaptos aaptos* (Schmidt, 1864), *Plakina bowerbanki* (Sarà, 1960), *Haliclona (Gellius) angulata* (Bowerbank, 1866), *Caminella intuta* (Topsent, 1892) kao i *Thymosiopsis conglomerans* (Vacelet i sur., 2000) pojavljuju rijetko. Zabilježene vrste karakteristične su za biocenozu polutamnih špilja.



Slika 12. U morem preplavljenom dijelu špilje Golubinka (Vranina, Golubinka 1) prisutna je biocenoza polutamnih špilja u kojoj dominiraju spužve; u centralnom dijelu slike spužva *Corticium candelabrum*, a oko nje su *Crambe crambe* (Schmidt, 1862) i *Spirastrella cunctatrix* (Schmidt, 1868). Foto: Donat Petricioli



Slika 13. Biocenoza špilja i prolaza u potpunoj tami rijetko je prisutna u špilji Golubinka (Vranina, Golubinka 1), samo na nekoliko zaista tamnih mjesta. Na slici su biokonstrukcije (subrecentne vapnenačke tvorbe, koje su u ovom slučaju izgradili mahovnjaci, a često se pojavljuju u ovoj zajednici) na kojima su rijetki cjevaši iz porodice Serpulidae (bijelo) i poneka sitna korasta spužva (žuto). Foto: Donat Petricioli



Slika 14. Dvorana sa zračnim džepom i speleotemima u morskoj špilji Y kraj Brbišćice, Dugi otok. Foto: Donat Petricioli

Morska špilja Y

Morska špilja Y gotovo je cijela preplavljena morem, a nalazi se također sjeverozapadno od uvale Brbišćica na Dugom otoku. Obala otoka oko mjesta gdje je ulaz u Y špilju niska je i položena, a pod morem okomita do dubine od 12 metara. Ispred ulaza u špilju nalazi se prostrani gotovo vodoravni predprostor, a dalje je dno sve nagnutije prema dubini. Trokutasti ulaz u špilju Y nalazi se sasvim pod morem, dno mu je ravno i nalazi se na 12 m, a svod na 6 m dubine. Dimenzije ulaza su oko šest metara visine i desetak metara širine. Duga je preko 90 m i relativno uska, prosječno oko tri metra. Od ulaznog dijela, na čijem se dnu nalazi muljevito-detritusni sediment, kanal se blago uspinje i sužava, a na njegovom dnu nalazi se krupniji detritusni sediment. Trideset i dva metra od ulaza glavni se kanal račva na dva kraka: dulji, koji skreće u pravcu azimuta od 65° (SI) i kraći, koji završava malom dvoranom s dijelom preplavljenim sigama i zračnim džepom (**Slika 14**); najviši dio doseže razinu od dva metra iznad razine mora). Područje obale gdje se nalazi preplavljeni ulaz u špilju Y otvoreno je na pučinu i izloženo valovima sa zapada i s juga. Za istraživanje ove špilje bile su potrebne speleoronilačke vještine (**Slika 15**).

Radolović i sur. (2015) proveli su istraživanje hidrološki i geomorfološki induciranih geokemijskih uvjeta koji utječu na distribuciju živog svijeta u Y-špilji. Proučavani su temperatura, slanost, intenzitet svjetlosti, morfologija špilje i hidrodinamika, zajedno s učinkom otapanja karbonata uzrokovanim miješanjem morske i slatke vode. U Y špilji su zbog njene morfologije jako dobro razvijene dvije karakteristične špiljske biocenoze: biocenoza polutamnih špilja u prednjemu dijelu (**Slika 2**) te biocenoza potpuno tamnih špilja i prolaza u unutrašnjosti (**Slika 3**), gdje je utjecaj hidrodinamizma malen i gdje je potpuna tama. Tijekom višegodišnjeg istraživanja u morskoj špilji Y zabilježeno je ukupno 139 vrsta od kojih je 56 vrsta spužva (šest Calcarea, tri Homoscleromorpha, 47 Demospongiae) (Radolović, 2006; Radolović i sur., 2015). Raznolikost vrsta spužva koje dominiraju u morskoj špilji Y među deset je najviših u istraživanim sredozemnim morskim špiljama.

