

ŠPILJE U KRŠU KAO MJESTA KOJA SADRŽAVAJU BROJNE I ZNAČAJNE INFORMACIJE KLJUČNE ZA RAZUMIJEVANJE PROŠLOSTI I KORISNE ZA SADAŠNJOST I BUDUĆNOST

prof. emeritus Ognjen Bonacci

1. UVOD

Krš predstavlja specifičan krajobraz prepun raznolikih površinskih i podzemnih oblika koji iznenađuju i plijene ne samo svojim geološkim, geomorfološkim, hidrogeološkim i hidrološkim, jednom riječju geofizičkim svojstvima. Unutar tog prostora osobito ulogu igraju špilje koje je moguće definirati kao veće prirodne šupljine smještene na različitim dubinama unutar karbonatnih naslaga. Neke od njih imaju otvore na površini terena, dok ih druge nemaju, ili ih čovjek nije do sada otkrio. Pretpostavlja se da je do sada u svim prostorima krša na planeti tek mali dio krških špilja otkriven i djelomično istražen. Njihova uloga u ekološkom i geofizičkom smislu, a osobito u povijesnom, vezano s razvojem civilizacije, tek se počela sustavno i interdisciplinarno izučavati. Kako se ta istraživanja razvijaju i intenziviraju tako se dolazi do sve novijih, značajnijih i intrigantnijih otkrića. U posljednjih desetak godina interes za izučavanje špilja (treba naglasiti ne samo onih formiranih u kršu, ali prije svega njih) posebno je narastao, a vezan je s planetarnim istraživanjima.

Već zbog same činjenice što špilje predstavljaju prostore koji nisu izravno izloženi vremenskim nepogodama one su u geološkoj prošlosti, ali ne zaboravimo i danas, služile i služe ljudima za najrazličitije svrhe. Njihova osobito važna uloga danas je izražena u činjenici da one predstavljaju staništa mnogim većinom ugroženim i endemskim životinjskim vrstama. Primjera radi, navodi se da o njihovoj neprocjenjivoj biološkoj raznolikosti i ekološkoj vrijednosti u prostoru krša Hrvatske svjedoči „Crvena knjiga špiljske faune Hrvatske“ koju je Ministarstvo kulture, Državni zavod za zaštitu prirode Republike Hrvatske objavilo 2009. godine (Ozimec et al., 2009.).

Arheolozi su našli brojne dokaze da su i u prapovijesti špilje služile kao mjesta u kojima su ljudi stalno živjeli ili se povremeno skrivali od nepogoda najrazličitijih vrsta. Dokazano je da su se često u njima okupljali sa svrhom obavljanja religijskih obreda. Još u prapovijesno doba čovjek ih je koristio kao svoje nastambe ostavljajući u njima dokaze o tadašnjem načinu života. Na osnovu tih artefakata arheolozi danas otkrivaju iznenađujuće tajne prošlih i nestalih civilizacija (Simek, 2004.). Goldberg i

Bar-Yosef (2005.) navode da su javnost i znanstvenici fascinirani otkrićima na koje su naišli i sve češće nailaze u brojnim špiljama u kršu. Špilje predstavljaju mjesta brojnih i uspješnih arheoloških iskopavanja koja su započela sredinom 18. stoljeća (Shaw, 2004.). Osim arheoloških artefakata na zidovima brojnih špilja pronađeni su fascinantni crteži visoke umjetničke vrijednosti ili od velikog povijesnog značaja. Do sada su detaljnije opisani oni koji su otkriveni u špiljama u: (1) Europi (Bahn, 2004.); (2) Australiji i Aziji (Bernardik, 2004.); (3) Južnoj i Sjevernoj Americi (Stone, 2004.). Međutim, crteži koji nisu opisani u nama dostupnoj literaturi postoje i u brojnim drugim područjima, a izvjesno je da oni postoje i u mnogobrojnim do sada neotkrivenim špiljama.

Kierman (2004.) navodi da prije svega špilje u kršu, ali i neki drugi krški oblici, već tisućljećima služe kao mjesta za vršenje religijskih obreda najrazličitijim religijskim zajednicama. Primjera radi navodi se krška špilja Missabelle u Lurdu koja danas predstavlja jedno od najposjećivanih kršćanskih svetišta. Špilje za svoje religijske obrede koriste hindusi i budisti, kao i pripadnici tradicionalnih kineskih religija taoisti i konfucionisti.

U časopisu EOS, koji izdaje American Geophysical Union (Američka Geofizička Unija – AGU), objavljen je članak „Planetary caves' role in astronaut bases and the serche for life“ (Uloga planetarnih špilja kao baza za astronaute i pronalaženje tragova života) (Wynne et al., 2016.). U njemu je opisana uloga špilja na planetima koje čovjek namjerava posjetiti u skoroj i daljnjoj budućnosti kao ključnih mjesta u kojima može organizirati svoje baze, ali i mjesta u kojima postoji potencijalna mogućnost pronalaska tragova bivšeg ili sadašnjeg života.

Osnovne činjenice koje su u uvodnom izlaganju prethodno ukratko bile iznesene manje su ili više poznate javnosti te su dostupne u brojnoj literaturi i na internetu. U ovom će radu biti iznesena četiri različita primjera uloge špilja u kršu. U jednom od njih naglasak će biti stavljen na umjetnička djela stvorena u pretpovijesti koja mogu poslužiti za zaključivanje o stanju i promjenama klime u razdoblju prije više desetaka tisuća godina. U drugom će biti iznesene činjenice o najnovije otkrivenim zapisima o

pojavama suše na području Kine u posljednjih petstotinjak godina zabilježenih na zidovima špilja u kršu. Treći primjer se odnosi na nedavnu naglu poplavu u kršu Španjolske koja je imala tragične posljedice. Na tom će primjeru biti pokazano da je kontinuiranim i brojnim mjerenjima temperature zraka u špilji moguće bolje objasniti, a možda i predvidjeti ovaj opasni fenomen. U četvrtom primjeru opisać će se aktivnosti i istraživanja koja vezana s ulogom špilja u osiguravanju skloništa za astronaute i pronalaženja znakova života na planetima poduzimaju znanstvenici koji se bave planetarnim istraživanjima.

