



**Glodavci i ljudi
u speleološkim
objektima - znanost
kretanja po mraku
podzemlja**

Tila Medenica | SO HPD »Željezničar«

*Puh na Crnopcu na speleološkom
logoru kod ulaza u Jamu vjetrova
Autor: Danko Cvitković*



Tko se boji mraka još?

Speleolozi su možda percipirani kao jedna od rijetkih društvenih skupina kojoj je relativno prirodnije i ugodnije nego prosječnom stanovništvu boraviti u mračnim prostorima, no oni se i dalje u svojem boravku u podzemlju oslanjaju na umjetnu rasvjetu. Speleološka rasvjeta spada u osnovnu speleološku opremu, a svaki speleolog u podzemlje treba nositi glavnu rasvjetu, rezervnu rasvjetu (za slučaj kvara glavne) te rezervne baterije za glavnu i rezervnu rasvjetu. Neispravna rasvjeta navedena je kao jedna od opasnosti u speleologiji jer je pouzdana rasvjeta preduvjet za sigurno kretanje u speleološkim objektima (Rnjak i Bakšić, 2019), a skoro svaki speleolog čuo je za neku opasnu situaciju u kojoj je neki speleolog spletom okolnosti ostao bez rasvjete u mraku speleološkog objekta.

Čovjek je diurnalna životinja – diurnalnost je obrazac ponašanja koji obuhvaća aktivnost danju, a spavanje noću (dok noćuralnost predstavlja obrnuti obrazac – aktivnost noću, a spavanje danju). Čovjekovo glavno osjetilo stoga je vid, a zatim sluh, dok se znatno manje oslanja na preostala osjetila – njuh, okus i dodir. Neki od glavnih iskoraka u napretku čovječanstva bili su ovladavanje vatrom te izum struje i žarulje – postignuća koja su omogućila čovjeku da ovlada svjetlom i suzbije mrak kako bi si omogućio aktivnost i u, do tada, mračnim uvjetima kao što su noć ili boravak u podzemlju.

Strah od mraka (niktofobija) jedan je od čestih ljudskih strahova i u nekoj mjeri pojavljuje se kod gotovo svih ljudi. U jednoj je studiji više od 50 % ispitanika izjavilo da strah od mraka svrstava u svojih pet najvećih strahova (Levos i Zacchilli, 2015). Smatra se da ljude mrak užasava zato što ne znaju što se u njemu krije i percipiraju ga kao prostor potencijalne opasnosti (Johnson, 1988). Nedostatak vizualnih podražaja izaziva u ljudima osjećaj gubitka kontrole, nesigurnost, neizvjesnost, napetost i anksioznost (Grillon i dr., 1997). Uz nemogućnost oslanjanja na vid, u mraku glavno osjetilo ljudima postaje sluh, koji tada postaje glavni fokus pažnje, pa tada i najmanji zvučni podražaj može postati znak nadolazeće opasnosti (Johnson, 1988). Strah od mraka u nekoj je mjeri normalna pojava kod čovjeka, pa čak i kod speleologa, koji ga izbjegavaju kao opasnost koje se treba kloniti u speleologiji. Zašto gotovo svi ljudi, pa i speleolozi, zaziru od mraka?

Strah je koristan i adaptivan, a pojavljuje se kod stvarne ili percipirane opasnosti te mu je svrha odgovoriti na prijetnju aktiviranjem ponašanja koje će zaštititi organizam od opasnosti. Jedan od razloga pojavljivanja straha od mraka kod ljudi jest činjenica da su hominidi oduvijek živjeli u blizini noćuralnih zvijeri iz reda Carnivora – svojih predatora (Lewis i Werdelin, 2007; Gilbert i Asfaw, 2008). Primjerice, lavovi su u doba pleistocena bili jedni od najraširenijih velikih sisavaca na svijetu (Antunes i dr., 2008; Ersmark i dr., 2015; de Manuel i dr., 2020). Poznati su špiljski crteži ranih *Homo sapiensa* s vjernim prikazima špiljskih lavova od prije ~36 000 godina u špilji Chauvet na području današnje Francuske (Clottes, 1999; Geneste, 2017; Hillgruber i Terberger, 2022), a i mnogi drugi nalazi dodatno upućuju na koegzistenciju čovjeka i velikih mačaka u doba pleistocena na području Europe (Diedrich, 2013; Puzachenko i dr., 2024). U recentnoj prošlosti, kao i danas, lavovi, tigrovi, jaguari i leopardi kohabiraju s ljudima na području Azije, Afrike i Južne Amerike. Napadi velikih predatora na čovjeka najčešće se događaju u ranim noćnim satima, kad se preklapaju periodi aktivnosti diurnalnih ljudi i noćuralnih zvijeri koje su aktivne tijekom noći, što govore i podaci o predatorskim napadima lavova u Tanzaniji na više od 1000 ljudi u periodu od 1988. do 2009. godine – više od 60 % žrtava napadnuto je između 18 i 22 h (Packer i dr., 2011). Podaci o mjesečevim fazama, koje znatno utječu na osvijetljenost noći, ukazuju na to da je vjerojatnost da će žrtva biti napadnuta najveća u najmračnijim fazama mjesečevog ciklusa – lavovi uglavnom napadaju u najvećem mraku jer im mjesečeva svjetlost smanjuje vjerojatnost uspješnog lova (Packer i dr., 2011). Pretpostavlja se da su noćni predatori koji vrebaju u mraku tijekom tisuća godina vjerojatno utjecali na razvoj evolucijski urođenog straha od mraka kod ljudi, čija je funkcija adaptivna i svrha mu je zaštititi čovjeka od životnih ugroza koje se u mraku nalaze (Packer i dr., 2011).

Zašto glodavci vole špilje?

Ljudi, pa tako i speleolozi, najviše se oslanjaju na vid kao primarno osjetilo koje im pomaže u kretanju, zbog čega je kretanje po mraku čovjeku koji nije slijep teško zamislivo. Međutim, brojni drugi



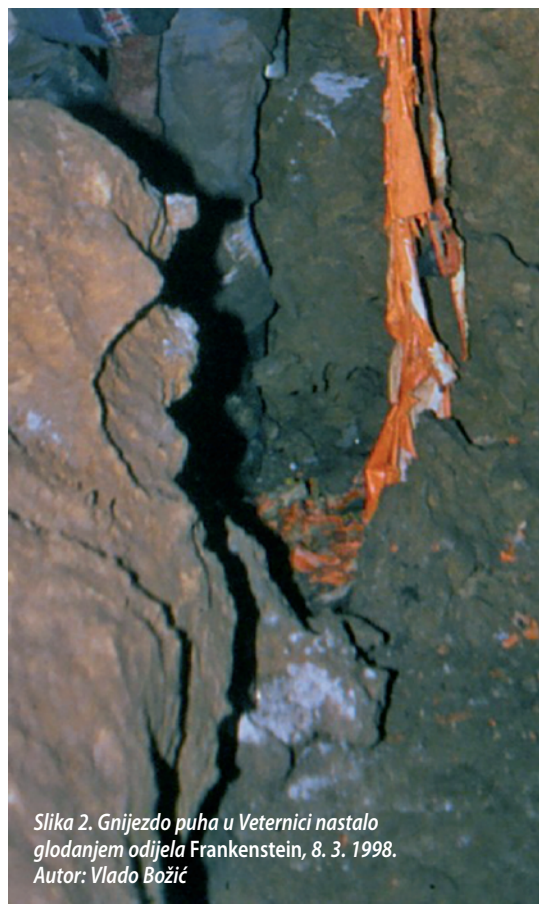
Slika 1. Traгови puha na bivku
Autor: Ana Bakšić