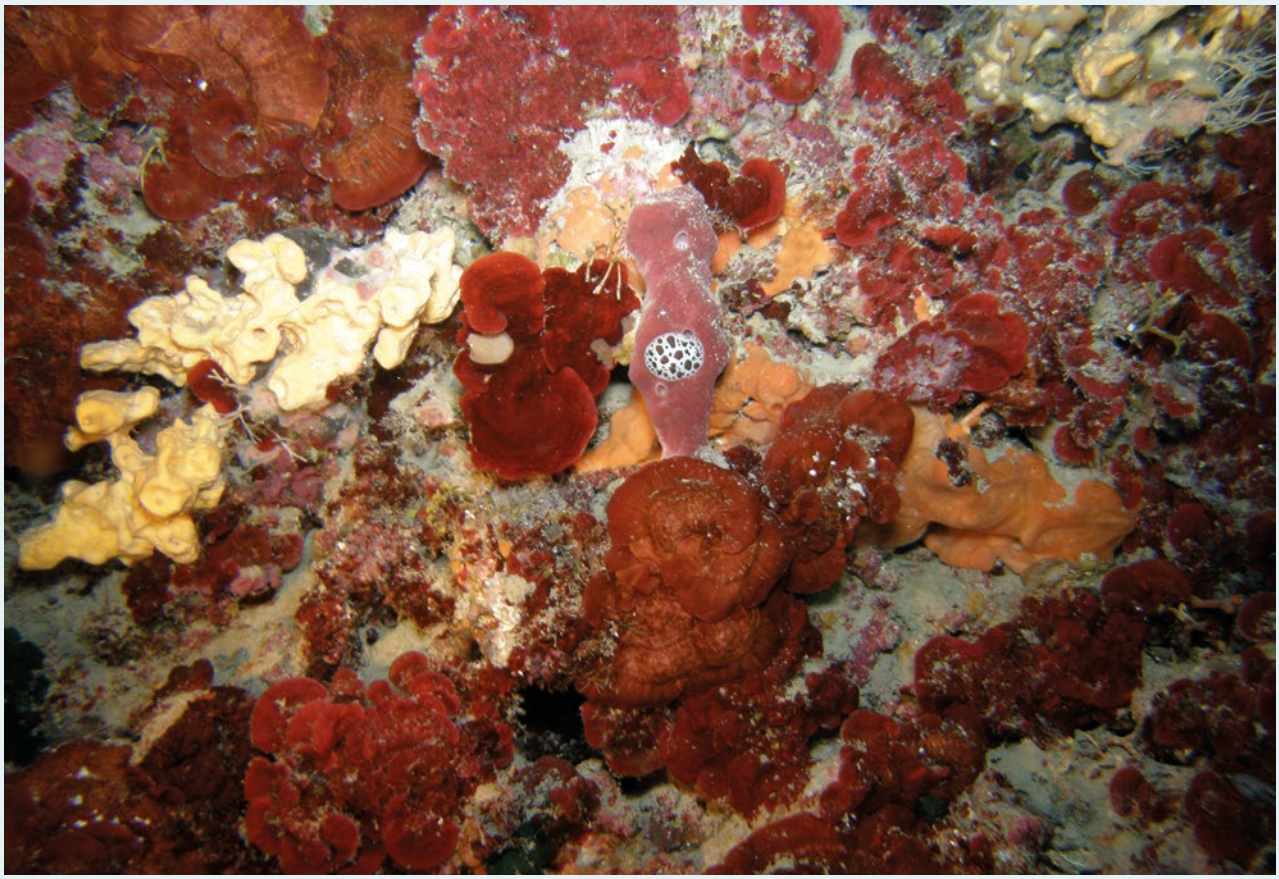
Na ulazu u Y špilju, gdje još ima svjetlosti za fotosintezu, dominiraju scijafilne koraste crvene alge, a pojavljuju se i spužve (**Slika 16**). U prednjemu dijelu špilje, gdje je dobro razvijena biocenoza polutamnih špilja, na stijenama dominiraju spužve (**Slika 17**), a svodovi su pokriveni brojnim kamenim koraljima vrste *Leptopsammia pruvoti* (Lacaze-Duthiers, 1897) (**Slika 18**), također karakterističnim za polutamne špilje (**Slika 19**). Prijelazni dio između biocenoze polutamnih špilja i biocenoze potpuno tamnih špilja nalazi se u sredini špilje. Tu u zajednici dominiraju brojni cjevaši iz porodice Serpulidae (**Slika 20**), više nego u tipičnoj biocenozi potpuno tamnih špilja jer je više hrane, a na vertikalnim stijenama prisutna je izrazito brojna populacija ramenonošca *Novocrania anomala* (Müller, 1776) (**Slika 21**). U potpuno tamnom dijelu Y špilje (**Slika 3**) zabilježena je i špiljska kozica *Stenopus spinosus* (Risso, 1827) (**Slika 22**).

Opća rasprostranjenost organizama duž Y špilje korelirana je s gradijentom svjetlosti i smanjenom cirkulacijom vode, stoga je najveća raznolikost i brojnost vrsta zabilježena u prednjemu dijelu špilje. Središnji dio špilje, iako potpuno mračan, domaćin je brojnoj populaciji puža *Homalopoma sanguineum* (Linnaeus, 1758) i izrazito gustom naselju ramenonošca *Novocrania anomala* (Müller, 1776), što bi se moglo povezati s hidrodinamikom generiranom plimom. Odsutnost, odnosno malobrojnost sesilnih morskih organizama i izraženi tragovi korozije u plitkim područjima unutar Y špilje (**Slika 23**), ukazuju na utjecaj slatke vode (protok, zadržavanje, miješanje s morskom vodom) u gornjim slojevima vodenog stupca. Rezultati dugotrajnih mjerenja temperature također su potvrdili stratifikaciju vodenog stupca unutar špilje, koju ne remete ni plimne ni valne aktivnosti. Ljeti je temperatura morske vode u unutarnjem kanalu nekoliko stupnjeva hladnija nego otvoreno more na istoj dubini.

Plitku, dijelom morem preplavljenu i relativno malu, Y špilju na Dugom otoku karakteriziraju složeni uvjeti okoliša, a rezultirajuća rasprostranjenost organizama jedinstvena je za ovu špilju. To vrijedi i za druge dobro očuvane morske špilje. Zato jedinstvenost svake morske špilje treba uzeti u obzir prilikom njihovog očuvanja i upravljanja njima (Petricioli i Bakran-Petricioli 2019).