Naglašava se da je većina istraživanja koja će nastavno biti opisana obavljena ili vezana s špiljama koje su formirane u prostorima krša. Želja autora je da navedeni primjeri, kao i ovaj rad, posluže kao poticaj našim stručnjacima da intenziviraju i objedine svoje napore u istraživanju svih vrsta špilja, prije svega onih u kršu kojima Hrvatska obiluje.

2. CRTEŽI U ŠPILJAMA LASCAUX I CHAUVET-PONT-D'ARC (FRANCUSKA)

Tijekom dvadesetog stoljeća otkrivene su dvije špilje u kršu Francuske čiji su crteži fascinirali znanstvenu, ali i umjetničku zajednicu. Radi se o špiljama: Lascaux i Chauvet-Pont-d'Arc (slika 1). Špilje su međusobno udaljene zračnom linijom samo 268 km, ali su crteži koji su nađeni u njima iscrtani u različitim vremenskim razdobljima koja se, procijenjeno je, razlikuju za oko 14 do 15 tisuća godina.



Slika 1. Karta Francuske s ucrtanim položajima špilje Lascaux (1) i špilje Chauvet-Pont-d'Arc (2)

Prva je otkrivena špilja Lascaux, dana 12. rujna 1940. Smještena je u dolini Vézère u blizini sela Montignac u departmanu Dordogne (Francuska). Ulaz u kompleks špilja otkrila su četiri tinejdžera. Za javnost je špilja otvorena 1948. godine, ali je 1963. zatvorena zbog oštećenja crteža na zidovima špilje uzrokovanih vlagom, povišenom temperaturom zraka i ugljičnim dioksidom te izražene potrebe njihove restauracije i trajne zaštite (Lacanette et al., 2007.). Starost crteža procijenjena je na oko 17.300 godina. Slike su potom restaurirane, a ulaz posjetitelja u špilju ograničen. Špilju Lascaux, kao i još nekoliko

prapovijesnih mjesta u dolini Vézère, UNESCO je 1979. godine upisao u listu svjetske kulturne baštine.

U toj je špilji pronađeno oko 2.000 crteža grupiranih u tri kategorije: (1) životinje; (2) ljudi; (3) apstraktni znakovi (geometrijski likovi). Nema crteža vegetacije i okoliša. Većina slika je nacrtana na zidovima korištenjem mineralnih pigmenata, dok je manji dio uklesan. Brojne slike su slabo vidljive jer je pigment izbljedio, a neke su potpuno uništene. Identificirano je više od 900 životinja. Za njih 605 točno je definirano kojoj vrsti pripadaju. Najviše je crteža konja, a potom jelena, te nešto manje bizona, mačaka, ptica, medvjeda, nosoroga te ljudi. Zanimljivo je da nije nađen niti jedan crtež soba za kojeg se pretpostavlja da je bio glavna hrana ljudima tog vremena. Na slici 2 je crtež izumrlih europskih bizona na zidu „Salle des Taureaux” (Lacanette et al., 2007.). Treba napomenuti da su nađeni i crteži zagonetnih životinja koje ne odgovaraju niti jednoj poznatoj vrsti. Na slici 3 prikazan je crtež životinje nazvane „jednorog” (Lacanette et al., 2007.). Većina stručnjaka smatra da se radi o umjetničkoj kreaciji nepostojeće životinje, ali ima i onih koji se ne slažu s tim zaključkom te pretpostavljaju da se radi o izumroj vrsti čiji ostaci do danas nisu pronađeni.



Slika 2. Crtež bikova u špilji Lascaux



Slika 3. Crtež „jednoroga” na zidu u špilji Lascaux

Postoje vrlo različita pa čak i kontraverzna objašnjenja ovih crteža. Dok jedni smatraju da crteži imaju veze s astronomijom, tj. da predstavljaju neku vrstu karte neba, drugi smatraju da su crteži spiritualne prirode i namjene. Neki antropolozi i povjesničari povezuju crteže sa slavljenjem uspjeha u lovu ili mističnim ritualima kojima se zazivaju budući uspjesi u lovu. Kako je Picasso u to vrijeme bio živ, imao je prilike vidjeti ove crteže. Bio je njima toliko impresioniran da je njegov komentar bio sljedeći: „Ništa novog mi nismo izumili.”

Špilja Chauvet-Pont-d'Arc u departmanu Ardèche na jugu Francuske predstavlja podzemni krški prostor koji sadrži najranije poznate i najbolje sačuvane špiljske crteže na svijetu, ali i neka druga svjedočanstva o životu tijekom gornjeg paleolitika. Nalazi se u blizini naselja Vallon-Pont-d'Arc na vapnenačkoj litici iznad nekadašnjeg korita rijeke Ardèche. Otkrivena je nedavno, 18. prosinca 1994., dakle punih 54 godine poslije špilje Lascaux. Crteži koji su otkriveni u njoj još su više iznenadili znanstvenike od onih u špilji Lascaux. Datiranjem izotopa ugljika procijenjena je starost ovih crteža na 30.000 do 32.000 godina. Neki autori smatraju da su crteži u ovoj špilji nešto stariji te da datiraju od prije 34.000 do 37.000 godina (Nomad et al., 2016.). Radi se, dakle, o značajno starijim crtežima od onih iz špilje Lascaux. Smatra ih se najznačajnijim prapovijesnim umjetničkim djelima, što je potaklo UNESCO da ovu špilju zbog crteža koji se u njoj nalaze, dana 22. lipnja 2014. upiše u registar svjetske kulturne baštine.

