

PROTEUS

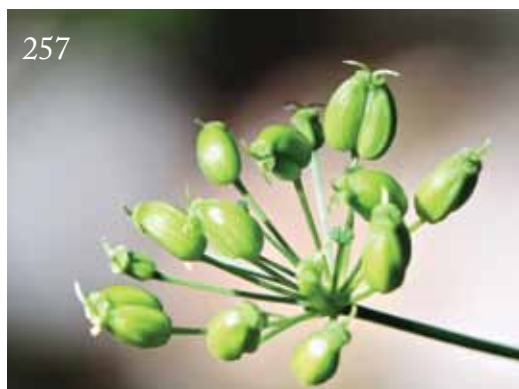
*mesečnik
za poljudno
naravoslovje*



Februar 2021, 6/83. letnik
cena v redni prodaji 5,50 EUR
naročniki 4,32 EUR
upokojeenci 3,55 EUR
dijaki in študenti 3,36 EUR

www.proteus.si





- 247 Table of Contents
- 248 Uvodnik
Tomaž Sajovic
- 250 Nobelove nagrade za leto 2020
Črne luknje – od prve zamisli do Nobelove nagrade
Andreja Gomboc
- 257 Botanika
Botanična novost s Slavnika
V spomin Ernestu Mayerju, Darinki Soban in Tonetu Wraberju
Igor Dakskobler, Valerija Babij
- 264 *Zgodovina slovenskega naravoslovja*
Fran Dobovšek (1876-1915), spregledani naravoslovec
Matija Križnar
- 271 Molekularna biologija in biotehnologija
Bakterije, zelene tovarne antioksidantov
Marina Klemenčič, Aleš Ručigaj
- 277 Mineralogija
Mineraloška dediščina rudnika Sitarjevec (tretji del)
Mirjan Žorž, Igor Dolinar, Miha Jeršek, Mirijam Vrabec
- 286 Drobna botanična vest
Senecio scottsbergii
Luka Pintar
- 287 Naše nebo
Vztrajnost na Marsu
Mirko Kokole

Contents

Editorial

Tomaz Sajovic

Nobel Prizes 2020

Black Holes – From the First Idea to the Nobel Prize

Andreja Gomboc

The Nobel Prize in Physics 2020 went to three scientists who made an important contribution to our understanding of the most mysterious bodies in the universe – black holes. One half of the prize was awarded to Roger Penrose for proving with mathematics that Einstein's general theory of relativity leads to the formation of black holes. The other half was divided between Andrea Ghez and Reinhard Genzel, who each with their research team observed the motion of stars in the centre of our galaxy and proved that it hides a massive body, which is so compact that it can only be explained as a supermassive black hole.

Botany

Botanical Novelty from Slavnik

A tribute to Ernest Mayer, Darinka Soban and Tone Wraber

Igor Dakskobler, Valerija Babij

On the shady (northern) slopes of Mt. Slavnik (Slavnik Hills, Čičarija) we observed a montane-Mediterranean plant species *Physospermum verticillatum* from the carrot family (Apiaceae), a novelty in the Slovenian flora. Up until now, its northernmost localities were in the Croatian part of Čičarija near the border with Slovenia (Žbevnica near Dane). On Mt. Slavnik it grows mainly in beech stands from the association *Seslerio autumnalis-Fagetum*, often in small gaps, on forest edge and road banks at altitudes spanning 800 to 1000 metres. Slovenian names for the genus and species are *vretenčasti dolinec* or *čičarski dolinec*.

History of Slovenian natural sciences

Fran Dobovšek (1876-1915), an Overlooked Naturalist

Matija Križnar

As a peasant boy from Boštanj Fran Dobovšek (1876-1915) was used to hard work and this served him well also in his work as a preparator (taxidermist) at the Carniolan Provincial Museum – Rudolfinum. Beside his regular work at the museum Dobovšek also went on field trips and between 1910 and 1914 he travelled a large part of Carniola on foot. He collected insects, reptiles, amphibians and birds for the museum collections. His main interest went to butterflies and moths, which he collected for the museum as well as for his private collection (which was sold to the museum after his death). The museum also entrusted him

with photographing objects, including natural science specimens. He took his camera to the field as well and was one of the first naturalists to photograph live animals in nature as a natural science photographer. His tragic death in 1915 interrupted his very prolific entomological, herpetological, photographic and museological work.

Molecular biology and biotechnology

Bacteria, Green Antioxidant Factories

Marina Klemenčič, Aleš Ručigaj

What is your first thought when somebody mentions bacteria? A painful inflammation between your teeth? Milk that went sour in the latte you left behind in your mug? Both associations make sense as they relate to something we often deal with in our daily lives. At the same time they show that bacteria are omnipresent organisms that can quickly grow in diverse media. Although we often see bacteria as menacing organisms their capacity for rapid growth and reproduction can be used for myriad purposes that benefit us. Did you know that bacteria can become cell factories? That they can be used for the synthesis of different molecules, from drugs to construction materials? In this article we will describe how we genetically manipulated bacteria to produce yellow and orange pigments for us and explain why these molecules can be worth one hundred times more than pure gold.

Mineralogy

Mineralogical Heritage of Sitarjevec Mine (Part III)

Mirjan Žorž, Igor Dolinar, Miha Jeršek, Mirijam Vrabc

In Parts I and II we talked about the Sitarjevec mine in Litija, where ores were extracted for more than four centuries, with several interruptions. Sitarjevec is a polymetallic ore deposit with a distinct oxidation zone shaped like an iron cap, with lower lying, more or less oxidised ore veins and ore bodies. Mineral paragenesis of this ore deposit consists of primary ores, vein minerals and secondary minerals resulting from the oxidation of primary minerals. Fifty different minerals have been identified so far, most of them only in microscopic form. In this article we therefore focus only on the most common minerals and those appearing in macroscopic crystals.

Botany in brief

Senecio scottsbergii

Luka Pintar

Our sky

Perseverance on Mars

Mirko Kokole



Naslovnica: Primer metuljev iz zbirke naravoslovca Frana Dobovška, ki jo danes brani Prirodoslovni muzej Slovenije (Kustodiat za nevretenčarje).
Foto: Matjaž Križnar.

Proteus

Izbaha od leta 1933

Mesečnik za poljudno naravoslovje

Izdajatelj in založnik:

Prirodoslovno društvo Slovenije

Odgovorni urednik:

prof. dr. Radovan Komel

Glavni urednik: dr. Tomaž Sajovic

Uredniški odbor:

Polona Sušnik

prof. dr. Milan Brumen

dr. Igor Dakskobler

asist. dr. Andrej Godec

akad. prof. dr. Matija Gogala

dr. Matevž Novak

prof. dr. Gorazd Planinšič

prof. dr. Mibael Jožef Toman

prof. dr. Zvonka Zupanič Slavec

dr. Petra Draškovič Pelc

<http://www.proteus.si>

prirodoslovno.drustvo@gmail.com

© Prirodoslovno društvo Slovenije, 2020.

Vse pravice pridržane.

Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez pisnega dovoljenja izdajatelja ni dovoljeno.

Lektor: dr. Tomaž Sajovic

Oblikovanje: Eda Pavletič

Angleški prevod: Andreja Šalamon Verbič

Priprava slikovnega gradiva: Marjan Richter

Tisk: Trajanus d.o.o.

Svet revije Proteus:

prof. dr. Nina Gunde - Cimerman

prof. dr. Lučka Kajež - Bogataj

prof. dr. Tamara Lah - Turnšek

prof. dr. Tomaž Pisanski

doc. dr. Peter Skoberne

prof. dr. Kazimir Tarman

Proteus izdaja Prirodoslovno društvo Slovenije. Na leto izide 10 števil, letnik ima 480 strani. Naklada: 1.600 izvodov.

Naslov izdajatelja in uredništva: Prirodoslovno društvo Slovenije, Poljanska 6, 1000 Ljubljana, telefon: (01) 252 19 14.

Cena posamezne številke v prosti prodaji je 5,50 EUR, za naročnike 4,32 EUR, za upokojence 3,55 EUR, za dijake in študente 3,36 EUR.

Celoletna naročnina je 43,20 EUR, za upokojence 35,50 EUR, za študente 33,60 EUR. 5 % DDV in poštnina sta vključena v ceno.

Poslovni račun: SI56 6100 0001 3352 882, davčna številka: SI 18379222. Proteus sofinancira: Agencija RS za raziskovalno dejavnost.

Proteus (tiskana izdaja) ISSN 0033-1805

Proteus (spletna izdaja) ISSN 2630-4147

Uvodnik

Gradimo lahko le, če zmoremo prebivanje (Martin Heidegger)

Letos sta Pritzkerjevo nagrado za arhitekturo, najvišje mednarodno priznanje na tem področju - primerjajo jo z Nobelovo nagrado -, dobila francoska arhitektka in profesorica Anne Lacaton (1955-) ter francoski arhitekt in profesor Jean-Philippe Vassal (1954-). Njuno razmišljanje je za običajne predstave o arhitekturi tako presenetljivo, da je najbolje, da arhitektka in arhitekt sama povesta, kako sta se lotila projekta »urejanja« Trga Léona Aucoca v Bordeauxu:

»Projekt je del načrta ,olepšavanja' mnogih mestnih trgov, ki ga je zasnoval mestni svet Bordeauxa leta 1996. Trg je trikotne oblike, omejujejo ga drevesa in klopi, na sredi je prostor za balinanje. Taksi so vaški trgi. / Okoli njega hiše s svojimi preprostimi, a vendarle premišljenimi zasnovanimi pročelji oblikujejo odlični primer reprezentančne lastniške arhitekture in skupnostnih javnih stanovanjskih stavb. Pri najinem prvem obisku sva dobila občutek, da je trg že lep zaradi svoje avtentičnosti in neizumetničnosti. Zrcali lepoto tistega, kar je očitno, potrebno, pravilno. Njegov pomen je jasen na prvi pogled. Zdi se, da so ljudje tu doma v ozračju harmonije in spokojnosti, ki obstaja, se zdi, že od nekdaj. / Nekaj časa sva opazovala, kaj

se je na trgu dogajalo. Pogovarjala sva se ljudmi, ki so tu prebivali. / Potem sva se vprašala o projektu na tem trgu z vidika njegovega olupšanja. / Kaj ,olepšanje' sploh pomeni? / Ali to pomeni, da je treba zamenjati talno podlago z drugo? Lesene klopi z modernejšimi iz kamna? Ali luči z bolj modnimi? Nič ne kliče po večjih spremembah. / Olepšanja trg ne potrebuje. / Kakovost, očarljivost in življenje že obstajajo. Trg sam je že lep. / V projektu nisva predlagala ničesar drugega kot le nekaj preprostih in hitrih vzdrževalnih del - zamenjanje peska, bolj redno čiščenje trga, skrb za lipe, malenkostno spremembo prometa -, s čimer sva skušala le izboljšati rabo trga in zadovoljiti okoliške prebivalce.«

Najbolj presenetljivo je, da sta arhitektka trg pustila nedotaknjena. Prav s tem, da nista storila nič, pa sta »opravila« svojo arhitekturno nalogo: ljudje so lahko na tem trgu ostali »doma v ozračju harmonije in spokojnosti, ki obstaja, se zdi, že od nekdaj«. Paradokso »ravnjanje« - pravzaprav »neravnjanje« - obeh arhitektov poraja temeljno vprašanje: Kaj sploh je »arhitektura«? Sledeč namigu Anne Lacaton in Jeana-Philippe Vassala - »ljudje so lahko na tem trgu ostali doma v ozračju harmonije in spokojnosti, ki obstaja, se zdi, že od nekdaj« - bomo odgovor na vprašanje poiskali v

predavanju z naslovom *Gradnja prebivanje misljenje*, ki ga je imel leta 1951 nemški filozof Martin Heidegger (1889-1976) (v slovenskem prevodu ga lahko preberete v knjigi Heideggerjevih *Predavanj in sestavkov*, 2003). Pomenljiv je že sam naslov, v katerem posamezne besede *gradnja prebivanje misljenje* niso ločene z vejicami – kar pomeni, da *gradnje, prebivanja in misljenja* po Heideggerju ni mogoče ločiti med seboj. Kaj nam hoče povedati Heidegger? Pozorno prisluhnimo odlomku o schwarzwaldski domačiji:

»*Gradimo lahko le, če zmoremo prebivanje*. Pomislimo za trenutek na schwarzwaldsko domačijo. Pred dvema stoletjema jo je zgradilo kmečko prebivanje. Tu je pristojnost zmožnosti *ubrano* pripustila zemljo in nebo, bogove in smrtnike v stvari, uredila hišo. Domačijo je v južni smeri postavila na pobočje, zaščiteno pred vetrom, med košenice, v bližino izvira. Dala ji je široko, s skodlami prekrito streho, ki v ustreznem nagibu nosi breme snega in, ko sega globoko, pred viharji varuje sobe v dolgih zimskih nočeh. Ni pozabila bogkovega kota, zadaj za skupno mizo, v sobe je uprostorila posvečene prostore za otroško posteljo in drevo mrtvih, *Totenbaum*, tako se tu imenuje krsta, in tako različnim obdobjem življenja pod eno streho začrtala izoblikovanost njihovih poti skozi čas. Rokodelstvo, ki je samo izšlo iz prebivanja, ki samo še rabi svoje priprave in ogrodja kot stvari, je zgradilo domačijo.

Le če zmoremo prebivanje, znamo graditi. Z opozorilom na schwarzwaldsko domačijo nikakor ne menimo, da bi se morali in da bi se lahko vrnili h gradnji teh domačij, temveč na *bivšem* prebivanju ponazarja, kako je to zmoglo graditi.«

Ključna misel se s spremenjenim besednim redom ponovi dvakrat, in to na posebej pomensko izpostavljenih mestih – na začetku prvega in drugega odstavka: *Gradimo lahko le, če zmoremo prebivanje* in *Le če zmoremo prebivanje, znamo graditi*. Konkretno zapisano: schwarzwaldsko domačijo je lahko zgradilo in znalo zgraditi le kmečko prebivanje. Heidegger je s tem obrnil (in tudi kritiziral) običajni način razmišljanja, po katerem je najprej zgrajena stavba, potem pa v njej šele sledi »prebivanje«. V neoliberalizmu temu pravijo gradnja za trg, stavbe in stanovanja v njih so tako tržno blago, v skrajnem primeru le še predmeti tržnih dobičkonosnih kupoprodajnih »transakcij«. V Londonu na primer je vrsta praznih novih stavb v lasti bogatašev, v katerih ne prebiva nihče. Kapital je izničil prebivanje. Toda ne le kapital. V prvih letih po drugi svetovni vojni je veliki nemški modernistični arhitekt Mies van der Rohe (1886-1969) v Ameriki zgradil znamenito Hišo Farnsworth, stekleni kvader, v katerem je bila naročnica na milost in nemilost prepuščena pogledu vsakogar, ki je prišel mimo. Izobražena gospa je hišo – ki je bila bolj arhitekturni »razstavni pred-

met« -, prodala in se izselila ... Avstralski arhitekt Glenn Murcutt (1936-), kot Lacatonova in Vassal tudi Pritzkerjev nagradjenec (nagrado je prejel leta 2002), je pravo nasprotje nemškega arhitekta. Je eden tistih arhitektov, ki »gradijo iz prebivanja in mislijo za prebivanje« (citirane besede so iz zaključka Heideggerjevega predavanja). Leta 2012 je Murcutt v intervjuju, ki je bil objavljen v *Delu*, o svojem življenju z arhitekturo pripovedoval pogosto na poetični način (Heidegger je leta 1951 svoje predavanje pomenljivo naslovil z besedami nemškega romantičnega pesnika Hölderlina ... *pesniško domuje človek* ...): »Naročniku predlagam, naj mi pove čim več o svojem načinu življenja. Šele potem mu sporočim, da bova sodelovala, ali pa, da nisem pravi arhitekt zanj. To ni posledica arogance, temveč spoznanja, da bi moral narediti stvari, ki jih nočem. [...] Na začetku sem obiskal lokacijo in ostal ves dan, pogosto sem tam taboril več dni. [...] Prostor je zame vse. Poznati prostor je najpomembnejše za razumevanje arhitekture. Razumeti morate zgodovino prostora, klimatske pogoje, višino in geografsko širino, tedaj začenjate razumeti padavine, vlažnost, vetrove, smer sonca, ko razumete vse to, razumete talne vode, površinske vode, terenske pogoje, rastlinstvo, ki uspeva v takem prostoru, insekte, življenje ptic in drugih živali. Vse je v popolni soodvisnosti. In vse to je pomembno za naš odnos do prostora. Posebnosti prostora so velika priložnost. Povejo nam, kako graditi v skladu s klimatskimi pogoji in z ustreznimi materiali, ki so na voljo. [...] Rad imam stavbe, bodisi na deželi ali v mestu, ki dajejo občutek zračnosti, v katerih čutimo vonj dežja, trave, stavbe, ki se odzivajo na zunanje pogoje, uokvirjajo pogled, ki z vetrovi v notranjost prinašajo dišave rastlin ... Poslušanje dežja, ki pada na streho po dolgi suši, je dar, ki je nad vsem, kar je sploh mogoče razumeti, in potem zbrati to vodo, jo uporabiti za pitje, umivanje. Vse to je oblikovanje prostora. Zame je izjemno lepo tako delati arhitekturo ...«

Murcutt je popolnoma ponotranjil modrost Aboridžinov: »Dotakni se zemlje nežno,« nekaj hiš je celo dobesedno zgradil na pilotih. Ekološka etika mu je narokovala tudi uporabo recikliranega gradbenega materiala. Lacatonova in Vassal sta šla še dlje, načeta graditi novih stavb, ampak samo prenavljata, »reciklirata« stare, prikupnega trga v Bordeauxu pa se še dotaknila nista, saj se ljudje prav na takem počutijo najbolje. Heidegger je razumel, da je prebivanje temeljno bistvo človeka, gradnja pa odlikovano dopuščanje prebivanja. Ali še natančneje: prebivanje človeka kot smrtnika na svetu je *varovanje* sveta v njegovem bivanju. Vprašanje je, če se človek tega danes zaveda ...

Tomaž Sajovic

Črne luknje – od prve zamisli do Nobelove nagrade

Andreja Gomboc

Nobelovo nagrado za fiziko za leto 2020 so dobili trije znanstveniki, ki so pomembno prispevali k razumevanju najbolj skrivnostnih teles v vesolju – črnih lukenj. Polovico nagrade je prejel Roger Penrose, ki je teoretično pokazal, da so črne luknje neposredna posledica Einsteinove splošne teorije relativnosti. Drugo polovico sta si razdelila Andrea Ghez in Reinhard Genzel, ki sta s svojima raziskovalnima skupinama opazovala gibanje zvezd v neposredni bližini središča naše Galaksije in dokazala, da se v njem skriva masivno telo, ki je tako kompaktno oziroma majhno, da je po današnjem razumevanju lahko le supermasivna črna luknja.

Črne luknje so deli vesolja, v katerih je gravitacijski privlak tako močan, da iz njega ne more pobegniti nič, niti svetloba ne. Omejuje jih tako imenovano obzorje dogodkov, znotraj katerega bi bila ubežna hitrost višja

od svetlobne hitrosti v praznem prostoru, ki znaša približno 300.000 kilometrov na sekundo. Ker nič ne more potovati hitreje od svetlobe, to pomeni, da iz tega območja ne moreta priti ne snov in ne svetloba. Iz njega tako ne moremo dobiti nobene informacije o tem, kaj se dogaja v notranjosti (kakšna je snov, temperatura in podobno). Črne luknje svoje skrivnosti res zelo dobro čuvajo. Od zunaj lahko iz lastnosti prostor-časa v bližini črne luknje ugotovimo le njeno maso, vrtilno količino in nabojo.

Od prve zamisli ...

Prava teorija za opis črnih lukenj je Einsteinova splošna teorija relativnosti, ki je bila objavljena novembra leta 1915. Prve zabeležene zamisli o telesih, ki bi bila tako masivna, da bi postala nevidna, saj svetloba ne bi mogla zapustiti njihovega površja, pa so dobro stoletje starejše.



*Sir Roger Penrose (1931-),
britanski matematični fizik,
matematik in filozof znanosti.*

*Reinhard Genzel (1952-),
nemški astrofizik.*

*Andrea Mia Ghez (1965-),
ameriška astrofizičarka.*

Angleški astronom in duhovnik John Michell je v *Philosophical Transactions of the Royal Society (Filozofskih poročilih Kraljeve družbe)* leta 1783 pisal, da bi zvezde, ki bi imele enako gostoto kot Sonce, a petstokrat večji polmer, imele tako močan gravitacijski privlak, da jim svetloba ne bi mogla uiti. Francoski učenjak Pierre Simon de Laplace je leta 1796 v *Exposition du Système du Monde (Razlagi sistema sveta)* neodvisno od Michella prišel do podobnega zaključka in leta 1799 v *Allgemeine Geographische Ephemeride (Splošnih geografskih efemeridah)* matematično pokazal, da bi se to zgodilo z zvezdo s tako povprečno gostoto, kot jo ima Zemlja (štirikrat višjo od Sonca) in s polmerom, ki bi bil dvestopetdesetkratnik Sončevega polmera. Torej, sta sklepala, bi lahko bile najmasivnejše zvezde pravzaprav »nevidne« ali »temne zvezde«. Danes vemo, da take zvezde (z maso več deset milijonov ali celo čez sto milijonov mas Sonca) ne obstajajo (zgornja meja za obstoj zvezd je okrog stopeneset mas Sonca), obstajajo pa črne luknje s tolikšno maso, ki jih uvrščamo med supermasivne črne luknje.

Michell in Laplace sta pri svojih izračunih uporabila Newtonovo mehaniko. Z njo lahko hitro izračunamo razdaljo od mase M , s katere telo z maso m potrebuje svetlobno hitrost c , da uide gravitacijskemu privlaku mase M : telo m postavimo na parabolično tirnico oziroma izenačimo velikost njegove kinetične in gravitacijske energije, poračunamo in ugotovimo, da je ta razdalja dana z izrazom $r = 2GM/c^2$ (kjer je G gravitacijska konstanta). Danes vemo, da ta postopek izračuna ni pravilen, saj bi morali namesto Newtonove mehanike uporabiti splošno teorijo relativnosti in upoštevati, da delci svetlobe (fotoni) nimajo mase. A rezultat, ki smo ga dobili, je pravilen in enak kot v splošni teoriji relativnosti. Tej razdalji, ki določa obzorje dogodkov črne luknje, pravimo Schwarzschildov polmer (in ga bomo v nadaljevanju označili z R_{Sch}). Ime je dobil po Karlu Schwarzschildu, ki je januarja

leta 1916, le dva meseca po objavi splošne teorije relativnosti, našel rešitev Einsteinovih enačb polja, ki je opisovala ukrivljenost prostor-časa v okolici krogelno simetrične, nevrteče se mase. Ta rešitev je imela dve posebni, zagonetni točki: $r = 0$ in $r = R_{Sch}$, v katerih je del rešitve postal nič ali pa neskončno velik. Pomen teh dveh točk je vrsto let begal znanstvenike, dokler niso ugotovili, da je tako imenovana Schwarzschildova singularnost pri $r = R_{Sch}$ odvisna od izbire koordinatnega sistema in ni prava singularnost, v kateri bi se zgodilo kaj čudnega, kar bi postavljalo pod vprašaj veljavnost znanih fizikalnih zakonov. Nasprotno so za točko $r = 0$ ugotovili, da je prava singularnost, v kateri opis z znanimi zakoni odpove.

Da ima takšna matematična rešitev tudi fizikalni pomen – da bi takšna telesa lahko zares obstajala –, sta prva predlagala Robert Oppenheimer in Hartland Snyder leta 1939. Preučevala sta končna stanja masivnih zvezd in ugotovila, da se sredica masivne zvezde, ki je porabila svoje jedrsko gorivo, prične zaradi lastne gravitacije krčiti. Ko se skrči pod Schwarzschildov polmer, se odreže od preostalega dela vesolja in nastane črna luknja. Ker krčenja nič ne more ustaviti, se nadaljuje še naprej, vse dokler ni vsa snov zbrana v točki $r = 0$ – v točki s prostornino nič in posledično z neskončno gostoto –, točki singularnosti.

Ključni privzetek, ki je poenostavil njune izračune, je bila krogelna simetrija. A zvezde niso povsem krogelno simetrične, saj se vrtijo okoli svoje osi, njihovo simetrijo pa lahko pokvari še kaj drugega. Zato so bili mnogi fiziki mnenja, da je končno stanje kolapsa realnih zvezd drugačno. Morda se v nesimetričnem primeru snov ne sesede v eno samo točko in ne ustvari singularnosti v središču. Vse do šestdesetih let dvajsetega stoletja so zato mislili, da so te matematične rešitve zgolj teoretični opis idealnega, krogelno simetričnega primera, kakršen v vesolju ne obstaja.

Črne luknje so robustna napoved splošne teorije relativnosti

Pomemben korak na poti odkrivanja črnih lukenj je bila določitev oddaljenosti kvazarjev – izvorov radijske svetlobe, ki so bili videti točkasti, njihova oddaljenost in narava pa sta bili velika uganka.

Leta 1963 je Maarten Schmidt s pomočjo kozmološkega rdečega premika spektralnih črt¹ kvazarja z oznako 3C 273 izmeril njegovo oddaljenost – nekaj milijard svetlobnih let od nas. Podobno velike razdalje so kmalu zatem izmerili tudi za druge kvazarje. Iz njihovega navideznega sija na našem nebu in znane oddaljenosti so lahko izračunali njihov izsev. Ugotovili so, da iz zelo majhnega območja kvazarja (v nekaterih kvazarjih velikega le nekaj svetlobnih ur ali dni) lahko prihaja izsev, ki je primerljiv z izsevom vseh zvezd v več sto običajnih galaksijah skupaj (vsaka od njih sestavljena iz več sto milijard zvezd). Kot možen vir te ogromne energije so predlagali gravitacijsko energijo, ki se sprosti ob sesedanju telesa na velikost Schwarzschildovega polmera. (Današnji model kvazarjev in drugih vrst aktivnih galaktičnih jeder opiše njihove opazovane lastnosti s supermasivno črno luknjo, ki požira snov – ogromna količina energije prihaja od snovi, ki pada proti črni luknji, se zbira v disk okoli nje in izgublja gravitacijsko energijo, ta pa se pretvori v toploto in svetlobo.)

Schmidtova določitev oddaljenosti kvazarjev je spodbudila Rogerja Penrosa, da je razmišljal o tem, ali lahko črne luknje nastanejo tudi v realističnih, nesimetričnih primerih. V tem času je bilo že sprejeto, da dovolj velika in krogelno simetrična masa ob kolapsu ne doseže ravnovesnega stanja in se krči vse do fizikalne singularnosti pri $r = 0$. Prav tako so vedeli, da ko se telo se-

veda skozi svoj Schwarzschildov polmer, lokalni opazovalec, ki se giblje skupaj s površjem telesa, ne opazi nič posebnega. To niti ni presenetljivo, saj se za dovolj velike mase to zgodi pri gostotah, ki niso zelo visoke (če se spomnimo »temnih zvezd« Michella in Laplacea, so imele gostoti enaki gostoti Sonca oziroma Zemlje). Drugače je za zunanjšega opazovalca, za katerega je videti, kot da sesedanje telesa proti Schwarzschildovemu polmeru traja neskončno dolgo (in nikoli ne vidi, da bi se telo skrčilo pod ta polmer, saj ne more videti v črno luknjo).

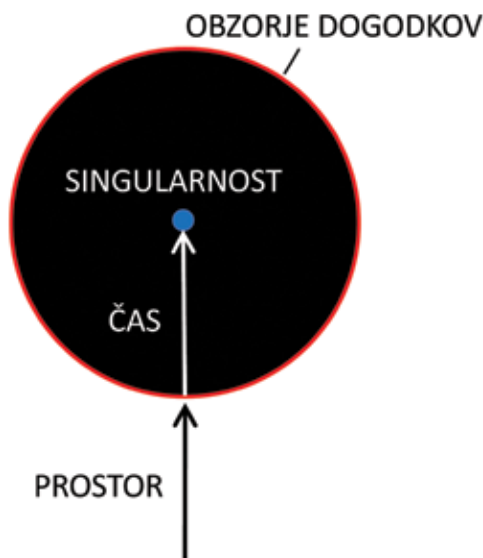
V notranjosti črne luknje pa nastane težava s singularnostjo pri $r = 0$ in z njenim fizikalnim opisom. Ali je ta singularnost le posledica privzete simetrije ali nastane tudi v primerih, ki nimajo nikakršne simetrije?

Odgovor oziroma orodje na poti do njega se je Rogerju Penroseu utrnil jeseni leta 1964 med sprehodom. Razvil je posebno matematično metodo, imenovano »ujeta površina« – to je zaprta dvodimenzionalna površina, ki ima lastnost, da vsi svetlobni žarki, ki so pravokotni nanjo, konvergirajo/se stikajo v prihodnosti. Za primerjavo, površje krogle v ravnem prostoru ni takšno: žarki, ki gredo vanj, konvergirajo, žarki, ki prihajajo iz nje, pa divergirajo/se razhajajo. Od ujete površine pa vsi žarki (v vse smeri) konvergirajo. Takšne ujete površine so posledica močne gravitacije in so v primeru krogelno simetrične mase površja krogel, ki imajo polmer, manjši od Schwarzschildovega. Vsi svetlobni žarki skozi nje kažejo proti središču.

Posledica ujete površine je, da tok časa neizogibno prinese opazovalca, ki je prečkal obzorje dogodkov, v končnem času v središče $r = 0$, kjer se čas konča. Iz Schwarzschildove rešitve namreč sledi, da se ob prečkanju obzorja dogodkov vlogi časovne in radialne koordinate zamenjata – smer proti središču postane smer toka časa (slika 2). Zato je tako težko oziroma nemogoče priti iz notranjosti črne luknje, kot je nemogoče potovati nazaj v času.

Roger Penrose je pokazal, da je ujete po-

¹ Zaradi širjenja vesolja se valovna dolžina svetlobe v času potovanja od izvora do opazovalca raztegne za enak faktor, kot se v tem času razširi vesolje. Valovna dolžina svetlobe se poveča ali se, kot pogosto rečemo, premakne proti rdečemu delu spektra. Dlje ko je izvor od opazovalca, dlje časa potuje svetloba in večji je premik.



Slika 2: Shematski diagram notranjosti črne luknje. Znotraj obzorja dogodkov se spremeni pomen radialne koordinate. Čas se konča v točki singularnosti. Vir: The Nobel Committee for Physics: Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2020. Theoretical foundation for black holes and the supermassive compact object at the Galactic centre.

vršine mogoče najti tudi v splošnem, nesimetričnem primeru in da njihov obstoj ni odvisen od predpostavke, da obstaja neka vrsta simetrije. Pokazal je tudi, da ko enkrat nastane ujeta površina, v njej neizogibno nastane tudi točka singularnosti. Njen nastanek je robustna in neizogibna posledica oziroma napoved splošne teorije relativnosti.

Supermasivna črna luknja v središču naše Galaksije

Drugi del Nobelove nagrade sta dobila Andrea Ghez in Reinhard Genzel za odkritje masivnega, kompaktnega telesa v središču naše Galaksije.

Supermasivne črne luknje, z masami od sto tisoč do deset milijard mas Sonca, se ne nahajajo samo v središčih kvazarjev in drugih vrst aktivnih galaksij, v katerih požirajo snov. V mnogih, če ne celo v vseh velikih

galaksijah se v središču skrivajo supermasivne črne luknje, ki v veliki večini galaksij okoli sebe nimajo diska snovi, ki bi močno svetil. Tem pravimo, da so »lačne« ali »speče« črne luknje, in njihovim galaksijam, da so normalne ali neaktivne. Prisotnost velike mase v njihovih središčih izdaja gibanje plina in zvezd v njihovi bližini.

A kako lahko dokažemo, da je ta masa v središču črna luknja in ne kaj drugega? Črne luknje, tudi supermasivne, so v astronomskem merilu zelo majčkene objekti: na primer, črna luknja z maso milijon Sončevih mas ima polmer, ki je le štirikrat večji od polmera Sonca oziroma je le dva odstotka Zemljine oddaljenosti od Sonca; črna luknja z milijardo mas Sonca ima polmer, ki je enak oddaljenosti Urana od Sonca. Največje znane supermasivne črne luknje so torej primerljive z velikostjo Osončja (nekaj svetlobnih ur), kar je majčkeno v primerjavi z velikostjo galaksij (naša Galaksija ima premer sto tisoč svetlobnih let) in razdaljami med njimi.

Za neposredni dokaz, da je masa v središču neke druge galaksije črna luknja in ne, na primer, zelo gosta kopica zvezd, bi potrebovali instrumente z zelo dobro kotno ločljivostjo, s katerimi bi na oddaljenosti več milijonov ali celo milijard svetlobnih let razločili podrobnosti na razdaljah velikostnega reda Schwarzschildovega polmera. Edini primer doslej, ko so uspeli posneti sliko diska snovi v neposredni okolici črne luknje, je radijski posnetek središča aktivne galaksije M 87, ki je aprila leta 2019 obšel svet. Dosežena kotna ločljivost v tem primeru je podobna tisti, ki bi jo morali imeti, da bi, sedeč v Evropi, brali časopis v New Yorku.

Oči radovednih znanstvenikov so se obrnile proti najbližjemu galaktičnemu centru – središču naše Galaksije. To je »samo« okrog petindvajset tisoč svetlobnih let daleč od nas. V središču je radijski izvor z oznako Sgr A* in okrog njega nekaj svetlobnih let velika kopica zvezd in plina. Njihovo giba-

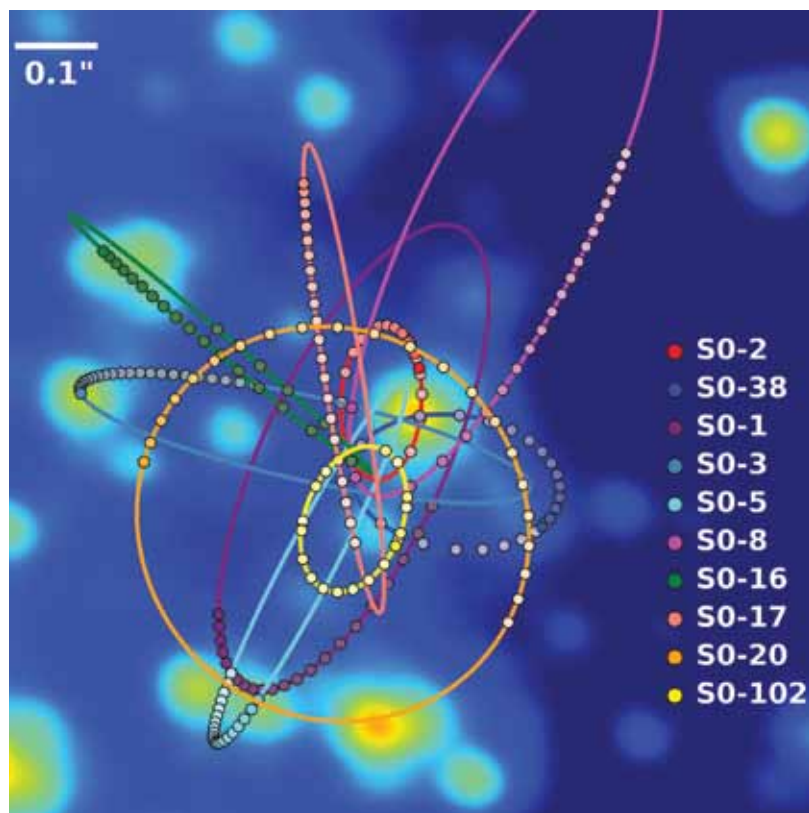
nje razkriva gravitacijski potencial v središču in s tem porazdelitev mase v njem. Če je masa zbrana v enem samem, majhnem objektu – črni luknji –, potem so hitrosti zvezd, ki se nahajajo na različnih razdaljah r od središča, obratno sorazmerne s kvadratnim korenem razdalje r , podobno kot se, na primer, spreminjajo obhodne hitrosti planetov z razdaljo od Sonca. Če pa je masa porazdeljena po širšem delu prostora, potem hitrosti zvezd z razdaljo r padajo počasneje ali celo naraščajo.

Da bi razvozlala skrivnost središča Galaksije, sta se v devetdesetih letih dvajsetega stoletja Andrea Ghez in Reinhard Genzel s svojima raziskovalnima skupinama lotila opazovanja gibanja zvezd v njem. Skupina Andree Ghez je uporabila teleskope na observatoriju na Havajih, skupina Reinharda Genzela teleskope Evropskega južnega ob-

servatorija v Čilu. Ker je zaradi ekstinkcije (oslabitve) vidne svetlobe v plinu in prahu, ki se nahajata v disku Galaksije, njeno središče v vidni svetlobi »zakrito« pred našim pogledom, so se odločili za opazovanja v infrardeči svetlobi, ki lahko prodre tudi skozi snov v galaktičnem disku.

Glavni izziv je bilo doseči dovolj dobro kotno ločljivost oziroma dovolj »oster pogled«, da so lahko kar se da natančno določili položaje posameznih zvezd ter nato, s ponavljanjem opazovanj čez vrsto let, izmerili spremembe njihovih položajev in s tem gibanje.

Da so lahko odpravili vpliv turbulenc v Zemljinem ozračju, ki povzročijo navidezno migotanje zvezd in poslabšajo ločljivost posnetkov, so v zgodnjih opazovanjih uporabili posebno tehniko, s katero posnamejo zelo kratke posnetke (s časom osvetlitve de-



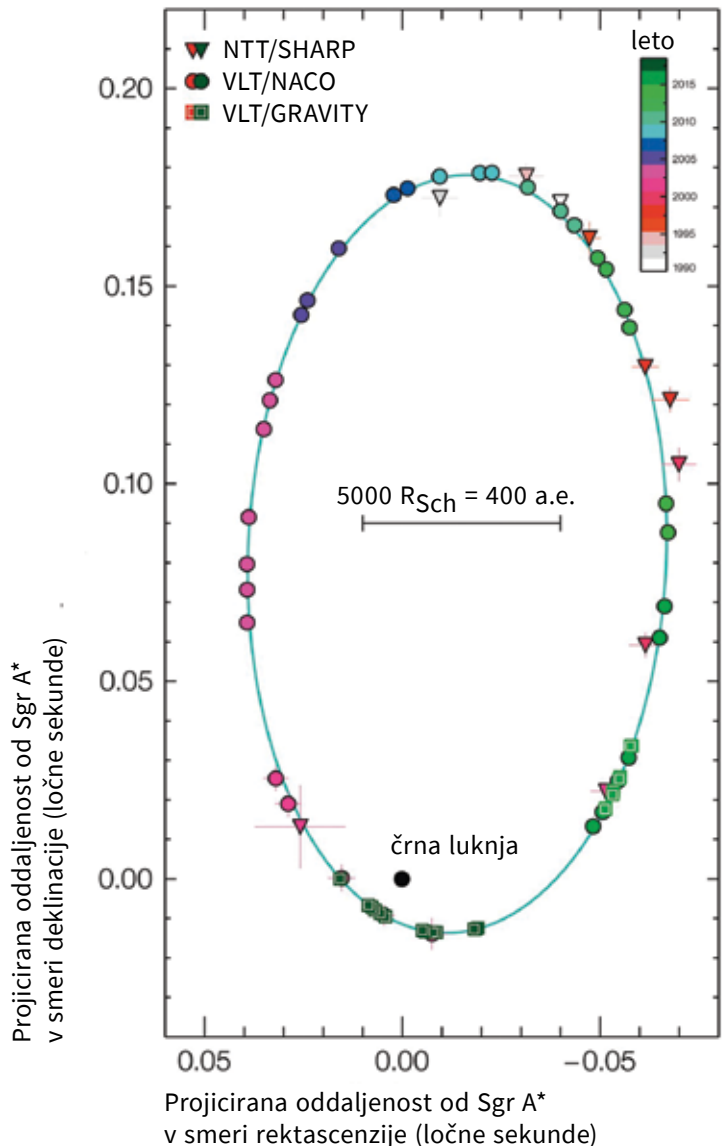
Slika 3: Tirnice zvezd v bližini središča naše Galaksije v obdobju 1995 do 2016, kot jih je izmerila skupina Andree Ghez. Rdeča črta označuje tirnico zvezde S0-2 oziroma S2. Vir: Keck/UCLA Galactic Center Group.

setinko sekunde), jih med seboj poravnajo, tako da se vzorci zvezd »ujamejo«, jih seštejejo in tako dobijo ostrejšo sliko. Ugotovili so, da so izmerjene hitrosti zvezd obratno sorazmerne s kvadratnim korenom razdalje zvezd od središča Galaksije, točno tako, kot bi pričakovali, če se v njem skriva le eno samo, majhno telo. S to tehniko so se središču

Galaksije uspeli približati na približno dvanajst svetlobnih dni.

V novem tisočletju so pričeli na obeh observatorijih uporabljati prilagodljivo optiko. Pri tej tehniki z laserjem visoko v ozračju ustvarijo na nebu, v bližini objekta opazovanja, umetno zvezdo. Nato opazujejo oba – umetno zvezdo in objekt opazovanja – ter

Slika 4: Tirnica zvezde S2 okoli središča naše Galaksije, kot so jo določili na podlagi petindvajset let opazovanj s teleskopi Evropskega južnega observatorija v Čilu. Oznake (trikotniki, krogi, kvadrati) označujejo položaj zvezde izmerjen z različnimi instrumenti (SHARP na teleskopu New Technology Telescope - NTT, NACO in GRAVITY na Zelo velikem teleskopu (Very Large Telescope -VLT)). Barva oznake označuje leto meritve položaja. Daljica v notranjosti tirnice prikazuje razdaljo $5.000 R_{Sch}$ oziroma 400 razdalj Zemlja-Sonca. (Velikosti zvezde in črne luknje nista v pravilnem razmerju z razdaljami). Vir: ESO/MPE/ GRAVITY Collaboration.



s hitrim spreminjanjem oblike zrcala v teleskopu v realnem času kompenzirajo popačitve slike, ki nastanejo zaradi turbulenc v ozračju, in poskušajo doseči čim ostrejšo sliko umetne zvezde. S tem izostrijo oziroma odpravijo migotanje zaradi ozračja tudi pri sliki opazovanega objekta. Ta tehnika omogoča ostrejšo sliko in tudi daljše čase osvetlitve ter s tem opazovanje šibkejših zvezd.

Uporaba prilagodljive optike je obe skupini pripeljala še bližje središču Galaksije. Slika 3 prikazuje gibanje zvezd v območju približno en svetlobni mesec okoli središča. Med njimi je posebej zanimiva zvezda z oznako S2 oziroma S0-2: središče Galaksije obkroži v samo šestnajstih letih (za primerjavo, Sonce potrebuje več kot dvesto milijonov let za en obhod), giblje se po zelo sploščeni eliptični tirnici in se Sgr A* približa na zgolj sedemnajst svetlobnih ur.

Rezultati obeh raziskovalnih skupin so se odlično ujemali. Pokazali so, da se v središču Galaksije nahaja masa za približno štiri milijone mas Sonca. Ta masa je zelo zgoščena, saj se nahaja znotraj tirnice zvezde S2 – znotraj območja s polmerom, ki je le približno stopetindvajsetkratnik Zemljine razdalje od Sonca. Prispevek zvezd in ostankov zvezd k tej masi je zanemarljiv, torej gre za zelo kompaktno telo. Nabolj znanstveno

smiselna in trdna razlaga je, da je ta kompakten objekt v središču Galaksije supermasivna črna luknja.

Obe raziskovalni skupini še naprej budno spremljata dogajanje v središču Galaksije. Posebej natančno so spremljali zvezdo S2, ko je maja leta 2018 potovala skozi pericenter – točko na svoji tirnici, v kateri se najbolj približa Sgr A* (slika 4).

Ob tem »mimoletu« jim je uspelo izmeriti precesijo njenega pericentra oziroma sukanje eliptične tirnice zvezde okoli črne luknje in gravitacijski rdeči premik, ki sta bila povsem v skladu z napovedmi Einsteinove splošne teorije relativnosti – teorije, ki je v sto letih obstoja uspešno prestala številne preizkuse. Še ena njena napoved – gravitacijski valovi – nam od prve neposredne detekcije leta 2015 (nagrajene z Nobelovo nagrado za fiziko za leto 2017) odpira novo okno v vesolje in nam pomaga razkrivati skrivnosti črnih lukenj na povsem nov način.

Botanična novost s Slavnika

V spomin Ernestu Mayerju, Darinki Soban
in Tonetu Wraberju

Igor Dakskobler, Valerija Babij



Čičarski gozdovi pod Slavnikom in njegovimi vzhodnimi sosedi. Foto: Igor Dakskobler.

Več kot 1.000 metrov visoko goro na zahodnem robu Čičarije med Matarskim podoljem in Podgorskim krasom sem do leta 2020 obiskal enkrat samkrat, in to davno, na začetku svojega zanimanja za rastlinstvo. Spomladanski izlet je vodil Mitja Kaligarič, čeprav mlajši od mene že takrat uveljavljeni botanik. O tem izletu imam malo spominov, zagotovo pa nam je pokazal endemičnega bledorumenega ušivca (*Pedicularis friederici-augusti*). Desetletje pozneje, ko smo z družino dopustovali ob morju v Strunjanu, sem to goro pogosto opazoval od daleč in si ponavljal, da jo moram vsaj še enkrat obiskati.

Po zaslugi gozdarskega kolega Lada Kutnarja sem pred leti navezal stik s kraškimi gozdarji. Ti me navadno vsako leto povabijo na strokovni dan, kjer pričakujejo od mene, da jim razlagam oziroma pomagam določiti gozdne združbe. Veliko mlajši kolega Matej Reščič, vodja tamkajšnje službe za gozdnogospodarsko načrtovanje, si zelo resno prizadeva, da bi izboljšal vegetacijsko karto njihovega območja. Kolegi so kar zahtevni, v enem dnevu veliko prevozimo, tudi prehodimo, moji odgovori morajo biti čim prejšnji. V starih časih, ko je bila fitocenologija še cenjena veda, si je recimo eden od mojih zelo spoštovanih predhodnikov Maks



*Pritlični listi
Andraževe kobulnice
(čičarskega dolinca),
ki so nama padli v
oči na gozdarskem
strokovnem izletu pod
Slavnikom v drugi
polovici junija leta
2020.*

Foto: Valerija Babij.

Wraber za tako delo lahko vzela cel teden. Imel je spremljevalca, s katerim sta hodila po terenu, delal je popise in na koncu moral napisati ustrezno poročilo. V prvih letih našega druženja sem včasih pri sebi pomislil nanj in mu kar malo zavidal, saj sem sam imel čas za popise le, ko so imeli kolegi malico. A velika prednost teh srečanj je, da me kraški gozdarji popeljejo na kraje, kamor sam zagotovo ali zelo verjetno nikoli ne bi šel, in mi vedno pokažejo tudi kakšno zanimivost za mojo botanično dušo. Brez njih tudi tega članka ne bi bilo.

Poleg tega se stvari spreminjajo na boljše. Na Zavodu za gozdove so po dolgih letih le zaposlili nekoga, ki se lahko večino službenega časa ukvarja s fitocenologijo, in to v osebi biologinje in moje nekdanje sodelavke na Biološkem inštitutu ZRC SAZU Valerije Babij. Tako zdaj tudi ona hodi na te vsakoletne kraške fitocenološke dneve in ker sva zdaj že dva, si lahko privoščiva kak popis več, poleg tistega med malico.

Zgodaj poleti leta 2020 se mi je spet oglašil Matej in napovedal celo dva terenska dneva. Na enem od njih nas je njegov sodelavec, revirni gozdar Damijan Vatovec, peljal pod Slavnik. Ogljedali smo si gorske bukove in lipove gozdove na precej skalnatem svetu

vzhodno od te gore. Ob vračanju nazaj k avtomobilom mi je v bukovem gozdu pogled obstal na listih, ki so očitno pripadali neki kobulnici. Utrnil se mi je že precej daljni spomin, ko mi je sodelavec Andraž Čarni pokazal vrsto iz te družine (*Apiaceae*), ki jo je nabral v Istri pod Učko. Nisem je poznal in dotlej še nikoli videl. Andraž jo je potem določil in mi povedal latinsko ime. Napisal je celo članek, kjer je opisal novo združbo gozdnih robov, ki se imenuje po njej. Pred leti, bilo je na Kočevskem, sem že mislil, da sem jo tudi sam prvič zagledal v naravi, a sem se zmotil – bil je le navadni jelenovec (*Laserpitium arhangelica*). Tokrat sem Valeriji povedal, da bi listi pod nama, glede na to, da smo v Istri, lahko pripadali Andraževi kobulnici. Latinskega imena se nisem več spomnil, a bom to pogledal v knjigah in bova kmalu vedela, pri čem sva. Ker so najini vodniki ravno malicali, sva na mestu najdbe hitro naredila še fitocenološki popis. Doma sva vsak v svojem kotu, jaz v Tolminu, ona v Ljubljani, poiskala ustrezne knjige in si bila enotna, da vsaj po listih ustrezajo Andraževi kobulnici, ki jo zdaj lahko napiševa tudi v latinskem imenom, *Physospermum verticillatum*. V slovenskih botaničnih knjigah je o njej zelo malo podatkov. Izjema

je pred skoraj 70 leti izdani znameniti Mayerjev seznam praprotnic in semenk slovenskega etničnega ozemlja. Tam piše *Danaa (Phyospermum) verticillatum*, zelo redko in posamič: Istra (Čičarija). Kolikor sva potem uspela poizvedovati in pregledati vire in herbarij (pomagali so tudi Boštjan Surina, Nejc Jogan, Walter Rottensteiner in Joso Vukelić), so vsa do zdaj znana nahajališča te kobulnice v hrvaškem delu Čičarije, čeprav nekatera zelo blizu meje s Slovenijo.

Tisti dan, ko sva jo našla, smo se potem po Slavniku le peljali z avtom, na vrh ni bilo časa iti, združbe je bilo treba določiti še kje drugje. A zdaj sem poznal smer, po kateri lahko razmeroma hitro pridem na goro, in kmalu sem izlet ponovil, s tem da sem hodil peš po cesti, ki smo jo mi takrat prevozili. Ob njej in v gozdu nad njo, vse na osojnih pobočjih Slavnika, sem našel kar precej krajev, kjer je bila ta kobulnica, ne samo listi, temveč cvetoče rastline, visoke tudi skoraj

toliko, kot sem sam, vsaj 180 centimetrov. Najina domneva je bila potrjena! Rastline potrebujejo nekoliko svetlobe, zato so ponekod na gozdnem robu, na brežini ceste, v majhnih vrzelih, redkeje v povsem sklenjenih sestojih. Gozd, ki tukaj prevladuje, je bukov in navadno z gostimi šopi jesenske vilovine (*Sesleria autumnalis*) v podrasti (latinsko ime te združbe je zato *Seslerio autumnalis-Fagetum*). Naredil sem precej popisov, a sva skupaj z Valerijo čez teden dni našla še nekaj novih nahajališč z dodatnimi popisi, vsi pa so bili na nadmorski višini med 800 in 1.000 metrov.

Valerija je precej boljša fotografinja, poleg tega pa šolana botaničarka, kar bo še posebej prišlo prav, ko bova morala to rastlino tudi opisati in jo umestiti v sistem naše Male flore. Vrsta je sicer gorsko-sredozemska, razširjena v severovzhodni Alžiriji, Siciliji, južni Italiji in vzdolž Jadranske obale predvsem na Hrvaškem (najbližje Sloveniji

Združba buke in jesenske vilovine (Seslerio autumnalis-Fagetum) pod Slavnikom. Foto: Igor Dakskobler.





Novost v flori Slavnika, portret čičarskega dolinca.
Foto: Valerija Babij.



Vretenčasta razvejenost čičarskega dolinca
(*Physospermum verticillatum*). Foto: Valerija Babij.

v njihovem delu Čičarije in v Gorskem kotarju, tudi na Učki, najprej pa so jo našli oziroma opisali na Velebitu, kjer ima klasično nahajališče) in v Bosni in Hercegovini. Slavnik je torej najbolj severna točka v njenem celotnem območju razširjenosti.

Zdaj ji pač moramo dati tudi slovensko ime, najprej rodu, ki je nov za našo floro, in tudi vrsti. Kako naj si pomagava? V herbariju sva imela vse dele rastline, jeseni sva nabrala tudi plodove in seme. Ob slovenskih imenih rastlin v povezavi z latinščino ne moreš mimo pokojnega Toneta Wraberja – kako temeljito je v *Proteusu* pred okoli petindvajsetimi leti razlagal latinska imena rodov v naši flori, v svoji nadaljevanki *Latinska imena v naravoslovju*. Pri črki P imena rodu *Physospermum* ni bilo, a se je dalo iz opisov drugih rodov razložiti: *fysa* (*physa*) = mehur in

sperma = seme. To je tudi podlaga za nemško in angleško ime naše rastline. Hrvati jo imenujejo drugače. Rodu pravijo doljan in vrsti pršljenasti doljan. Kaj pomeni besedica pršljenasti, ni težko ugotoviti, je prevod latinskega *verticillatum* (vretenčasti – taka je namreč razvejenost stebela v zgornjem delu), a kaj pomeni besedica doljan? Moj rojak, imenoslovec in slavist Silvo Torkar, mi je lahko pomagal v toliko, da je ugotovil, da je občno ime doljan poimenovanje rastline *Alschingera verticillata* (sinonim *Physospermum verticillatum*), ki jo veliki akademski slovar hrvaškega ali srbskega jezika razlaga: neka trava, divji komorač. Zagrebški profesor botanike Antun Alegro nama je pojasnil, da ime doljan izvira iz Dalmacije (Dalmatinske zagore). Tam ga je od domačinov slišal in prvi zapisal italijanski botanik Roberto de



Kobljček čičarskega dolinca. Foto: Valerija Babij.



Plodovi čičarskega dolinca. Foto: Valerija Babij.

Visiani (1852), povezujejo pa jo z imenom dol v pomenu dolina. Torej bi po slovensko, tako meni Silvo, našo kubulnico lahko imenovali vretenčasti dolinec ali velebitski ali čičarski dolinec.

Če pa za podlago vzamemo njene nekoliko nabrekle (napihnjene) oziroma zaobljene plodiče, bi rodu lahko rekli zaobljenoplo-

dni koblj, vrsti pa vretenčasti (ali visoki ali velebitski ali celo čičarski) zaobljenoplodni koblj. Sam bi to kobulnico najraje imenoval velebitski (čičarski) jelenovec, kajti prvo latinsko ime, ki so ga zapisali (bazionim), je bilo *Laserpitium verticillatum*.

Po zgradbi socvetja je *Physospermum verticillatum* tipična kobulnica; od podobnih vrst te družine pa se razlikuje predvsem po stebelu, ki se v zgornjem delu vretenčasto razveji, in napihnutih plodovih, ki niso nikoli krilati. Po listih podobne vrste, na primer iz rodov *Laserpitium* (jelenovec) in *Angelica* (gozdni koren), imajo plodove s krilci.

Kobulnice niso ravno ugledne in iskane rastline, a zelo rada jih je imela pokojna Darinka Soban in o njih sva se včasih na dolgo pogovarjala. Nova med njimi v flori naše države kljub precejšnji velikosti nima kakšnih posebnih lastnosti. Gozdarjem je bila najbrž nekoliko skrita zaradi razmeroma poznega cvetenja v drugi polovici junija in prvi polovici julija, botanikom pa morda zato, ker v gozdu prav veliko novih vrst samo-



Plodeči zaobljenoplodni kobul v jeseni.

Foto: Igor Dakskobler.

niklih cvetnic ne pričakujemo več. Vendar je vsaj na Slavniku njena številčnost zadovoljiva in rastlina za zdaj ni ogrožena, a vseeno je precej redka. Raste v gozdnatem okolju, ponekod tudi blizu planinskih poti, a najbrž ne vzbuja pozornosti. Na tej botanično znameniti gori ima namreč hudo konkurenco. Ko prideš iz gozda, si namah v bujnem travniškem rastlinstvu, ki ti jemlje sape od zgodnje pomladi do jeseni. Tudi nama jo je vzelo, ko sva si po dopoldanskem iskanju čičarskega dolinca popoldne vzela čas za travnike – popisovanje in fotogra-

Ni ravno vpadljiv, a je postaven, čičarski dolinec ob bukvi, v kateri združbi pogosto raste. Foto: Valerija Babij.



Združba gozdnega roba, v kateri prevladuje čičarski dolinec. Foto: Igor Dakskobler.

firanje njihove pisane cvetane. O njej tokrat ne bova nič napisala, to je že področje najinega spoštovanega kolege Mitje Kaligariča. Pri *Proteusu* bi bili zelo veseli, če bi se nam spet kaj oglasil.

Zahvala

Dr. Silvu Torkarju se iskreno zahvaljujema za koristne in nujne jezikovne izboljšave našinega besedila.

Literatura:

- Čarni, A., 1999: *Natural »saum« vegetation in Čičarija and on the Učka mountain range (NE Istria, Croatia). Natura Croatica (Zagreb), 8: 385–398.*
- Mayer, E., 1952: *Seznam praprotnic in cvetnic slovenskega ozemlja. Dela IV. razreda SAZU 5 (Inštitut za biologijo 3). Ljubljana, 427 str.*
- Visiani, R., 1852: *Flora dalmatica: sive enumeratio stirpium vascularium quas hactenus in Dalmatia lectas et sibi digessit. Lipsia (Leipzig): Hofmeister, 390 str.*
- Wraber, T., 1997: *Latinska imena v rastlinoslovju (15): Abecedni seznam rodovnih imen (Phacelia-Polygala). Proteus (Ljubljana), 59: 275–277.*

Fran Dobovšek (1876-1915), spregledani naravoslovec

Matija Križnar

Zgodovino slovenskega naravoslovja so krojile mnoge osebnosti. Ti so naravo preučevali poklicno ali pa popolnoma laično. Vsem pa je bila narava zelo pri srcu in so izkoristili vsak trenutek za njeno občudovanje in raziskovanje. Med njih sodi tudi manj znani, toda nič manj pomembni entomolog, herpetolog, preparator in fotograf Fran Dobovšek.

Fran (Francišek) Dobovšek se je rodil 14. aprila leta 1876 v Boštanju na Dolenjskem



Autoportret naravoslovca Frana Dobovška (1876-1915), ki je v Deželnem muzeju za Kranjsko – Rudolfinumu – služboval le skromnih šest let. Fotografijo hrani Narodni muzej Slovenije, inv. št. N 19210.

na kmetiji očetu Janezu in materi Heleni Dobovšek. Osnovno šolo je dokončal v domačem kraju, nato pa opravil dve leti šolanja v Novem mestu, ki pa ga je zaradi pomanjkanja finančnih sredstev moral zapustiti in se vrniti domov. Z dvajsetimi leti je oblekel vojaško suknjo, v kateri je bil do svoje zaposlitve v muzeju. Že kot vojak je izkoristil polletni dopust in na Dunaju leta 1908 v tamkajšnjem muzeju opravil prakso (praktikum) in izpit za preparatorsko službo (Mantuani, Sajovic, 1915; Staut Turk, 1974).

Fran Dobovšek je nastopil službo v Deželnem muzeju za Kranjsko – Rudolfinumu – v maju leta 1909, ko se je upokojil Ferdinand Schulz. Nastopil je kot »provizorni« preparator in se s časom izpopolnil v izdelavi zahtevnih dermoplastičnih preparatov in celo izdelovanju odlitkov in kalupov iz mavca. Že kmalu se je izkazal za marljivega in veččega delavca, ki je opravljal tudi mnoge terenske ekskurzije. Za potrebe zbiranja zoološkega gradiva mu je leta 1910 Deželni

Kleine Mitteilungen.

Eine seltene Aberration von *Argynnis daphne* Schiff., wie von Herrn Bürgerschullehrer Ludwig Mayer (Graz) in der Zeitschrift Nr. 47 beschrieben, fing ich am 26. Juni 1907 am Golovec bei Laibach in Krain. Diesen schönen tadellosen und seltenen Falter übersendete ich im Herbst 1907 gegen Tausch mit mehreren anderen Faltern an den Herrn Böttcher in Berlin. Herr Böttcher versprach mir, diesen merkwürdigen Falter in der Ent. Zeitschrift von Stuttgart näher zu beschreiben. Diese Beschreibung unterblieb jedoch aus mir unbekanntem Grunde. Wahrscheinlich wird sich die von mir gefangene Abart *daphne* in den Händen des genannten Herrn befinden.

Franz Dobovsek, k. k. Rechnungsunteroffizier
in Laibach (Oesterreich).

Kratki Dobovškov zapis o metuljih v entomološki reviji Entomologische Zeitschrift, ki jih je opazoval in ulovil na Golovcu leta 1907. Vir: www.zobodat.at.

odbor vojvodine Kranjske dodelil tudi orožni list in lovsko karto. Tako je za muzej lahko na celotnem ozemlju Kranjske lovile ptice »v znanstvene namene«.

Zanimanje za entomologijo, predvsem metulje, je bilo pri Franu Dobovšku že dolgoletno. S tem priljubljenim konjičkom naj

bi se ukvarjal od leta 1890, kar sklepamo na podlagi ohranjenih primerkov. V reviji *Entomologische Zeitschrift* iz leta 1908 smo odkrili tudi njegovo kratko poročilo o redkih aberacijah robidovega livadarja (*Brenthis daphne*), ki jih je našel poleti leta 1907 na Golovcu. Takratnemu Deželnemu muzeju –

Kranjska

na ekskurziji dne 28. julija na Begunjski in pri Sv. Petru vjetih žuželk in čicak:

| | pram. št. | skupaj št. | K. | v. |
|---|-----------|------------|-----|----|
| 5 kom. <i>Parn. apollo</i> ♂♂ | 5-4 | 16 | | |
| 2 - <i>Arg. aglora</i> ♀ | 2 | 4 | | |
| 3 - <i>Lad. dryas</i> | 3 | 9 | | |
| 1 - <i>Gen. shannoni</i> | 1 | 1 | | |
| 2 - <i>M. dictynna</i> | 2 | 4 | | |
| 1 - <i>P. napi</i> ab. <i>bryoniae</i> ♀ | 10 | 10 | | |
| 1 - <i>L. sinapis</i> ♀ | 3 | 3 | | |
| 1 - <i>L. eorydon</i> ♀ | 2 | 2 | | |
| 1 - <i>L. arion</i> ♀ | 5 | 5 | | |
| 2 - <i>L. eorydon</i> ♂ | 1 | 2 | | |
| 2 - <i>L. eorydon</i> ab. <i>alp.</i> | 3 | 6 | | |
| 1 - <i>L. - -</i> ab. <i>semitigra</i> | 8 | 8 | | |
| 6 - <i>G. merina</i> ab. <i>morula</i> | 50 | 300 | | |
| 6 - <i>O. bipunctaria</i> | 8 | 12 | | |
| 1 - <i>O. moenata</i> | 4 | 4 | | |
| 1 - <i>Agri. populata</i> | 2 | 2 | | |
| 1 - <i>L. scripulara</i> | 6 | 6 | | |
| 1 - <i>Hem. pultaria</i> ab. <i>obolearia</i> | 8 | 8 | | |
| 1 - <i>G. carnioleca</i> | 2 | 2 | | |
| 5 - <i>G. transalpina</i> | 5 | 25 | | |
| 1 - <i>Ancilla</i> ♀ | 6 | 6 | | |
| 1 - <i>Procris manni</i> v. <i>heydenreichi</i> ♀ | 8 | 8 | | |
| 2 - " " " ♂ | 6 | 12 | | |
| Skupaj | | | 455 | 78 |

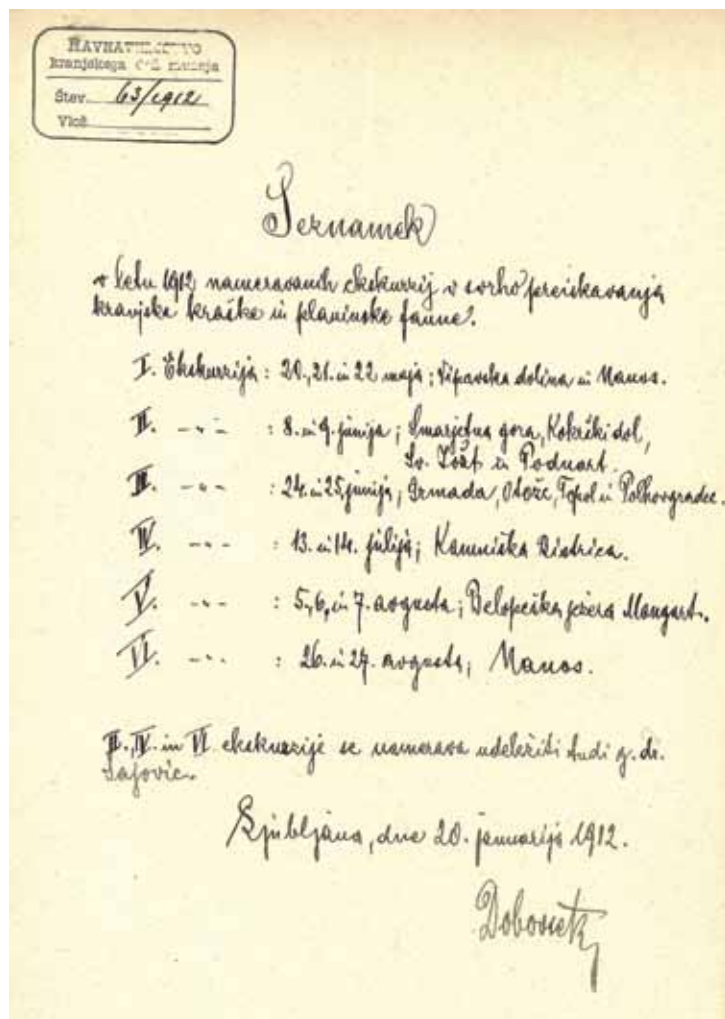
Ljubljana, dne 17. avgusta 1910

F. Dobovšek
V. S. Sajovic
Ljubljana 13. 11. 1910.

Seznam žuželk, ki jih je Fran Dobovšek nabral na eni izmed svojih ekskurzij na Begunjsčico in okolico Svetega Petra nad Begunjami. Pod seznam se je po pregledu muzejski kustos za naravoslovje Gvidon Sajovic. Zanimivo je, da imajo vsi podobni sezname pri primerkih napisane tudi cene v kronah. Foto: Matija Križnar, Arhiv Narodnega muzeja Slovenije, št. akta 1910/193.

Rudolfinu - je Dobovšek leta 1907 za sto kron prodal svojo zbirko kranjskih metuljev. Ta je vsebovala 366 vrst z 852 primerki (Sajovic, 1909). Kot piše Gvidon Sajovic (1909), takratni kustos za naravoslovje, je Fran Dobovšek, verjetno malo pred zaposlitvijo, muzeju podaril tudi zbirko eksotičnih metuljev (34 vrst z 61 primerki), ki jih je sam vzgojil. V letnem poročilu za leto 1911 Gvidon Sajovic omenja tudi najbolj zanimive vrste iz te zbirke: *Ornithoptera hephestus* (= *Troides helena hephestus*), *Papilio blumei*, *Papilio paris*, *Antheraea yamamai*, *Actias seleme*, *Attacus atlas* in *Kallima inachus*.

Tudi po zaposlitvi v muzeju je Dobovšek izvajal zbiranje različnih žuželk po Kranjskem. Tako je leta 1910 opravil ekscurzije v Vipavsko in Bohinjsko dolino in Triglavsko pogorje, na Begunjščico in k cerkvi Sv. Petra nad Begunjami na Gorenjskem, Črno prst ter ponovno v okolico Vipave. O Dobovškovi poletni ekscurziji (12. in 13. julija leta 1910) poroča tudi entomolog Hans Rebel, ki dodaja, da je Dobovšek prehodil pot med Bohinjsko Belo, Gorjušami v Bohinju vse do planine Konjščica (Rebel, 1911). Podobno pa je metulje zbiral tudi na rednih obhodih v okolici Ljubljane, predvsem na Golovcu in Sveti Katarini. Po letnem muzejskem poročilu je v letu 1910 Dobovšek zbral okoli 39 pogostih in 57 novih vrst za muzej, skupaj pa 184 primerkov. Istega leta je pregledal in ocenil tudi zbirko metuljev Mateja Hafnerja ter jo ovrednotil na približno 3.231 kron. O Dobovškovem izjemnem poznavanju metuljev zapiše tudi ravnatelj Josip Mantuani: »... Na polju lepidopterologije je priznan strokovnjak.« Tudi v kasnejših letih



Opis predvidenih ekscurzij
Frana Dobovška za leto 1912,
toda tisto leto je skupaj z
Gvidonom Sajovicem izvedel le
tridnevno ekscurzijo v dolino
Kokre in širšo okolico Kranja.
Foto: Matija Križnar, Arhiv
Narodnega muzeja Slovenije,
št. akta 1912/63.



V današnji zbirki Frana Dobovška, ki jo brani Prirodoslovni muzej Slovenije (Kustodiat za nevretenčarje), so shranjeni mnogi nočni metulji (levo) in nekaj eksotičnih vrst (desno). Foto: Matija Križnar.

je Fran Dobovšek opravil vrsto ekskurzij v Vipavsko dolino pod Nanosom (leta 1911). Za leto 1912 pa sta skupaj z Gvidonom Sajovicem predvidela tudi pomladne in poletne ekskurzije na Šmarjetno goro, dolino Kokre, Sv. Jošt in Podnart, Grmado, Topol in Polhov Gradec, Kamniško Bistrico, Belopeška jezera in Mangart ter Nanos. V enem od poročil Fran Dobovšek navaja, kaj vse je zbral na ekskurziji po Vipavski dolini: »Ob 2. uri sem se napotil nad Gradišče in na vznožje Nanosa. Iskal sem žuželke, katerih je bilo mogoče le malo najti. Dobro so mi došle bogomolke, katerih sem 7 shranil. Ob 5. uri sem se pripravil za nočni lov metuljev ter sem ujel do 8. ure zvečer 32 sovk v 14 vrstah. ... Od ujetih sovk so zanimive dve vrsti, in sicer: *Ammoconia senese* H.-G., katera do sedaj še ni bila na Kranjskem ujeta, in *Plusia chalcites* Esp., katera je znana le po Rebel-nevem katalogu za Kranjsko.« Dobovšek je o redkih in novih vrstah pogo-

sto zapisal tudi pri seznamu nabranih vrst. Tako za vrsto vrečkarja *Phalacropterix praececellens* (sam jo zapiše kot *Ph. praececellens*) v zaznamku pravi: »Tako redka vrsta, da sedaj v Avstriji samo v Vipavi najdena, katero sem zmoget po navodilih g. Hafner-ja najti.« Nekatere odkrite vrste (podvrste in aberacije) metuljev mu je pomagal določiti tudi dunajski lepidopterolog Hans Rebel in jih je Dobovšek shranjeval v svoji zasebni zbirki. Na muzejskih ekskurzijah pa Fran Dobovšek ni zbiral in opazoval zgolj žuželk oziroma nevretenčarjev, ampak tudi plazilce, dvoživke, sesalce in ptice. Tako v poročilu za ekskurzijo v Vipavski dolini zapiše: »Opazil sem eno malo črnico v približni dolžini 60 cm, katera se je hitro skrila v skalno razpoklino. Tudi mladega nabrežnega martinčka sem opazil parkrat.« Tako je tudi prvi našel črнопikčasto kuščarico (*Algyroides nigropunctatus*) v Vipavski dolini ter nekatere druge plazilske vrste (Mantuani,



Sajovic 1915). V takratnih letnih poročilih zasledimo, da je Dobovšek lovil tudi ptice skupaj z ornitologom Jankom Ponebškom na Veliki planini.

V muzeju pa Dobovšek ni bil zgolj preparator in entomolog, pač pa mu je bilo zaupano tudi fotografiranje. Očitno navdušen nad fotografijo je rad eksperimentiral tudi s tem medijem. Predvsem je za službene potrebe fotografiral mnoge muzejske predmete, na terenu pokrajino Bele Krajine ali etnografske motive na Gorenjskem in nekatera arheološka izkopavanja (Kos, 2014). Od naravoslovnega gradiva je Dobovšek fotografiral dermoplastike ptic, metuljev in plazilcev, predvsem kač oziroma kačjih glav. Kot večš terenski fotograf je med svojimi potepi fotografiral tudi žive kače in kuščarice ter verjetno tudi druge živali v naravi. Njegove naravoslovne fotografije so bile objavljene v muzejski reviji *Carniola* v letih 1911 in 1914 (Sajovic, 1913; Seidl, 1911). Ohranjena je tudi ena redka Dobov-

Martinček ali evropska siva kuščarica (Lacerta agilis) iz Gruberjevega kanala pod Golovcem, ki jo je ulovil in v muzej prinesel Fran Dobovšek. Foto: David Kunc, Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije, inv. št. 6092 (mokra zbirka Kustodiata za vretenčarje).



Fran Dobovšek med lovljenjem metuljev, verjetno nekje v okolici Ljubljane. Fotografijo brani Narodni muzej Slovenije, inv. št. N 29291.

škova fotografija (verjetno avtoportret), ki ga prikazuje, kako lovi metulje. S fotografijami nekaterih plazilcev v naravi si lahko dovolimo, da Dobovška uvrstimo tudi med prve naravoslovne fotografe na Slovenskem. Zadnje muzejsko naravoslovno ekskurzijo je Fran Dobovšek z dovoljenjem Deželnega odbora vojvodine Kranjske opravil v Bohinjski dolini in Triglavskem pogorju v poletnih mesecih leta 1914. Kot zapiše v enem od pisem: »Ko je bila razglašena mobilizacija, sem moral takoj po prihodu iz ekskurzije prestopiti v vojaško službo. Ni mi bilo mogoče podati poročila glede pohoda v Julijske Alpe, ker sem imel le prav malo časa na razpolago in pa tudi vse je bilo v onih dnevih razburjeno.« Kot je razvidno iz arhivskih dokumentov, je bil Fran Dobovšek 13. avgusta leta 1914 že v vojski v Trstu in marca leta 1915 v Rogatici v Bosni. Toda tudi med vojno je zbiral metulje v Bosni in jih pošiljal ljubljanskemu lepidopterologu

Ivanu Hafnerju (Mantuani, Sajovic, 1915). Maja in junija leta 1915 je Dobovšek zbiral metulje v okolici Višegrada v južni Bosni (Schawerda, 1922). Nesrečna usoda je hotela, da se je 2. oktobra leta 1915 smrtno ponesrečil po padcu s konja, star le 39 let (Kos, 2014).

Fran Dobovšek je za seboj pustil tudi veliko lastno zbirko metuljev, ki jo je muzeju konec leta 1917 v odkup ponudila njegova vdova Josipina (Jožefa) Dobovšek. V želji, da bi se zbirka ocenila, je muzej za to prosil sicer ljubiteljskega entomologa Antona Bulovca. Bulovec je že 30. novembra leta 1917 pregledal in opravil natančni popis zbirke, ki je bila očitno shranjena v eni omari. Omara, že prepeljana in stoječa na hodniku v muzeju, je bila po Bulovcu »strokovno« izdelana iz trde orehovine in je imela 48 predalov. Skupaj naj bi zbirka vsebovala 5.189 primerkov metuljev ter ocenjena na okoli 1.938 kron. V to je všteta tudi nekatera literatura,



Nekatero objavljene Dobovškove fotografije naravoslovnih primerkov, med katerimi je tudi na terenu posneta črnica (levo). V sredini je tabla z nočnimi metulji, ki jih je večinoma zbral sam, na desni pa spodnja čeljust ledenodobnega losa z Viča. Fran Dobovšek je med svojimi ekskurzijami fotografiral tudi živali v naravi, kar je bilo v tistem času velika redkost na Kranjskem. Vir: Muzejski časopis Carniola.

prazne škatle in entomološki pribor. Nekaj tednov kasneje je Deželni odbor vojvodine Kranjske odobril odkup entomološke zbirke Frana Dobovška za 2.000 kron. Zbirka, čeprav nekoliko »osiromašena«, se tako še danes nahaja v Prirodoslovnem muzeju Slovenije (Černila, 2003). Ohranjena Dobovškova zbirka metuljev šteje več tisoč primerkov v 35 škatlah (www.pms-lj.si).

Kratkotrajno naravoslovno delovanje Frana Dobovška je bilo kljub tragični smrti izjemno plodno. Z nekaterimi novimi spoznanji iz arhivskih dokumentov in fotografijami ga želimo postaviti na pravo in zasluženo mesto v slovenskem naravoslovju, muzealstvu in navsezadnje v družbi.

Literatura in viri:

Arhiv Narodnega muzeja Slovenije (arhivski dokumenti od leta 1907 do 1917 in fotografije), digitalne verzije hrani Prirodoslovni muzej Slovenije.

Černila, M., 2003: Urejanje zbirke metuljev (red Lepidoptera) Prirodoslovnega muzeja Slovenije. *Argo*, 46 (1): 36–39.

Kos, M., 2014: Deželni muzej in prva svetovna vojna. *Argo*, 57 (1): 34–45.

Mantuani, J., Sajovic, G., 1915: Fran Dobovšek (Nekrolog). *Carniola (nova izdaja)*, 6: 241–244.

Rebel, H., 1911: Lepidopteren aus dem Gebiete des Triglav und der Crna Prst in Krain. III. Nachtrag. *Jahresberichte Wiener entomologischer Verein*, 21: 111–147.

Sajovic, G., 1909: Bericht über die naturhistorische Abteilung. Bericht für das Jahr 1908. *Landesmuseum Rudolphinum in Laibach*, 17–20.

Sajovic, G., 1913: Herpetologični zapiski za Kranjsko. *Carniola*, 1–2: 22–52.

Schawerda, K., 1922: Zwölfter Nachtrag zur Lepidopterenfauna Bosniens und der Herzegowina. *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Früher: Verhandlungen des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien*, 71: 145–170.

Seidl, F., 1912: Širokočelni los (*Alces latifrons*) v starejši diluvijalni naplavinu Ljubljanskega barja. *Carniola*, 4: 261–274.

Staut Turk, T., 1974: Zoologi osrednje Slovenije (bivše Vojvodine Kranjske) do l. 1918. *Diplomska naloga*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Biološki oddelek, 89 str. www.pms-lj.si/si/raziskovanje-in-zbirke/zbirke/zbirke-nevretencarjev.

Bakterije, zelene tovarne antioksidantov

Marina Klemenčič, Aleš Ručigaj

Na kaj najprej pomislite, ko vam kdo omeni bakterije? Na moteče vnetje med ličnikom in kočnikom zgoraj desno? Na skisano mleko, ki je nastalo v šalici pozabljene bele kave? Obe asociaciji sta razumljivi, saj sta pogost pojav v našem vsakdanjem življenju. Hkrati pa nam ponazorita, da so bakterije vsenavoči organizmi, ki se uspejo hitro razrasti v raznovrstnih gojiščih. Čeprav na bakterije ponavadi gledamo kot na zlovesče organizme, pa lahko prav lastnost njihovega uspešnega razrašanja s pridom uporabimo v različne človeku koristne namene. Ali veste, da bakterije lahko spremenimo v celične tovarne? In jih tako uporabimo za sintezo različnih molekul, od zdravil pa celo do gradbenega materiala? V tem prispevku bova opisala, kako smo genetsko spremenili bakterije, da so za nas proizvajale rumene in oranžne pigmente, ter zakaj te molekule lahko dosegajo stokratno vrednost čistega zlata.

Klorofil, najbolj razširjeni pigment

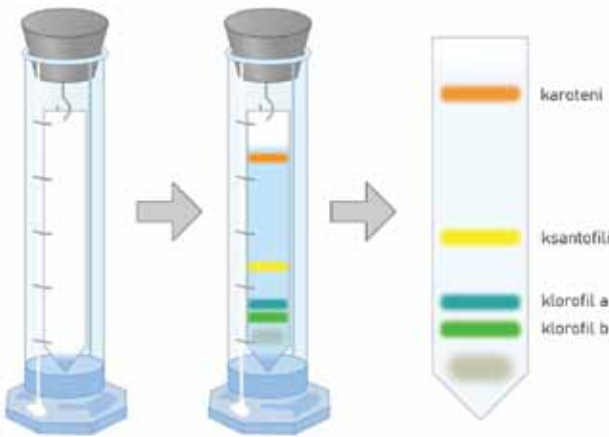
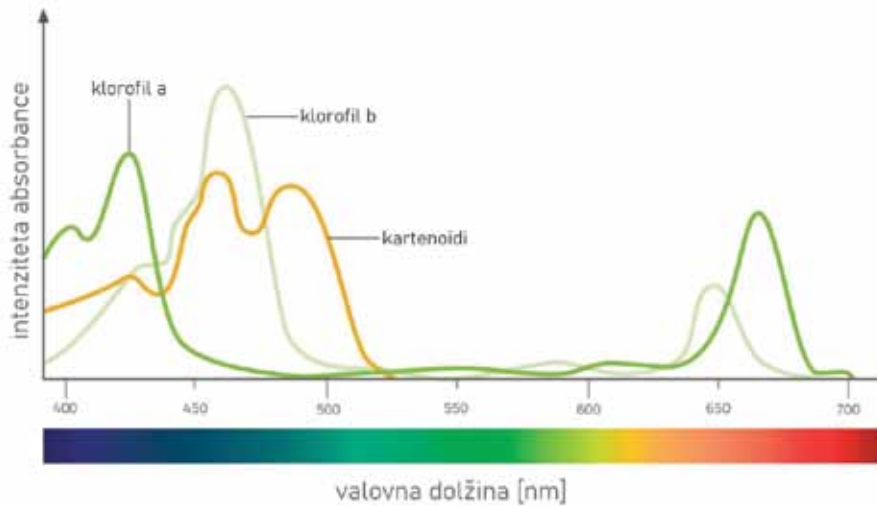
Večina ljudi naravo povezuje z zeleno barvo. A kaj barva sploh je? Z besedo »barva« označujemo lastnost snovi, ki jo zaznajo naše oči, ko na njih posveti svetloba. V slovenščini s to besedo opisujemo tudi snov, ki jo uporabljamo za nanos barvne snovi (»barva za les«). To, da je barva obarvana, pa je posledica vsebnosti pigmentov, pri čemer različni pigmenti določajo različno barvo neke snovi. Če je barva le lastnost snovi, pa so pigmenti molekule. Te molekule so takšne, da odbijajo svetlobo točno določenih valovnih dolžin v vidnem delu spektra, kar zaznamo v različni obarvanosti snovi. Izmed vseh organizmov, ki poseljujejo planet, lahko največ zaslug za barvitost pripišemo rastlinam, ki vsebujejo velik nabor pigmentnih molekul. Izmed vseh naravnih pigmentov, ki obstajajo, je največ klorofila. Ta molekula

ne absorbira v zelenem delu spektra, kar pomeni, da ga naše oči zaznajo kot zelena, kar daje rastlinam značilno barvo, ki jo povezujemo z naravo.

Klorofil je molekula, ki jo rastline potrebujejo za izvedbo fotosinteze – procesa, kjer iz vode in ogljikovega dioksida ustvarjajo sladkorje. Pri tem kot stranski produkt nastaja kisik, ki ga ostali organizmi tega planeta (glive in živali) porabljamo za dihanje. Fotosinteza je energetsko precej potraten proces, kar pomeni, da rastline potrebujejo precej energije za njeno izvedbo. In prav »lovljenje« svetlobe oziroma natančneje fotonov je glavna naloga klorofila, ki z vezavo fotonov omogoči delovanje fotosintetskih središč. Zato se zdi razumljivo, da so rastline tako zelene, saj jim le zadostna količina klorofila lahko omogoči ustrezno izvedbo fotosinteze in posledično zadostne količine ustvarjenega sladkorja za preživetje.

Vendar pa tudi klorofil ni tako magična molekula, kot se zdi. Če pogledamo celotni spekter vidne svetlobe (to je med valovnimi dolžinami približno 380 nanometrov in 740 nanometrov), lahko ugotovimo, da klorofil ne uspe ujeti fotonov celotnega spektra, temveč le tiste, ki imajo valovno dolžino okrog 430 oziroma 660 nanometrov, zato večina ostalega dela vidnega spektra ostane neizkoriščena. Da rastline lahko ujamejo tudi fotone nepokritih valovnih dolžin, najdemo v listih tudi dodatne pigmente, ki jim glede na njihov namen rečemo tudi pomožni pigmenti. Njihova naloga je, da ujamejo fotone tistih valovnih dolžin, ki jih klorofil ne more, in jih preusmerijo v fotosintetska središča.

Pomožne pigmente kopenskih rastlin razdelimo v dve večji skupini, ki jih enostavno ločimo po barvi: rumeni pigmenti spadajo v družino ksantofilov (*ksanto* pomeni v grščini rumen), oranžni pa v družino karotenov (kar



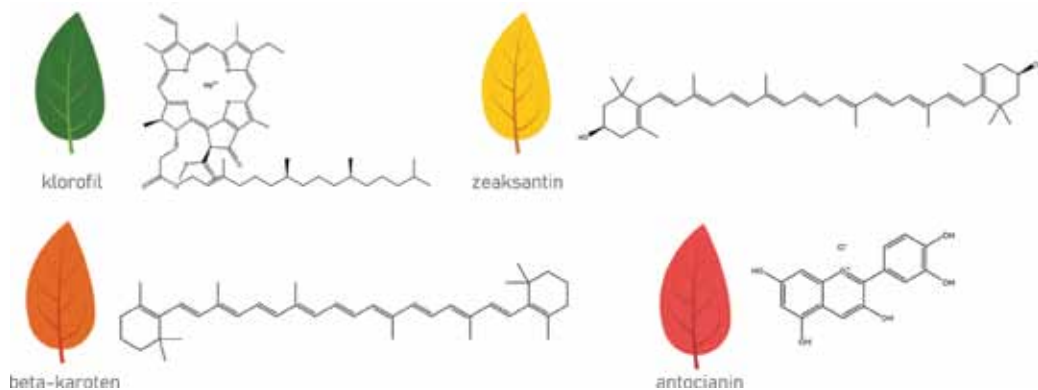
Spekter vidne svetlobe ter absorpcijski spektri obeh klorofilov in karotenoidov, iz katerih je razvidno, da klorofila ne absorbirata pri valovni dolžini okrog 550 nanometrov. Ta valovna dolžina ustreza zeleni barvi, ki se od listov torej odbije, kar rastlinam daje prevladujočo zeleno barvo. Da bi dokazali, da se v rastlinah kljub prevladujoči zeleni barvi nahajajo tudi drugi pigmenti, pa lahko izvedemo tekočinsko kromatografijo, ki bi razkrila še prisotnost pomožnih pigmentov, kot so rumeni ksantofili in organski karoteni.

izvira iz latinskega izraza za korenje *carota*). Ksantofili so odgovorni za rumeno barvo paprik, koruze in buč, karoteni pa dajejo značilno barvo korenju, sladkemu krompirju in papaji. Čeprav so vsi ti naštetih plodovi, pa je treba vedeti, da so ravno ksantofili in karoteni v listih odgovorni za pisano jesen v gozdu.

Od kod barvitost jesenskih gozdov?

Listi večine listopadnih dreves so zaradi prevladujočega pigmenta klorofila zeleni. Najdemo ga v rastlinski celici v organelu, ki mu rečemo kloroplast. Vendar pa rastlina za uspešno lovljenje fotonov vidne svetlobe

poleg klorofila vsebuje še rumene (ksantofile) in oranžne pigmente (karotene). Teh je v listu precej manj kot klorofila, zaradi česar njegova barva pomladi in poleti prevlada nad ostalimi. Ko pa se približuje jesen, mora rastlina poskrbeti, da ima zadostne zaloge hranil za zimske čase, ko je svetlobe precej manj in je zato sinteza sladkorjev s fotosintezo omejena. Posledično pride do razgradnje klorofila in fotosintetskih središč, ne pa tudi do razgradnje oranžnih in rumenih pomožnih barvil. Ti so torej v listih prisotni ves čas, a se njihova barva razkrije šele jeseni in ostane na listih, dokler ti ne padejo z drevesa. Izjema teh barvnih spek-



Barve jesenskih listov in prevladujoče pigmentne molekule.

trov so rdeči listi, ki so posledica prisotnosti barvila antocianina, ki med drugim daje značilno vijolično barvo vijolicam in modro barvo borovnicam. Tega pigmenta listi ne ustvarjajo vse leto, temveč samo jeseni, ko naj bi imel zaščitno vlogo proti mrazu in se z njegovo sintezo rastlina pripravi na zimo (Hughes in sod., 2010).

Pigmenti, človeku koristne molekule

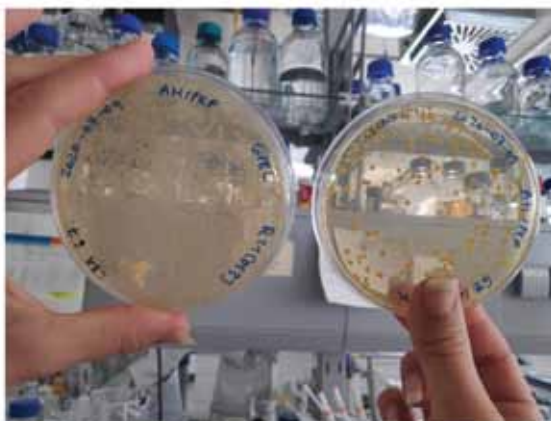
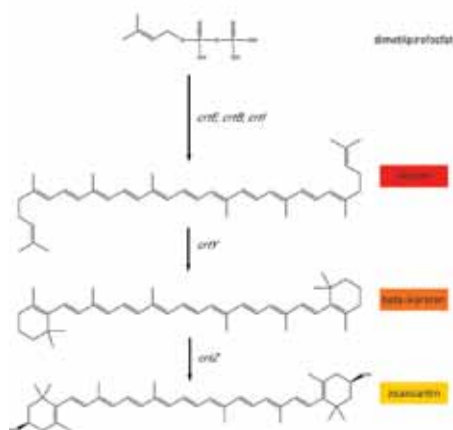
Pigmenti niso le lovilci svetlobe pri rastlinah. Te molekule namreč opravljajo podobno vlogo tudi pri človeku. Omenjeni karoten je molekula, iz katere nastane vitamin A. Gre za vitamin, ki si ga naše telo ne more ustvariti samo in prav pomanjkanje vitamina A je v nerazvitih državah glavni razlog za slepoto. Zadostne količine tega vitamina lahko pridobimo le z ustrežno prehrano. Vitamin A se v mrežnici (retini) očesa nahaja v obliki retinala in se povezuje s proteinom opsinom. Kompleksu retinala in opsina rečemo rodopsin, njegova vloga pa je absorbiranje svetlobe.

Poleg dobro znanega vitamina A pa človeku niso koristni le karoteni, temveč tudi ksantofili. Eden izmed najbolj znanih ksantofilov je molekula zeaksantin. Povpraševanje po tej rumeno obarvani molekuli se strmo povečuje, saj vse več raziskav potrjuje njegovo pomembno antioksidativno vlogo. Upo-

rablja jo ga kot aditiv v živilski industriji in kot aditiv živalski krmi (na primer kot ojačevalec barve ribjega mesa ali pigmentacije jajčnega rumenjaka), pa tudi v kozmetiki in farmacevtski industriji. Zeaksantin postaja tudi popularni prehrambeni dodatek, zelo veliko ga je v jagodah »goji« (navadna kustovnica, *Lycium barbarum*). Vrednost trga zeaksantina v letu 2020 naj bi znašala več deset milijonov ameriških dolarjev. Za primerjavo: en gram zelo čistega karotena ima ceno okrog sto evrov, medtem ko bi morali za enako čisti gram zeaksantina odšteti več tisoč evrov. Zeaksatin sicer lahko izoliramo iz zelenjave, a so izkoristki s tehnološkega vidika prenizki, organska sinteza pa zahteva uporabo topil in procesov, ki so okolju in končnemu potrošniku neprijazni. Vprašanje torej je, kako pridobiti velike količine zeaksantina?

Prenos genov iz paprik v bakterije

Do odgovora na zastavljeno vprašanje lahko pridemo z uporabo metod in znanj molekularne biologije in tehnologije rekombinantne DNA. Najprej moramo sicer vedeti, kako pride do »priprave« zeaksantina v paprikah ali pa jagodah »goji«. Za sintezo molekul so v celici največkrat odgovorne specializirane beljakovine (proteini), ki jim rečemo encimi. Ti delujejo kot katalizatorji kemijskih reak-



Bakterije naravno vsebujejo molekulo dimetilpirofosfat, ki pa jo z dodatkom treh genov (*crtE*, *crtB* in *crtI*) lahko pretvorimo v rdeče obarvani likopen. Tega encim *crtY* lahko pretvori v beta karoten, prisotnost gena *crtZ* pa omogoči sintezo zeaksantina. Kopičenje beta karotena je tako vidno že na agarni plošči, na katerih rastejo bakterije *E. coli*. Na levi so vidne kolonije bakterij brez genov, ki omogočajo proizvodnjo beta karotena. Na desni plošči pa rastejo bakterije, ki imajo dodane gene za sintezo beta karotena. Ta se sintetizira v tolikšni meri, da se kolonije obarvajo značilno oranžno.

cij in iz začetnih snovi (reaktantov) pripravljajo končne molekule (produkte). Bakterije, kot je na primer najpogosteje uporabljeni laboratorijski sev *Escherichia coli*, same ne znajo proizvesti zeaksantina, vsebujejo pa že nekaj reaktantov, ki se porabljajo pri drugih metabolnih poteh. Bakterijo moramo torej reprogramirati tako, da ji dodamo encime, ki bodo v celici naravno prisotne reaktante spreminjale v zeleni produkt (v našem primeru zeaksantin).

Tega sicer ne naredimo tako, da dodamo celicam kar encime v obliki proteinov, ampak jim v celice vrinemo zapis za te encime na ravni DNA, torej gene. To naredimo tako, da zapise za encime vključimo v krožno DNA, ki ji rečemo vektor, saj omogoča prenos zelene dedne informacije v gostiteljsko celico. Bakterije, ki imajo sedaj poleg svoje kromosomske DNA še našo, vektorsko, so gensko spremenjene. Ko bakterije rastejo in se delijo, prepisujejo tako svojo DNA kot tudi našo, na kateri je zapis za gene za sintezo zeaksantina. Na ta način se v velikih količinah v celicah ustvarjajo encimi, ki

omogočajo nastanek tega produkta.

Kako spremljati koncentracije nastalega produkta, optimizirati rast bakterij ter še dodatno gensko spremeniti bakterije za dosego večjih izkoristkov, je bil cilj projekta, ki smo ga to pomlad in poletje v partnerstvu s podjetjem *AciesBio* iz Ljubljane izvajali na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani.

Pet genov in milijarda oranžnih bakterij

Seveda nismo bili prvi, ki smo si želeli ustvariti bakterije, ki bi proizvajale zeaksantin. Zato smo lahko vektor, ki je vseboval gene za gene, ki sintetizirajo zeaksantin, kar naročili. Vektor je vseboval pet genov, ki so potrebni za sintezo zeaksantina: gen za pirofosfat sintazo (*crtE*), likopen ciklazo (*crtY*), fitoen dehidrogenazo (*crtI*), fitoen sintazo (*crtB*) in beta karoten hidroksilazo (*crtZ*) (Sun in sod., 1996). Poleg tega vektorja smo uporabili tudi vektor brez zapisa za zadnji encim: ta v *E. coli* omogoča sintezo in kopičenje beta karotena. Oba vektorja smo s postopkom transformacije vnesli v ce-

lice *E. coli*, ki smo jih nato gojili na agarjih ploščah pri sobni temperaturi.

Da je bil prenos genov uspešen in da so bakterijske celice sintetizirale beta karoten in zeaksantin v velikih količinah, je bilo vidno že po nekaj dneh. Namesto blede rumenih kolonij gensko nespremenjenih *E. coli* so bile na ploščah vidne oranžne kolonije tistih celic, ki so sintetizirale beta karoten, in intenzivno rumene kolonije tistih, ki so sintetizirale zeaksantin.

Tako kot vsi ostali pigmenti sta tudi beta karoten in zeaksantin molekuli, ki sta slabo topni v vodi in se zato v celici kopičita predvsem v membranah, ki jih tvori lipidni dvosloj. In prav to je eden izmed bistvenih omejujočih dejavnikov takih molekul v bakterijah. Obe molekuli se kopičita v membranah, vgradnja zeaksantina v lipidni dvosloj pa poleg tega povečuje rigidnost celične membrane. To pomeni, da je njegovo kopičenje omejeno, ko membrana doseže maksimalno rigidnost. Da bi zaobšli to težavo, smo si zamislili sistem, v katerem se zeaksantin ne kopiči le v membrani, temveč tudi v citoplazmi, ki je vodotopno okolje. Da bi to dosegli, smo morali v bakterijske celice, v katere smo vnesli biosintezno pot do zeaksantina, dodati še gen za človeški protein glutation S-transferazo Pi (GSTP1), ki se pri človeku nahaja v rumeni pegi in veže dve molekuli zeaksantina (Bhosale in sod., 2004) Na ta način smo želeli doseči, da se del sintetiziranega zeaksantina z veza vo na ta protein prenese tudi v citoplazmo, s čimer se poveča celična kapaciteta za kopičenje tega pigmenta in posledično njegova celokupna koncentracija v celici.

Povečanje vsebnosti zeaksantina smo v celicah poskušali doseči tudi z naključno mutagenozo z ultravijolično svetlobo in dodatnimi zapisi za beta karoten hidroksilazo. Vzporedno pa smo razvijali in optimizirali metodo za ekstrakcijo ter kvantifikacijo koncentracije obeh pigmentov z uporabo različnih topil.

Naravni gensko spremenjeni organizmi in biotehnologija

Če dobro pomislimo, sta zeaksantin in beta karoten nadvse posebni molekuli in pigmenta za človeka. Oba imata namreč pomembno vlogo v vidu in nam tako pravzaprav omogočata, da ju vidimo. Kljub njuni pomembni vlogi tudi pri ostalih živalih pa je zanimivo, da teh molekul tudi živali ne znajo sintetizirati same, temveč jih lahko pridobimo le s hrano. Kot povsod pa tudi tu obstajajo posebne izjeme: žuželke, ki so gene za sintezo beta karotena uspele »prekopirati« od gliv s tako imenovanim procesom horizontalnega prenosa genov (Altincicek in sod., 2012). Nismo torej samo ljudje tisti, ki vidimo dodano vrednost v teh molekulah! Ker pa nam horizontalni prenos genov (zaenkrat) še ni uspel, ostaja tako biotehnologija mikroorganizmov ključno področje nadaljnjega razvoja za pridobivanje teh pomembnih barvnih molekul.

Literatura:

- Altincicek, B., Kovacs, J. L., Gerardo, N. M., 2012: *Horizontally transferred fungal carotenoid genes in the two-spotted spider mite Tetranychus urticae*. *Biology Letters*, 8 (2): 253–257. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0704>.
- Bhosale, P., Larson, A. J., Frederick, J. M., Southwick, K., Thulin, C. D., Bernstein, P. S., 2004: *Identification and characterization of a Pi isoform of glutathione S-transferase (GSTP1) as a zeaxanthin-binding protein in the macula of the human eye*. *Journal of Biological Chemistry*, 279 (47): 49447–49454. <https://doi.org/10.1074/jbc.M405334200>.
- Hughes, N. M., Reinhardt, K., Field, T. S., Gerardi, A. R., Smith, W. K., 2010: *Association between winter anthocyanin production and drought stress in angiosperm evergreen species*. *Journal of Experimental Botany*, 61 (6): 1699–1709. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq042>.
- Sun, Z., Gantt, E., Cunningham, F. X., 1996: *Cloning and functional analysis of the beta-carotene hydroxylase of Arabidopsis thaliana*. *Journal of Biological Chemistry*, 271 (40): 24349–24352. <https://doi.org/10.1074/jbc.271.40.24349>.

Slovarček:

Pigment. Molekula, ki zaradi svoje strukture odbija svetlobo določene valovne dolžine, kar oko zazna kot spremembo v barvi.

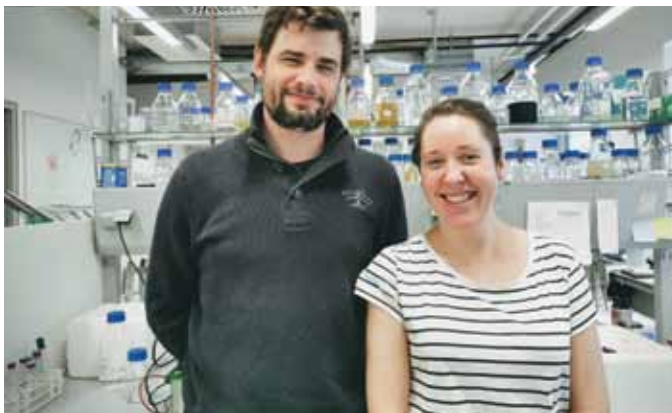
Kloroplast. Organel, prisoten samo v rastlinskih celicah, kjer poteka proces fotosinteze, s katerim rastline iz ogljikovega dioksida in vode ustvarjajo sladkorje. Pri tem procesu kot stranski produkt nastaja kisik.

Tehnologija rekombinantne DNA. Nabor tehnik, ki jih lahko uporabimo, da združujemo genski material različnih organizmov, na primer bakterijskega in živalskega oziroma rastlinskega, s čimer ustvarimo zapise DNA, ki jih narava ne bi mogla ustvariti sama.

Gen. Del DNA, ki se med prepisovanjem v katerikoli živi celici prepíše v RNA. Ponavadi z besedo gen označujemo dele DNA, ki zapisujejo za protein.

Plazmid. Krožna molekula DNA, ki jo nekatere bakterije vsebujejo poleg kromosomske DNA. V laboratoriju plazmide lahko uporabljamo kot vektorje, prenašalce dednih informacij, med različnimi celicami.

Citoplazma. Del celice, ki ga zaobjema celična membrana. V bakterijskih celicah v citoplazmi najdemo DNA, morebitne plazmide, ribosome ter veliko ostalih proteinov. Pri živalih in rastlinah pa citoplazma vsebuje tudi organele, ki v celicah opravljajo posebne funkcije (mitohondrij, endoplazemski retikulum in podobno).



Dr. Marina Klemenčič in

dr. Aleš Ručigaj sta docenta na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani.

Marina Klemenčič je biokemik in raziskuje, kako potekajo molekularni mehanizmi, ki povzročijo nadzorovano smrt celic enostavnih organizmov, kot so bakterije in enocelične alge.

Aleš Ručigaj je kemijski inženir in raziskuje, kako različne strukturne lastnosti hidrogelov, pripravljenih iz biopolimerov, vplivajo na hitrost sproščanja zdravilnih učinkovin iz njih.

Mineraloška dediščina rudnika Sitarjevec (tretji del)

Mirjan Žorž, Igor Dolinar, Miha Jeršek, Mirijam Vrabc

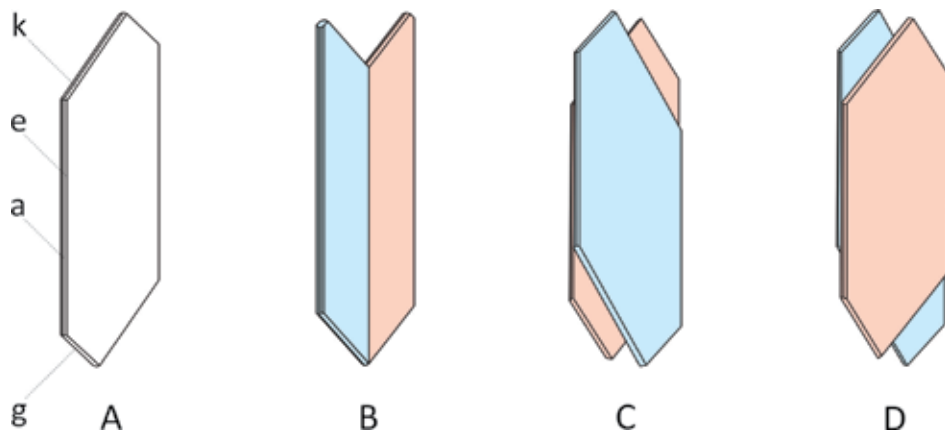
V dvojni, deveti in deseti številki v prejšnjem 82. letniku in prvi številki letošnjega 83. letnika smo začeli obujati spomin na rudnik Sitarjevec v Litiji, v katerem je pridobivanje rude s prekinitvami trajalo več kot štiri stoletja. Sitarjevec je polimetalno rudno nahajališče z izrazito oksidacijsko cono v obliki železovega klobuka in z nižje ležečimi, bolj ali manj oksidiranimi rudnimi žilami in rudnimi telesi. Mineralno paragenozo tega rudišča sestavljajo primarne rude in žilni minerali ter sekundarni minerali, ki nastajajo zaradi oksidacije primarnih mineralov. Trenutno je določenih petdeset različnih mineralov, vendar večina le v mikroskopski obliki. Zaradi tega se v prispevku osredotočamo le na najbolj pogoste minerale in na tiste, ki nastopajo v makroskopskih kristalih.

Sadra

Ta značilni sekundarni oksidacijski mineral je tukaj dokaj redek, še posebej v lepo oblikovanih kristalih. To lahko pripišemo odsotnosti apnenca oziroma kalcita v rudniku.

Najdemo jo na stenah rovov v obliki prevleke, ki jih sestavljajo drobni igličasti kristali. Redki so primerki s kristali na limonitni podlagi, ki merijo do 6 milimetrov. Posamezni kristali z značilnim bisernim leskom na ploskvah pinakoida $b\{010\}$ so do 0,5 milimetra debeli in imajo lističasto obliko, ki spominja na kristale sljud. Mnogo kristalov je zdvojenih po dveh različnih zakonih. Nekateri so enostavni kontaktni dvojčki po ploskvi (100). Ti so podaljšani vzdolž dvojčične ravnine in zrcalno simetrični z ozirom na to ravnino. Tovrstne dvojčke poznamo pod nazivom »lastovičji rep«. Drugi tip dvojčenja so kristali, ki so zdvojeni po ploskvi (010), pri čemer so istočasno zasukani za 180 stopinj vzdolž kristalografske c -osi v skladu s tako imenovanim karlovarskim zakonom.

Oblika kristalov sadre (A). Risba B prikazuje (100)-dvojček oziroma »lastovičji rep«. Dvojčenje po karlovarskem zakonu rezultira v kristalih z različno orientacijo. Risba C prikazuje desno-, risba D pa levosučni dvojček. Kristalografski liki: $a\{100\}$, $e\{120\}$, $g\{\bar{1}01\}$, in $k\{011\}$.





*Kristali sadre na limonitni podlagi. Velikost primerka: 60 milimetrov x 35 milimetrov.
Zbirka: Goran Schmidt.*



Izrez prikazuje tanke kristale sadre, med katerimi so mnogi zdvojni. Velikost izreza: 12 milimetrov.

Limonit/goethit

Glavni razlog, da omenjamo limonit oziroma goethit na tem mestu, je prisotnost eksotičnih speleotemov v obliki stalaktitov, stalagmitov in prevlek v opuščeni rudniški rovih. Zgornji deli rudnika (železov klobuk) so namreč bogati z železovimi sulfidi (piritom in markazitom), ki so izpostavljeni izraziti oksidaciji, ki jo povzročajo površinske vode, pronicajoče skozi te plasti. Pri tem se sproščajo dvovalentni železovi Fe^{2+} ioni. Raztopine z železovimi ioni se pretakajo po omrežju razpok in rudnih žil. Brž ko dosežejo odprte prostore, kot so rudniški rovi in jaški, pride z zračnim kisikom do oksidacije dvovalentnih Fe^{2+} ionov v trovalentne Fe^{3+} ione. Slednji pa niso več topni, zato se oborijo v obliki limonitno/goethitnih prevlek. Hitrost odlaganja železovih oksidov je velika. Tla v Grollovem rovu so popolnoma prekrita z do 50 centimetrov debelo plastjo limonita, nekateri stalagmiti pa so v petdesetih letih od opustitve rudarjenja zrastle preko enega metra v višino. Limonitni speleotemi so slikoviti, hkrati pa zelo nestabilni. Votli stalaktiti s premerom do 2 centimetra so dolgi več kot meter in se že ob rahlem dotiku zlahka odlomijo oziroma prelomijo. Limonitne prevleke prav tako prekrivajo jamsko podporje, kar mu navidezno daje večjo stabilnost. V resnici pa so leseni tramovi in stebri strohnjeni, zato je te dele jame bolje opazovati le od daleč. Nekateri rovi na območju Alme so v poroznih plasteh limonita. Tam so našli prostor za kristalizacijo drugi minerali. Tudi ti deli rudnika so nestabilni, zato lahko v vsakem trenutku pride do podorov.

Stene Glavnega rova so popolnoma obdane z limonitnimi prevlekami. Merjenja višine stalagmita na tej fotografiji med letoma 2003 in 2018 so pokazala, da je v tem obdobju rasel s hitrostjo 3 centimetre na leto.

Foto: B. Zarnik, 2018.





Svetlikajoči se skupke goethita na limonitni podlagi. Primerki goethita takšne kakovosti so redki, ne glede na splošno prisotnost železovih oksidov v Sitarjevcu. Velikost primerka: 47 milimetrov x 37 milimetrov. Zbirka: Igor Dolinar.

Pirit

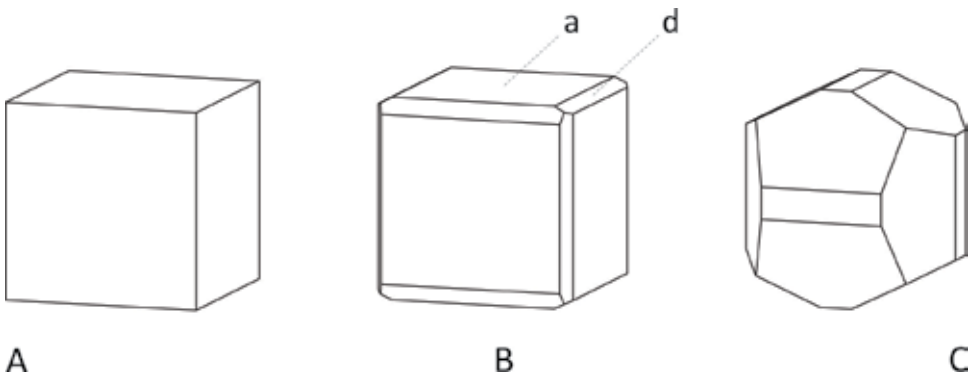
Prisoten je v kristalih, ki ne presežejo velikosti dveh centimetrov. Največji imajo obliko enostavnih kock z nekoliko ukrivljenimi ploskvami, ki pa niso značilno narebrene. Manjši kristali, ki so kombinacija kristalnih likov kocke in pentagonskega dodekaedra,

pa so narebreni. Pogosto se pojavlja v kroglastih skupkih, ki so vključeni v baritu in galenitu in v premeru lahko dosežejo nekaj centimetrov. Te skupke sestavljajo kristali, ki žarkasto izraščajo iz njihove sredine in so večinoma močno oksidirani.



Zelo zanimivo primerek skorje železovih oksidov – limonita – po cerusitu. V kislem okolju so se cerusitovi kristali raztopili in tako je ostala samo limonitna skorja, ki jih je nekoč pokrivala. V zaključku so se na limonitu izkristalizirali še conirani kristali barita. Velikost primerka: 60 milimetrov x 50 milimetrov. Zbirka: Igor Dolinar.

Večji kristali pirita so enostavne kocke (A). Manjši (B in C) so kombinacija kristalnih likov kocke $a\{100\}$ in pentagonskega dodekaedra $d\{210\}$.

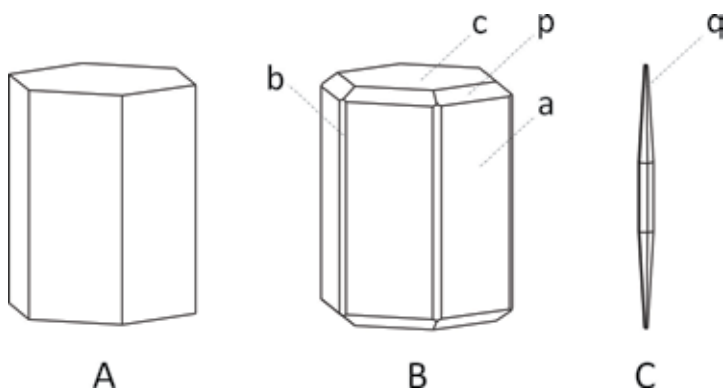


Piromorfit

Nevpadljivi prizmatski kristali niso tako redki, kakor so včasih menili. Pogosto jih najdemo na podlagi limonita ali peščenjaka, redko pa skupaj s slamnatim cerusitom. Manjši kristali so brezbarvni do rahlo rjavi. Tisti, ki so priraščeni na limonitu, so lahko rumenkasto zeleno obarvani. Največji kri-

stali so rjave barve. Velika večina kristalov so enostavne šesterokotne prizme, ki jih odrežejo ravne ploskve pinakoida **c**. Manjši kristali imajo robove terminacij nekoliko odrezane s ploskvami bipiramide **p**{101}, robove med prizmami pa z ozkimi ploskvami prizme **b**{110}. Nekateri kristali imajo igličasto obliko, ki je kombinacija prizme **a** in

Enostavni prosojni, toda lepo razviti prizmatski kristali piromorfita. Velikost izreza: 14 milimetrov x 12 milimetrov. Zbirka: Igor Dolinar.



*Večina kristalov piromorfita ima prizmatsko obliko z ravnimi terminacijami (A). Več kristalografskih likov opazimo na manjših kristalih (B). Risba C prikazuje igličasti kristal bipiramidalne oblike. Kristalni liki: **a**{100}, **b**{110}, **c**{001}, **p**{101} in **q**{b0l}.*



*Sodčkasti kristali
piromorfita s cerusitom.
Velikost izreza:
17 milimetrov x
17 milimetrov.
Zbirka: Prirodoslovni
muzej Slovenije v
Ljubljani.*

*Redka oblika kristalov
piromorfita iz rudnika
Sitarjevec, ki je sicer dokaj
pogosta v drugih svetovnih
nabajališčih. Kristali
so izrazito odebeljeni
na sredini. Njihove
terminacije so razcepljene
v posamezne kristale, ki
so značilno zasukani v
skladu s kristalno simetrijo
piromorfita. Velikost izreza:
10 milimetrov x
7 milimetrov.
Zbirka: Igor Dolinar.*



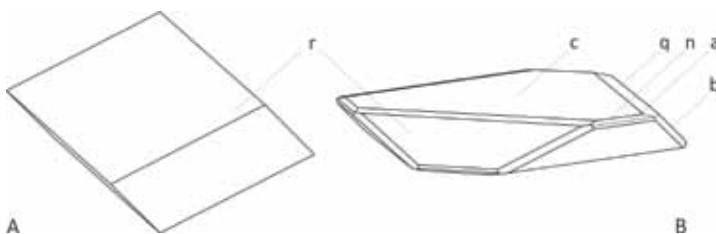
zelo strme bipiramide **q**. Zelo zanimive kristale so našli pred nekaj leti v rovu Alma. Imajo sodčkasto obliko, kar je značilni habitus piromorfita iz mnogih drugih nahajališč po svetu. Kristali so nabrekli v sredini, proti terminacijam pa se ožajo, pri čemer se slednje pogosto značilno razcepijo. Največji kristali piromorfita dosežejo v dolžino do 15 milimetrov in v premeru do 3 milimetre.

Kremen



*Kremenovi kristali s Sitarjevca so prizmatski. Na ploskvah prizme **m** so razvite strije v obliki navpičnih, nekoliko nalomljenih ravnih linij. Laminacije v obliki odprte črke **V** potrjujejo brazilski tip dvojčenja. Odsotnost ploskev trapezoedra in prisotnost ploskev bipiramide **s** v dvojčičnih legah potrjujejo tip kremenja Bambauer. Kristalni liki: **m**{100}, **r**{101}, **s**{111} in **z**{011}.*

*Enostavni kristali siderita imajo razvite le ploskve romboedra **r** (A). Bolj zanimivi so tisti z dominantnimi ploskvami pinakoida **c** in s ploskvami romboedra **r**, ki so modificirani s ploskvami prizme **a** ter še nekaterimi ploskvami pozitivnih in negativnih romboedrov (B). Kristalni liki: **a**{100}, **b**{110}, **c**{001}, **n**{012}, **q**{106} in **r**{101}.*



Mirno lahko zatrdimo, da je kremen odigral vlogo grobarja rudnika. Bil je vsesplošno navzoč v obliki tektonsko napokanih in brečastih plasti kremenovega peščenjaka. Vrtanje skozi te plasti je pri rudarjih povzročalo silikozna obolenja predvsem v zadnjih letih delovanja rudnika. V nasprotju s tem pa kremen v makroskopskih kristalih ni bil pogost. V zgornjih oksidiranih delih rudnika ga skoraj ni bilo. Pogostejši je bil v spodnjih delih, kjer pa kristali tudi niso presegli 2 centimetrov v dolžino in 1 centimetra v premeru. Večinoma so bili mlečni in prizmatske oblike; le redki so imeli prozorne terminacije. Kremen s tega mesta uvrščamo v tako imenovani tip Bambauer, za katerega je značilna odsotnost ploskev trapezoedra. Na ploskvah prizme so razvite značilne linije – strije, ki pa so značilne za tip kremenja Friedlaender. Odločilno podrobnost predstavljajo ploskve bipiramide in lamelarna struktura na ploskvah prizme, ki potrjujejo dvojčenje po brazilskem zakonu. Praviloma so dobro razviti kremenovi kristali v združbi z večjimi kristali barita in s cinabaritom.

Siderit

Enostavni romboedrski kristali so rjave barve in ne večji kot 2 milimetra. Pogosto predstavljajo podlago, iz katere izraščajo kristali aragonita. Kristali svetlo rjave barve so nekoliko večji in merijo do 5 milimetrov v premeru. Ti so sploščeni po ploskvi pinakoida **c** in bogatejši s kristalnimi liki.

Zahvala

Mnogo ustanov, strokovnjakov in zbiralcev nam je pomagalo s podatki o zgodovini rudnika, z dokumentacijo in s primerki mineralov. Na tem mestu se zato pristrčno zahvalujemo Claudii Dojen (Landesmuseum Kärnten v Celovcu), Moniki Feichter, Franku Melcherju in Johannu Raithu (Montanuniversität v Leobnu), Uweju Kolitschu (Naturhistorisches Museum na Dunaju), Berndu Moserju (Joanneum v Gradcu), Biserki Radanović - Gužvica (Hrvatski prirodoslovni muzej v Zagrebu), Jiříju Sejkori (Národní Museum v Pragi), Mateji Golež (Zavod za gradbeništvo v Ljubljani), Francu Habiču (Ljubljana), Matjažu Kirmu (Litija), Gregorju Koblerju (Ljubljana), Ivanu Kramžarju (Litija), Francu Krivogradu (Prevalje), Matiji Križnarju (Prirodoslovni muzej Slovenije v Ljubljani), Jožetu Leniču (Ihan), Davorinu Preisingerju (Kranj), Viliju Rakovcu (Kranj), Goranu Schmidtu (Ljubljana), Tini Šuštaršič (Mestni muzej v Litiji), družini Vidrih (Studeno) in Blažu Zarniku (Občina Litija).

Viri:

- Brunnlechner, A., 1885: *Beiträge zur Charakteristik der Erzlagerstätte von Littai in Krain. Wien: Jahrbuch der k.k. geol. Reichsanstalt, 35. Band, Heft 2: 387-396.*
- Dolar, I., Zrnc, M., 2011: *Minerali rudnika Sitarjevec v Litiji. Društvene novice, 44: 17-22. Tržič: Društvo prijateljev mineralov in fosilov Tržič.*
- Fabjančič, M., 1972: *Kronika Litijskega rudnika. Tipkopis, 854 str. Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana.*
- Grafenauer, S., 1963: *O mineralnih paragenezah Litije in drugih polimetalnih nahajališč v posavskih gubah. Ljubljana: Rudarsko-metalurški zbornik, 3: 245-260.*
- Grošelj, F., 2011: *Čebelarska pravda. 300 str. Litija: Čebelarsko društvo Litija.*
- Herlec, U., Dolinšek, M., Geršak, A., Jemec, M., Kramar, S., 2006: *Minerali žilnih rudišč v Posavskih gubah in rudnika Sitarjevec pri Litiji. Scopolia – Supplementum, 3: 52-65. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije.*
- Kolar - Jurkovišek, T., Jurkovišek, B., 2007: *Zgornjekarbonska flora Grajskega hriba v Ljubljani. Geologija, 50: 8-19.*
- Mlakar, I., 1987: *Prispevek k poznavanju geološke zgradbe Posavskih gub in njihovega južnega obrobia. Geologija, 28/29: 157-182.*
- Mlakar, I., 1994: *O problematiki Litijskega rudnega polja. Geologija, 36: 247-338.*
- Moborič, I., 1978: *Problemi in dosežki rudarjenja na Slovenskem. 1. knjiga. Ljubljana: Založba Obzorja.*
- Müllner, A., 1903: *Das Bergwesen in Krain. Laibach: Argo, No. 6.*
- Peskar, J., 1976: *Dolenjski odred. 573 str. Ljubljana: Knjižnica NOV in POS.*
- Preisinger, D., 2010: *Opušteni rudniki v Sloveniji. 149 str. Golnik: Založba Turistika.*
- Ravnateljstvo, 1905: *Kranj: Izvestje mestne nižje realke v Idriji.*
- Rečnik, A., Daneu, N., Herlec, U., 2014: *Die Blei- und Zinkerzlagertätte Sitarjevec bei Litija, Slowenien. Mineralien Welt, 25 (3): 56-69. Salzburg: Bode Verlag.*
- Riedl, E., 1886: *Littai. Wien: Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen, No. 21: 333-343.*
- Schmidt, A. 1888: *Zinnober von Serbien. Zeitschrift für Kristallographie, 14: 433-448.*
- Tornquist, A., 1929: *Die Blei-Zinkerzlagertätte der Savenfalten vom Typus Litija. Wien: Berg und Hüttenmännische Jahrbuch, 71.*
- Valvasor, J. V., 1689: *Die Ehre des Herzogthums Krain. Cap. XXVII, 189-190. Laybach.*
- Voss, W., 1889: *Das Mineralvorkommen von Littai in Krain. Laibach: Mitteilungen des Musealvereins für Krain, 351-357.*
- Voss, W., 1895: *Die Mineralien des Herzogthums Krain, 101 p.p. Verlag von Ig. Laibach: V. Kleinmayr & Fed. Bamberg.*
- Weiss, A., 2015: *Die Mineraliensammlung der ehemaligen Berghauptmannschaft Klagenfurt und ihre Bestände. Der steirische Mineralog, 30-35. Graz: Vereinigung Steirischer Mineralien und Fossilien-sammler.*
- Wiestbaler, F., 1893: *Izvestje c. kr. Državne nižje gimnazije v Ljubljani.*
- Zepharovich, V. v., 1880: *Baryt von Littai in Krain. Prag: Lotos – Zeitschrift für Naturwissenschaften, 30: 67-68.*
- Zepharovich, V. v., 1885: *Cerussit von Littai in Krain. Prag: Lotos – Zeitschrift für Naturwissenschaften, 34: 81-85.*
- Zepharovich, V. v., 1893: *Mineralogisches Lexicon für das Kaiserthum Oesterreich, Band III, 478 p.p. Wien.*
- Žorž, M., Jeršek, M., Dolinar, I., 2018: *Oblike kristalov nekaterih mineralov iz Sitarjevca, 26-33. I. strokovni simpozij o rudniku Sitarjevec in srečanje rudarskih mest, Litija.*
- Žorž, M., Jeršek, M., Dolinar, I., Vrabc, M., 2021: *Sitarjevec – bei Litija – Bleierze und Zinnober aus Slowenien.*

Vztrajnost na Marsu

Mirko Kokole

Planet Mars je poleg Zemlje najbolj raziskovani planet našega Osončja in naše poznavanje rdečega planeta se je v zadnjih desetletjih izjemno povečalo. Med najbolj uspešnimi sondami, ki smo jih poslali na Mars, so nedvomno mali robotski vozički, ki so vsi po vrsti s svojim izjemno dobrim in predvsem dolgotrajnim delovanjem presegli vsa, tudi najbolj optimistična pričakovanja inženirjev. Marsikoga bo tako presenetilo, da je minilo že deset let, odkar je *Curiosity* (*Radovednost*) začela raziskovati Marsovo površje. 18. februarja letos pa se ji je končno pridružila njena mlajša sestra *Vztrajnost*

(*Perseverance*). In nedvomno je dobila pravo ime, saj je bil obstoj odprave *Mars 2020*, katere del je *Vztrajnost*, v zadnjem desetletju večkrat pod velikim vprašanjem. A vseeno nam je uspelo in *Vztrajnost* že uspešno raziskuje Marsovo površje.

Robotski voziček *Vztrajnost* je na prvi pogled zelo podoben *Radovednosti*. Po velikosti in teži sta skoraj enaka in tudi vir energije je pri obeh radioaktivni termoelektrični generator. A tukaj se podobnost konča. Namen *Radovednosti* je bil predvsem ugotoviti, ali je oziroma je bilo življenje na Marsu

Posnetek kraterja Jezero, kjer je Vztrajnost pristala. Krater Jezero je posebej zanimivo, saj je to edino območje na Marsu, kjer sta zelo očitno obstajali tako stojēja kot tekoča voda, na kar kaže lepo oblikovana rečna delta ob enem od rečnih pritokov. Foto: NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS.



mogoče. Ker je bil odgovor odločni da, je namen *Vztrajnosti*, da to življenje oziroma njegove ostanke tudi najde ter pripravi vzorce materialov, ki jih bodo prihodnje odprave poskusile dostaviti na Zemljo. Poleg tega bo *Vztrajnost* preizkusila tudi nove tehnologije: ustvarjati bo želela kisik neposredno iz Marsovega ozračja, prvič v zgodovini pa preizkusila tudi propelerski polet zunaj Zemlje.

Mesto na Marsu, kjer je *Vztrajnost* pristala, so si znanstveniki izbrali predvsem zato, da bi lahko čim bolj uspešno opravili glavno nalogo odprave, to je odkrivanje sledov življenja na Marsu. *Vztrajnost* je pristala v kraterju, imenovanem Jezero. Ta krater je geološko izjemen, saj je tam nekoč obstajalo tudi čisto pravo jezero. To jezero je imelo tudi večji rečni pritok in odtok. Veliki rečni pritok, ki je ustvaril tudi veliko rečno delto, je tekel skozi »dolino Neretve« (Neretva Valis). Prav ta rečna delta bo eden od glavnih ciljev, ki jih bo *Vztrajnost* obiskala. Obstaja namreč zelo velika verjetnost, da prav tam najdemo ostanke oziroma sledove življenja. Da bo *Vztrajnost* lahko uspešno opravila vse svoje naloge, je opremljena z velikim naborem instrumentov, tako za preiskovanje tal kot tudi ozračja. Glavni instrumenti so *Mastcam-Z*, *MEDA*, *PIXL*, *RIMFAX*, *SHERLOC* in *SuperCam*.

SuperCam je dobil tako ime, kar je nekakšen superheroj med instrumenti na *Vztrajnosti*. Vsebuje laser ter nabor optičnih instrumentov, kot so spektrometer v vidni in ultravijolični svetlobi, ramanski spektrometer, fluorescenčni spektrometer ter kamera z visoko ločljivostjo. *SuperCam* bodo znanstveniki uporabili za mineraloške in kemijske raziskave ter molekularno in atomarno analizo vzorcev Marsovega površja. *SuperCam* je tudi glavni instrument za doseganje primarnega cilja odprave, to je iskanja sledov življenja na Marsu.

SHERLOC (*Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals* – Skeniranje bivalnih

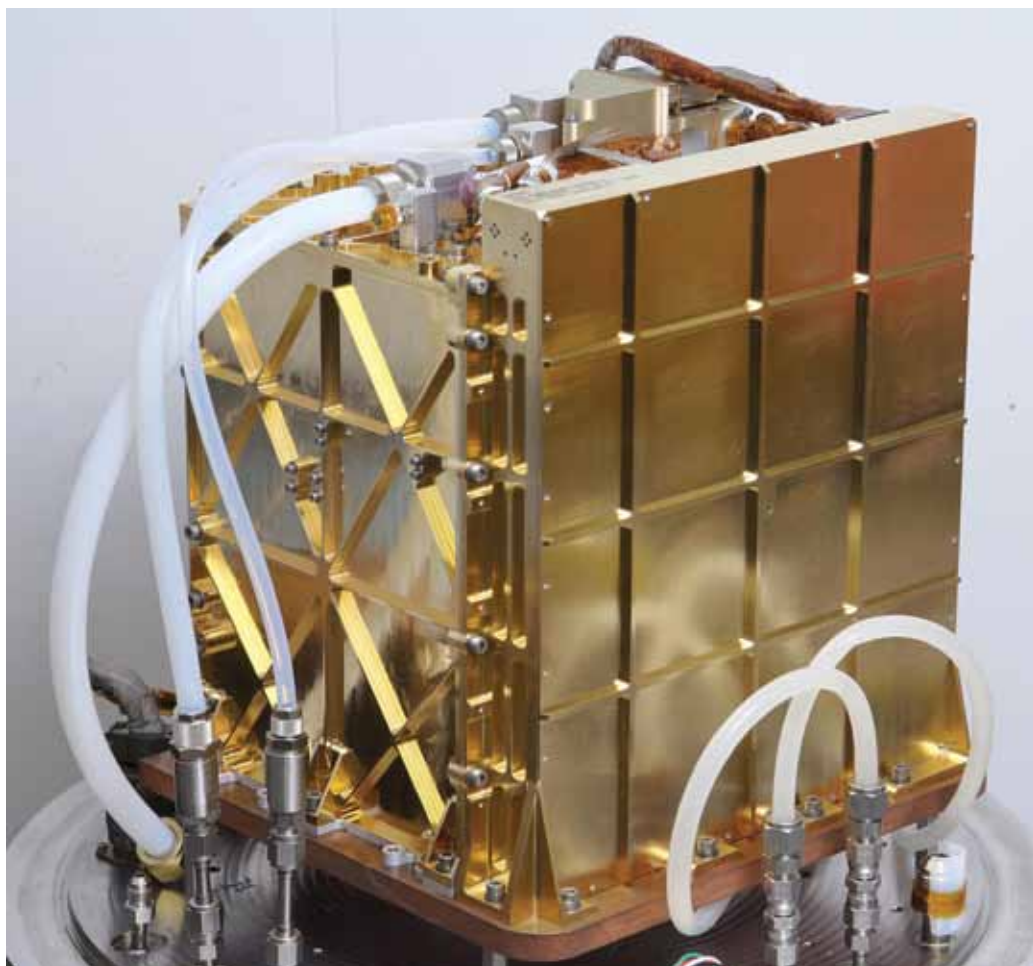
okolij z ramansko in fluorescenčno spektroskopijo za organske in kemične snovi) je tako kot *SuperCam* opremljen z laserjem ter ramanskim in fluorescenčnim spektrometrom. Omogoča nestično raziskovanje organskih in anorganskih spojin. Nahaja se na koncu malo več kot dva metra dolge robotske roke. Glavni namen instrumenta je iskanje znakov zdajšnjega oziroma preteklega življenja.

RIFMAX (*Radar Imager for Mars' subsurface eXperiment* – Podtalni eksperiment z radarsko kamero) je radar, s katerim lahko opazujemo, kaj se nahaja pod površjem. Opazujemo globine od deset centimetrov do deset metrov. Njegov glavni namen je ugotoviti, kakšne plasti se nahajajo tik pod vidnim površjem in kako globoko segajo usedline na območju, kjer se je nekoč nahajala voda. *PIXL* (*Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry* – Planetarni instrument za rentgensko talno kemijo) je rentgenski spektrometer, namenjen prepoznavanju kemijske sestave tal. Deluje z ločljivostjo, manjšo od milimetra, kar pomeni, da lahko zelo natančno opazuje geološke spremembe tal.

MEDA (*Mars Environmental Dynamics Analyzer* – Marsov analizator dinamičnega okolja) je neke vrste meteorološka postaja. Sestavlja ga več tipal, ki merijo hitrost in smer vetra, zračni tlak, relativno vlažnost, zračno temperaturo, temperaturo površja ter Sončevo obsevanje v vidni, ultravijolični in infrardeči svetlobi. S temi instrumenti bodo znanstveniki preučevali tako dolgotrajne kot kratkotrajne vremenske spremembe.

Mastcam-Z je multispektralna stereoskopska kamera, namenjena mineraloškem, strukturnemu in morfološkem preučevanju kamnin in struktur Marsovega površja. Poleg znanstvenih instrumentov *Vztrajnost* s seboj nosi tudi dva instrumenta, s katerima bosta opravljena dva zelo pomembna tehnološka poskusa. To sta *MOXIE* in *Ingenuity* (*Iznajdljivost*).

MOXIE (*Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment* – Marsov eksperiment za uporabo virov kisika na samem mestu) bo prvi



Fotografija MOXIE, ki bo poskusil iz Marsovega ozračja proizvajati atomarni kisik. Če bo tehnologija uspešna, jo bodo v prihodnosti uporabili tako za proizvodnjo kisika kot goriva kot tudi za dibanje prihodnje človeške odprave.

Foto: NASA/JPL-Caltech.

preizkus tehnologije pridobivanja kisika iz Marsovega ozračja. Kako pridobiti kisik z elektrolize vode, se učimo že v osnovni šoli in ta princip uporabljajo tudi za proizvodnjo kisika na *Mednarodni vesoljski postaji*. Za proizvodnjo kisika na Marsu pa bomo morali uporabiti kateri drugi princip, saj je na Marsu težko najti vodo in tudi z Zemlje jo bomo tja težko poslali. Uspešna proizvodnja kisika je namreč eden od ključnih elementov, ki bo omogočil, da bomo v prihodnosti Mars obiskali tudi ljudje.

Ker je dostopnost vode na Marsu majhna,

so se znanstveniki vprašali, kako bi lahko še prišli do kisika. Odgovor je bila elektroliza ogljikovega dioksida, ki ga je na Marsu zelo veliko. *MOXIE* iz Marsovega ozračja črpa ogljikov dioksid, ki ga nato pod večjim tlakom potisne preko dveh elektrod, kjer se zgodi elektroliza in iz ogljikovega dioksida nastane ogljikov monoksid ter kisik. Ob koncu procesa *MOXIE* analizira čistost kisika in ga nato skupaj z ogljikovim monoksidom spusti nazaj v Marsovo ozračje. *MOXIE* je majhen instrument, ki bo lahko proizvedel le do deset gramov kisika na uro.



Helikopter Iznajdljivost, ki bo prvi poskusil opraviti propellerski let na drugem planetu. Leteti na Marsu je izjemno težko, saj je njegovo ozračje kar stokrat redkejše kot Zemljino. Zato je helikopter Iznajdljivost zelo lahek in ima propelerje, ki se vrtijo z več kot 2.000 obrati na minuto. Foto: NASA/JPL-Caltech.

Če bo poskus uspešen, bodo to tehnologijo povečali in uporabili na prihodnjih odpravah na Mars. Omogočila bo tako proizvodnjo goriva za prihodnje odprave, ki bodo z Marsa na Zemljo pripeljale vzorce materialov, ki jih bo zbrala *Vztrajnost*, kot tudi za proizvodnjo kisika za dihanje ljudi, ki bodo obiskali Mars.

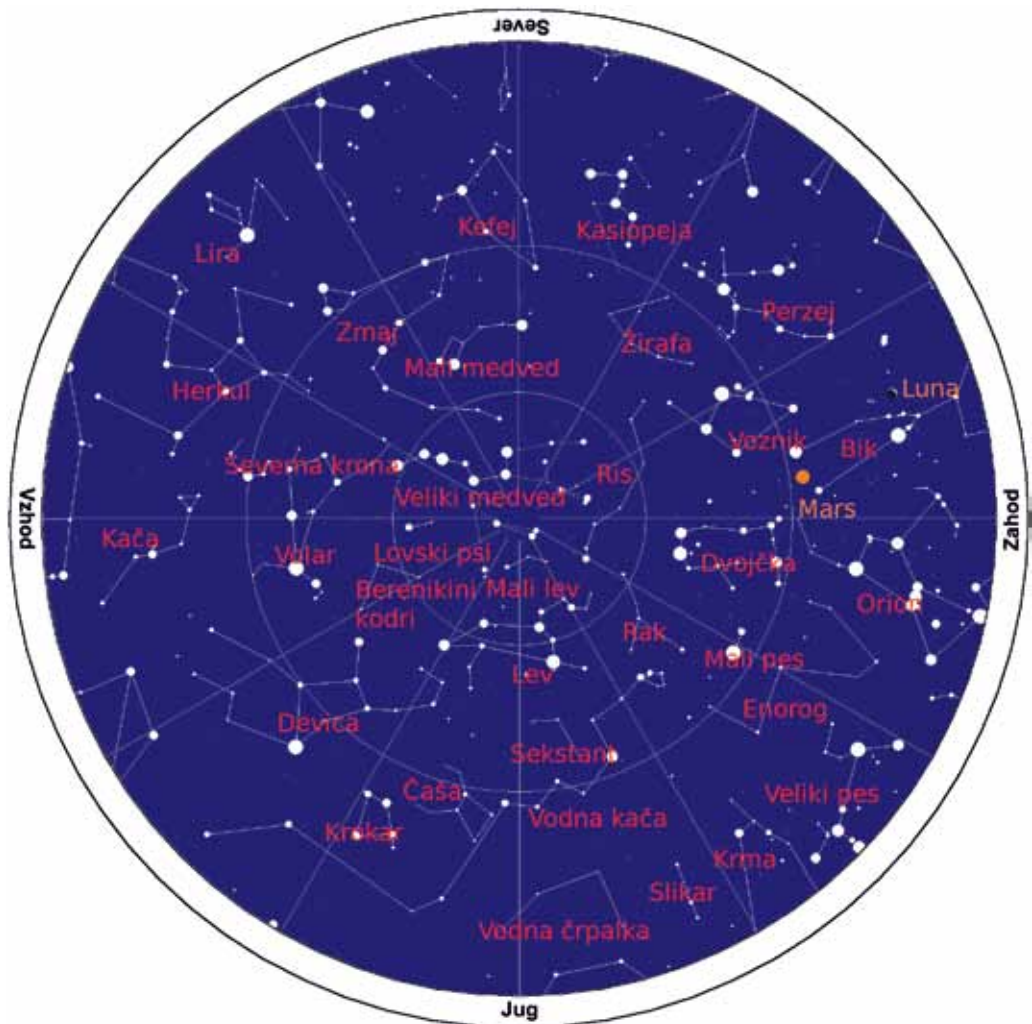
Iznajdljivost je majhen robotski helikopter, ki bo prvič poskusil opraviti propellerski polet na drugem planetu. Namen helikopterja je preizkusiti tehnologijo letenja na Marsu. Prvi polet je predviden v aprilu leta 2021.

Leteti na Marsu ni lahko. Marsovo ozračje je kar stokrat redkejše kot Zemljino, zato je s propelerjem veliko težje ustvariti dovolj dvižne sile. Zato mora biti helikopter čim lažji in imeti čim večja krila. *Iznajdljivost* ima dva v nasprotni smeri vrteča koaksialna propelerja. To pomeni, da se oba propelerja vrtita okoli iste osi. Premer propelerjev je 1,2 metra in se lahko vrtita s kar 2.400 obrati na minuto. *Iznajdljivost* bo lahko letela približno petdeset metrov daleč ter največ do šest metrov visoko. Za navigacijo bo uporabila več senzorjev, med katerimi

so višinomer, inklinomer, žiroskop in lidar. Kompas pa na Marsu ne moremo uporabljati, saj Marsovo magnetno polje ni tako pravilne oblike kot Zemljino. Edini tovor, ki ga *Iznajdljivost* nosi, je kamera z visoko ločljivostjo, ki gleda navpično navzdol. Če bo *Iznajdljivost* uspelo leteti na Marsu, bo to velik tehnološki preboj, ki bo omogočil prihodnjim odpravam na Mars razisko-

vanje veliko večjih območij, kot je bilo to mogoče do sedaj.

Kot vidimo, je *Vztrajnost* opremljena z zelo velikim naborom inštrumentov, ki bodo skupaj s podatki, ki so jih zbrali njeni predhodniki, še povečala naše poznavanje Marsa ter možnosti, da bomo ljudje kdaj ta izjemno zanimivi planet tudi obiskali.



Datum: 15. 4. 2021.

Čas: 22:00.

Kraj: Ljubljana.

V naslednji številki bomo predstavili knjigo z naslovom
Slovenska Istra I – neživi svet, rastlinstvo, živalstvo in naravovarstvo,
ki so jo uredili Jernej Pavšič, Matija Gogala in Andrej Seliškar



ISSN 0033-1805



Šakal (*Canis aureus*).
Foto: Miha Krofel.