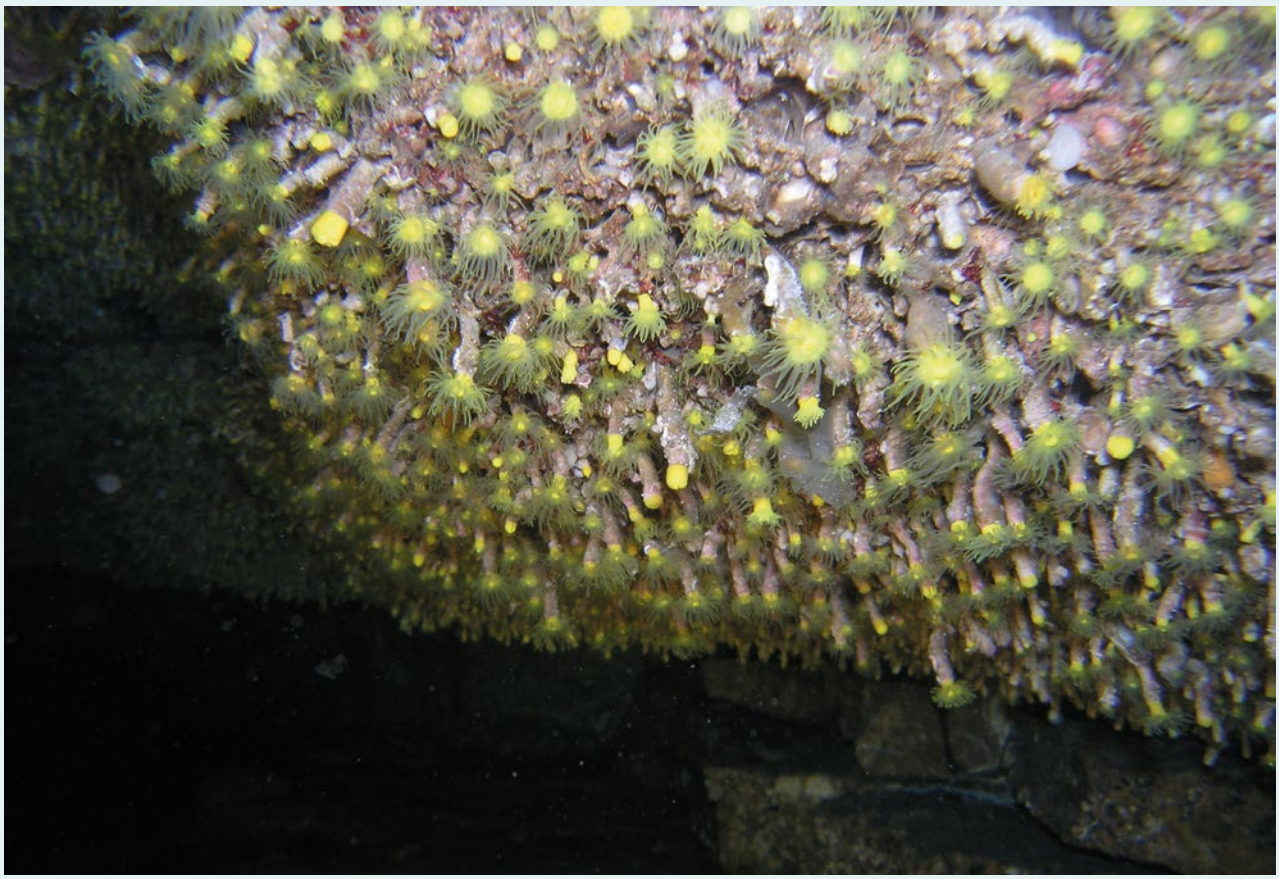
Slika 15. Ronilac u središnjem dijelu morske špilje Y kraj Brbišćice, Dugi otok, dubina oko tri metra. Foto: Donat Petricioli



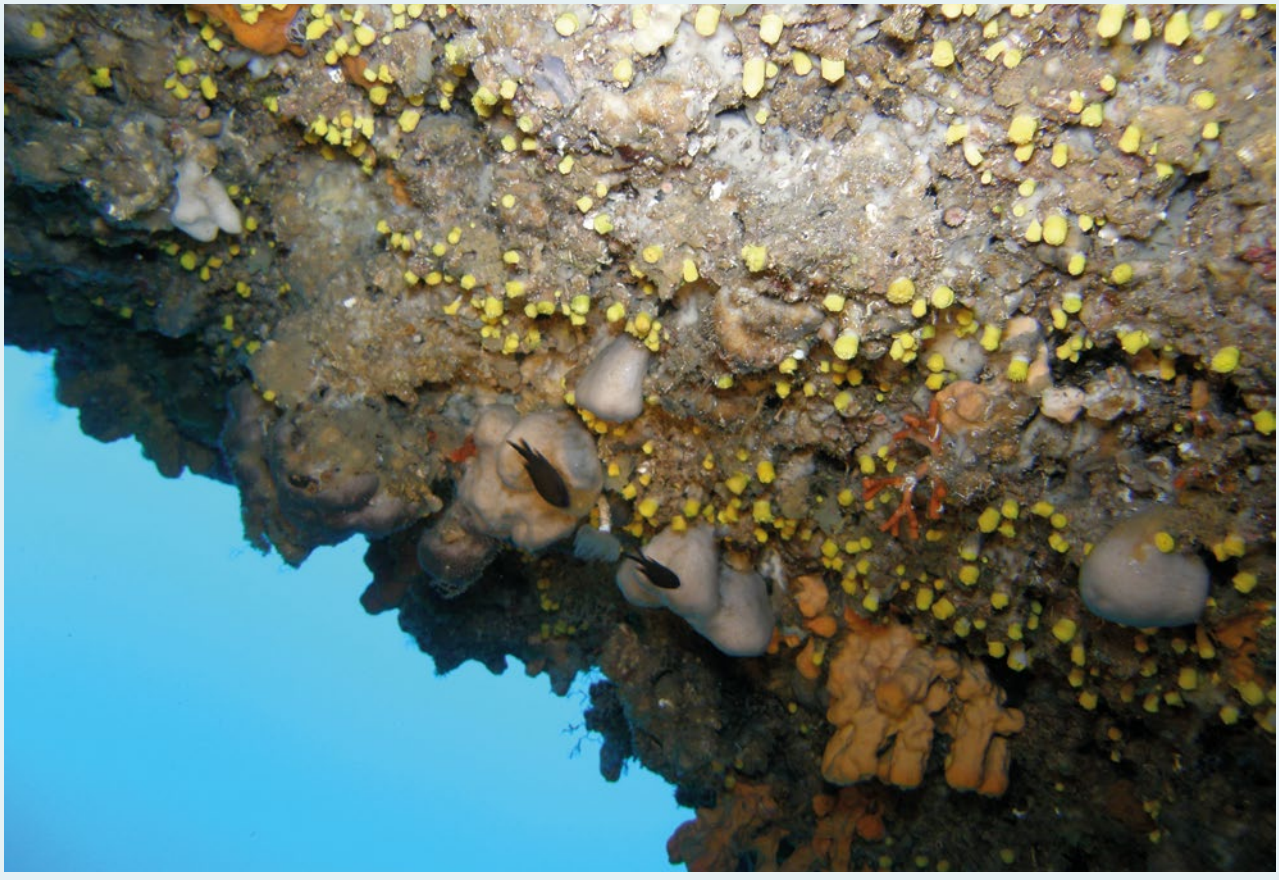
Slika 16. U ulaznom dijelu Y špilje, gdje još ima svjetlosti za fotosintezu, dominiraju koraste crvene alge, a pojavljuju se i spužve. Foto: Donat Petricioli