sisavci tu ne vide problem, pa se, čini se bez većih problema, kreću i orijentiraju po speleološkim objektima s lakoćom na kojoj im speleolozi mogu samo zavidjeti. Najpoznatiji primjer su, naravno, šišmiši, o kojima djeca već u ranom školovanju uče da spavaju u špiljama i da se kreću po mraku pomoću eholokacije. Kako to znamo od malih nogu, to možda više i ne propitkujemo kao fascinantnu pojavu, stoga ne pridajemo tom fenomenu previše značaja. No speleolozi se zato često iznenade kad vide trogloksene, tzv. »slučajne goste« u speleološkim objektima, ili njihove kosti duboko u speleološkom objektu, daleko od ulaza, gdje ih baš i ne očekuju vidjeti. Tako su, recimo, speleolozi u Hrvatskoj vidali dabrove u špiljama uz tok rijeke Korane (Baković i dr., 2024), dok su jedinke sivog puha (*Glis glis*) pronašli u Jamskom sustavu Crnopac, na dubini od oko 300 m od ulaza, gdje su »krali« uskladištenu ljudsku hranu na bivku (Slika 1), i u, recimo, špilji Veternici, gdje su se gnijezdili pomoću materijala od ronilačkih odijela (Slika 2).

I dabar i puh pripadaju redu glodavaca, koji su vrstama najbrojnija skupina sisavaca u Hrvatskoj. Oni svakako nisu strana pojava u speleološkim objektima i oko njih. Mali glodavci često se mogu naći na ulazima u speleološke objekte (Tvrtković, 1974). Primjerice, u istraživanju i inventarizaciji faune sisavaca Pećinskog parka Grabovača 2014. godine (Ivić i dr., 2014) na ulazima u speleološke objekte (kao što su špilja Samograd, Medina pećina, Amidžina špilja, Ledenica pod Pećinskim vrhom i Budina ledenica) pronađene su jedinke

raznih vrsta glodavaca: šumskog miša (*Apodemus sylvaticus*), sivog puha (*Glis glis*), krškog/vrtnog puha (*Eliomys quercinus*) i šumske voluharice (*Clethrionomys glareolus*). Na području hrvatskog krša oko ulaza u podzemlje zabilježeni su i krški miš (*Apodemus mystacinus*), žutogrlji šumski miš (*Apodemus flavicollis*), snježna voluharica (*Chionomys nivalis*) te endemska i reliktna vrsta ovih područja – dinarski voluhar (*Dinaromys bogdanovi*) (Tvrtković, 1974).

Zašto glodavci vole obitavati oko špilja? Glodavci su čest plijen većim predatorima, pa većinu svog vremena provode u skrivanju i izbjegavanju predatora o čemu im ovisi preživljavanje. Mali glodavci zbog svoje veličine, osim špiljskih kanala, za kretanje i boravak mogu koristiti i cijele spletove pukotina u krškom reljefu koje su nedostupne većim životinjama i ljudima (Tvrtković,



Slika 2. Gnijezdo puha u Veternici nastalo glodanjem odijela Frankenstein, 8. 3. 1998.
Autor: Vlado Božić

1974). Pukotine i rupe u stijenama pružaju im idealno sklonište za skrivanje od predatora, pa tamo grade svoje nastambe za boravak tijekom dana kad miruju, ali i za duže periode mirovanja kao što je primjerice hibernacija – varijanta onoga što kolkvijalno nazivamo zimski san. Još jedan razlog zašto špilje odgovaraju glodavcima jest to što su oni u pravilu nokturalne životinje. Dakle, aktivni su noću i to je vrijeme kada se kreću po okolišu i traže hranu. Budući da su aktivni noću, to znači da vole mrak – iz istog razloga iz kojeg ga ljudi ne vole – zbog njihovih predatora. Boravak na osvijetljenim i otvorenim prostorima malim glodavcima izaziva anksioznost, strah i stres te ih izbjegavaju tijekom istraživanja novih prostora, dok se tijekom boravka u mračnim i zaklonjenim prostorima osjećaju sigurno te će uvijek odabrati liniju kretanja uz neki zaklon ili zid umjesto prelaženja otvorenog prostora (Crawley, 1985; Belzung i Griebel, 2001; Kuleskaya i Voikar, 2014). Glodavci noćnom aktivnošću i kretanjem po zaklonjenim putovima izbjegavaju napade predatora koji su aktivni danju i primarno se oslanjaju na vid, a svoje su glasanje za komunikaciju unutar vlastite vrste »prebacili« u frekvencije koje njihovi predatori ne mogu detektirati. Primjerice, ljudi čuju frekvencije do 20 kHz, a većina repertoara vokalizacija miševa i štakora odvija se ultrazvučno, iznad 20 kHz pa sve do 110 kHz (Portfors, 2007; Burn, 2008). Osim ljudi, te frekvencije ne mogu čuti niti najčešći predatori malih glodavaca kao što su zmije, koje čuju do 1 kHz (McGee i dr., 2019; Zdenek i dr., 2023), ali i dnevne ptice grabljivice i noćne sove, koje čuju do ~10 kHz.

Posebni mikroklimatski uvjeti u speleološkim objektima i oko njih, kao što su postojana temperatura i relativno visoka vlažnost zraka, izrazito pogoduju glodavcima (Tvrtković, 1974). Glodavci su toplokrvni organizmi, i iako su mali i lako gube toplinu, ipak tjelesnu temperaturu uspijevaju održati dovoljno stabilnom da im hladnoća špilja ne smeta – temperature u špilji, u našim krajevima, iako uglavnom ne padaju ispod nule kao vani, gdje je veća šansa da će uginuti od smrzavanja. Zmije su, s druge strane, hladnokrvne, što znači da im tjelesna temperatura ovisi o okolišnoj te im zbog toga špiljske temperature ne odgovaraju. Na temperaturama znatno nižim od tjelesne zmije nemaju

energije za traženje hrane, pa tako ni za lov na glodavce, zbog čega ipak odabiru sunčanje na toplim stijenama. Velika vlažnost speleoloških objekata posebno odgovara malim glodavcima, koji zbog male veličine imaju velik omjer površine u odnosu na volumen tijela, što znači da lako gube vodu kroz kožu. Recimo, za uzgoj i držanje malih glodavaca u unutarnjim nastambama propisana vlažnost zraka iznosi barem 50 % za miševe i barem 60 % za štakore, a ako vlaga padne ispod toga, oni mogu razviti iritacije i infekcije dišnih puteva te bolest koja se naziva *ringtail*, uslijed koje dolazi do pucanja kože i posljedične nekroze repa (Hranilović, 2014).

Uvjeti karakteristični za okoliš speleoloških objekata te njihovi mračni i uski kanali i pukotine pružaju pogodno stanište i zaklon šumskim glodavcima te im omogućuju preživljavanje u svijetu punom vrebajućih predatora. Međutim, kako se ovdje ipak ne radi o troglobiontskim, a niti o troglofilnim organizmima, koji su potpuno prilagođeni za trajni ili privremeni boravak u podzemlju (barem ih se tako službeno ne smatra), postavlja se pitanje kako mali puh po apsolutnom mraku prođe ciljano, s namjerom, kroz labirint kanala Jamskog sustava Crnopic i nađe se živ na 300 m dubine, te kako se dabar našao i snašao u dubini Jopićeve špilje? Zašto je kretanje po mraku ljudima problem, dok neke druge životinje, koje nisu nužno troglobionti i troglofili, to čine s lakoćom?