U špilji je nađeno više stotina crteža životinja koje pripadaju u najmanje 13 različitih vrsta. Ključno je naglasiti da neke od njih nisu nikada pronađene u drugim nalazištima koja odgovaraju istom vremenskom razdoblju. Dok na zidovima drugih špilja iz tog vremenskog razdoblja prevladavaju crteži konja, stoke, mamuta itd., u ovoj špilji prevladavaju predatori, kao npr.: (1) špiljski lavovi; (2) pantere; (3) medvjedi; (4) špiljske hijene. Ima i crteža nosoroga od kojih je jedan u ovom radu prikazan na slici 4 (Clottes, 2001.).



Slika 4. Crtež nosoroga u špilji Chauvet-Pont-d'Arc

I u ovoj je špilji, kao i u većini drugih, broj kompletnih ljudskih likova rijedak. Međutim, ima jedan parcijalni crtež „Venere“. Na zidovima su i otisci dlanova kao i apstraktni znakovi sastavljeni od linija i točaka. Posebnu pozornost izazivaju dva do sada neobjašnjena crteža u obliku leptira ili ptice. Neki istraživači smatraju da su ti crteži imali ritualnu ili magičnu ulogu.

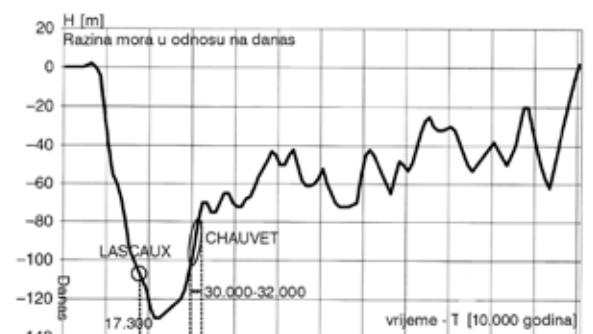
Umjetnici koji su stvarali u ovoj špilji koristili su tehnike crtanja koje su rijetko nađene u drugim špiljama. Mnoge od slika nacrtane su na zidove koji su prethodno ostrugani, očišćeni od naslaga i izbočina. Nacrtani su na zamjetno prethodno izglacanim površinama pažljivo pripremljenim za nanošenje pigmenta. Kakvoća slika je izvanredna. Neke od njih izgledaju kao trodimenzionalne te daju dojam kretanja pojedinih životinja. Kompozicija slika dokazuje da se radi o vrhunskim umjetničkim djelima, što se može jasno uočiti iz slike 4 i 5 (Clottes, 2001.).



Slika 5. Crtež skupine konja u špilji Chauvet-Pont-d'Arc

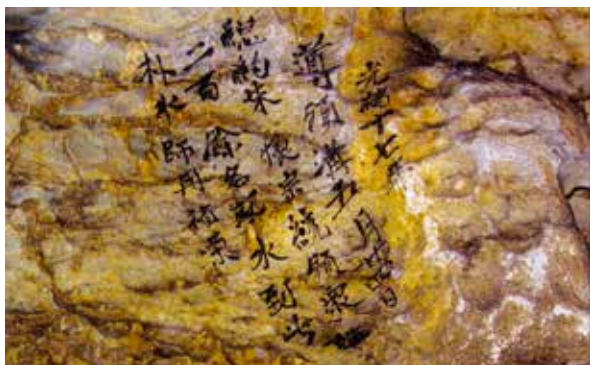
Konzultirajući brojnu literaturu o ove dvije špilje autor ovog rada nije naišao na pokušaj interpretacije i povezivanja crteža životinja s klimatskim prilikama koje su vladale u doba kad su one nastale. To samo po sebi ne znači da takovih analiza nema. Ono što intrigira je činjenica da su slike u špilji Lascaux nastale u doba oko 4 tisuće godina poslije pojave maksimuma posljednjeg ledenog doba koje je bilo prije oko 21.000 godina, dok su crteži u špilji Chauvet-Pont-d'Arc datirane više od 10.000 godina i prije njegove pojave. Lokacije špilja su relativno blizu te se razumnom čini pretpostavka da su klimatski uvjeti u oba spomenuta razdoblja na oba lokaliteta bili slični.

Na slici 6 nacrtane su relativne promjene razina mora, izražene u metrima, u posljednjih 120.000 godina u odnosu na današnje stanje. Morska razina u oba slučaja je bila znatno niža (reda veličine od 80 do 110 m) od one današnje, a klima je u oba razdoblja bila znatno hladnija. Procijenjeno je da su u oba razdoblja temperature bile niže od današnjih za oko 10 °C. Stručnjacima (biolozima, geolozima, antropolozima i klimatolozima) ostaje objasniti kako su na tim lokalitetima mogle živjeti životinje koje danas žive u regijama s vrućom klimom (npr. nosorogi) ili treba na osnovu tih crteža zaključiti kakve su klimatske prilike tada vladale na tom prostoru. Činjenica je da je otkrićem i analizom crteža i drugih artefakata ne samo u ove dvije špilje dobiveno mnogo odgovora, ali su i otvorena brojna pitanja na koje će interdisciplinarna znanost tek trebati naći točne i pouzdane odgovore.