Slika 17. U prednjemu unutarnjem dijelu morske špilje Y u biocenozi polutamnih špilja dominiraju spužve: u sredini narančasta *Agelas oroides* (Schmidt, 1864) i oko nje korasta *Spirastrella cunctatrix* (Schmidt, 1868). Foto: Donat Petricioli



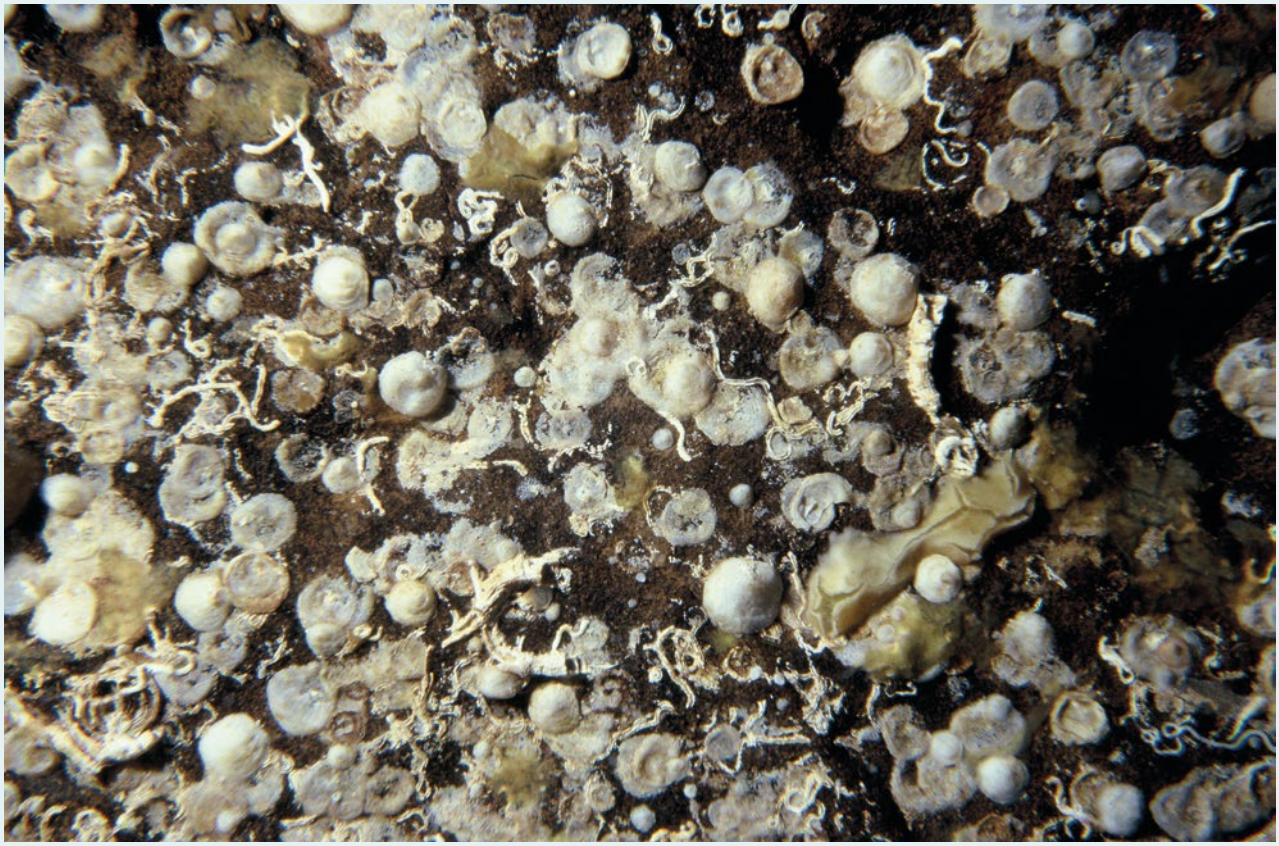
Slika 18. Brojne jedinke kamenih koralja *Leptopsammia pruvoti* (0acaze-Duthiers, 1897) na svodu u biocenozi polutamnih špilja u Y špilji, dubina šest metara. Foto: Donat Petricioli



Slika 19. Zasjenjeni ulazni dio morske špilje Y kraj Brbišćice, Dugi otok. Foto: Donat Petricioli



Slika 20. Prijelazni dio između biocenoze polutamnih špilja i biocenoze potpuno tamnih špilja. Tu dominiraju brojni cjevaši, brojniji nego u biocenozi potpuno tamnih špilja. Foto: Donat Petricioli