Puhovi speleolozi i vještine kretanja kroz podzemlje

Pronalasci glodavaca duboko u podzemlju zapravo nisu velika novost niti izolirani slučajni »incidenti«, kako bi ih se možda moglo protumačiti ako se ograničimo samo na izvještaje o viđenjima među speleolozima u Hrvatskoj posljednjih godina. Dinarskog voluhara pronalazilo se, gotovo isključivo, ili u dubokim i mračnim pukotinama u stijenama ili na izlazima iz dubljih podzemnih sustava (Tvrtković, 1974). U Sloveniji je, pak, već stoljećima poznato da sivi puh nastanjuje špilje, o čemu je pisao slovenski prirodoslovac Valvasor (1994). Tijekom istraživanja rasprostranjenosti sivog puha u slovenskom kršu pronađeni su dokazi o prisutnosti sivog puha u 43 speleološka objekta, što je oko 50 % objekata uključenih u istraživanje (Polak, 1997). Prisutnost je najčešće bila ograničena na



*Slika 3. Sivi puh u Rudelića špilji
Autor: Tila Medenica*

ulaze, a u Škocjanskim i Križnim jamama žive jedinke viđene su u kanalima 200 – 400 m horizontalne udaljenosti od ulaza. Na dnu pojedinih jama često su dokumentirane kosti sivog puha – npr. na 140 m dubine u jami Brezno pod Grelcem i u jami Veliko brezno v Sušjaku – no ne toliko često i žive jedinke.

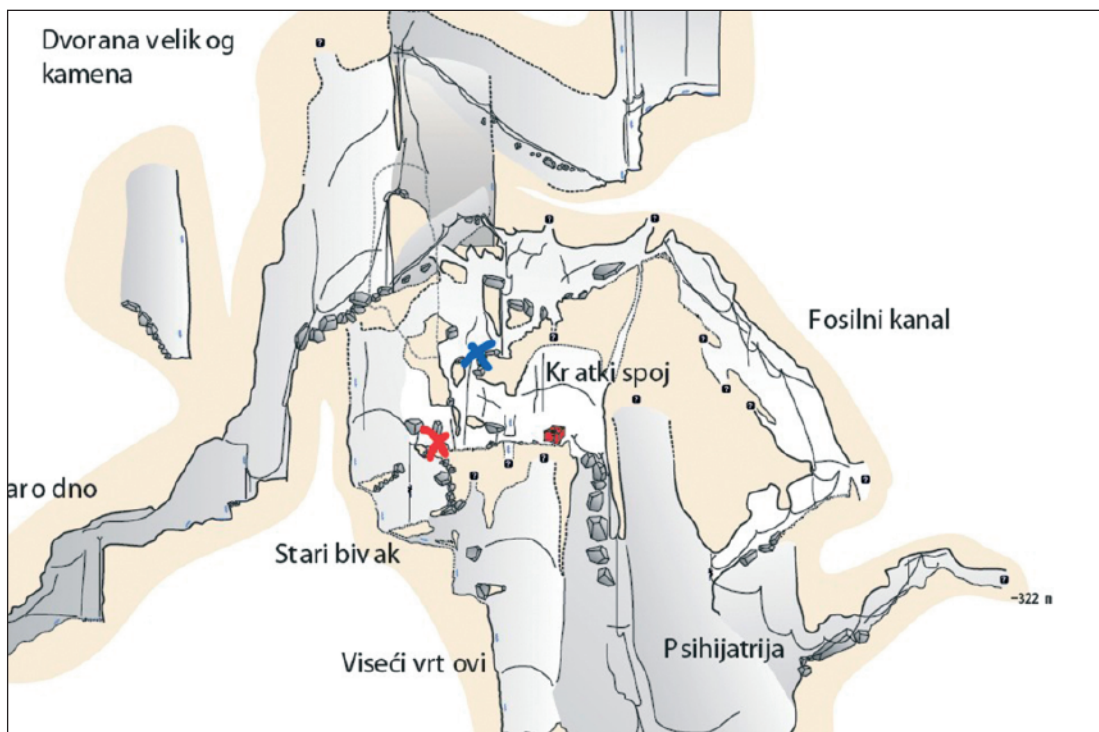
Iako u Hrvatskoj nije bilo sustavnih istraživanja rasprostranjenosti sivog puha na području hrvatskog krša, bilo je mnogo slučajnih nalaza jedinki zatečenih tijekom provođenja speleoloških istraživanja (barem u organizaciji Speleološkog odsjeka HPD-a »Željezničar«). Na dnu jame Mamet

u južnom Velebitu, na oko 190 m dubine, tijekom speleoloških istraživanja primijećeno je oko 5 – 6 »živih puhova« (Božić, 1968). Tijekom ekspedicije »Cetina 2022« žive jedinke sivog puha zatečene su u ulaznim kanalima Rudelića špilje (Slika 3). U jami Muda labudova (sada Jamski sustav Crnopac) na starom prvom bivku 2011. godine uočene su barem dvije žive jedinke sivog puha na dubini od oko 300 m od ulaza (Slike 4 i 5). U špilji Veternici, kod PVC sifona, udaljenom oko 2 km od ulaza, nađeno je gnijezdo puha (Slika 2) izrađeno glodanjem odijela »Frankenštajn«, a u njemu su se nalazili živi mladunci. U jami Roland Garros na Crnopcu, na dubini od oko 10 m ispod ulaza, viđena je ženka sivog puha kako se penje po previsnoj stijeni dok na trbuhu nosi mladunče.

Kako se puh spusti na dubine koje speleolozi savladavaju isključivo uz speleološku rasvjetu, sprave i užeta? Ako znamo da su puhovi arborealne životinje, koje život provode uglavnom na krošnjama drveća (Slika 6), onda njihovo kretanje po speleološkim objektima i nije tako čudno. Puhovi su odlični penjači, prilagođeni za spretno kretanje po drveću, što podrazumijeva i horizontalno kretanje po uskim granama uz održavanje ravnoteže (Slika 6) te vertikalno penjanje i spuštanje (Slika 7), što



*Slika 4. Puh u Mudima labudovim 2011.
Autor: Ana Bakšić*



Slika 5. Lokacije viđenja jedinki puhova u jami Muda labudova (Jamski sustav Crnopic) na dubini od oko 300 m
Autor: Ivan Mišur

su vještine koje očito iskorištavaju i za kretanje u podzemlju. Puhovi spadaju u »vjevericolike« glodavce, a vjevericama sličje između ostalog i time što imaju dug i kitnjast rep (Slika 8), koji im pomaže u održavanju ravnoteže pri penjanju i balansiranju. Tijekom penjanja po glatkim površinama (kakve su često isprane ili zasigane stijene) pomažu im ljepljive izlučevine koje luče iz plantarnih žlijezda na stopalima i omogućuju im čvršći хват (Kryštufek, 2010) (Slika 9).

Važno je podsjetiti se na to da su kriteriji za dimenzije u speleologiji prilagođeni čovjeku – da bi objekt bio prozvan objektom i da bi kanal bio topografski snimljen i prozvan kanalom, čovjek mora stati u njega i proći kroz njega. Međutim, krš je prepun uskih ulaza, kanala i pukotina neprolaznih za čovjeka, no prolaznih za manje životinje. U Sloveniji su speleolozi čak otkrivali velik broj speleoloških objekata promatrajući kretanje puhova i njihovo ulaženje u uske otvore, tzv. »polšine«, koje bi zatim proširivali i otkrili da vode u velike i prostrane podzemne kanale (Polak, 1997). Čovjek

je pri kretanju kroz speleološki objekt i otkrivanju podzemnih prostora znatno ograničeniji vlastitim dimenzijama, no puhovi mogu koristiti, vjerojatno brojne, alternativne putove kroz užje kanale i pukotine koje im zbog trenja, teksture i morfologije



Slika 6. Horizontalno kretanje po uskim granama puhu ne predstavlja problem
Autor: Tila Medenica

Slika 7a. Puh na speleološkom logoru kod Jame vjetrova
Autor: Kristina Kozić



Slika 7b. Puh na speleološkom logoru kod Jame vjetrova
Autor: Simeon Nenkov



Slika 8. Dug i kitnjast rep pomaže pri održavanju ravnoteže
Autor: Tila Medenica



Slika 9. Puh koristi čvrsti hvat na sva četiri ekstremiteta
Autor: Tila Medenica

stijene mogu više odgovarati za penjanje i spuštanje od ogromnog i previsnog vertikalnog kanala s glatkom, mokrom i klizavom stijenom u kojem će neki speleolog rado postaviti liniju užeta za spuštanje.

Dabrovi speleoronioci

Dabar je znatno veća životinja od puha. Štoviše, nakon kapibare drugi je najveći glodavac na svijetu i može težiti do 30 kg. Zbog svoje veličine dabar ne može za kretanje koristiti uske kanale i pukotine kojima se može služiti puh, a nije poznat ni kao vješt penjač. Dabrovi se ne mogu penjati po drveću, pa da bi dosegli grane i krošnje drveća, ruše stabla glodanjem baze debla. Kad se stablo sruši, lako mogu doći do grana na tlu.

Ne samo da dabar nije dobar penjač, nego je i poprilično trom i nezgrapjan pri kretanju po tlu, no

zato je savršeno prilagođen za kretanje po vodi i izvrstan je plivač i ronjoc. Kretanje si dodatno olakšava gradnjom brane, čime potapa tlo na svom staništu i povećava dostupnu površinu vode za kretanje. Dabar obično na vodenim površinama gradi nastambe od granja i blata koje izgledaju kao male kupole kojima svod izviruje iz vode, a u samu nastambu ulazi odozdo ronjenjem. Dabar može kopati i rupe u zemlji u blizini vode, pa te iskopane kanale koristiti kao nastambe. Postojanje speleoloških objekata uz vodene površine dabru značajno olakšava život jer umjesto kopanja zemlje ili gradnje nastambe može samo naseliti postojeći kanal speleološkog objekta, a špilje s potopljenim ulazima u koje se ulazi ronjenjem mogu imati istu namjenu kao i izgrađene nastambe na vodi.

Dabrove zato nećemo naći u dubokim jamama, no učestalo se susreću u špiljama s vodenim

tokom i potopljenim kanalima. Za sada su na području Hrvatske uočeni u speleološkim objektima kao što su Jopićeva špilja, sustav Matešića špilja – Popovačka špilja te Vila jezerkinja, Modra pećina i Mračna špilja na Plitvičkim jezerima. Svi navedeni objekti nalaze se uz tok rijeke Korane, koja prodire u njih i omogućava dabru pristup unutarnjim kanalima vodenim putem. U špilji Vili jezerkinji pronađeni su dabar i njegovo gnijezdo (Slike 10 i 11). Ulaz u špilju Vilu jezerkinju potopljen je, pa je pristup suhim kanalima moguć samo plivanjem ili čamcem (Božić, 2022). Dok potopljeni kanali dabru služe za kretanje, suhi kanali predstavljaju izvrsno sklonište i zaštitu od predatora i promjenjivih vanjskih vremenskih uvjeta, stoga odabir Vile jezerkinje kao idealnog mjesta za gniježđenje uopće ne iznenađuje.

Kao i puhovi, dabrovi su također noćne životinje naviknute na aktivnosti po mraku, a pronađeni su i u špiljskim kanalima s konstantnim mrakom udaljenim više od 100 m od ulaza (Baković i dr., 2024). Dok su puhovi spretni u horizontalnom i vertikalnom kretanju po suhim kanalima speleoloških objekata, dabrovi su, s druge strane, prilagođeni ronjenju i plivanju, što vješto iskorištavaju za kretanje potopljenim špiljskim kanalima. No za obje vrste i dalje se postavlja pitanje – kako se uspijevaju snaći u apsolutnom mraku?

Osjetila u mraku

Vid

Vide li životinje uopće u mraku? Neke životinje, kao što su neke vrste zmija i kukaca, vide dio infracrvenog svjetla, što znači da im za takvu vrstu vida nije potreban izvor svjetla, već izvor topline – slično kao termalne kamere. Međutim, neke vrste noćnih predatora, kao što su sove, nemaju takvu sposobnost. One ipak ne vide ništa u apsolutnom mraku, no velike oči s gustim štapićima na mrežnicama i reflektivnom membranom *tapetum lucidum* omogućuju im maksimalno prikupljanje i iskorištavanje svjetla za vid tijekom noći, pa im je za dobar vid dovoljna slaba svjetlost mjeseca i zvijezda. Štapići i čunjići su fotoreceptorske stanice oka koje se nalaze na mrežnici, a pretvaraju vidljivu svjetlost u električne signale koji se dalje šalju na obradu u mozak. Štapići detektiraju signal slabijeg svjetla u sumraku i noću te omogućuju crno-bijeli vid, dok čunjići detektiraju dnevno svjetlo i omogućuju raspoznavanje boja. Glodavci također ne vide infracrveni spektar, no kao noćne životinje imaju reflektivnu membranu (Slika 12). Za razliku od čovjeka, imaju veći udio štapića u odnosu na čunjiće na mrežnici, što znači da su puno osjetljiviji od nas na slabu svjetlost i bolje vide po mraku, ali ne apsolutnom. Štoviše, visoke razine svjetlosti na

Slika 10. Dabar u Vili jezerkinji
Autor: Dalibor Paar





*Slika 11. Gnijezdo dabra u Vili jezerkinji
Autor: Dalibor Paar*

koje je čovjek navikao glodavcima smetaju i mogu uzrokovati atrofiju mrežnice (Burn, 2008). Vid im je, dakle, dovoljno dobar da se mogu snalaziti po špiljskim prostorima sa slabim razinama svjetlosti u blizini ulaza, no tijekom kretanja po udaljenim dijelovima speleološkog objekta postaje im zapravo beskoristan te se tada moraju oslanjati na druga osjetila.

Sluh

Jedno od osjetila koje može pomoći u navigaciji po mraku je sluh. Opće je poznato da šišmiši koriste eholokaciju za snalaženje – no što je uopće eholokacija? To je proizvodnja zvukova, odnosno zvučnih valova koji putuju kroz prostor sve dok ne naiđu na fizičku barijeru od koje se odbijaju i vraćaju natrag. Slušanje povratnih zvučnih valova,

koji su odbijanjem promijenili neke karakteristike (frekvenciju i amplitudu), a onda i uspoređivanjem s poslanim zvukovima, može se steći slika o objektima i barijerama u prostoru. Ti povratni zvučni valovi nisu ništa drugo nego ono što nazivamo – jeka. Eholokacija (echo = jeka) je, dakle, pojednostavljeno rečeno, slušanje vlastite jeke, jer informacije koje jeka sadrži mogu pomoći u orijentaciji. Šišmiši nisu jedina skupina životinja koja ima tu sposobnost – glodavci također mogu do neke mjere eholokaciju koristiti za snalaženje u mraku. Kod štakora je, recimo, utvrđeno da mogu proizvoditi zvukove koje koriste za navigaciju po labirintu kad se ne mogu oslanjati na vid – eholokacijom mogu odrediti koji hodnik ima, a koji nema fizičku barijeru koja sprječava prolazak i tako odlučiti kojim putem će ići (Rosenzweig i dr., 1955; Riley i Rosenzweig, 1956). Isto tako, proizvodnjom i slušanjem svojih glasanja nalik na kratke klikove mogu u mraku odrediti koja je polica dovoljno blizu da na nju mogu skočiti, a koja je predaleko (Chase, 1980; Kaltwasser i Schnitzler, 1981). Iako sustav eholokacije kod glodavaca možda nije složen i sofisticiran kao kod šišmiša, definitivno im može pomoći da se kreću po mraku podzemlja, otkrivaju kanale kojima mogu proći i procjenjuju gdje mogu skočiti, a gdje ne.

Dodir

Kada čovjeku koji nije slijep povežete oči i kažete mu da se treba kretati po nekom unutarnjem prostoru, on će odmah dignuti i ispružiti ruke prema naprijed ili u stranu kao antene i prstima dodirivati prostor oko sebe kako bi se orijentirao i tako si pomagao pri kretanju da se ne zabija u barijere oko sebe. Glodavci rade i to tijekom kretanja, no oni ne moraju pružiti ruke dok hodaju jer za to imaju – brkove. Vibrise su čvrste i dugačke osjetne dlake koje često zovemo brkovima (Slika 13), no od običnih dlaka razlikuju se po tome što na svojim vršcima imaju osjetne receptore za dodir te kroz njih putuju živci. Mogu se i pomicati te tako mijenjati smjer pružanja. Njih ima većina sisavaca – npr. mačke, koje su poznate po svojim dugim brkovima – no čovjek ih, recimo, nema, pa se za dodir oslanja većinom na prste. Kod glodavaca se osjetljivost vibrisa može usporediti s vršcima prstiju kod čovjeka. Prema tome, dok se glodavac kreće

(podzemnim) prostorom, on svojim brkovima, odnosno vibrisama osjeća prostor oko sebe. Glodavci su poznati po tome što imaju veliku sklonost kretanju uz neku vertikalnu površinu, i to zbog zaklona od predatora, ali i zato da svojim vibrisama mogu pratiti i osjećati površinu zida uz koji se kreću (Meyer i Meyer, 1992; Kashash i dr., 2011). Vibrise se, osim na obrazima, nalaze na mnogim mjestima na njihovom tijelu, a pomoću njih mogu i odrediti širinu kanala te procijeniti je li dovoljno prostran da kroz njega mogu proći.

Magnetorecepcija

Eholokacija i dodir pomažu pri rješavanju trenutnih problema pri kretanju i korisni su lokalno, no nisu korisni »na duge staze« i ne rješavaju problem navigacije na velikim udaljenostima. Kako jedan glodavac zna da generalno ide u dobrom smjeru i da se ne vrti u krug? Može li uopće ići negdje ciljano u podzemlju s konkretnom namjerom ili ide tamo gdje slučajno naiđe? Ljudi se u orijentaciji pretežito oslanjaju na korištenje instrumenata kao što su GPS uređaji, karta, kompas, pametni mobiteli i slično. Speleolozi se u orijentaciji unutar velikog objekta oslanjaju i na topografske nacрте. Velik broj životinja također se u navigaciji oslanja na kompas, samo što ga ne posjeduju kao predmet, već kao unutarnje osjetilo, a sposobnost životinje da osjeti magnetsko polje zove se magnetosenzacija



Slika 12. Puh na Troglavu s vidljivom reflektivnom membranom tapetum lucidum na očima
Autor: Josip Skejo

ili magnetorecepcija. Osjet magnetskog polja je ono što migrirajućim životinjama, kao što su ptice i kornjače, omogućuje da prođu pola planeta i uvijek se vrate na isto mjesto (Nordmann i dr., 2017). Područje istraživanja magnetskog osjetila relativno je novo i postoje mnoge nepoznanice i teorije o tome kako točno to osjetilo funkcionira, no neovisno o tome, postojanje tog osjetila nedvojbeno je utvrđeno kod mnogih skupina životinja – od kukaca do riba, gmazova, ptica i sisavaca (Nordmann i dr., 2017). Zbog tog tzv. unutarnjeg kompasa životinje s magnetskim osjetilom mogu »na duge staze« držati



Slika 13a. Vidljive vibrise na puhu, kolokvijalno zvane brkovima
Autor: Tila Medenica



Slika 13b. Vidljive vibrise na puhu u podzemnim bunkerima na otoku Mljetu
Autor: Josip Skejo

generalni smjer kretanja konstantnim jer mogu percipirati kut vlastitog smjera kretanja u odnosu na magnetski sjever (otklon) – ono što mi mjerimo kao azimut. Intenzitet magnetskog polja ovisi o udaljenosti od polova, odnosno od ekvatora, a osjet tog intenziteta životinjama omogućava i percepciju geografske širine (Malkemper i dr., 2020).

Sposobnosti navigacije u mraku intenzivno su proučavane kod pravih podzemnih glodavaca koji žive pod zemljom, gdje kopaju vlastite labirinte kanala u kojima provode gotovo cijeli svoj život. Primjeri podzemnih glodavaca su krtičasti štakori (eng. *mole rats*) i sljepaši. Krtičasti štakori ne žive na području Hrvatske, dok je sljepaš (*Nanospalax*) kod nas strogo zaštićen – do nedavno se mislilo da je izumro na ovom području sve dok nije pronađen 2023. godine na području Vučedola, prvi put nakon više od 120 godina (Podnar i dr., 2024). Ispitivanja navigacijskih sposobnosti krtičastih štakora u mraku uvjerljivo su pokazala da oni određuju smjer kretanja u odnosu na magnetsko polje, a što je put duži i što više skretanja sadrži, to se životinja više oslanja na svoje magnetsko osjetilo (Kimchi i sur., 2004). Sposobnosti magnetorepcije pronađene su kod nekoliko vrsta krtičastih štakora (*Spalax ehrenbergi*, *Fukomys anselli*, *Fukomys mechowii*, *Heliophobius argenteocinereus*), ali i kod drugih skupina glodavaca – npr. miševa (*Apodemus sylvaticus*, *Mus musculus*, *Peromyscus leucopus*) i voluharica (*Myodes glareolus*, *Microtus*

pennsylvanicus). Osim glodavaca, magnetsko osjetilo demonstrirano je i kod nekih drugih skupina sisavaca – od šišmiša i lisica sve do jelena, pasa i kitova (Begall i dr., 2014). Iako nije konkretno ispitivano na specifičnim vrstama glodavaca spomenutima u ovom članku (sivi puh i dabar), a s obzirom na širok spektar vrsta glodavaca i drugih skupina životinja koje ga posjeduju, vjerojatno je da se i oni pri orijentaciji oslanjaju na osjet magnetskog polja, a da su ljudi i primati zapravo primjer skupina koje iznimno nemaju osjet magnetskog polja.

Njuh

Pored svih osjetila, ostaje još jedno za istaknuti, a to je njuh – glodavci imaju značajno razvijeno osjetilo njuha, koje je po osjetljivosti usporedivo s njuhom pasa. Njuh koriste u društvenoj komunikaciji između jedinki iste vrste, ali i prilikom pronalaska hrane. Kako puh nađe hranu na 300 m dubine?

Njuh je kemijsko osjetilo, a mirisi su zapravo sve sitne čestice (molekule) nošene zrakom za koje određena vrsta ima receptore u olfaktornom epitelu kojim ih mogu detektirati. To mogu biti razni kemijski spojevi u plinovitom ili tekućem obliku, kao i krutine otopljene u nekom otapalu, ali i stanice ili raspadnuti dijelovi stanica i proteina sa živih organizama. Mirisi su najizraženiji i najočuvaniji pri niskoj temperaturi (ali iznad 0 °C) i visokoj vlazi te je tada najlakše locirati njihov izvor. Vlažnost od 99 % u speleološkim objektima predstavlja idealan nosač čestica mirisa. Speleološke objekte karakteriziraju stabilni i monotoni uvjeti s vrlo malo različitih mirisa organskog podrijetla i slabom dinamikom izmjene različitih mirisa. U takvim uvjetima, miris koji dolazi od nekog resursa (hrane) bit će puno lakše detektirati nego u vanjskom svijetu, primjerice u šumi, koja osim svog doslovnog značenja predstavlja i figurativnu šumu različitih i izmjenjujućih mirisa, gdje je znatno teže razaznati i izdvojiti željeni miris koji vodi do hrane.