Slika 6. Grafički prikaz promjene razina mora u posljednjih 120.000 godina u odnosu na današnje stanje izraženih u metrima. Oznaka su i razdoblja u kojima su nastali crteži u špiljama Lascaux i Chauvet-Pont-d'Arc

3. OPISI SUŠA NA ZIDOVIMA DAYU ŠPILJE U KINI

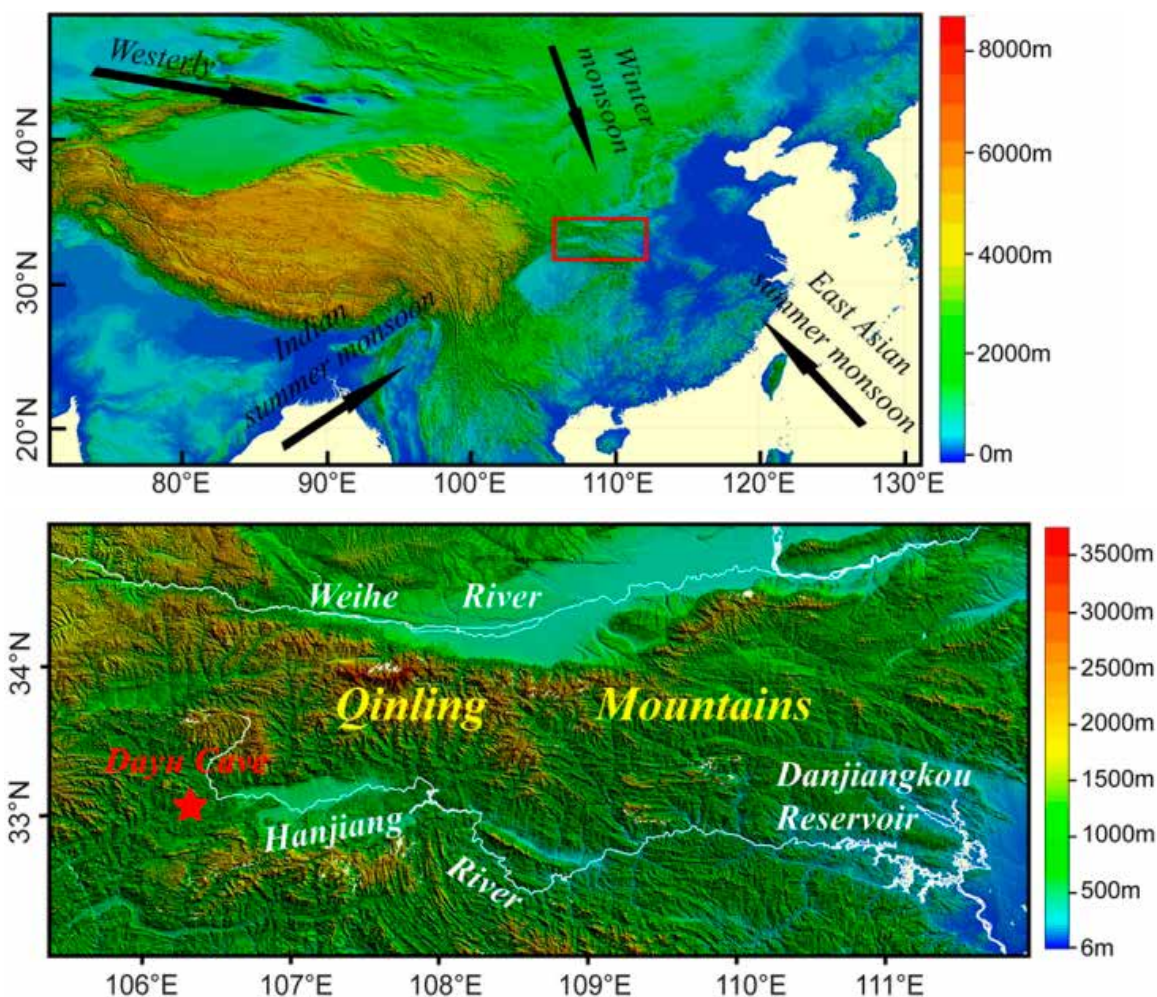


Slika 7. Fotografija jednog od 70 zapisa u špilji Dayu

Na slici 7 je prikazana fotografija jednog od 70 zapisa (na kineskom jeziku) pronađenih na zidovima špilje Dayu (Wendel, 2015.). U njemu piše: „Dana 24. svibnja 17. godine razdoblja vladavine cara Guangxu, dinastije Quing, lokalni vlastodržac Huaizong Zhu doveo je u špilju više od 200 ljudi da zahvate vodu. Tijekom ceremonije gatalac Zhenrong Ran je molio da padne kiša.“ U špilji se nalazi i sljedeći zapis: „Dana 8. lipnja 46. godine razdoblja vladavine cara Kanqxi, dinastije Quing,

guverner distrikta Ninqqiang je došao u špilju moliti da padne kiša.“ Iz dva navedena zapisa moguće je zaključiti da su špilje služile kao mjesta religijskih obreda, ali za hidrologe je mnogo značajnije da je u njima moguće naći zapise o pojavama suše u tim regijama. Zapisi u špilji su zabilježili da „planine nariču zbog suše“, a zabilježeno je da se tijekom suša javljao kanibalizam. Analizom svih zapisa nađenih u Dayu špilji kineski znanstvenici su utvrdili (http://bit.ly/SR_China_cave) pojavu sedam žestokih suša u sljedećim godinama: (1) 1528.; (2) 1596.; (3) 1707.; (4) 1756.; (5) 1839.; (6) 1891.; (7) 1894. Važno je napomenuti da povjesničarima čak pet od njih nije bilo poznato.

Na slici 8 ucrtana je lokacija špilje Dayu (33°08'N, 106°18' E) na južnim padinama planine Qinling u području Centralne Kine na nadmorskoj visini od 870 metara nad morem (Liangcheng Tan et al., 2015.). Duga je više od 2 km. Relativna vlaga u špilji viša je od 97 %, koncentracija CO₂ u njenom središnjem dijelu iznosi 1600 ppm, a temperatura zraka je 13 °C. Regionalna klima je dominantna pod utjecajem monsuna. Tijekom monsunskog razdoblja, od lipnja do listopada, padne više od 70 % od ukupne oborine koja prosječno godišnje iznosi oko 1100 mm (Liangcheng Tan et al., 2015.).



Slika 8. Situacije na kojima je prikazan položaj Dayu špilje u Kini

Propast brojnih prapovijesnih, ali i povijesnih kultura na cijeloj planeti uzrokovan je sušama. Dokazano je da su u prošlosti žestoke i dugotrajne suše koje su zahvatile velika područja bile jednim od glavnih uzroka propasti niza snažnih država, zajednica, civilizacija i kultura kao na pr.: (1) neolitičke kulture na sjeveru središnje Kine (prije oko 20.000 godina); (2) carstva Akkadian (oko 2350.-2150. godina prije nove ere); (3) egipatske civilizacije koja je gradila piramide; (4) dinastije Maya itd. Suše i njihova osnovna posljedica, nedostataka hrane, uzrokovale su socijalne krize koje su predstavljale okidač za pobune kojima su srušeni brojni moćni vladari i razorena carstva. Posljedice su nerijetko bile potpuno uništeni gradovi i infrastruktura koje su te civilizacije stvarale stoljećima.

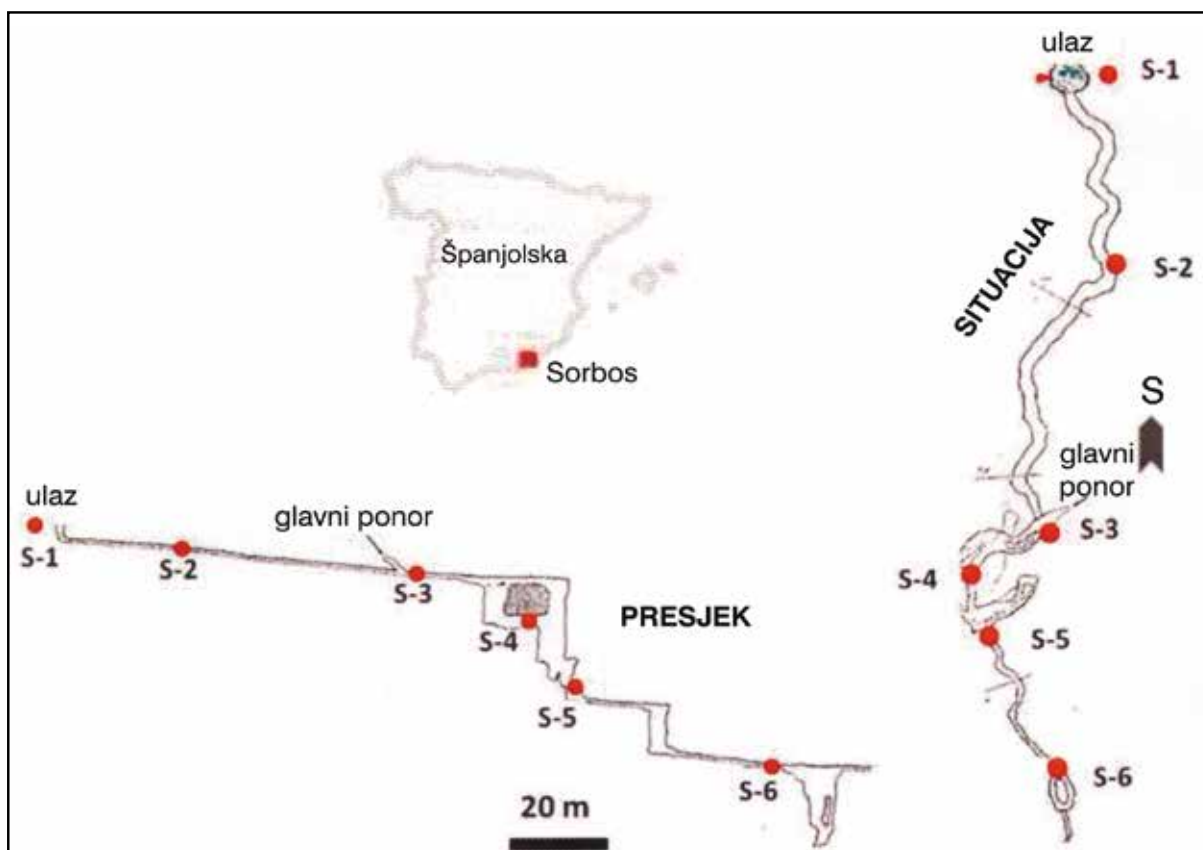
Ovom problematikom u posljednje se vrijeme vrlo intenzivno bave kineski stručnjaci. Jingyun Zheng et al. (2014.) su primjenom proksi metoda utvrdili pojavu oštre i dugotrajne suše u razdoblju 1627.-1643. Oni su iznijeli hipotezu da je ova suša bila glavni razlog propasti dinastije Ming (Bonacci, 2015.).

Na zidovima špilje Dayu su nađeni točni datumi i detaljni opisi posljedica sedam suša koje su harale tom regijom u razdoblju od 1520. do 1920. Točnost ovih zapisa potvrdile su i geokemijske analize špiljskih formacija (stalaktita i stalagmita). Koristeći geokemijske analize (izotopa ugljika – ^{13}C i kisika – ^{18}O) špiljskih formacija kineski su znanstvenici kreirali dugi vremenski

niz izmjene sušnih i vlažnih razdoblja u području u kojem se nalazi špilja Dayu. Oni su koristili i svojstva odnosa izotopa kisika $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ za razvijanje matematičkog modela koji pomaže u prognozi budućih varijacija oborina. Iako taj model ne može precizno odrediti vrijeme pojave suše u budućnosti, on je vrlo dobar indikator za detekciju mogućeg razvoja tog fenomena u budućnosti. Koristeći podatke o sušama prije 1900. godine, ovim je modelom predviđeno da će se u analiziranom području Kine snažne suše pojaviti oko 2030. godine.

Tome treba dodati fenomen klimatskih promjena i/ili varijacija kojima je predviđeno da bi količine oborina u analiziranoj regiji mogle biti znatno niže od uobičajenih. Sve prethodno navodi na to da je realna pretpostavka da bi se u budućnosti mogle pojaviti snažne suše koje bi ugrozile vrlo osjetljive i vrijedne ekosustave, utjecale na smanjenje poljoprivredne proizvodnje i ljudsko zdravlje, a mogle bi uzrokovati i socijalna i politička previranja u najmnogoljudnijoj državi svijeta.

Agrotehnička proizvodnja Kine ovisi o ljetnim monsunskim oborinama. Kako je već prethodno rečeno u razdoblju od pet kišnih mjeseci (od lipnja do listopada) padne prosječno više od 70 % od ukupnih godišnjih oborina. Povijest je dokazala da su društveni sustavi jako osjetljivi na suše, čini se mnogo više nego na ostale katastrofe. O tome očito trebaju mnogo ozbiljnije voditi računa i suvremeni „vladari“ ili „upravljajući“ svijeta (Bonacci, 2015.).



Slika 9. Presjek kroz i situacija špilje Covadura (Španjolska) s ucrtanim položajima šest lokacija na kojima je mjerena temperatura zraka u špilji

4. PROMJENE TEMPERATURE ZRAKA U ŠPILJI UZROKOVANA NAGLOM POPLAVOM U KRŠU

U prethodnom dijelu članka iznesene su informacije do kojih se došlo na osnovu zapisa nađenih u špiljama u kršu, a koje pružaju pouzdane podatke o hidrološkim i klimatskim promjenama koje su se zbile u bližoj i daljoj prošlosti, u doba kada nije postojao organizirani sustav mjerenja. U ovom će poglavlju biti govora o tome kako se dobro organiziranim mjerenjima klimatoloških parametara u špiljama u kršu može pomoći boljem razumijevanju složenih interaktivnih procesa između podzemnih i površinskih krških prostora uzrokovanih intenzivnim oborinama. Takav pristup bi možda mogao pomoći ne samo za bolje razumijevanje danas nedovoljno shvaćenih naglih promjena stanja u sustavu krša, nego eventualno i u boljoj prognozi naglih poplava („flash flood“) u realnom vremenu.

Teoretski, ali i praktični vidovi specifičnog ponašanja naglih poplava u kršu detaljno su opisani u radu Bonacci et al. (2006.). Naglašava se da se taj oblik vrlo razornih poplava sve češće javlja u cijelom svijetu te da štete koje on uzrokuje često poprimaju dramatične dimenzije. U tom smislu treba samo podsjetiti na poplavu koja se zbila početkom listopada 2015. na području francuske rivijere kada je poginulo 16 ljudi, a šteta je bila golema. Ti se nemili događaji sve češće javljaju i u našim krškim terenima, osobito onim priobalnim. Čitatelje se podsjeća i na poplavu grada Vodica početkom listopada 2015. godine. Isti priobalni gradić je bio poplavljen i u rujnu, godinu dana ranije.

U ovom će poglavlju biti opisan slučaj nagle poplave u kršu koja se 28. rujna 2012. dogodila na jugoistoku Španjolske na području krša u regiji Sorbas. Taj je dan tijekom dva sata palo više od 150 mm kiše što je uzrokovalo naglu poplavu koja je izazvala smrt desetorice ljudi i ogromnu materijalnu štetu. Na slici 9 ucrtni su presjek kroz i situacija špilje Covadura (Španjolska) s naznačenim položajima šest lokacija na kojima je mjerena temperatura zraka u špilji (Gázquez et al., 2015.).

Kontinuiranim mjerenjima temperature zraka na tih šest lokacija u špilji ustanovljeno je da je tijekom tog ekstremnog događaja temperatura zraka u špilji naglo narasla na raznim mjestima između 0,9 °C i 4,1 °C. Važno je naglasiti da su senzori za mjerenje temperature zraka u špilji bili locirani na različitim dubinama ispod površine terena. Prvi je senzor (S-1) bio lociran na dubini od tek nekoliko metra, dok je zadnji (S-6) bio 85 m ispod površine terena. Promjenu mikroklima u špilji uzrokovao je prodor vode u nju, ali i naglo podizanje razine podzemne vode, koja na žalost u ovom slučaju nije mjerena. Voda je u špilju s površine prodirala kroz jedan glavni ponor označen na slici 9, te istodobno kroz velik broj sekundarnih manjih krških pukotina na površini terena.

Gázquez et al. (2015.) su ustanovili da između vremena pojave maksimalnog intenziteta oborine i pojave

maksimalnih vrijednosti temperature zraka u špilji prođe između 5 i 6 sati. Reakcije pojedinih senzora temperature bile su različite po veličini, ali sličnog ponašanja tijekom vremena. Najmanji porast temperature zraka u špilji od samo 0,9 °C opažen je na senzoru S-1 koji je lociran tek nekoliko metara ispod površine terena u blizini glavnog ulaza u špilju. Najveći porast temperature zraka u špilji od 4,1 °C opažen je na senzoru S-5 koji je lociran na dubini od oko 60 m ispod površine terena.

Kiša slabijeg intenziteta je u analiziranoj regiji padala 10 sati prije pojave nagle poplave, a temperatura u špilji se nije ni minimalno mijenjala niti tijekom tih 10 sati kao niti tijekom 20 prethodnih dana. Prodiranje vode u špilju kroz glavni ponor prestalo je par sati poslije padanja kiše. Bilo je potrebno između 60 do 80 sati da se na pojedinim lokacijama temperatura zraka vrati na vrijednost koja je bila prije padanja intenzivnih oborina. Prethodno opisane analize ukazale su kako kontinuirani monitoring temperature zraka (ali vrlo vjerojatno i niza drugih klimatoloških parametara) može biti od velike pomoći za razumijevanje učinka naglih poplava na podzemni dio krških sustava (Gázquez et al., 2015.).

5. ULOGA ŠPILJA U PLANETARNIM ISTRAŽIVANJIMA

Značajna uloga špilja prepoznata je u posljednje vrijeme i u planetarnim istraživanjima. Prvi skup vezan s tom problematikom održan pod nazivom „The First International Planetary Cave Research Workshop: Implications for Astrobiology, Climate, Detection, and Exploration“ (Prva međunarodna radionica za istraživanje planetarnih špilja: utjecaj na astrobiologiju, klimu detekciju i korištenje) održan je od 25. do 28. listopada 2011. u National Cave and Karst Research Institute u Carlsbad-u (New Mexico, SAD). Sljedeći i mnogo veći skup koji je iz međunarodne radionice prerastao u međunarodnu konferenciju pod nazivom „The 2nd International Planetary Caves Conference“ (Druga međunarodna konferencija o planetarnim špiljama) održan je od 20. do 23. listopada 2015. u Flagstaff (Arizona, SAD).

U okviru rada ove konferencije razmatrane su sljedeće teme: (1) oblici slični špiljama na Mjesecu i Marsu; (2) vrste speleoloških struktura koje bi se mogle susresti na drugim planetima; (3) mogućnost istraživanja podzemnih nepostojanih („volatile“) organskih spojeva i bioloških znakova; (4) pristup i istraživanje robotima; (5) tehnologije neophodne za istraživanje i boravak ljudi u planetarnim špiljama.

Namjera ovog međunarodnog skupa bila je potaknuti suradnju među znanstvenicima koji se bave širokim spektrom sličnih istraživanja na planetima u našem sunčevom sustavu i istraživanjima na Zemlji. Naglasak je stavljen na definiranje i kategoriziranje mehanizama formiranja špilja, njihovih mogućih astrobioloških uloga s posebnim naglaskom na funkcioniranje i pružanje

podrške biodiverzitetu. U tom su smislu izučavana svojstva špiljske mikroklima kao bitnog preduvjeta za formiranje staništa za razvoj različitih bioloških vrsta. Osim toga intenzivirani su napor u pronalaženju lokacija špilja na planetima, njihovog istraživanja i kartiranja s posebnim naglaskom na otkrivanje špilja s ledom.

Dosadašnja istraživanja potvrdila su postojanje više od 200 špiljama nalik oblika na Mjesecu i više od 2000 takvih oblika na Marsu. Slične su strukture (otvori i raspukline povezane s lećama zaledene vode) otkrivene i na mjesecima koji kruže oko Saturna, Jupitera i Neptuna. Nedavno su otkrivena dva moguća kriovulkanska otvora na Plutonu (Wynne et al., 2016.). Kriovulkan ili hladni vulkan se naziva i ledeni vulkan. Iz njegovog otvora na površinu izbijaju tvari pri vrlo niskim temperaturama.

Izučavanje i pronalaženje špilja na planetima, kao i drugih vrsta otvora koji se nalaze na zaleđenim mjesecima, od posebnog je značenja stoga jer predstavljaju ciljeve visokog prioriteta u istraživanjima sunčevog sustava. Radi se o potencijalno mogućim prostorima u kojima bi u budućim misijama ljudi mogli biti smješteni ili bi se u njih poslali roboti koji bi ih trebali detaljno istražiti. Špilje na Marsu omogućavaju slobodan pristup u njegov potpovršinski dio bez potrebe skupih i neizvjesnih bušenja. Time je omogućeno jednostavnije istraživanje mogućeg postojanja životnih oblika, ali i pronalaženje značajnih rezervi vode ili leda za potrebe korištenja od strane astronauta. U cilju ispunjavanja ovih zadataka u opservatoriju Lowell (Flagstaff-Arizona, SAD) je formirana grupa od 40 istraživača koji pokrivaju najrazličitije vidove ove složene i interdisciplinarnе problematike (<http://bit.ly/PlanetCaves2>).

U prvoj fazi naglasak je stavljen na poboljšanje mogućnosti istraživanja planetarnih špilja korištenjem robota. Inženjeri su na prethodno spomenutoj konferenciji u Flagstaffu izvijestili o prototipu robotičke tehnologije razvijenom isključivo za potrebe izučavanja planetarnih špilja. Astrobiolozi opremaju te robote senzora koji će biti u mogućnosti detektirati postojanje života u špiljama, prije svega mikroorganizama.

Pažnja je posvećena izučavanju procesa utjecaja vulkana te plime i oseke na razvoj špilje. Na Titanu, koristeći radarske snimke, znanstvenici pokušavaju identificirati

područja na kojima dolazi do formiranja depresija i špilja. Proučavanje stvaranja špilja na planetima kao i razvoja novih tehnologija njihovog otkrivanja nalazi se u fokusu recentnih planetarnih istraživanja. Primjera radi, navodi se da se pokušava otkriti postoje li na krateru na Marsu ulazi u špilje za koje se pretpostavlja da se nalaze ispod njegove površine.

Sve što je prethodno izneseno treba staviti u kontekst činjenice da su NASA, kao i neke privatne američke kompanije, (a zasigurno i Rusija iako se o tome zna vrlo malo ili ništa), najavile da za dvadesetak godina namjeravaju poslati čovjeka na Mars. Očito je da će se ova istraživanja u bliskoj budućnosti sve više intenzivirati te nam ostaje da pažljivo pratimo ove uzbudljive događaje koji će zasigurno iznjedrili brojna nova saznanja vezana ne samo za špilje.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno iznesenog (što predstavlja tek vrlo mali dio od onoga što je do sada otkriveno) čini se da je moguće zaključiti da špilje, a osobito one u kršu kojima obiluje naša zemlja, kriju još brojne tajne koje tek trebaju biti otkrivene. Sve te informacije mogle bi biti od velike pomoći ne samo u razumijevanju prošlosti već, kako se iz 5. poglavlja ovog rada vidi, i za budućnost.

Kako je prethodno opisano, sveobuhvatna istraživanja u špiljama mogu imati važnu ulogu za shvaćanje i objašnjavanje promjena i varijacija klime u prapovijesti. Instaliranje suvremenih instrumenata za kontinuirani monitoring brojnih klimatskih, hidroloških, hidrogeoloških, ekoloških i drugih parametara u špiljama moglo bi biti od pomoći i za ublažavanje rizika od naglih poplava u kršu. Treba imati na umu da se ova ugroza sve češće i sve razornije javlja u područjima pokrivenim karbonatnim naslagama kako u cijelom svijetu tako i u našoj zemlji. Što se Hrvatske tiče, sjetimo se poplave u zaljevu Marina 6. prosinca 2004. godine (Bonacci et al. 2006.) i osobito poplava Vodica koje su se zbile u nedavnoj prošlosti dva puta: (1) 11. rujna 2014.; (2) 14. listopada 2015. godine. Vrijeme je da se rješavanju ove problematike kod nas pride mnogo organiziranije, sveobuhvatnije i sustavnije. ■

LITERATURA

- Bahn, P.G. (2004.): Art: cave art in Europe. U: Gunn, J. (urednik) *Encyclopedia of caves and karst science*. Fitzroy Dearborn, New York. 90-91.
- Bernardik, R. (2004.): Art: cave art in Australasia. U: Gunn, J. (urednik) *Encyclopedia of caves and karst science*. Fitzroy Dearborn, New York. 88-90.
- Bonacci, O. (2015.): Suše - nekoć i danas. *Hrvatske Vode*, 23 (92):35-43.
- Bonacci, O.; Ljubenković, I., Roje-Bonacci T. (2006.): Karst flash floods: an example from the Dinaric karst (Croatia). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6 (2):195-203.
- Clottes, J. (2001.): *La Grotte Chauvet. L'art des origines*. Seuil Edition, Paris.
- Gázquez, F., Calaforra, J.M., Fernández-Cortés, Á. (2015.): Flash flood events recorded by air temperature changes in caves: a case study in Covadura Cave (SE Spain). *Journal of Hydrology*. (u tisku).
- Goldberg, P.; Bar-Yosef, O. (2005.): Cave dwellers in the Middle East. U: Culver, D.C.; White, W.B. (urednici)

- Encyclopedia of caves*. Elsevier, Amsterdam. 85-89.
- Jingyun Zheng, Lingbo Xiao, Xiuqi Fang, Zhixin Hao, Quansheng Ge, Beibei Li. (2014.): How climate change impacted the collapse of the Ming dynasty. *Climatic Change*, 127:169-182.
- Kierman, K. (2004.): Religious sites. U: Gunn, J. (urednik) *Encyclopedia of caves and karst science*. Fitzroy Dearborn, New York. 622-625.
- Lacanette, D; Malaurent, P; Caltagirone, J.P; Brunet, J. (2007.): Etude des transferts de masse et de chaleur dans la grotte de Lascaux: le suivi climatique et le simuler. *Karstologia*, 50: 19-30.
- Liangcheng Tan, Yanjun Cai, Zhisheng An, Hai Cheng, Chuan-Chou Shen, Sebastian F. M. Breitenbach, Yongli Gao, R. Lawrence Edwards, Haiwei Zhang, Yajuan Du (2015.) A Chinese cave links climate change, social impacts, and human adaptation over the last 500 years. *Scientific Reports*, 5, Article number: 12284.
- McCully, E.A. (2010.): *The secret cave: discovering Lascaux*. Farrar, Straus and Giroux (BYR).
- Nomade, S; Genty, D; Sasco, R; Scao, V; Feruglio, V; Baffier, D; Guillou, H; Bourdier, C; Valladas, H; Reigner, E; Debard, E; Pastre, J.-F; Jean-Michel Geneste, J.-M. (2016.): A 36,000-year-old volcanic eruption depicted in the Chauvet-Pont d'Arc Cave (Ardèche, France) *PlosOne* 11(1)
- Ozimec, R; Bedek, J; Gottstein, S; Jalžić, B; Slapnik, R; Bilandžija, H. i sur. (2009.): *Crvena knjiga špiljske faune Hrvatske*. Ministarstvo kulture Republike Hrvatske, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
- Shaw, T. (2004.): Archeologists. U: Gunn, J. (urednik) *Encyclopedia of caves and karst science*. Fitzroy Dearborn, New York. 76-80.
- Simek, J.F. (2004.): Archeology of caves: history. U: Gunn, J. (urednik) *Encyclopedia of caves and karst science*. Fitzroy Dearborn, New York. 80-82.
- Stone, A. (2004.): Art: cave art in the Americas. U: Gunn, J. (urednik) *Encyclopedia of caves and karst science*. Fitzroy Dearborn, New York. 91-94.
- Wendel, J. (2015.): *Chinese cave inscriptions tell woeful tale of drought*. EOS, 96 (18):4.
- Wynne, J.J; Titus, T; Boston, P.J. (2016.): Planetary caves' role in astronaut bases and the serche for life. *EOS*, 97 (8):10.
- <http://bit.ly/PlanetCaves2> (posjet 8. lipnja 2016.)
- http://bit.ly/SR_China_cave (posjet 23. listopada 2015.)