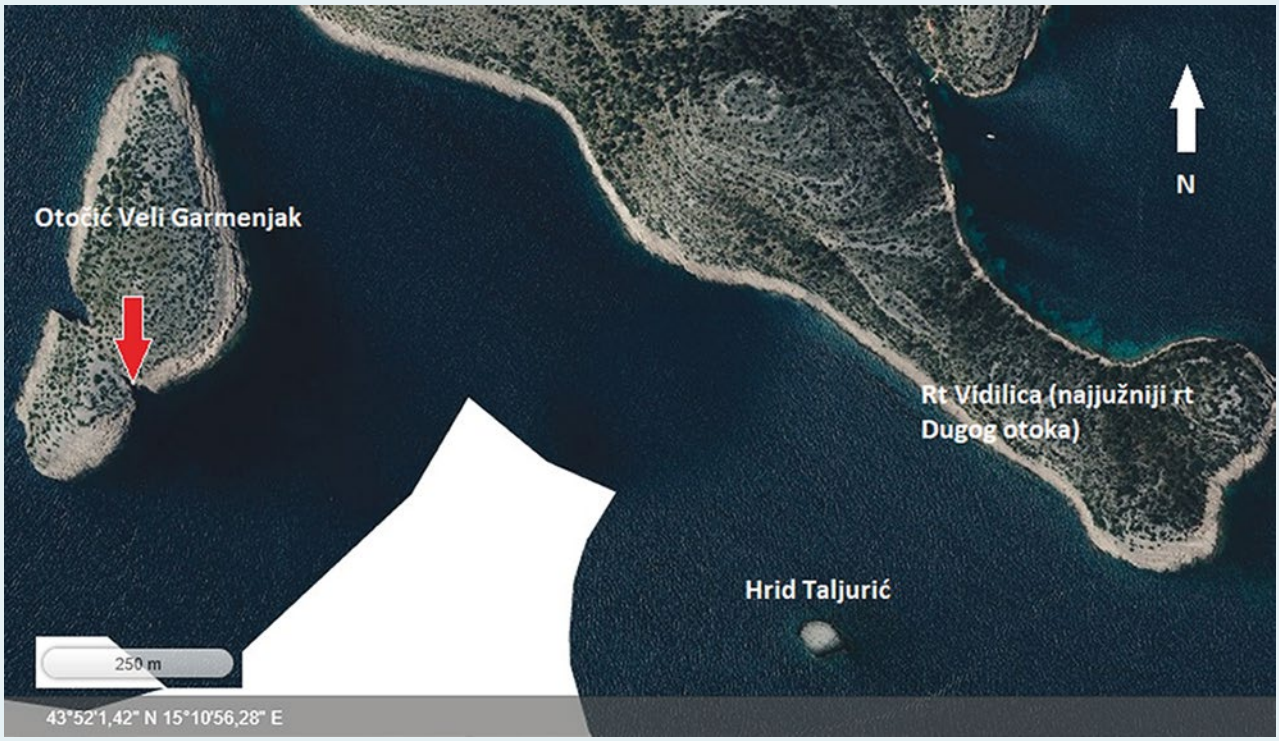
Slika 21. Prijelazni dio između dvije tipične zajednice: na vertikalnim stijenama prisutna je izrazito brojna populacija ramenonošca *Novocrania anomala* (Müller, 1776), poneka spužva vrste *Placospongia decorticans* (Hanitsch, 1895) i u manjoj mjeri cjevaši iz porodice Serpulidae. Foto: Donat Petricioli



Slika 22. U potpuno tamnom dijelu Y špilje zabilježena je i špiljska kozica *Stenopus spinosus* (Risso, 1827). Foto: Donat Petricioli



Slika 23. Unutrašnji tamni kanal u morskoj špilji Y kraj Brbišćice, Dugi otok. Vidi se uređaj za mjerenje svjetlosti. Foto: Donat Petricioli



Slika 24. Lokacija podmorske jame na otočiću Velom Garmenjaku u Parku prirode Telašćica u kojoj je pronađena mesojedna spužva *Lycopodina hypogea* (Vacelet & Boury-Esnault, 1996), zasad prvi i jedini takav nalaz u Jadranskome moru.

Podmorska jama na otočiću Velom Garmenjaku

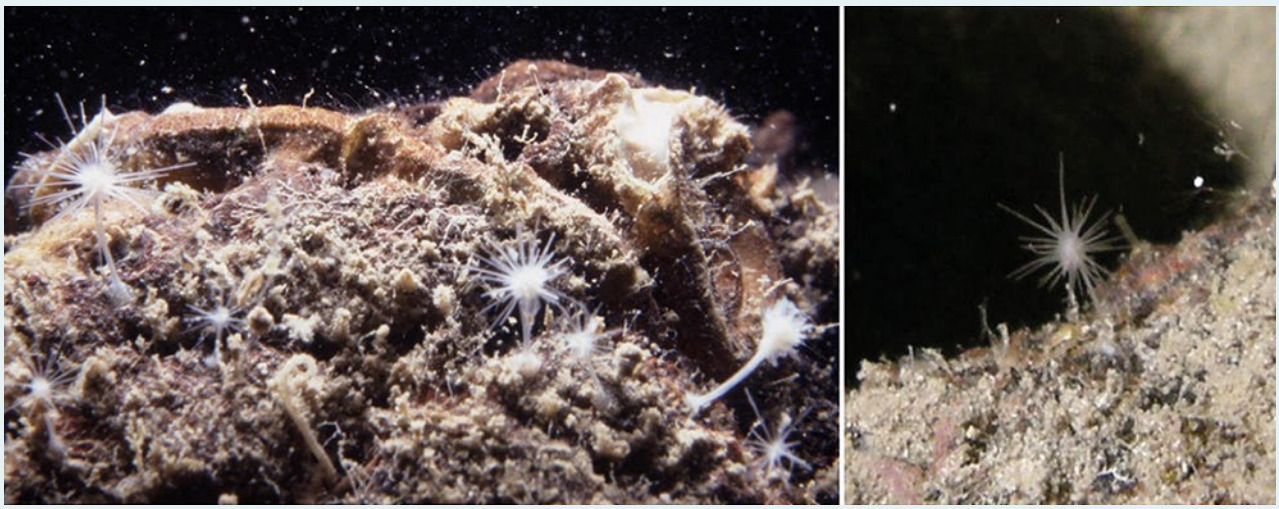
Prikaz morskih špilja Dugog otoka i njihovog živog svijeta ne bi bio potpun bez opisa Podmorske jame na otočiću Velom Garmenjaku na krajnjem jugu Dugog otoka. Ekološki uvjeti koji u njoj vladaju vrlo su posebni i značajni za cijeli Jadran (Bakran-Petricioli i sur. 2007). Otočić Veli Garmenjak nalazi se na južnoj strani pučinskog dijela Dugog Otoka u zadarskom arhipelagu i dio je Parka prirode Telašćica (**Slika 4**). Istraživana podmorska jama nalazi se u usjeku na jugoistočnoj strani otoka Velog Garmenjaka (**Slika 24**).

