

HRVATSKI PLANINARSKI SAVEZ
KOMISIJA ZA SPELEOLOGIJU



Opasnosti u onečišćenim speleološkim objektima

Instruktorski rad

Ruđer Novak

Zagreb, siječanj 2026.

Sadržaj

Predgovor	1
1. Uvod	2
2. Minsko-eksplozivna sredstva.....	5
2.1. Zašto u podzemlju pronalazimo minsko-eksplozivna sredstva?	6
2.2. Koliko je oružja u našim jamama?	7
2.3. Tko je nadležan za problem minsko-eksplozivnih sredstava u podzemlju?	10
2.4. Vrste minsko-eksplozivnih sredstava u našem podzemlju.....	11
2.5. Preporuke u slučaju pronalaska minsko-eksplozivnih sredstava u speleološkom objektu.....	14
3. Plinovi	16
3.1. Ugljikov dioksid.....	17
3.2. Metan, radon i ostali plinovi.....	20
3.3. Mjerenje sastava plinova u podzemlju.....	22
4. Strvine.....	25
4.1. Legalno zbrinjavanje životinjskih ostataka	26
4.2. Životinjski ostatci kao izvor zaraznih bolesti	27
4.3. Preporuke u slučaju pronalaska strvina u speleološkom objektu	31
5. Literatura.....	32

Sažetak



U našim krškim jamama divlji deponiji otpada relativno su česta pojava pa će se svatko tko se odluči baviti speleologijom, prije ili kasnije naći u onečišćenoj špilji ili jami. Smisao ovog rada je podučiti sve speleologe, a posebno polaznike speleoloških škola, o tome kako razmišljati i kako izbjeći opasnosti koje vladaju na ovim mjestima. Po planu izvođenja speleoloških škola Komisije za speleologiju HPS-a, ova tema dosad nije posebno obrađena. Ipak, posljednjih godina svjedoci smo značajno pojačanog interesa za onečišćene speleološke objekte te u speleološkoj zajednici postoji velika potreba za edukacijom ovog tipa.

Onečišćena jama ipak je „samo jama“, izgleda nam poznato pa se u njoj možemo osjećati sigurno, kretati se opušteno i ubrzo zaboraviti da su ova mjesta često vrlo opasna i prepuna nepoznanica. Daleko najveća pogibelj, i ona koja zasjenjuje ostale opasnosti, prijeti od zaostalih minsko-eksplozivnih sredstava. Slijede je povišene podzemne koncentracije plinova koji mogu imati štetne učinke na organizam, te na kraju i opasnost od prijenosa zaraznih bolesti sa strvina na čovjeka. Jasno je da svaka od spomenutih ugroza ima brojne podvarijante i da nije uvijek jednostavno razlučiti ono bitno od nebitnog. Ipak, ključan prvi korak za izbjegavanje opasnosti jest prepoznati opasnu situaciju i procijeniti rizik za zdravlje i život sudionika istraživanja. U ovom radu zato donosim provjerene informacije o opasnostima jamskih (i špiljskih) deponija. Pritom će fokus rada biti na informacijama koje su upotrebljive u najvećem broju slučajeva, a svjesno ću izostaviti razne teoretske mogućnosti i rubne scenarije na granici mogućeg. Također, na kraju svakog poglavlja donosim jasne preporuke o tome kako izbjeći mnoge opasne situacije i kako se ponašati jednom kad se u njima nađete.

Predgovor

Godinama izbjegavam pisanje instruktorskog rada. Uz razne upotrebljive izgovore, glavni razlog je što nisam htio ponovo prežvakati temu onečišćenja krških špilja i jama. No organizacija nedavnog stručnog seminara o opasnostima u onečišćenim speleološkim objektima bacila mi je novo svjetlo na stari problem. Trebao sam čuti istu stvar nekoliko puta da prihvatim ono što već dugo znam, a to je da olako shvaćam(o) nepoznanice i opasnosti koje vrebaju u onečišćenim špiljama i jamama.

Javna percepcija programa Čisto podzemlje je da se velikim dijelom bavimo čišćenjem otpada iz krškog podzemlja. Upravo zbog toga, na početku ću razjasniti što ovaj instruktorski rad nije. Ovo nije vodič za čišćenje otpada iz jama, niti je vodič kroz projekte koji se bave komercijalnim poslovima čišćenja podzemlja. Možda i najvažnije - ovo nije niti skup preporuka za sigurnu organizaciju onoga što zovemo "samo volonterska akcija", a ponekad i "ozbiljni projekti" sanacije divljih deponija u podzemlju... Tvrdim da u mnogim situacijama ne postoje sigurni projekti čišćenja otpada iz špilja i jama. Zbog toga članovi speleoloških udruga, bez obzira na osobno speleološko iskustvo, ne bi trebali sudjelovati u ovakvim akcijama, nego taj posao prepustiti iskusnim, visoko educiranim i na odgovarajući način opremljenim profesionalnim radnicima.

Opasnosti jamskih divljih deponija do nedavno su bile u domeni *nepoznatih nepoznanica*, najopasnijoj domeni u kojoj nismo svjesni koliko toga ne znamo. Ipak, u desetak godina, kao speleološka zajednica prikupili smo i podijelili puno iskustva i podataka pa je prirodno da prilagođavamo stavove naučenim lekcijama. Kao istraživači trebamo biti spremni promijeniti mišljenje suočeni s novim činjenicama, jer nezdravo je držati se neprovjerenih istina i slijepo gurati po principu "sve je dobro dok je sve dobro". Ovaj instruktorski rad pokušaj je da svijest o opasnostima u zagađenim jamama dovedemo do statusa *poznatih nepoznanica*. Moramo shvatiti i prihvatiti činjenicu da o rizicima ne znamo dovoljno. U jami punoj otpada vidimo samo vrh ledene sante, a ne znamo što se sve krije ispod površine. Često mehanički ponavljamo da ljudi u jame bacaju svašta, a podaci uvjerljivo tvrde da je to "svašta" u pravilu eufemizam za ono najgore i najopasnije.

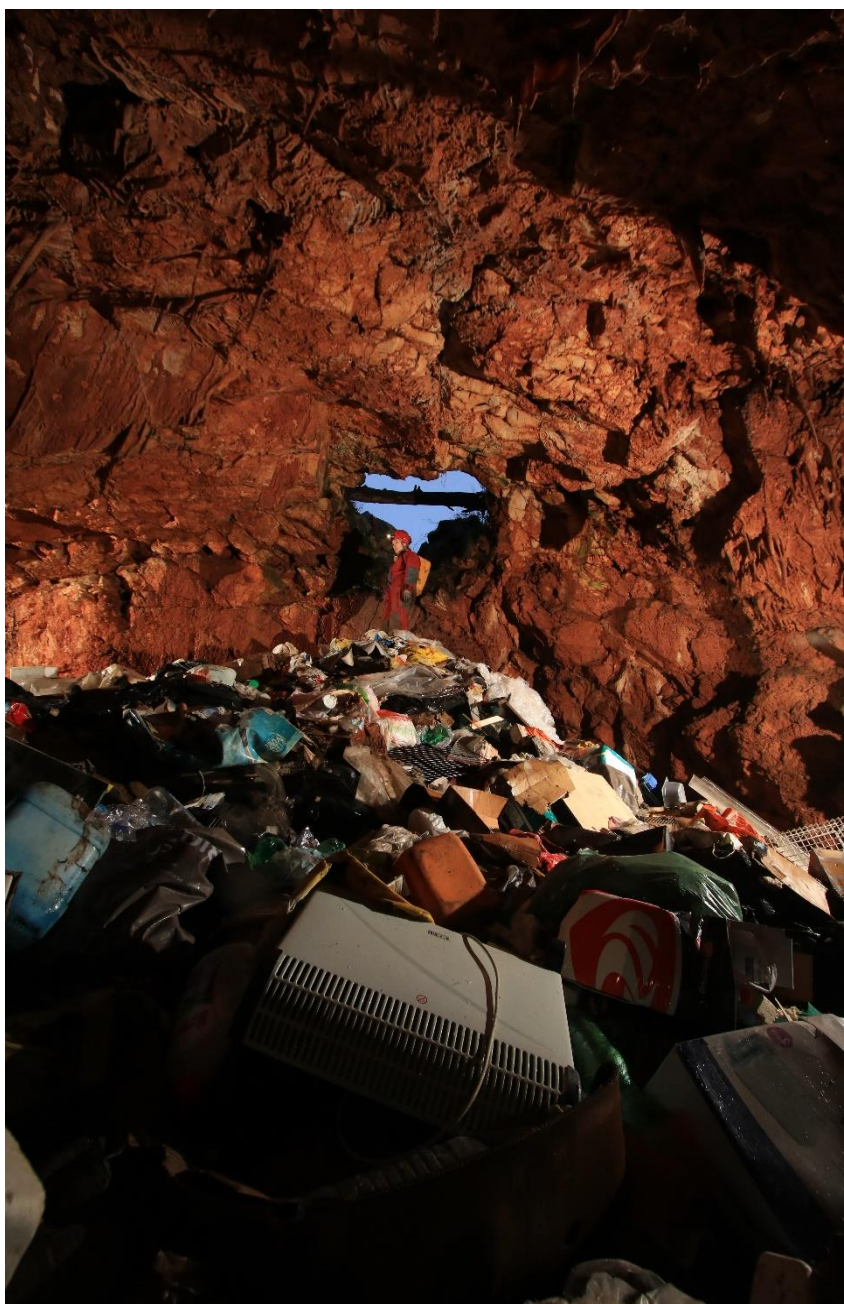
Nove generacije naših "školaraca" na predavanjima o ovoj temi rijetko čuju pouzdane informacije. Zato je osnovna motivacija za pisanje ovog rada, ali i prezentacije koja ide uz njega, da ovi materijali posluže za edukaciju novih speleologa pripravnika. Uz školarce, nadam se da će ovaj tekst poslužiti i dugogodišnjim speleolozima da, kao i ja, neka vlastita razmišljanja stave u čvrste okvire i smanje prostor za pretpostavke i odokativne procjene.

1. Uvod

Poglavlje koje se bavi opasnostima u speleologiji staro je koliko i prvi pisani speleološki priručnik pa ovdje nema potrebe zamarati se nabranjem mogućih opasnih scenarija. Za sigurno istraživanje špilja i jama najvažnije je baratati činjenicama, a onda i racionalno razmišljati i procijeniti koje su opasnosti u nekom objektu najveće, a koje možemo potpuno zanemariti. Jasno je da sav naučeni opći *speleološki bonton* vrijedi i u onečišćenim jamama, no veliki divlji deponij na dnu jame krije specifične opasnosti koje su glavna tema ovog rada.

Prva stvar koju bi se trebali zapitati jest: “Odnosi li se uopće ova priča o opasnostima jamskih smetlišta na mene?” Podaci objavljeni na državnom katastru podudaraju se s podacima Čistog podzemlja: u Hrvatskoj je otpadom zagađeno oko 10 do 15 posto svih poznatih špilja i jama (URL 1, 2). Statistika neumoljivo tvrdi da je velika vjerojatnost da ćemo na otpad naletjeti u svakoj desetoj jami. Ovisno o regiji u kojoj se špiljari, netko će tu imati više sreće, a netko manje, no prije ili kasnije, svi ćemo se naći u situaciji da procjenjujemo rizike stojeći na hrpi otpada u mraku (Slika 1). Na mnoga ovakva mjesta otpad se baca desetljećima pa se u tim objektima stvaraju slojevi pomiješanih materijala koji mogu biti više metara duboki. Nama je vidljiv samo posljednji sloj ubačenih materijala, a o tome što je bačeno prije deset godina pa i o rizicima kojima smo izloženi možemo samo nagađati. Što učiniti u ovoj situaciji?

Najvažnija vještina jest procijeniti rizik od ozbiljnijih prijetnji koje nije lako ublažiti ili otkloniti. Tri su osnovne opasnosti koje



Slika 1. Otpad u Špilji u Potomju na Pelješcu. (Foto: Tin Rožman)

prijete speleolozima koji istražuju ili posjećuju onečišćene speleološke objekte: minsko-eksplozivna sredstva (MES), nepoznat sastav plinova u atmosferi i opasnost od prijenosa zaraznih bolesti sa životinjskih strvina. MES je bez daljnje najveća opasnost za ljudski život, a sam spomen vojne opreme odbačene duboko u slojevima otpada izaziva jezu i nelagodu. U slučaju detonacije nekog eksplozivnog sredstva u podzemlju može nastradati cijela skupina ljudi, a teške tjelesne ozljede ili smrt nastupaju trenutačno. Opasnost od trovanja plinovima ipak nije toliko ekstremna jer će nam vlastito tijelo najčešće pravovremeno dati znakove upozorenja da je vrijeme za napustiti objekt. Konačno, opasnost širenja zaraznih bolesti sa strvina jest opasnost koja će se manifestirati tjednima nakon izlaganja patogenim mikroorganizmima.

Zato je prilikom spuštanja u jamu punu otpada, i to značajno prije prvog dodira s tlom ili onečišćenom policom u objektu, vrijeme za prvu procjenu situacije. Viseći sa špage speleolog koji se prvi spušta ima pregled nad prostorom u objektu, te mora procijeniti je li silazak u jamu siguran. Svaka naznaka vojne opreme, uključujući odjeću, kacige, kutije, sanduke ili druge predmete karakteristične sivo-maslinaste boje ili maskirnog uzorka treba biti znak za izuzetan oprez i odmjerene pokrete prilikom svakog kretanja u kontaminiranom području. Čak i čišćenje vertikale, odnosno bacanje kamenja na dno, sa sobom povlači određene rizike. Svaki uočeni komad oružja, streljiva ili MES-a, jasan je znak da je potrebno bez odgađanja napustiti speleološki objekt. Zapamtite, kada među predmetima u otpadu ugledate jedno eksplozivno sredstvo, drugo vam se možda nalazi pod nogama, jer neposredno iskustvo pirotehničara pokazuje da se u jamama vrlo rijetko pronalazi samo jedno eksplozivno sredstvo. Ako na površini otpada niste primijetili MES, druga stvar o kojoj treba razmišljati je koliko je star otpad bačen u jamu. Svježi otpad, pogotovo organski materijal (biljni i životinjski ostatci) nosi značajno veću opasnost od razvijanja štetnih koncentracija plinova, a neuobičajeni mirisi nikako se ne smiju ignorirati. Osjećaj ustajalog zraka i zadihanost pri kretanju jedni su od prvih znakova nakupljanja ugljikovog dioksida, koji za speleologe predstavlja najveću opasnost. Sjetite se da je u speleološkim objektima u blizini mora, i to osobito ljeti, provjetravanje zraka smanjeno pa je i povišen rizik od trovanja štetnim koncentracijama svih plinova. Sustavna istraživanja koja bi utvrdila u kojim je speleološkim objektima kvaliteta zraka loša ne postoje pa se zasad moramo osloniti tek na pojedinačne rezultate koji ukazuju da problem povišenih koncentracija raznih plinova postoji. Konačno, smrad svježih strvina bačenih u podzemlje vjerojatno ćemo osjetiti već na ulazu, pogotovo u ljetnim mjesecima (Slika 2). Ipak, treba znati da su mogućnosti prijenosa zaraznih bolesti vrlo ograničene, svakako manje od onoga što uobičajeno piše u speleološkoj literaturi ili se čuje u speleološkim krugovima. Najveća opasnost prijeti od svježih strvina ovaca zbog potencijalne zaraze Q-groznicom, no ona neće uzrokovati teže posljedice, pogotovo ako se reagira pravovremeno. Tek kada smo pregledom sa špage ustanovili da je okruženje sigurno, možemo nastaviti silazak u jamu. U ovakvim teško onečišćenim objektima treba izbjegavati

kretanje po otpadu što je često otežano ili nemoguće. Vrijede i općenite preporuke, kao što su nošenje čvrstih gumenih čizama ili gojzerica, kao i debljih gumenih rukavica radi zaštite od oštih staklenih i metalnih predmeta ili infektivnog medicinskog otpada koji je također potencijalni izvor zaraznih bolesti.

Realno gledajući, koncentriranje potencijalno štetnih plinova, kao i rizici koje nose strvine problemi su koje možemo većim dijelom ublažiti ili otkloniti, ako znamo potrebne informacije i pridržavamo se zdravorazumskih preporuka. Samo nesmotrena ili neinformirana osoba će se usred ljeta bezbrižno spustiti u jamu kraj mora koja je svježije obilato strvinište i uz to ima mali ulaz koji sprječava provjetravanje. Slično



Slika 2. Trogrlo špilja kod Drniša. Crne vreće od debele plastike često skrivaju bačene strvine. (Foto: Goran Rnjak)

tome, kretanje objektom za koji znamo da u sebi ima odbačena minsko-eksplozivna sredstva, potpuno je neprihvatljiv rizik – je li istraživanje neke bezimene jame vrijedno ugrožavanja ljudskih života? Ipak, iskustvo nam pokazuje da ovakve situacije vjerojatno nećemo nikad moći u potpunosti spriječiti... a svima onima kojima su opisani rizici neprihvatljivi, nadam se da će poslužiti informacije u nastavku ovoga rada.

2. Minsko-eksplozivna sredstva

2.1. Zašto u podzemlju pronalazimo minsko-eksplozivna sredstva?

Špilje su prirodni zakloni u koje je lokalno stanovništvo bježalo od pljačkaša i razbojnika ili koristilo kao skrivena, teško dostupna skloništa u vrijeme ratova. O tome i danas svjedoče mnoge špilje u kojima su pronađeni zidovi građeni kako bi se bolje prikrili i utvrdili obrambeni položaji (Božić, 2012; Raguž i sur., 2011). Uz lokalno stanovništvo, speleološki objekti također su zanimljivi vojsci kao obrambeni položaji ili skladišta opreme. Dobar primjer je jedan od elaborata koji opisuje 218 špilja i jama otoka Brača objavljen 1958. i 1959. godine. Ova istraživanja do danas čine najveće sustavno speleološko istraživanje na našim otocima, a provedena su po narudžbi Jugoslavenske narodne armije s ciljem da se ispituju mogućnosti upotrebe ovih speleoloških objekata za vojnu namjenu (Baučić, 1958; Baučić, 1959).



Slika 4. Smrtonosna talijanska minobacačka granata iz razdoblja Drugog svjetskog rata (Brixia 35) pronađena tijekom čišćenja otpada iz jame na obroncima Žumberačke gore. (Foto: Tomislav Guščić)

Područje Republike Hrvatske tijekom posljednjih 80 godina zahvaćeno je s dva velika oružana sukoba. Tijekom Drugog svjetskog rata (od 1941. do 1945.) ratna djelovanja su zahvatila gotovo cijelu današnju Hrvatsku, s velikim razaranjima i nebrojenim gerilskim borbama (Slika 4). Pola stoljeća kasnije, u vrijeme Domovinskog rata (od 1991. do 1995. godine) okupirana je otprilike četvrtina našeg teritorija, a mnoge bitke vodile su se upravo na krškim terenima koji obiluju speleološkim objektima. Jasno je stoga da su se u vrijeme ratova, poneki speleološki objekti koristili kao obrambene pozicije ili spremišta vojne opreme. Uz to, prilazni putovi pojedinim špiljama ponekad su bili zaštićeni postavljanjem mina kako bi se spriječilo da zalihe uskladištenih materijala padnu u neprijateljske ruke. Također, znaju se čuti i priče o odbacivanju oružja u jame prilikom povlačenja s određenih

položaja. Ova praksa sprječavala bi zarobljavanje vojne opreme, a uz to bi olakšala kretanje u hitnim situacijama. Osim u vrijeme rata, u speleološke objekte se oružje odbacuje i u doba poraća pa je to glavni razlog što u podzemlju često pronalazimo minsko-eksplozivna sredstva. Iako Ministarstvo unutarnjih poslova (MUP) kontinuirano provodi akciju dragovoljne predaje ilegalnog oružja bez sankcija „Manje oružja manje tragedija“, pojedine osobe svojim neodgovornim i nezakonitim ponašanjem i dalje ugrožavaju živote svojih sugrađana.

Zakonom o nabavi i posjedovanju oružja građana propisan je način legalnog posjedovanja oružja, a svako ilegalno posjedovanje podliježe kaznenom progonu (URL 3). Tko nađe oružje ili streljivo ili sazna za skriveno oružje ili streljivo, dužan je o tome odmah obavijestiti najbližu policijsku upravu ili policijsku postaju. Stoga apeliram na one koji u svojim domovima i dalje čuvaju ili skrivaju oružje ili minsko-eksplozivna sredstva da ih bez straha od sankcija i anonimno prijave policiji, a stručne službe policije potom će u civilu na siguran način preuzeti ova sredstva (zabranjeno ih je osobno donositi u policijsku postaju).

2.2. Koliko je oružja u našim jamama?



Slika 5. A. Tromblonska granata namijenjena ispućavanju puškom, pronađena u blatu na dnu jame u okolini Samobora (foto: Nikola Brdarić). B. Tromblonska granata. (Foto: Ilustracija)

Podaci objavljeni u bazi CroSpeleo, većinom se podudaraju s podacima baze Čisto podzemlje: speleolozi su primijetili MES u svakoj petoj onečišćenju jami (URL 2). Odabir riječi “primijetili” ovdje nije slučaj. Nažalost, potpuno je sigurno da se u jamama s otpadom često događa da nismo niti svjesni da se kraj nas, ili još gore - ispod nas, nalazi minsko-eksplozivno sredstvo. Stvarno stanje može se otkriti tek ako se otpad vadi iz jame, jer se vrlo često među otpadom pronađu oružje, eksplozivna sredstva ili njihovi dijelovi. Ovakvih je primjera mnogo, ali navest ću samo jedan – u prve tri akcije čišćenja otpada u organizaciji Čistog podzemlja 2015. godine, MES je pronađen u dva objekta. Iako je stvaran broj tih špilja i jama nepoznat, informirana procjena je da 30 do 50 % onečišćenih jama krije neku vrstu vojne opreme. Ponovit ću, postoji vrlo realna mogućnost da svaka druga jama s otpadom u sebi krije oružje i

minsko-eksplozivna sredstva. Razmjeri ovog problema do nedavno su nam bili nepoznati, a zbog toga su se speleolozi tijekom deset godina sustavnog čišćenja mnogo puta neplanirano izložili opasnosti. Iskustva su pokazala da mogućnost pronalaska MES-a značajno raste u objektima koji su teško onečišćeni desetinama kubika otpada. Kada se neki objekt sustavno koristi kao divlji deponij duže vremena, velika je vjerojatnost da su ljudi u njega prije ili kasnije ubacili oružje i eksplozivna sredstva. Ako se vojna oprema ne vidi na površini smeća, to ne znači da nećemo na nju naići u dubljim slojevima otpada. Zbog toga svaki speleološki objekt u kojem tlo prekrivaju veće količine nepreglednog otpada treba smatrati potencijalno opasnim mjestom u kojem je nužan krajnji oprez, ali i visoka educiranost o mogućim opasnostima koje se ovdje susreću. Uz predavanja na speleološkim školama, za sve speleologe važan je i novi Stručni seminar o opasnostima u onečišćenim speleološkim objektima koji se održava u organizaciji Komisije za speleologiju HPS-a.

Nažalost, niti jedna krška regija Hrvatske nije pošteđena ove opasnosti. Oružje i minsko-eksplozivna sredstva redovito se pronalaze i na područjima koja danas više ne povezujemo s ratnim djelovanjima. Tijekom uklanjanja otpada iz jama u okolini grada Samobora 2016. i 2025. godine, speleolozi su pronašli recentnu ručnu bombu i tromblon u području koje je bilo daleko od ratnih djelovanja. Koliko bi speleologa u polumraku uske jame u blatu prepoznalo tromblon iz razdoblja Domovinskog rata (Slika 5)? Nesreće su dosad izbjegnute pukom srećom i nije dopustivo da se čišćenje špilja i jama od otpada smatra „samo volonterskom akcijom“. Suprotno tome, radi se o vrlo kompleksnom poslu kojeg bi trebali obavljati osposobljeni i opremljeni profesionalni radnici.

U nekim slučajevima, MES je u jame ubačen prije osamdesetak godina, odnosno u vrijeme ili nakon Drugog svjetskog rata. Ako ste mislili da su zbog duljeg stajanja ta sredstva neaktivna i da je zbog toga



Slika 6. Desetljeća hrđanja na dnu jame ostavljaju trag na površini, no mehanizam aktivacije MES-a potpuno je očuvan. (foto: Ruđer Novak)



*Slika 7. Konstrukcija ručne granate M75.
(Foto: Pinterest)*

njima sigurno baratati, nažalost potpuno ste u krivu! Istina je upravo suprotna, minsko-eksplozivna sredstva napravljena su da traju, a upravo su njihovi upaljači (mekanizam pokretanja eksplozije) napravljeni najkvalitetnije. Eksplozivno sredstvo koje je stajalo u jami 80 godina, itekako je ubojito, a nažalost protokom vremena može postati još opasnije zbog truljenja pojedinih dijelova sigurnosnog mehanizma MES-a. Dodatan rizik je i u tome što vanjska površina granate ili nekog drugog sredstva tijekom vremena može zahrđati pa se ona bojom stapa s blatnom pozadinom i komadima drveta i kamenja koji su česti na dnu ulaznih vertikala (Slika 6). Također, činjenica da neki MES nije eksplodirao

prilikom bacanja u jamu ne znači ništa, jer udarci o stijene mogu oštetiti mehanizam osiguranja i učiniti ga još nestabilnijim. U pojedinim slučajevima, čak i najmanje pomicanje sredstva, pad kamena ili čak statički elektricitet mogu izazvati detonaciju. Nikada se ne smije zaboraviti da su minsko-eksplozivna sredstva napravljena samo s jednom funkcijom, a to je da se eksplozijom učini maksimalna šteta i ubije najveći broj osoba. Ova su sredstva punjena snažnim eksplozivima čija detonacija ubija ili ranjava na velikim udaljenostima. Jedan pogled na konstrukciju plašta ručne bombe M75 dovoljan je da se dobije dojam o šteti koju ova naprava može prouzročiti (Slika 7). Nakon detonacije, oko tri tisuće čeličnih kuglica u plaštu bombe ubijaju na udaljenosti od 12 do 18 metara, a teško ozljeđuju osobe u na udaljenosti od 30 do 54 metara od eksplozije (URL 4). Treba imati na umu još jednu sumornu činjenicu: speleologija je timska aktivnost i u podzemlju se nikad ne nalazimo sami, što znači da neodgovorno



Slika 8. Izuzetno opasan onečišćeni speleološki objekt u kojem je uz komade streljiva, tromblonsku granatu, ručnu granatu i drugo oružje, pronađeno je i improvizirano vojno sredstvo. Radi se o eksplozivnoj napravi pričvršćenoj na štap koja je namijenjena ispućavanju u daljinu pomoću luka. (Foto: MUP)

ponašanje jedne osobe može ugroziti život i zdravlje svih sudionika istraživanja (Slika 8). Učinak detonacije minsko-eksplozivnog sredstva u skučenom prostoru speleološkog objekta nije potrebno previše obrazlagati. Ako i dalje postoje dileme, sjetite se i toga da su jame ekstremno nedostupna područja - prosječno vrijeme potrebno samo za dolazak HGSS-a na speleološku intervenciju je pet do šest sati.

2.3. Tko je nadležan za problem minsko-eksplozivnih sredstava u podzemlju?

U skladu sa Zakonom, stručne službe MUP-a (policija i Hrvatski centar za razminiranje Ravnateljstva civilne zaštite) provode poslove uklanjanja minsko-eksplozivnih sredstava i njihovu neutralizaciju. Svi su građani dužni prijaviti nadležnoj policijskoj postaji saznanja o pronađenom oružju ili MES-u (Marijanović, 2021). Tijekom godina, a posebice provedbom programa Čisto podzemlje, razvila se dobra navika speleologa da pronalazak MES-a prijavljuju lokalnim policijskim postajama. Naglašavam da je potrebno prijaviti pronalazak svih vrsta oružja ili njihovih dijelova, uključujući i streljivo pa čak i ako se radi o jednom jedinom metku.

Iskustvo je pokazalo da "samo jedan metak" često može biti tek nagovještaj većih opasnosti koje se kriju u blatu, pod lišćem, kamenjem ili otpadom! Također, treba prijaviti i pronalazak nepoznatih predmeta vojnog podrijetla za koje se sumnja da su opasni (primjerice sanduka s vojnim oznakama, Slika 9). Prijava sumnjivih naprava vrlo je jednostavna i



Slika 9. Vojni sanduk pronađen tijekom čišćenja. Uvidom MUP-a utvrđeno je da je sanduk prazan. (Foto: Ruđer Novak)

bez ikakvih sankcija po prijavitelja, čak i ako se ispostavi da sumnjivi predmeti u jami nisu oružje ili eksplozivne naprave. Uz izravne prijave građana (speleologa), informacije o MES-u u podzemlju MUP-u su dostupne i putem Katastra speleoloških objekata Republike Hrvatske (URL 2). Predajom arhivskih podataka o speleološkim objektima u Katastar, speleološke udruge dužne su označiti da se u nekoj špilji ili jami nalaze minsko-eksplozivna sredstva. Iskustvo je pokazalo da se i u mnogim starijim zapisnicima mogu pronaći ove važne informacije, a njihova prijava je jedini način da zauvijek uklonimo ova sredstva iz našeg krškog podzemlja. Zato je kod posjećivanja poznatih speleoloških objekata potrebno u speleološkom katastru provjeriti njihovo stanje i po potrebi se informirati s nadležnom policijskom

upravom o statusu objekta. Zapamtite - svako minsko-eksplozivno sredstvo koje se propusti prijaviti nadležnim službama izravno ugrožava živote speleologa koji će nakon vas posjetiti objekt! Za sve nas koji se krećemo krškim podzemljem, važno je i u budućnosti održavati odnos međusobnog povjerenja i suradnje između MUP-a i speleoloških udruga.

Informacija o pronađenom MES-u u speleološkom objektu u pravilu će brzo stići do nadležne policijske uprave te će se objekt uvrstiti u njihov plan rada. Informaciju o provedenim aktivnostima moguće je lako dobiti upitom prema policijskoj postaji kojoj je prijavljen pronalazak MES. Međutim, ključno je naglasiti da dolazak i provedene aktivnosti stručnih službi MUP-a nikako ne znače da je jama u potpunosti očišćena od minsko-eksplozivnih sredstava! Naime, ukoliko se u objektu nalaze veće količine otpada, odnosno deblji slojevi nasipnog materijala, ova sredstva neće biti moguće uočiti ili pronaći. Sastav dubljih slojeva otpada potpuno je nepoznat, a iskustvo je pokazalo da su pronađena minsko-eksplozivna sredstva na površini vrlo često znak da ovih naprava ima i u dubljim slojevima. Ponavljam, stručna procjena govori da se čak u 50 % onečišćenih speleoloških objekata pronalaze i minsko-eksplozivna sredstva pa je aktivnosti speleoloških udruga potrebno prilagoditi ovoj realnosti.

2.4. Vrste minsko-eksplozivnih sredstava u našem podzemlju

U posljednjih desetak godina nadležne stručne službe MUP-a uklonile su MES iz oko 140 speleoloških objekata. Međutim, u pojedine se lako dostupne jame oružje i MES ubacuju gotovo redovito, pa su na nekim lokacijama intervencije odrađene više puta. Jasno je da pritom nema pravila o količini sredstava koja se pronađu pa je to ponekad jedna naprava, a ponekad njih više desetaka. Sredstva koja pronalazimo u jamama diljem našeg krša možemo vremenski u grubo podijeliti na dvije osnovne kategorije. Novije oružje, ono iz razdoblja Domovinskog rata, pronalazimo po čitavoj krškoj Hrvatskoj (Slike 10 i 11). Oružje iz vremena Drugog svjetskog rata većinom je proizvedeno i ubačeno u jame prije 80 i više godina, a najčešće ga pronalazimo u speleološkim objektima u Istri, na Kvarneru i okolici (Slike 12 i 13). U pojedinim teško zagađenim jamama na površini se nalaze granate stare tridesetak godina, dok se u dubljim slojevima otpada otkrivaju sredstva bačena sredinom prošlog stoljeća.

Raznolikost oružja koje je bačeno u podzemlje u ovom dugom vremenskom periodu je golema. Pokušamo li nabrojati razne vrste oružja (granate, trombloni, mine, topničko streljivo, puške, minobacači...), njihove mnoge varijante pa i improvizirana sredstva korištena u ratu, brzo ćemo doći do stotina različitih izvedbi. Stoga ih nema smisla sve navoditi - važno je zapamtiti da ne postoji sigurno eksplozivno sredstvo ili sredstvo koje je dopušteno pomicati ili uklanjati iz speleološkog objekta. Na

internetskim stranicama moguće je pronaći svojevrsan katalog dijela ovih sredstava koji može poslužiti kao materijal za učenje (URL 5), no od šume informacija, ponekad je teško razaznati one bitne.



Slika 10. A. MES pomiješan s otpadom na dnu jame gotovo je nevidljiv. Potrebno je iskustvo i edukacija za prepoznati po život opasno sredstvo (foto: MUP). B. Bomba ručna kumulativna (BRK) M79 (foto: Ilustracija).



Slika 11. Izuzetno opasna situacija u kojoj je na dnu jame ručna granata M75 djelomično prekrivena lišćem. Crvena strelica označava oštećeni osigurač eksplozivnog sredstva. Detonaciju sprječava jedino plastična folija kojom je omotana granata zajedno s tzv. žlicom. Najmanji pomak ovakvog sredstva može izazvati eksploziju. (Foto: MUP)

A



10 cm

B



C



Slika 12. A. Nekoliko izvedbi talijanskih ručnih granata koje zbog osjetljivog upaljača nazivaju i red devil (engl. crveni vrag). B. Granate je među otpadom vrlo teško uočiti, pogotovo ako crvena boja izbledi (Foto: Anita Trojanović, Ruđer Novak). C. Pogled na dno jame s MES-om. (Foto: Lovel Kukuljan)

2.5. Preporuke u slučaju pronalaska minsko-eksplozivnih sredstava u speleološkom objektu

U idealnom slučaju speleolozi nikad neće doći u kontakt s minsko-eksplozivnim sredstvima, no nažalost realnost je bitno drugačija. Situacija u našem podzemlju takva je da je teško pronaći imalo iskusnijeg speleologa koji se tijekom svojeg rada nije susreo s ovom opasnošću. Drugim riječima, za svakog stvarnog zaljubljenika, ova će tema prije ili kasnije doći na red. U nastavku donosim preporuke kako da ovaj neželjeni susret izbjegnemo ili da spriječimo one najgore posljedice.

Za slučaj da se neke ove preporuke čine pretjerano strogima ili nepotrebnima, zapitajte se sljedeće: biste li s jednakim žarom pristali očistiti divlji deponij otpada koji se nalazi usred minski sumnjivog područja na otvorenom, u nekoj šumi? Mi speleolozi često mislimo da smo početak i kraj u svim aspektima speleološke djelatnosti. Nemojmo dozvoliti da na teži način naučimo lekciju da to nije uvijek slučaj, jer si u ovoj domeni ne smijemo priuštiti da učimo na vlastitim pogreškama!



Slika 13. Granata stopljena s kamenjem na dnu dvadeset metarske jame u zaleđu Rijeke. Kamenje upalo u jamu djelomično je zatrvalo eksplozivno sredstvo (Foto: Lovel Kukuljan).

PREPORUKE U SLUČAJU PRONALASKA MINSKO-EKSPLOZIVNIH SREDSTAVA U SPELEOLOŠKOM OBJEKTU

1. Informirajte se o području i o speleološkom objektu u koji idete. Ukoliko posjećujete poznati objekt, informirajte se o njemu putem speleološkog katastra ili razgovorom sa članovima speleoloških udruga. Ne posjećujte objekte za koje postoje podaci o MES-u ili opasnom otpadu.
2. Ako silaskom u jamu uočite tablu s oznakama minske opasnosti – bez odgađanja napustite speleološki objekt!
3. Ako prilikom istraživanja pronađete onečišćeni speleološki objekt, budite na maksimalnom oprezu. Procijenite opasnost prije spuštanja na dno vertikale/police. Krećite se po čvrstom tlu, izbjegavajte sipare, blato i humus. Obratite pozornost na postojanje vojne opreme (kacige, čutуре, odjeću, sanduke, jutene vreće i sl.), nepoznate predmete sivo-maslinaste boje i sumnjive predmete koje ne prepoznajete. Smatrajte da se u svakoj onečišćenoj jami nalaze i minsko-eksplozivna sredstva.
4. Klonite se "iskusnih" i "pametnih" speleologa koji o minsko-eksplozivnim sredstvima „znaju sve“ pa umanjuju ili ne vjeruju u njihovu opasnost.
5. Ako ste uočili oružje ili minsko-eksplozivno sredstvo – stanite na mjestu i mirno uputite sudionike istraživanja da ne ulaze u objekt ili da se ne kreću po objektu. Gdje je pronađeno jedno sredstvo, velika je vjerojatnost da će ih biti još.
6. Izričito je zabranjen bilo kakav oblik manipulacije ili prilazak minsko-eksplozivnim sredstvima! Ne postoji sigurno eksplozivno sredstvo! Nemojte pozivati ostale da dođu vidjeti što ste pronašli.
7. Nemojte se približavati minsko-eksplozivnim sredstvima radi fotografiranja. Vaše slike policiji nisu nužne ni za prijavu, niti za uklanjanje sredstva iz jame. Nema potrebe za obilježavanjem mjesta pronalaska MES-a u jami. Iznimno, ako uz sebe imate mobitel, fotografirajte sredstvo i mjesto pronalaska, ali samo ako to možete bez pomicanja s mjesta gdje stojite.
8. Napustite objekt najkraćim sigurnim putem bez suvišnog kretanja i odgađanja izlaska.
9. Pronalazak minsko-eksplozivnog sredstva u jami prijavite nadležnoj policijskoj postaji. Uz kontakt podatke, navedite ime objekta, koordinate, način pristupa te vrstu i količinu MES-a. Ukoliko ih imate, priložite fotografije i topografski nacrt objekta s ucrtanim mjestom pronalaska.
10. Prijava pronalaska minsko-eksplozivnih sredstava jedini je način kojim dugoročno možemo riješiti ovu veliku opasnost u našim jamama. Zapamtite, prijava nije samo naša moralna dužnost, već i zakonska obaveza svakog građanina Republike Hrvatske!

3. Plinovi

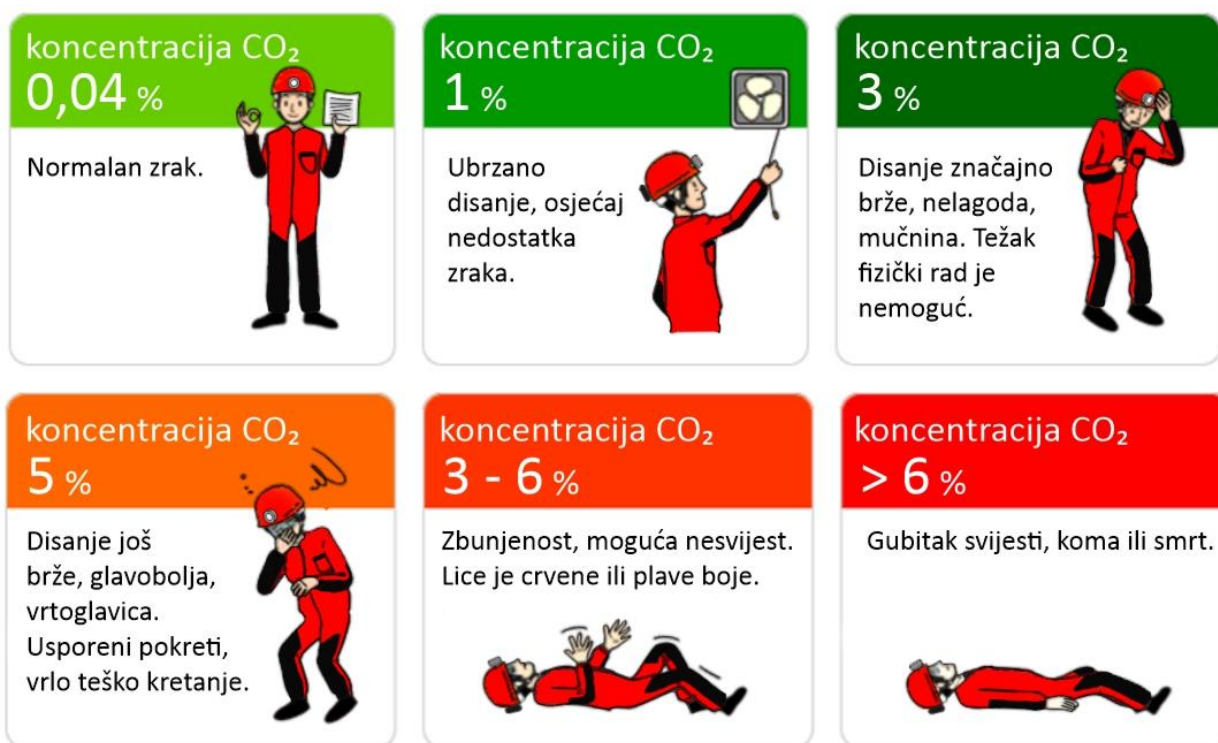
Sastav atmosfere u speleološkim objektima u pravilu se razlikuje od sastava vanjskog zraka. Najveća razlika očituje se u značajno višoj koncentraciji ugljikovog dioksida (CO_2), nešto sniženoj koncentraciji kisika i višoj prirodnoj radioaktivnosti. Smatra se da je špiljski zrak blagotvoran za ljudsko zdravlje zbog svoje visoke vlažnosti i negativne ionizacije, ali i činjenice da je podzemni zrak u odnosu na onaj u naseljima manje zagađen i opterećen alergenima (Bliadze i sur., 2024). Ipak, poznato je da se u pojedinim područjima mogu prirodno razviti štetne koncentracije plinova i u nezagađenim jamama. Slična je situacija u rudnicima i drugim umjetnim objektima koji se vrlo slabo provjetravaju. Također, u slučaju nestručne upotrebe eksplozivnih tvari u podzemlju, mogu se razviti toksične koncentracije pojedinih plinova, a zabilježeno je više slučajeva sa smrtnim ishodom od ovakvog trovanja (URL 6).

Generalno je opasnost od ustajalog zraka veća u špiljama u blizini mora i na otocima jer su tamo godišnje promjene temperature manje pa je smanjena i cirkulacija zraka u tim objektima (Tojčić i sur., 2024). U skladu s time, maksimalne koncentracije potencijalno štetnih plinova u zraku redovito se javljaju u ljetnim mjesecima. Ovo je posebno izraženo u jamama koje se ljeti ponašaju kao zamke hladnog zraka što dodatno sprječava ventiliranje. Suprotno tome, u hladnijem dijelu godine je opasnost od trovanja „lošim zrakom“ značajno manja. Također, ako u objektu postoji vodeni tok ili prirodno strujanje zraka radi više površinskih otvora, provjetravanje objekta bit će znatno bolje. Koncentriranjem potencijalno štetnih plinova u podzemlju može doći i do smanjenja volumnog udjela kisika. Iako je značajno smanjenje volumnog udjela kisika u zraku samo po sebi opasno, pravu opasnost za speleologe najčešće predstavlja povišena razina ugljikovog dioksida (CO_2). U kontekstu onečišćenih špilja i jama, sastav zraka je naravno značajno složeniji i nepovoljniji uz specifične opasnosti koje zbog toga mogu nastati.

3.1. Ugljikov dioksid

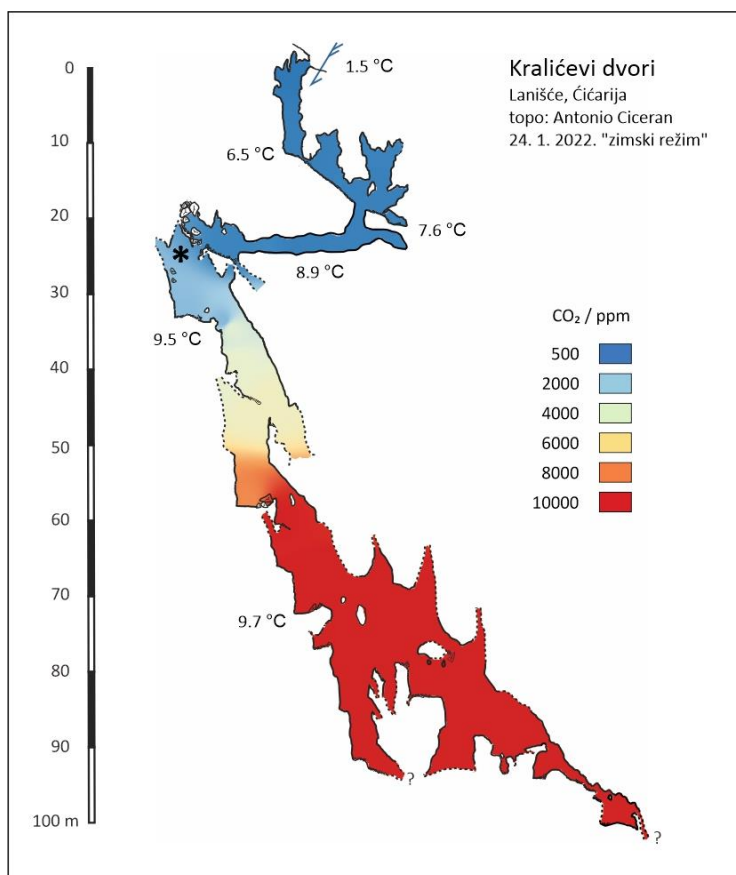
Ugljikov dioksid (CO_2) je plin bez boje, okusa i mirisa koji je gušći od zraka. Djelovanjem čovjeka normalna koncentracija CO_2 u zraku porasla je s 300 na današnjih preko 400 ppm (oko 0.04 %), odnosno CO_2 zauzima 400 na svakih milijun volumnih dijelova zraka. Njegova koncentracija u špiljama i jamama je vrlo promjenjiva, ponajviše zbog promjena godišnjeg doba, odnosno atmosferskih prilika. Tako u hladnije doba godine koncentracija CO_2 u nekom objektu dostiže svoj minimum, odnosno može biti istovjetna onoj vanjskoj. Suprotno tome količina CO_2 doseći će svoj maksimum u toplijem dijelu godine kada je cirkulacija zraka smanjena, a njegova proizvodnja u nadsloju na vrhuncu. Naime, ugljikov dioksid se većinom otpušta ispiranjem iz tla iznad špilje te isparavanjem (tj. otplinjavanjem) iz zasićene podzemne vode i vode nakapnice. U skladu s time koncentracija CO_2 biti će povišena ukoliko je objekt

obrastao gustom vegetacijom u odnosu na objekte koji se nalaze u kamenjaru. CO₂ se stvara i disanjem, a u nekim slučajevima on se također otpušta geološkim procesima. Kod zagađenih jama može se obilato stvarati i razgradnjom organskih tvari unesenih u objekt (Kukuljan i sur., 2021). U speleološkim krugovima postoji vrlo rašireno vjerovanje da je CO₂ teži od zraka i da se on zato koncentrira na dnu manjih jama. Ova tvrdnja zvuči logično i ponovljena je u brojnim knjigama i udžbenicima, no u stvarnosti je potpuno pogrešna. Razjašnjava je legendarni pokojni talijanski speleolog i znanstvenik Giovanni Badino: nema curenja “teškog” CO₂ u “lagani” okolni zrak, inače bi na miran dan bez vjetrova izvan špilja pri tlu imali atmosferu obogaćenu ugljikovim dioksidom! Povišena koncentracija CO₂ je, naravno, stvaran problem, no uzrok je u tome da se CO₂ najčešće stvara truljenjem upalih organskih tvari upravo na dnu speleološkog objekta u potpuno mirnoj atmosferi, tj. bez cirkulacije zraka. Ključni faktor je pritom da je temperatura u jami konstantna što sprječava miješanje atmosfere pa nastaju zamke mirnog, hladnog zraka obogaćenog s CO₂ (Badino, 2009). Povišene koncentracije CO₂ u kavernama u kojima zrak „stoji“, slikovit je prikaz ovog koncepta!



Slika 14. Simptomi trovanja kod višesatnog izlaganja povišenim koncentracijama ugljikovog dioksida. Reakcije na povišenu koncentraciju CO₂ su individualne, a simptomi mogu nastupiti postepeno u otpornijih ili brže u osjetljivijih pojedinaca.

U onečišćenim jamama lokalna koncentracija ugljikovog dioksida može biti viša ako je u jamu bačen i organski otpad biljnog ili životinjskog podrijetla. Naime, bakterije i gljive, kao nusprodukt svojeg metabolizma, uz energiju stvaraju i ugljikov dioksid i metan. Pritom će u većini slučajeva mikroorganizmi prilikom razgradnje trošiti kisik, što znači da će rast koncentracije CO₂ redovito pratiti i blagi pad koncentracije kisika. Ovaj proces je ubrzan u uvjetima visoke vlažnosti i povišene



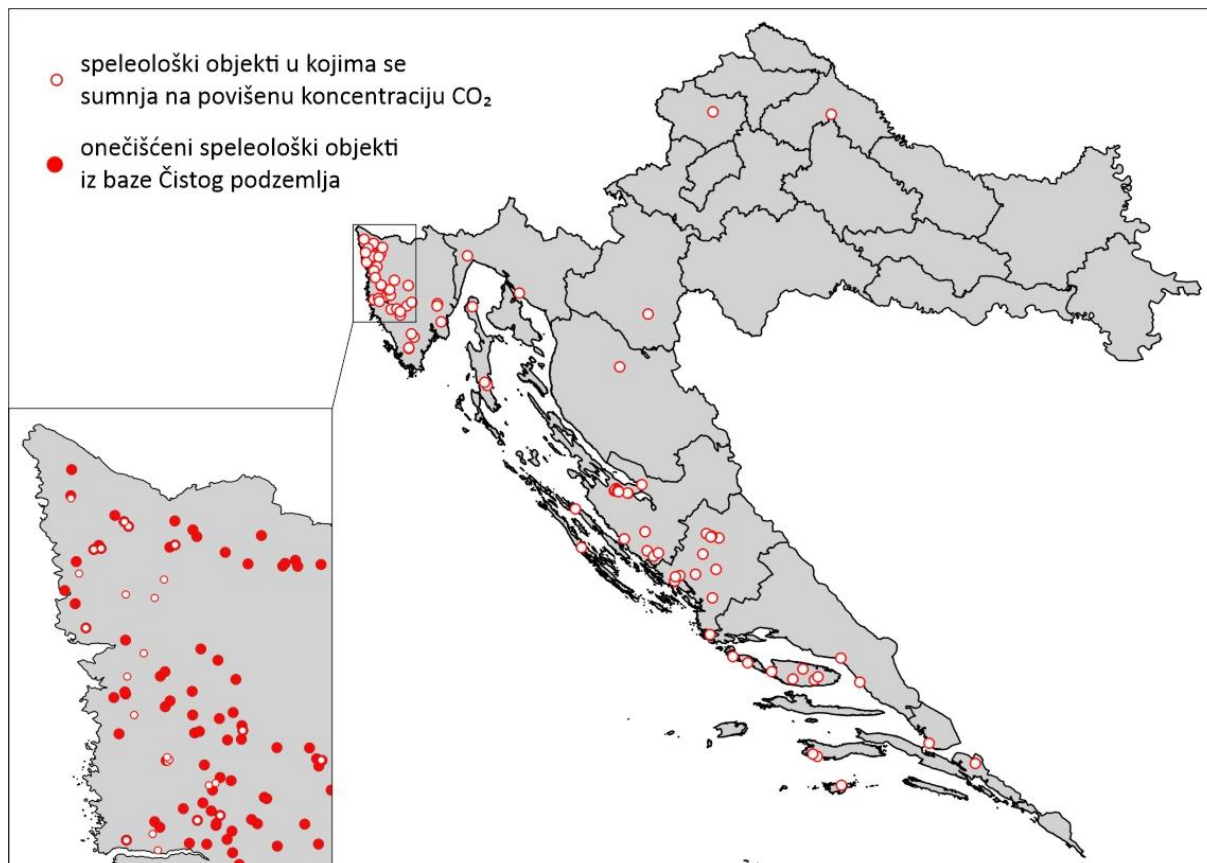
*Slika 15. Profil Jame Kraličevi dvori na Čičariji. Prikazane su temperature i izmjerene koncentracije CO₂ u zraku u zimskom, odnosno intenzivnijem režimu prozračivanja objekta. S dubinom jame raste i koncentracija CO₂ zbog slabijeg prozračivanja u dubljih kanala. Prijelaz u zonu povišene koncentracije CO₂ (iznad 2000 ppm, označeno *) jasno se osjeti po težem, „zemljastom“ mirisu zraka. Plin se vjerojatno stvara zbog procjeđivanja vode bogate organskim materijalima. U ljetnom temperaturnom režimu očekuje se dodatan porast koncentracije CO₂. (Izvor: Lovel Kukuljan)*

sigurnim, dok količina od 40.000 ppm (4 %) i više predstavlja trenutni rizik za zdravlje i može ostaviti trajne posljedice već i uz kratko izlaganje. Zrak koji izdišemo iz pluća sadrži sličnu koncentraciju ugljikovog dioksida (oko 4 do 6 %) pa je jasno da u takvoj atmosferi čovjek ne može dugo preživjeti (Slika 14).

U Hrvatskoj nisu provedena sustavna ispitivanja razine ugljikovog dioksida u speleološkim objektima. Koncentracija CO₂ mjerena je sustavno u pojedinim turistički uređenim, ali i neuređenim speleološkim objektima (Slika 15). Tako su maksimalne objavljene vrijednosti preko 10.000 ppm (1 %) u poznatoj Modrić špilji u okolici Paklenice (Surić i sur., 2021). U novije vrijeme pojavila se i inicijativa unutar speleološke zajednice za prikupljanjem podataka o lokacijama na kojima se sumnja na povišene koncentracije CO₂. Iako je to vrlo vrijedna ishodišna točka, treba imati na umu da se ne radi o mjernim podacima već o osobnim dojmovima istraživača koji su prikupljeni usmenom predajom i iz objavljenih članaka u speleološkim časopisima. Važno je napomenuti da povišene razine ovog plina nisu nužno

temperature tako da će rizik od gomilanja nepovoljnih plinova biti veći u toplijim područjima. Umjereno povišenje CO₂ u zraku se smatra blagotvornim, a nepoželjne posljedice počinju se osjećati tek kad razine ovog plina budu čak oko 30 puta veće od njegove razine u vanjskom zraku. Iako će osjetljiviji pojedinci imati neugodne simptome, općenito je prihvaćena gornja granica od 5000 ppm (0,5 %) CO₂ u zraku. Pritom naravno nije svejedno koliko vremena provedemo u takvoj atmosferi. Mnoge strukovne organizacije smatraju da je sigurno raditi 8 sati dnevno u atmosferi s 5000 ppm CO₂, što su vrijednosti koje su oko 16 puta veće od atmosferske razine ovog plina (URL 7)! Kratkotrajno izlaganje od 15 minuta pri atmosferi do 30.000 ppm (3 %) ugljikovog dioksida smatra se

povezane s otpadom u objektu, odnosno da se i u mnogim nezagađenim objektima može prirodno koncentrirati CO₂ (URL 1). Pogled na kartu na slici 16 navodi na zaključak da u nekim regijama ima više ovakvih jama, no prostorna raspodjela moguće je i rezultat istraženosti nekog područja ili pak osobnih dojmova istraživača. Ipak, ova vrijedna baza važan je temelj za sustavnije istraživanje ovog fenomena.



Slika 16. Speleološki objekti u kojima se sumnja na povišenu koncentraciju ugljikovog dioksida (CO₂). Na uvećanom prikazu sjeverozapadne Istre prikazani su i onečišćeni speleološki objekti iz baze Čisto podzemlje. (Izvori: Goran Rnjak i Ruđer Novak)

3.2. Metan, radon i ostali plinovi

Metan (CH₄) se proizvodi bakterijskom razgradnjom organskih ostataka u dubljim slojevima tla, a u krško podzemlje, kao i CO₂ dolazi cijeđenjem vode kroz nadsloj. U oskudnim špiljskim uvjetima, metan je ključna karika za špiljski život jer hrani "dno hranidbenog lanca", odnosno metanotrofne bakterije koje ga koriste za dobivanje energije. Usprkos unosu metana s površine, radi ovih mikroorganizama je njegova koncentracija u podzemlju manja od one u okolnoj atmosferi (Allenby i sur., 2022). U onečišćenim špiljama i jamama, metan se može lokalno koncentrirati ako u jami imamo dubok sloj otpada u kojem metanogene bakterije proizvode CH₄ bez prisustva kisika. Radi se o plinu bez boje i mirisa, a njegova glavna opasnost nije u otrovnosti za naš organizam, već u velikoj eksplozivnosti

metana pri određenim koncentracijama. Ipak, značajnim porastom koncentracije metana doći će i do pada dostupnog kisika uz osjećaj zagušljive atmosfere i loše kvalitete zraka. Eksplozivnost ovog plina je tolika da već pri sastavu zraka s 5 % metana može doći do detonacije, a opasnost je najveća kada se dosegnu koncentracije od 9 do 10 % (iskra upaljača je u takvim uvjetima i više nego dovoljna). Stoga, slično kao i u slučaju ugljikovog dioksida, treba biti na oprezu ukoliko u objektu ima većih količina organskog otpada. Uz metan, u sličnim uvjetima može doći i do proizvodnje ugljikovog monoksida (CO), poznatog ubojice iz kupaonica bez ventilacije s plinskim bojlerom. Ovaj plin također nema mirisa, a već pri koncentraciji od 100 ppm (0.01 %) se nakon par sati mogu razviti simptomi trovanja kao što su glavobolja, mučnina, vrtoglavica i slabost (Prockop i sur., 2007). Simptomi su slični onima koji se javljaju kod manjka kisika u zraku jer se CO čvrsto veže za hemoglobin u krvi pa se gubi njegova funkcija prijenosa kisika. Ako se kretanjem po onečišćenom objektu probiju vreće sa strvinama ili drugim organskim otpadom, koncentracije ovih plinova mogu porasti pa na takvim mjestima detektor plinova treba biti stalno upaljen. S obzirom da je nešto lakši od zraka, CO se može koncentrirati pri vrhu špiljskog kanala pa to treba uzeti u obzir prilikom mjerenja njegovih razina.



Slika 17. Opasan otpad u Bujanovoj jami. (Foto: Ruđer Novak)

kumulativan učinak raznih toksičnih plinova koji se mogu stvarati istovremeno. Dio ovih plinova može nastati razgradnjom organskog otpada ili čak razgradnjom prirodnih tvari koje nalazimo u podzemlju. Primjerice toksične koncentracije amonijaka mogu se stvoriti bakterijskom razgradnjom ureje i manjim dijelom guana, što može biti problem u manjim, slabije provjetrenim objektima s velikim kolonijama šišmiša (McFarlane i sur., 1995). Ipak, vjerojatniji uzrok gomilanja toksičnih plinova u špiljama i jamama je odbačeni opasan otpad (Slika 17) (Baković i sur., 2024).

Uz ove plinove povezane s divljim deponijama, treba spomenuti i radioaktivni plin radon koji se stvara raspadom uranija u tlu i stijenama. Iako nema veze s otpadom, koncentracija mu je povišena u svim podzemnim prostorima, uključujući podrume, rudnike, skloništa i, naravno, speleološke objekte.

Postoji niz drugih štetnih plinova koji se mogu proizvoditi u divljem deponiju otpada sa šarolikim sastavom bačenih materijala. Srećom, sumporovodik (H_2S), amonijak (NH_3), klor i razni hlapivi organski spojevi imaju jake, neugodne mirise pa ih nije teško prepoznati. Uz to, oni su i snažan indikator da se u speleološkom objektu mogu stvarati i ostali opasni plinovi bez karakterističnih mirisa, a ne treba zanemariti ni

Udisanjem radona, njegov radioaktivan raspad oštećuje pluća pa je to, uz pušenje, drugi najvažniji uzrok raka pluća (Daniels i sur., 2017). Sustavnog mjerenja radona u speleološkim objektima nema, no postoje istraživanja koja ukazuju da u nekim špiljama u ljetnim mjesecima njegove koncentracije mogu premašiti 20.000 Bq/m³ (Bequerela po metru kubnom) (Paar, 2009; Trinajstić i sur., 2023). Za usporedbu, maksimalna sigurna doza u životnim prostorima u EU ne bi smjela premašiti 100 Bq/m³. Na prvi pogled ova čak dvjesto puta veća koncentracija izmjerena u nekim objektima zvuči kao alarmantna, no treba znati da kratkotrajno izlaganje neće ostaviti trajne posljedice po zdravlje speleologa. U slučaju višednevnog bivanja u podzemlju radi istraživanja velikih speleoloških objekata, utjecaj štetnih koncentracija plinova vjerojatno neće biti značajan zbog činjenice da u takvim objektima u pravilu postoji stalno strujanje zraka. Međutim, mjerenje radona svakako treba provoditi u turistički uređenim špiljama i jamama kako bi se procijenila izloženost i zaštitilo zdravlje djelatnika koji u njima rade kao turistički vodiči.

3.3. Mjerenje sastava plinova u podzemlju

Neuobičajen sastav atmosfere u speleološkom objektu ponekad se može primijetiti po ustajalom zraku (u stvarnosti se radi o manjku kisika), no ova procjena je subjektivna i podložna greškama. U speleološkim krugovima ponekad se spominje i ispitivanje kvalitete zraka pomoću upaljača. Ovom metodom ugrubo se procjenjuje koncentracija kisika u atmosferi. Naime, uz gorivu tvar (butan) i izvor topline (iskra), za gorenje je potreban i kisik, a plamen na upaljaču će slabo gorjeti ili se neće niti upaliti ako mu je koncentracija niska. Nema ozbiljnih istraživanja ove metode, no zabilježeno je da pri 15 % O₂ plamen i dalje uobičajeno gori, dok pri 14.5 % O₂ u zraku gori samo plavi plamen više temperature. U atmosferi s 13 do 15 % kisika, nema mirnog gorenja plamena već on titra, dok se plamen u potpunosti gasi pri koncentraciji kisika oko 10 % (URL 8). U tom trenu, svaki bi se speleolog trebao zapitati koji plin je uzrokovao tako drastičan pad kisika u objektu u kojem se nalazi, jer mu je porast koncentracije tog nepoznatog plina puno veći problem. U svakom slučaju, značajan pad koncentracije kisika je snažan indikator da se u zraku gomila nepoznat plin i da treba čim prije napustiti taj speleološki objekt. Kažimo i to da ovom metodom prve "simptome" na plamenu možemo primijetiti tek nakon što se koncentracija kisika smanjila za 6 %, što nikako ne bi trebao biti prihvatljiv kriterij. Umjesto zavaravanja da ipak činimo nešto da ispitamo sastav zraka, pametnije je u nuždi osloniti se na vlastita osjetila koja će nam ranije ukazati na probleme: miris ili smrad zraka, zadihanost i slično.



Slika 18. Uređaj za mjerenje sastava plinova u zraku.

Mnogi plinovi opasni po zdravlje nemaju karakterističan miris pa je preporuka speleološkim organizacijama da u radu koriste pouzdane uređaje za mjerenje osnovnih parametara zraka. Interventne službe u Hrvatskoj koriste prijenosne terenske uređaje za mjerenje kakvoće zraka proizvođača Dräger (Slika 18). Uređaji su jednostavni za korištenje i prilagođeni za rad u teškim uvjetima. Ovisno o modelu, ovi su uređaji opremljeni s četiri do pet detektora kojima se u špiljskom zraku mogu pouzdano mjeriti koncentracije najznačajnijih plinova: kisika (O_2), ugljikovog dioksida (CO_2), amonijaka (CH_4), ugljikovog monoksida (CO) i sumporovodika (H_2S). Koncentracije plinova su izražene u ppm ili u postotcima, uz izuzetak eksplozivnog plina amonijaka, koji je izražen kao %LEL (engl. *Lower Explosive Level*, donja granica eksplozivnosti). Postotak LEL ključan je koncept u izražavanju eksplozivnosti plinova. Za eksploziju smjese zraka uz 5 % amonijaka dovoljna je i jedna iskra. Ova opasna mješavina odgovara oznaci %LEL 100, dok primjerice %LEL 50 označava smjesu u kojoj je 2.5 % amonijaka. Svaki porast nekog od mjerenih plinova oglašava se glasnim alarmom i LED svjetlom. Prvi stupanj alarma je upozorenje koje je moguće isključiti, no ukoliko neki od plinova dosegnu kritične razine, jedini način za gašenje upozorenja jest izlazak iz zagađene atmosfere. U radu je ključno da se uređaj pravovremeno

atestira u ovlaštenom servisu, a pritom se mogu i prilagoditi granične koncentracije za oglašavanje alarma – primjerice, radi specifičnih uvjeta povišenog CO_2 u podzemlju u kojima se uređaj koristi. Mana ovih sustava je njihova visoka nabavna cijena, kao i značajan trošak njihove obavezne redovne kalibracije pa oni i dalje nisu široko usvojeni unutar speleološke zajednice.

Koncentraciju radona u zraku razumno je izmjeriti u objektima sa smanjenom cirkulacijom zraka (posebice ljeti) ili u slučaju da se mnogo vremena provodi u nekom objektu radi istraživanja ili poslovnih obaveza. Uređaj sa slike 19 ima integriran termometar, barometar i higrometar pa će poslužiti i za prikupljanje osnovnih mikroklimatskih parametara u objektu.



Slika 19. Uređaj za mjerenje koncentracije radona u zraku.

Preporuke povezane s opasnim plinovima

1. Koncentriranje potencijalno štetnih plinova u speleološkim objektima značajnije je u toplijem dijelu godine, osobito u mirno vrijeme. Također je značajnije u manjim objektima s jednim ulazom bez cirkulacije zraka, umjetnim speleološkim objektima, objektima u kojima ima otpada ili ubačenih organskih tvari. Opasnost je u pravilu izraženija u jamama jer su one ljeti zamke za hladni zrak, ali i zbog toga što je napuštanje jame značajno teže od izlaska iz špilje.
2. Koristite uređaje za mjerenje koncentracije plinova u objektima s povećanom mogućnošću nakupljanja plinova ili u objektima u kojima provodite puno vremena.
3. Svaki miris koji odstupa od uobičajenog neutralnog špiljskog zraka, karakterističnog mirisa zemlje i humusa treba smatrati znakom da je u atmosferi potencijalno štetan plin.
4. Neuobičajeni i iznenadni simptomi (glavobolja, mučnina, zadihanost i sl.) bilo kojeg sudionika istraživanja u objektima s otpadom moraju biti znak za napuštanje speleološkog objekta.
5. Promijenjene vrijednosti koncentracije nekog od izmjerenih plinova znak su da je vrijeme za napuštanje speleološkog objekta.

Slika 20. Ulazna vertikalna Golubinke u selu Bobodol kod Promine. (Foto: Goran Rniak)

4. Strvine



4.1. Legalno zbrinjavanje životinjskih ostataka

Hrvatski zakoni, kao i pravilnici o zaštiti prirode, lovstvu, stočarstvu i veterinarstvu prepoznaju nekoliko kategorija životinja. U ovome radu ograničit ću se na one koje susrećemo u krškim jamama: domaće životinje, divljač i kućne ljubimce. Ponekad u jame upadnu ili su bačene strvine lovnih i ostalih divljih životinja, no ove su situacije razmjerno rijetke. Zabilježeno je i nekoliko slučajeva pronalaska živih životinja (najčešće pasa) no vjerojatnost ugriza psa u speleološkom objektu je neznatna. Fokus ovog poglavlja bit će puno realnija situacija kontakta sa strvinama domaćih životinja i opasnosti koja prijeti za speleologe od širenja zaraznih bolesti.

Strvine su lešine životinja. U njih spadaju i organi te dijelovi trupla zaklanih životinja koji su higijenski neispravni, nejestivi, ili spadaju u tkiva visokog rizika od zaraze. Uz sitni komunalni otpad i minsko-eksplozivna sredstva, ovo je najčešći materijal koji pronalazimo u speleološkim objektima: prema podacima Čistog podzemlja oko polovice (47 %) svih objekata zagađeno je bačenim životinjskim ostatcima, dok podaci u bazi CroSpeleo pokazuju da speleolozi pronalaze strvine u četvrtini onečišćenih objekata (URL 1, 2). Realno je stoga očekivati pronalazak životinjskih ostataka u svakoj trećoj onečišćenoj špilji ili jami.

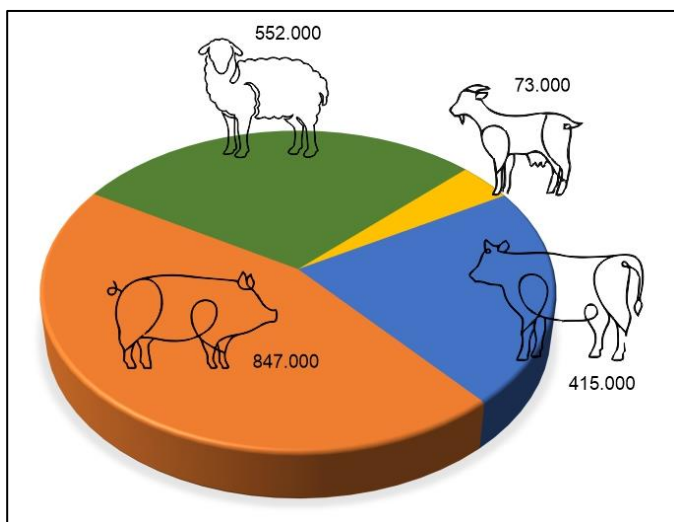
Na temelju Zakona o veterinarstvu propisan je način zbrinjavanja životinjskih ostataka radi zaštite zdravlja ljudi i životinja (URL 9). Uginule životinje prijavljuje se nadležnom veterinarskom uredu koji utvrđuje uzrok uginuća, a strvinu potom prikuplja ovlašteni sakupljač. Zakonske odredbe su jasne, no cijena legalnog zbrinjavanja je visoka pa ljudi često pribjegnu bacanju strvina u prirodu. Domaće životinje moraju biti označene ušnim markicama (osim peradi), dok je u pasa obavezno mikročipiranje (URL 10-12). Prilikom uginuća, eutanazije ili klanja životinje, ušne markice se razdužuju, a životinje se brišu iz upisnika. Ovo znači da pronalazak strvine s oznakama u speleološkom objektu možete prijaviti veterinarskoj inspekciji koja će pronaći vlasnika i napisati odgovarajuću kaznu (Slika 21). Ako se meso koristi za prehranu nejestivi životinjski ostaci zbrinjavaju se spaljivanjem,



Slika 21. Ušna markica sa svinje u Miočevića jami na Biokovu idealna je prilika za "odgojno djelovanje" prema uzgajivaču. (Foto: Rikardo Škorlić)

prerađivanjem u hranu za kućne ljubimce, ili se koriste u industriji (npr. koža) (URL 13). Kod nas veliki problem predstavljaju i ilegalne klaonice domaćih životinja koje su često povezane s lokalnim mesnicama, a iskustva s terena upućuju da je upravo to najvažniji uzrok značajnog zagađenja jama strvinama (URL 14). Kod klanja životinja u domaćinstvima, strvine preuzima ovlašteni sakupljač životinjskog otpada, a zbrinjavanje se plaća oko 0,35 € po kilogramu. Legalno zbrinjavanje nejestivih dijelova janjeta tako košta oko 5 €, a zbrinjavanje nejestivih dijelova jednog vola oko 175 € (URL 15). Iznimno, u slučaju teško dostupnih područja, strvina se može zakopati na vlastitom terenu uz dozvolu veterinarske službe, i to na dubini većoj od 1.5 metar. Imajući u vidu posljednje retke, postaje jasnije zašto se u ovim krajevima jame učestalo koriste kao strviništa. Sada kada smo došli i do izvora problema, vrijeme je da se okrenemo najvažnijem pitanju ovog poglavlja: ima li opasnosti od zaraze od životinjskih strvina?

4.2. Životinjski ostatci kao izvor zaraznih bolesti



Slika 22. Udio svinja, ovaca, goveda i koza u Hrvatskoj 2023. Brojke označavaju broj grla. (Izvor: Državni zavod za statistiku)

Zaraznim bolestima zovemo one bolesti koje se mogu prenijeti s jednog organizma na drugi. Ovo “prenijeti” znači da se prenose mikroorganizmi koji su uzročnici bolesti, a pritom razlikujemo parazite, gljivice, bakterije i viruse. Velika većina mikroorganizama s kojima dolazimo u doticaj nema negativne učinke ili čak na nas djeluju pozitivno, a postotak mikroorganizama koji su za nas opasni nevjerojatno je malen. Tek jedna vrsta na milijardu (tisuću milijuna)

mikroorganizama uzrokuje bolesti u čovjeka, a ukupno je poznato oko 1400 takvih patogena (Balloux i sur., 2017). Oko 40 % tih patogenih mikroorganizama uzrokuju bolesti samo u čovjeka, a čak 60 % naših bolesti su izvorno zoonoze, odnosno bolesti koje se prirodnim putem prenose sa životinja (kralješnjaka) na nas. Životinje s kojima je većina nas gotovo u dnevnom kontaktu su domaće životinje i kućni ljubimci. Svaka životinja, pa i čovjek, prirodni je rezervoar patogena koji se izmjenjuju u oba smjera, tj. prelaze sa životinja na čovjeka i obrnuto (Tan i sur., 2024). Iako ovi podaci možda zvuče pomalo zastrašujuće, situacija nije tako jednostavna ni tako nepovoljna kao što se čini na prvi pogled. Ako ograničimo

razmišljanje na strvine domaćih životinja bačene u krške jame našega područja, možemo postaviti nekoliko pitanja koja redom imaju umirujuće odgovore (Slika 22).

Prvo pitanje je: koliko su zoonoze učestale u Hrvatskoj? Sve opasne zarazne i parazitarne bolesti se prate, suzbijaju i iskorjenjuju. Pritom su svi uzgoji domaćih životinja u Republici Hrvatskoj slobodni od opasnih zoonoza i pod stalnom veterinarsko-zdravstvenom kontrolom. Prema objavljenim podacima, epidemiološka situacija je još prije deset godina bila vrlo dobra, uz trend opadanja učestalosti klasičnih bolesti. Ipak, nove zoonoze kao Covid-19, nažalost, uvijek ostaju prijetnja (URL 16). Ako se ipak dogodi nesretna okolnost da dođemo u kontakt sa zaraženim životinjama, hoće li se uzročnik bolesti lako prenijeti na nas? Bolesti se prenose direktnim fizičkim kontaktom, prehranom ili pićem, putem vektora (npr. krpelja) i konačno - udisanjem patogena. Krpelji kao prenosioci zaraznih bolesti ovdje neće biti u fokusu. Uz to, pretpostavit ću da speleolozi neće dirati

strvine golim rukama pa nakon toga konzumirati hranu u jami, a u našem kontekstu također nema opasnosti od zaraze konzumiranjem jestivih dijelova životinja. Najčešći put prijenosa bolesti sa strvine na čovjeka u speleološkom objektu će biti udisanjem (spora) patogena. Još jedna činjenica na koju valja obratiti pozornost jest koliko je neka strvina u objektu svježija? Očekivano, najveća opasnost prijeti upravo od svježe bačenih životinja i njihovih ostataka (Slika 23). Nemoguće je povući jasnu granicu pa reći do kada neka strvina predstavlja opasnost, no svakako raspadanjem tkiva opada vjerojatnost zaraze. Razlog je i u tome što bakterije razlagači (saprofiti) uspješno koloniziraju strvinu pa u borbi za prostor i hranjive tvari pomalo nadvladavaju patogene mikroorganizme (Gul Hilal i sur., 2021).



Slika 23. Otpad i svježa strvina psa bačena na ulazu Jame sa smećem u Sedramiću kod Drniša. (Foto: Goran Rnjak)

U speleološkim krugovima općenito prevladava mišljenje da je opasnost od prijenosa bolesti od strvinama značajna. Štoviše, i ova je tvrdnja ponovljena u brojnim priručnicima i udžbenicima, no bez ulaženja u detalje o tome koje su to konkretne bolesti kojima se navodno možemo zaraziti (Rnjak i sur., 2019). U stvarnosti, rizici su ublaženi zbog dobre epidemiološke (epizootiološke) situacije u Hrvatskoj, kao i zbog činjenice da je prijenos mnogih bolesti ograničen na izravan kontakt sa strvinama ili pijenje vode u onečišćenom objektu. Posve je jasno da je u nekim slučajevima nužan izuzetan oprez, ali je pogrešno proglasiti nešto automatski zaraznim i opasnim samo zbog neugodnog izgleda i smrada. Stoga, uz uvjet da se pridržavamo zdravorazumskih preporuka, opasnost od zaraze speleologa u kontaktu sa strvinama u podzemlju je relativno niska.

Q-groznica

Od bolesti kojima se potencijalno možemo zaraziti u našim špiljama i jamama, Q-groznica jedina zaslužuje zaseban odjeljak. Uzročnik bolesti, bakterija *Coxiella burnetii* je unutarstanični parazit koji može zaraziti brojne domaćine, no obično se najznačajnijim prijenosnicima smatraju ovce. Kako je upravo ovca najzastupljenija domaća životinja u našim krškim krajevima, speleolozi su najčešće u opasnosti od zaraze upravo u kontaktu sa strvinama ovih životinja (Slika 24). Ovce u tijelu stalno nose uzročnika, no nemaju nikakve simptome pa bolest mogu lako prenijeti na čovjeka. Bakterija se razmnožava u posteljici i plodnim ovojkama zaraženih životinja pa se prilikom janjenja u zrak izbacuju velike količine bakterije. U skladu s time, najveća opasnost zaraze prijeti u proljeće i rano ljeto i to upravo od tkiva i tekućina posteljice, kao i same janjadi. Nažalost bolest je izuzetno infektivna pa je za zarazu dovoljno udahnuti jednu jedinu bakterijsku česticu (Jones i sur., 2006). Uz to, izvan organizma domaćina uzročnik može prijeći u oblik spore u kojem je izuzetno otporan na vanjske čimbenike kao što su isušivanje i UV zračenje pa u okolišu može ostati infektivan tjednima pa i znatno duže, osobito u hladnom i vlažnom podzemnom okruženju (Maurin i sur., 1999). Ovo nažalost znači da ukoliko dođemo



Slika 24. Strvine ovaca bačene u jamu Golubnjaču. (Foto: Goran Rnjak)

u kontakt s uzročnikom bolesti, zarazu je vrlo teško izbjeći, čak i ako se nosi zaštitna oprema (rukavice, maska). Q-groznica je raširena gotovo po cijelom svijetu, no u našoj regiji incidencija joj je u značajnom padu pa se tako u Hrvatskoj pojavljuje u rasponu od 1 do 5 slučajeva na svakih 100.000 ljudi, ovisno o županiji (Pustahija i sur., 2024).

Simptomi zaraze Q-groznicom variraju od osobe do osobe. Većina zaraženih (60 %) neće imati nikakve simptome, 38 % osoba imat će blaže simptome, a u 2 % slučajeva potrebno je bolničko liječenje, pri čemu ponekad može doći i do produljenih, kroničnih simptoma. Bolest se može prepoznati po groznici s povišenom temperaturom koja može biti praćena izraženom glavoboljom i atipičnom upalom pluća tj. upalom koja ne reagira na uobičajene antibiotske tretmane (Maurin i sur., 1999). Ukoliko se prepozna na vrijeme, Q-groznica se u pravilu uspješno liječi antibiotikom doksociklinom, no bez adekvatnog liječenja, moguće su komplikacije i teže posljedice bolesti. Iako je moguć, prijenos bolesti s osobe na osobu u praksi je rijetko zabilježen. Važno je znati i to da je inkubacija bolesti duga dva do tri tjedna, što znači da se prvi simptomi mogu javiti nekoliko tjedana nakon kontakta sa zaraženim životinjama. U slučaju vrućice u tjednima nakon izloženosti strvinama ovaca, svakako treba liječniku spomenuti izloženost Q-groznici. Naime, većina zaraženih osoba su profesionalno u kontaktu s ovcima (stočari i veterinari) pa bi mi kao speleolozi liječniku lako mogli proći "ispod radara".

Ostale zoonoze

Ostale bolesti kojima se potencijalno možemo zaraziti od životinja, odnosno njihovih strvina ne predstavljaju značajan rizik za speleologe. Primjerice, antraks ili bedrenica je bakterijska zoonoza koju uzrokuje *Bacillus anthracis*, a bolest na čovjeka najčešće prenose goveda. Međutim, sporama antraksa za preživljavanje su potrebna vrlo vlažna tla pa je rizik od zaraze u našim krškim područjima izuzetno malen (Turnbull, 2008). Neke bakterijske bolesti kao što je bruceloza u ovaca (*Brucella melitensis*, uzročnik Malteške groznice) naročito su opasne za čovjeka, no prenose se najčešće fizičkim kontaktom pa smo sigurni ako izbjegavamo kontakt sa strvinama. Općenito gledajući, incidencija zoonoza s kojima se možemo sresti u speleološkom objektu već je deset godina relativno niska, a bolesti o kojima govorimo većim dijelom spadaju u rijetke bolesti.

Slično je i s virusom bjesnoće kojeg mogu prenositi i šišmiši. Iako je ova bolest prisutna u Europi, u Hrvatskoj nije zabilježena duži niz godina. Uz to, virus se na čovjeka uglavnom prenosi ugrizima šišmiša, no vrste koje grizu, tj. hrane se krvlju ne žive u Europi (URL 17). Konačno, poznata "špiljska bolest" histoplazmoza (ili kokcidiomikoza) koju prenosi gljivica *Histoplasma capsulatum* u Europi se srećom nalazi rijetko (Teixeira i sur., 2016).

4.3 Preporuke u slučaju pronalaska strvina u speleološkom objektu

1. Ne ulaziti u objekt ako je već na ulaznom dijelu očito da su u njega ubačene veće količine strvina, pogotovo ako su strvine svježe.
2. Ograničiti zadržavanje u prostoru sa strvinama na minimum i ne dirati životinjske ostatke.
3. Koristiti zaštitnu opremu - čvrste gumene rukavice, i zaštitnu masku koja ublažava izloženost mikroorganizmima.
4. Ne jesti i piti u speleološkom objektu zagađenom strvinama. Nikako ne piti vodu u onečišćenom speleološkom objektu.
5. Nakon izlaska iz objekta oprezno skinuti speleološku opremu te ju osušiti na suncu koje će većinom inaktivirati patogene mikroorganizme.
6. U slučaju pronalaska strvina s ušnim markicama, fotografirati oznake te prijaviti nalaz nadležnom inspektoratu.

Zahvale!

Ovaj instruktorski rad izrađen je uz konzultacije s iskusnim speleolozima i stručnjacima u svojim područjima. Hvala dragim prijateljima koji su savjetima doprinijeli kvaliteti ovog teksta: Dinko Novosel, Vladimir Farkaš, Damir Janton, Goran Rnjak, Eva Fućak, Lovel Kukuljan i Dalibor Paar.

5. Literatura

- Allenby, A., Cunningham, R. M., Hillebrand-Voiculescu, A., Comte, J.-C., Doherty, R., & Kumaresan, D. (2022). Occurrence of methane-oxidizing bacteria and methanogenic archaea in earth's cave systems—A metagenomic analysis. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 1-14.
- Badino, G. (2009). The legend of carbon dioxide heaviness. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 71, no. 1, p. 100–107.
- Baković, N., Basara, D., Baković, R., Golja, G., & Anić, I. (2024). Plinovi, temperatura i relativna vlažnost zraka kao indikatori opasnosti. *Speleolog*, pp. 16-29.
- Balloux, F., & van Dorp, L. (2017). Q&A: What are pathogens, and what have they done to and for us? *BMC biology*, 1-6.
- Baučić, I. (1958.). *Speleološki objekti otoka Brača - istočni dio*. Zagreb: Speleološka sekcija Geografskog društva Hrvatske.
- Baučić, I. (1959.). *Speleološki objekti otoka Brača – zapadni dio*. Zagreb: Speleološka sekcija Geografskog društva Hrvatske.
- Bliadze, N., & Kvabziridze, M. (2024). Speleotourism Potential in Imereti Region on the Example of Tetra Cave. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 469-471.
- Božić, V. (2012). Obrambene špilje Kravskog polja. *Senjski zbornik*, 39 (1), pp. 251-272.
- Daniels, D. R., & Schubauer-Berigan, K. M. (2017). Radon in U.S. workplaces, a review. *Radiation protection dosimetry*, 176(3), 278–286.
- Gul Hilal, M., Yu, Q., Zhou, R., Wang, Y., Feng, T., Li, X., & Li, H. (2021). Exploring microbial communities, assessment methodologies and applications of animal's carcass decomposition: a review. *FEMS microbiology ecology*, 97(8).
- Jones, M. R., Nicas, M., Hubbard, E. A., & Reingold, L. A. (2006). The Infectious Dose of *Coxiella burnetii* (Q Fever). *Applied Biosafety*, 11(1) pp. 32-41.
- Kukuljan, L., Gabrovšek, F., Covington, D. M., & Vanessa, J. E. (2021). CO2 dynamics and heterogeneity in a cave atmosphere: role of ventilation patterns and airflow pathways. . *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 146, pages 91–109, (2021).
- Marijanović, Ž. (2021). *Instruktorski rad - Minsko eksplozivna sredstva u speleološkim objektima*. Zagreb: komisija za speleologiju, Hrvatski planinarski savez.
- Maurin, M., & Raoult, D. (1999). Q fever. Clinical microbiology reviews. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 518–553.
- McFarlane, A. D., Keeler, C. R., & Mizutani, H. (1995). Ammonia Volatilization in a Mexican Bat Cave Ecosystem. *Biogeochemistry*, Vol. 30, No. 1., 1-8.
- Paar, D. (2009). Mjerenje koncentracije radioaktivnog plina radona u speleološkim objektima u Hrvatskoj. *Subterranea Croatica*, pp. 17-20.
- Prockop, D. L., & Chichkova, I. R. (2007). Carbon monoxide intoxication: An updated review. *Journal of the Neurological Sciences*, 262; 122–130.

- Pustahija, T., Medić, S., Vuković, V., Lozanov-Crvenković, Z., Patić, A., Štrbac, M., . . . Mellou, K. e. (2024). Epidemiology of Q Fever in Southeast Europe for a 20-Year Period (2002-2021). *Journal of epidemiology and global health*, 1305–1318.
- Raguž, K., & Cvitanović, H. (2011). Utvrđena špilja Kuća. *Subterranea Croatica*, pp. 19-22.
- Rnjak, G. (2019) Speleologija. SD Velebit/HPS/HGSS, 182-183.
- Surić, M., Lončarić, R., Kulišić, M., & Sršen, L. (2021). Spatio-temporal variations of cave-air CO₂ concentrations in two Croatian show caves: natural vs. anthropogenic controls. *Geologia Croatica*, 74/3; 273–286.
- Tan C. S., C., van Dorp, L., & Balloux, F. (2024). The evolutionary drivers and correlates of viral host jumps. *Nature Ecology & Evolution*, 960–971.
- Teixeira, M. d., Patané, S. L., Taylor, L. M., Gómez, L. B., Theodoro, C. R., de Hoog, S., . . . Barker, M. B. (2016). Worldwide Phylogenetic Distributions and Population Dynamics of the Genus *Histoplasma*. *PLOS Neglected Tropical Diseases*.
- Tojčić, I., Denamiel, C., Vilibić, & Ivica. (2024). Kilometer-scale trends, variability, and extremes of the Adriatic far-future climate (RCP 8.5, 2070–2100). *Frontiers in Marine Science*, 1-21.
- Trinajstić, N., Žauhar, G., Valić, P., Šarc, F., Čargonja, M., Mekterović, D., & Mance, D. (2023). Radon concentration in Šparožna pećina and Biserujka. *Skup speleologa Hrvatske 2023*. Čakovec, Hrvatska.
- Turnbull, P. (2008). *Anthrax in Humans and Animals. 4th edition*. Geneva: World Health Organization.
- (URL 1) Čisto podzemlje. (2025). *Čisto podzemlje*. Retrieved from www.cistopodzemlje.info
- (URL 2) MINGOR. (2024). *CroSpeleo - Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja*. Retrieved 11 26, 2024, from <https://crospeleo.mingor.hr/home>
- (URL 3) Narodne novine. (2023). Retrieved from <https://www.zakon.hr/z/1161/zakon-o-nabavi-i-posjedovanju-oru%C5%BEja-gra%C4%91ana>
- (URL 4) Hardauš, E. (2025). *Balkan War History*. Retrieved from <https://www.balkanwarhistory.com/2016/06/the-m75-hand-grenades.html>
- (URL 5) Peverelli, L. (2025, veljača 4.). *Grenades, mines and boobytraps*. Retrieved from <https://web.archive.org/web/20170912085016/http://www.lexpev.nl/grenades/index.html>
- (URL 6) ECRA. (2015). *European Cave Rescue Association* . Retrieved from European Cave Rescue Meeting 2015 : <https://caverescue.eu/ecra-presentations/foul-air/>
- (URL 7) HSE. (2025). *Health and Safety Executive*. Retrieved from https://www.hse.gov.uk/carboncapture/carbondioxide.htm?utm_source=chatgpt.com
- (URL 8) Smith, K. G. (1997). *Carbon Dioxide, Caves and You*. Retrieved from Western Australian Speleological Group: <https://wasg.org.au/index.php/specialties/environmental-hazards/carbon-dioxide-paper>

- (URL 9) *Narodne novine*. (2006). Retrieved from Pravilnik o načinu postupanja s nusproizvodima životinjskog podrijetla koji nisu za prehranu ljudi: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_05_56_1347.html
- (URL 10) *Narodne novine*. (2013). Retrieved from Pravilnik o provođenju obveznog označavanja i registracije goveda: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_08_108_2414.html
- (URL 11) *Narodne novine*. (2007). Retrieved from Pravilnik o provođenju obveznog označavanja i registracije ovaca i koza: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_10_111_3241.html
- (URL 12) *Narodne novine*. (2020). Retrieved from Pravilnik o obveznom označavanju i registraciji svinja: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_02_21_520.html
- (URL 13) *Narodne novine*. (2009). Retrieved from Pravilnik o nusproizvodima životinjskog podrijetla koji nisu za prehranu ljudi: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_07_87_2135.html
- (URL 14) Državni inspektorat. (2022). *Veterinarska inspekcija otkrila ilegalno obavljanje djelatnosti klanja i prerade mesa*. Retrieved from RH - Državni inspektorat: <https://inspektorat.gov.hr/vijesti/veterinarska-inspekcija-otkrila-ilegalno-obavljanje-djelatnosti-klanja-i-prerade-mesa/576>
- (URL 15) *Narodne novine*. (2015). Retrieved from Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o visini naknade za sakupljanje, preradu i spaljivanje nusproizvoda životinjskog podrijetla koji nisu za prehranu ljudi: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_04_43_882.html?utm_source=chatgpt.com
- (URL 16) *Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu*. (2015). Retrieved from Godišnje izvješće o zoonozama u Hrvatskoj za 2015./16 godinu: https://www.hah.hr/wp-content/uploads/2017/11/Godi%C5%A1nje-izvje%C5%A1%C4%87e-o-zoonozama-2015_16.pdf
- (URL 17) CDC. (2022). *CDC Reports Increase in Human Rabies Cases Linked to Bats in the U.S.* Retrieved from Centers for Disease Control and Prevention: <https://www.cdc.gov/media/releases/2022/p0106-human-rabies.html>