Znamo da u speleološkim uvjetima s više ulaza smjer i intenzitet strujanja zraka ovise o vanjskoj temperaturi – što je temperaturna razlika veća, intenzitet će biti jači. Ljeti će hladan špiljski zrak izlaziti iz nižeg otvora, dok će tijekom hladne zime topao špiljski zrak izlaziti iz gornjeg otvora (Malinar, 2019; Uroić, 2019). To znači da je sasvim izgledno da jedan puh na nekom ulazu u Jamski sustav

Crnopac, barem u neko doba godine, u pogodnom scenariju putanje strujanja zraka, vjerojatno može osjetiti mirisne čestice koje dolaze iz hrane koja se nalazi na bivku jer su otopljene u vlazi i nošene zračnom strujom od bivka sve do ulaza. U tom scenariju, sve što puh treba jest pratiti detektirani miris »uzvodno«, odnosno spuštati se u dubinu jame sve dok ne locira miris. Za lociranje nije nužno da zrak struji cijelom putanjom u njegovom smjeru skroz od bivka (iako jest olakotna okolnost) – koncentracija mirisa će u svakom slučaju biti veća kako se približava izvoru, a praćenje promjene u koncentraciji mirisa glavni je način na koji se njegov izvor detektira.

Kad je puh jednom našao hranu na bivku, kako se potom može najlakše vratiti natrag? Pri istraživanju prostora, životinje (i ljudi) redovno ostavljaju svoj miris po putu, što namjerno, što slučajno. Kad životinja jednom prijeđe određeni put, recimo do bivka, može se lako vratiti istim putem, a da se ne izgubi, prateći vlastiti mirisni trag (eng. *trail*) (Catania, 2013; Marin i dr., 2021). Na isti način druge jединke mogu pratiti trag prve koja je pronašla put do nekog resursa. Tako kad, primjerice, jedan puh otkrije hranu na bivku, i drugi se mogu pojaviti čak i bez toga da se prvi puh pohvali ostalima time što je našao ili povede nekoga sa sobom.

Pritom je važno napomenuti i to da se mirisi mogu naučiti asociirati s drugim mirisima i predmetima, a glodavci (posebice puhovi na speleološkim terenima) poznati su po tome što vole koha-bitirati na istim područjima kao ljudi i »krasti« im hranu. Budući da to rade već generacijama, vjerojatno su naučili asociirati trag čovjeka s prisustvom hrane. Sam susret s ljudima ili ljudskim mirisom, a i predmetima antropogenog porijekla (recimo užeta u opremljenoj jami), također ih može uputiti prema izvoru hrane ili barem tragu mirisa hrane.

Zanimljivo je spomenuti i to da glodavci mogu detektirati miris CO₂ (Hu i dr., 2007), što čovjek ne može. Zbog toga jame s nakupljenom većom koncentracijom CO₂ u zraku za ljude predstavljaju posebnu opasnost – jer je mogu detektirati samo specijalnim detektorima, paljenjem upaljača i sl., ili tek kad na sebi osjete fizičke simptome hipoksije. Glodavci područja s opasnom koncentracijom CO₂ mogu, dakle, uspješno izbjeći. Budući da je koncentracija CO₂ veća u objektima s više organske

tvari, u što se ubraja i hrana, osjet blagog povišenja razine CO₂ može pomoći u detekciji hrane.

Jesu li ljudska osjetila »loša«?

Čovjek bi pri čitanju o svim osjetilima drugih životinja možda stekao dojam o svojoj relativnoj osjetilnoj potkapacitiranosti, no zapravo ni ljudi nemaju toliko »loša« osjetila koliko je to uvriježeno mišljenje rašireno.

Ljudski vid možda nije dobar pri slabom svjetlu, no zato vrlo dobro može raspoznavati boje, i to tri, dok neke vrste raspoznaju dvije ili manje, a čovjek ima i jako dobru vidnu percepciju dubine. Ljudski sluh također nije loš – i ljudi mogu koristiti eholokaciju za dobivanje informacija o zatvorenom prostoru (Flanagin i dr., 2017) jer je ona zapravo vrlo jednostavna (proizvodnja glasova i zvukova te slušanje jeke), a to je vrlo lijepo pokazano na brojnim slijepim ljudima koji su naučili koristiti eholokaciju da si olakšaju kretanje (Thaler i dr., 2016). Slijepe osobe mogu razviti vještinu korištenja eholokacije do te mjere da im služi za procjenu položaja, veličine, udaljenosti i materijala objekata od interesa u prostoru (Kolarik i dr., 2014). Eholokaciju čovjek koristi i prirodno, bez ikakvog treninga, pa je tako mogu naučiti koristiti i osobe uredna vida. I sami speleolozi instinktivno (ili poučeni iskustvom i teorijom) znaju da veća jeka znači veći prostor, a zvukom se koriste i kako bi procijenili dubinu objekta slušanjem pada kamena.

Dodir također čovjeku može pomoći da se snađe po mraku, pa, recimo, ljudi često po vlastitim domovima rukama tapkaju po zidu dok ne nađu na prekidač da upale svjetlo. Poznata je ljudska taktika za izlazak iz nekih oblika labirinta ili nekog drugog zatvorenog prostora po mraku (pa i svjetlu) ta da osoba drži desnu ruku na desnom zidu (ili lijevu na lijevom) i tako prati zid te bi na taj način, u teoriji, trebala u nekom trenutku naići na izlaz, ako on postoji.

Uvriježeno mišljenje je da je ljudski njuh izuzetno loš, a proširilo se zbog tvrdnji nekih prirodoslovaca u 19. stoljeću koje nisu uzele u obzir sve činjenice koje danas znamo (McGann, 2017). Čovjek je sposoban osjetiti razne vrste i intenzitete mirisa, a pojedine bolje i od pasa i glodavaca. Jedno je istraživanje pokazalo da i ljudi, kao i psi i glodavci, mogu pratiti neke mirisne tragove (*trailove*)

i tu sposobnost mogu poboljšati vježbom (Porter i dr., 2007).

Usporedbe između vrsta – koja je u nečemu bolja, uspješnija, pametnija – nemaju puno smisla jer je svaka živa vrsta izvrsno prilagođena na uvjete u kojima živi, zbog čega se i održala živući do danas (za sada). Kako nas takve usporedbe mogu dovesti do krivih zaključaka, dobro opisuje izreka koja se često pripisuje Einsteinu: »Ako procjenjuješ ribu na osnovi njezine sposobnosti da se penje uz drvo, ona će cijeli život provesti u uvjerenju da je glupa«.

No bitno je i napomenuti da ljudi, iako za sebe imaju izvrsna osjetila, sebi često olakšavaju život korištenjem moderne tehnologije (što je također validno rješenje za snalaženje i održavanje na životu), pa se time manje moraju oslanjati na vlastita osjetila, pogotovo ona koja im nisu primarna, stoga na njih baš i ne obraćaju pažnju. Dok god se ljudi pretežno oslanjaju na vid, onda ne pokušavaju ni vježbati osvijestitost i korištenje ostalih osjetila. Kad god i gdje god se budni nađu u mraku, pa i u vlastitom domu, prvi poriv većine ljudi uglavnom je upaliti svjetlo.

Svatko, kad bi redovno i s namjerom krenuo vježbati korištenje bilo kojeg osjetila, vjerojatno bi ga vježbom poboljšao, no malo je takvih koji to uopće i pokušavaju. Na kraju, ipak, ovaj članak sigurno nije preporuka da se igdje pokušavate kretati po mraku, a kamoli u speleološkom objektu, pa i sljedeći put ipak provjerite jesu li vam baterije za rasvjetu pune, a onda još ponesite i rezervne.

Zahvale

Zahvaljujem Ivanu Mišuru, Valeriji Rossi, Najli Baković, Danku Cvitkoviću i Vladi Božiću na pomoći pri pronalasku fotografija za ovaj članak.

Literatura

- Antunes, A., Troyer, J. L., Roelke, M. E., Pecon-Slattery, J., Packer, C., Winterbach, C., Winterbach, H., Hemson, G., Frank, L., Stander, P., Siefert, L., Driciru, M., Funston, P. J., Alexander, K. A., Prager, K. C., Mills, G., Wildt, D., Bush, M., O'Brien, S. J., Johnson, W. E., 2008: The Evolutionary Dynamics of the Lion *Panthera leo* Revealed by Host and Viral Population Genomics, *PLoS genetics* 4 (11), DOI: 10.1371/journal.pgen.1000251.
- Baković, N., Bosner, N., Baković, R., 2024: Observation of Eurasian beaver (*Castor fiber* L.) in the Jopićeva Cave (Croatia), *Natura Croatica* 33, 183–190, DOI: 10.20302/NC.2024.33.15.
- Begall, S., Burda, H., Malkemper, E. P., 2014: Magnetoreception in mammals, u: *Advances in the Study of Behavior* 46 (ur. Naguib, M.), Elsevier, Amsterdam, 45–88.
- Belzung, C., Griebel, G., 2001: Measuring normal and pathological anxiety-like behaviour in mice: a review, *Behavioural brain research* 125 (1–2), 141–149, DOI: 10.1016/S0166-4328(01)00291-1.
- Božić, V., 1968: Mamet u južnom Velebitu, *Speleolog* 16–17 (1), 7–10.
- Božić, V., 2022: Velike promjene stanja u špilji Vili Jezerkinji, *Speleolog* 70 (1), 126–131.
- Burn, C. C., 2008: What is it like to be a rat? Rat sensory perception and its implications for experimental design and rat welfare, *Applied Animal Behaviour Science* 112 (1–2), 1–32, DOI: 10.1016/j.applanim.2008.02.007.
- Catania, K. C., 2013: Stereo and serial sniffing guide navigation to an odour source in a mammal, *Nature communications* 4, Art. 1441, DOI: 10.1038/ncomms2444.
- Chase, J., 1980: Rat echolocation: correlations between object detection and click production, u: *Animal Sonar Systems* (ur. Busnel, R. G., Fish, J. F.), Plenum Press, New York, 875–877.
- Clottes, J., 1999: Twenty Thousand Years of Palaeolithic Cave Art in Southern France, *Proceedings of the British Academy* 99, 161–175.
- Crawley, J. N., 1985: Exploratory behavior models of anxiety in mice, *Neuroscience and biobehavioral reviews* 9 (1), 37–44, DOI: 10.1016/0149-7634(85)90030-2.
- De Manuel, M., Barnett, R., Sandoval-Velasco, M., Yamaguchi, N., Garrett Vieira, F., Zepeda Mendoza, M. L., Liu, S., Martin, M. D., Sinding, M. S., Mak, S. S. T., Carøe, C., Liu, S., Guo, C., Zheng, J., Zazula, G., Baryshnikov, G., Eizirik, E., Koepfli, K. P., Johnson, W. E., Antunes, A., Sicheritz-Ponten, T., Gopalakrishnan, S., Larson, G., Yang, H., O'Brien, S.

- J., Hansen, A. J., Zhang, G., Marques-Bonet, T., Gilbert, M. T. P., 2020: The evolutionary history of extinct and living lions, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117 (20), 10927–10934, DOI: 10.1073/pnas.1919423117.
- Diedrich, C. G., 2013: Late Pleistocene leopards across Europe, *Quaternary International* 311 (Part B), 223–230, DOI: 10.1016/j.quaint.2013.06.039.
 - Ersmark, E., Orlando, L., Sandoval-Castellanos, E., Barnes, I., Barnett, R., Stuart, A., Lister, A., Dalén, L., 2015: Population demography and genetic diversity in the Pleistocene cave lion, *Open Quaternary* 1, Art. 4, DOI: 10.5334/oq.aa.
 - Flanagin, V. L., Schörnich, S., Schraner, M., Hummel, N., Wallmeier, L., Wahlberg, M., Stephan, T., Wiegerebe, L., 2017: Human Exploration of Enclosed Spaces through Echolocation, *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience* 37 (6), 1614–1627, DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1566-12.2016.
 - Geneste, J., 2017: From Chauvet to Lascaux: 15,000 Years of Cave Art, *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia* 45 (3), 29–40, DOI: 10.17746/1563-0110.2017.45.3.029-040.
 - Gilbert, W. H., Asfaw, B., 2008: *Homo erectus: Pleistocene evidence from the Middle Awash, Ethiopia*, University of California Press, Berkley.
 - Grillon, C., Pellowski, M., Merikangas, K. R., Davis, M., 1997: Darkness facilitates the acoustic startle reflex in humans, *Biological psychiatry* 42 (6), 453–460, DOI: 10.1016/S0006-3223(96)00466-0.
 - Hillgruber, K. F., Terberger, T., 2022: Big Cats and Humans – some Remarks on the Interaction with Big Cats in Prehistoric Art, u: *The Homotherium Finds from Schöningen 13II-4: Man and Big Cats of the Ice Age* (ur. Conard, N. J. et al.), Romisch Germanisches Zentralmuseum, Mainz, 109–118, DOI: 10.11588/propylaeum.1006.c13525.
 - Hranilović, D., 2014: Utjecaj okolišnih čimbenika na homeostazu glodavaca i eksperimentalne rezultate, u: *Program osposobljavanja osoba koje rade s pokusnim životinjama i životinjama za proizvodnju bioloških pripravaka – Osposobljavanje voditelja pokusa i njegova zamjenika* (ur. Blažević, S., Erhardt, J.), Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
 - Hu, J., Zhong, C., Ding, C., Chi, Q., Walz, A., Mombaerts, P., Matsunami, H., Luo, M., 2007: Detection of near-atmospheric concentrations of CO₂ by an olfactory subsystem in the mouse, *Science* 317 (5840), 953–957, DOI: 10.1126/science.1144233.
 - Ivić, L., Brajdić, N., Štulić, A., Medenica, T., Lisičić, D., 2014: Istraživanje faune sisavaca pećinskog parka Grabovača, u: *Zbornik istraživačkih radova Pećinski park Grabovača 2014*. (ur. Grozić, D., Kuharić, N.), Udruga studenata biologije – BIUS, Zagreb.
 - Johnson, E., 1988: A phenomenological investigation of fear of the dark, *Journal of Phenomenological Psychology* 19 (2), 179–194, DOI: 10.1163/156916288X00040.
 - Kaltwasser, M. T., Schnitzler, H. U., 1981: Echolocation signals confirmed in rats, *Z. Säugetierkunde* 46, 394–395.
 - Kashash, Y., Smarsh, G., Zilkha, N., Yovel, Y., Kimchi, T., 2022: Alone, in the dark: The extraordinary neuroethology of the solitary blind mole rat, *eLife* 11, DOI: 10.7554/eLife.78295.
 - Kimchi, T., Etienne, A. S., Terkel, J., 2004: A subterranean mammal uses the magnetic compass for path integration, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101 (4), 1105–1109, DOI: 10.1073/pnas.0307560100.
 - Kolarik, A. J., Cirstea, S., Pardhan, S., Moore, B. C., 2014: A summary of research investigating echolocation abilities of blind and sighted humans, *Hearing research* 310, 60–68, DOI: 10.1016/j.heares.2014.01.010.
 - Kryštufek, B., 2010: *Glis glis* (Rodentia: Gliridae), *Mammalian Species* 42 (865), 195–206, DOI: 10.1644/865.1.
 - Kuleskaya, N., Voikar, V., 2014: Assessment of mouse anxiety-like behavior in the light-dark box and open-field arena: role of equipment and procedure, *Physiology & behavior* 133, 30–38, DOI: 10.1016/j.physbeh.2014.05.006.

- Levos, J., Zacchilli, T. L., 2015: Nyctophobia: From imagined to realistic fears of the dark, *Psi Chi Journal of Psychological Research* 20 (2), 102–110, DOI: 10.24839/2164-8204.JN20.2.102.
- Lewis, M. E., Werdelin, L., 2007: Patterns of change in the Plio-Pleistocene carnivorans of eastern Africa. Implications for hominin evolution, u: *Hominin Environments in the East African Pliocene: An Assessment of the Faunal Evidence* (ur. Bobe, R., Alemseged, Z., Behrensmeyer, A. K.), Springer, Berlin, 77–105.
- McGann, J. P., 2017: Poor human olfaction is a 19th-century myth, *Science* 356 (6338), DOI: 10.1126/science.aam7263.
- Malinar, H., 2019: Speleometeorologija, u: *Speleologija, II. dopunjeno i izmijenjeno izdanje* (ur. Rnjak, G.), Speleološko društvo »Velebit«, Hrvatski planinarski savez, Hrvatska gorska služba spašavanja, Zagreb, 669–678.
- Malkemper, E. P., Nimpf, S., Nordmann, G. C., Keays, D. A., 2020: Neuronal circuits and the magnetic sense: central questions, *The Journal of experimental biology* 223 (21), DOI: 10.1242/jeb.232371.
- Marin, A. C., Schaefer, A. T., Ackels, T., 2021: Spatial information from the odour environment in mammalian olfaction, *Cell and tissue research* 383 (1), 473–483, DOI: 10.1007/s00441-020-03395-3.
- McGee, J., Nelson, P. B., Ponder, J. B., Marr, J., Redig, P., Walsh, E. J., 2019: Auditory performance in bald eagles and red-tailed hawks: a comparative study of hearing in diurnal raptors, *Journal of comparative physiology. A, Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology* 205 (6), 793–811, DOI: 10.1007/s00359-019-01367-9.
- Meyer, M. E., Meyer, M. E., 1992: The effects of bilateral and unilateral vibrissotomy on behavior within aquatic and terrestrial environments, *Physiol. Behav.* 51, 877–880.
- Nordmann, G. C., Hochstoeger, T., Keays, D. A., 2017: Magnetoreception – A sense without a receptor, *PLoS biology* 15 (10), DOI: 10.1371/journal.pbio.2003234.
- Packer, C., Swanson, A., Ikanda, D., Kushnir, H., 2011: Fear of darkness, the full moon and the nocturnal ecology of African lions, *PloS one* 6 (7), DOI: 10.1371/journal.pone.0022285.
- Podnar, M., Mauch Lenardić, J., Kulijer, D., Ljubas, V., Hamidović, D., Tvrtković, N., 2024: Rediscovery of the blind mole rat in Croatia with revision of the phylogenetic analysis of the *Nannospalax monticola* complex in Europe, *Natura Croatica* 33 (2), 317–336.
- Polak, S., 1997: The use of caves by the edible dormouse (*Myoxus glis*) in the Slovenian Karst, *Natura Croatica* 6 (3), 313–321.
- Porter, J., Craven, B., Khan, R. M., Chang, S. J., Kang, I., Judkewitz, B., Volpe, J., Settles, G., Sobel, N., 2007: Mechanisms of scent-tracking in humans, *Nature neuroscience* 10 (1), 27–29, DOI: 10.1038/nn1819.
- Portfors, C. V., 2007: Types and functions of ultrasonic vocalizations in laboratory rats and mice, *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science: JAALAS* 46 (1), 28–34.
- Puzachenko, A. Y., Argant, A., Baryshnikov, G. F., Boeskorov, G. G., Kirillova, I. V., Klimovsky, A. I., Kosintsev, P. A., Marciszak, A., Plotnikov, V. V., Sabol, M., Vasiliev, S. K., 2024: Distribution history of the cave lion (*Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810)), *Earth History and Biodiversity* (1), DOI: 10.1016/j.hisbio.2024.100006.
- Riley, D. A., Rosenzweig, M., 1957: Echolocation in rats, *J. Comp. Physiol. Psychol.* 50, 323–328.
- Rnjak, G., Bakšić, D., 2019: Opasnosti u speleološkim objektima u: *Speleologija, II. dopunjeno i izmijenjeno izdanje* (ur. Rnjak, G.), Speleološko društvo »Velebit«, Hrvatski planinarski savez, Hrvatska gorska služba spašavanja, Zagreb, 173–192.
- Rosenzweig, M. R., Riley, D. A., Krech, D., 1955: Evidence for echolocation in the rat, *Science* 121, 600.
- Thaler, L., Goodale, M. A., 2016: Echolocation in humans: an overview, *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive science* 7 (6), 382–393, DOI: 10.1002/wcs.1408.

- Tvrtković, N., 1974: Glodavci (Rodentia) na ulazu u krško podzemlje, *Speleolog* 22–23 (1), 4–6.
- Uroić, M., 2019: Špilja kao prirodno-znanstveni laboratorij (Tisuću zašto, tisuću zato), *Speleolog* 67 (1), 74–77.
- Valvasor, J. V., 1994: *Slava vojvodine Kranjske*, Mladinska knjiga, Ljubljana.
- Zdenek, C. N., Staples, T., Hay, C., Bourke, L. N., Candusso, D., 2023: Sound garden: How snakes respond to airborne and groundborne sounds, *PloS one* 18 (2), DOI: 10.1371/journal.pone.0281285.

Rodents and Humans in Subterranean Spaces – The Science of Navigating Underground Darkness

Since underground spaces are characterized by complete cave darkness, speleologists navigate them using artificial lighting. Bats are well-known troglomorphic mammals adapted to moving through the subterranean environment, but in addition to speleologists and bats, rodents also frequently enter underground spaces. Although they are not commonly perceived as cave animals, they too possess sensory, motor and behavioural adaptations that allow them to move skillfully below ground. Humans are a strongly visually oriented, diurnal species for whom darkness is associated with discomfort and fear. Fear of the dark in humans is an example of an evolutionary innate fear and is understood as an adaptive consequence of long-term coexistence with large nocturnal predators, making darkness instinctively perceived as a situation of heightened danger. In contrast, rodents are predominantly nocturnal animals that find safety in dark and sheltered spaces. Caves and karst fissures offer them stable microclimatic conditions, protection from predators, and suitable places for resting, nesting, and hibernation. The European edible dormouse and the Eurasian beaver belong to different groups of rodents, and they are both often encountered in Croatian caves during speleological exploration. Dormice, as skilled climbers, rely on their arboreal abilities to navigate vertical and narrow passages, while beavers take advantage of flooded cave systems thanks to their excellent swimming and diving abilities. Movement in darkness is made possible for rodents through a combination of specialized senses: vision adapted to low light, hearing with echolocation, enhanced tactile perception through vibrissae, a well-developed sense of smell, and likely also magnetoreception. Although human senses may seem »inferior« when compared to those of rodents, they are simply adapted differently and reflect distinct evolutionary strategies among various mammals. The perception of humans having relatively poor sensory capabilities is further amplified by our reliance on technology. However, in reality, no human sense is as poor as it is perceived to be, and with training, sensory performance can be improved at least to some degree.