Okomita rasjedna ploha, koja se proteže kroz cijeli otok, na jugoistočnoj strani V. Garmenjaka prema moru se otvara u obliku strmog usjeka dugačkog tridesetak metara. Sjeverni zid usjeka gotovo je okomit do dubine od dvadesetak metara, gdje prelazi u vodoravno dno pretežno prekriveno organogenim pijeskom s vrlo malo mulja. Južni je zid prevjesni strmac, orijentiran prema sjeveroistoku, koji u donjem dijelu, na dvadesetak metara dubine ima nekoliko manjih i jednu veću polušpilju (8 m duboku i 10 m široku). U polušpilji je dobro razvijena biocenoza polutamnih špilja u kojoj je zabilježeno 39 vrsta spužva (tri Homoscleromorpha, 37 Demospongiae) (Bogdanović, 2004).

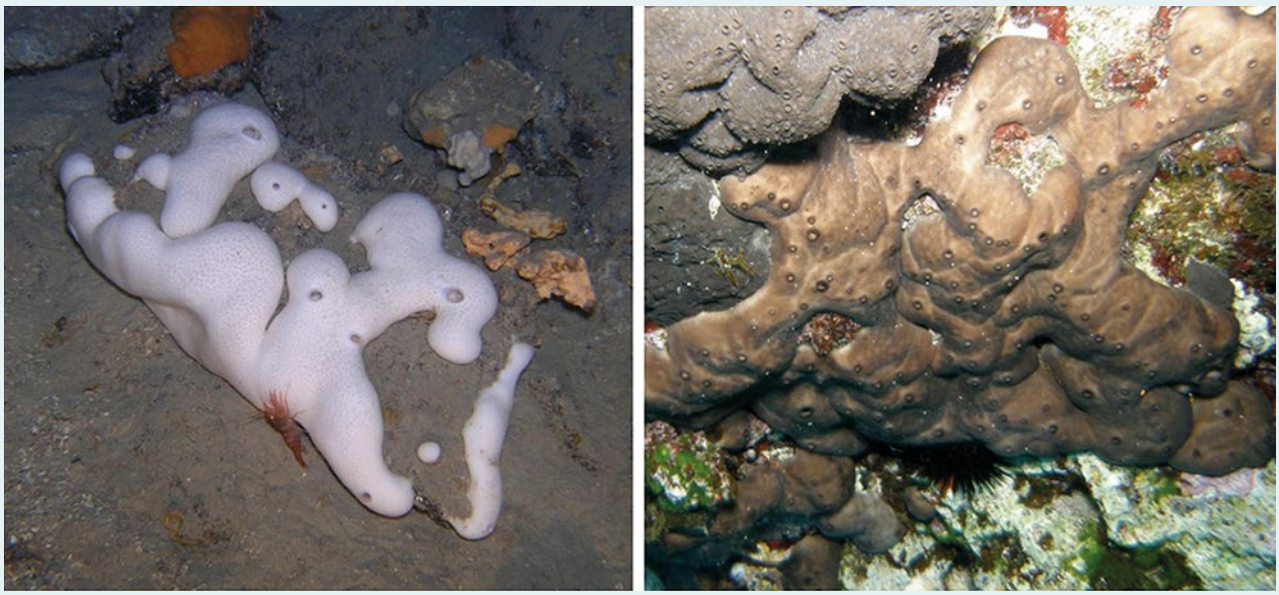
U dnu usjeka gdje se zidovi gotovo spajaju nalazi se jama u obliku uskog bunara (promjera oko 60 cm) koja se ljevkasto otvara na 24 m, a pruža okomito prema dolje do barem 30 m. Zbog specifične morfologije jame tijekom zimske izotermije hladna morska voda ulije se u nju i tu ostaje cijelu godinu pa su temperaturni uvjeti slični onima u dubokom moru. Takve jame još nazivamo hladnomorske jame. Po svojim ekološkim obilježjima (nedostatak svjetlosti i hrane, slabija izmjena vode, niža i stabilnija temperatura nego u plićim područjima mora) ta su staništa vrlo slična onima u dubokom moru te su u njima, iako su plitko, zabilježeni dubokomorski organizmi. Ova pojava useljavanja dubokomorskih organizama, odnosno njihovih planktonskih ličinki, u priobalne morske špilje specifične morfologije, moguća je samo u Sredozemnom moru (pa tako i Jadranskom) jer se more zimi izmiješa od najvećih dubina do površine pa ličinke mogu dospjeti u plitko more. Na okomitim stijenama ulaza jame na Velom Garmenjaku, na 24 m dubine, 2000. godine pronađena je tada vrlo brojna, zasad u Jadranskom moru jedinstvena, populacija dubokomorskih kremenorožnatih mesojednih spužvi vrste *Lycopodina hypogea* (Vacelet & Boury-Esnault, 1996) (Bakran-Petricioli i sur. 2007) (**Slika 25**).

Mesojedne su spužve tijekom evolucije izgubile sustav kanalića za filtriranje te se umjesto filtriranjem bakterija i sitnih čestica detritusa, kao sve ostale spužve, hrane sitnim račićima, npr. iz porodice Mysidae. One su predatori koji „sjede i čekaju" da se na njihove stršeće spikule zapetljaju račići, nakon čega stanice spužve migriraju te obrastaju i probavljaju plijen.

Brojnost jedinki mesojedne spužve u hladnomorskoj jami na Garmenjaku Velom pri prvom je posjetu i nalazu 2000. godine procijenjena na nekoliko stotina jedinki, a 2024. godine zabilježeno ih je samo nekoliko (s velikim izgledom da i one nestanu; **Slika 25**). Naime, recentni porast temperature mora, koji je zabilježen na temperaturnim mjeračima i kod mesojedne spužvice – registrirano je gotovo 3 °C porasta u razdoblju od 2000. do 2024. godine, što negativno utječe na morske organizme, pogotovo na one koji su prilagođeni na niže temperature mora (Garrabou i sur. 2019; 2022).



