

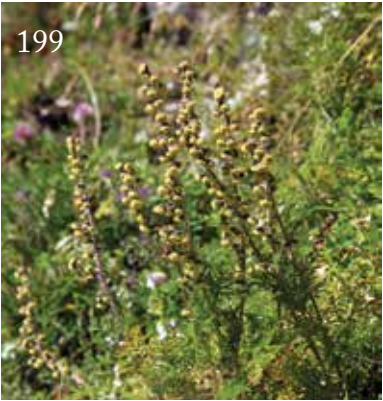
PROTEUS

*mesečnik
za poljudno
naravoslovje*



Januar 2024
5/86. letnik
cena v redni prodaji 11,00 EUR
naročniki 8,64 EUR
upokojenci 7,10 EUR
dijaki in študenti 6,72 EUR
www.proteus.si





195 Table of Contents

196 Uvodnik
Tomaž Sajovic

199 Botanika
**Črnkasti pelin (*Artemisia atrata*) pod
Morežem**
Drobna dopolnila k poznavanju rastišč redke in
znamenite rastline
Igor Dakskobler

206 Nobelove nagrade za leto 2023
Nobelova nagrada za kemijo za leto 2023
Črtomir Podlipnik

210 Kemija
**Materiali z visoko entropijo - materiali
prihodnosti**
Tina Skalar, Marjan Marinšek

220 Toksikologija
**Strupi in toksikologija v svetu in na
Slovenskem (prvi del)**
Zvonka Zupanič Slavec

228 Ekologija
**Goli polži in njihov pomen v morskih
ekosistemi**
Tomaž Granda

232 Paleontologija
**Dlakavi nosorog (*Coelodonta antiquitatis*
(Blumenbach, 1799)), težko pričakovano
paleontološko presenečenje končno v
Sloveniji**
Matija Križnar

237 Naše nebo
Škrlatni vesoljčki
Mirko Kokole

Contents

Editorial

Tomaž Sajovic

Botany

Dark Alpine wormwood (*Artemisia atrata*) under Mt. Morež
Brief notes on the sites of a rare, notable plant

Igor Dakskobler

The article sums up the history of encounters with the Dark Alpine wormwood (*Artemisia atrata*) under Mt. Morež in the Julian Alps, from the first find in 1841 to its last confirmation in 2023. It provides a description of its site on stony alpine grasslands at elevations of around 2100 m and a justification for its provisional classification into the association *Avenastro parlatorei-Festucetum calvae*. Based on its estimated population in the summer of 2011 (450 to 500 specimens on the area measuring ca. 15 ares) we find that currently this notable, but vulnerable species of Slovenian flora is potentially most threatened by climate change.

Nobel Prizes 2023

The Nobel Prize in Chemistry 2023

Črtomir Podlipnik

On 4 October 2023 the Royal Swedish Academy of Sciences awarded the Nobel Prize in chemistry to three scientists for their pioneer research in quantum dots: MIT-based chemist of Tunisian and French descent Mouni Bawendi, American chemist Louis Brus of the University of Columbia, and Russian physicist Alexei Ekimov, who previously worked at the Vavilov State Optical Institute in St. Petersburg, Russia.

Chemistry

High Entropy Materials – Materials of the Future

Tina Skalar, Marjan Marinič

High entropy materials (HEM) have been known for decades, but in recent years the research in this field has been advancing rapidly. This is mainly due to the need for new materials, in particular in the field of renewable energy resources and the development of related infrastructure. High entropy materials can be used for the most diverse energy-related applications, such as catalysis, batteries, and similar materials for energy storage. Their role in rapid and effective green transition and in turn reduced dependency on fossil fuels is therefore unquestionable.

Toxicology

Poisons and Toxicology in the World and in Slovenia (Part I)
Zvonka Zupančič Slavec

Toxicology (derived from the Greek word *toxikon*, meaning “arrow poison”) is the study of the adverse effects of chemicals of natural or synthetic origin on living organisms, and on the prevention, research, and treatment of poisoning. Toxicology is a distinctly **multidisciplinary field of science**, which requires interaction of healthcare professionals from various disciplines as well as veterinarians, pharmacists, (micro)biologists, agronomists, food technologists, (bio)chemists, safety and sanitary engineers, and others. **Clinical toxicology**, for example, plays an important role in the diagnosis and treatment of acute poisoning, occupational or **industrial toxicology** is concerned with poisoning in the work place, **analytical**

toxicology deals with the detection and identification of poisons, **forensic toxicology** looks for the presence of toxins in criminal cases, **environmental toxicology** studies the effects of long-term exposure to low concentrations of chemicals in the environment, **molecular and biochemical toxicology** studies the mechanisms of toxicity in macromolecules and biochemical cellular processes; **immunotoxicology** is concerned with the effects of chemicals on the immune system, and **neurotoxicology** with their effect on the nervous system; **nanotoxicology** deals with the study of adverse effects of nanoparticles, whereas **genetic toxicology** is concerned with the effects of chemicals on genetic material, and **ecotoxicology** with the effects on other organisms and ecosystems; **chemical warfare toxicology** studies the effects of chemical weapons, protection from such weapons, and treatment and management of poisoning. Finally, **regulatory toxicology** assesses the safety of drugs, minerals, toxins, pesticides, industrial chemicals and food supplements to which we are exposed, consciously or not, in our daily lives. It integrates all the listed fields in order to ensure safe use of chemicals and prevention of poisoning, because ultimately, **chemical safety** is the central concern of contemporary toxicology.

Ecology

Sea Slugs and their Role in Marine Ecosystems

Tomaž Granda

Many charismatic marine taxa (especially mammals and fish) have been relatively well studied and enjoy a lot of attention. Scientists monitor their populations and study their ecological role and evolutionary history. These taxa are usually large; people find them attractive and useful, and they have left a mark, both historical and cultural, on our ancestors. On the other hand, society today tends to overlook less researched organisms that are just as fascinating and ecologically important, some of them even appealing to the human eye. In this article the author discusses the opisthobranchs, permanent residents of the Adriatic Sea.

Paleontology

A Long-Overdue Paleontological Surprise – Woolly Rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach, 1799)) finally in Slovenia

Matija Križnar

Few Slovenian paleontologists imagined that it would take until 2023 to finally take hold of the first remains of a woolly rhinoceros (*Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach, 1799)) from Slovenia. In this short article, we briefly report on the first discovery of a tooth of this large, cold-adapted Pleistocene mammal. The fossil rhino tooth was discovered shortly after the Second World War, and only found its way into the Natural History Museum of Slovenia collection through a donation earlier this year. A specimen of a well-preserved tooth of a woolly rhinoceros was discovered in a late Pleistocene gravel pit in the area of the Drava field near today's Kidričevo.

Our sky

Purple Aliens

Mirko Kokole



Naslovnica: *Okostje dlakavega nosoroga (Coelodonta antiquitatis) iz Češkega naravoslovnega muzeja v Pragi. Foto: Matija Križnar.*

Proteus

Izbaja od leta 1933

Mesečnik za poljudno naravoslovje

Izdajatelj in založnik:

Priradoslovno društvo Slovenije

Odgovorni urednik:

prof. dr. Radovan Komel

Glavni urednik: dr. Tomaž Sajovic

Uredniški odbor:

Sebastjan Kovač

prof. dr. Milan Brumen

dr. Igor Dakskobler

dr. Andrej Godec

akad. prof. dr. Matija Gogala

dr. Matevž Novak

prof. dr. Gorazd Planinšič

prof. dr. Mihael Jožef Toman

prof. dr. Zvonka Zupanič Slavec

dr. Petra Drašković Pelc

<http://www.proteus.si>

priradoslovno.drustvo@gmail.com

© Priradoslovno društvo Slovenije, 2024.

Vse pravice pridržane.

Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez pisanega 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 Kajfež – Bogataj

prof. dr. Tamara Lah – Turnšek

prof. dr. Tomaž Pisanski

doc. dr. Peter Skoberne

prof. dr. Kazimir Tarman

Proteus izdaja Priradoslovno društvo Slovenije. Na leto izide 10 števil, letnik ima 480 strani. Naklada: 1.200 izvodov.

Naslov izdajatelja in uredništva: Priradoslovno 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 upokojene 3,55 EUR, za dijake in študente 3,36 EUR.

Celoletna naročnina je 43,20 EUR, za upokojene 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: Javna agencija RS za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost. Vsi objavljeni prispevki so recenzirani.

Proteus (tiskana izdaja) ISSN 0033-1805

Proteus (spletna izdaja) ISSN 2630-4147

Uvodnik

»Je kulturna dediščina neki tečaj o vratih iz osemnajstega stoletja ali je kulturna dediščina to, da nekdo v takem ambientu živi, se razvija, ustvarja, povezuje ljudi in ohranja kulturno dediščino pri življenju?« (Franjo Podnar)

Uvodnik v prejšnji številki *Proteusa* sem začel z daljšim navedkom iz razmišljanja *Dediščina je proces*, ki ga je v *Delu* objavil arhitekt in visokošolski učitelj Miloš Kosec (1986-). V njem je Kosec »naslikal«¹ temachno, za obrobni, slovenski kapitalizem značilno sliko odnosa naše osamosvojene države do svoje zgodovinske dediščine. Še pred nekaj leti se je zdelo, da bo taka usoda doletela tudi grajski dvorec Ponoviče pri Litiji. Vendar se je lani propadajočemu »dvorcu nasmešnila sreča: kupila ga je družina Podnar [zanj je odštela manj od izredno nizke, zgolj simbolično postavljene cene sto tisoč evrov; opomba je moja] [...]. Dvojna sreča Ponovič je sestavljena iz tega, da je grad sploh nekdo kupil in začel dela, ter tudi iz dejstva, da kupec ni milijonar, ki bi želel v gradu odpreti elitno kliniko ali

butični hotel. [...] Za družino Podnar konci tedna niso čas za počitek in izlete, ampak priložnost za udarniško delo, pri katerem sodelujejo prav vsi člani družine. Prvi rezultati so že vidni, predvsem pa ima grad po stoletju spet nekoga, ki mu daje novo življenje in zanj skrbi, kar je vredno več kot kubiki betona. Teh nekaj mesecev, kar je družina Podnar začela dela, je dokaz, da pri nas največji problem ni denar, ampak pravočasna in zanesljiva podpora lokalne skupnosti in države, vključno z zavodom za varstvo kulturne dediščine. Če se kljub vsemu na objektu dediščine, ki se ga vsi otepajo, le pojavijo entuziastični lastnik ali najemnik, ki se zaveda, da gre pri oživljanju dediščine za proces, ne pa za hiter gradbeni projekt prenove v luksuzni objekt »dodane vrednosti«, je ključno, da ga javne ustanove

podprejo, strokovna javnost pa proces spremlja in usmerja, kjer je treba.«

Za Kosca je oživljanje gradu Ponoviče svetla, vendar nenavadna in presunljiva izjema pri »ne-ohranjanju« dediščine v samostojni Sloveniji, drugi dve, ki ju omenja Kosec, sta grad Lemberg, »ki ga počasi in z občutkom že več kot petnajst let obnavlja Franci Zidar«, ali pa grad Cmurek, »ki ga je v preteklem desetletju ekipa *Muzeja norosti* skoraj brez sistemske podpore preoblikovala v enega najzgodnejših in družbeno najbolj angažiranih muzejev pri nas«.

Ker o gradu Ponoviče nisem vedel nič, sem moral malo pobrskati po spletu – in bil dobesedno pretresen. Grad Ponoviče je bil v svojem času pomemben grad. Janez Vajkard Valvasor (1641-1693) ga je opisal v svoji *Slavi vojvodine Kranjske* (1689), v njegovi tedanji renesančni podobi – kasneje so ga barokizirali – ga najdemo upodobljenega tudi v Valvasorjevi *Skicni knjigi v Topografiji Kranjske* (1678-1679). Grad je bil nekoč med najlepšimi na tem območju. Krasil ga je eden najlepših parkov v tem delu Evrope, varoval pa je tudi savsko vodno pot. Več stoletij je bil plemiška rezidenca. Do razpada Avstro-Ogrske monarhije je bila v njem tovarna špirita in kvasa. Med prvo svetovno vojno so se v njem zdravili ranjeni avstro-ogrske vojniki. Leta 1929 je dvorec in posestvo kupila Kranjska banska uprava v Ljubljani in v njem uredila deško vzgajališče (do leta 1936). Ob nemški okupaciji med drugo svetovno vojno je bila v dvorcu nastanjena nemška postojanka. Po vojni je bil dvorec nacionaliziran. Postal je sedež družbenega živinorejskega posestva. Leta 1950 so ga dodelili Kmetijskemu znanstvenemu zavodu Slovenije kot živinorejsko poskusno gospodarstvo, leta 1958 pa je posestvo prevzela Kmetijska zadruga Litija. Prav to lastništvo pa v samostojni Sloveniji gradu ni bilo več v nobeno pomoč. Zadruga ni imela nobene vizije, kaj početi z gradom, kmetijska dejavnost pa zanj ni bila več primerna. Dediščina je začela propadati ...

Pri raziskovanju nadaljnje usode gradu Ponoviče se mi je na spletu »odprl« članek z gogoljevsko grotesknim naslovom *Za obnovo gradu Ponoviče je do zdaj pokazal zanimanje le en potencialni investitor, pa še ta je umrl* (Nikolaj Vasiljevič Gogolj, 1809-1852, je bil ruski pisatelj ukrajinskega izvora, med drugim je napisal nenavaden roman *Mrtve duše*). Članek – 3. avgusta leta 2010 ga je v *Dnevniku* objavila Sabina Lokar – razkriva vso čudaškost

ravnanj oblastnih organov s propadajočo dediščino Ponovič. Naj začnem z »razmišljanjem« Občine Litija: »Občina Litija je v novi občinski prostorski načrt med drugim umestila tudi obnovo gradu Ponoviče, ki že vrsto let klavarno propada. Obnova naj bi potekala v skladu s strategijo razvoja turizma v občini Litija do leta 2015, ki v grajskih prostorih predvideva luksuzni hotel z restavracijo za petičneže, v njegovi okolici pa igrišče za golf z 18 luknjami.« Do umestitve obnove gradu Ponoviče v občinski prostorski načrt »sta se negativno opredelila ministrstvo za kmetijstvo in Zavod za gozdove«. Ocenila sta, da bi bil poseg v prostor prevelik. Občina je iz prostorskega načrta morala izločiti območje, namenjeno gradnji igrišča za golf. To je potencialnega investitorja, zasebnika s Primorskega, odvrnilo od sklenitve pogodbe. Kmalu zatem je umrl. Občina na sicer okrnjeni projekt obnove gradu ni pozabila. Tudi v Centru za razvoj Litija so bili prepričani, da bi uresničitev projekta obnove gradu v turistične namene – grad bi bil namenjen zahtevnim gostom v kombinaciji s podeželskim in rekreativnim turizmom – gotovo bila velika spodbuda za hitrejši razvoj turizma v litijski občini.

Tak način obnove gradu sta, kot smo videli, negativno ocenila že Ministrstvo za kmetijstvo in Zavod za gozdove, »do tako visokoletečih načrtov in ambicij« občine pa so bili precej skeptični tudi lokalni prebivalci: »Skozi naselje namreč vodi ozka in na določenih predelih precej poškodovana cesta, a občina za njeno obnovo očitno ne najde sredstev, saj ni bila uvrščena niti na zadnji seznam vzdrževanja lokalnih cest. To je sicer le eden od primerov, ki bi znal odvrniti »zahtevne goste« gradu.«

Miloš Kosec je v svojem razmišljanju v *Delu* opozoril še na eno problematičnost prenavljanja grajske dediščine, kakršna je »grozila« gradu Ponoviče: »Nič manj tragično ni uničevanje z neustrezno prenovo za neustrezne programe. V stoletne stavbe lahko hotel s štirimi ali petimi zvezdicami umešate samo, če ga radikalno spremenite. Nove kopalnice v vsaki sobi, novi jašek za dvigalo, nove armiranobetonske plošče namesto lesenih stropov, drago in potratno ogrevanje vseh prostorov, pogosto tudi novi, izmišljeni arhitekturni elementi, da bi staro in morda ne dovolj slikovito graščino spremenili v nekaj bolj »pravljničnega«. Tako nastane izmišljena in kičasta novogradnja, kar je po mojem mnenju enako destruktiven proces kot rušenje, samo da je poleg vsega še precej dražje.«

Načelno za ustrezno ravnanje s kulturno dediščino

skrbi država, v Sloveniji Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije z območnimi enotami. Izjava nekdanje direktorice Javnega zavoda za kulturo, mladino in šport Litija v navedenem članku v *Dnevniku* kaže – izostreno in zgoščeno povedano – neko temeljno blokirano oživljanja kulturne dediščine v osamosvojeni Sloveniji: »Objekt [grad Ponoviče] je razglašen za kulturni spomenik lokalnega pomena in vsak poseg pri obnovi bi moral potrditi Zavod za varstvo kulturne dediščine Ljubljana. To posledično tudi več stane, kljub temu da bi bila obnova že tako ali tako ogromna investicija.« Direktorica si vsote sredstev, potrebnih za obnovo, ni upala niti zamisliti. Po njenem mnenju je tako edina rešitev zasebni kapital. Krog je sklenjen. V marsičem je zagaten in tudi globoko protisloven.

V osamosvojeni Sloveniji je kulturna dediščina zakonsko v javnem interesu: za njeno varstvo skrbijo lokalne skupnosti – to so občine – in država. Prvo protislovje je, da javni interes lahko zagotovimo samo z denarjem, tega pa občine in država, temeljni skrbniki javnega interesa (torej tudi gradu Ponoviče), pogosto nimajo (dovolj). Občine in država so tako pogosto prisiljene propadajočo kulturno dediščino »predati« v roke zasebnemu kapitalu (prostor, namenjen uvodniku, mi preprečuje, da bi podrobneje razmišljal, zakaj je v kapitalizmu kapital lahko močnejši od državnih proračunov). To pa ni samo zamenjava financerja. Nesojeni zasebni lastnik gradu Ponoviče je namreč želel grad spremeniti v zasebni dobičkonosni luksuzni hotel za petične goste (da igrišča za golf ne omenjam), s tem pa kulturno dediščino preprosto uničiti. To drugo dobesedno »uničujoče« protislovje (skupaj s prvim, da država ne more več ustrezno financirati javnega interesa) poraja tematično vprašanje: Ali kapitalizem sploh še omogoča tisto pristno razumevanje kulturne dediščine kot javne dobrine?

To vprašanje se mi je v vsej ostrini zastavilo šele potem, ko sem v članku *Družina Podnar bo obnovila grad Ponoviče v Litiji*, objavljenem 13. aprila letos na Multimedijškemu centru RTV Ljubljane, prebral sledeči odlomek: »A pojmovanje kulturne dediščine je pri nas lahko kompleksno. Leta se za grad ni zmenil nihče, ko pa se posameznik loti obnove, ga pristojni takoj zasujejo s kupom pravil. *Je kulturna dediščina neki tečaj o vratih iz osemnajstega stoletja ali je kulturna dediščina to, da nekdo v takem ambientu živi, se razvija, ustvarja, povezuje ljudi in obranja kulturno dediščino pri življenju,*« se sprašuje

je Podnar.« V Podnarjevi izjavi se razkrivata dva koncepta kulturne dediščine. Prvega – *kulturna dediščina je tečaj o vratih iz osemnajstega stoletja* – po Podnarju »zagovarja« država, najbolj verjetno Zavod za varstvo kulturne dediščine, drugega pa novi lastniki gradu Podnarjevi – *kulturna dediščina je to, da nekdo v takem ambientu živi, se razvija, ustvarja, povezuje ljudi in obranja kulturno dediščino pri življenju*. Koncepta sta – vsaj na prvi pogled – nasprotujoča: država govori in poučuje o kulturni dediščini, družina Podnar s petimi otroki, eden ima Downov sindrom, kulturno dediščino živi, oživlja in poklanja ljudem: želijo si ustvariti središče, kjer se bodo srečevali študenti z vsega sveta ter slikali, preučevali zgodovino in arhitekturo, radi bi povezali ljudi iz sveta literature, umetnosti in kulture in verjamejo, da bo grad Ponoviče v desetih letih postal svetovno prepoznano središče, Litija pa kulturno prepoznavni prostor. Država pri obnovi Ponovič s predpisanimi tečaji zagovarja koncept stroke/znanosti. Ali so torej Podnarjevi proti strokam/znanosti? Prav gotovo ne, saj so po besedah Jožice Podnar »navsezlasti stike s strokovnjaki z geološkega inštituta, umetnostnimi zgodovinarji, arhitekti, s profesorjem na filozofski fakulteti, poznavalci gline in lončarstva«. Podnarjevim se pri obnovi gradu zdi strokovna/znanstvena pomoč strokovnjakov očitno zelo koristna, od države zahtevano pa razumejo (bolj) kot birokratsko »ustvarjanje težav« – posplošeno rečeno, država s svojo močjo z obveznimi strokovnimi/znanstvenimi tečaji o umetnozgodovinskih gradbenih prvinah izvaja *abstraktni vsebinski formalizem*, ki Podnarjevim pri konkretnem oživljanju grajske dediščine v bistvu ni v kakšno večjo pomoč. Drugače povedano, med tečaji in konkretnim oživljanjem dediščine ni *organske* vsebinske povezave. (Konec koncev je že sama zahodnoveška znanost zaradi svojega *razumskega predstavljanja* resničnosti vedno v »nasprotju« s človekovo pristno *izkušnjo* te resničnosti.) Kapitalistična država ima tudi v tem primeru velike težave s pristnim razumevanjem kulturne dediščine kot javne dobrine. Kako naj razume, da neka družina s svojimi rokami obnavlja in oživlja kulturno dediščino pod »socialističnim« (narekuje lahko mirno ukinemo) geslom »gradimo svetlejšo, spodbudnejšo in bolj vključujočo prihodnost za vse«, – ko pa v družbi, v kateri živimo, velja (le) denar in dobiček?

Tomaž Sajovic

Črnikasti pelin (*Artemisia atrata*) pod Morežem

Drobna dopolnila k poznavanju rastišč redke
in znamenite rastline

Igor Dakskobler

Poleti leta 2023 sem dobil elektronsko sporočilo dolgoletnega znanca, dopisovalca in nekajkrat soavtorja prof. Wilfrieda Roberta Franza iz Celovca. Omenil mi je svojega prijatelja Armina Pleschbergerja, ki želi v naravnem okolju videti redko rastlino, črnikasti pelin (*Artemisia atrata*). Zanimalo ga je, ali poznam dostop do njegovega nahajališča in kakšno je njegovo rastišče. Vedel je, da je na gori Morež in da ga je opisal Tone Wraber. Wifriedu in njegovemu prijatelju sem lahko nekoliko svetoval in Arminu je 10. septembra leta 2023 uspelo priti do redke alpske rastline. Poslal mi je fotografije in dodal, da je bilo težko, a zanj ne nemogoče. To dopisovanje me je opomnilo, da moram nekaj malega o tem pelinu in njegovem rastišču pod Morežem napisati tudi sam.



Črnikasti pelin (*Artemisia atrata*) pod Morežem. Foto: Peter Strgar.

Njegovo odkritje sega v sredino 19. stoletja, ko je rastlinstvo tedanjega Avstrijskega primorja in tudi Julijskih Alp sistematično raziskoval tržaški botanik in politik Muzio Tommasini (1794-1879), ki je k sodelovanju pritegnil mladega nemškega (bavarskega) botanika in (pozneje) fitogeografa Otta Sendtnerja (1813-1859). Ta se je 3. avgusta leta 1841 skupaj s svojim psom (kodrom) in z dvema vodičema, Andrejem Tončičem in neimenovanim domačinom, divjim lovcem, povzpел na 2.261 metrov visoko goro nad dolino Bale in pod njo med drugim nabral tudi črnikasti pelin. Morež je še zdaj edino njegovo znano nahajališče v Jugovzhodnih Alpah.

Njemu najbližje nahajališče je nad prelazom Fedaja (Passo Fedaja) v južnotirolskih Dolomitih, tretji del neskljenjenega območja

razširjenosti pa obsega Zahodne Alpe, kjer je bolj pogost. Povsod raste le v podvisokogorsko-visokogorskem pasu, predvsem v kamnitih traviščih z modriko (*Sesleria caerulea*, sin. *S. albicans*).

Tone Wraber je leta 2005 avstrijskemu botaniku in profesorju Gustavu Wendelbergerju (1915-2008) poslal temeljito poročilo o zgodovini raziskovanja črnikastega pelina na Morežu in ta ga je objavil v svojem članku (Wendelberger, 2005). V tem članku je, iskreno, večina besedila Wraberjevega in po mojem čutenju bi moral biti najmanj njegov soavtor. Vsebuje pa opis prve najdbe in seznam njemu znanih botanikov, ki so jo ponovili oziroma potrdili. V njem so Carlo Marchesetti (1875, vodnik je bil Ivan Kravanja), Albert Bois de Chesne (1930, vodnik je bil Anton Tožbar), po drugi svetov-

Strma severovzhodna pobočja Moreža. Tu poteka Sendtnerjeva botanična smer in ob njej so nahajališča črnikastega pelina. Foto: Igor Dakskobler.



ni vojni (leta 1955) pa prof. Ernest Mayer, v spremstvu študentov, med drugimi tudi Andreja Martinčiča in Toneta Wraberja. Slednji je bil po dveh neuspešnih poskusih z Antonom Tožbarjem pri nahajališču črnkastega pelina ponovno 4. septembra leta 1962. O tem je pisal v svojem imenitnem članku v *Planinskem vestniku* (Wraber, 1975), še natančneje, tudi s fitocenološkim popisom, pa ga je dokumentiral v rokopisni beležnici, ki jo hrani Botanični vrt Univerze v Ljubljani. Pod Morež ga je spremljal Rafael Kavs iz Koritnice pri Bovcu (zdaj Kal-Koritnica). Po tem vzponu je bil pri črnkastem pelinu še štirikrat, nazadnje s študenti leta 1990. Prav tega leta je objavil zdaj že klasično knjigo *Sto znamenitih rastlin na Slovenskem*, v katero je uvrstil tudi črnkasti pelin. V nekaj odstavkih je mojstrsko

napisal vse, kar nam je treba vedeti o tem pelinu, tudi o njegovem rastišču in zakaj ga v naši državi upravičeno lahko štejemo kot znamenitost.

Sam sem bil v dolini Bale ali v gorah nad njo že v sedemdesetih letih dvajsetega stoletja, a rastlinstvo v tej dolini sem začel opazovati in popisovati veliko pozneje. Gotovo mi je pri tem z nasveti in s svojimi članki in knjigami pomagal poleg prof. Mayerja prav on. Na nahajališču črnkastega pelina sem bil štirikrat, le prvič, poleti leta 1991, sam. Najnatančneje in najbolj zbrano sem si njegova nahajališča ogledal 14. avgusta leta 2011, ko sta bila z menoj tudi Branko Zupan in Peter Strgar. Posebej prvi mi je pri popisovanju in potem tudi pri vzponu na Morež zelo pomagal. Takrat smo ugotovili, da črnkasti pelin raste na zelo strmem (40

Kamnito alpinsko travnišče pod Morežem, pogled v dolino Bale. Branko Zupan šteje primerke črnkastega pelina.
Foto: Igor Dakskobler.



do 45 stopinj) in kamnitem, nekoliko užlebljenem jugovzhodnem pobočju gore nad Laštami na nadmorski višini okoli 2.100 do 2.120 metrov. Pobočje porašča visokogorsko travišče, v katerem je precej visokih steblik. Sam sem delal fitocenološka popisa, Branko in Peter pa sta hodila naokoli. Drugi je predvsem fotografiral (dva svoja odlična posnetka mi je prijazno odstopil tudi za ta članek), prvi pa omejeval prostor, v katerem je pelin rasel, in štel njegove primerke. Površino nahajališča smo ocenili na približno petnajst arov, število primerkov pa na štiristo petdeset do petsto. Skupno smo na dveh popisih našli osemindeset vrst. V popisu v Wraberjevi beležnici iz leta 1962 je napisanih sedemindeset vrst.

Ko sem primerjal naša popisa z Wraberjevimi, sem ugotovil, da je večina vrst skupnih.

Le treh vrst iz njegovega popisa v naših ni bilo, a vse so take, da v tem okolju gotovo še zdaj rasejo. Med vrstami iz naših popisov, ki jih ni v njegovem popisu, so bile nekatere značilnice podvisokogorsko-visokogorskih travišč, visokega steblikovja, skalnih razpok in melišč. Vse so na Morežu bolj ali manj pričakovane in jih je tudi Tone Wraber na tej gori najbrž poznal. Omenim naj le med travami in steblikami manj opazni kipeči kamnokreč (*Saxifraga adscendens*). Ta je v slovenskih Alpah (Juljskih in Kamniško-Savinjskih Alpah ter Karavankah) razmeroma redek in ga v poznopoletnem in jesenskem času težko opazimo (pod Morežem sva ga popisala tudi z Branetom Anderletom več kot deset let prej, 22. junija leta 2000).

*Kipeči kamnokreč (*Saxifraga adscendens*) je v gosti travi in steblikovju težko opaziti in še težje fotografirati.*

Foto: Peter Strgar.



Vse tri fitocenološke popise, Wraberjevega in dva naša, sem uredil v fitocenološko preglednico in ugotovil, da tudi v zastiranju (pokrovnosti) vrst med našima in njegovim popisom ni veliko razlik. Še največja je bila pri gladki bilnici (tudi goli bilnici ali ležki/leški, *Festuca calva*), ki je po naši oceni imela med vsemi popisanimi rastlinami največje zastiranje (pokrovnost) z oceno 3 (zastirala je od petindvajset do petdeset odstotkov popisnih ploskev), v Wraberjevem popisu pa le oceno 1 (zastirala je le do deset odstotkov popisne ploskve). Tone Wraber (1990) je združbo označil kot mešanje visokega steblikovja z rastlinami modrikavega vednozelenega šašja. Sam združbo, na podlagi treh popisov, imenujem po gladki bilnici (*Festucetum calvae* s. lat). V slovenskih Alpah

njene sestoje za zdaj uvrščamo v le eno asociacijo *Avenastro parlatoarei-Festucetum calvae* in jo imenujemo tudi po Parlatorejevi oviski (*Helictotrichon parlatoarei*, sin. *Avenastrum parlatoarei*). Te na naših popisih ni bilo in jo pod Morežem poznam le nižje, na obodu mokrišča Spodnji Lepoč, na nadmorski višini okoli 1.700 metrov.

Toda v naših popisih (tudi Wraberjevem) ni niti modrike niti vednozelenega šašja (*Carex sempervirens*). Poleg tega je primerjava s sestoji združbe gole bilnice, ki so jo drugod v Jugovzhodnih Alpah opisali različni botaniki, na primer v Krnskem pogorju Boštjan Surina (2005), pokazala kar precej skupnih vrst. Res pa v popisih izpod Moreža izstopajo poleg črnikastega pelina nekatere visoke steblikke: gorski dežen (*Heracleum mon-*

Kamnita alpinska travišča (Avenastro parlatoarei-Festucetum calvae s. lat.), rastišče črnikastega pelina pod Morežem.
Foto: Igor Dakskobler.



tanum, sin. *Heracleum sphondylium* subsp. *elegans*), jaščarica (*Peucedanum ostruthium*) in potočna sivica (*Tephrosia crista*), ki so drugod v združbi gole bilnice zelo redke. Za zdaj torej rastlinsko združbo, v kateri pod Morežem uspeva črnkasti pelin, označujemo kot posebno različico *Avenastro parlatorei-Festucetum calvae* var. *Artemisia atrata*, ki jo poleg črnkastega pelina razlikujejo prav

naštete visoke steblike in še dve značilnici nekoliko vlažnega skalovja in grušča, nežni kamnokreč (*Saxifraga tenella*) in soška smiljka (*Cerastium subtriflorum*).

Črnkasti pelin je kot ranljiva vrsta uvrščen na naš rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk. Ugotavljamo, da se kamnita travišča na strmih jugovzhodnih pobočjih Moreža za zdaj v letih ne spreminjajo korenito



in se vsaj v zadnjih šestdesetih letih ohranja podobna rastlinska združba. Pelin je na podlagi opažanj pred nekaj več kot desetimi leti v njej vitalen in razmeroma pogost. Neposrednih človekovih vplivov nanj skoraj ni, razen verjetnih redkih vsakoletnih obiskov gornikov. Pogostejši obiskovalci so gamsi in najbrž tudi kozorogi. Na prisojnih pobočjih Loške stene nad dolino Bale se občasno pa-

sejo ovce in paša se je na rastlinstvu strmih prisojnih pobočij pod nekaterimi vrhovi severovzhodno od Moreža očitno poznala. Pod Morežem ob naših zadnjih obiskih Loške stene ovc nismo opazili. Tej gori najbližje nahajališče črnikastega pelina nad prelazom Fedaja so imeli že za izumrlega, ko so ga leta 2004 ponovno odkrili. Sprašujemo se, kakšen bo v naslednjih desetletjih in še naprej na to visokogorsko rastlino in njena rastišča vpliv očitnih podnebnih sprememb.

Zahvala

Zahvaljujem se dedičem pokojnega profesorja dr. Toneta Wraberja, da so njegovo rokopisno zapuščino in strokovno literaturo prepustili v hrambo Botaničnemu vrtu Univerze v Ljubljani, in njegovemu direktorju dr. Jožetu Bavconu, ki nama je omogočil njen ogled in delo v njej. Branko Zupan in Peter Strgar sta mi dragoceno pomagala pri popisovanju rastlinstva pod Morežem.

Literatura:

- Dakskobler, I., Zupan, B., 2024: *Fitocenološka oznaka rastišč črnikastega pelina (*Artemisia atrata*) v Julijskih Alpah. Hladnikia (Ljubljana)*, 53: 33–46.
- Surina, B., 2005: *Subalpinska in alpinska vegetacija Krnskega pogorja v Julijskih Alpah. Scopolia (Ljubljana)*, 57: 1–222.
- Wendelberger, G., 2005: *Zum Vorkommen von *Artemisia atrata* in den Julischen Alpen. Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft (Wien)*, 142: 47–49.
- Wraber, T., 1975: *Moreš na Morež? Planinski vestnik (Ljubljana)*, 75: 569–580.
- Wraber, T., 1990: *Sto znamenitih rastlin na Slovenskem. Ljubljana: Prešernova družba*, 239 str.

Detajl alpinskega travnišča (Avenastro parlatorei-Festucetum calvae s. lat.) s črnikastim pelinom.

Foto: Igor Dakskobler.



Nobelova nagrada za kemijo za leto 2023

Črtomir Podlipnik

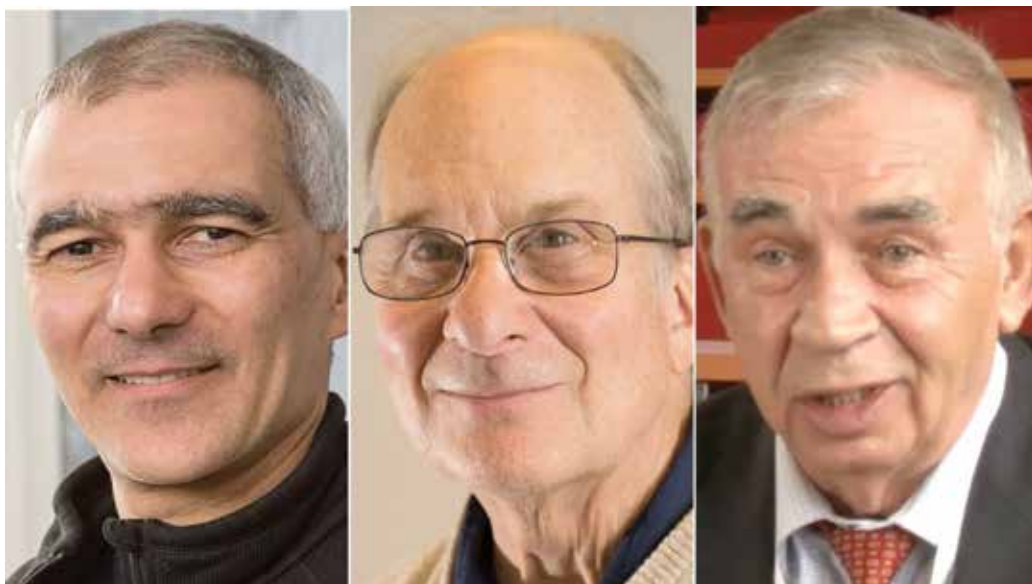
4. oktobra leta 2023 je Kraljeva švedska akademija znanosti podelila Nobelovo nagrado za kemijo francoskemu kemiku tunizijskih korenin Moungiu Bawendiju, ki deluje na Tehnološkem inštitutu Massachusettsa v Združenih državah Amerike, ameriškemu kemiku Louisu Brusu z Univerze Columbia v Združenih državah Amerike in ruskemu fiziku Alekseju Jekimovu, ki je raziskoval na inštitutu Vavilov v Sankt Peterburgu v Rusiji, za njihove pionirske raziskave na področju kvantnih pik.

Lastnosti snovi so v veliki meri povezane z elementi, ki jih sestavljajo, a njihovo medsebojno delovanje ustvarja zapletene rezultate. Kisik na primer je osnovni element v molekuli vode, a hkrati je tudi del nevarnih bojnih strupov, kot je fosgen. Čeprav lahko na splošno trdimo, da lastnosti snovi določa njena elektronska struktura, to vedno ni tako enostavno. Atomi in ioni imajo določeno število elektronov, ki imajo ključno vlogo pri tvorbi in cepitvi kemijskih vezi. Večinoma so lastnosti snovi neodvisne od njene mase: na primer, zmrzišče enega grama vode je enako zmrzišču enega kilograma vo-

de. V svetu nanodelcev pa se zakoni fizike kažejo na nenavadne načine. Ko se približujemo razdaljam v milijoninkah milimetra, postane kvantna mehanika glavni igralec, ki presega naše tradicionalno razumevanje. Če elektrone ali druge delce zapremo v zelo majhen prostor, se njihovo vedenje temeljito spremeni: takrat so lastnosti odvisne tudi od velikosti delcev. Takšno obnašanje je že leta 1937 teoretično predvidel Herbert Fröhlich (Fröhlich, 1937).

V zgodnjih osemdesetih letih prejšnjega stoletja sta Aleksej Jekimov in Louis Brus neodvisno drug od drugega odkrila kvantne

Prejemniki Nobelove nagrade za kemijo za leto 2023: Mounji Bawendi, Louis Brus in Aleksej Jekimov.



pike, ki jih imenujemo tudi polprevodniški nanokristali. Kvantne pike so zelo majhne agregacije polprevodniškega materiala in vsebujejo od tisoč do nekaj deset tisoč atomov, njihov premer pa znaša od enega do deset nanometrov. Zaradi majhnosti se kvantne pike obnašajo kot kvantni delci, njihove optične in elektronske lastnosti se bistveno razlikujejo od večjih agregatov istega polprevodniškega materiala. Kako majhne so kvantne pike, najlažje ponazorimo z naslednjo primerjavo. Kvantna pika, ki jo sestavlja nekaj tisoč atomov, je v enakem velikostnem razmerju z nogometno žogo, kot je ta v razmerju s planetom Zemlja (slika spodaj).

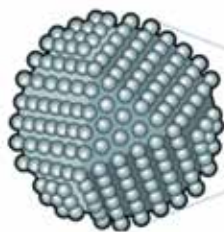
Jekimov in njegova ekipa so na Državnem optičnem inštitutu podrobno preučevali Schottova stekla s polprevodniškimi lastnostmi ter razvijali teorijo, ki bi lahko pojasnila njihov spekter barv. Ko so ta stekla segreli in kasneje ohladili, so v njih nastali nanokristali bakrovega klorida, ki so jih zaznali z rentgenskim uklonom (difrakcijo). Ugotovili so, da je barva stekla v neposredni odvisnosti od velikosti teh nanokristalov. Jekimov je s prilagajanjem pogojev segrevanja in ohlajevanja stekla natančno nadzoroval nastanek nanokristalov bakrovega klorida v velikostnem razponu od dveh do trideset nanometrov. Svoja spoznanja je leta 1981 objavil v prestižni sovjetski znanstveni reviji (*Екимов, Онущенко, 1981*). Ker pa je bila dostopnost te publikacije znanstvenikom zahodnega sveta omejena zaradi železne za-

vese, Louis Brus ni bil seznanjen z Jekimovim delom.

Louis Brus je leta 1983 kot prvi samostojno razkril kvantne lastnosti nanodelcev, raztopljenih v tekočini, ki so povezane z njihovo velikostjo. Med svojim delom v Bellovih laboratorijih v Združenih državah Amerike je Brus raziskoval fotokemijo delcev kadmijevega sulfida, ki so v njegovih poskusih bili katalizatorji kemijskih reakcij. Da bi optimiziral aktivno površino, je pripravil suspenzije drobnih delcev kadmijevega sulfida. Med opazovanjem teh nanodelcev je opazil nenavaden pojav - njihove optične lastnosti so se sčasoma, ko so stali v laboratoriju, spreminjale. Predvideval je, da je vzrok za to rast delcev, zato je za preverjanje te hipoteze ustvaril nanodelce kadmijevega sulfida, velike približno 4,5 nanometra. Njihove optične lastnosti je nato primerjal z večjimi delci, ki so merili približno 12,5 nanometra. Medtem ko so večji delci svetlobo absorbirali pri običajnih valovnih dolžinah za kadmijev sulfid, je bila za manjše delce značilna absorpcija pri krajših valovnih dolžinah, kar se je kazalo v premiku proti modri barvi v spektru (Brus, 1984).

Slika na sledeči strani prikazuje suspenzije kadmijevega selenida s kvantnimi pikami različnih velikosti. Iz slike je jasno razvidno, da velikost kvantnih pik vpliva na valovno dolžino oddane svetlobe: manjše kot so kvantne pike, krajša je valovna dolžina svetlobe, ki jo oddajajo.

Kvantna pika je nanokristal, ki je pogosto sestavljen iz le nekaj tisoč atomov. Po velikosti je do žoge v takšnem razmerju, kot je žoga do Zemlje.



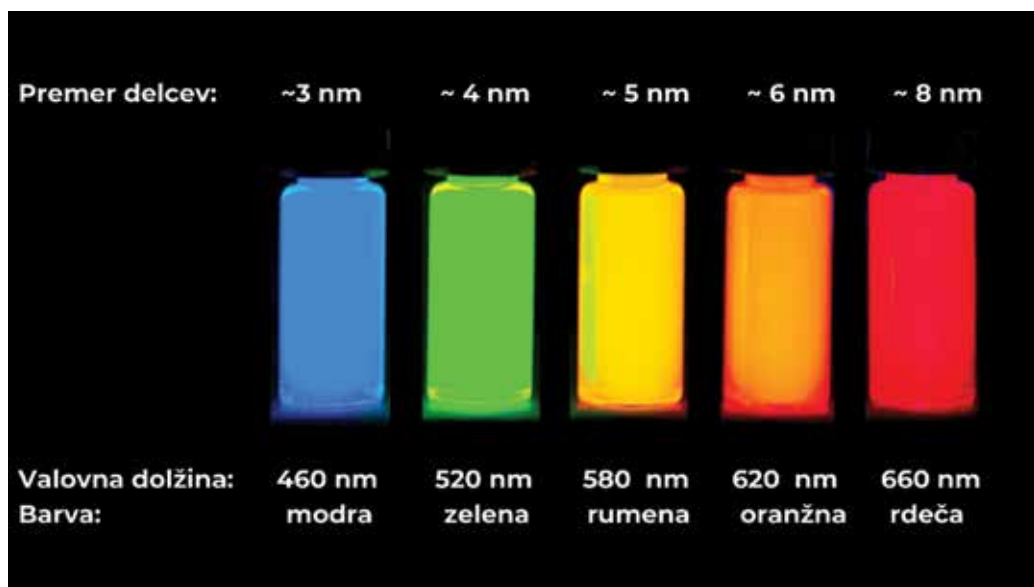
2 do 10 nanometrov



19 centimetrov



12.756 kilometrov



Suspenzije kadmijevega selenida s kvantnimi pikami različnih velikosti (v nanometrih).

V svetu raziskav kvantnih pik je bilo glavno vprašanje, kako ustvariti kakovostne in obstojne kvantne pike z enotnimi lastnostmi. Mounji Bawendi, letošnji Nobelov nagrajenec za kemijo, je leta 1993 objavil metodo vročega vbrizgavanja, ki omogoča sintezo kvantnih pik z natančno določenimi dimenzijami, hkrati pa so kvantne pike, dobljene s tem postopkom, izjemno obstojne (Murray, Norris, Bawendi, 1993). Bawendijeva novost je pripomogla k razvoju novih tehnologij, ki temeljijo na uporabi kvantnih pik. Tehnologija kvantnih pik postaja vedno bolj prevladujoča in ključna v sodobnem svetu. Na njeni osnovi so razviti visokokakovostni zasloni QLED za računalnike in televizorje, ki zagotavljajo izjemno kakovost slike in žive barve. V kvantnih računalnikih kubitih, ki uporabljajo kvantne pike, omogočajo revolucionarne zmogljivosti. Poleg tega sončne celice, ki vsebujejo kvantne pike, dosegajo izjemno učinkovitost in povečujejo izkoristek energije. Kvantne pike prav tako uporabljajo v medicinski diagnostiki, kjer omogočajo natančnejše rezultate, in pri razvoju inova-

tivnih senzorjev (tipal), ki obetajo večjo občutljivost in zanesljivost.

Literatura:

Brus, Louis, E., 1984: *Electron–electron and electron–hole interactions in small semiconductor crystallites: The size dependence of the lowest excited electronic state. The Journal of Chemical Physics*, 80 (4403): 4403–4409.

Екимов, А. И., Онущенко, А. А., 1981: *Квантовый размерный эффект в трехмерных микрокристаллах полупроводников (PDF). Письма в ЖЭТФ*, 34: 363–366.

Fröblich, H., 1937: *Die spezifische Wärme der Elektronen kleiner Metallteilchen bei tiefen Temperaturen. Physica*, 4 (5): 406 – 412.

Murray, C. B., Norris, D. J., Bawendi, M. G., 1993: *Synthesis and characterization of nearly monodisperse CdE (E = sulfur, selenium, tellurium) semiconductor nanocrystallites. Journal of the American Chemical Society*, 115 (19): 8706–8715. doi:10.1021/ja00072a025. ISSN 0002-7863.

Slovarček:

Elektronska struktura Razporeditev in vedenje elektronov v atomu ali molekuli.

Fotokemija. Veja kemije, ki se ukvarja z učinki svetlobe na kemijske reakcije.

Kadmijev sulfid. Polprevodniški material, uporabljen v raziskavah kvantnih pik.

Kubiti. Osnovne enote informacije v kvantnih računalnikih.

Kvantna mehanika. Področje fizike, ki opisuje vedenje zelo majhnih delcev.

Kvantna pika. Zelo majhna agregacija polprevodniškega materiala, ki se obnaša kot kvantni delci in ima posebne optične in elektronske lastnosti.

Kvantni računalnik. Naprava, ki za procesiranje podatkov uporablja kvantno mehaniko, predvsem superpozicijo in prepletanje. Namesto običajnih bitov uporablja kubite, ki lahko zavzemajo več stanj hkrati. To omogoča bistveno hitrejšo izračune in večjo procesno moč, kar je ključno za reševanje kompleksnih problemov, ki presegajo zmogljivosti klasičnih računalnikov.

Metoda vročega vbrizgavanja. Tehnika za sintezo kvantnih pik z nadzorovanimi velikostmi.

Nanodelci. Izjemno majhni delci, merjeni v nanometrih.

Polprevodniški nanokristal. Majhen kristal, sestavljen iz polprevodniškega materiala, ki ima kvantne lastnosti.

Rentgenska difrakcija. Tehnika za analizo kristalne strukture snovi s pomočjo rentgenskih žarkov.

Schottova stekla. Posebna vrsta stekla z določenimi optičnimi lastnostmi.

Sončne celice. Naprave, ki pretvarjajo svetlobno energijo v električno energijo.

Vavilovov inštitut v Rusiji. Raziskovalni inštitut v Sankt Peterburgu, znan po raziskavah v fiziki.

Zaslони QLED. Visokokakovostni zasloni, ki uporabljajo tehnologijo kvantnih pik za izboljšanje kakovosti slike.



Črtomir Podlipnik je doktoriral iz teoretične kemije na Univerzi v Ljubljani pod mentorstvom prof. Jožeta Kollerja. Specializiral se je tudi na področju kemoinformatike, kar mu omogoča učinkovito analizo in modeliranje kemijskih spojin. Po pridobitvi doktorata se je pridružil skupini prof. Anne Bernardi na Univerzi v Milanu v Italiji, kjer je bil vključen v razvoj zaviralcev toksina kolere. V času epidemije SARS-CoV-2 je sodeloval v projektih odprte znanosti Covid-si in SiDock@Home. Trenutno je zaposlen kot asistent na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani, kjer je tudi koordinator za študij kemoinformatike v okviru Erasmus+ programa Chemoinformatics+.

Materiali z visoko entropijo – materiali prihodnosti

Tina Skalar, Marjan Marinšek

Materiali z visoko entropijo (angleško *High entropy materials, HEM*) so poznani že nekaj desetletij. Šele v zadnjih letih pa sta se povečala njihova prepoznavnost v svetu in zanimanje zanje tudi na raziskovalnem področju. Zadnje je v veliki meri posledica potrebe po iskanju novih materialov predvsem na področju izkoriščanja obnovljivih virov in razvoja za to potrebne infrastrukture. Materiale z visoko entropijo lahko uporabimo v najrazličnejše namene, povezane s katalizo, baterijami in podobnimi materiali za shranjevanje energije. Na tem mestu najbrž ni treba posebej poudarjati pomena tovrstnega razvoja za čim hitrejši in učinkovitejši zeleni prehod in s tem zmanjševanje odvisnosti od fosilnih goriv.

Življenje ljudi je v veliki meri odvisno od materialov, ki jih človeške združbe uporabljajo. Prav tako pa je tudi napredek človeške civilizacije odvisen od razvoja materialov (slika 1). V začetku so ljudje uporabljali predvsem materiale, ki so jih našli v naravi – od kamna, lesa, usnja in kosti do prvotnih površinsko lahko dostopnih kovin (zlata, srebra, bakra). Že v kameni dobi so ljudje z

obdelovanjem glin na osnovi alumosilikatov (soli aluminijevega in silicijevega oksida s kovino) pripravili materiale, ki so jih v tako imenovanem zelenem stanju z lahkoto oblikovali, po žganju (toplotni obdelavi) pa so iz njih lahko pripravili utrjene in uporabne izdelke (na primer posode za shranjevanje živil). Drugače povedano, v tistem času so začeli uporabljati posebej pripravljene kera-



Slika 1: Shema inženirstva materialov.

mične materiale. Kasneje so se ljudje naučili iz Zemljinega bogastva izločevati železo in baker ter ju ločeno uporabljati pri zadovoljevanju potreb vsakdanjega življenja. V bronasti dobi so bakru dodajali kositer in s tem dobili trajnejši in uporabnejši material. Železna doba, ki je sledila bronasti dobi, je postala zibelka jeklarske industrije. Orodje in orožje iz železa so izboljšali z dodatkom ogljika. S kopičenjem znanja so ljudje nato ugotovili, da je lastnosti končnega materiala mogoče izboljšati, če osnovnemu elementu v manjši količini primešajo tudi druge elemente (temu danes pravimo priprava zlitin). Ideja o mešanju različnih kovinskih sestavin tako ni tako nova, kot bi si mislili. Kdo bi verjel, da so že pred tisočletji poznali nekatere zakonitosti o mešanju različnih kovinskih elementov ali sestavin in tako ustvarjali končni material, ki je imel boljše lastnosti od prvotnih surovin. Različne železove, nikljeve in aluminijeve zlitine še vedno uporabljamo tudi danes. V zadnjem stoletju v metalurgiji prevladujejo posebna jekla, super zlitine, zlitine na osnovi titana in aluminija, kovinska stekla, intermetalne spojine, kompoziti ... Vendar pa vse bolj postaja jasno, da tudi ti materiali niso več uporabni v biomedicini, iz njih ni več mogoče izdelovati ultratankih elektronskih sestavnih delov in podobno.

Leta 2004 sta bila objavljena dva neodvisna znanstvena članka, kjer sta bila kot avtorja podpisana Yeh in sodelavci ter Cantor in sodelavci (Yeh, Chen, Lin in sod., 2004; Cantor, Chang, Knight in sod., 2004). V člankih opisujeta pripravo večkomponentne zlitine, sestavljene iz dvajsetih oziroma šestnajstih različnih elementov. Rezultati so bili presenetljivi, saj so namesto pričakovane steklaste faze dobili večfazni, kristalinični proizvod, ki je kazal krhkost. Prevladujoča faza je imela ploskovno centrirano kubično celico (PCK) (angleško *face-centered cubic, FCC*), kjer je bilo prisotnih veliko elementov, predvsem kovin prehoda. Pri tem so ugotovili, da je bilo skupno število faz v

sistemu manjše od ravnotežnega števila faz, izračunanim iz Gibbsovega faznega pravila. Entropija mešanja je namreč za zlitine, sestavljene iz petih ali več elementov, visoka, kar nakazuje tendenco nastajanja naključne trdne raztopine. Zaradi tega so tem zlitinam nadeli posebno ime – zlitine z visoko entropijo. V isti raziskavi so ugotovili tudi, da imajo tovrstni materiali izboljšane nekatere funkcionalne lastnosti: visoko trdoto, odpornost proti zmečkanju ter odpornost proti oksidaciji in obrabi. Posledično jih zato lahko uporabljamo v agresivnejših in bolj zahtevnih okoljih: na primer orodja, kalupe, matrice, korozijsko odporni deli z visoko trdoto v kemijskih tovarnah, livarnah, integriranih vezjih ...

Med materiale z visoko entropijo uvrščamo poleg zlitin z visoko entropijo (*high entropy alloys, HEA*) tudi keramiko z visoko entropijo (*high entropy ceramic, HEC*), okside z visoko entropijo (*high entropy oxides, HEO*), nitride z visoko entropijo, karbide z visoko entropijo in druge materiale z visoko konfiguracijsko entropijo.

Entropija je pojem, znan v termodinamiki, informatiki in tudi sociologiji. V védi o materialih z njim opisujemo urejenost sistemov. Kot sistem lahko, splošno gledano, obravnavamo katero koli okolje. Otroška soba na primer je lahko lepo pospravljena ali pa razmetana, neurejena. Atomi nekega materiala lahko sprva sestavljajo urejeno kristalno zgradbo, kateri z dodajanjem vse več in več različnih elementov narašča entropija, z drugimi besedami, zgradba z vsakim dodatkom postaja vse bolj neurejena. Prav za to pri materialih z visoko entropijo, poenostavljeno povedano, gre: z dodajanjem različnih elementov v že urejeni sistem povečujemo nered in s tem materialu povečamo entropijo (Brechtel, Liaw, 2021).

Po definiciji, ki temelji na sestavi, med materiale z visoko entropijo prištevamo tiste, ki vsebujejo vsaj pet glavnih elementov, katerih atomski delež se giblje od 35 do 5 odstotkov. Taki materiali imajo več tako

imenovanih glavnih elementov, ki so zastopani v večjem deležu (Zhou, Xiang, Dai, 2023). Druga definicija materialov z visoko entropijo pa izvira iz entropije mešanja (imenovane tudi konfiguracijske entropije) in Boltzmannove definicije entropije (enačba 1), kjer je k Boltzmannova konstanta, w pa termodinamska verjetnost (Zhou, Xiang, Dai, 2023).

$$S = k \ln w \quad \text{(Enačba 1)}$$

Termodinamska verjetnost predstavlja celokupno število možnih mikroskopskih stanj, ki ustrezajo istemu makroskopskemu stanju. Če ta vrednost narašča, narašča tudi konfiguracijska entropija sistema. Za idealno trdno raztopino, sestavljeno iz i komponent, velja enačba 2, kjer je R plinska konstanta, n_i množina v molih in X_i molski delež posameznega elementa.

$$\Delta S_{mix} = -R[n_1 \ln X_1 + n_2 \ln X_2 + \dots + n_i \ln X_i] \quad \text{(Enačba 2)}$$

Entropija mešanja doseže največjo vrednost, ko je razmerje med elementi ekvimolarno. Profesor dr. Jien-Wei Yeh (Yeh, Chen, Lin in sod., 2004) z Nacionalne tajvanske univerze je izračunal konfiguracijske entropije zlitin, ki vsebujejo do trinajst različnih elementov v ekvimolarnem razmerju. Izračunana velikost entropij je bila podlaga za razvrstitev zlitin v tri razrede: zlitine z nizko entropijo (sem uvrščamo tradicionalne zlitine), zlitine s srednjo entropijo in zlitine z visoko entropijo (slika 2).

Na podlagi osnovnih raziskav so v nadaljevanju povzeli štiri glavne učinke za zlitine z visoko entropijo: i) termodinamski učinek (visokoentropijski učinek), ii) strukturni učinek



Slika 2: Razvrstitev zlitin z visoko entropijo glede na velikost entropije.

nek (popačenje mreže - kristalne strukture),
iii) kinetični učinek (počasna difuzija) in iv)
tako imenovani koktajl učinek (Yeh, 2016).

Visokoentropijski učinek

Visokoentropijski učinek (Pan, Liu, Tu in sod., 2023) je najpomembnejši (vendar ne edini) vzrok za tvorbo materialov z visoko entropijo. Spodbuja tvorbo trdnih raztopin z naključno sestavo in enostavno kristalno strukturo. Ravnotežno stanje v materialih z visoko entropijo dosežemo, ko je prosta energija mešanja (ΔG_{mix}) najmanjša. Odvisna je od entalpije mešanja (ΔH_{mix}) in entropije mešanja (ΔS_{mix}) po enačbi 3.

$$\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T \Delta S_{mix}$$

(Enačba 3)

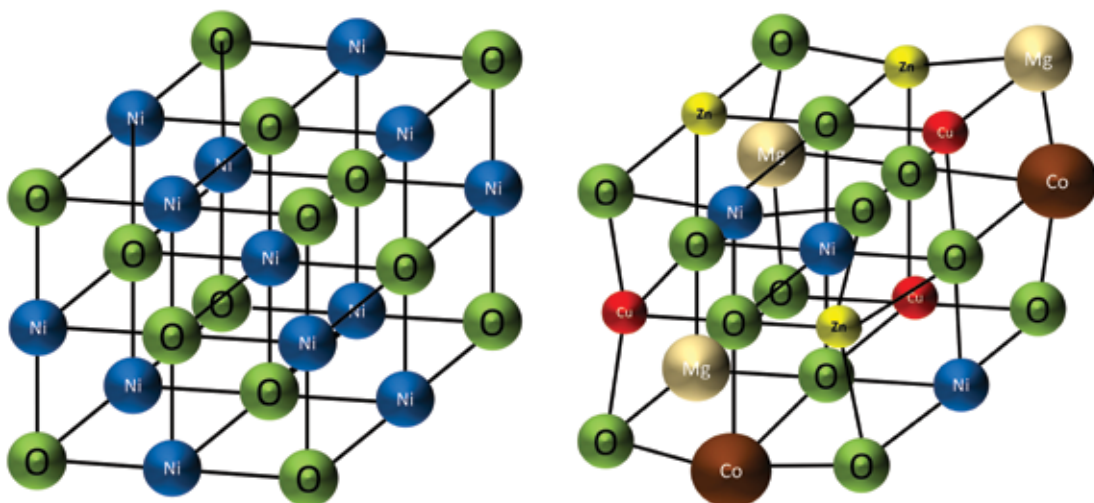
Visoka entropija mešanja znatno poveča območje medsebojne topnosti faz v končni večelementni trdni raztopini. Nastanek materialov z visoko entropijo v skladu z Gibbsovim faznim pravilom, ki pravi, da število faz v ravnotežju narašča s številom komponent, pravzaprav zmanjša število faz, pris-

tnih v sistemu. Trdna raztopina materialov z visoko entropijo je torej sestavljena iz elementa, ki je topilo, in enega ali več drugih elementov kot topljencev. V primeru materialov z visoko entropijo pa so elementi v ekvimolarnem razmerju in je težko med njimi določiti topljence in topilo. Raziskovalci so eksperimentalno potrdili, da je število dejansko tvorjenih faz pri materialih z visoko entropijo v resnici manjše od teoretične vrednosti, izračunane z Gibbsovim faznim pravilom (Zhang, Zhou, Hui, in sod., 2008; George, Raabe, Ritchie, 2019).

Strukturni učinek popačenja mreže

Materiali imajo različne razporeditve atomov v prostoru. Če je material kristaliničen, se neki osnovni vzorec razporeditve atomov, določen v majhnem volumenskem elementu – osnovni celici, ponavlja povsod v kristalu. Popačenje mreže (dejansko popačenje osnovne celice), ki se zgodi v materialih z visoko entropijo, je posledica kombinacije naključne porazdelitve gradnikov (na primer atomov) z različnimi velikostmi, njihove različne elektronegativnosti ali dolžine

Slika 3: a) Prikaz razporeditve ionov v nikljevem oksidu, b) prikaz možne razporeditve ionov v materialu z visoko entropijo ($Mg_{0,2}Co_{0,2}Ni_{0,2}Cu_{0,2}Zn_{0,2}O$).



medčlenskih vezi. Če primerjamo strukturo nikljevega oksida (NiO), ki je na sliki 3a, s strukturo materiala z visoko entropijo ($(\text{Mg}_{0,2}\text{Co}_{0,2}\text{Ni}_{0,2}\text{Cu}_{0,2}\text{Zn}_{0,2})\text{O}$) na sliki 3b, je razlika očitna. Pri nikljevem oksidu se iona elementov niklja (Ni^{2+}) in kisika (O^{2-}) izmenično vgrajujeta v strukturo, da se uravnava njun nasprotni naboj. Razdalje med gradniki so zato dobro definirane ne glede na to, v kateri smeri opazujemo takšen kristal. Razporeditev gradnikov v nikljevem oksidu je taka, da lahko osnovni ponavljajoči vzorec opišemo s kubično kristalno strukturo z dobro definirano dolžino roba osnovne celice. Pri dodajanju drugih elementov, ki so sicer glede na oksidacijsko stanje podobni, pa se struktura deformira (popači). V tem primeru (slika 3b) se v strukturo na mesto, kjer je bil prej nikljev ion, vgrajujejo drugi kovinski ioni z različnim polmerom (lahko večjim ali manjšim) glede na nikelj.

Ioni se razporedijo tako, da zadostijo potrebam po uravnavanju nasprotnega naboja. Hkrati pa tekmujejo med gradniki odbojne in privlačne sile, ki so odvisne tudi od velikosti posameznih ionov in njihovega naboja. Končni rezultat je popačena kristalna mreža in posledično nastanek tako imenovane napete kristalne strukture, kar ima za posledico tudi spremenjene funkcionalne lastnosti materiala. Popačena mreža (napeta kristalna struktura) je ovira za potovanje dislokacij, kar zvišuje trdnost in znižuje duktilnost takšnega materiala. (Duktilnost je lastnost materiala, da prenese plastično deformacijo, ne da bi se zlomil. Večjo deformacijo kot je material sposoben prenesti brez preloma zaradi krhkosti, bolj je duktilen. Duktilnost se največkrat meri pri zlitinah in ostalih konstrukcijskih elementih.)

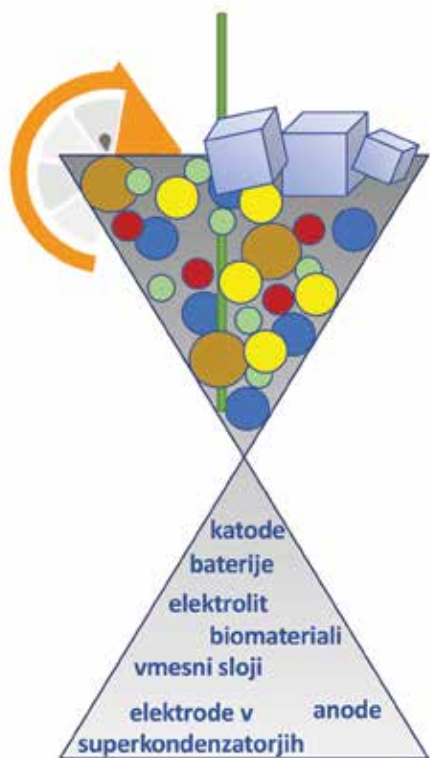
Hkrati pa popačena mreža poslabša toplotno odpornost materiala ter zniža električno in toplotno prevodnost materialov z visoko entropijo. V skrajnem primeru sta zaradi prevelikih razlik v velikosti ionov možna tudi porušitev kristalne strukture in nastanek amorfnе faze.

Kinetični učinek upočasnjene difuzije *(«sluggish diffusion effect»)*

V materialu se z difuzijo velikega števila atomov raznovrstnih elementov tvorijo nove faze. Pri tem sodelujejo praznine (vakance), ki so del realne zgradbe kristalov in so kot takšne potrebne za substitucijsko difuzijo. Vsaka taka praznina močno zviša entropijo mešanja in hkrati zvišuje tudi konfiguracijsko entalpijo, kar pri določeni temperaturi in koncentraciji zmanjša prosto energijo mešanja (enačba 3). Ko konfiguracijska entropija mešanice narašča, se prosta energija tvorbe trdne raztopine zmanjša. Takšen proces je spontan oziroma je tvorba materialov z visoko entropijo lažja, še posebej pri povišanih temperaturah. Koeficienti hitrosti difuzije v različnih sistemih, ki jih je izračunal Yeh, si sledijo v razmerju: zlitine z visoko entropijo < nerjavna jekla < čiste kovine (Yeh, 2006). Ugotovitev poudarja pomen počasne difuzije za nadzorovani nastanek faz v materialih z visoko entropijo.

Učinek koktajla

Za pojasnitev tega učinka se bomo podali v svet koktajlov, kjer so raziskovalci tudi dobili navdih za ime. V svetu barmanstva so komponente večinoma v tekočem agregatnem stanju (z izjemo ledu ali sadja). Vsaka sestavina ima svoj okus, vonj in barvo, torej individualne lastnosti. Mešanje z drugimi sestavinami pa ima za posledico popolnoma novo barvo, okus in končni videz. Izkušeni barman ve, da je izbira primernih sestavin in njihovega razmerja ključna za zadovoljiv končni izdelek (koktajl). Torej lahko s spremembo samo teh dveh spremenljivk vplivamo na končne lastnosti materiala. Pri inženirstvu materialov z visoko entropijo je zgodba zelo podobna. V obeh primerih gre za učinek sinergije, kjer mešanje posameznih sestavin ustvari materiale z visoko entropijo s funkcionalnimi lastnostmi, ki presega funkcionalne lastnosti vsote posameznih sestavin. Rezultat učinka koktajla so tako izboljšani novi materiali z zelo široko



Slika 4: Mešanje različnih komponent, prikazan s primerom koktajla, in nekateri primeri uporabe tako dobljenih materialov.

možnostjo uporabe: na primer kot anodni materiali, trdni elektroliti, katodni materiali v baterijah, vmesni sloji, kot elektrode v superkondenzatorjih, biomateriali, katalizatorji ... (slika 4).

Prav velik nabor elementov, včasih sicer nekompatibilnih, nam omogoča kombinacije, ki rezultirajo v materialih z zelo različnimi končnimi funkcionalnimi lastnostmi.

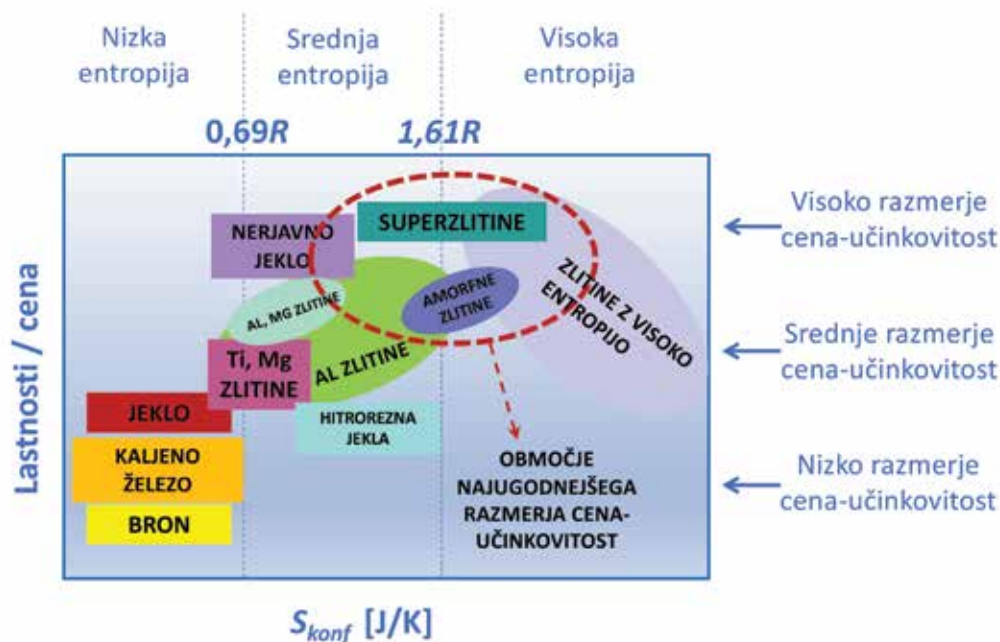
Sinteze

Za sintezo materialov z visoko entropijo uporabljajo različne postopke, med katerimi so najpogostejši: sinteze v trdnem, mokre sinteze (sol-gel sinteze), priprava z legiranjem, laserska ablacija, elektrokemijska sinteza in še vrsto drugih. Nešteto možnosti priprave materialov z visoko entropijo

pomenijo nešteto možnih poskusov in sintez, kar je lahko v laboratoriju časovno zelo potratno in cenovno negospodarno. Pri pripravi materialov z visoko entropijo zato še posebej pride do veljave tako imenovano krojenje končnih materialov z uporabo strojnega učenja (*machine learning*, ML) (Zhou, Xiang, Dai, 2023) in analizo podatkov. Prav zapletene kombinacije sestav in mikrostruktur povzročajo težave pri izbiri in načrtovanju materialov. Tradicionalna pot inženirstva materialov z zelo široko shemo poskusov in napak je v tem primeru ekonomsko manj učinkovita. Potrebe po drugačni vrsti »eksperimentiranja« so leta 2011 sprožile nastanek tako imenovane Iniciative za genom materialov (*Materials Genome Initiative*, MGI) (Materials Genome Initiative | WWW.MGI.GOV). S tem se je odprl nov vzorec načrtovanja, oblikovanja, razvoja in uporabe materialov s pomočjo strojno generiranih eksperimentov, ki temelji na računalniškem modeliranju in virtualni izvedbi eksperimentov. Dostopnost naprav z večjimi računskimi zmogljivostmi in razvoj umetne inteligence sta namreč tudi na področju inženirstva materialov omogočila razvoj pri načrtovanju novih materialov z razvojem vzporednih simulacij s pomočjo strojnega učenja. Zbirke podatkov o materialih z visoko entropijo so za uporabo v visokozmogljivih modelih sicer še v fazi razvoja. So pa na primer pri karbidih z visoko entropijo že izvedli simulacije z metodo teorije funkcionalne gostote (*Density functional theory*) kot eno izmed tehnik strojnega učenja. V zadnjem primeru je raziskovalce zanimalo predvsem, ali je določeno sestavo karbidov z visoko entropijo možno tudi dejansko sintetizirati in pod kakšnimi pogoji, ter v nadaljevanju fazna obstojnost pri ognjevzdržnih zlitinah z visoko entropijo.

Uporaba

Kljub dejstvu, da je od odkritja materialov z visoko entropijo do danes minilo razmeroma malo časa, materiale z visoko entropijo tudi

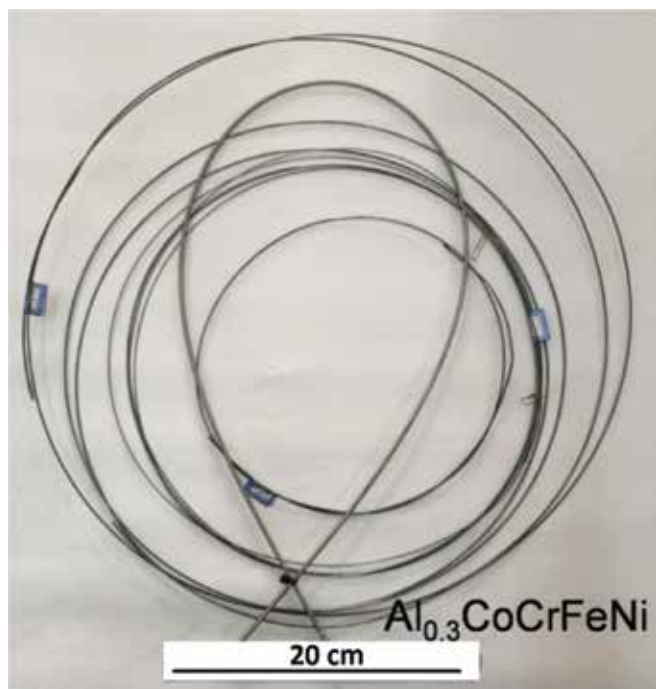


Slika 5: Razmerje med ceno in lastnostmi najpogostejših materialov z različno stopnjo entropije.

že industrijsko proizvajajo. Zaradi potreb po vedno novih izboljšanih materialih so inženirji hitro prepoznali prednosti in kakovost materialov z visoko entropijo ter jih vključili v različne aplikacije. Uporabi materialov z visoko entropijo ne nazadnje daje prednost tudi razmerje med funkcionalnimi lastnostmi končnih materialov ter njihovo ceno (slika 5), ki je za materiale z visoko entropijo zelo ugodno. Ena izmed najperspektivnejših aplikacij materialov z visoko entropijo je priprava tako imenovanih tankih plasti. Tanke plasti zlitin z visoko entropijo tako uporabljajo kot prevleke, odporne proti obrabi in povišani temperaturi, ter kot trde prevleke za rezalna orodja. Še vedno so postopki priprave materialov z visoko entropijo nekoliko nedodelani, kar omejuje njihovo širšo uporabo v večjih sistemih, zato se v tem trenutku materiali z visoko entropijo uporabljajo v bolj specialnih, majhnih in dragih aplikacijah.

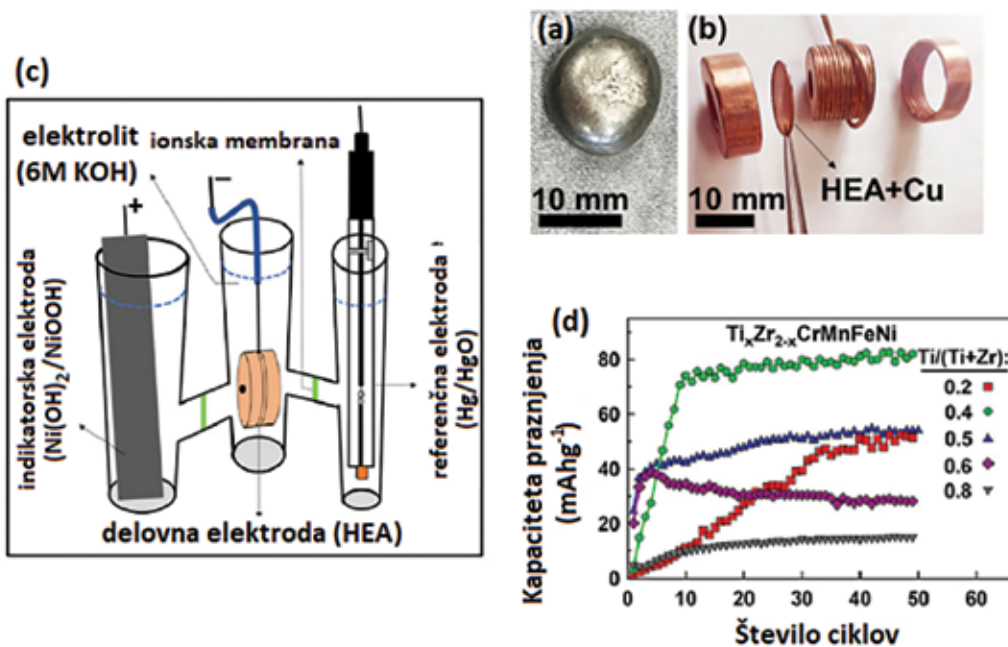
Tudi na področju priprave vlaken imajo ma-

teriali z visoko entropijo zavidljive lastnosti. Tukaj prevladujejo predvsem njihove dobre mehanske lastnosti, kjer izstopata visoka trdnost in zadovoljiva duktilnost, kar se je pokazalo tudi pri $\text{Al}_{0,3}\text{CoCrFeNi}$ (slika 6). Li in sodelavcem (Li, Li, Feng in sod., 2017) iz Laboratorija za napredne kovine in materiale Univerze v Pekingu je uspelo pripraviti vlakna z omenjeno sestavo s premerom od 1 do 3,15 milimetra in izredno natezno trdnostjo ≈ 1200 megapaskalov pri temperaturi 77 kelvinov (-196 stopinj Celzija), ki pa z zniževanjem temperature še naraste. Študije (Lu, Wang, Chen in sod., 2015; Wang, 2022) potrjujejo še druge izjemne lastnosti zlitin z visoko entropijo v primerjavi z običajnimi zlitinami: visoko toplotno obstojnost, odpornost proti utrujanju, obrabi in koroziji, večjo trdoto ter izjemne lastnosti pri povišanih in nizkih (krio)temperaturah. Možnosti uporabe teh materialov se zaradi tega še povečajo. Uspešno kljubujejo ekstremnim razmeram, ki smo jim priča



Slika 6: *Vlakna, pripravljena iz $Al_{0.3}CoCrFeNi$ (Li, Li, Feng in sod., 2017).*

Slika 7: *a) Slika ingota, zlitine z visoko entropijo, b) nikelj-metalhidridna anoda, c) shema elektrokemijske celice s tremi elektrodami in d) značilnosti (odvisnost kapacitete praznjenja od števila ciklov) zlitin z visoko entropijo z različnim razmerjem elementov (Edalati, Mohammadi, Li in sod., 2022).*



v jedrski in vesoljski tehnologiji ter v turbinskih sistemih.

Zlitinam z visoko entropijo se odpirajo možnosti uporabe tudi pri shranjevanju energije, na primer shranjevanju vodika v obliki hidridov in shranjevanju energije v baterijah. Zlitine z visoko entropijo so primerni kot novi anodni materiali za nikelj-metalhidridne (Ni-MH) baterije (Edalati, Mohammadi, Li in sod., 2022). V tem primeru so uporabili $\text{Ti}_x\text{Zr}_{2-x}\text{CrMnFeNi}$ z različnim molskim razmerjem med titanom in cirkonijem. Najboljše karakteristike sta pokazala materiala z razmerjem $\text{Ti}/(\text{Ti}+\text{Zr})$ 0,4 in 0,5 (slika 7d). Take ugotovitve na široko odpirajo vrata materialom z visoko entropijo tudi na področju baterij.

Krojenje materialov lahko prikažemo z dvema stranema medalje. Ena stran medalje materialov z visoko entropijo ponuja skoraj neskončno možnost kombinacij komponent ter posledično priprave neskončno različnih inovativnih mikrostruktur. Drugo stran pa predstavlja prav toliko različnih funkcionalnih lastnosti in možnosti uporabe materialov z visoko entropijo, ki so posledica sinteznih parametrov prve strani. Odvisnost je tudi v obratni smeri, saj s ciljanjem na določene lastnosti prilagajamo sestavo materiala. Prekletstvo ali izziv? Oboje. Obe strani medalje sta med seboj povezani in nerazdružljivi v nadaljnjem raziskovalnem delu. Lahko bi rekli, da imamo na področju materialov z visoko entropijo še veliko možnosti za raziskovanje, več, kot se jih trenutno lahko zavedamo.

Literatura:

- Brecht, J., Liaw, P. K., 2021: *High-entropy materials: Theory, experiments, and applications*. Springer International Publishing.
- Cantor, B., Chang, I. T. H., Knight, P., in sod., 2004: *Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys*. *Materials Science and Engineering: A* 375–377 (1): 213–218, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.257>.
- Edalati, P., Mohammadi, A., Li, Y., in sod., 2022:

High-entropy alloys as anode materials of nickel – metal hydride batteries. *Scripta Materialia*, 209: 114387, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2021.114387>

George, E. P., Raabe, D., Ritchie, R. O., 2019: *High-entropy alloys*. *Nature Reviews Materials*, 4 (8): 515–534, doi: [10.1038/s41578-019-0121-4](https://doi.org/10.1038/s41578-019-0121-4).

Li, D., Li, C., Feng, T., in sod., 2017: *High-entropy $\text{Al}_{0.3}\text{CoCrFeNi}$ alloy fibers with high tensile strength and ductility at ambient and cryogenic temperatures*. *Acta Materialia*, 123 (5): 285–294, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.10.038>.

Lu, Z. P., Wang, H., Chen, M. W., in sod., 2015: *An assessment on the future development of high-entropy alloys: Summary from a recent workshop*. *Intermetallics*, 66: 67–76, doi: <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2015.06.021>.

Materials Genome Initiative | WWW.MGI.GOV.

Pan, Y., Liu, J.-X., Tu, T.-Z., in sod., 2023: *High-entropy oxides for catalysis: A diamond in the rough*. *Chemical Engineering Journal*, 451 (2): 138659, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138659>.

Wang, Y., 2022: *Processing and properties of high entropy carbides*. *Advances in Applied Ceramics*, 121 (2): 57–78, doi: [10.1080/17436753.2021.2014277](https://doi.org/10.1080/17436753.2021.2014277).

Yeh, J.-W., Chen, S.-K., Lin, S.-J., in sod., 2004: *Nanostructured High-Entropy Alloys with Multiple Principal Elements: Novel Alloy Design Concepts and Outcomes*. *Advanced Engineering Materials*, 6 (5): 299–303, doi: <https://doi.org/10.1002/adem.200300567>.

Yeh, J.-W., 2006: *Recent progress in high-entropy alloys*. *European Journal of Control*, 31 (6): 633–648, doi: [10.3166/acsm.31.633-648](https://doi.org/10.3166/acsm.31.633-648).

Yeh, J.-W., 2016: *Overview of High-Entropy Alloys. V: Gao, M. C., Yeh, J.-W., Liaw, P. K., in sod., uredniki: High-Entropy Alloys: Fundamentals and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 1–19.

Zhang, Y., Zhou, Y., Hui, X., in sod., 2008: *Minor alloying behavior in bulk metallic glasses and high-entropy alloys*. *Science in China Series G: Physics, Mechanics and Astronomy*, 51 (4): 427–437, doi: [10.1007/s11433-008-0050-5](https://doi.org/10.1007/s11433-008-0050-5).

Zhou, Y., Xiang, H., Dai, F.-Z., 2023: *High-Entropy Materials: From Basics to Applications*. Wiley.

Slovarček:

Zlitina. Zmes dveh ali več kovin, ki jih najpogosteje pripravljajo s taljenjem in mešanjem.

Intermetalna spojina. Nova samostojna spojina, ki se tvori pri mešanju dveh ali več elementov. Primer intermetalne spojine je cementit (Fe_3C) v faznem diagram Fe-C (železo-ogljik).

Ekvimolarnost. Enaka množina komponent.

Elektronegativnost. Zmožnost atoma, da privlači elektrone. Bolj kot je atom elektro-negativen, bolj privlači elektrone. Najbolj elektronegativen element je fluor.

Duktilnost. Lastnost materiala, da prenese plastično deformacijo brez zloma.



Tina Skalar je docentka na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani. Leta 2008 je diplomirala, leta 2014 pa doktorirala na temo gorivnih celic. V času doktorskega študija se je ukvarjala s sintezo, karakterizacijo in pripravo materialov za gorivne celice s trdnim elektrolitom, njeno konstrukcijo in načrtovanjem ter postavitvijo testnega sistema. Trenutno je zaposlena na Katedri za materiale in polimerno inženirstvo na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo na Univerzi v Ljubljani. Poleg raziskovalnega opravlja tudi pedagoško delo pri predmetih s področja materialov, kjer je mentorica diplomskim in magistrskim študentom. Vključena je v programsko skupino Napredna anorganska kemija in projekte s področja mikroplastike. Raziskuje sintezo perovskitnih materialov, določevanje parametrov prašnih eksplozij in karakterizacijo materialov (mikroplastike, lesa, titanovega dioksida), predvsem z uporabo termooanalitskih tehnik, mikroskopije in drugih metod, ki omogočajo študij morfologije.



Marjan Marinšek je diplomiral leta 1992, magistriral leta 1996 in dokončal doktorat leta 1998 z nalogo Kompozitni anodni materiali za visokotemperaturne gorivne celice s trdnim elektrolitom. Vsi nazivi so bili podeljeni na Univerzi v Ljubljani. Po dokončanem doktoratu je opravil podoktorsko izobraževanje leta 2005 na Oddelku za raziskovanje materialov v Nacionalnem laboratoriju Risoe na Danskem, leta 2006 na Katedri za energetske sisteme na Tehniški univerzi v Münchnu v Nemčiji in leta 2018 na Oddelku za gradbeništvo in geodezijo Fakultete tehniških znanosti na Univerzi v Novem Sadu.

Trenutno je Marjan Marinšek zaposlen kot redni profesor za področje materialov na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani.

Pomembna strokovna področja delovanja Marjana Marinška:

- Priprava in karakterizacija novih keramičnih in kermetnih materialov: predvsem materiali za tehnologijo SOFC, na primer Ni-YSZ, Ni-GDC, Ni-SDC, LSM, dopirani lantanovi galati in kisikovi ionski prevodniki, na primer YSZ, GDC, SDC.
- Raziskave minimizacije depozicije ogljika na anodnem materialu SOFC.
- Sinteza nanodelcev ZnO ter priprava kompozitov ZnO/polimer.
- Nanodisperzije Pd-C kot katalizatorji za elektrooksidacijo mravljične kisline.
- Alkalno-karbonatna reakcija v hidravličnih vezivih, kot je na primer beton. Staranje betonov, opis degradacijskih mehanizmov v različnih betonih in maltah.
- Priprava različnih perovskitnih materialov.

Strupi in toksikologija v svetu in na Slovenskem (prvi del)

Zvonka Zupanič Slavec

Toksikologija (grško *toksikon*, strup za puščice) je veda o načinu delovanja in učinkovanju kemičnih snovi naravnega ali sintetičnega izvora na organizme ter o preprečevanju, obravnavi in zdravljenju zastrupitev (Krejči, 1999). Toksikologija je izrazito **multidisciplinarna veda**. Z njo se poleg zdravnikov različnih specialnosti ukvarjajo veterinarji, farmacevti, (mikro)biologi, agronomi, živilski tehnologi, (bio)kemiki, varnostni in sanitarni inženirji ter drugi. **Klinična toksikologija** preučuje razpoznavanje in zdravljenje predvsem akutnih zastrupitev, **poklicna ali industrijska toksikologija** obravnava zastrupitve na delovnem mestu, **analitska toksikologija** se ukvarja z dokazovanjem strupov, **sodna toksikologija** preučuje kriminalne zastrupitve, **okoljska toksikologija** vplive dolgoročne izpostavljenosti nizkim odmerkom kemikalij iz okolja, **molekularna in biokemična toksikologija** mehanizme delovanja na makromolekule in biokemične procese v celicah, **imunotoksikologija** vplive na imunski sistem, **nevrotoksikologija** na živčni sistem, **nanotoksikologija** vplive nanodelcev, **genetska toksikologija** vplive kemikalij na genetski material, **ekotoksikologija** vplive na druge organizme in ekosisteme, **vojna toksikologija** pa preučuje delovanje kemičnega orožja, zaščito pred njim in zdravljenje tovrstnih zastrupitev. S presojo varnosti zdravil, mineralov, toksinov, pesticidov, industrijskih kemikalij in prehranskih dodatkov, ki smo jim namerno ali naključno izpostavljeni v vsakdanjem življenju, se ukvarja **regulatorna toksikologija**. Ta povezuje vsa našeta področja z namenom zagotavljanja varne uporabe kemikalij in preprečevanja zastrupitev, kajti **kemijska varnost** je glavni namen sodobne toksikologije (Perharič, 2023).

Človek in strupi

Strup je snov, ki je nevarna zdravju, morebiti celo smrtna. S strupi prihajamo v stik v različnih okoliščinah, na primer naključno, zaradi nepoučenosti, zaradi neupoštevanja zaščitnih ukrepov pri delovnih procesih, zaradi nezgod pri delu, zaradi onesnaženja okolja, zaradi vojne ali teroristične uporabe kemičnega orožja, zaradi prevelikih odmerkov mamil ali poskusov samomora in zaradi kriminalne uporabe. Strupi navadno vstopajo v telo skozi prebavila, dihala, kožo in vidne sluznice, lahko pa tudi parenteralno (z injekcijo ali infuzijo) (Timbrell, 2008).

S strupi se je človek srečeval v vsej svoji zgodovini. Uporabljal jih je pri lovu, ribolovu, kot zdravila, pesticide, v vojnah, pri samomorih in umorih. V neživi naravi so **strupeni minerali** ali **strupene kovine** (na

primer arzen, kadmij, svinec, živo srebro), v živi naravi pa **strupene živali**, na primer strupene kače, škorpioni, nekateri pajki, žabe in ribe, **strupene glive**, med njimi strupene gobe (na primer zelena mušnica, *Amanita phalloides*), predvsem pa številne **strupene rastline**. Te so različna toksična zelišča, kot so trobelika (*Cicuta virosa* – cikutoksin), ter atropin in skopolamin vsebujoče rastline: volčja češnja (*Atropa belladonna*), navadni kristavec (*Datura stramonium*), črni zobnik (*Hyoscyamus niger*) in kranjska bunika ali kranjski volčič (*Scopolia carniolica*). Toksična zelišča so tudi: črni razhudnik ali pasje zelišče (solanin, *Solanum nigrum*), preobjeda (akonitin, *Aconitum napellus*), pikasti mišjak (koniin, *Conium maculatum*), jesenski podlesek (kolhicin, *Colchicum autumnale*), strihninovec (strihnin, *Strychnos nux-vomica*) in druge. Iz toksinov si je človek kmalu ustva-



Navadni kristavec (angelska troblja, Datura stramonium) in kranjska buniča (Scopolia carniolica) sta toksični zelišči, ki vsebujeta toksina atropin (racemična mešanica l- in d-biosciamina) in skopolamin ter povzročata zastrupitve. Scopolia je imenovana po znamenitem zdravniku Joannesu Antoniu Scopoliu (1723–1788), ki je delal v idrijskem rudniku živega srebra. Foto: Miran Brvar.



Navadni ščipalec ali škorpion (Scorpiones) v slovenskem prostoru običajno ni zelo nevarna vrsta pajkovcev. Foto: Rok Kostanjšek.

ril močne **strupe za lov** (na primer kurare, ki so ga južnoameriški Indijanci dajali na konice puščic). Strupe je človek začel uporabljati za **zastrupljanje drugih ljudi**, spoznal pa je tudi, da nekateri med njimi lahko človeku **odvzamejo bolečino** in ga **opojijo**. Vrste zastrupitev se na različnih območjih in tudi v različnih zgodovinskih in življenjskih obdobjih razlikujejo. V Sloveniji je dobra polovica **zastrupitev s snovmi medicinskega izvora** in nekaj manj kot polovica s snovmi nemedicinskega izvora. V nekaterih predelih sveta so najpogostejše zastrupitve zaradi stika s strupenimi živalmi, pesticidi in strupenimi kovinami. Zaradi številčnosti strupenih sestavin in različnosti njihovega učinkovanja je obravnava zastrupljenцев zapletena in zahtevna. Za hitro in učinkovito pomoč so se razvili centri, ki zbirajo podatke o delovanju strupov in izkušnjah pri zdravljenju zastrupitev ter posredujejo informacije o strupenosti določenih snovi in zdravljenju (glej opombo 1.)

Razvoj toksikologije v svetu

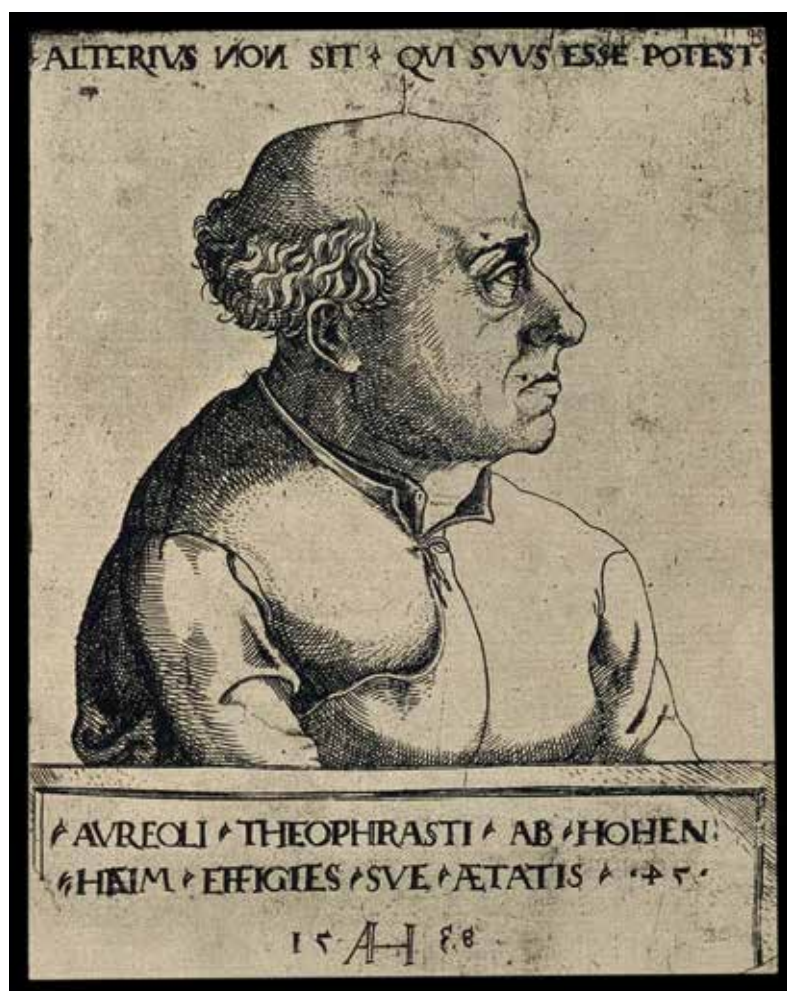
Že **prazgodovinski človek** je ločil minerale, rastline in živali na uporabne in neuporabne oziroma strupene. Staroegipčanski **Brooklinski papirus** (od leta 660 do leta 330 pred našim štetjem) opisuje zastrupitve s strupi kač, škorpionov in pajka *Lycosa tarantula* ter njihovo zdravljenje. Pri tem navaja tudi, kateri strupi so zanesljivo smrtni. **Hipokrat** je okoli leta 400 pred našim štetjem opisal številne strupe in klinične znake zastrupitev ter prevelike odmerke, opisal je tudi zdravljenje ter dodal, da lahko zaužitje mleka pri nekaterih strupih prepreči njihovo škodljivost. Pontski kralj Mitridat VI. Pontski (120–63 pred našim štetjem) je užival nizke odmerke mešanice strupov, da bi pridobil neobčutljivost pred zastrupitvijo. **Rimljani** so med pripadniki vodilne elite neredko **izvajali atentate s strupi**, zato so se bali zastrupitev in iskali protistrupe (antidote) zanje. Rimski diktator Sulla (138–78 pred našim štetjem) je okoli leta 81 pred našim štetjem izdal **zakonik Lex Cornelia de sariis et veneficis**, ki je pravno urejal zastrupitve. V grško-rimski medicini se je razvil pojem univerzalnega protistrupa (*theriaca*, *mithridatum*, *antidotum universale*). Celsus je v delu *De medicina* (leta 30 našega štetja) ohranil sestavo Mitridatovega protistrupa, imel je šestintrideset sestavin.

V srednjem veku je v Španiji živeči židovski zdravnik in filozof **Majmonid** (1135–1204) objavil delo (leta 1198) o zdravljenju zastrupitev s strupi žuželk, členonožcev in kač. V **renesansi** so Italijani izvajali celo **zastrupljanje s kozmetiko**, ki je vsebovala **arzenik** (zloglasni Borgijci). Raziskovalec strupov je bil tudi švicarski zdravnik **Paracelsus** (1493–1541), ki je po Galenu prvi močnejše spremenil biomedicinsko znanost in revolucionarno posegel v dotedanjo **toksikologijo in farmakologijo**. Z zastrupitvami se je Paracelsus med drugim seznanil pri preučevanju bolezni rudarjev v Idriji (Ball, 2006). Njegov izrek *Sola dosis facit venenum* ali **Samo od odmerka je odvisno, ali je nekaj strup**,

je bil revolucionaren za tisti čas. Latinski izrek je parafraziran dejanski Paracelsusov izrek: »*Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift; allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift sei.*« (Vse stvari so strup in ničesar ni brez strupa, samo odmerek odloča, da snov ni strupena.)

Paracelsus je kritiziral uporabo drastičnih odmerkov živosrebrovih mazil za zdravljenje sifilisa, ki so bili takrat v navadi in so povzročali hude zastrupitve. Za njim so se vse bolj razvijale naravoslovne znanosti, predvsem kemija, tako da so bili strupi in njihovi učinki vse pogostejše predmet preučevanja. François Magendie (1783–1885) je preučeval

delovanje bljuvalnega oreščka (*Nux vomica*; vsebuje kasneje odkriti **strihnin**) in ugotovil, da povzroča krče pri poskusni živali, ker deluje na hrbtni mozeg. Pri poskusih na živalih je izvajal vivisekcijo (rezanje telesa živih živali v raziskovalne namene), za omrtvičenje živali pa je uporabljal **kurare**, strup južnoameriških Indijancev. Začetnik moderne toksikologije, španski zdravnik **Mathieu Orfila** (1787–1853), delujoč v Parizu, je uvedel kemijske analize obdukcij-skih vzorcev za dokazovanje zastrupitev in tako vpeljal forenzično toksikologijo (Orfila, 2014). Prvi njegov dosežek je bil dokaz tedaj modnega strupa arzena v obdukcij-skih



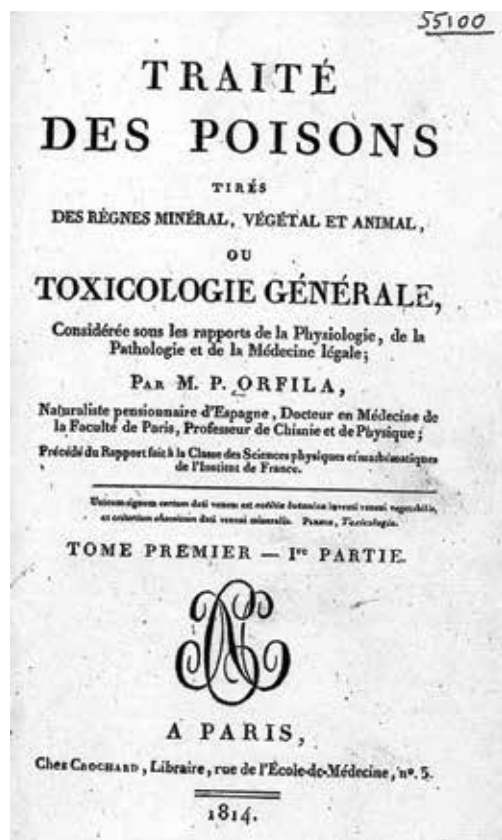
Švicarski zdravnik Paracelsus (1493–1541), renesančni reformator splošne medicine, je prvi postavil trditev, da je samo od odmerka odvisno, ali je neka snov smrtna.

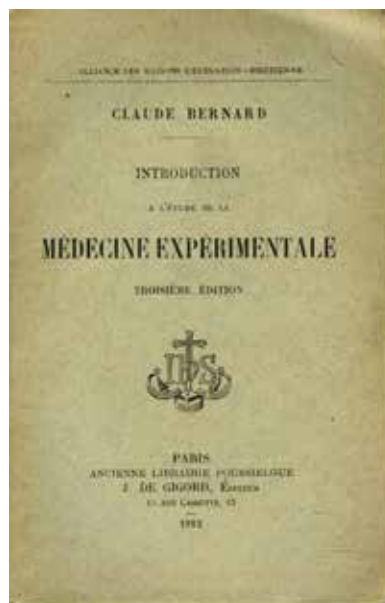
Vir: Wellcome Library.

vzorcih. Leta 1814 je napisal prvo pomembno knjigo o naravnih strupih *Traité des poisons* (Razprava o strupih). Magendiejev učenec **Claude Bernard** (1813–1878) je preučil **delovanje kurareja in odkril živčno-mišični blok**, dodal mehanizem delovanja **ogljikovega monoksida** in izdal knjigo *Uvod v študij eksperimentalne medicine* (1865) (Gallo, 2008). Nemški farmakolog **Louis Lewin** (1850–1929) je opravil pomembne raziskave strupenosti narkotikov, alkaloidov, metanola, glicerola in kloroforma. Razvoj **organske kemije** v devetnajstem stoletju je bil tako intenziven, da so do leta 1880 sintetizirali več kot deset tisoč organskih spojin. Določanje akutne strupenosti pri poskusnih ži-

valih je leta 1927 uvedel **John William Trevan** (1887–1956). Navadno se ugotavlja, pri katerem enkratnem odmerku (v miligramih na kilogram) umre polovica testnih živali, to je tako imenovani LD₅₀ (srednja smrtna doza, smrtna doza 50; količina agensa, ki povzroči smrt pri polovici testiranih osebkov določene vrste). LD₅₀ se za ugotavljanje akutne strupenosti kemikalij določa na laboratorijskih miših in podganah marsikje še danes, pri čemer se upošteva tudi način uporabe strupa, na primer z vbrizgavanjem, peroralno (skozi usta) ali z vdihavanjem. Sodobna toksikologija razvija alternativne metode za ocenjevanje strupenosti kemikalij (Zupanič Slavec, 2013).

*Španski zdravnik Mathieu Orfila (1787–1853) je uvedel kemijske analize obdukcijških vzorcev za dokazovanje zastrupitev, tudi za arzenik, in velja za začetnika moderne toksikologije. Spoznanja je zapisal v knjigi o naravnih strupih *Traité des poisons* (Razprava o strupih) (1815). Vir: Wikipedia.*





Za razvoj toksikologije je bila pomembna knjiga Uvod v študij eksperimentalne medicine (1865), delo vplivnega francoskega fiziologa Claudea Bernarda (1813–1878).



Med prvo svetovno vojno so na frontah začeli uporabljati bojne strupe, klor, iperit in fosgen. Razvoju znanosti dvajsetega stoletja je sledila tudi toksikologija, ki so ji nova nastajajoča zdravila bila izziv, saj so se ob njih pojavljale tudi nepojasnjene smrti. Zato so leta **1906** v Združenih državah Amerike sprejeli **prvi zakon o hrani in zdravilih**, ki je prepovedoval meddržavni promet kontaminirane in nepravilno označene hrane, zdravil in pijač. V tistem času je bilo sicer največ zastrupitev povezanih z obdelavo ali uživanjem toksinov, to je strupov naravnega izvora. Šele z razvojem organske sintezne kemije v dvajsetem stoletju so postale komer-

Nemški farmakolog Louis Lewin (1850–1929) je konec devetnajstega stoletja izvedel pomembne raziskave strupenosti narkotikov, alkaloidov, metanola, glicerola in kloroforma. Vir: Wikimedia Commons.

cialno zanimive umetne snovi, kasneje so ugotovili, da so nekatere strupene (Krimsky, 2017). Sledila so **odkritja vitaminov, hormonov, antimalarikov, organofosfatov, radionuklidov** ... Postopne **umetne sinteze** številnih novih snovi so omogočile **nastanek farmacevtske industrije**. Pojav sintetičnih **pesticidov** (na primer dikloro-difenil-trikloroetana (DDT) in drugih sredstev za zatiranje škodljivih organizmov) in spoznanje, da so nekatere spojine **rakotvorne** in da lahko škodljivo učinkujejo na zdravje, sta pripeljala do vse pomembnejšega dela v **laboratorijih** in razmahu testiranja snovi na **poskusnih živalih**. Za toksikološke poskuse večinoma uporabljajo predvsem miši, podgane, kunce, budre, hrčke in pse. Sprejeta je bila vse strožja zakonodaja, kajti za veliko na novo odkritih snovi se je v laboratoriju ali pa v praksi pokazalo, da so strupene. Pomemben mejnik je tragedija s talidomidom, učinkovino, ki so jo v petdesetih letih dvajsetega stoletja predpisovali za lajšanje slabosti v prvem trimesečju nosečnosti. Pokazalo se je, da je talidomid teratogen (lahko poškoduje zarodek v zgodnji nosečnosti, ne da bi škodoval nosečnici), zato so se rodili številni otroci s pohabljenimi udi. Posledično je bil uveden strog nadzor zdravil, ki mu je sledil nadzor dodatkov v živilih, pesticidov in industrijskih kemikalij (Timbrell, 2008). **Toksikologija** se je vse bolj razvijala v **subspeciale veje** in postajala podporna veja medicine, ki v sodobnem času postaja še pomembnejša. **Specializirani centri za zastrupitve** so se v večjem obsegu začeli pojavljati v mednarodnem prostoru šele ob koncu šestdesetih let **dvajsetega stoletja**. Nastajali so navadno v tesni povezavi z **urgentnimi ambulantami**, kamor so sprejemali bolnike z zastrupitvami. Kasneje so se začeli prostorsko in kadrovsko širiti, imeli so vedno bolj obsežno **dokumentacijo o toksičnih snoveh in proizvodih**, nastajali pa so tudi zunaj kliničnih ustanov. Nekateri so klinično dejavnost celo opustili, kar se je kasneje pokazalo za veliko pomanjkljivost. Analize

so potrdile domneve, da je **učinkovitost** tovrstnih centrov **največja**, kadar **združujejo klinično in informativno-svetovalno dejavnost**, še zlasti, če imajo v svoji sestavi tudi ustrezen **toksikološki laboratorij**. Zdaj približno tretjina centrov združuje obe dejavnosti, vse tri pa le redki, saj se je zaradi strogih predpisov in učinkovite preprečitvene dejavnosti število zastrupitev precej zmanjšalo. Hkrati so se zunaj kliničnih ustanov razvijali novi toksikološki laboratoriji za izvajanje biološkega spremljanja na delovnih mestih in v okolju ter toksikološke analize prehrabnih proizvodov (Gallo, 2010).

Glavni namen sodobne toksikologije je zagotavljanje varne uporabe kemikalij in preprečevanje zastrupitev, zato se toksikologija ukvarja tudi s presojo varnosti zdravil, mineralov, toksinov, pesticidov, industrijskih kemikalij in prehranskih dodatkov, ki smo jim namerno ali naključno izpostavljeni v vsakdanjem življenju.

(Nadaljevanje v prihodnji številki.)

Literatura:

- About us. HBM4EU, 2023. (Internet.) Dosegljivo na: <https://www.hbm4eu.eu/>. (Citirano 12. 2. 2023.)
- Ball, P., 2006: *The Devil's Doctor – Paracelsus and the World of Renaissance Magic and Science*. London: William Heinemann, 98.
- Ciraj, M., Vračko, P., ur., 2016: *Chemical safety and protection of human health: the Slovenian experience*. Copenhagen: World Health Organization, 1–69.
- Ergotizem. Wikipedija (internet), 2022. Dosegljivo na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Ergotizem>. (Citirano 17. 5. 2022.)
- Gallo, M. A., 2008: *History and Scope of Toxicology. V: Klaassen, C. D., ur., Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poison. 7th ed. Kansas City: McGraw-Hill, 3–10.*
- Gallo, M. A., 2010: *Chapter 1. History and Scope of Toxicology. V: Klaassen, C. D., Watkins, J. B., ur., Casarett & Doull's Essentials of Toxicology. 2e. McGraw Hill. Dosegljivo na: <https://accesspharmacy.mhmedical.com/content.aspx?bookid=449§ionid=39910766>.*
- Gelmetti, C., 2010: *Il fuoco di Sant'Antonio. Dai Misteri Eleusini all'LSD*. Milano: Springer.

- Harlander, D., Miljavac, B., 2013: *Ocena tveganja za zdravje ljudi v Beli krajini zaradi uživanja s polikloriranimi bifenili onesnaženih doma pridelanih živil (jajca, mleko, kokoši) ter rib iz rek Krupe in Lahinje*. E-NBOZ, 3 (2): 7–15.
- Ivartnik, M., Pavlič, H., Hudopisk, N., 2016: *Vsebnost svine v krvi otrok na območju Zgornje Mežiške doline*. Ljubljana: ARSO.
- Jan, J., Vrbič, V., 2000: Polychlorinated biphenyls cause developmental enamel defects in children. *Caries Research*, 34: 469–473.
- Johann Zacherl. Wikipedia (internet), 2022. Dosegljivo na: https://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Zacherl. (Citirano 17. 2. 2023.)
- Joint FAO/WHO Expert Meeting on Tropane Alkaloids, 2020. Rim: FAO/WHO.
- Kobal, A. B., 1975: *Profesionalna ekspozicija anorganskemu živemu srebru in spremembe v serumskih proteinih*. Magistrsko delo. Zagreb.
- Kobal, A. B., in sod., 2017: *Exposure to mercury in susceptible population groups living in the former mercury mining town of Idrija, Slovenia*. *Environmental Research*, 152: 434–45.
- Krejši, F., 1999: *Toksikologija. V: Enciklopedija Slovenije*. Zv. 13. Ljubljana: Mladinska knjiga, 269–270.
- Krimsky, S., 2017: *The unsteady state and inertia of chemical regulation under the US Toxic Substances Control Act*. *PLoS Biology*, 15 (12): e2002404.
- Mathieu Joseph Bonaventure Orfila (1787–1853). *Visible Proofs – Forensic Views of the body* (internet), 2014. Dosegljivo na: <https://www.nlm.nih.gov/visibleproofs/galleries/biographies/orfila.html>. (Citirano 12. 8. 2021.)
- Milčinski, L., 1978: *Droge in čarovništvo*. *Proteus*, 41 (2): 88–92.
- Perbahič, L., 2012: *Ocena tveganja dejavnikov iz okolja na Inštitutu za varovanje zdravja*. *Isis*, 21 (1): 25–28.
- Perbahič, L., 2013: *Vsebnost dioksinov v materinem mleku*. Ljubljana: ARSO.
- Perbahič, L., 2018: *Kemični motilci endokrinega sistema*. *Isis*, 27 (5): 35–41.
- Perbahič, L., in sod., 2018: *Risk assessment for children health from environmental exposure to inorganic arsenic*. *European Journal of Public Health*, 28 (Suppl. 4): 109.
- Perbahič, L., 2022: *Curriculum vitae*. Osebni arhiv.
- Perbahič, L., 2023: *O toksikologiji* [internet]. Slovensko toksikološko društvo. Dosegljivo na: <https://www.tox.si/sl/o-toksikologiji/>. (1. 2. 2023.)
- Pintar, I., 1954: *Johannes Antonius Scopoli in njegovo prizadevanje za obrtno higieno*. *Arhiv za higijeno rada i toksikologiju*, 5 (3–4): 309–320. Glej tudi: Petkovšek, V., 1977: *J. A. Scopoli, njegovo življenje in delo v slovenskem prostoru*. Razprave, XX (2). Ljubljana: SAZU.
- Pollak, P., Perbahič, L., ur., 2017: *Navodila za izdelavo ocene tveganja za zdravje ljudi zaradi izpostavljenosti kemijskim in mikrobiološkim dejavnikom iz okolja z izbranimi poglavji in praktičnimi primeri*. I. del. Ljubljana: NIJZ.
- Scientific Opinion on Tropane alkaloids in food and feed. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2013. *EFSA Journal*, 11 (10): 3386.
- Timbrell, J., 2008: *Paradoks strupa: kemikalije kot prijatelji in sovražniki*. Ljubljana: IVZ RS.
- Timbrell, J., 2008: *Strupi – stara večina nova znanost*. V: Timbrell, J., ur.,: *Kemikalije kot prijatelji in sovražniki*. Ljubljana: IVZ RS, 1–10.
- Timbrell, J., 2008: *Zdravila in mamila – varnih zdravil ni, so samo varni načini uporabe*. V: Timbrell, J., ur.,: *Paradoks strupa: kemikalije kot prijatelji in sovražniki*. Ljubljana: IVZ RS, 49–90.
- Zupanič Slavec, Z., 2005: *Razvoj javnega zdravstva na Slovenskem med prvo in drugo svetovno vojno in njegov utemeljitelj dr. Ivo Pirc (1981–1967)*. Ljubljana: Inštitut za varovanje zdravja RS.
- Zupanič Slavec, Z., 2013: *Strupi in toksini skozi čas*. *Gea*, 23: 24–35.
- Zupanič Slavec, Z., Slavec, K., 2008: *J. A. Scopoli – zdravnik idrijskih rudarjev*. *Idrijski razgledi*, 53 (1/2): 31–34.

Goli polži in njihov pomen v morskih ekosistemih

Tomaž Granda

V družbi so mnogi morski karizmatični taksoni (najpogostejše sesalci in ribe) razmeroma dobro raziskani. Spremljajo njihove populacije (monitoring) ter preučujejo njihov ekološki pomen in evolucijski razvoj. Ti taksoni so po navadi veliki, človeku lepi ali koristni in so naše prednike zgodovinsko in kulturno zaznamovali. V današnji družbi pa pozabljamo na manj raziskane organizme, ki so prav tako zelo zanimivi, ekološko zelo pomembni, nekateri pa tudi lepi za človeško oko. Opisujem zaškrGARJE, ki so v nam najbližjem (Jadranskem) morju stalno živeča skupina živali.

Kako so videti goli polži oziroma kateri polži so oblečeni?

Najverjetneje se ob besedni zvezi »goli polž« kakšen nepoznavalec narave zdrzne in začne spraševati, kje je videl kakšnega oblečenega. Čeprav je ime iz antropocentričnega »slovarja« morda za koga zavajajoče, je poimenovanje te skupine popolnoma na mestu. Znanstveno ime skupine Nudibranchia izvira iz latinske besede *nudus*, gol, in grške besede *brankhia*, škrge. Poslovenjeno to skupino imenujemo gološkr-

garji. Skupina zaškrGARJEV, na katero se nanaša prispevek, pa nimajo izpostavljenih samo dihalnih struktur, temveč kar celotno telo. ZaškrGARJI so namreč v svoji evoluciji popolnoma ali v veliki meri izgubili enodelno lupino. Ta jim je nudila zaščito pred plenilci, kopenskimi pa tudi preživetje v obdobju estivacije. Izguba lupine pri skupini polžev se je v zgodovini zgodila večkrat. Pri kopenskih polžih denimo se izguba hišice povezuje z nizkimi koncentracijami kalcija, ki je eden izmed njenih glavnih

Barvita flabelina (*Flabellina affinis*) je pogosta vrsta v jadranskem infralitoralnu. Foto: Iztok Klemenc.



gradnikov. Evolucija pri morskih golih polžih v smeri izgube lupine je po nekaterih virih posledica mutacij, s katerimi so organizmi privarčevali veliko energije. Prav tako je izguba lupine omogočala naselitev novih življenjskih prostorov ter simbiotske (fotoavtotrofne) stike z ostalimi organizmi (Wägele, Klussmann-Kolb, 2005). Po izgubi lupine, morda pa že v samem procesu izgubljanja, so se začeli razvijati drugi obrambni mehanizmi. Evolucijsko gledano je razvoj šel v tri različne smeri. Prva smer je kamuflaža: polži so se začeli zlivati z okolico/morskim dnom in se na tak način izognili plenjenju. Pri drugi smeri razvoja so osebkovi z mutacijami pridobili sposobnost sinteze ali kopičenja dražecih/strupenih snovi, ki jih ob morebitnem napadu plenilcev lahko izločijo v okolje. Hkrati okolje daje prednost golim polžem najrazličnejših barv in vzorcev, s katerimi morebitne oportunistične plenilce opozarjajo na svoje strupene izločke. Na tem mestu naj omenim relativnost strupenih snovi, saj je beseda močno antropocentrično zaznamovana. Snovi, ki so za človeka strupene, so lahko za nekatere organizme, ki so se na te snovi prilagodili, ključnega pomena v njihovem razvoju. Tretjo smer razvoja pa predstavljajo takšne vrste, ki so razvile podobne barvne vzorce kot strupeni goli polži, le da so te popolnoma nestrupene. S podobnim videzom kot strupeni tako oportunistično preslepijo svoje morebitne plenilce (Winters in sod., 2018).

Življenjski prostor

ZaškrGARJI, na katere se prispevek nanaša, so večinoma bentoški. To skupino živali lahko najdemo v vseh svetovnih morjih, od skrajno severnih in južnih hladnih do toplih subtropskih in tropskih morjih ter celo v brakičnih vodah. Takšno razširjenost imenujemo kozmopolitska in je značilna za taksonomske skupine, ki imajo široko tolerančno območje – skupine ga prenesajo brez (večjih) negativnih posledic. Posledica take razširjenosti je veliko število vrst. Zadnja monografija navaja, da je samo v Slovenskem delu Jadranskega morja sto

enainštirideset vrst zaškrGARJEV (Lipej, Trkov, Mavrič, 2018), vendar je od njenega izida bilo najdenih več za Slovenijo novih vrst. Zaradi svoje barvitosti in vrstne raznolikosti jih z malo truda lahko opazi tudi manj izkušeni potapljač. Lahko jih opazimo med prehranjevanjem z algami ali ostalimi morskimi rastlinami in sesilnimi živalmi (nekateri so tudi plenilci) (Sanvicente-Añorve, in sod., 2012). Težje jih je opaziti v mirovanju, takrat se zelo dobro zlijejo s svojo okolico, nekateri pa se zakopljejo v pesek. Na tak način opazimo samo tipalke, ki »štrlijo« iz peska. Bentoški zaškrGARJI lahko tudi plavajo, vendar razmeroma počasi in redko, saj so takrat ranljivi in izpostavljeni plenilcem. V kolikor jih napade plenilec, največkrat ribe, je najzanimivejša obramba izpust dražecga izločka, ki plenilca zmede in odvrne od napada. Nekatere vrste imajo v izločkih tudi snovi, s katerimi preslepijo plenilce. Izločeni oblak snovi ribe preusmeri, saj jih spominja na hrano – jih torej zamoti. V tem času se plavajoči polž lahko oddalji ali skrije (Johnson, Willows, 2009). V Jadranskem morju največkrat opazimo plavajočega velikega morskega zajčka (*Aplysia fasciata*), včasih tudi s kopnega, saj velja za vrsto, ki pri nas doseže največjo velikost.

Vloga v morskem ekosistemu

Kot vsi organizmi ima tudi skupina zaškrGARJEV svojevrsten vpliv na ekosistem. S strganjem alg in rastlin ter plenjenjem ostalih nevretenčarjev prispevajo k hitrejšemu kroženju snovi med trofičnimi ravni. Prav tako preprečujejo pretirano razrast omenjenih organizmov – opravljajo biološki nadzor, kar se lahko kaže v biotsko pestrejši združbi. S plenjenjem drugih organizmov goli polži prispevajo tudi k njihovi evoluciji. Zaradi nenehnega prilagajanja in motnje statičnih bentoških organizmov prihaja do nenehne evolucije in koevolucije plena in plenilca (golih polžev). Posledici sta večja genska pestrosti in večja stabilnost populacij ob ekoloških spremembah, kar lahko dolgoročno vodi v speciacijo (nastajanje novih vrst). Kot je bilo opisano v eni izmed prejšnjih števil revije

je *Proteus* (2009; 72, 1: 19-22), lahko nekatere vrste golih polžev vase sprejmejo fotoavtotrofe (organizme, ki fotosintezo opravljajo s pomočjo svetlobne energije) v procesu endosimbioze. To je zgolj primer, iz katerega poskusimo izluščiti bistvo: najrazličnejše prezrte skupine organizmov so v evoluciji zmožne razviti nove prehranske strategije, metabolne poti in ostale biološke procese. Posledično takšne spremembe vplivajo na združbo, posredno tudi na posamezne osebkke, vse od primarnih proizvajalcev do velikih karizmatičnih organizmov.

Tujerodne vrste v Sredozemlju

Kot pri ostalih skupinah organizmov se tudi pri zaškrgrarjih pojavlja problematika tujerodnih vrst. Tujerodne vrste so organizmi, ki se selijo na neko območje same ali s pomočjo človeka (neposredno ali posredno). Pri neposrednem prenosu se zaškrgrarji najpogosteje prenašajo z velikimi tovornimi ladjami (balastne vode). V Jadransko in Sredozemsko morje prihajajo predvsem iz smeri Rdečega morja, kjer po obnovljenem Sueškem prekopu dnevno prečka to ožino tudi do sedemindeset ladij. Zaradi podnebnih sprememb v zadnjih letih (kar ima za posledico segrevanje Sredozemlja in tudi Jadrana, predvsem severnega Jadrana) nove vrste iz toplejših morij pogosteje preživijo tudi pri nas. Vrste, ki imajo široko tolerančno območje, imajo večje možnosti, da se na novo okolje prilagodijo ter se uspešno razmnožujejo. Slej kot prej se pojavi tekmovanje z avtohtonimi vrstami, s katerimi imajo prekrivajoče ekološke niše. Pri tem lahko nove vrste odvezemajo življenjski prostor, vire hrane ali pa zgolj s svojim obstojem spremenijo okolje do te mere, da se populacijska dinamika avtohtonih organizmov spremeni. Vnos tujerodnih vrst z možno invazivnostjo, ki lahko ima vpliv tudi na višje trofične ravni, je za varstvene biologe in ekologe načeloma nezaželen, saj vnaša v izoblikovane združbe precej negotovosti in nevarnosti za avtohtone organizme (Molnar in sod., 2008). Problem pa niso le tujerodni zaškrgrarji, marveč tudi druge tujerodne vrste, denimo ribe, ki so njihovi plenil-

ci. Tujerodne plenilske vrste lahko zdesetkajo ali popolnoma iztrebijo avtohtone organizme ter močno vplivajo na združbe, izoblikovane v severnem Jadranu. Vzrok, zakaj so tujerodni plenilci uspešnejši v plenjenju avtohtonih organizmov, je predvsem v odsotnosti koevolucije med vrstami (Occhipinti-Ambrogi, Galil, 2010). Tako ostajajo nekatere interakcije med taksoni neznane, še posebej, kadar sta v stiku taksona, ki se evolucijsko nista sorazvijala. Koevolucija med organizmi poganja razvoj vrst, saj se v njej med seboj prilagajajo.

Kako človek vpliva na pojavljanje golih polžev in ostalih morskih organizmov?

Človek s svojim delovanjem močno spreminja morske ekosisteme, na žalost pa je najbolj na udaru jedrna sestavina morskega ekosistema, to je voda - voda, ki jo razumemo kot topilo za snovi, ki jih človek namerno ali nenamerno vnaša v svoje okolje. V morje se namreč izteka rezultanta, vsota, vseh človekovih dejavnosti: izpiranja urbanih, kmetijskih, industrijskih in drugih snovi v reke in kasneje v morja ter izrabe in regulacije rek za številne človeške potrebe, pri tem pa se bistveno spremeni oblika raztopljenih snovi. V Jadranskem morju na primer živo srebro, ki se v anoksičnih razmerah (razmerah, kjer ni kisika ali pa ga hudo primanjkuje) ali na soški akumulaciji pretvori v metilirano živo srebro. Takšno prehaja tudi v Jadransko morje, kjer ga organizmi nižjih trofičnih ravni absorbirajo, nato pa s prehranjevalnimi spleti prehaja v višje trofične stopnje (Faganeli in sod., 2002). Metilirano živo srebro je za razliko od elementarnega izjemno strupeno (nevrotoksin) za človeka, pa tudi za ostale živali, ki v življenju kopičijo metilirano živo srebro v svojem organizmu (Ke in sod., 2023). Prav tako tudi zračna onesnaženost vpliva na morje in prispeva k vedno večjemu celokupnemu deležu obremenjujočih snovi v njem (Ito in sod., 2023). Ta ista voda pa je tudi življenjsko okolje, v tem primeru golih polžev, ki so se na lastnosti vode in snovi, raztopljenih v vodi, prilagajali dolgo časa. Zelo hitro spreminjanje lastnosti morske vode je zato problematično.

Nekatere vrste se na takšne hipne spremembe lahko prilagodijo, velika večina pa ima s tem težave. Sprva se spremembe okolja kažejo v zmanjšanem fitnesu osebkov, kar vodi v zmanjševanje populacij, genetskem zdrsu (driftu) in spirali izumiranja. Na tak način ne izumirajo zgolj zaškrgerji, marveč tudi ostale skupine živali, kar lahko ima izjemno velik vpliv na celotni ekosistem.

Slovarček:

Bentos. Živalske in rastlinske združbe, ki živijo na dnu morskih ali celinskih voda.

Endosimbioza. Vrsta sožitja, v katerem en organizem prebiva v telesu ali celici drugega organizma.

Estivacija. Poletno mirovanje zaradi možnosti dehidracije ali pregretja.

Fitnes. Fitnes pomeni relativno konkurenčno sposobnost določenega genotipa, ki jo določa celota prilagoditev na ravni morfoloških, fizioloških, razmnoževalnih in fitogeografskih znakov, kaže pa se v povprečnem številu preživelih potomcev tega genotipa glede na druge.

Genetski zdrs (drift). Naključna sprememba frekvence alelov v neki populaciji skozi generacije. Pojavlja se pri vseh populacijah, vendar ima največji vpliv na majhne populacije.

Infralitoral. Prvi pas v morju, ki ni neposredno izpostavljen vplivom kopnega.

Koevolucija. Sprememba genetske sestave enega organizma ali organske vrste, ki nastane kot odgovor na spremembo genetske sestave drugega organizma ali organske vrste.

Kozmopolitska razširjenost. Globalna/splošna razširjenost nekega taksona.

Združba. Skupnost organizmov, ki živijo na določenem območju v enakih okoljskih razmerah.

Literatura:

Cortesi, F., Cheney, K. L., 2010: *Conspicuousness is correlated with toxicity in marine opisthobranchs*. *Journal of Evolutionary Biology*, 23 (7). <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02018.x>.



Tomaž Granda je študent magistrskega študija ekologije in biodiverzitete na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Prihaja iz Maribora, kjer je začel s svojim izobraževanjem. Kot dijak je obiskoval Prvo gimnazijo Maribor, vzporedno pa tudi Konservatorij za glasbo in balet Maribor. V času šolanja je ugotovil, da ga narava in biologija zelo zanimata. Zato je univerzitetno pot nadaljeval na Fakulteti za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru, kjer je po treh letih tudi uspešno diplomiral. V želji po novih znanjih in izkušnjah se je vpisal na Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani. Zanimajo ga vodni (morski in sladkovodni) ekosistemi, združbe v njih in upravljanje z njimi. Foto: Filip Lab, Bobinj leta 2023.

Faganeli, J., Horvat, M., Covelli, S., Fajon, V., Logar, M., Lipej, L., Cermelj, B., 2003: *Mercury and methylmercury in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea)*. *Science of the Total Environment*, 304 (1–3). [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00578-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00578-8).

Galil, B. S., 2008: *Alien species in the Mediterranean Sea – Which, when, where, why?* *Hydrobiologia*, 606 (1). <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9342-z>.

Ito, A., Miyazaki, Y., Taketani, F., Iwamoto, Y., Kanaya, Y., 2023: *Marine aerosol feedback on biogeochemical cycles and the climate in the Anthropocene: lessons learned from the Pacific Ocean*. In *Environmental Science: Atmospheres*. <https://doi.org/10.1039/d2ea00156j>.

Johnson, P. M., Willows, A. O. D., 1999: *Defense in sea hares (Gastropoda, Opisthobranchia, Anaspeidae): Multiple layers of protection from egg to adult*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 32 (2–3). <https://doi.org/10.1080/10236249909379045>.

Lipej, L., Trkov, D., Mavrič, B., 2018: *Polži zaškrgerji slovenskega morja*. Piran: Nacionalni inštitut za biologijo.

Ke, T., Tinkov, A. A., Skalny, A. V., Santamaria, A., Rocha, J. B. T., Bowman, A. B., Chen, W., Aschner, M., 2023: *Epigenetics and Methylmercury-Induced Neurotoxicity, Evidence from Experimental Studies*. *Toxics*, 11 (1). <https://doi.org/10.3390/toxics11010072>.

Occhipinti-Ambrogi, A., Galil, B., 2010: *Marine alien species as an aspect of global change. Advances in Oceanography and Limnology*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/19475721003743876>.

Sanvicente-Añorve, L., Hermoso-Salazar, M., Ortigosa, J., Solís-Weiss, V., Lemus-Santana, E., 2012: *Opisthobranch assemblages from a coral reef system: The role of habitat type and food availability*. *Bulletin of Marine Science*, 88 (4). <https://doi.org/10.5343/bms.2011.1117>.

Wägele, H., Klussmann-Kolb, A., 2005: *Opisthobranchia (Mollusca, Gastropoda) – More than just slimy slugs. Shell reduction and its implications on defence and foraging*. *Frontiers in Zoology*, 2. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-2-3>.

Winters, A. E., Wilson, N. G., van den Berg, C. P., How, M. J., Endler, J. A., Marshall, N. J., White, A. M., Garson, M. J., Cheney, K. L., 2018: *Toxicity and taste: Unequal chemical defences in a mimicry ring*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285 (1880). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0457>.

Dlakavi nosorog (*Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach, 1799)), težko pričakovano paleontološko presenečenje končno v Sloveniji

Matija Križnar



Ko je slovenski paleontolog Ivan Rakovec v *Proteusu* pisal o izumrlih in še danes živečih nosorogih, ni slutil, da bomo potrebovali več kot petinsedemdeset let in da bo bomo šele leta 2023 v rokah držali prvi ostanek dlakavega nosoroga (*Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach, 1799)) na Slovenskem. Zato je tudi primerno, da novi ostanek na kratko predstavimo širši naravoslovni javnosti prav v tej reviji, saj je odkritje paleontološko izjemno pomembno, hkrati pa ga spremlja tudi presunljiva zgodba.

Dlakavi nosorog, ledenodobni posebnec

Dlakavi nosorog (*Coelodonta antiquitatis*) je bil značilni predstavnik mrzloljubih (kri-

ofilnih) velikih in rastlinojedih sesalcev Evrazije. Skupaj z mamutom (*Mammuthus primigenius*) je oblikoval tako imenovano združbo (favniistični kompleks) *Mammuthus-Coelodonta*, ki združuje mnoge izumrle in še živeče sesalce, prilagojene izjemno mrzlim okoljem. V združbo poleg omenjenega dlakavega nosoroga in mamuta sodijo še severni jelen (*Rangifer tarandus*), moškatno govedo (*Ovibos moschatus*), zveri, kot sta polarna lisica (*Alopex lagopus*) in neustrašni rosomah (*Gulo gulo*), ter nekateri drugi.

Če je bilo še pred pol stoletja o dlakavem nosorogu znanega zelo malo, pa so mnoge fosilne najdbe in sodobne raziskovalne metode danes razkrile evolucijsko pot teh zadnjih ledenodobnih sesalcev. Prednike dlakavega nosoroga so odkrili v srednjem pliocenu, v približno 3,7 milijona let starih plasteh. Vrsta *Coelodonta thibetana* je živela na območju današnjega Tibetanskega višavja, kjer je očitno poseljevala visokogorske stepe in bila odlično prilagojena hladnemu podnebj. Pliocenski tibetanski dlakavi nosorog se je ob koncu pliocena oblikoval v novo in geološko mlajšo vrsto *Coelodonta nihowanensis*, ki je poseljevala že nižje ležeče predele vzhodne Kitajske. Zgodnjepleistocenska vrsta *Coelodonta tologojensis* se je že razširila v osrednjo in vzhodno Evropo. V evoluciji se je pri rodu *Coelodonta* podaljševala lobanja, čeljusti in zobje pa so se prilagodili mletju in trganju trave. V obdobju srednjega



Okostje dlakavega nosoroga (Coelodonta antiquitatis) iz Češkega naravoslovnega muzeja v Pragi. Živali so lahko presegle ramensko višino do dveh metrov, čeprav je vrsta sodila med manjše pleistocenske nosoroge.

Foto: Matija Križnar.

in predvsem poznega pleistocena je bil dlakavi nosorog razširjen po večjem delu Evrope in severne Azije. Mnogoštevilne najdbe kažejo, da je poseljeval območje od severovzhodne Španije in Britanskega otočja vse do polotoka Kamčatka. Zanimivo je tudi, da njegovih ostankov niso našli v Skandinaviji, enako izjemno redki pa so njegovi fosilni ostanki v južnih predelih Evrope. Danes najbližji sorodnik rodu dlakavih nosorogov *Coelodonta* je ogroženi sumatrski nosorog (*Dicerorhinus sumatrensis*).

Analiza stabilnih ogljikovih izotopov, pridobljenih iz nosorogovih zob, kaže, da je bil dlakavi nosorog izrazito travojedi sesalec, ki je poseljeval bolj odprte planjave, kot so stepe (Pushkina s sod., 2014). Njegovo okolje se je torej le redkokdaj prekrivalo z okoljem istočasno živečega gozdnega (*Stephanorhinus kirchbergensis*) in stepskega nosoroga (*Stephanorhinus hemitoechus*), ki pa sta bila prilagojena toplemu podnebjju, torej medledenim dobam. O izumrtju dlakavega nosoroga še vedno ni enotnega mnenja. Novejše kronološke raziskave kažejo, da je bil dlakavi nosorog po Evraziji razširjen še pred

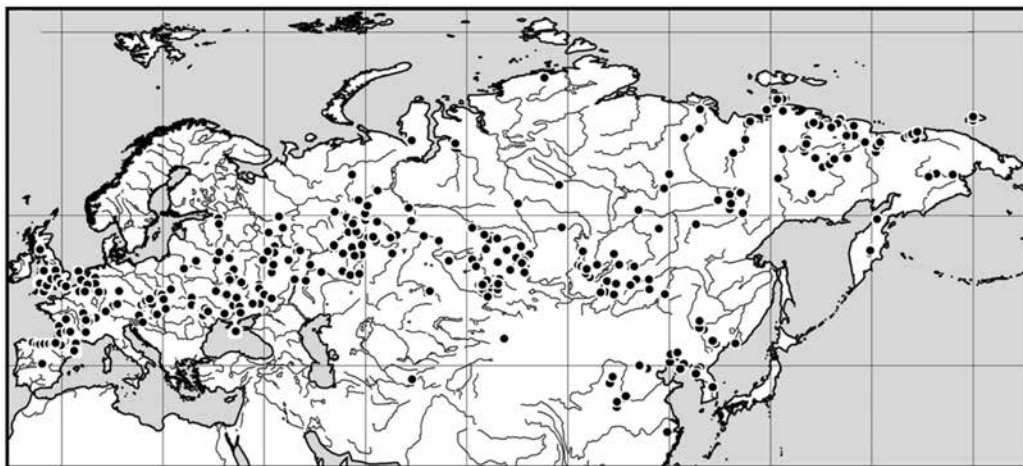
približno 40.000 leti, potem pa je njegova prisotnost počasi upadala in populacije so se premaknile proti skrajnemu severovzhodu Azije. Zadnji predstavniki vrste pa so živeli še pred približno 14.000 leti na ozemlju vzhodne Sibirije (Stuart, Lister, 2012; Puzachenko s sod., 2021).

Zob iz gramozne jame pri Strnišču

Prav dlakavi nosorog je bil še eden izmed zadnjih predstavnikov pleistocenskega živalstva, ki je manjkal na seznamu ledenodobnih in izumrlih velikih sesalcev v Sloveniji. Letošnje poletje smo ob obisku najditelja dobili težko pričakovano potrditev prisotnosti dlakavega nosoroga tudi na našem ozemlju.

Presenetljivo je bil nosorogov zob odkrit že leta 1949, je pa kot spomin in opomin ostal pri najditelju. Po pripovedovanju odkritelja, danes starega že častitljivih štiriindevetdeset let, je ostanek našel med kazenskim delom v delovnem taborišču pri Strnišču blizu Ptuja, kamor je bil poslan star vsega osemnajst let. Zob je odkopal v gramozni jami, ki se je nahajala na območju taborišča oziroma da-

Razširjenost dlakavega nosoroga v poznem pleistocenu. Njegovo okolje se je razprostiralo od Iberskega polotoka do skrajnega vzhoda Sibirije. Nenavadna je njegova odsotnost v severnih predelih Sibirije, na Skandinavskem polotoku in v južni Evropi. Privrejeno po Markovi s sodelavci, 2013.





Prvi ostanek dlakavega nosoroga (Coelodonta antiquitatis) iz Slovenije je zob, ki je bil odkrit že leta 1949 v gramozni jami blizu današnjega Kidričevega na Dravskem polju. Krona četrtega premolarja iz zgornje čeljustnice meri približno 42 milimetrov x 47 milimetrov x 48 milimetrov (zob je fotografiran z različnih strani). Primerek brani Prirodoslovni muzej Slovenije (podarjen je bil poleti leta 2023). Foto: Matija Križnar.

našnjih tovarniških kompleksov pri Kidričevem. Po pripovedovanju je ostanek ležal približno štiri metre globoko v gramozu, ki ga je v poznem pleistocenu nanesele reka Drava. Že ob prvem ogledu smo sumili, da gre za zob nekega večjega rastlinojedca, seveda pa je šele temeljita preiskava pokazala, da je gospod izkopal zob dlakavega nosoroga.

Zob je dobro ohranjen in smo ga pripisali četrtemu premolarju, ki je šele izraščal iz zgornje čeljustnice. Od zoba se je ohranila krona, ki je zelo malo obrabljena. Da zob pripada dlakavemu nosorogu, kažeta tudi oblika zobnih grebenov in predvsem brazdasta površina zobne sklenine. Drugi izraziti znak pripadnosti pa je zaprta medifoseta, ki jo sestavljajo manjši zobni grebeni (Garutt, 1994; Dong s sod., 2021). Glede na obliko in obrablenost zoba bi lahko osebk pripisali starost približno osmih let, torej je bil osebek razmeroma mlad dlakavi nosorog. O starosti primerka trenutno lahko zgolj ugibamo, čeprav najdišče leži na eni izmed poznopleistocenskih teras (predvidoma iz obdobja würma), enako pa tudi zob ne kaže daljšega transporta, čeprav je nekoliko zglažen. V prid starosti kažejo tudi nekatere redke in slabo raziskane najdbe okel in kosti mamutov, ki so jih našli blizu gradu Borl ob Dravi in v gradbeni jami pri Zlatoličju (Križnar, 2014).

Opisani zob dlakavega nosoroga iz okolice današnjega Kidričevega sodi med najnovejše potrditve, da so ti veliki rastlinojedci ledenodobni sesalci živeli tudi pri nas. Njihovi ostanki so na ozemlju južne Evrope še vedno redki ali celo popolnoma neznani, zato je ta najdba v paleontološkem pogledu pomembna tudi za širši prostor.

Literatura:

- Dong, W., Bai, W.-P., Zhang, L.-M., 2021: *The first description of Rhinocerotidae (Perissodactyla, Mammalia) from Xinyaozi Ravine in Shanxi, North China. Vertebrata Palasiatica*, 59 (4): 273-294.
- Garutt, N. V., 1994: *Dental ontogeny of the woolly rhinoceros Coelodonta antiquitatis (Blumenbach, 1799). Cranium*, 11 (1): 37-48.
- Križnar, M., 2015: *Najdbe pleistocenskih mamutov ob bregovih Drave. Konkrecija*, 4: 17-19.
- Markova, A. K., Puzachenko, A. Y., Kolfschoten, T., van, Plich, J., van der, Ponomarev, D. V., 2013: *New data on changes in the European distribution of the mammoth and the woolly rhinoceros during the second half of the Late Pleistocene and the early Holocene. Quaternary International*, 292: 4-14.
- Pushkina, D., Bocherens, H., Ziegler, R., 2014: *Unexpected palaeoecological features of the Middle and Late Pleistocene large herbivores in southwestern Germany revealed by stable isotopic abundances in tooth enamel. Quaternary International*, 339-340: 164-178.
- Puzachenko, A. Y., Levchenko, V. A., Bertuch, F., Zazovskaya, E. P., Kirillova, I. V., 2021: *Late Pleistocene chronology and environment of woolly rhinoceros (Coelodonta antiquitatis (Blumenbach, 1799)) in Beringia. Quaternary Science Reviews*, 263, št. članka 106994.
- Rakovec, I., 1947: *O izumrlih in še živečih nosorogih. Proteus*, 9 (9/10): 238-246.
- Stuart, A. J., Lister, A. M., 2012: *Extinction chronology of the woolly rhinoceros Coelodonta antiquitatis in the context of late Quaternary megafaunal extinctions in northern Eurasia. Quaternary Science Reviews*, 51: 1-17.

Škratni vesoljčki

Mirko Kokole

Vprašanje, ali obstaja življenje tudi drugod v vesolju, buri domišljijo tako nestrokovnjakov kot znanstvenikov že tisočletja. Če vprašate danes katerega koli znanstvenika, ali misli, da v vesolju obstaja še kje življenje, vam bo zelo verjetno odgovoril pritrdilno. To seveda izvira iz našega poznavanja, kako izjemno veliko je vesolje in da je verjetnost, da je nastalo življenje samo naši Zemlji, izjemno majhna. Še malo več kot pred enim stoletjem so se z vprašanjem nastanka življenja v vesolju ukvarjali predvsem filozofi in teologi, danes pa je astrobiologija dobro razvita interdisciplinarna znanstvena veda, s katero se ukvarja veliko astronomov, biologov ter drugih znanstvenikov.

Do danes so astronomi odkrili več kot pet tisoč planetov zunaj našega Osončja, od teh jih je približno trideset takšnih, ki se nahajajo v bivalnem območju, kar pomeni, da bi lahko na njih obstajala tekoča voda, ki je eden od ključnih pogojev za obstoj življenja. To pomeni, da imamo sedaj kar nekaj planetov, na katerih bi lahko iskali znake življenja. Tu pa postanejo stvari bolj zapletene, saj moramo preučiti, kaj pravzaprav so znaki življenja na planetu zunaj našega Osončja. Ker do nobenega od teh planetov ne moremo poslati sonde, ki bi nam pokazala, kaj je tam, smo omejeni zgolj na opazovanje svetlobe zvezde, ki se odbija od planetovega površja. Že samo zaznavanje te svetlobe je izjemno zahtevno in bo verjetno bolj zanesljivo šele, ko bosta začela delovati ELT (*Extremely Large Telescope*, Ekstremno veliki teleskop), ki je trenutno v izgradnji, in bodoči vesoljski teleskop HWO (*Habitable Worlds Observatory*, Observatorij bivalnih svetov).

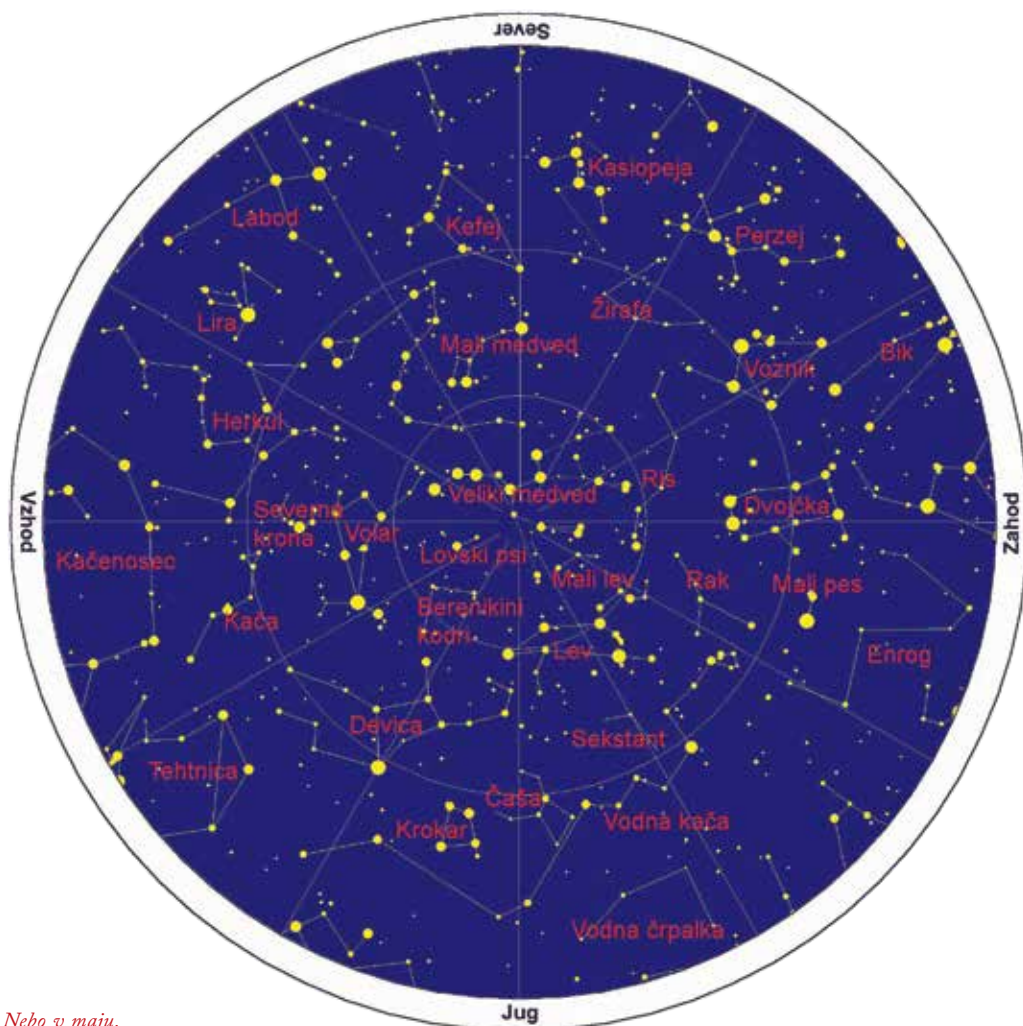
Ko enkrat lahko zanesljivo zaznamo svetlobo, odbito s planetovega površja, se moramo vprašati, katere značilnosti te svetlobe kažejo obstoj življenja. S tem vprašanjem se astrobiologi ukvarjajo že kar nekaj časa. Trenutno se strinjajo, da je najbolj zanesljivi kazalec za obstoj življenja, ki ga lahko vidimo v spektru svetlobe, tako imenovani VRE (*Vegetation red edge*, Vegetacijski rdeči rob). Vegetacijski rdeči rob je izraziti preskok v

absorpciji svetlobe med valovnimi dolžinami, manjšimi od 700 nanometrov, in valovnimi dolžinami, večjimi od 700 nanometrov. Vegetacijski rdeči rob je posledica absorpcije svetlobe v molekulah klorofila, večina svetlobe z valovnimi dolžinami, manjšimi od 700 nanometrov, se absorbira, večina svetlobe z valovnimi dolžinami, večjimi od 700 nanometrov, pa odbija. Zakaj se je na Zemlji razvilo življenje s prav takimi molekulami klorofila, danes še ni povsem jasno, je pa zelo verjetno povezano z dejstvom, da naše Sonce izseva največ svetlobe ravno v tem spektralnem delu svetlobe.

Zvezde, kot je naše Sonce, ki je videti oranžne barve, pa v vesolju niso najbolj pogoste. Zato so znanstveniki začeli razmišljati, da bi bilo morda treba naše iskanje usmeriti v najbolj pogoste zvezde v vesolju, ki so manjše in bolj rdeče barve ter sevajo večino svetlobe v rdečem in infrardečem spektru. To pomeni, da je verjetno, da se je tam razvilo drugačno življenje kot na Zemlji. V iskanju tega življenja se je skupina astrobiologov z Univerze Cornell v Združenih državah Amerike odločila poiskati in preučiti organizme na Zemlji, ki so bolj prilagojeni takšnim razmeram. Izbrali so si žveplene in nežveplene škratne bakterije in iz njih izločili molekule bakterioklorofilov, ki so različne od molekul klorofilov, ki jih najdemo v rastlinah in modrozelenih bakterijah. Večina takih bakterioklorofilov je škratne in

rjavkaste barve. Molekule bakterioklorofilov so nato z veliko ločljivostjo posneli skozi visokoločljivi spektrometer in nato uporabili pridobljene spektre za izdelavo modelskih spektrov planetov. Te spektre bodo lahko astronomi uporabili za primerjavo s pravimi spektri, pridobljenimi z opazovanjem planetov. Skupina astrobiologov z Univerze Cornell je predvsem na podlagi števila rdečih zvezd v vesolju prepričana, da je veliko večja

verjetnost, da bomo našli planet, na katerem obstajajo večinoma škrlatne bakterije oziroma življenje, ki je zasnovano na njihovih bakterioklorofilih. Za svoj projekt uporabljajo kar moto »škrlatna je nova zelena«. Kakšno življenje bomo res odkrili na planetih, je seveda nemogoče napovedati, je pa katalog, ki so ga pripravili, pomemben prispevek k odkrivanju življenja v vesolju.



Nebo v maju.

Datum: 15. 5. 2024.

Čas: 21:00.

Kraj: Ljubljana.

Vklopite vedoželjnost, iskrilo se bo od znanosti

9. Teden Kemijskega inštituta



Foto: arhiv Kemijskega inštituta.

V začetku junija se bo na Kemijskem inštitutu, eni od naših najstarejših znanstvenoraziskovalnih ustanov, še posebej iskrilo od znanosti. **Med 3. in 7. junijem**, ko bo potekal Teden Kemijskega inštituta, bodo na široko odprli vrata. V želji, da čim širšemu krogu javnosti predstavijo svoje delovanje in približajo znanost, pripravljajo zanimiva predavanja, pogovore, okrogle mize, poučne delavnice za otroke in vodene ogledе laboratorijev.

V ospredju vodik in raznolikost

Teden Kemijskega inštituta bodo posvetili dvema vodilnima temama. Prva je razvoj na področju **vodikovih tehnologij** in priložnosti, ki jih pri tem išče Slovenija. Druga so **raznolikosti v znanosti**, ki je še kako pomembna za ustvarjanje spodbudnega in vključujočega akademskega okolja. Omenjeni temi bosta rdeči niti okroglih miz. Na znanstvenih predavanjih pa boste lahko prisluhnili lanski Preglovi nagrajenki **dr. Emi Žagar**, predavala bo o kemijski reciklaži polimernih odpadkov za proizvodnjo sekundarnih surovin. V sklopu predavanj Forum40 se bo predstavil **dr. Matic Pavlin**, gostili bodo tudi **doc. dr. Roka Benčina**, znanstvenega sodelavca in svetovalca za etiko in integriteto na ZRC SAZU.

Navdihujoča predavanja, pogovori, osebne zgodbe

Znanost boste lahko tudi **vonjali in okušali**, dišalo bo po sveže pečenem kruhu. Izvedeli boste, zakaj kruh tako omamno diši, ter se s prof. dr. Janezom Bogatajem sprehodili skozi dediščino kruha na Slovenskem. Spoznali boste lahko dve zanimivi osebni zgodbi. O neumornem prizadevanju za razvoj zdravila za otroke z redko gensko okvaro, sindromom CTNNB1, bo spregovorila **dr. Špela Mirošević**. Kako dobro idejo iz laboratorija udejanjiti v obliki uspešnega startupa, pa boste izvedeli v pogovoru z **dr. Matijo Gatalom**, ki je na čelu odcepljenega podjetja Kemijskega inštituta ReCatalyst.

Navdihujoč bo tudi pogovor na temo dediščinske znanosti. O tej razmeroma mladi interdisciplinarni vedi, ki je presek naravoslovnih znanosti, umetnosti, humanistike, družboslovnih ved, pa tudi ekonomije, računalništva in okoljskih ved ter prispeva k razumevanju, ohranjanju in menedžmentu dediščine, bo v podkastu v živo spregovoril **prof. dr. Matija Strlič**.

Vse dni bodo potekali tudi **dnevi odprtih vrat**, ko bodo javnosti na ogled nekateri laboratoriji z vrhunsko raziskovalno opremo. Še več podrobnosti o dogodkih 9. Tedna Kemijskega inštituta preverite na spletni strani **www.ki.si**.

Vsi vedoželjni in radovedni ste vljudno vabljeni!

9. Teden

Kemijskega inštituta

3.6 - 7.6.2024



KEMIJSKI INŠTITUT

IZPOSTAVLJAMO

DIŠEČA IN OKUSNA
ZNANOST: IMA KEMIJA
TUDI SKORJO?
4.6. ob 10.00

URBAGEN - POT DO
UPANJA ZA OTROKE S
SINDROMOM CTNNB1
4.6. ob 13.00

VZETO NA ZNANJE V ŽIVO
4.6. ob 18.00

Mestni muzej Ljubljana

JUTRANJA KAVA S STARTUPOM
LETA - RECATALYST
5.6. ob 9.00



Prof. dr. Janez Bogataj

Znanstveno o vonju
in dediščini kruha



Dr. Špela Miroševič

Soustanoviteljica in predsednica
Fundacije CTNNB1



Vzeto na znanje

Podkast v živo s prof. dr. Matijo
Strličem



Dr. Matija Gatalo

Soustanovitelj podjetja
ReCatalyst

O programu

CELOTEN PROGRAM PREVERITE NA WWW.KI.SI

Pripravljamo vrsto zanimivih dogodkov za strokovno in splošno javnost. Zvrstili se bodo pogovori, predavanja, okrogle mize, poučne delavnice za otroke, razstave in vođeni ogledi laboratorijev. Tokratni vodiłni temi bosta vodikove tehnologije in raznolikost v znanosti.

Medijski partner: **sta**



ISSN 0033-1805



9 770033 180000