Slika 25. Mesojedna spužvica *Lycopodina hypogea* (Vacelet & Boury-Esnault, 1996) u hladnomorskoj jami na otočiću Velom Garmenjaku, lijevo snimka iz 2000., a desno iz 2023. godine kad su primijećeni samo vrlo rijetki primjerci. Foto: Donat Petricioli



Slika 26. Spužva *Chondrosia reniformis* (Nardo, 1847) u Y špilji u potpunoj tami, na 10 m dubine (lijevo, Foto: Hrvoje Čižmek) i izvan nje na svjetlu (desno, Foto: Donat Petricioli) snimljena na otprilike istoj dubini.

Rasprava i zaključci

Broj vrsta organizama u morskim špiljama nekog područja često ovisi o trudu koji je uložen i razini ekspertize istraživača (Gerovasileiou i sur. 2015) tako da popise vrsta u opisanim špiljama ne treba smatrati konačnima. Danas u Hrvatskoj postoji značajan nedostatak stručnjaka koji mogu odrediti vrste morskih organizama, dostupnih sredstava i tehnologije kao i nedovoljan interes relevantnih institucija koje bi poduprle zahtjevni posao inventarizacije.

Zbog raznolikosti morfologije i boje spužva, većinu vrsta gotovo je nemoguće sa sigurnošću odrediti samo promatranjem ili uz pomoć fotografskih vodiča. Tu navodimo samo jedan slikoviti primjer: vrsta spužve *Chondrosia reniformis* koju će po morfologiji i karakterističnom mramoriranom obojenju (koje potječe od endosimbiontskih algi) i manje educirani opažači lako prepoznati tamo gdje ima svjetlosti (**Slika 26**, desno), unutar špilja, tamo gdje nema svjetlosti, potpuno je bez boje, bijela (**Slika 26**, lijevo). Malo je vrsta koje možemo sa sigurnošću odrediti bez uzimanja uzoraka. Za sigurnu determinaciju vrste neophodno je napraviti mikroskopske preparate skeletnih struktura u laboratoriju te ih pažljivo pod mikroskopom pregledati. Slično vrijedi i za mahovnjake, koralje, cjevaše, ramenonošce, crvene alge u ulaznim dijelovima morskih špilja.

Zajednice i organizmi u morskim špiljama, naročito onima dostupnima čovjeku, izloženi su mnogim ugrozama kao što su npr. mehaničko oštećenje zbog nereguliranog posjećivanja/ronjenja, fizičko oštećenje i povećana sedimentacija zbog gradnje u obalnoj zoni, zagađenje mora, vađenje organizama, rast temperature mora i naseljavanje stranih vrsta (Aguilar i sur. 2017). Taj pritisak sve više raste zbog komercijalne upotrebe morskih špilja (ronjenje, nautički i individualni turizam). Sistematsko istraživanje i pomno praćenje stanja u morskim špiljama u Hrvatskoj danas je neophodno jer prijeti opasnost da te dragocjene, jedinstvene zajednice nestanu ili budu trajno oštećene (Petricioli i Bakran-Petricioli 2019).

Metode za istraživanje i praćenje stanja u morskim špiljama (Aguilar i sur. 2017) trebale bi uključivati indikatore povezane s bioraznolikošću. Jednako tako trebao bi postojati dovoljan broj kvalificiranih stručnjaka, sposobnih roniti u morskim špiljama, koji bi ih mogli istraživati i pratiti. Temeljem obaveza Republike Hrvatske u Europskoj uniji nadležno je ministarstvo prije dvije godine izradilo dokumente koji se odnose na konačni program praćenja stanja očuvanosti za preplavljene ili dijelom preplavljene morske špilje (NATURA 2000 stanište 8330) (MINGOR RH, 2023a) te izvješće o provedenom testiranju programa praćenja stanja očuvanosti za preplavljene ili dijelom preplavljene morske špilje (NATURA 2000 stanište 8330) (MINGOR RH, 2023b). Nažalost, iako se radi o službenim dokumentima na razini države, koji su uredno prošli javnu raspravu, metode i pristup koji su u tim dokumentima navedeni ne daju nikakvu mogućnost niti da se objektivno procijeni stanje očuvanja morskih špilja, a kamoli da se ono i prati. Smatramo da uključivanje rekreativnih ronilaca u takve poslove u okviru trenutno vrlo popularne „građanske znanosti", predstavlja ozbiljan rizik za zdravlje i sigurnost tih ljudi. To se možda može napraviti za mali broj plitkih i otvorenih špilja, ali ne za one koje imaju imalo zahtjevniju morfologiju (dublji ulaz, razvedeni kanali, lokacije na mjestima izloženima vjetru, valovima, strujama).

Kao neke od mjera zaštite morskih špilja navode se: nadziranje kakvoće morske vode, zabrana gradnje i nasipavanja u more na mjestima gdje su morske špilje, zabrana nasipavanja i odlaganja smeća u kopnene otvore špilja, edukacija voditelja ronjenja i ronilačkih instruktora o vrijednosti morskih špilja, ograničavanje broja posjeta (i ronilaca) u špiljama koje su izložene pretjeranom posjećivanju, formiranje detaljnog registra morskih špilja (Bakran-Petricioli 2011). Neke su od tih aktivnosti u Hrvatskoj pravnim propisima već dulje vrijeme zabranjene, no problem predstavlja provedba postojećih zakona, odnosno nadzor i sankcioniranje kršitelja.

Naše višegodišnje iskustvo pokazuje da trenutno u Hrvatskoj nije moguće kontrolirati prostrana i udaljena područja na kojima se nalaze morske špilje. Nažalost, naše je mišljenje da sve te smjernice, programi praćenja, mjere zaštite, predstavljaju mrtvo slovo na papiru, napisano zato da bi se ispunile neke „kućice" u nekim dokumentima koje nadležne institucije trebaju predati nadređenima na nacionalnoj i međunarodnoj razini. Stvarna, prilično loša situacija u morskim ekosustavima kao da nikoga ne interesira. Bez korjenite promjene u pristupu zaštiti prirode na nacionalnoj i internacionalnoj razini, u sadašnje izazovno doba klimatskih promjena i rasta ljudske populacije, smatramo da pozitivnih pomaka u zaštiti i očuvanju živoga svijeta neće biti.

Zaključno, treba reći da jedinstvenost hrvatskog morem preplavljenog krša svakako zaslužuje posebnu pažnju. Lako se može dogoditi da neki znanstveno vrijedni organizmi i zajednice ili čak geomorfološke pojave u morskim špiljama budu izgubljene i/ili devastirane prije nego budu otkrivene i znanstveno opisane.

Napomena: Tablica s popisom objekata i pripadajućim zabilježenim organizmima nije priložena jer u navedenoj i citiranoj literaturi već postoje popisi utvrđenih vrsta za pojedine istražene morske špilje. Najdetaljniji je napravljen za špilju Y (Radolović i sur. 2015). Smatramo da bi dodavanje takve detaljne tablice sa svim spomenutim objektima nepotrebno opteretilo ovaj članak jer zainteresirani popise mogu vidjeti u citiranoj literaturi.

Literatura

- Aguilar R. i sur. (2017). Tehničko izvješće „Draft Guidelines for Inventoring and Monitoring of Dark Habitats" izrađeno za Specially Protected Areas/Regional Activity Centre (SPA/RAC), United Nations Environment Programme/Mediterranean Action Plan, Tunis, pp. 55.
- Bakran-Petricioli T. (2007). Morska staništa – Priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, pp. 56.
- Bakran-Petricioli T. (2011). Priručnik za određivanje morskih staništa u Hrvatskoj prema Direktivi o staništima EU (ISBN 978-953-7169-84-8). Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, pp. 184.
- Bakran-Petricioli T., Vacelet J., Zibrowius H., Petricioli D., Chevaldonné P., Rađa T. (2007). New data on the distribution of the "deep-sea" sponges *Asbestopluma hypogea* and *Oopsacas minuta* in the Mediterranean Sea. Marine Ecology – An evolutionary perspective 28, 10–23.
- Bakran-Petricioli T., Radolović M., Petricioli D. (2012). How diverse is sponge fauna in the Adriatic Sea? Zootaxa 3172, 20–38.
- Bogdanović I. (2004). Kremenorožnate spužve (Demospongiae) u morskoj polušpilji na otoku Velom Garmenjaku (Park prirode Telašćica). Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek.
- Dujmović S. (2002). Biocenoza polutamnih špilja u podmorskom prolazu kraj uvale Brbinjšćica (Dugi otok). Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek.
- Džaja K. (2003). Geomorfološke značajke Dugog otoka. Geoadria 8, 5–44.
- EUNIS Klasifikacija morskih staništa (2022). Preuzeto s: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification-1/eunis-marine-habitat-classification-review-2022/ (20. 6. 2025.)
- Garrabou J. i sur. (2019). Collaborative Database to Track Mass Mortality Events in the Mediterranean Sea. Frontiers in Marine Science 6, 707.
- Garrabou, J. i sur. (2022). Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. Global Change Biology 28, 5708–5725.
- Gerovasileiou V., Chintiroglou C., Vafidis D., Koutsoubas D., Sini M., Dailianis T., Issaris Y., Akritopoulou E., Dimarchopoulou D., Voultsiadou E. (2015). Census of biodiversity in marine caves of the Eastern Mediterranean Sea. Mediterranean Marine Science 16, 245–265.
- Gubbay, S. i sur. (2016). European Red List of Habitats Part 1. Marine habitats. Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp. 46.
- Juračić, M., Bakran-Petricioli, T., Petricioli, D. (2002). Cessation of karstification due to the sea-level rise? Case study of the Y-cave, Dugi Otok, Croatia. U: Gabrovšek F. (ur.), Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation - Proceedings of the international symposium, (Postojna, Slovenija), Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, 319–326
- Magaš D., Surić M. (2005). Contribution to the knowledge about speleological features of the Dugi Otok island. Spelaeologia Croatica 6, 9–15.
- MINGOR RH (2023a). Konačni program praćenja stanja očuvanosti za dva morska stanišna tipa: grebeni (1170) i preplavljene ili dijelom preplavljene morske špilje (8330) (bez anhialinih špilja), te četiri morske vrste: crveni koralj (*Corallium rubrum*), igličasti ježinac (*Centrostephanus longispinus*), prstac (*Lithophaga lithophaga*) i rak kuka (*Scyllarides latus*), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH, Zagreb, pp. 135.
- MINGOR RH (2023b). Izvješće o provedenom testiranju programa praćenja za dva morska stanišna tipa: grebeni (1170) i preplavljene ili dijelom preplavljene morske špilje (8330) (bez anhialinih špilja), te četiri morske vrste: crveni koralj (*Corallium rubrum*), igličasti ježinac (*Centrostephanus longispinus*), prstac (*Lithophaga lithophaga*) i rak kuka (*Scyllarides latus*), Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH, Zagreb, pp. 178.
- NN 27/21 (2021). Pravilnik o popisu stanišnih tipova i karti staništa, Narodne novine 27, 2021.

- Petricioli D., Bakran-Petricioli T. (2019). Status of knowledge on marine cave environments of the Croatian Adriatic coast. U: Langar H., Ouerghi A. (ur.), Proceedings of the 2nd Mediterranean Symposium on the conservation of Dark Habitats (Antalija, Turska), SPA/RAC publications, Tunis, 19–24.
- Radolović M. (2006). Životne zajednice unutar morske špilje „Y“, uvala Brbinjšćica, Dugi otok. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek.
- Radolović M., Bakran-Petricioli T., Petricioli D., Surić M., Perica D. (2015). Biological response to geochemical and hydrological processes in a shallow submarine cave. Mediterranean Marine Science 16, 305–324.
- Surić M., Lončarić R., Lončar N. (2010). Submerged caves of Croatia - distribution, classification and origin. Environmental Earth Sciences 61, 1473–1480.
- Žvorc P. (2004). Spužve u podmorskom dijelu špilje Golubinka, Brbinjšćica, Dugi otok. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek.