

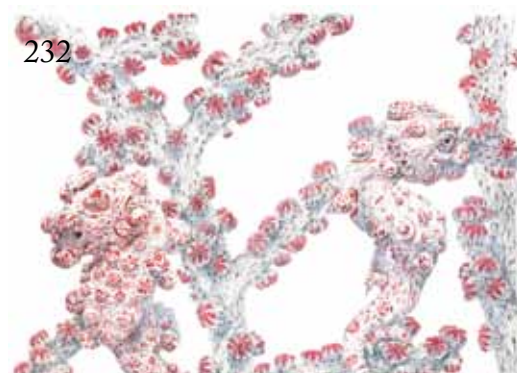
PROTEUS

*mesečnik
za poljudno
naravoslovje*



Januar 2023, 5/85. letnik
cena v redni prodaji 5,50 EUR
naročniki 4,32 EUR
upokojenci 3,55 EUR
dijaki in študenti 3,36 EUR
www.proteus.si





199 Table of Contents

201 Uvodnik
*Tomaž Sajovic*203 Nobelove nagrade za leto 2022
Izginuli predniki in razvoj človeka
Nobelova nagrada za medicino oziroma fiziologijo
(nadaljevanje in konec)
*Radovan Komel*211 Petrologija
Ploščasti apnenec, značilni element kraške kulturne krajine
*Matevž Novak*223 Ekologija
Kakšen je življenjski prostor za populacijo evrazijskega risa v severnih Dinaridih in jugovzhodnih Alpah?
*Jaka Črtalič, Žan Kuralt, Hubert Potočnik*232 Ilustracija v naravoslovju
Podoba stvarnosti - znanstvena ilustracija
*Marija Nabernik*240 Nagrajenci
Prof. dr. Radovan Komel, zaslužni profesor Univerze v Ljubljani in Zoisov nagrajenec za življenjsko delo
*Damjana Rozman*244 Naše nebo
Znanstveniki potrdili obstoj predbiotskih molekul na asteroidu Rjugu
Mirko Kokole

Contents

Editorial
*Tomaž Sajovic*Nobel Prizes 2022
Extinct ancestors and human evolution. The Nobel Prize for Physiology or Medicine (final part)
Radovan Komel

The discoveries concerning the genomes of extinct hominins provided a new insight into human evolution. It took decades of rigorous genomic research into human's closest living relatives, the primates, and our extinct relatives before the working draft of the human genome, which was published in 2001, was formally completed and confirmed last year, shedding light on our evolutionary history and the origin of our existence. In the previous issue of *Proteus* we gave a short overview of the history of the planet Earth and life on it, to give a perspective on the time involved in the human evolution, and we also dedicated a few lines also to the description of the human genome and the methods involved in the study of ancient DNA.

With his seminal research, Swedish geneticist Svante Pääbo, last year's Nobel Prize winner, gave rise to an entirely new scientific discipline, paleogenomics. Following the initial discoveries, Pääbo and his team completed analyses of several additional genome sequences from extinct hominins. Their discoveries established a unique resource, which is utilized extensively by the scientific community to better understand human evolution and migration.

Petrology
Platy Limestone, a Defining Feature of Karstic Cultural Landscape
Matevž Novak

Limestone has been used as a construction material in areas with karst terrain in the Adriatic-Dinaric region for centuries. Platy limestone in particular is one of the most recognisable elements that shape the identity of the cultural landscape along the karstic eastern coast of the Adriatic Sea and its hinterland. Forming attractive, flat slates (*škrle* or *skrlje*) it was used to cover roofs, as paving stone, to build dry walls, shepherds' huts and other structures, similarly to how slate was used in areas with a predominantly metamorphic bedrock. Since the Roman times, in places even since late prehistory, people excavated platy limestone in their courtyards and small shallow delves in the immediate vicinity of settlements. With new safety standards and other regulations governing the extraction of natural stone and nature protection and conservation, such practice is no longer possible today. Even if the owner is interested in preserving the stone cultural heritage and wishes to renew or build a traditional house, they will be faced with numerous challenges. In addition to insufficient information on how to tackle such a project and the absence of legal guidelines, the biggest problem is that platy limestone, the traditional indigenous construction material, is no longer legally available. The major obstacles are rigid legislation, where the stakeholders in spatial planning, urbanism and cultural and natural heritage protection lack the clear guidelines not only for the sustainable use of the natural stone as a building material, but also for the protection and preservation of stone as natural heritage, and in turn also for the preservation of stone structures.

Ecology

What Is the Habitat of the Eurasian Lynx in the Northern Dinarides and the Southeastern Alps Like?
Jaka Črtalič, Žan Kuralt, Hubert Potočnik

After two centuries of slow demise, the turn of the twentieth century saw the extinction of the lynx population at the contact of the Alps and the Dinarides. According to more or less reliable reports the last specimens in the territory of present-day Slovenia, Croatia and Bosnia and Herzegovina were killed or found dead in the 1910s and the 1920s. The extinction progressed towards the south of the Balkan Peninsula, where a small, isolated population of lynx, known today as the Balkan lynx, was preserved in the region between Macedonia, Albania and Kosovo. The area stretching from the southeastern outskirts of the Alps and the Dinarides remained »empty« for seventy years, until Slovenian foresters and hunters reintroduced the lynx into the forests of Kočevje in 1973 with three lynx couples from the Slovak Ore Mountains. This relocation has been extremely successful and can be seen as a pioneering example of nature conservation projects in Slovenia. After nearly fifty years of the »Dinaric« population, which has been evolving in isolation from neighbouring lynx populations in the Carpathians, Swiss Alps or in the south of the Balkan Peninsula, the lynx was again facing extinction, this time because of inbreeding. There was no time to lose – something had to be done, quickly.

Natural science illustration

The Image of Reality – Scientific Illustration
Marija Nabernik

Illustrations are our companions from very early age. Our first memory of an illustration usually involves a picture book. If we dig a little deeper, we may remember leafing through picture books with stories as well as those that were about science. Illustration can therefore be classified as fictional or realistic. The children's book series *Čebelica*, published by Mladinska knjiga, offered books from both categories. At the time when Kristina Brenkova edited the series, it frequently featured popular science topics as well. Scientific illustration was a faithful companion of the author of this article throughout her studies, but creating it herself was something she didn't tackle until much later. It began when she was a graphic design student at the Academy of Fine Arts and Design in Ljubljana. At the time, illustration was not yet an independent study course, but was a part of visual communication studies. Under the mentorship of professor Zdravko Papič (1953–2013) students took part at international art workshops *Kaverljag*, where student undertook projects dealing with ecology and nature preservation as well, and this involved also scientific illustration. Professor Papič was also the founder of the study programme illustration. His aim was to develop illustration with its widest range of genres and contexts, in line with similar studies abroad. With the introduction of the Bologna system of education illustration falls under the scope of visual communications. It is a discipline that is closely related both to fine arts and visual communication design. Its reach stretches even further in scientific illustration, where students need to be acquainted also with the relevant scientific disciplines. In science, illustration is an important visual communication tool. It can be documentary, referential or educational. It is further divided also in terms of the fields of expertise, such as natural science illustration, medical and wildlife illustration. Regrettably, in Slovenia scientific illustration is still all too often overlooked in visual communications, even though we have many out-



Naslovnica: Evrazijski ris v primerjavi z drugima dvema vrstama velikih zveri (volkom in medvedom) veliko težje premaguje ovire v prostoru, ki jih povzroča človek s širjenjem obsežnih urbanih in kmetijskih površin ter gradnjo velikih prometnic.

Foto: Matej Vranič.

Proteus

Izhaja od leta 1933

Mesečnik za poljudno naravoslovje

Izdajatelj in založnik:

Prirodoslovno društvo Slovenije

Odgovorni urednik:

prof. dr. Radovan Komel

Glavni urednik: dr. Tomaž Sajovic

Uredniški odbor:

Sebastjan Kovač

prof. dr. Milan Brumen

dr. Igor Dakskobler

asist. dr. Andrej Godec

akad. prof. dr. Matija Gogala

dr. Matevž Novak

prof. dr. Gorazd Planinšič

prof. dr. Mihael Jožef Toman

prof. dr. Zvonka Zupanič Slavec

dr. Petra Draškovič Pelc

<http://www.proteus.si>

prirodoslovno.drustvo@gmail.com

© Prirodoslovno društvo Slovenije, 2023.

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 Salamon 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 Prirodoslovno društvo Slovenije. Na leto izide 10 števk, letnik ima 480 strani. Naklada: 1.400 izvodov.

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

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

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

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

Vsi objavljeni prispevki so recenzirani.

Proteus (tiskana izdaja) ISSN 0033-1805

Proteus (spletna izdaja) ISSN 2630-4147

Table of Contents

standing authors who are more than capable of taking on the challenge. Many of them have an academic degree, the older ones mainly in fine arts, and more recent graduates already have a degree in illustration. At the chair for the development of illustration we are aware of the many roles of illustration and an illustrator's mission, and we strive to establish quality standards in the field. Educating future illustrators is the key to achieving this goal.

Award winners

Dr. Radovan Komel, Professor Emeritus at the University of Ljubljana and Recipient of Zois Lifetime Achievement Award Damjana Rozman

We are delighted to be able to share a few thoughts on the work of Professor Radovan Komel, who is well-known among *Proteus* readers both as editor and for his presentations of Nobel Prize winners (e.g. in medicine or physiology). His appearance in the media has won him recognition also among the wider public, to whom he has communicated the complex mysteries of life and its biochemical processes in a manner that was compelling to all. He has won numerous international and national prizes and commendations, includ-

ing the Outstanding Visitor for his research residence in Jena in the German Democratic Republic (1994), national award for outstanding achievements in scientific research (the predecessor of Zois Awards) (1994), the Chevalier dans l'Ordre des Palmes Académiques by the French Government for merits in Franco-Slovenian collaboration in culture and science (2004), the Lapanje Award for outstanding achievements in biochemistry and molecular biology (for research and education) (SBD, 2008), bronze medal for Best European Schoolbook Award (BESA) at Frankfurt Book Fair 2012, the Grand Miroslav Zei Award for Lifetime Achievement in the field of activity of the National Institute of Biology (2015) and Andrej Oton Župančič Award for outstanding research at the Faculty of Medicine of the University of Ljubljana 2018, and was awarded the title of Professor Emeritus of the University of Ljubljana in 2022, when he also received the Zois Lifetime Achievement Award in biochemistry and molecular biology.

Our sky

Scientists Confirmed the Existence of Prebiotic Molecules on Asteroid Ryugu

Mirko Kokole

Ob ravnanju pristojnih služb, ki so v delu gozda na Rožniku, kjer je lastnica Mestna občina Ljubljana, poskrbele za sečnjo vseh večjih dreves na območju južnega pobočja pod vodo-hramom, je prvi vtis katastrofalen. Iz parka gozdnega značaja s krasnimi visokoraslimi drevesi in lepo urejenimi sprehajalnimi potmi med njimi je ostala »oskubljen goličava« ter razsute poti. (Iz pisma Martine Lipnik.)

Dr. Nike Kranjc je v 75-letni zgodovini Gozdarskega inštituta Slovenije z letošnjim februarjem postala prva ženska na mestu direktorice. Multimedijski center Radiotelevizije Slovenije je 8. marca objavil pogovor z njo. Že na njegovem začetku je morala opredeliti svoje stališče o goseku na Rožniku, ki je povzročil prizadete odzive Ljubljančank in Ljubljančanov:

»Moje osnovno izhodišče je, da je treba z gozdom gospodariti. Toda gozd na Rožniku je umeščen v mesto, zato je to gozd meščanov, čeprav je večinoma v zasebni lasti in v lasti Mestne občine Ljubljana. Vanj dnevno zahaja na tisoče obiskovalcev, zato ima posebno vlogo. Ko se je začelo govoriti o poseku, je bilo moje prvo vprašanje, ali je gozdarska stroka naredila kakšno strokovno napako v postopku. Po pogovoru z Zavodom za gozdove lahko rečem, da strokovne napake ni bilo. Ko smo postopke pregledali, smo ugotovili, da je šlo za normalno gospodarjenje z gozdom. Res pa je, da je bil spregledan širši pomen tovrstnega gozda, pri katerem gospodarska vloga ni na prvem mestu, ampak sta v ospredju njegova socialna in rekreacijska funkcija. Po mojem mnenju je bila edina napaka, ki jo v gozdarstvu zelo velikokrat naredimo, da smo spregledali ljudi, ki so čustveno navezani na ta gozd. Spregledali smo, da v bistvu ni pomembno le, ali so bili postopki pravilno izpeljani oziroma ali smo se strokovno pravilno odločili za posek, pomembna so tudi čustva. Zelo se strinjam z eno od Ljubljančank, ki je v nekem intervjuju rekla: 'To je gozd Ljubljančanov, to je naš gozd, zato želimo vedeti, kaj se z njim dogaja.' Mislim, da smo tu spet nekako pogrnil. Mislim, da bi tisti, ki so odgovorni za ta gozd, lahko vanj morda posegli malo bolj dolgoročno. Posek na Rožniku je bil način gospodarjenja, ki sledi gozdarski doktrini. A morali bi razumeti tudi čustva ljudi, ki gozd obiskujejo, in morda ne posekati vsega naenkrat, ampak npr. v naslednjih dveh letih, z bistveno bolj intenzivno kampanjo ozaveščanja ljudi o tem, zakaj je posek potreben.«

Odgovor je pomemben, ker Nike Kranjc v njem problematizira gozdarsko stroko (oziroma védo, torej znanost). Problematicira pa ne njene strokovnosti – po pogovoru z Zavodom za gozdove je ugotovila, da strokovne napake ni bilo –, ampak njeno »slepoto« za človekov odnos do gozda –, po njenem mnenju je bila edina napaka, ki je pogosta v gozdarstvu, da smo spregledali ljudi, ki so čustveno navezani na ta gozd.

Spregledali smo, da v bistvu ni pomembno le, ali so bili postopki pravilno izpeljani oziroma ali smo se strokovno pravilno odločili za posek, pomembna so tudi čustva. V strokovnem jeziku povedano: spregledan [je bil] širši pomen tovrstnega gozda, pri katerem gospodarska vloga ni na prvem mestu, ampak sta v ospredju njegova socialna in rekreacijska funkcija. Skratka: stroka ima lahko svoj »prav«, toda ta »prav« ima v človekovem bivanju omejeno vrednost.

Na tem mestu se moramo za trenutek dotakniti jezika. Strokovna besedna zveza *socialna in rekreacijska funkcija* – intervjuvanka je z njo sicer želela poudariti človekov čustveni odnos do gozda na Rožniku, ki ga stroka »spregleduje« - kaže, da je v strokovni jezik »vpisana« instrumentalnost, »vpisan« ideološki pogled, za katerega sta svet in življenje »reducirana« na sredstvo, v tem primeru tudi človeškost sama. Natančneje povedano: gozd sam na sebi »nima« socialne in rekreacijske »funkcije«, nima nobenega takega »namena«. Ni »zato« na svetu. Gozd o tem »zato« »nič ne vé«, on biva - živi in umre. Socialno in rekreacijsko »funkcijo« gozdu pripisuje človek, človek ga tako »instrumentalizira« v svoje namene, si ga »podredi«, »preoblikuje« po svojih potrebah. Instrumentalnost je najjasnejša pri gospodarski »vlo- gi« gozda – človek ga goji zato, da izkorišča les za predelavo in prodajo. Toda Nike Kranjc ne uporablja samo strokovni, instrumentalni jezik. Pri gozdu na Rožniku »gospodarska vloga ni na prvem mestu, ampak sta v ospredju njegova socialna in rekreacijska funkcija«, ali drugače povedano, ljudje so »čustveno navezani na ta gozd«. Nike Kranjc tako rekoč v isti sapi uporablja in na neki način spontano, samodejno »izenačuje« dva jezika. Malce poenostavljeno rečeno, kot da je vseeno, ali rečemo v strokovnem jeziku, da pri gozdu na Rožniku prevladuje njegova »socialna in rekreacijska funkcija«, ali pa v običajnem, vsakdanjem jeziku, da so ljudje »čustveno navezani na ta gozd«, ali še bolj preprosto, da imajo ljudje gozd na Rožniku enostavno »radi«. Toda izbira jezika ni nič poljubnega. Jezik ni »oblačilo« misli, jezik je *misel sama* – drugače povedano: misel nastaja in obstaja le v jeziku. Zapisano ali izgovorjeno že »misli«, tudi če človek misli, da ni mislil takó, kot je zapisal ali govoril. Strokovni (znanstveni, upravni) jezik je – kot smo videli – vedno instrumentalni (Francis Bacon, 1561-1626, je leta 1592 *V hvali védenju* novoveški znanosti začrtal pot: »Premoč človeka tiči v védenju [...]. [...] [Naravi] moramo pustiti, da nas vodi pri iznajdevanju, zato da bi ji zapovedovali v praksi.«), vsaj zapisana stavka v običajnem, vsakdanjem jeziku pa to nista: izražata le človekovo sočutno bivanje z naravo na Rožniku. Začetek *Evangelija po Janezu* je v svoji mnogopomenski mitični govorici poveden: »V začetku je bila Beseda [...]. Vse je nastalo po njej

in brez nje ni nastalo nič, kar je nastalo.« Čeprav izbira obeh jezikov (strokovnega in vsakdanjega) ni nič poljubnega, pa to ne pomeni, da na neki način ne moreta sobivati. To misel je v svoji knjigi *Resnica in metoda* (v izvirniku je izšla leta 1960, v slovenskem prevodu pa leta 2001) nazorno izrazil nemški filozof Hans-Georg Gadamer (1900–2002): »Sonce tako za nas še vedno zahaja, čeprav je Kopernikova razlaga sveta postala sestavni del našega vedenja. Očitno je povsem združljivo med seboj, da se oklepamo videza, obenem pa v svetu razuma vemo za njegovo sprevrženost. In ali ni tako, da pri teh slojevitih življenjskih razmerjih kot dejavnik pomiritve in posredovanja dejansko sodeluje jezik? Naše govorjenje o sončnem zahodu gotovo ni samovoljno, temveč izreka to, kar je dejansko videti. Tako se stvar kaže nekomu, ki se ne premika. Sonce je tisto, ki nas obsije s svojimi žarki in nato zatone. Zato je sončni zahod za naš pogled resničnost. (Je ‚bivanjsko relativen‘.) Od te razvidnosti pogleda pa se lahko misleč osvobodimo s konstruiranjem nekega drugega modela, in ker to zmoremo, lahko izrečemo tudi razumski uvid Kopernikove teorije. Toda z ‚očmi‘ tega znanstvenega razuma ne moremo odpraviti ali zavriniti naravnega videza. To je nesmiselno ne le zato, ker je videz za nas pristna realnost, temveč tudi zato, ker je resnica, ki nam jo govori znanost, tudi sama relativna glede na določeno razmerje do sveta in si nikakor ne more lastiti, da je celotna resnica. Pač pa jezik dejansko vključuje celoto našega razmerja do sveta, in v tej celoti jezika najdemo svojo legitimnost tako videz kot znanost.«

Po kratki, upam, da tudi dovolj pomembni zastranitvi nadaljujem z razmišljanjem o dogodku, ki je pretresel marsikakšno obiskovalko in obiskovalca Rožnika, tudi arhitektko Martino Lipnik, predsednico Društva za urbano okolje (DUO). 11. marca letos je *Dnevnik* objavil njeno tehtno in prizadeto kritiko sečnje na Rožniku z vidika zakonodaje. Navajam jo skoraj v celoti in z njo tudi zaključujem uvodnik – v premislek bralkam in bralcem:

»[V]si pristojni [se] izgovarjajo na gozdno gospodarske načrte v skladu z zakonom o gozdovih, na podlagi katerih se lahko v gozdovih seka. Zakon o gozdovih določa, kakšne so funkcije gozdov, tudi socialne, varovanje naravnih vrednot, varovanje kulturne dediščine, ter estetska funkcija, in druge. V okviru naštetega se nekateri gozdovi določijo kot ‚gozdovi s posebnim pomenom‘, in tak primer je celoten gozdni sestoj na Rožniku.

Območje Krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib ima več plasti zaščite, ki bi morale biti vse združeno in koordinirano vgrajene v odlok o gozdu s posebnim namenom. Gre za varovanje po zakonu o ohranjanju narave, po zakonu o varovanju kultur-

ne dediščine [...], po zakonu o gozdovih (odlok o razglasitvi gozdov s posebnim namenom Rožnik in Šišenski hrib – zaradi izjemno poudarjenih socialnih funkcij gozd s posebnim namenom), po zakonu o urejanju prostora [...] in drugih.

Očitno je bil prav režim varovanja kulturne dediščine premalo izpostavljen na posvetu o upravljanju gozdov, ki so ga pripravili Zavod za gozdove Slovenije v sodelovanju z Gozdarskim inštitutom Slovenije, Biotehniško fakulteto, Mestno občino Ljubljana in Krajinskim parkom Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib, v torek, 14. marca 2023 [...]. Pojasnjeno je bilo, kako in kdaj je gozd na Rožniku in Šišenskem hribu dobil gozdnogospodarski in upravljavski načrt, kakšne smernice nosilec urejanja prostora so bile ob tem pridobljene ter da krajinska arhitektura pri vsem ni imela besede. Povedano je bilo tudi, da gre za ‚proizvodni gozd‘ in ne za ‚parkovni gozd‘, saj takega poimenovanja slovenska zakonodaja ne pozna.

Podrobnejši opis režima varovanja kulturne dediščine na območju Krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib je: varuje se Kulturna krajina Rožnika in Šišenskega hriba z med vojnima urejenimi peščenimi potmi, povezana s klasičnim delom parkovne zasnove Tivolija. Kulturna krajina obsega hribovito območje Rožnika in Šišenskega hriba, zahodno od mestnega jedra Ljubljane. V okviru zakona o varstvu kulturne dediščine se omenja možnost obravnave s ‚konservatorskim načrtom za prenovo‘ za območje kulturne krajine.

Vsekakor bi pričakovali, da se tudi upravljanje gozda s posebnim namenom na območju kulturne dediščine ob tako drastičnih posegih vanj, kot je sedanjí obsežen in radikalen posek, uskladi s postopkom varstva kulturne dediščine, kot ga omogoča zakonodaja. Obvezna izhodišča za izdelavo gozdnogospodarskih načrtov so okoljska izhodišča po predpisih, ki urejajo varstvo okolja. Glede na to določilo ne bi bila odveč uvedba postopka (celovite) presoje vplivov na okolje, iz katerega bi bilo razvidno, kakšne posledice okolju naredi tako radikalno sekanje v gozdni površini ob mestu. V primeru Krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib je gozdnogospodarski načrt očitno vključeval naravovarstvene pogoje, zelo slabo pa kulturno-varstvene pogoje, pa tudi okoljevarstvene, kot jih narekuje Občinski prostorski načrt Mestne občine Ljubljana – izvedbeni del [...] (ohranjanje narave, varstvo kulturne dediščine, okolja in naravnih dobrin, varstvo pred naravnimi in drugimi nesrečami ter obramba), glede na rezultat, ki ga gledamo danes.«

Tomaž Sajovic

Izginuli predniki in razvoj človeka Nobelova nagrada za medicino oziroma fiziologijo (nadaljevanje in konec)

Radovan Komel

Razkritje genomov izumrlih homininov je prineslo nov vpogled v človeško evolucijo. Po objavi osnutka zgradbe človeškega genoma leta 2001, ki je bila dokončno, z vsemi podrobnostmi, ugotovljena in potrjena v preteklem letu, so potekala desetletja skrbnih in natančnih genomskih raziskav nam sorodnih živečih primatov, pa tudi izumrlih prednikov, ki osvetljujejo potek zgodovine našega razvoja in obstoja. V prejšnji številki *Proteusa* smo za boljšo predstavo časovnih razsežnosti prikazali kratek pregled zgodovine planeta Zemlja in življenja na njej, nekaj vrstic pa smo posvetili tudi opisu človeškega genoma in metod za njegovo preučevanje.

Človeštvo, kot ga poznamo danes, ima kratko zgodovino v časovnem razponu življenja na Zemlji. Zanima nas naš izvor, od kod prihajamo in kako smo povezani s tistimi, ki so bili pred nami. Objavljeno zaporedje nukleotidnih gradnikov človeškega genoma je temeljni vir za razumevanje genetike človeške populacije in raziskovanje naše evolucijske preteklosti. Vendar pa odgovor na vprašanje, kako smo povezani z izumrlimi predniki, zahteva mnogo več od sklepanja iz sodobne človeške DNA. Zahteva pridobitev zelo stare DNA iz arheoloških ostankov naših prednikov in poglobljene primerjalne študije med različnimi genomi z uporabo orodij sodobne molekularne biologije in genetike.

Na sceno stopi Svante Pääbo in vzpostavi povsem novo znanstveno disciplino, paleogenomiko

Nad možnostjo uporabe sodobnih genetskih metod za preučevanje DNA iz starodavnih vzorcev naših prednikov se je že kot študent medicine na Univerzi v Uppsali v preteklih osemdesetih letih navdušil švedski raziskovalec Svante Pääbo, ko mu je uspelo osamiti celotno DNA iz vzorcev staroegipčanske mumije, jo s kloniranjem namnožiti v knjižnico fragmentov DNA in nato s pregledovanjem s pomočjo poznanih zaporedij

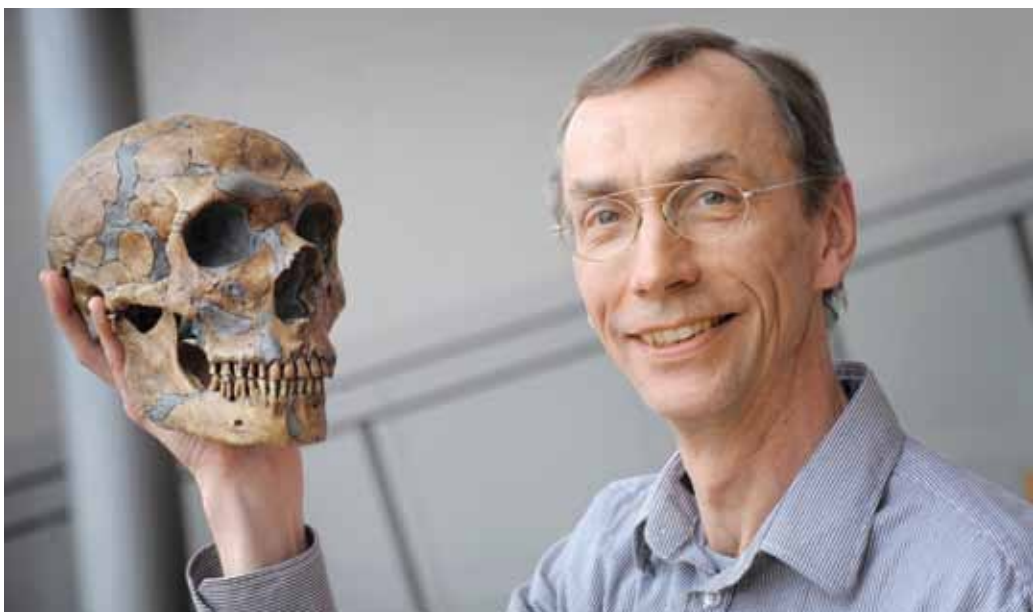
človeške DNA razkriti v mumijskem vzorcu prisotno DNA človeškega izvora. Raziskovalna pot ga je vodila od švedske Uppsale preko Univerze v Zürichu v Švici, laboratorija Allana Wilsona, pionirja na področju evolucijske biologije na kalifornijski univerzi v Berkeleyju, in Univerze v Münchnu vse do ustanovitve Inštituta Maxa Plancka za evolucijsko antropologijo leta 1997 v Leipzigu v Nemčiji. V Wilsonovem laboratoriju in v desetletjih svoje poklicne poti, ki so sledila, je Svante Pääbo neumorno razvijal protokole za pridobivanje, določanje zaporedja in analizo DNA iz arhaičnih vzorcev. On in drugi so dokazali, da so kosti iz zadnjega obdobja ledene dobe, poznega pleistocena, močno onesnažene z DNA mikrobom in sodobnih ljudi, ki ravnajo z vzorci, medtem ko je notranja, endogena DNA, če je sploh prisotna, najdena v sledovih.

Treba je bilo ustvariti metode za ugotavljanje, koliko starodavne DNA je sploh prisotne v danih vzorcih, potrebno pa je bilo tudi boljše razumevanje biokemičnih lastnosti te vrste DNA. Poškodbe DNA, opažene v starih vzorcih, vključujejo razpad DNA v majhne fragmente in kemične spremembe njenih gradnikov, nukleotidov, ki jih povzročajo oksidacijski procesi. Pääbova skupina je več desetletij iskala in tudi

našla rešitve za te izzive. Razvili so metode za ekstrakcijo (izločitev) DNA iz starodavnih vzorcev z uporabo metod čiščenja na podlagi vezave molekul DNA na delce silicijevega dioksida in dokazali, da za ugotavljanje, ali vzorci vsebujejo endogeno DNA, lahko uporabimo obseg racemizacije določenih aminokislin. V živih organizmih je prisotna L-oblika aminokislin, medtem ko D-aminokislina nastanejo posmrtno s procesom, imenovanim racemizacija. Obseg racemizacije je mogoče izmeriti z razmerjem med koncentracijama D- in L-oblik, odkritih v vzorcu fosila: to se imenuje vrednost

D/L. Vrednost D/L daje oceno časa, ki je pretekel od smrti organizma: starejši fosili bodo imeli višje vrednosti D/L. Na ta način je bilo mogoče ugotoviti, ali se vrednost D/L v biološkem vzorcu, ki poleg aminokislinskih ostankov vsebuje DNA, dejansko ujema z radiometrično ugotovljeno starostjo fosilnega ostanka, iz katerega je bil vzorec pridobljen. Čeprav je bil velik del tega dela opravljen na drugih, nečloveških vrstah, kjer je bilo onesnaženje s tujo DNA lažje odkriti, je bil končni cilj raziskovanja pridobiti informacije o zaporedju iz DNA, izločene iz kosti neandertalca.

Svante Pääbo, rojen 20. aprila leta 1955 v Stocholmu, je švedski genetik in Nobelov nagrajenec, ki je specializiran za področje evolucijske genetike. Kot eden od utemeljiteljev paleogenomike se je veliko ukvarjal z neandertalčevim genomom. Leta 1997 je postal usta-



novni direktor Oddelka za genetiko na Inštitutu Maxa Plancka za evolucijsko antropologijo v Leipzigu v Nemčiji. Od leta 1999 je častni profesor Univerze v Leipzigu, kjer trenutno poučuje molekularno evolucijsko biologijo. Je tudi izredni profesor na Inštitutu za znanost in tehnologijo Okinawa na Japonskem. Leta 2022 je prejel Nobelovo nagrado za fiziologijo oziroma medicino »za svoja odkritja o genomih izumrlih homininov in evoluciji človeka«.

Skeletni ostanki neandertalca, najdeni leta 1856 v jami Feldhofer v dolini Neandertal blizu Düsseldorfa, so shranjeni v Rheinisches Museum v Bonnu v Nemčiji. Ko se je Pääbo lotil svojega ambicioznega prizadevanja za preučevanje neandertalčevega genoma, se je na muzej obrnil s prošnjo za dostop do dragocenih ostankov in bil uslišan; kot vir materiala za svoje preiskave je s sodelovanjem pridobil kos neandertalčeve kosti nadlahtnice. Sredi osemdesetih let preteklega stoletja je verižna reakcija s polimerazo (PCR), ki jo je leta 1983 izumil Kary Mullis, revolucionirala področje in močno olajšala analizo sledov DNA. Gre za eksperimentalno metodo, s katero je mogoče DNA iz sledov, teoretično iz ene same molekule, namnožiti na poljubno veliko število molekul, količino, s katero je mogoče opraviti nadaljnje raziskave njene zgradbe. Vendar pa je tveganje za hkratno obnovitev tudi kontaminirajoče tujerodne DNA ostalo in se celo povečalo. Pääbo, ki se je močno zavedal tehničnih izzivov, povezanih z analizo DNA zelo starih vzorcev kosti, se je problema lotil z oblikovanjem specializiranih čistih prostorov, zmanjšanjem možnosti kakršne koli kontaminacije in poudarjanjem potrebe po neodvisni reprodukciji svojih rezultatov v drugih laboratorijih.

Iz fosilnih ostankov je bilo mogoče pridobiti samo fragmente v dolgem obdobju in v spreminjajočih se bioloških in podnebnih razmerah razgrajene DNA, ki so jih lahko z metodo PCR namnožili za nadaljnja določanja njihovega nukleotidnega zaporedja. Za sestavo v dejanska zaporedja pradednega genoma pa je bilo potrebno njihovo prekrivanje, kar lahko zagotovi samo dovolj veliko število neodvisnih in čim bolj ohranjenih ostankov DNA ter obsežne primerjalne in izključitvene študije z genomskimi zaporedji sodobnih primatov kot tudi drugih živalskih vrst. V dolgem raziskovalnem obdobju je Pääbo s sodelavci pridobil zaradi bazičnih kraških razmer razmeroma dobro ohranjene fosilne ostanke neandertalčevih kosti z

najdišča v Vindiji na Hrvaškem, zaradi hladnejših podnebnih razmer tudi dobro ohranjene ostanke iz jame Mezmajskaja na Severnem Kavkazu, nato še ostanke kosti iz jame El Sidrón v španski pokrajini Asturiji in ponovno ostanke z najdišča Feldhoferska jama v dolini Neandertal v Nemčiji. Izpiljene metode izločanja DNA iz starodavnih vzorcev kosti, prefinjene metode čiščenja, uporaba pomnoževanja DNA s polimerazno verižno reakcijo v izjemno čistih razmerah, izkoriščanje učinkovitih naprednih tehnik določanja zaporedij DNA in vključevanje strokovnega znanja o populacijski genetiki so pripeljali do odkritij, ki so ustvarila novo razumevanje naše evolucijske zgodovine.

Genetska preiskava je razkrila mitohondrijski genom našega bližnjega sorodnika neandertalca, vendar še ni potrdila navzočnosti njegovih genov v našem genomu

V zgodnjih raziskavah pred letom 1987 so Allan Wilson in sodelavci primerjali mitohondrijsko DNA (mtDNA) 147 posameznikov iz petih različnih človeških zemljepisnih populacij, vključujoč Afriko, Azijo, Avstralijo (staroselci), Evropo in Novo Gvinejo (staroselci). Avtorji so raziskovali, kako in kdaj je nastal in kam se je preselil človeški genski sklad. Mitohondrijska DNA se deduje le po materini strani, preko jajčne celice (oocita). Vsakih nekaj generacij se v ta družinski podpis prikrade naključna mutacija. Naključne redke spremembe zagotavljajo način za ocenjevanje števila generacij nazaj do skupnega prednika. Primerjava dveh vzorcev mtDNA pokaže stopnjo sorodstva in v najboljšem primeru lahko gremo vse do izvora prednikov. Preiskave človeških mtDNA so razkrile, da so imele vse človeške populacije skupnega prednika v Afriki pred približno 200.000 leti. Dokazi DNA so tudi razkrili, da smo vsi ljudje zelo tesno povezani: Škot, Japonec in avstralski Aborigin so veliko tesneje genetsko povezani kot kateri koli trije šimpanzi iz različnih afriških skupin.

Ker ima mitohondrijska DNA večjo možnost, da obstane v starih okostjih, kot jedrna DNA, saj vsaka celica vsebuje na stotine do tisoče kopij mtDNA, jedrna DNA pa le dve kopiji, eno materino in eno očetovo, je tudi Pääbo izbral mtDNA kot prvo tarčo za določanje genomskega zaporedja neandertalca. Za prvo verižno pomnoževanje DNA, izolirane iz 40.000 let starega koščka kosti, je izbral dva označevalca, ki vsak na eni strani omejujeta poznani 105 baznih parov dolgi segment odseka človekove mtDNA, v katerem so značilne zelo velike razlike med posamezniki. Iz neandertalčeve mtDNA je na ta način v dveh neodvisnih poskusih pridobil fragmente, katerih nukleotidna zaporedja so bila različice, ki jih pri sodobnih ljudeh še niso opazili. Poskus so ponovili z mtDNA iz neandertalčevih kosti drugega izvora in prišli do enakih rezultatov. Ugotovljeni »neandertalski fragment« so v nadaljevanju uporabili za iskanje z njim vsaj delno prekrivajočih se fragmentov DNA v knjižnici fragmentov, ki so jo ustvarili s pomnoževanjem in kloniranjem mtDNA, izločene iz ostankov kosti neandertalca z različnih najdišč. Vsak v poskusu ugotovljeni najdaljši fragment so v nadaljnjem poskusu uporabili kot značko za odkritje še daljšega. Z rekonstrukcijo vedno daljših zaporedij DNA so končno leta 1997 prišli do 379 nukleotidov dolgega zaporedja neandertalčeve mtDNA. Tega so primerjali z zbirko 2.051 človeških in 59 šimpanzijih zaporedij mtDNA. Pokazalo se je, da ugotovljeno zaporedje ne sodi med različice evropskega, afriškega, azijskega, indijskega in avstralskega/oceanskega *Homo sapiensa*.

Leta 2000 je skupina britanskih raziskovalcev objavila drugo zaporedje mtDNA neandertalca, neandertalca iz jame Mezmajskaja na severnem Kavkazu. Pääbova skupina je kmalu zatem objavila še tretje zaporedje mtDNA, in sicer iz vzorca iz Vindije na Hrvaškem, kar je omogočilo ocene genetske raznolikosti med neandertalci. Allan Wilson je pokazal, da imajo šimpanzi, gorile

in orangutani večjo stopnjo genetske spremenljivosti kot sodobni ljudje, čeprav jih je veliko manj, kar kaže, da se je *Homo sapiens* razširil iz manjše populacije. Analiza treh zaporedij mtDNA neandertalca je dala podobno sliko, ki kaže, da so tudi ti posamezniki izvirali iz majhne populacije, ki se je pozneje razširila. Leta 2004 je Pääbo povečal študijo variacije mtDNA pri neandertalcih, s tem da je vključil dodatne štiri vzorce neandertalcev, ki izvirajo z zemljepisno različnih območij po Evropi, ter pet vzorcev iz zgodnjih obdobij *Homo sapiensa*. Na podlagi te analize mtDNA je skupina ponovno ugotovila, da je zelo malo verjetno, da bi obstajal večji genetski prispevek neandertalcev k zgodnjemu modernemu človeku, čeprav tudi tokrat možnosti manjšega genetskega prispevka niso mogli izključiti.

Mednarodni konzorcij uglednih strokovnjakov je na podlagi podatkov iz objavljenih zaporedij mtDNA in iz novo pridobljenih vzorcev kosti neandertalcev na koncu razpolagal z 8.341 ugotovljenimi različnimi zaporedji mtDNA, kar so uporabili za rekonstrukcijo in leta 2008 tudi končno objavo celotnega, 16.565 nukleotidov dolgega zaporedja mitohondrijskega genoma neandertalca. Računalniško modeliranje filogenetskega drevesa je pokazalo, da genski sklad današnje človeške mtDNA izvira iz Afrike, kar se je ujemalo s predhodnimi Wilsonovimi ugotovitvami, in da je skupni prednik, ki je nosil sodobno mtDNA, živel do pred 120.000 do 150.000 leti. Na podlagi analize mtDNA je bil čas od začetka obstoja skupnega prednika neandertalca in anatomsko sodobnega človeka ocenjen na štirikrat daljši čas: 550.000 do 690.000 let. Primerjave s sodobnimi ljudmi so tudi tokrat pokazale, da so bili neandertalci genetsko ločeni; izumrli so, ne da bi prispevali elemente svoje mtDNA k današnjemu človeku.

Ker pa se mtDNA deduje izključno po materini liniji in jo lahko na naslednjo generacijo prenesejo samo osebkci ženskega spola, je omenjena analiza lahko podala le omeje-

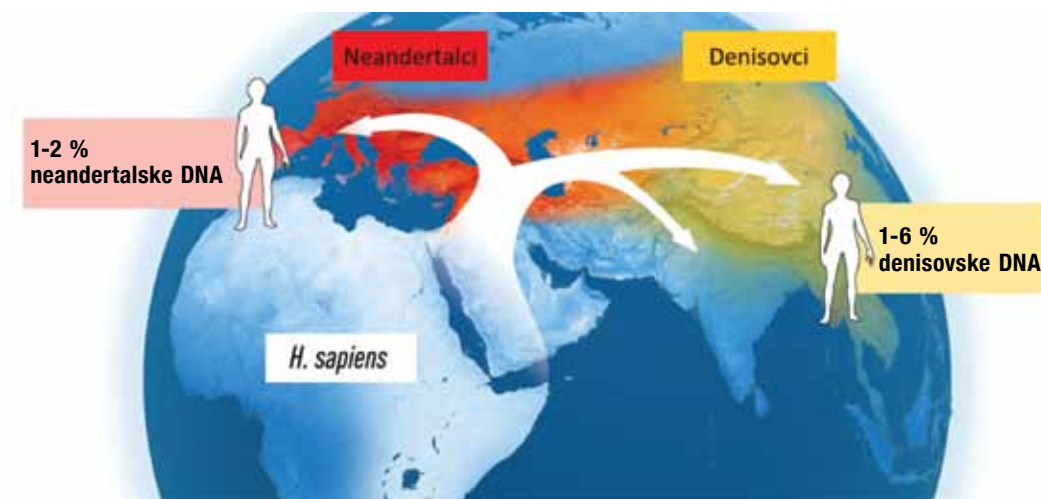
no sliko naše evlucijske zgodovine. V primerih, da so nosilke orientacijskih različic mtDNA kot potomce imele samo sinove, so različice ob pomanjkanju rekombinacije mtDNA po naključju lahko tudi izginile. Zato so analize mtDNA manj informativne kot preiskave jedrnega genoma. Zaključek je bil, da z rezultati sekvenciranja in analize neandertalčeve mtDNA nikakor ne moremo izključiti možnosti, da bi neandertalci današnjemu človeku lahko prispevali druge gene. Pääbo je zato sprejel ogromen izziv določanja zaporedja jedrnega genoma neandertalca.

Razkritje in preiskava genomske DNA je razkrila, da vendarle imamo tudi nekaj genov neandertalca

Kljub izumu PCR je ostalo zelo vprašljivo, ali so se izredno majhne količine preostale DNA, najdene v arhaični kosti, lahko več deset tisoč let dovolj upirale kemičnim spremembam in fragmentaciji, da bi zdržale prevladujočo navzočnost konkurenčne DNA iz mikrobne rasti ali onesnaženja s človeško DNA iz današnjega časa. Za oceno biomolekularne ohranjenosti je Pääbova ekipa testirala več kot sedemdeset vzorcev kosti in zob neandertalcev iz različnih zemljepisnih

leg oziroma krajev v Evropi in zahodni Aziji. Stopnjo kontaminacije s sodobno človeško DNA so ocenili s PCR in sekvenciranjem mtDNA. V zbirkah s PCR in kloniranjem pomnoženih fragmentov DNA so razmerje med neandertalčevo in mikrobno DNA povečali v korist neandertalčeve z uporabo restrikcijskih encimov, ki prednostno cepijo bakterijska zaporedja.

Med vzorci je izstopala kost iz jame Vindija na Hrvaškem, saj je zanjo bila značilna visoka raven aminokislinskih ostankov in nizka stopnja racemizacije aminokislin kot tudi, da je bilo več kot devetdeset odstotkov segmentov mtDNA neandertalskega izvora. To kost so zato izbrali za začetno visoko zmogljivo določanje nukleotidnega zaporedja. Najnaprednejše visoko zmogljive tehnike sekvenciranja DNA, ki so omogočile več sto tisoč branj na zagon, so ob široki bioinformacijski podpori pripeljale do 254.933 edinstvenih fragmentov DNA. Ta zaporedja so primerjali z zaporedji iz genoma človeka, šimpanza in miši ter z obstoječimi bazami podatkov GenBank. Posebno pozornost so namenili tistim, ki so se v dolžini vsaj trideset baznih parov najbolj ujemala s človeškim ali šimpanzovim jedrnim genomom.



Prirjeno po M. Karlén: © The Nobel Committee for physiology or Medicine; <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2022/press-release/>.

Odčitki so zajeli skupaj 0,04 odstotka zaporedja jedrnega genoma neandertalca.

To je bilo izhodišče za nadaljnje delo, vendar so za uresničitev naloge potrebovali še več kosti. Med dodatnimi primerki, ki so jih prejeli iz zbirke najdišča Vindija, doline Neandertal, jame Mezmajskaja na Kavkazu in jame El Sidrón v Španiji, so izstopali trije, ki so vsebovali več kot en odstotek neandertalčeve DNA, in te so izbrali za določanje jedrnega genoma. Prvi milijon v verigo genoma povezanih nukleotidov, razbranih z visoko zmogljivim sekvenciranjem, je bil objavljen leta 2006. Leta 2008 so z najnovejšimi načini sekvenciranja že lahko ustvarili zbirko, ki je vsebovala milijardo od trideset do sedemdeset nukleotidov velikih fragmentov DNA. Ta nukleotidna zaporedja so z obsežnimi bioinformacijskimi analizami podatkov primerjali z referenčnimi genomi človeka in šimpanza kot tudi z domnevnim računalniško ustvarjenim genom njunega skupnega prednika. In prišlo je prelomno leto 2010, ko je Pääbo dosegel nedosegljivo in poročal o osnutku zaporedja jedrnega genoma neandertalca. Za oceno kontami-

nacije z današnjo človeško DNA je uporabil pet današnjih genomov *Homo sapiens* iz različnih delov sveta; primerjal je položaje, za katere je znano, da se med neandertalčevo in današnjo človeško mtDNA najbolj razlikujejo, kot tudi položaje v jedrnem genomu, kjer se današnji ljudje razlikujemo od neandertalcev in šimpanzov. Že v samem izhodišču raziskave pa je prisotnost sodobne človeške DNA izključeval z ugotavljanjem prisotnosti edinstvenih fragmentov iz delov moškega kromosoma Y v kosteh, pridobljenih iz ženskih neandertalcev.

Pääbo in njegovi sodelavci so sedaj lahko raziskovali odnos med neandertalci in sodobnimi ljudmi iz različnih delov sveta. Primerjalne analize so pokazale, da so zaporedja DNA neandertalcev bolj podobna zaporedjem sodobnih ljudi iz Evrope ali Azije kot sodobnim ljudem iz Afrike. To pomeni, da so se neandertalci in *Homo sapiens* v tisočletjih sobivanja križali. Začetne ugotovitve so kazale, da pri sodobnih ljudeh evropskega ali azijskega izvora približno od enega do štirih odstotkov genoma izvira iz neandertalcev.



Prirjeno po M. Karlén: © The Nobel Committee for physiology or Medicine; <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2022/press-release/>.

Senzacionalno odkritje: denisovci

Da se DNA obdrži dolgo časa, odkar so naši najbližji evolucijski sorodniki izumrli, so potrebne izjemne razmere. Problem je v tem, da večina kosti zgodnjih hominidov prihaja iz ekvatorialnih in tropskih regij v Afriki in Evraziji, kjer so razmere za ohranjanje celovitosti DNA, kot sta višja temperatura in kislost tal, izredno slabe. Vendar pa so arheološki dokazi pokazali, da so pradedni hominini živeli tudi na višjih zemljepisnih širinah, kjer je možnost za ohranitev DNA večja. Ena takih regij je gorovje Altaj v južni Sibiriji, kjer se je hominin morda pojavil pred več kot 125.000 leti.

Leta 2008 so tam, v jami Denisova, odkrili 40.000 let star delček prstne kosti. Kost je vsebovala izjemno dobro ohranjeno DNA, ki jo je Pääbova ekipa sekvencirala. Rezultati so povzročili senzacijo: zaporedje DNA je bilo edinstveno v primerjavi z vsemi znanimi zaporedji neandertalcev in današnjega človeka. Pääbo je odkril prej neznanega hominina, ki je dobil ime denisovec. Primerjave z zaporedji sodobnih ljudi iz različnih delov sveta so pokazale, da je do pretoka genov prišlo tudi med denisovci in *Homo sapiensom*. Ta odnos je bil prvič viden pri populacijah v delih jugovzhodne Azije, v Maleziji, kjer posamezniki nosijo celo do šest odstotkov denisovske DNA. To kaže, da je bil zemljepisni razpon denisovcev огromen in je zajemal vzhodni in južni del Evrazije. Na podlagi rezultatov je Pääbo s sodelavci predlagal, da so denisovci sestrška skupina neandertalcev, od katerih so se ločili nekje ob polovici časa do skupnega prednika ljudi in neandertalcev. Po ločitvi denisovcev od neandertalcev je prišlo do pretoka genov iz neandertalcev v prednike današnjih Neafrčanov, predniki Malezijcev in denisovcev pa so se pomešali kasneje, kar pa ni vplivalo na druge neafrške populacije.

Pääbova odkritja so ustvarila novo razumevanje naše evolucijske zgodovine. V času, ko se je *Homo sapiens* selil iz Afrike, sta vsaj dve izumrli populaciji hominidov na-

seljevali Evrazijo. Neandertalci so živeli v zahodni Evraziji, denisovci pa v vzhodnih delih celine. Med širjenjem *Homo sapiens* zunaj Afrike pred približno 70.000 leti in preseljevanjem na vzhod se naši predniki niso srečevali in križali samo z neandertalci, temveč tudi z denisovci.

Ko so v altajskih gorah našli še eno kost hominina, tokrat neandertalčevo, kar je potrdilo, da je območje neandertalcev segalo vse do Sibirije, so s primerjavo genomskih zaporedij lahko ocenili, da je bil populacijski razhod med neandertalci in denisovci pred 380.000 do 470.000 leti in da je bil čas razhoda med sodobnimi ljudmi in neandertalci/denisovci pred 550.000 do 760.000 leti. Svojo oceno neandertalskega izvora v današnjih evrazijskih genomih so popravili na 1,5 do 2,1 odstotka in pokazali dokaze za bolj zapleteno zgodovino mešanja med neandertalci in *Homo sapiensom*. Skupina je našla tudi dokaze o pretoku genov iz neandertalcev v regiji Altaj v denisovce.

Pomen paleogenomskih in filogenomskih odkritij

S svojimi prelomnimi raziskavami je Svante Pääbo ustvaril povsem novo znanstveno disciplino, paleogenomiko. Po začetnih odkritjih je njegova skupina zaključila analize več dodatnih zaporedij genomov izumrlih hominidov. Njihova odkritja so vzpostavila edinstveni vir, ki ga znanstvena skupnost v veliki meri uporablja za boljše razumevanje človeške evolucije in migracij. Za *Homo sapiens* je značilna edinstvena sposobnost ustvarjanja kompleksnih kultur, naprednih novosti in umetnosti, pa tudi sposobnost prečkanja odprtih voda in širjenja na vse dele našega planeta. Tudi neandertalci so živeli v skupinah in imeli velike možgane. Sicer so tudi uporabljali orodja, vendar so se v sto tisočih letih ta zelo malo razvila. Pokazalo se je, da je genetska raznolikost neandertalcev manjša in drugačna od tiste pri današnjih ljudeh, kar kaže, da so bile njihove populacije majhne in izolirane druga od

druge. Nasprotno pa se zdi, da so kasnejši neandertalec iz Evrope, denisovec iz gorovja Altaj in stari moderni ljudje živeli v nekoliko večjih populacijah, se srečevali in se tudi med seboj križali.

Ena od največjih skrivnosti je, zakaj so bili sodobni ljudje tako uspešni pri svoji ekspanziji in zakaj so neandertalci in denisovci izumrli, potem ko so se več sto tisoč let prilagajali evrazijskemu okolju. Opazovanje, da so bile te populacije majhne in da so imele razmeroma visoko stopnjo parjenja v sorodstvu, nam daje namig, da morda niso bile sposobne tekmovati s sodobnimi ljudmi, katerih populacija se je hitro povečevala.

Homo sapiens med živalskimi vrstami izstopa po kompleksnosti kultur, družbenih zgradb in sposobnosti sporazumevanja. Lahko domnevamo, da je ta edinstvena »človečnost« posledica sprememb v genomu sodobnega človeškega rodu. Dostop do arhaičnih genomov ponuja vznemirljive nove možnosti za prepoznavanje kritičnih genetskih značilnosti, ki nas razlikujejo od arhaičnih homininov. Ker so naši najbližji evlucijski sorodniki, njihovi genomi zagotavljajo izhodišča za primerjave, ki lahko pojasnijo posebne človeške značilnosti, pomembne za fiziologijo in medicino. V genomu je približno 31.000 enonukleotidnih položajev, kjer današnji ljudje iz vseh delov sveta nosijo novodošlo nukleotidno različico, medtem ko genoma neandertalca in denisovca nosita nukleotid prednikov, ohranjen od ločitve od šimpanza. Ugotovili so, da so se na evlucijski liniji neandertalca geni, vključeni v morfološko skeleta, spremenili bolj od pričakovanega, medtem ko so se pri sodobnem človeku bolj spremenili geni, vključeni v pigmentacijo in delovanje možganov. Ker so bili arhaični ljudje že genetsko prilagojeni življenju v nekaterih okoljih Evrazije, kamor so se selili sodobni ljudje, bi lahko vnos in obstoj njihovih genskih različic v genomu prišlekov pozitivno vplivala na sposobnost preživetja prišlekov v novih okoljih po njihovi širitvi iz Afrike. Arhaične gen-

ske različice, ki so bile podvržene pozitivni selekciji, lahko tudi v današnjih raziskavah potencialno zagotovijo funkcionalne informacije o delih našega genoma, ki so splošnega pomena za vse živeče ljudi. Dober primer, da arhaične genske sekvence naših izumrlih sorodnikov vplivajo na fiziologijo današnjega človeka, je denisovska različica gena EPAS1, ki daje prednost pri preživetju na visoki nadmorski višini in je pogosta med današnjimi Tibetanci. Drugi primeri so neandertalski geni, ki vplivajo na naš imunski odziv na različne vrste okužb, kot tudi neandertalske genske različice, povezane s fenotipi, kot so pigmentacija in vzorci spanja pri današnjih Evropejcih.

Viri:

MLA style: *The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2022 – Press Release*; <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2022/press-release/>.

Hedestam, G. K., Wedell, A., 2022: *The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2022 – Advanced Information*; <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2022/advanced-information/>.

Dartnell, L., 2020: *Izvori – kako je naš planet oblikoval človeško zgodovino. 1. natis*. Ljubljana: UMco.

Geological history of Earth. Wikipedia – *The Free Encyclopedia*; https://en.wikipedia.org/wiki/Geological_history_of_Earth.

Timeline of the evolutionary history of life. Wikipedia – *The Free Encyclopedia*; https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_evolutionary_history_of_life.

Timeline of human evolution. Wikipedia – *The Free Encyclopedia*; https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_human_evolution.

Ploščasti apnenec, značilni element kraške kulturne krajine

Matevž Novak

Apnenec se uporablja kot gradbeni material na območjih s kraškim površjem Jadransko-dinarske regije že stoletja dolgo. Predvsem ena od vrst apnenca, ploščasti apnenec, je eden od najbolj prepoznavnih povezovalnih elementov, ki dajejo skupno identiteto kulturni krajini vzdolž kraške vzhodne obale Jadranskega morja in njenega zaledja (slika 1). Ker tvori lepe, ravne plošče (škrle ali skrle), so ga uporabljali za strešnike, tlakovce, za gradnjo suhih zidov, pastirskih hišk in drugih objektov, podobno kot skrilavec na območjih s pretežno metamorfno kamninsko podlago. Od rimskih časov, ponekod pa celo od pozne prazgodovine, so ploščasti apnenec izkopavali na dvoriščih ali v manjših površinskih kopih v neposredni bližini naselbin (slika 2).

Zaradi varnostnih standardov in drugih predpisov, povezanih s pridobivanjem naravnega kamna ter varstvom in ohranjanjem narave, takšno izkoriščanje danes ni

Slika 1: Značilni arhitekturni elementi kulturne krajine vzhodne Jadranske obale. Foto: arhiv projekta RoofOfRock.





Slika 2: Opušeni površinski kop Komenskega ploščatega apnenca v Gabrovici/Coljavi na Krasu, ki so ga uporabljali za pokrivanje streh in tlakovanje. Foto: Bogdan Jurkovšek.

Slika 3: Slabe prakse pri ohranjanju in restavriranju kulturne dediščine. (a) Propadanje kamnitih hiš v Nakovani na polotoku Pelješac na Hrvaškem, (b) posnemanje vernakularne arhitekture v Zgoniku na italijanskem Krasu, (c) mešanje kritin v Kazljah, (d) zamenjava avtohtonih apnenčastih škrl z industrijskimi strešniki na cerkvi sv. Lovrenca v Kazljah. Foto: arhiv projekta RoofOfRock.

več mogoče. Tudi če ima lastnik posluš za ohranjanje kamnite kulturne dediščine in želi po najboljših močeh obnoviti ali zgraditi hišo na tradicionalen način, naleti na številne težave. Poleg pomanjkanja informacij, kako ravnati, in odsotnosti zakonskih podlag je največja težava, da ploščasti apnenec kot tradicionalno uporabljeni avtohtoni gradbeni material zakonito ni dostopen. Glavne ovire so v togi zakonodaji, kjer deležniki prostorskega načrtovanja, urbanizma ter varstva kulturne in naravne dediščine nimajo jasnih smernic niti za trajnostno rabo naravnega kamna kot gradbenega mate-

riala ne za varstvo in ohranjanje kamna kot naravne dediščine in tudi ne za ohranjanje kamnitih objektov.

To so razlogi, zakaj se gradbeni kamen pogosto uporablja neustrezno ali se ga nadomešča z neavtohtonim, včasih povsem drugačnim kamnom in drugimi materiali, na primer pločevino ali betonskimi strešniki. Značilni kamniti arhitekturni elementi tovrstnih objektov so pogosto poškodovani ali uničeni. Tudi stavbe s strešno kritino iz ploščastih apnenecov v regiji so večinoma zapuščene, slabo ohranjene in propadajo (slika 3).

Geološke značilnosti ploščatega apnenca

Območje, ki se razteza od Tržaškega krasa v Italiji do Dubrovnika, je eno od tistih, kjer je povezava med geologijo in življenjem človeka najbolj očitna. Skupna zgodovina tega območja, povezana s kraškim kamnom, pa se ni začela šele s človekovo uporabo v prazgodovinski dobi, ampak že veliko prej, v geološki zgodovini.

Celotno območje namreč sestavljajo sedimentne kamnine, ki so nastale na tako imenovani Jadransko-dinarski karbonatni platformi. Karbonatna platforma se razvije,

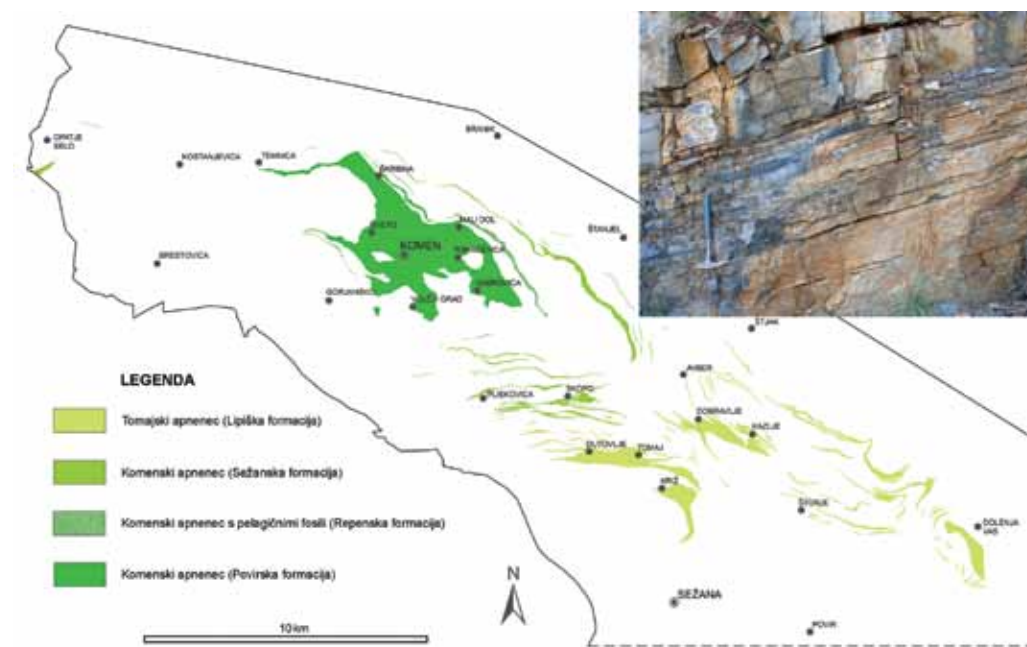
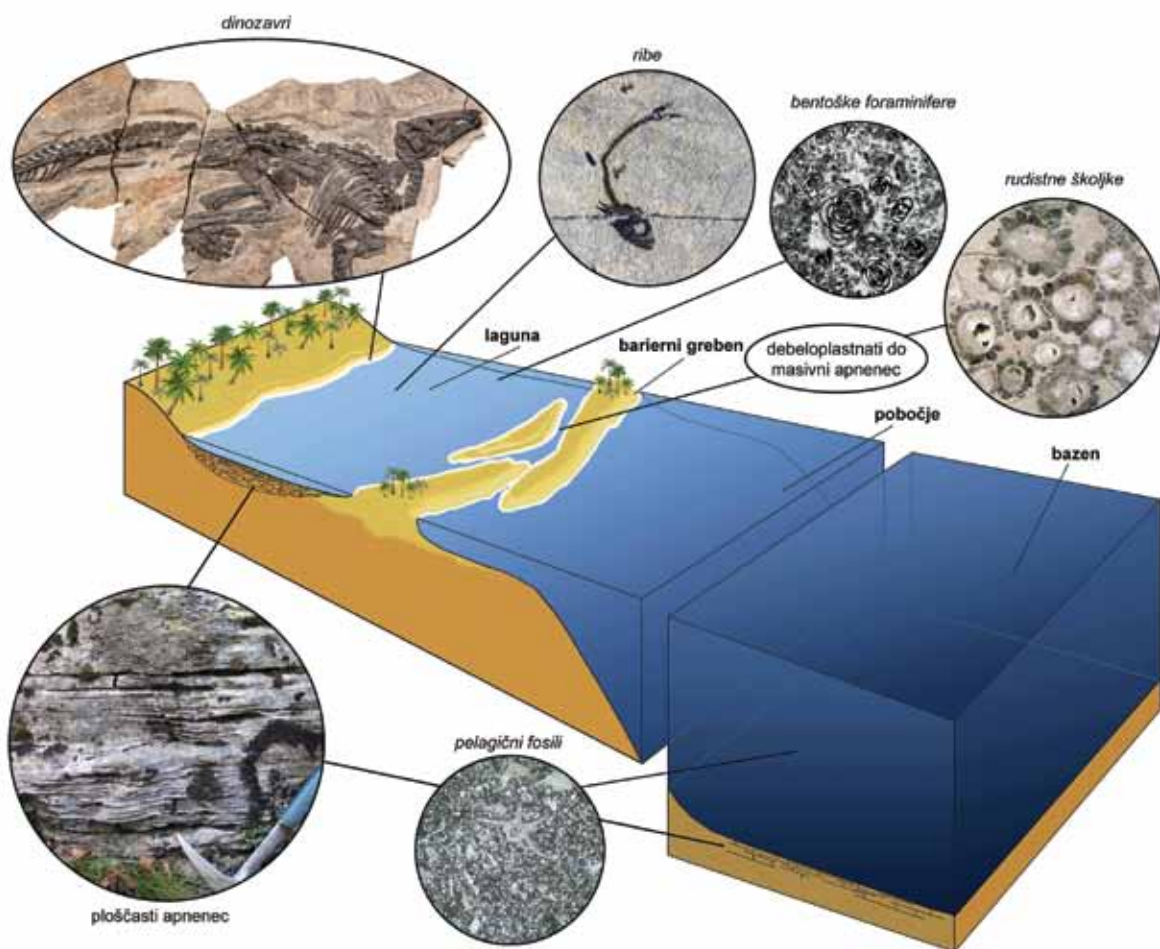
ko je nakopičenje apnenca v morju tolikšno, da se na morskem dnu zgradi relief. Najvišji del te tvorbe je pogosto blizu morske gladine in raven (zaradi česar se imenuje »platforma«), tako da nastane območje s plitvo vodo, podobno laguni. Na zunanjih robovih platforme različno strma pobočja povezujejo njen vrh z okoliškim globokim morskim dnom. Sodobni primer so na primer Bahami v Mehikem zalivu. Jadransko-dinarska karbonatna platforma je bila zelo obsežna, kar dokazujejo njene kamnine, ki se pojavljajo od severovzhodne Italije, po celotni dolžini

Dinaridov vse do Črne gore. Platforma je obstajala milijone let, od jure do zgodnjega eocena, dokler tektonski premiki, povezani s trkom med litosferskimi ploščami, niso povzročili dviga Alpske verige in potopitve platforme v morske globine.

Zaradi dolgotrajne stabilnosti okolja sedimentacije je na vsej Jadransko-dinarski karbonatni platformi nastala okrog 1.500 metrov debela skladovnica karbonatnih kamnin. Večinoma so to svetlosivi, debeloplastnati do masivni (neplastnati) apnenci s

pogostimi fosilnimi ostanki lupin rudistnih školjk, odloženi v toplem, plitvem morju. Čeprav je bilo morsko dno dokaj ravno, je bilo v nekaterih predelih morje globlje. V teh predelih, kjer je bilo kroženje vode počasnejše, so bile koncentracije kisika nižje. To je vodilo do nastanka ploščastih apnencev (slika 4). Ploščasti apnenci so tankoplastnati, večinoma temno obarvani, drobnozrnati in laminirani apnenci. Debelina plasti je od enega do deset centimetrov, povprečna pa od dva do pet centimetrov. Pogosto vse-

Slika 4: Okolje nastajanja ploščatega ter debeloplastnega in masivnega (neplastnega) apnenca na plitvomorski karbonatni platformi, na robu platforme (bariernem grebenu) in v obdajajočem globokomorskem bazenu. Model: Vlatko Brčić. Foto: Bogdan Jurkovšek in Marino Ierman, Museo Civico di Storia Naturale di Trieste.



Slika 5: Zgornjekredni ploščasti apnenci različne starosti na območju Krasa. Vir: Jurkovšek in sod., 2013. Desno zgoraj: laminirani Komenski apnenec z lečami črnega roženca v Škrbini. Foto: Bogdan Jurkovšek.

bujejo tanke plasti ali leče roženca - trde, goste kamnine, sestavljene iz mikrokristalnega kremenca - in imajo lahko ob lomljenju močan vonj po bitumnu (slika 5). To je zato, ker vsebujejo visoko koncentracijo organskih snovi, ki se je lažje ohranila v vodah z nizko vsebnostjo kisika. Ta lastnost omogoča tudi hitro fosilizacijo in odlično ohranitev tudi najfinejših struktur organizmov. Takšni apnenci se pojavljajo kot posamezni debeli paketi znotraj različnih debeloplastnatih plitvomorskih apnencev, ki pripadajo različnim formacijam zgornje krede, starim od 95 do 80 milijonov let.

Čeprav se ploščasti apnenci zdaj pojavljajo tudi v hribovitih predelih Dinarskega krasa v zaledju Jadranske obale, so prostorsko najbolj razširjeni v zahodni Hercegovini, na srednjedalmatinskih otokih (Velikem Drveniku, Šolti, Braču, Hvaru in Korčuli), na polotoku Pelješac, na območju Trogirja in Benkovca ter v zahodnem delu hrvaške

Istre in v osrednjem delu Krasa v Sloveniji (slika 5).

Ploščasti apnenec kot naravna dediščina na Krasu

Na Krasu se ploščasti apnenci pojavljajo v več stratigrafskih horizontih in se razlikujejo tako po starosti kot po okolju nastanka. Poznamo dve značilni enoti kraških ploščastih apnencev, Komenski in Tomajski apnenec.

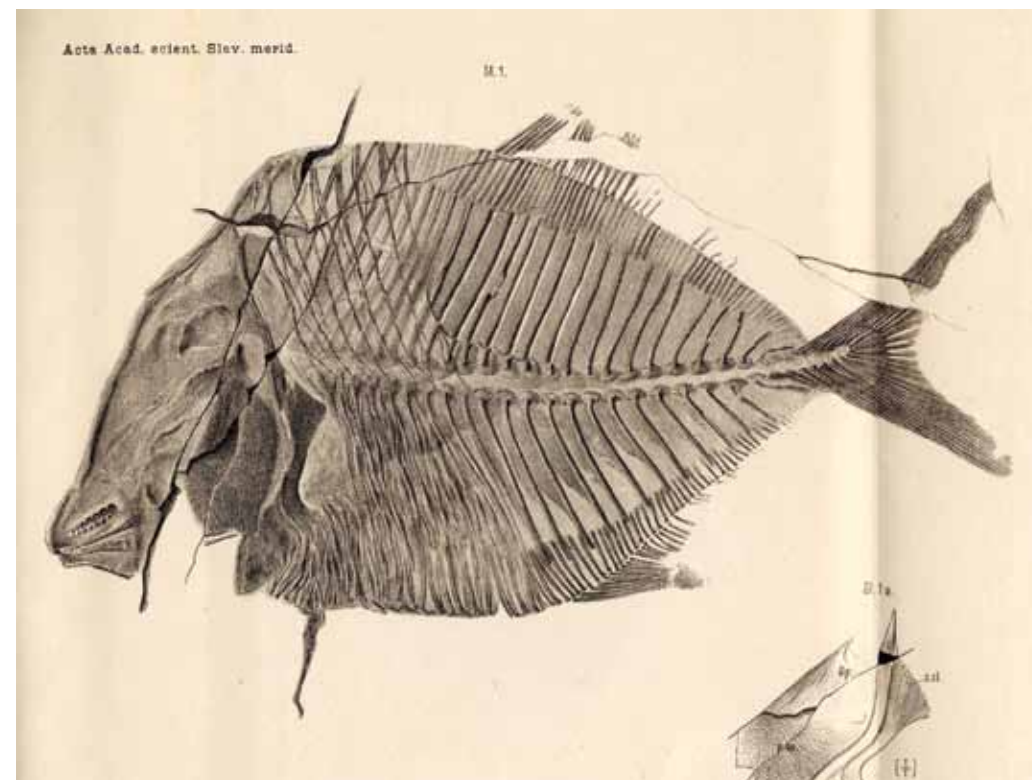
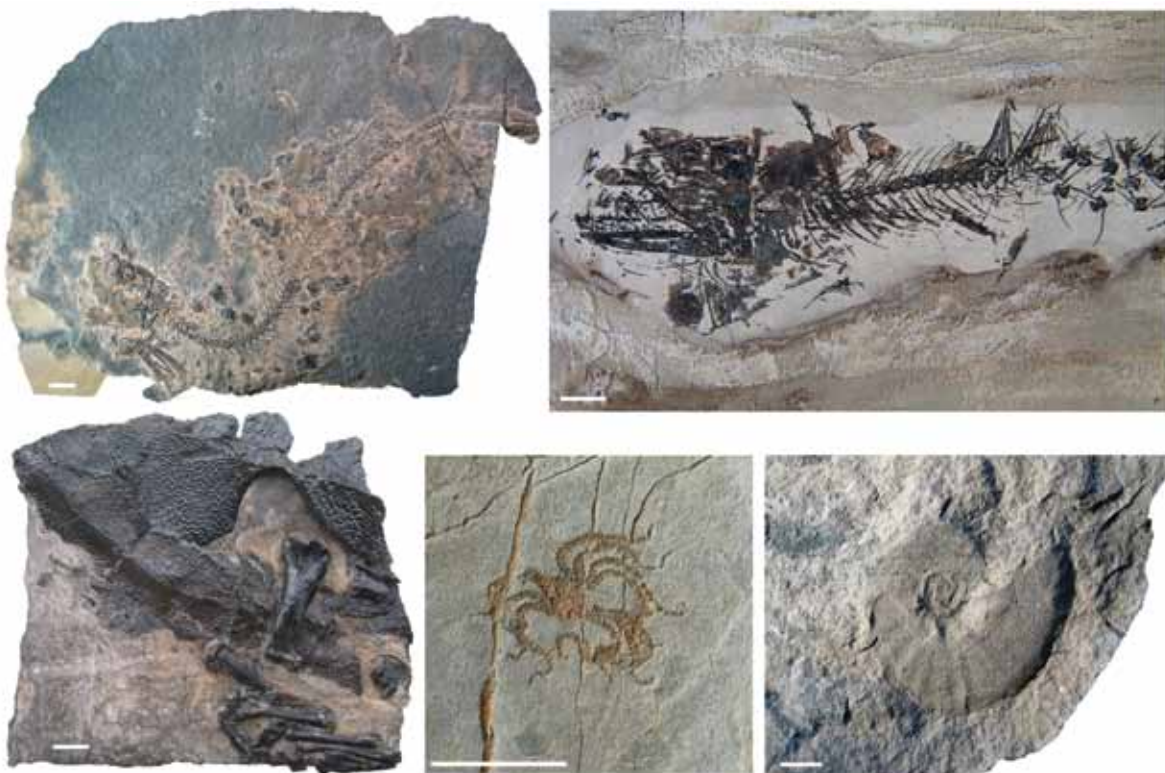
Skupna značilnost ploščastih apnencev je njihova bogata fosilna vsebina. Lagunski Komenski apnenec je največkrat bogat z makrofosili, zlasti ostanki rib, morskih plazilcev in drugih vretenčarjev ter kopenskih rastlin. Globokomorski Tomajski apnenec pa poleg teh vsebuje značilne pelagične mikrofosile, kot so planktonske foraminifere, amoniti in planktonski krinoidi (kačjerepi) (sliki 6 in 7).

Številne najdbe so spodbudile slavnega hr-



Slika 6: Rastlinski fosili, najdeni v Tomajskem apnencu (od leve proti desni: iglavci *Brachyphyllum* in *Araucarites ter Magnoliaphyllum*). Merilo: en centimeter. Foto: Bogdan Jurkovšek.

Slika 7: Živalski fosili Tomajskega apnenca (od leve proti desni: ribi *Chirocentrites* in *Enchonodus*, želva, kačjerep in amonit). Merilo: en centimeter. Foto: Bogdan Jurkovšek.



Slika 8: Risba holotipa (prvega opisanega primerka) fosilne ribe *Coelodus vetteri* iz monografije Gorjanovič-Krambergerja, ki je izšla leta 1895, in fotografija istega primerka na plošči Komenskega apnenca iz Komna. Foto: Bogdan Jurkovšek.



vaškega paleontologa C. Gorjanović-Krambergerja, da je te kamnine poimenoval »ihtioferni (ribji) skrilaenci« (slika 8).

Ploščasti apnenec kot element kulturne dediščine Krasa

Tradicionalna kraška hiša na matičnem Krasu je imela poševno streho in je bila brez žlebov. Material za strešno kritino je določil naklon strehe. Primarna nosilna konstrukcija je bila sestavljena iz hrastovih tramov in je lahko nosila štirikrat večjo težo, kot je teža običajne strehe iz opečnatih strešnikov. Zaradi dolžine hrastovih tramov širina hiše nikoli ni presegla šest metrov. Sekundarno konstrukcijo so sestavljale od petnajst do dvajset centimetrov debele letve, ročno pridobljene iz hrastovega lesa, ki so bile praviloma pritrjene na primarno konstrukcijo z lesenimi žebli in med seboj spojene. Apnenčaste škrle debeline od pet do

osem centimetrov so bile položene druga na drugo tako, da so se skoraj v celoti prekrivale. Zato je streha zahtevala strm naklon, običajno petinštirideset stopinj, v nekaterih primerih celo petinšestdeset stopinj. Ob robovih strehe je bila položena vrsta apnenčastih plošč, ki so preprečevale vdor meteorne vode. Pozneje so začeli uporabljati žlebove in tudi te so izdelali iz ustrezno oblikovanih kamnitih plošč. Škrle, ki so sestavljale kanal, so bile položene druga na drugo, včasih vstavljene v zid, večinoma pa podprte s kamnitimi policami. Na spodnjem koncu kanala je bil še en kamnit element, oblikovan tako, da je zbiral dotekajočo vodo in jo usmeril stran od zidu. Streha spahnjence, delno oddvojene kuhinje s kaminom in visokim dimnikom, je bila zložena neposredno na kamnitem oboku. Tudi številni drugi arhitekturni elementi, kot so zgornji deli okenskih okvirjev, vratnih nadstreškov in podest zunanjskega stopnišča, so bili izdelani iz ploščastega apnenca (slika 9).

Naravovarstveni vidik

Apnenec lahko obravnavamo kot zelo pogosto kamnino in mineralno surovino. Kjer

pa v njem najdemo redke in dobro ohranjene fosile, postane dragocena naravna vrednota. Tudi kamnolom apnenca je le industrijski objekt, če zaradi svoje bogate vsebnosti fosilov ni obravnavan kot naravna vrednota ali če ima zelo dolgo zgodovino pridobivanja kamna, zaradi česar je ovrednoten kot kulturna dediščina. V primeru apnenca je torej meja med naravno in kulturno dediščino izjemno ozka, zaradi česar je zid med zaščito vsake od njiju včasih skoraj nemogoče prebiti.

Omejitve za pridobivanje ploščastega apnenca so postavljene iz dveh razlogov. Prvi je, da ima lahko izkoriščanje apnenca negativne vplive na naravo (na primer krčenje gozdov, spremembe hidrološke mreže, okrnjenje naravne krajine, spremembe življenjskih prostorov, ki omogočajo ali pospešujejo naselitev invazivnih vrst, izčrpavanje naravnih virov, hrup in vibracije in tako dalje). In drugič, med izkoriščanjem bi lahko našli dragocene in redke fosile, minerale ali speleološke objekte, pomembne kot naravna dediščina.

Celosten pristop k vrednotenju ploščastega apnenca

Interdisciplinarna študija v okviru projekta *RoofOfRock - Apnenec kot skupni imenovalec naravne in kulturne dediščine vzdolž kraške obale Jadranskega morja* (<https://roofofrock.geo-zs.si/>), ki ga je vodil Geološki zavod Slovenije, je v državah vzhodno-jadranske regije opisane probleme obravnavala z vseh vidikov, od geološke opredelitve ploščastega apnenca, njegovega pojavljanja in možnosti pridobivanja do uporabe v arhitekturi, ohranjanja naravne in kulturne dediščine ter zakonodajnega okvira. Cilj je bil vzpostaviti skupno platformo za trajnostno rabo, ohranjanje in promocijo ploščastega apnenca, oblikovati ustrezne smernice in prispevati k ohranjanju skupne naravne in kulturne dediščine vzdolž kraške obale Jadranskega morja.

Ključni elementi študije so bili:

- analizirati uporabo gradbenega kamna ob vzhodni Jadranski obali v času in prepoznati primere dobre in slabe prakse;
- opredeliti splošne naravne lastnosti apnenca, ki ga uporabljajo kot gradbeni material, ter natančno opredeliti značilnosti in obseg pojavljanja ploščastih apnencev v naravi;
- ugotoviti izvor večine vrst naravnega kamna, ki je bil uporabljen v arhitekturi, in opredeliti njihovo prostorsko porazdelitev v naravi;
- oceniti zaloge naravnih virov ploščastega apnenca in preučiti možnosti za trajnostno rabo te mineralne dobrine;
- rešiti konflikte med uporabo ploščastega apnenca za vzdrževanje kulturne dediščine in njegovim ohranjanjem kot naravne dediščine ter pripraviti temelje za skupno zakonodajo na vsem območju;
- pripraviti dokument s priporočili za zakonodajne spremembe in ga nasloviti na predstavnike ministrstev, regionalnih in krajevnih oblasti ter ustanov s področja varstva naravne in kulturne dediščine ter na druge, ki sodelujejo pri odločanju, z

Slika 9: Značilni kraški domačiji. Kraška hiša v obliki črke L z ograjenim dvoriščem (borjačem) in gankom (baladurjem) v Repnu in Škrateljnova domačija z delno oddvojeno kuhinjo v Divači.

Foto: Fabiana Pieri in Mitja Guštin.



opozorili na nujnost spremembe tovrstne zakonodaje, če želimo ohranjati, obnavljati in vzdrževati kamnito kulturno dediščino.

Vrste ploščastih apnencev so bile razvrščene glede na njihove sedimentne, stratigrafske (starostne) in paleontološke značilnosti ter zanje izdelane ocene kakovosti (geomehanske in fizikalno-kemijske lastnosti) in razpoložljive količine. To je bila podlaga za presojo možnosti za pridobivanje in načinov varovanja naravnega okolja. Za analizo izvora (izvornih kamnolomov ali vsaj območij pojavljanja) vrst apnenca, uporabljenih

v arhitekturi, je bilo izbranih šestindvajset reprezentativnih objektov. Med temi je bilo po pet izbranih na matičnem Krasu v Italiji in v Sloveniji (slika 10), enajst na Hrvaškem (pet v Zadarski županiji, trije v Splitsko-dalmatinski županiji in trije v Dubrovniško-neretvanski županiji) ter pet v Hercegovini.

Reprezentativni objekti so bili obravnavani glede na arhitekturne in konservatorske parametre (različni kamniti arhitekturni elementi na posameznem objektu, njegove funkcije, estetska vrednost, stanje ohranjenosti, dotrajanost, predhodni restavratorski

posegi in tako dalje). Za vsak objekt je bil opravljen podroben geološki popis vseh vrst uporabljenega apnenca. Poudarek je bil na ploščastih apnencih, za katere so bila raziskana izvorna območja (kamnolomi). Poleg tega so bili opravljeni razgovori z lastniki objektov in domačini. Delo je potekalo v tesnem sodelovanju z arhitekti in strokovnjaki za varstvo kulturne dediščine.

Ugotovitve so pokazale, da so vzdolž Jadranske obale za gradnjo uporabljali zelo različne vrste ploščastih apnencev. Zaradi različne kakovosti, količine, prostorske pojavnosti in možnosti pridobivanja različno velikih

in debelih apnenčastih plošč so ploščasti apnenec na različnih območjih uporabljali na različne načine. Na nekaterih območjih na Krasu so za kritino uporabljali posebno vrsto apnenca, tako imenovani klivažirani apnenec, ki ga po strogi geološki definiciji ne uvrščamo med ploščaste. To je izvorno neplastnati, homogeni apnenec, ki pa ga je enostavno cepiti v plošče zaradi prisotnosti gostih vzporednih tektonskih razpok.

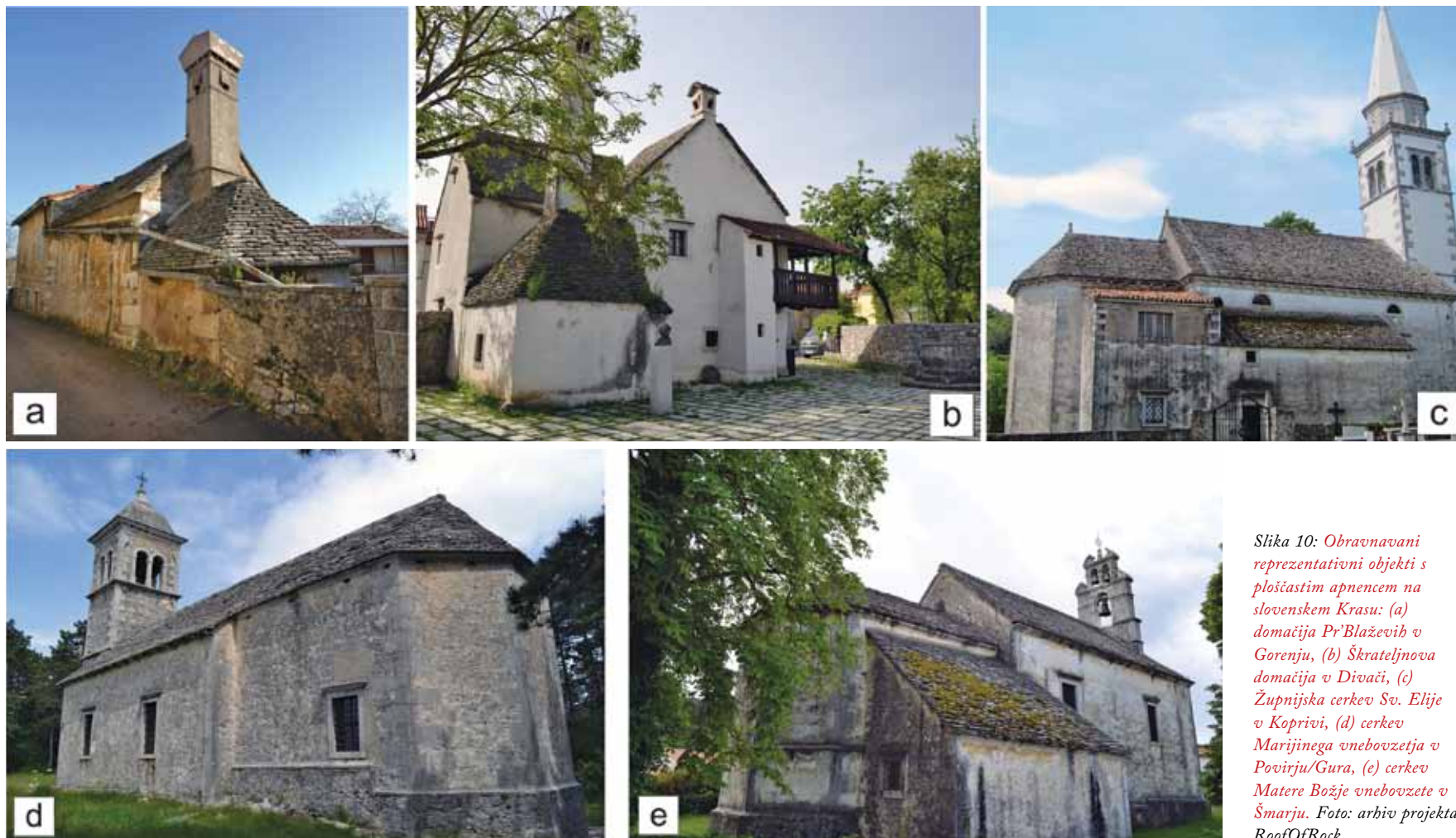
Vsi rezultati so predstavljeni v spletni in tudi v mobilni aplikaciji, ki omogoča na kraju samem pridobiti podrobne podatke o vrstah apnenca v različnih arhitekturnih elementih, pojavljanju teh apnencev v naravi, fosilih v njih, kamnolomih in možnostih izkoriščanja.

Smernice in predlogi za spremembe zakonodaje

Za premostitev konflikta med varstvom naravne in kulturne dediščine je bilo treba oblikovati skupne strokovne podlage za spremembo nacionalne zakonodaje ter tehnične smernice in priporočila za ohranjanje, trajnostno rabo in ponovno uporabo ploščastega apnenca kot gradbenega materiala.

Najprej so opisane morebitne omejitve, ki so večinoma povezane z zemljepisno lego objekta, na primer območja *Nature 2000*, ekološko pomembna območja, ožja zavarovana območja ali druge omejitve na območjih naravne dediščine. Poleg tega so podana priporočila in smernice za trajnostno pridobivanje ploščastega apnenca kot gradbenega materiala. Pri tem so obravnavani tudi nekateri posebni primeri, na primer, kaj storiti, če so v njem najdeni redki fosili. Nekateri objekti in območja so zavarovani tudi kot kulturni spomeniki, zato je treba upoštevati tudi vidike ohranjanja kulturne dediščine.

Za morebitne investitorje je posebnega pomena povzetek splošnih arhitekturnih rešitev za objekte, grajene iz ploščastega apnenca, in smernice za ustrezno vgradnjo tega kamna. Po eni strani strokovne smernice nudijo pomembne informacije za posameznike,



Slika 10: Obravnavani reprezentativni objekti s ploščastim apnencem na slovenskem Krasu: (a) domačija Pr' Blaževih v Gorenju, (b) Škrateljnova domačija v Divači, (c) Župnijska cerkev Sv. Elije v Koprivi, (d) cerkev Marijinega vnebovzetja v Povirju/Gura, (e) cerkev Matere Božje vnebovzete v Šmarju. Foto: arhiv projekta RoofOfRock.

krajevne oblasti, strokovnjake in ustanove, ki živijo na območjih s ploščastim apnenecem ali želijo obnoviti obstoječe zgradbe s tem naravnim kamnom, in jim pomagajo razumeti kulturno dediščino, ki iz tega izvira. Posredujejo znanja, ki so bila izgubljena v preteklosti in lahko pomagajo ohranjati naravno in kulturno dediščino prihodnjim generacijam. Po drugi strani pa smernice služijo kot podlaga vsem odločevalcem na državni in krajevni ravni za pripravo zakonov, ki spodbujajo trajnostno rabo ploščastega apnenca in drugih naravnih kamnov.

Ker ploščasti apnenec, tako kot vsi drugi naravni kamni, nima posebnega statusa in je uvrščen med mineralne surovine, je pravna podlaga za njegovo pridobivanje rudarska zakonodaja. Ta določa enaka pravila za majhne odkope kot za velike komercialne kamnolome. Nacionalne rudarske strategije imajo možnost dovoliti izkoriščanje nekaterih vrst mineralnih surovin, ki so edini vir ali pa so redke in potrebne zaradi javnega interesa, ki so v drugem zakonu opredeljeni kot strateški za gospodarski in družbeni razvoj. Med edinstvene mineralne surovine, pomembne za državo ali regijo, sodijo predvsem edinstvene (avtohtone) naravne snovi, ki so del nacionalne identitete ali kulturne in naravne dediščine ter krajine. Kljub temu se naravni kamen obravnava v okviru vseh drugih mineralnih surovin in zanj ne velja nobena izjema. Zato so bile za trajnostno pridobivanje apnenčastih plošč predlagane sledeče rešitve:

- uporaba ploščastega apnenca iz aktivnih kamnolomov z rudarskimi pravicami;
- omejeno pridobivanje ploščastega apnenca iz opuščanih kamnolomov samo za namen obnove kulturne dediščine v neposredni bližini;
- odkopavanje ploščastega apnenca neposredno s površine le z ročnim orodjem, če je to mogoče;
- uporaba ustreznega klanega (klivažirane-ga) apnenca iz aktivnih kamnolomov na Krasu;

- ponovna uporaba plošč iz obstoječih stavb, tudi dotrajanih;
- uporaba ploščastega apnenca iz večjih gradbenih nahajališč, pri čemer se vzpostavi »banka gradbenih materialov« na posebnih urejenih zbirališčih, kjer bi bil ta material dostopen trgu.

Viri:

- Belamarić, J., 2016: *Kamen istočnog Jadrana. Split: Javna ustanova ReraSD*, 127 str.
- Gorjanović-Kramberger, C., 1895: *Fosilne ribe Komena, Mrzleka, Hvara i M. Libanona uz dodatak o oligocenskim ribama Tüfpera, Zagora i Trifalja. Djela jugoslavenske Akademije znanosti i umjetnosti*, 16: 1–67.
- Jurkovšek, B., Kolar-Jurkovšek, T., 2021: *Fosili Slovenije: pogled v preteklost za razmislek o prihodnosti. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije*, 264 str.
- Jurkovšek, B., Cvetko Tešović, B., Kolar-Jurkovšek, T., 2013: *Geologija Krasa. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije*, 205 str.
- Novak, M., 2015: *RoofOfRock Final Thematic Report. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije*. <https://roofofrock.geo-zs.si/Publication/index.html>.
- Novak, M., Biolchi, S., Čebren Lipovec, N., Jež, J., Peternelj, K., Šolc, U., Golež, M., 2015: *Roof of rock. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije; Dubrovnik: Dunea*, 181 str.
- Peternelj, K., 2015: *Skupne smernice in priporočila za spremembo zakonodaje. Publikacija projekta RoofOfRock. Dubrovnik: Dunea d. o. o.*, 54 str.
- Pieri, F., Biolchi, S., 2014: *Platy limestones: 10 case studies in the Classical Karst. Trst: Edizioni Università Trieste*, 48 str.
- Renčelj, S., 2002: *Kras: kamen in življenje. Koper: Libris*, 162 str.
- Šolc, U., Jež, J., Novak, M., Rokavec, D., Peternelj, K., Krivic, M., Jurkovšek, B., Kolar-Jurkovšek, T., Bavec, M., 2014: *Projekt RoofOfRock – usmeritve in priporočila za ohranjanje, sonaravno uporabo in ponovno uporabo ploščastega apnenca kot naravnega mineralnega vira za gradnjo objektov. Mineralne surovine v letu 2013*, 11 (1): 124–130.

Kakšen je življenjski prostor za populacijo evrazijskega risa v severnih Dinaridih in jugovzhodnih Alpah?

Jaka Črtalič, Žan Kuralt, Hubert Potočnik

Na prelomu dvajsetega stoletja so na stičišču Alp in Dinaridov, po dvestoletnem vrtincu izumiranja, izginili še zadnji risi. Po bolj ali manj zanesljivih navedbah so bili na območju današnje Slovenije, Hrvaške ter Bosne in Hercegovine zadnji osebki ubiti ali pa so jih našli mrtve v prvem in drugem desetletju dvajsetega stoletja. Izumiranje je časovno jasno potekalo v smeri proti jugu Balkanskega polotoka, kjer se je na območju med Makedonijo, Albanijo in Kosovom ohranila majhna, izolirana populacija risov, ki jo danes imenujemo balkanska. Na območju jugovzhodnega obrobja Alp in Dinaridov je prostor ostal »prazen« sedemdeset let, dokler niso spomladi leta 1973 slovenski gozdarji in lovci v kočevske gozdove ponovno izpustili tri pare risov iz Slovaškega rudogorja. Ponovna naselitev je bila izjemno uspešna, dejanje pa lahko razumemo kot eno izmed pionirskih naravovarstvenih akcij v Sloveniji. Po skoraj petdesetih letih obstoja »dinarske« populacije, ki se je razvijala v izolaciji od sosednjih populacij risov v Karpatih, švicarskih Alpah ali na jugu Balkana, je risom ponovno grozilo izumrtje. Tokrat v prvi vrsti zaradi parjenja v sorodstvu in posledično izjemno visoke stopnje sokrvja. Bil je skrajni čas za ukrepanje.



Za življenje risa je nujno potrebno kritje, ki ga večinoma omogočajo različne oblike naravne vegetacije, ta mu namreč omogoča njegovo uspešno plenjenje. Foto: Miran Krapež.

Evrazijski ris (*Lynx lynx*) je največja izmed štirih danes živečih vrst risov in tehta od štirinajst do petintrideset kilogramov, v dolžino meri od sedemdeset do sto trideset centimetrov, v višino do petinšestdeset centimetrov. Za razliko od ostalih treh vrst so njegov glavni plen parkljarji, medtem ko so zajci z izjemo najbolj severnih delov območja razširjenosti razmeroma nepomembni. Vrsta je razširjena po večjem delu Severne in Srednje Azije, v nekaterih delih Bližnjega vzhoda in Evrope. Največje evropske populacije so v Skandinaviji, baltskem območju in Karpatih, medtem ko so populacije v srednji in jugovzhodni Evropi, z izjemo balkanske populacije, ponovno naseljene, za vse pa velja, da so majhne in izolirane.

Po dosedanjih najdbah se je evrazijski ris v Evropi prvič pojavil v času riško-würmske medledene dobe ob koncu pleistocena. Kolonizacija je najverjetneje potekala iz Azije preko takrat velikih gozdnih masivov (Orani, 2000). V začetku holocena, ko so bile razmere za risa zelo ugodne, je evrazijski ris hitro širil svoje območje razširjenosti. Do začetka srednjega veka je poseljeval skoraj celotno območje Evrope z izjemo Iberskega polotoka, katerega je poseljeval iberski ris (*Lynx pardinus*). V srednjem veku in nato z viškom po industrijski revoluciji sta se zgodila skokovit porast urbanizacije evropskega prostora in izginjanje velikih gozdnih območij, kar je povzročilo hiter upad tako risa kot tudi njegovega najpomembnejšega plena – evropske srne. Ob hkratnem sistemskem spodbujanju in nagrajevanju ubijanja velikih zveri je ris do druge polovice devetnajstega stoletja skoraj izginil iz večjega dela Evrope (Kos in sod., 2005). Leta 1973 je bilo iz Slovaških Karpatov v Trnovcu v Kočevskem Rogu ponovno naseljenih šest risov (tri samice in trije samci). Vsi doseljeni risi so bili odlovljeni na istem območju in predvidoma delno sorodni med seboj. V naslednjih letih se je populacija hitro širila in po nekaj letih poselila zlasti Kočevsko in Notranjsko v Sloveniji ter Gorski Kotar na Hrvaškem.

Širjenje je bilo zlasti hitro v smeri proti jugovzhodu, proti Hrvaški in Bosni in Hercegovini, saj se v tej smeri raztezajo za risa lahko prehodni obsežni sklenjeni gozdovi. Širjenje proti severozahodu, v jugovzhodne Alpe v Sloveniji, Avstriji in Italiji, pa je bilo precej manj intenzivno in počasnejše. Gozdne koridorje, ki so na območju med Vrhniko in Divačo potekali z dinarskega na alpsko območje, je namreč »presekala« ograena avtocesta Ljubljana–Razdrto (kasneje do Kopra), ki je bila ves čas velika ovira pri njihovem širjenju z dinarskega območja proti Alpam. V vsem obdobju od ponovne naselitve so zaznali le nekaj osebkov severno oziroma zahodno od te avtoceste, v Julijcih ter na mejnem območju v Italiji, a so bili vsi evidentirani osebki samci, razmnoževanja ali samic z mladiči pa niso nikoli zaznali.

Življenjski prostor za katero koli vrsto je razdeljen na »habitatne krpe«, območja z ugodnimi razmerami za vrste, ki so ločena z »matriksom«, območjem, skozi katerega se lahko posamezni osebki premikajo, vendar se v njih ne bodo za stalno naselili, ter na »ovire – bariere«, skozi katere osebki težko prehajajo ali pa skoznje celo ne morejo priti. Fragmentacijo lahko povzročijo naravne ovire, kot so reke, visoke gorske verige ali morja, zaradi česar so vrste razdeljene na populacije in subpopulacije. Z razvojem človeštva se pokrajina spreminja, krči se naravni življenjski prostor, pojavljajo se nove ovire, zato je fragmentacija trenutno prepoznana kot eden od glavnih dejavnikov, ki ogroža živalske vrste in jih močno ovira pri tem, da bi si opomogle.

Ponovna povezanost Vzhodnih Alp z naravnim prehajanjem risov iz dinarske populacije v Sloveniji in na Hrvaškem je ena od prednostnih rešitev za dolgoročno ohranjanje risov v tem delu Evrope. Povezanost med habitatnimi krpami je temeljnega pomena za dolgoročno preživetje katere koli populacije prostoživečih živali, saj neposredno vpliva ne samo na njeno dinamiko in možnosti dolgotrajnega preživetja, pač pa

tudi na možnost za njeno širjenje.

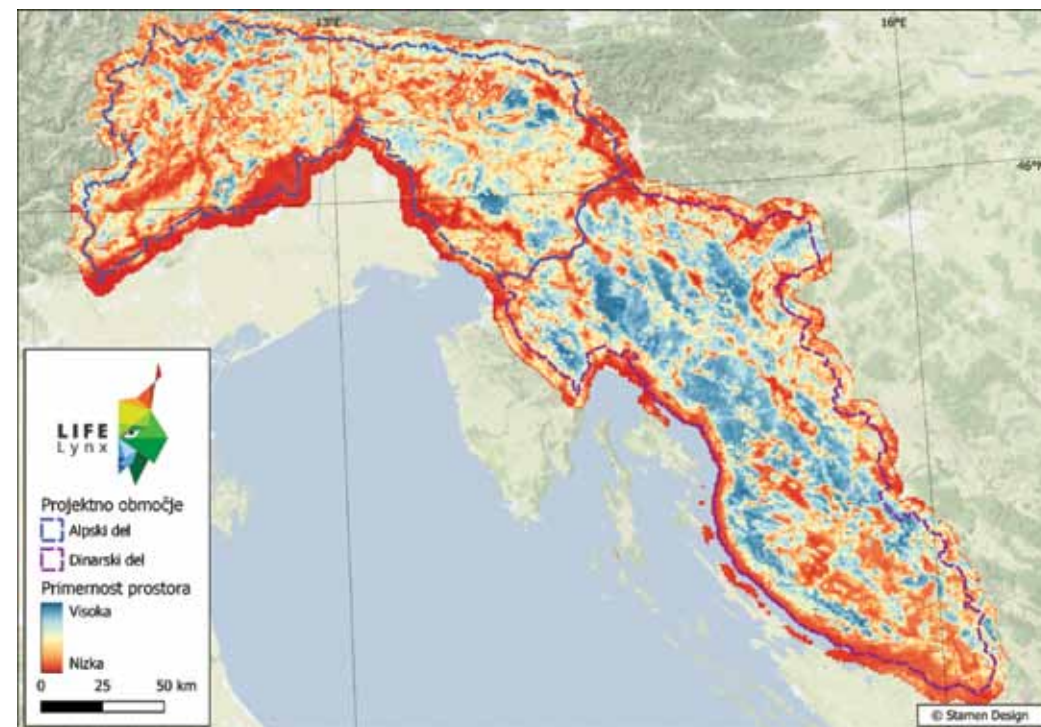
Zaradi tega je izboljšana povezanost prostora med Dinaridi in Alpami, ki bo zagotovila ustrezno število osebkov, ki prehajajo v alpski prostor, in tako tudi genski pretok, ključnega pomena za vzpostavitev za življenje sposobne metapopulacije risov v Alpah in Dinaridih. To pa je glede na potrebe in želje ljudi zelo težko doseči. Povečana urbanizacija na območjih, kjer živi ris, ter razvoj velikih prometnih infrastruktur, kot so avtoceste, sta v zadnjih letih v Sloveniji in v sosednjih državah še povečala ta izziv.

Z namenom ohranitve dinarsko-jugovzhodnoalpske populacije risa smo v sklopu projekta LIFE Lynx *Reševanje risa v Dinaridih in jugovzhodnih Alpah pred izumrtjem* leta 2017 pričeli doseljevati rise iz slovaškega in romunskega dela Karpatov. Prednostno

je bilo namreč treba preprečiti nadaljnjo izgubo genetske pestrosti oziroma povečanje sokrvja, ki bi zagotovo vodili v hitro izumrtje populacije v prihodnjem desetletju. Ob doselitvah risov na ključna območja v Dinaridih v Sloveniji in na Hrvaškem ter v Alpah v Sloveniji pa je skupaj z drugimi naravovarstvenimi ukrepi ključno vzpostaviti povezavo med sedaj ločenima subpopulacijama iz Dinaridov in jugovzhodnih Alp. Zato je bilo treba narediti podrobno analizo primernosti in povezljivosti prostora, ki bo omogočilo oblikovanje strategije obnovitve populacije.

Sodobni računski postopki, ki obsegajo metode strojnega učenja, so v ekoloških raziskavah pogosto uporabljeni. V okviru analize primernosti prostora smo tako izdelali model primernosti prostora za evrazijskega

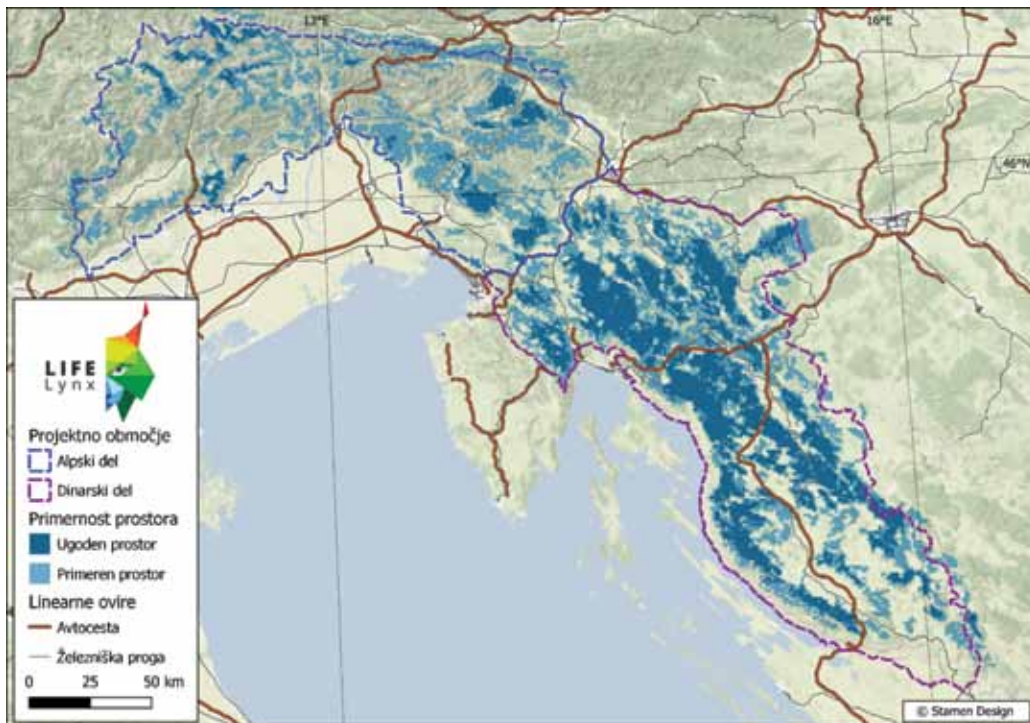
Slika 1: Zvezna napoved primernosti prostora za evrazijskega risa. Modri odtenki predstavljajo ugoden prostor za risa, rdeči odtenki pa neugodnega. V obeh primerih pa gre za (večje) strnjene gozdne komplekse. Razlika med območjema je še bolj očitno razvidna na sliki 2, ki prikazuje habitatne krpe primerne (svetlo modri odtenki) in ugodne (temno modri odtenki) prostora.



risa na območju jugovzhodnih Alp in severnih Dinaridov, ki predstavlja most oziroma »stepping stone« (odskočno desko) med omenjenima deloma populacij. Pri tem smo uporabili metodo največje entropije (Maxent), ki se je v dosedanjih študijah pokazala za izredno robustno in omogoča izdelavo tovrstnih modelov z uporabo podatkov o pojavljanju vrste ter okoljskih podatkov. V našem primeru smo uporabili podatke telemetričnega spremljanja enaintridesetih risov ter mesta zbranih neinvazivnih genetskih vzorcev risa, okoljski sloji pa so obsegali podatke o gozdnatosti, vplivu človeka, naklonu terena ter nadmorski višini. S tem smo želeli zajeti vse ključne dejavnike, ki vplivajo na navzočnost oziroma nenavzočnost risa. Vsekakor bi bilo dobro, če bi vključili tudi podatke o biotskih medsebojnih vplivih (volk in ris na primer sta posre-

dna tekmeča za plen, medved je pomemben kleptoparazit oziroma mrhovinar na risjem plenu), a ti podatki za celotno območje raziskave na žalost niso na voljo. Iz zvezne napovedi modela (slika 1) je razvidno, da je večji del Dinarskega območja primeren za risa, medtem ko so krpe ugodnega prostora v alpskem območju razmeroma majhne in ločene z globokimi alpskimi dolinami. Model primernosti prostora torej napoveduje primernost prostora za vzpostavitev teritorijev rezidentnih (stalno naseljenih) risov. Na prehodnost prostora pa poleg primernosti vplivajo tudi drugi dejavniki, saj se bodo osebk v disperziji oziroma v času osamosvajanja (iskanja lastnega teritorija) verjetno gibal tudi v manj ugodnem življenjskem prostoru. Rezultate (slika 3) analize prehodnosti prostora (angleško *Landscape permeability*) bi tako lahko interpretirali kot ne-

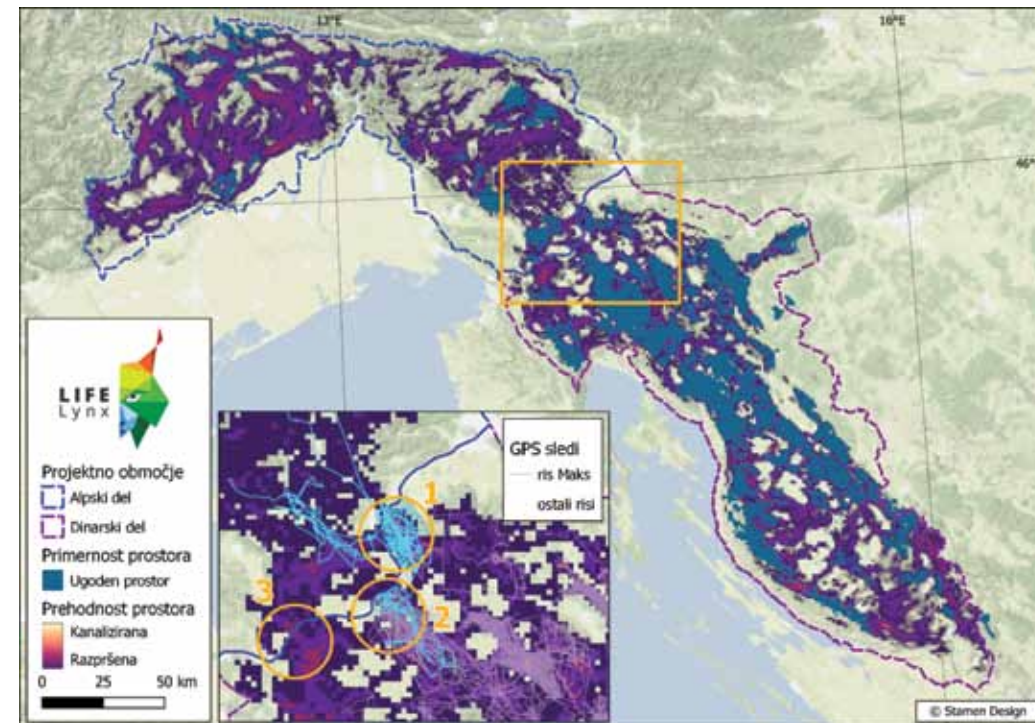
Slika 2: Krpe primerne (svetlo modri odtenki) in ugodne (temno modri odtenki) prostora. Opaziti je velike površine ugodnega prostora v dinarskem delu, medtem ko je krp ugodnega prostora v Alpah bistveno manj. Prikazane so tudi avtoceste in železniške proge – linearne prepreke, ki lahko pomenijo veliko oviro za gibanje risa.



kakšno »prometno« omrežje za mlade rise v iskanju teritorija. Ponekod je prehodnost razpršena (vijolični odtenki), kar v praksi pomeni, da se žival lahko neovirano premika skozi prostor. Na nekaterih območjih pa je prehodnost izrazito kanalizirana (rožnati in rumeni odtenki), kar pomeni, da ima ris le malo možnosti za drugačno pot. Primeri, ko taka »ozka grla« presekajo linearne ovire (na primer avtoceste, železnice), so še posebej problematični, saj so take ovire za risa lahko skoraj neprehodne. Nazoren primer takšne ovire je ograjena avtocesta Ljubljana-Koper, ki je bila zgrajena (odsek od Vrhnike do Postojne) leta 1972, v časih, ko se o prehodnosti prostora za živali še ni razmišljalo. Avtocesta tako prečka

gozdnate grebene severnih Dinaridov in z le nekaj cestnimi podvozi in nadvozi ustvari pregrado, ki osrednji življenjski prostor velikih zveri v Sloveniji razreže na dva dela. To potrjujejo telemetrični podatki risov (in drugih velikih zveri), ki kažejo, da je prehodnost avtoceste na nekaterih odsekih močno omejena, na odseku Unec–Postojna na primer (uspešnega) prečkanja še nismo zabeležili. Zato so načrti za izgradnjo zelenega mostu na tem odseku zagotovo upravičeni. Kako pomembni so zeleni mostovi, pričajo podatki z bližnjega avtocestnega odseka Zagreb–Reka, dolgega 68,5 kilometra, ki teče skozi osredje Gorskega kotarja, ki je del širšega kompleksa primerne življenjskega prostora za risa. Zaradi razmeroma zahtev-

Slika 4: Slika prikazuje možno prehodnost prostora, prekrito z ugodnimi habitatnimi krpami. Jasno je razvidno, da so zaplate ugodnega prostora predvsem v Dinaridih dobro povezane, medtem ko so razdalje med krpami ugodnega prostora v alpskem delu nekoliko večje. Poleg tega je jasno, da avtocesta Ljubljana-Koper prečka tri možne koridorje, prvi je odsek Vrhnika–Unec, drugi Unec–Postojna, kjer je načrtovan zeleni most, in tretji Postojna–Divča. Na vstavljeni karti so označeni ti trije koridorji, hkrati pa so prikazane sledi z GPS-ovratnico opremljenih risov. Posebej je prikazana sled risa Maksa (svetlo modra črta), ki je sprva neuspešno iskal prehod na odseku med Uncem in Postojno, nato pa je avtocesto večkrat prečkal na odseku med Vrhniko in Logatcem.





Evrazijski ris v primerjavi z drugima dvema vrstama velikih zveri (volkom in medvedom) veliko težje premaguje ovire v prostoru, ki jih povzroča človek s širjenjem obsežnih urbanih in kmetijskih površin ter gradnjo velikih prometnic. Foto: Matej Vranič.

nega reliefa je na tem avtocestnem kraku triinštirideset viaduktov in predorov in eden sto metrov široki zeleni most, ki je posebej zasnovan za prehajanje živali, kar predstavlja kar petindvajset odstotkov dolžine avtoceste. Skupaj je bilo s pomočjo senzorjev gibanja in fotografskega spremljanja v 793 dneh zabeleženih 12.519 prehodov velikih sesalcev. Rezultati raziskave so pokazali, da v takem primeru izgradnje avtoceste, ko je na petindvajsetih odstotkih dolžine avtoceste prehod velikim sesalcem omogočen, povezljivost življenjskega prostora zadostno ohranjena. Zanimivo je, da je preko sto metrov dolgega zelenega mostu prešlo 13,3 odstotka več živali kot pod vsemi ozkimi (od pet do petnajst metrov dolgimi) podhodi na tem avtocestnem odseku (Kusak in sod., 2009).

Evrazijski ris je nedvomno ena od bolj zahtevnih vrst glede izbire življenjskega prostora v pokrajini s prevladujočim vplivom človeka. Poleg gostote plena je ključen dejavnik pri določanju ustreznosti življenjskega prostora tudi možnost kritja, ki ga ta ponuja. Največkrat se to kaže v obsegu gozdnih in drugih sonaravnih površin, kot so grmišča, zaraščajoče površine ali višja vegetacija. Kljub temu ga lahko najdemo vse od odprtih območij v Srednji Aziji pa do tundre v severnejših zemljepisnih širinah (Breitenmoser in sod., 2000; Potočnik in sod., 2020). Risi se navadno izogibajo urbanim strukturam oziroma območjem s povečano človekovo aktivnostjo in izbirajo okolja s povezanimi gozdnimi kompleksi (Ripari in sod., 2022). Potočnik in sodelavci (2020) so posodobili model, ki ga je pripravil Skrbinšek (2004) za določanje primernosti življenjskega prostora za evrazijskega risa na območju Dinaridov in jugovzhodnih Alp. Po oceni modela je na območju Dinarskega gorstva 11.400 kvadratnih kilometrov primerne prostora za risa, na območju jugovzhodnih Alp pa 9.500 kvadratnih kilometrov. Problem predstavljata predvsem velika fragmentacija primernih habitatnih krp in razmeroma slaba povezljivost med njimi.

Po naših ocenah so te številke nekoliko bolj konzervativne, saj v Alpah skupna površina krp z ugodnim življenjskim prostorom znaša 706 kvadratnih kilometrov, skupna površina krp s primernim življenjskim prostorom pa 3.915 kvadratnih kilometrov, medtem ko je v Dinaridih ugodnega življenjskega prostora 4.119 kvadratnih kilometrov, primerne pa 8.306 kvadratnih kilometrov.

Zaradi visoke stopnje urbanizacije in krčenja primerne življenjskega prostora so številne populacije in subpopulacije risa po Evropi in v svetu močno fragmentirane in izolirane. V primerih številčno majhnih populacij je visoka stopnja izoliranosti velik problem in brez zunanjega genetskega pritoka s časom pride do težav zaradi parjenja v sorodstvu in posledično izginotja populacije (Lima, Zollner, 1996; Collingham, Huntley, 2000; Thomas, Baguette, Lewis, 2000). Veliko vlogo pri ohranjanju stabilnosti populacij ima izmenjava genetskega materiala med posameznimi subpopulacijami. Ključno vlogo pri širitvi genov imajo mladi risi, ki po približno enem letu zapustijo rodni teritorij in poskušajo poiskati nezaseden teritorij ter partnerja. Iz rezultatov raziskave o značilnostih disperzije oziroma razširjanja risov na Jurskem pogorju v Švici je razvidno, da risi tudi v času disperzije, ko bi pričakovali, da bodo zaradi notranje želje po odselitvi izbirali tudi manj primerne življenjske prostore, še vedno občutno raje izbirajo območja z večjo pokritostjo z gozdom (Zimmermann, 2004). Kar 85,5 odstotka vseh lokacij dispergerjev je bilo zajetih znotraj gozdnih površin, kljub temu da je bilo na območju študije od naključno razpršenih točk kar 51,8 odstotka na negozdnih površinah.

Sodeč po dosedanjem poznavanju in izkušnjah bi morali v prihodnje vidike ohranjanja primerne življenjskega okolja risa vključevati tudi vpliv podnebnih sprememb. Gorska okolja veljajo za posebej ogrožena, pri čemer se globina in trajanje snežne odeje v zadnjih desetletjih močno zmanjšujeta (Beniston in sod., 2003), spreminja se

naravna vegetacija (Gehrig-Fasel in sod., 2007), povečuje pa se tudi tveganje za spreminjanje in širjenje novih/tujerodnih plenilcev/kompetitorjev (tekmecev), kot je na primer evrazijski šakal (*Canis aureus*) (Potočnik in sod., 2019). Vsi omenjeni dejavniki bi lahko pomembno vplivali tako na razpoložljivost prehranskih virov za rise kot tudi na količino razpoložljivega ustreznega prostora

zanje. Ne glede na to pa prizadevanja za ohranjanje območij in koridorjev med habitatnimi krpami, zmanjševanje vpliva (zlasti) linijskih ovir (avtocest) in, po potrebi, »imitacija« razširjanja s premestitvami oziroma translokacijami osebkov ostajajo pomemben del varstvenih ukrepov za vzpostavljanje panevropske metapopulacije risa v Evropi.



Doc. dr. Hubert Potočnik je zaposlen na Oddelku biologijo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Deluje v raziskovalni skupini za ekologijo živali na Katedri za ekologijo in varstvo okolja, kjer študentom podaja tematiko s področja ekologije živali in preučevanja ekosistemov. Osrednja tema njegovega raziskovalnega in strokovnega dela je preučevanje velikih sesalcev, zlasti velikih zveri – njihove ekologije, upravljanja in varstva. Pri svojem delu sodeluje pri razvoju in optimizaciji spremljanja in upravljanja s prostoživečimi populacijami živali doma in v tujini. Med drugim je tudi član mednarodne skupine strokovnjakov za spremljanje in preučevanje populacij volkov v alpskem prostoru WAG (Wolf Alpine Group).



Jaka Črtalič je zaključil magistrski študijski program ekologije in biodiverzitete na Biotehniški fakulteti v Ljubljani, kjer je tudi zaposlen. V zadnjih petih letih sodeluje pri različnih naravovarstvenih in znanstvenih projektih na temo velikih sesalcev in predvsem velikih zveri. Ukvarja se s telemetričnim spremljanjem velikih zveri in analiziranjem pridobljenih prostorskih podatkov.



Dr. Žan Kuralt je biolog in ekolog z Oddelka za biologijo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, kjer je nedavno tudi doktoriral. V doktorski nalogi se je ukvarjal s plenilskimi členonožci tal pragozda Krokar. Raziskovalno je razcepljen med pajke in velike zveri, ki jih preučuje na terenu in v laboratoriju. Pri tem uporablja moderne računske metode. Na oddelku se najraje pripelje po dveh kolesih.

Podoba stvarnosti – znanstvena ilustracija

Marija Nabernik

Z ilustracijo se v svojem življenju srečamo zgodaj. Običajno je naš prvi spomin nanjo povezan s slikanico. Če še malo pobrskamo po spominu, se spomnimo, da smo listali in gledali slikanice z leposlovno vsebino in takšne, ki so obravnavale poljudnoznanstvene teme. Ilustracijo zato lahko delimo na domišljijско in stvarno. Takšna razdelitev je lepo razpoznavna tudi iz zbirke knjižnih *Čebelic*, ki so pri nas izhajale pri založbi Mladinska knjiga. V njenih objavah je bila v času, ko je zbirko urejala Kristina Brenkova, redno prisotna tudi poljudnoznanstvena vsebina (Jurc, 2021).

Četudi me je znanstvena ilustracija spremljala ves čas mojega izobraževanja, sem se z njenim ustvarjanjem soočila veliko kasneje. Prvič kot študentka grafičnega oblikovanja na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje v Ljubljani. V času mojega študija ilustracije pri nas še ni bilo mogoče

študirati kot samostojne likovne discipline, vpeta je bila v študij načrtovanja vizualnih komunikacij. Pod mentorstvom profesorja Zdravka Papiča (1953–2013) smo se študenti udeleževali mednarodnih likovnih delavnic *Kaverljag*, kjer smo se lotevali tudi projektov iz ekologije in ohranjanja na-

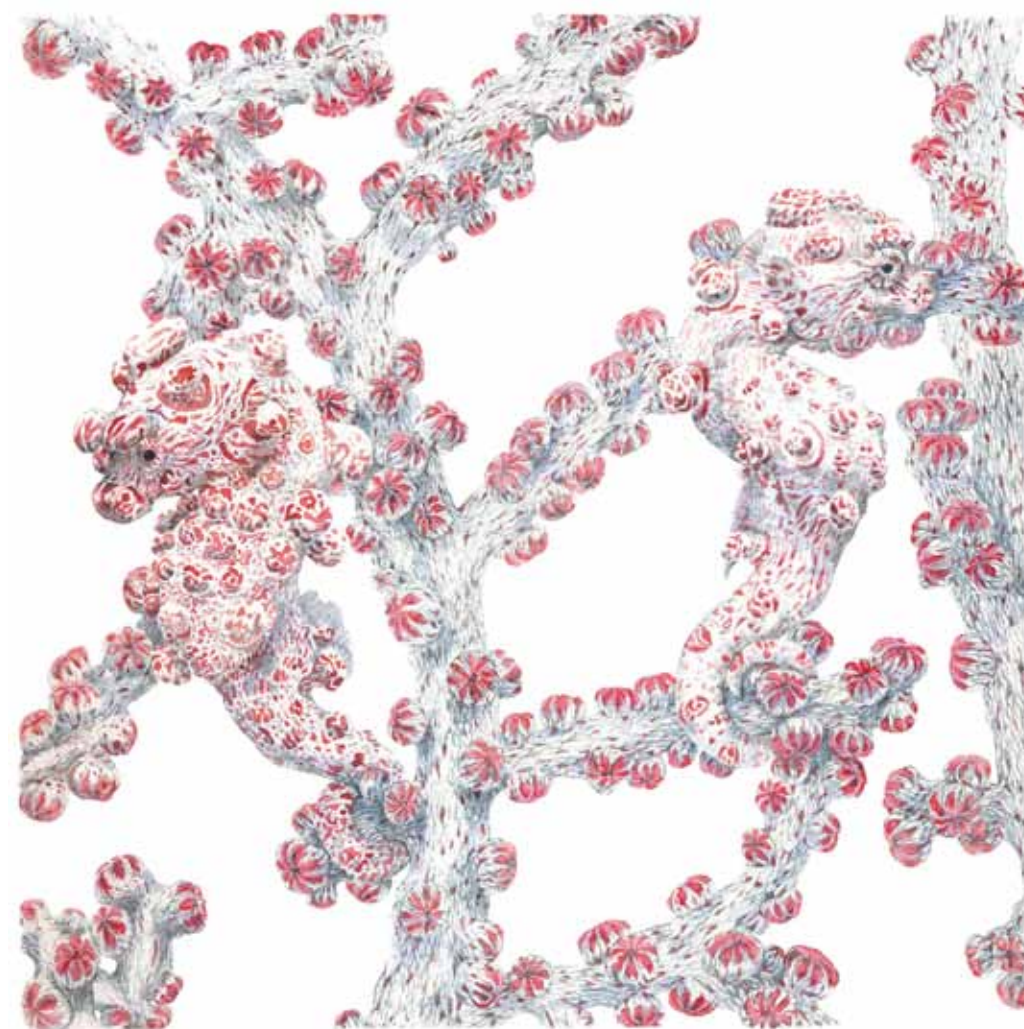
Slika 1: Poljudnoznanstvene ilustracije za otroke puščajo nekoliko več prostora za lastni likovni izraz kot znanstvene ilustracije. France Bevk, 1960: Luna. Ljubljana: Mladinska knjiga. Ilustriral Mirko Lebez.



rave, posledično tudi znanstvene ilustracije. Profesor Papič je bil tudi ustanovitelj študijske smeri ilustracije. Ilustracijo je skušal razvijati v njeni čim večji zvrstni širini, s tem je sledil primerljivim študijem v tujini. Ilustracija je od uvedbe bolonjskega sistema študija postala samostojna študijska smer tudi na akademiji. Z ustanovitvijo katedre za ilustracijo skrbimo za pregled nad stroko, njen razvoj in uresničevanje zastavljene vizije. O ilustraciji razmišljamo širše in študen-

tom ponujamo možnost, da spoznajo njena različna področja, kot so pripovedniška, dokumentarna, izobraževalna, referenčna, komentatorska, oglaševalska in identitetna, ki jih obravnavamo kot osnovne kategorije ilustracije po ilustratorju, akademiku in profesorju Alanu Maleu (Male, 2017). Študenti ilustracije na ljubljanski Akademiji se s področjem znanstvene ilustracije soočijo že na prvi stopnji študija, še bolj poglobljeno pa jo obravnavajo na drugi.

Slika 2: Primer ilustracije divjine. Zanj je značilno, da prikazuje idealizirani izsek iz življenjskega prostora rastlin ali živali. Marija Nabernik: Mimikrije: Hippocampus bargibanti. Akvarel, 30 centimetrov x 30 centimetrov, 2014.





Slika 3: Marija Nabernik: Mokasta ramalina (Ramalina farinacea). Tempera na papirju, velikost ilustracije: 25 centimetrov x 10 centimetrov, Kaverljag 2004 (Oblikovanje likovnih ilustracij lišajev glede na morfološke tipe: Delavnica Kaverljag 008 od 12. do 21. julija 2004: Lišajska karta Slovenije – kartografsko gradivo; založništvo in izdelava: Koper – Studio Piranesi, 2006).

Ilustracija torej sodi na področje vizualnih komunikacij (Male, 2019: 9). Gre za disciplino, ki je tesno povezana tako z likovno umetnostjo kot načrtovanjem vidnih sporočil. Pri znanstveni ilustraciji je povezava še širša. Poznavati je namreč treba posamezne znanstvene discipline. V znanosti je ilustracija pomembna vizualna komunikacija (Wood, 1994: VII). Po svoji vlogi je lahko dokumentarna, referenčna ali izobraževalna. Uveljavila se je tudi delitev glede na strokovna področja, tako poznamo naravoslovno ilustracijo, medicinsko ilustracijo, ilustracijo divjine (Hodges, 2003). Znanstvena ilustracija je po svoji naravi torej interdisciplinarna in pripada vizualnim komunikacijam. Gre za področje ustvarjanja, ki od avtorja zahteva likovno znanje, poznavanje področja vizualnih komunikacij in naklonjenost znanosti. Med likovnim in znanstvenim gradi mostove, ki ustvarjajo nove načine komuniciranja. Znanstveni ilustrator mora temo dobro poznati, da jo lahko upodobi, zato pogosto sodeluje s strokovnjakom področja, ki ga obravnava. Delo

pogosto zahteva številne konzultacije. Za ta tip ilustracije je najprej značilno, da je zvesta vsebini in njenemu podajanju. Ključno je tudi dobro načrtovanje vizualne predstavitve, poznavanje ciljne publike, izbira primernih upodobitvenih tehnik in izbor prave oblike ilustracije. Kadar znanstveno ilustracijo opazujemo z vidika oblike, lahko opazimo pet izrazitih oblik: sekvenčno, naturalistično, tehnično, informacijsko in konceptualno. Pri sekvenčni ilustraciji je izrazito v ospredju sestavina časa. Ilustracija razlaga vsebino v nekem časovnem sosledju, podobno kot to počne strip v domišljjski ilustraciji. Podoba je tako razdeljena na sekvence, ki kažejo določeno stanje ob različnih zaporednih časih. Primer sekvenčne ilustracije bi bil v znanstveni ilustraciji prikaz življenjskega cikla rastline ali živali. Na sliki 6 je prikazan srčni utrip v štirih fazah. Naturalistična ilustracija kaže predmet obravnave čim bolj zvesto njegovemu neposrednemu vtisu. Po svoji naravi je mimetična, posnemovalna. A tudi če ilustrator kako temo prikazuje mimetično, je



Slika 4: Shema stvarne ilustracije, ki izvira iz ilustratorske prakse.

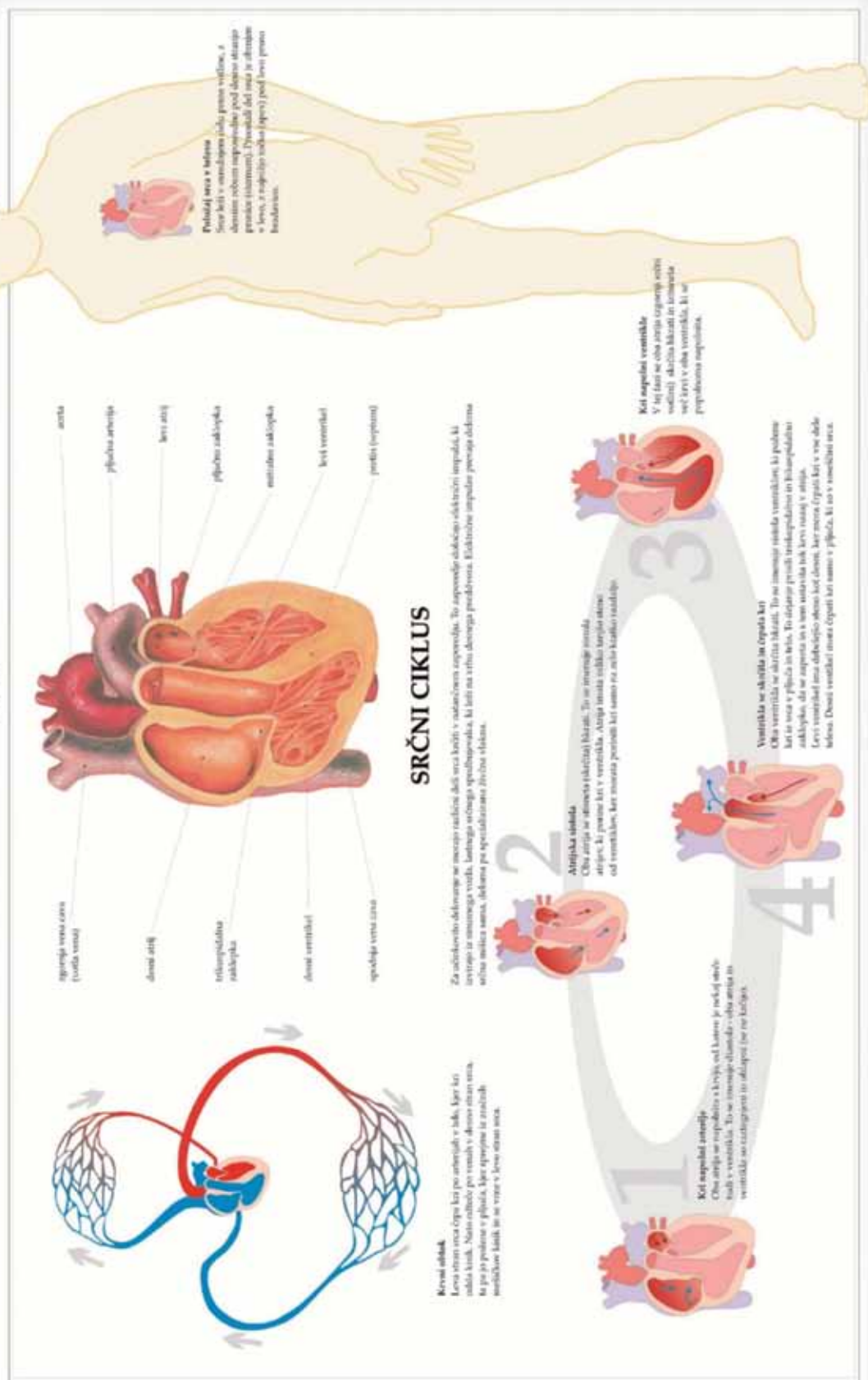
pri tem početju selektiven, prikazanega ne posnema fotografsko. Med prikazovanjem nekatere vsebine poudarja, pri drugih pa se odloči za redukcijo, poenostavitve. Vse to

počne zaradi jasnejše komunikacije. Primeri takšnega prikaza bi bili življenjski prostor na sliki 2 ali lišaj na sliki 3, na sliki 6 pa osrednja ilustracija, ki naturalistično prika-

	STVARNA ILUSTRACIJA		
PODROČJA	Eksaktne in naravoslovne znanosti: matematika, logika, kibernetika; fizika, mehanika; astronomija; kemija; biologija, botanika, zoologija, genetika, biokemija, biofizika, ekologija; geologija, meteorologija, geofizika; geografija. Tehnične (inženirske) znanosti: metalurgija, rudarstvo; strojništvo; gradbeništvo; elektrotehnika, elektronika, računalništvo; aeronavtika; kemijska tehnologija; tekstilna tehnologija; geodezija; obča tehnologija. Medicinske znanosti: medicina, mikrobiologija; stomatologija; farmacija. Agrarne (biotehniške) znanosti: agronomija; gozdarstvo, lesarstvo; živilska tehnologija; veterina. Družbene znanosti: politologija; ekonomija, statistika; informatika, komunikologija; sociologija; zgodovina; arheologija; geografija; etnologija; antropologija. Humanistične znanosti in znanosti o umetnosti: filozofija, estetika, filologija, lingvistika; psihologija, pedagogika, didaktika; literarna in umetnostna zgodovina, muzikologija.		
VLOGE	Dokumentarna	Referenčna	Izobraževalna
PRIMERI	Učni plakati, učbeniki, delovni zvezki, učna gradiva, družabne igre, priročniki, strokovne monografije, predavanja, tehnična navodila, diorame, embalaže zdravil ...		

Slika 5: Razpredelnica prikazuje širino področij stvarne ilustracije, kakšne so njene vloge ter kateri so praktični primeri ilustracij.

SRCE (COT)



Slika 6: Marija Nabernik: Srce. Plakat 100 centimetrov x 70 centimetrov, 2005 (študijski projekt pod mentorstvom prof. Zdravka Papiča), Plakat prikazuje različne oblike ilustracije (naturalistično, informacijsko, sekvenčno).

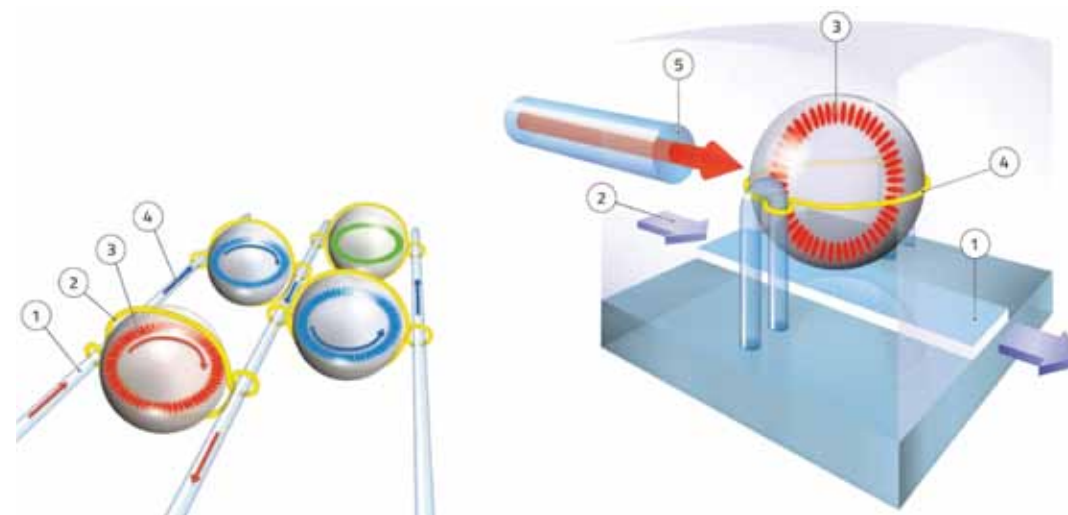
zuje srce v prerezu. Pri tehnični ilustraciji je najpomembnejše merilo. Ilustracije so izdelane v natančnem razmerju do prikazanega. Tehnične ilustracije običajno prikazujejo v prerezu, v transparentah (nekateri deli predmeta so naslikani, kot da so prosojni, zato da se vidi vsebina v njegovi notranjosti) ali razstavljene (na primer podoba prereza podmornice). Najdemo pa jih tudi v tehničnih navodilih, ki nas učijo, kako nekaj sestaviti ali razstaviti. Za informacijsko ilustracijo velja, da je največkrat shematska. Razlaga posamezne dele kake celote. Zanj je pogosta uporaba grafičnih elementov, kot so kazalke, ali uporaba tipografskih elementov, kot so črke oziroma števila, ali pa ilustracijo spremlja legenda, razlaga (slika 7, na sliki 6 je to primer krvnega obtoka ali prikaz položaja srca v telesu). Pri snovanju takšne ilustracije pogosto sodeluje informacijski oblikovalec. Konceptualna ilustracija pred-

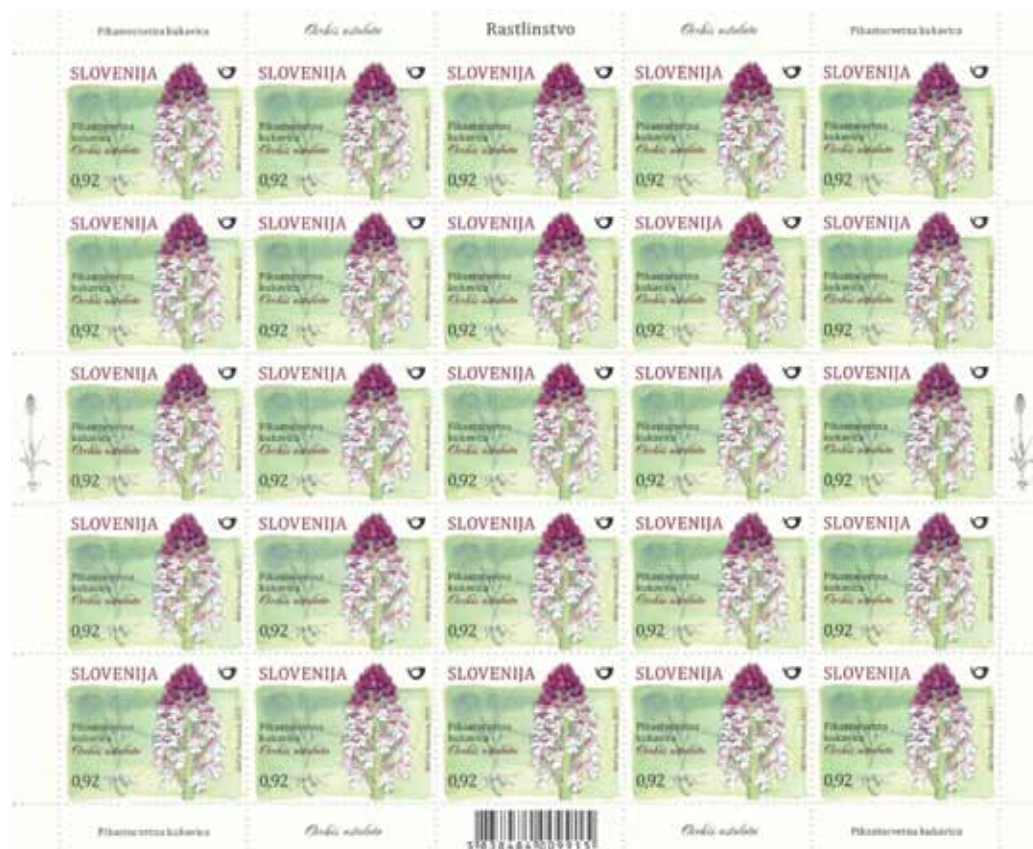
stavlja kako širše področje v eni ilustraciji. Povzema širši koncept. Njeni avtorji večkrat uporabljajo vidne metafore. Najdemo jo na naslovnica znanstvenih revij ali pa kot del člankov v obliki grafičnih povzetkov. V strokovnih revijah so grafični povzetki člankov ali vidna predstavitev teme postali pravilo ob snovanju vsebine.

Formo znanstvene ilustracije lahko razlagamo tudi kot bližanje ilustracije enemu ali drugemu koncu daljice, na enem koncu je figurativno, na drugem pa abstraktno. Ta razlaga se nanaša na stopnjo stilizacije posamezne podobe, pa tudi premikanje ilustracije v ilustrirane diagrame vse do vidne predstavitve podatkov, kjer pride do prepleta različnih strok vizualnih komunikacij (ilustracije, tipografije, oblikovanja, fotografije ...) znotraj vidnih predstavitev v znanosti (Christiansen, 2018).

Kako zahtevne podobe smo zmožni prebrati, je odvisno od naše vizualne pismenosti. Torej od tega, koliko smo sposobni intuitivno razumevati predstavljene podobe na podlagi izkušenj. Še pomembneje pa morda je, kako smo se naučili podobe razumevati in brati pri izobraževanju (pri likovnem pouku,

Slika 7: Primer informacijske ilustracije. Marija Nabernik: Topos. Digitalna (vektorska) ilustracija. 2015.





Slika 8: Ilustracija za poštno znamko. Marija Nabernik: Pikastocvetna kukavica. (Pola poštne znamke). 2014.

zgodovini umetnosti in podobno). Na nekaterih strokovnih področjih je pomembno tudi poznavanje kodov in konvencij, da lahko podobo smiselno interpretiramo. Eden takšnih nazornih primerov dogovora o rabi barve je medicinska ilustracija, kjer modra barva predstavlja vensko kri, rdeča pa arterijsko. Pri tovrstnem upodabljanju ilustrator uporablja konceptualne rešitve in se oddaljuje od naturalističnega prikaza. S takšnim upodabljanjem tistemu, ki se uči, pomagamo, da lažje razločuje drugo od drugega, posledično hitreje bere podobo in pomni ključne informacije, ki jih podoba nosi. Kode in konvencije podajanja vsebine se razvijajo v času in so lahko dobro premišljeni in načrtovani, včasih tudi ne, a se kljub temu uveljavijo v nekaterih strokovnih krogih.

Idealno bi bilo, da pri njihovem nastanku sodeluje načrtovalec vizualnih komunikacij. Znanstveno ilustracijo zaradi njenih estetskih kvalitet pogosto uporabljajo tudi v bolj poljudne namene, na primer na poštne znamkah ali na razstavah, kjer je ločena od strokovnega besedila, v katerem se je pojavljala (slika 8). Ob tem ne smemo pozabiti njenih osnovnih vlog. Znanstvena ilustracija je ključna v izobraževalnem procesu in kot taka nepogrešljiva v učilih. Spremlja nas v učbenikih, na didaktičnih pripomočkih, učnih plakatih, v strokovnih člankih, znanstvenih monografijah, zadnje čase tudi v oblikah za splet, nemalokrat v obliki aplikacij in interakcij, ki jih ponujajo nova predstavljena okolja. Da znanstveni ilustraciji tisti, ki se učimo, ne namenimo pretirane

pozornosti, ni nujno slabo. Kolikor manj smo pozorni nanjo, toliko bolj je narejena, saj nas usmerja v branje vsebine. Podobno kot se ne ukvarjamo z izbrano pisavo, ko beremo roman, kadar je ta dobro izbrana.

Teoretsko raziskovanje ilustracije se je v zadnjih letih usmerilo v celostno obravnavo področja. Strokovni literaturi o ilustraciji se je pridružila celostna kronološka raziskava ilustracije, ki namenja pozornost razvoju ilustracije v svetovnem merilu (Doyle, 2018). Če iz časovne razdalje lažje razmišljamo o zgodovinskih vidikih ilustracije, sodobno ilustracijo težko ukalupimo, saj namenoma raziskuje mejna področja in se podaja v neznanu v interdisciplinarnih projektih.

V Sloveniji je znanstvena ilustracija žal še vedno velikokrat spregledano področje vizualnih komunikacij, čeprav premoremo številne izredno kakovostne avtorje. Večina jih ima akademsko izobrazbo, tisti starejši večinoma slikarsko, nove generacije pa že ilustratorsko. Na Katedri za razvoj ilustra-

cije se zavedamo vlog ilustracije, poznamo poslanstvo ilustratorja in si prizadevamo za vzpostavitev standardov kakovosti na tem področju. Izobraževanje bodočih ilustratorjev je pri tem ključno.

Literatura:

Jurc, A., 2021: *Literarna zapuščina Kristine Brenkove, ki »je spravljalna dobesedno vse«, v pregledni monografiji*. Na: <https://www.rtvsl.si/kultura/knjige/literarna-zapuscina-kristine-brenkove-ki-je-spravljalna-dobesedno-vse-v-pregledni-monografiji/605463>. Dostopno 17. 12. 2021.

Male, A., 2017: *Illustration: a theoretical and contextual perspective*. London: Bloomsbury.

Male, A., 2019: *The Power and Influence of Illustration: Achieving Impact and Lasting Significance through Visual Communication*. London: Bloomsbury Visual Arts.

Wood, P., 1994: *Scientific Illustration*. New York: John Wiley & Sons.

Hodges, R. S. E., 2003: *The Guild Handbook of scientific illustration*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Christiansen, J., 2018: *Visualizing Science: Illustration and Beyond*. Na: <https://blogs.scientificamerican.com/sa-visual/visualizing-science-illustration-and-beyond/>. Dostopno 24. 4. 2023.



Foto: Joe Pansa.

Doc. mag. Marija Nabernik je visokošolska učiteljica, zaposlena na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje na Univerzi v Ljubljani, ter ilustratorica in oblikovalka. Na ilustratorsko pot se je podala kot študentka grafičnega oblikovanja na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje. Leta 2006 se je izpopolnjevala na področju ilustracije in grafičnih tehnik na praški Akademiji za umetnost, arhitekturo in oblikovanje UMPRUM. Dodiplotski študij na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje zaključila leta 2007 pod mentorstvom prof. Tomaža Kržišnika, podiplomskega leta 2012 z magistrskim delom *Znanstvena ilustracija v Sloveniji in vpliv sodobnih medijev na to področje* pod mentorstvom prof. dr. Staneta Bernika in prof. Zdravka Papica. Med študijem

za prispevke s področja ilustracije prejme priznanje (2005) in nagrado Akademije za likovno umetnost in oblikovanje (2007), skupinsko zlato nagrado Evropske skupine izobraževalnih založnikov (European Educational Publishers Group, EEPG) (2005) ter nagrado Primavera (2011), ki jo podeljuje Društvo likovnih umetnikov Maribor (DLUM). V letih od 2009 do 2015 je bila samozaposlena v kulturi kot oblikovalka vidnih sporočil in ilustratorica. Posveča se avtorskim projektom s področja grafičnega oblikovanja in ilustracije ter pedagoškemu delu. Kot višješolska predavateljica je sodelovala z Inštitutom in akademijo za multimedije (IAM), kot zunanja sodelavka pa z Akademijo za likovno umetnost in oblikovanje. Leta 2015 se zaposli na Oddelku za oblikovanje vizualnih komunikacij na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje, kjer prevzame vodenje študijske smeri ilustracije. Pri poučevanju in ustvarjanju je njeno delo usmerjeno na področje poljudnoznanstvene in znanstvene ilustracije. Meni, da kakovostnega ilustratorja poleg obvladovanja večin odlikuje poznavanje zgodovinskega in teoretskega okvira ilustracije. Njena dela lahko zasledimo v objavah strokovnih in znanstvenih člankov ter na vrstnih ilustratorskih del v domače (Bienale slovenske ilustracije) ter mednarodne selekcije (Castr, Zlato pero Beograda, Illustraciencia – častna omemba leta 2016).

Prof. dr. Radovan Komel, zaslužni profesor Univerze v Ljubljani in Zoisov nagrajenec za življenjsko delo

Damjana Rozman

V veselje mi je napisati nekaj besed o življenjskem delu prof. Radovana Komela, ki ga bralci revije *Proteus* dobro poznajo po uredniškem delu in po vsakoletnih predstavitev Nobelovih nagrajencev (na primer za medicino oziroma fiziologijo). Pozna pa ga tudi širša javnost po številnih nastopih v javnih medijih, kjer je zapletene skrivnosti življenja, povezane z biokemijskimi procesi, znal razložiti na tak način, da mu je vsakdo rad prisluhnil.

Prof. dr. Radovan Komel je upokojeni redni profesor biokemije in molekularne biologije na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani, kjer je na Inštitutu za biokemijo (sedaj Inštitutu za biokemijo in molekularno genetiko) vodil Medicinski center za molekularno biologijo. V letih od 1992 do 2011 je deloval tudi na Kemijskem inštitutu, kjer je vodil Laboratorij za biosintezo in biotransformacije (sedaj Laboratorij za molekularno biologijo in nanobiotehnologijo). Obe raziskovalni enoti sta bili pod njegovim vodstvom povezani v raziskovalni program *Funkcijska genomika in biotehnologija za zdravje*, ki ga je Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije leta 2004 uvrstila med najboljše programe na področju naravoslovja. Vodenje mešane skupine raziskovalcev Kemijskega inštituta in farmacevtske družbe Lek je pripeljalo do številnih izboljšav postopkov in inovacij, med drugim tudi do proizvodnega postopka prvega slovenskega biološkega zdravila, sprejetega v globalno proizvodnjo pri družbi Sandoz-Novartis, kar je takrat predstavljalo enega od temeljev sedanje biofarmacevtike. Komel je diplomiral leta 1974 na področju biokemije mikrobnih steroidnih transformacij. Med doktorskim študijem se je izpopolnjeval na Centralnem inštitutu za mikrobiologijo in eksperimentalno terapijo (Central

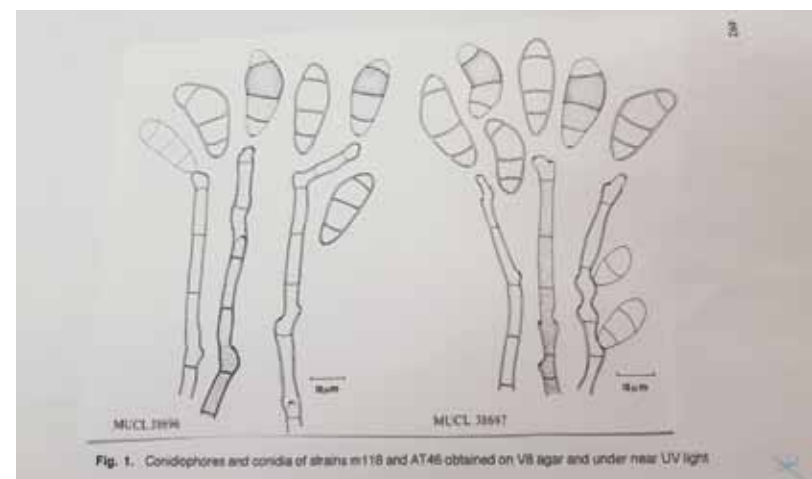
Institute for Microbiology and Experimental Therapy, ZIMET) na Nemški akademiji znanosti v Jeni, podoktorsko pa na Tehniški univerzi v Gradcu v Avstriji (1986), kjer je spoznaval nove tehnike genskega inženirstva in molekularne biologije. V letu 1987 je gostoval na Inštitutu za zdravje in medicinske raziskave (Institut national de la santé et de la recherche médicale, INSERM) v Parizu, kjer se je navdušil za medicinsko molekularno genetiko.

Njegovi skupini sem se pridružila kot doktorska študentka leta 1993. Kot kemičarka sem se pod mentorstvom Komela še bolj navdušila za biokemijo. Komel se je takrat največ ukvarjal z biotehnološkimi izzivi – na primer, kako z mikrobnimi biotransformacijami pridobiti steroidne hormone, ki jih v našem telesu proizvaja nadledvična žleza, pri številnih obolenjih pa jih je treba dodajati kot zdravila. Ker imajo glive robustno celično steno, je razvijal tudi postopke pridobivanja protoplastov – mikrobnih celic brez celične stene, ki bi lahko znatno olajšali postopke biotransformacij. V prakso je uvajal takrat najnovejše pristope tehnologije rekombinantne DNA in jih uporabljal za biotransformacijo nitastih gliv. Cilj je bil preusmeriti presnovne procese glive tako, da bi rekombinantna gliva izvedla tiste encimske reakcije, ki jih je zaradi nereaktivnosti

molekul težko izvesti kemijsko. Modelni organizem je predstavljala nitasta gliva *Cohliobolus lunatus* oziroma *Curvularia lunata*. Oba seva spadata med askomicete in lahko vneseta hidroksilno funkcionalno skupino (11 β -OH) v steroidni obroč. 11-beta hidroksilacija steroidnega skeleta predstavlja ključno stopnja pri proizvodnji kortikosteroidnih hormonov, kot je na primer kortizol. Kasneje je Komel pričel namenjati pozornost tudi humani genetiki, predvsem diagnostiki, tako predporodni kot poporodni, gensko pogojenih monogenjskih bolezni, kjer genetska sprememba (mutacija) v enem od genov pripelje do bolezenskega fenotipa. Skupaj s sodelavci je razvil postopke za genetsko analizo cistične fibroze, hemofilije A, policistične bolezni ledvic, epidermolitične buloze, osteoporoze ter analizo mikrosatelitov za posamezniku prilagojeno diagnostiko raka na želodcu. Poleg tega je razvijal tudi postopke genotipizacije za prepoznavanje oseb v sodni medicini in kriminalistiki. Ko je v svetovnem merilu postalo jasno, da je večina bolezni moderne dobe poligenjskih oziroma večfaktorskih, da torej spremembe v več genih, skupaj z okoljskimi dejavniki, prispevajo k bolezenskemu fenotipu, se je posvetil tej tematiki. Raziskoval je genetske vzroke različnih oblik raka (raka prebavil, glioblastoma, melanoma) in psihiatričnih

motenj (motenj hranjenja, samomorilnosti). Pri tem je poleg klasičnih metod biokemije in molekularne biologije pričel uporabljati tudi celostne pristope funkcijske genomike, vključno s pripravo originalnih proteinskih čipov.

Komel je imel veliko povezovalno sposobnost. Sodeloval je s kliničnimi (različnimi oddelki Univerzitetnega kliničnega centra v Ljubljani, Onkološkim inštitutom, regionalnimi bolnišnicami), akademskimi (različnimi fakultetami Univerze v Ljubljani, predvsem Biotehniško fakulteto in Fakulteto za farmacijo, in Univerzo v Novi Gorici) in raziskovalnimi ustanovami (predvsem Kemijskim inštitutom, pa tudi Inštitutom Jožef Stefan). Odlično je sodeloval tudi s farmacevtsko družbo Lek, predvsem pri razvoju biofarmacevtikov. Leta 2011 je bil eden izmed pobudnikov Slovenskega konzorcija za biočipe in kasneje ustanovljenega Centra za funkcijsko genomiko in biočipe (CFGBC), ki deluje še danes v okviru Inštituta za biokemijo in molekularno genetiko na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani. Center za funkcijsko genomiko in biočipe združuje štirinajst slovenskih partnerskih ustanov in omogoča raziskovalcem delo pri projektih funkcijske genomike v Sloveniji. V sodelovanju s Centrom za funkcijsko genomiko in biočipe in s strani Evropskih strukturnih



Slika konidiofor in konidijev gliv *Cohliobolus lunatus* m118 (MUCL 38696) in *Curvularia lunata* (MUCL 38697). Vir: Damjana Rozman, osebni arhiv.

skladov financiranega Centra odličnosti Biotehnologija s farmacijo, ki ga je tudi vodil, je prof. Komel ključno prispeval k dostopnosti moderne raziskovalne opreme pogenomskega obdobja v slovenskem prostoru.

Komel je med slovenskimi raziskovalci vseh ved med tistimi, ki so izobrazili največ doktorskih študentov. Bil je mentor pri kar sedemdesetih doktorskih delih – sama sem doktorirala kot njegova druga doktorska študentka. Med opravljanjem doktorskega ali podoktorskega dela smo se njegovi študenti praviloma izobraževali tudi v sodelujočih laboratorijih v tujini. Številni med nami so danes v Sloveniji na pomembnih položajih na področju medicinske genetike v ginekologiji, pediatriji, patologiji, sodni medicini, kriminalistiki in drugod v kliničnih ustanovah, farmacevtski industriji in ne nazadnje tudi na matični Univerzi v Ljubljani. Poleg izjemnega mentorskega opusa pri izobraževanju podiplomskih študentov v uporabni biokemiji in molekularni biologiji je bil Komel tudi priljubljen profesor. Predaval je biokemijo in molekularno biologijo študentom medicine in dentalne medicine na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani kot tudi študentom biokemije na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani, študentom Univerze v Novi Gorici ter doktorskim študentom podiplomskih študijev biomedicine na Univerzi v Ljubljani. Raziskovalno delo Komela sega na različna področja medicinsko ali biotehnološko usmerjene biokemije in molekularne biolo-

gije, kjer je dejaven v domačih in mednarodnih krogih. V letih od 1995 do 2000 je bil predsednik vladne komisije za pripravo zakona o genski tehnologiji. Bil je nacionalni koordinator za področje biotehnologije in v mednarodnem prostoru član komiteja Integrated Approaches on Functional Genomics (Integrirani pristopi k funkcijski genomiki) pri Evropski znanstveni fundaciji. Od leta 2002 do leta 2013 je bil tri zaporedne mandate član oziroma predsedujoči v mednarodnem svetovalnem in znanstvenem svetu Mednarodnega centra za gensko inženirstvo in biotehnologijo (ICGEB). Prejel je številna mednarodna in domača priznanja in nagrade, kot so priznanje Outstanding Visitor za raziskovalno bivanje v Jeni v Nemški demokratični republiki (1994), državna nagrada za vrhunske dosežke v znanosti (predhodnica Zoisovih nagrad) (1994), priznanje francoske vlade za podpiranje znanstveno-raziskovalnega sodelovanja z republiko Francijo Chevalier dans l'Ordre des Palmes Académiques (2004), Lapanjetova nagrada za vrhunske znanstvene in pedagoške dosežke na področju biokemije in molekularne biologije (Slovensko biokemijsko društvo, 2008), tretja nagrada za najboljši evropski (srednješolski) učbenik BESA, podeljena na frankfurtskem knjižnem sejmu leta 2012, Velika nagrada Miroslava Zejja za življenjsko delo na področju dejavnosti Nacionalnega inštituta za biologijo (2015), nagrada Andreja Otona Župančiča za vrhunsko raziskovalno delo na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani za leto 2018, v letu 2022 pa še imenovanje za zaslužnega profesorja Univerze v Ljubljani ter Zoisova nagrada za življenjsko delo s področja biokemije in molekularne biologije.

Naziv zaslužnega profesorja Univerze v Ljubljani je prof. dr. Radovanu Komelu podelil rektor Univerze v Ljubljani prof. dr. Gregor Majdič. Podelitev je bila 1. decembra leta 2022 ob tednu Univerze v Ljubljani. Foto: Katja Kodba/STA.



Raziskovalni opus Komela obsega 179 SCI-čankov, ki so citirani skoraj štiridesetkrat. Izvirnost njegovih idej kaže dejstvo, da je pri večini od teh objav prvi, dopisni ali vodilni avtor. Med ključna dela sodijo prva slovenska objava s področja genskega inženirstva (1987) ter prva slovenska objava s področja molekularne biologije v medicini (1990; *New England Journal of Medicine*, takrat IF, faktor vpliva, 24.5). V zbirki *Pub-Med* je dostopnih 145 objav z avtorstvom R. Komela.

Komel je bil tudi vodja mnogih raziskovalnih in raziskovalno-razvojnih projektov v Republiki Sloveniji, bilateralnih projektov in partner pri mednarodnih projektih. Od leta 1999 do leta 2003 je na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani vodil raziskovalni program *Molekularna genetika in biologija v biomedicinskih raziskavah*, od leta 2004 do leta 2014 je vodil že omenjeno medinštitutsko (Medicinska fakulteta in Kemijski inštitut) programsko skupino *Funkcijska genomika in biotehnologija za zdravje* in v nadaljevanju do sredine leta 2017 tudi njeno naslednico na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani. Kot predsednik Prirodoslovnega društva Slovenije in predsedujoči vladni Komisiji za gensko tehnologijo ter Komisiji za pripravo zakonodaje na področju biomedicine je bil in je ves čas aktivno navzoč v javnem prostoru. Je avtor štiriinpetdesetih poljudnih oziroma strokovnih člankov (časopisnih prispevkov), ima več kot sto intervjujev v

sredstvih javnega obveščanja (tisku, radiu in televiziji) in bil soorganizator in predavatelj na številnih javnih predavanjih in okroglih mizah doma in v tujini. S tem je bistveno prispeval k ugledu Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani ne le v strokovni, temveč tudi splošni javnosti, predvsem pa je pomembno prispeval k »opismenjevanju« splošne javnosti s tematikami s širšega področja biokemije in molekularne biologije ter genetike.

Komel nedvomno velja za strokovnjaka, ki zna še tako zapletene biokemijske mehanizme v celicah, organih ali organizmih poslušalcu predstaviti na poljuden, pogosto tudi humoren način. S tem še danes pomembno prispeva k ugledu naše stroke tudi v splošni javnosti, saj izobražuje starejše generacije in navdušuje mlajše generacije za odkrivanje skrivnosti ved o življenju.

V osebnem življenju je Komel velik ljubitelj narave in strasten ribič. Sodelavci se spomnimo njegovih številnih ribiških zgodb z dramatičnimi razpleti in enkratnimi ulovi, tako v rekah kot tudi v morju. Pa skupnih prednovoletnih pohodov po brezpotjih v vseh vremenskih razmerah, ki so se običajno končali v odličnih gostiščih z domačo hrano, kjer smo bili deležni tudi enoloških lekcij. Vsa ta strast do lepega in dobrega na različnih področjih življenja daje prof. Komelu posebno mesto med nami in v družbi sploh.



Prof. dr. Damjana Rozman je redna profesorica biokemije in molekularne biologije na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani. Od leta 2005 dalje vodi Center za funkcijsko genomiko in biočipe (CFGBC) na Inštitutu za biokemijo in molekularno genetiko na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani. Njeno znanstveno-raziskovalno delo sodi na širše področje biokemije in molekularne biologije, funkcijske genomike in sistemske medicine. V okviru svoje raziskovalne skupine preučuje vlogo neravnovesja holesterola pri s presnovo povezanih kompleksnih boleznih jeter z upoštevanjem dejavnikov cirkadiane ure. Skupaj s sodelavci povezuje eksperimentalne pristope z bioinformatiko in različnimi načini računskega modeliranja. Ta celostni (globalni) vpogled v biološke sisteme je ključni steber sistemske medicine, saj prinaša dodano vrednost k razreševanju biomedicinskih vprašanj, kot so razumevanje kompleksnih bolezni ter iskanje novih pristopov za napovedovanje bolezenskih označevalcev ali tarč za zdravljenje.

Znanstveniki potrdili obstoj predbiotskih molekul na asteroidu Rjugu

Mirko Kokole

Znanstvena teorija, ki poskuša razložiti, kako je iz nežive snovi v naravnih procesih prišlo do nastanka življenja, se imenuje abiogeneza. Po tej teoriji naj bi gradniki življenja - aminokisline, nukleotidi in lipidi - nastali iz enostavnejših organskih molekul, ki so nastale na Zemlji ali pa so na Zemljo prišle ob padcih kometov in asteroidov. Slavni Miller-Ureyjev poskus leta 1952 je pokazal, da lahko iz mešanice plinov, kot so metan, amonijak in vodna para, ob električni razelektritvi nastanejo aminokisline. Od takrat naprej so znanstveniki vztrajno poskušali ugotoviti, ali v vesolju obstajajo tudi kompleksne predbiotske molekule, ki so nujno potrebne za nastanek življenja. To so lipidi, aminokisline, ogljikovi hidrati in nukleinske kisline. Kar nekaj poskusov je pokazalo njihov obstoj, vendar pa do sedaj nobeden ni bil popolnoma prepričljiv. Sedaj je japonskim znanstvenikom le uspelo analizirati popolnoma čiste vzorce snovi, ki jih je leta 2020 na Zemljo pripeljala vesoljska sonda Hajabusa2 z Zemlji bližnjega asteroida Rjugu (Hajabusa in Rjugu sta slovenska zapisa, v Hepburnovem, po svetu običajnejšem zapisu, ki uporablja angleška fonetična pravila, se obe imeni pišeta Hayabusa in Ryugu). Z izjemno občutljivo metodo je skupini znanstvenikov uspelo zaznati sledove uracila, niacina in še nekaterih drugih predbiotskih molekul.

Asteroid Rjugu oziroma 162173 Rjugu je Zemlji bližnji asteroid, ki kroži okoli Sonca med Zemljo in Marsom. Leta 1999 so ga odkrili astronomi v okviru programa *Lincoln Near-Earth Asteroid Research* (Lincolnovo

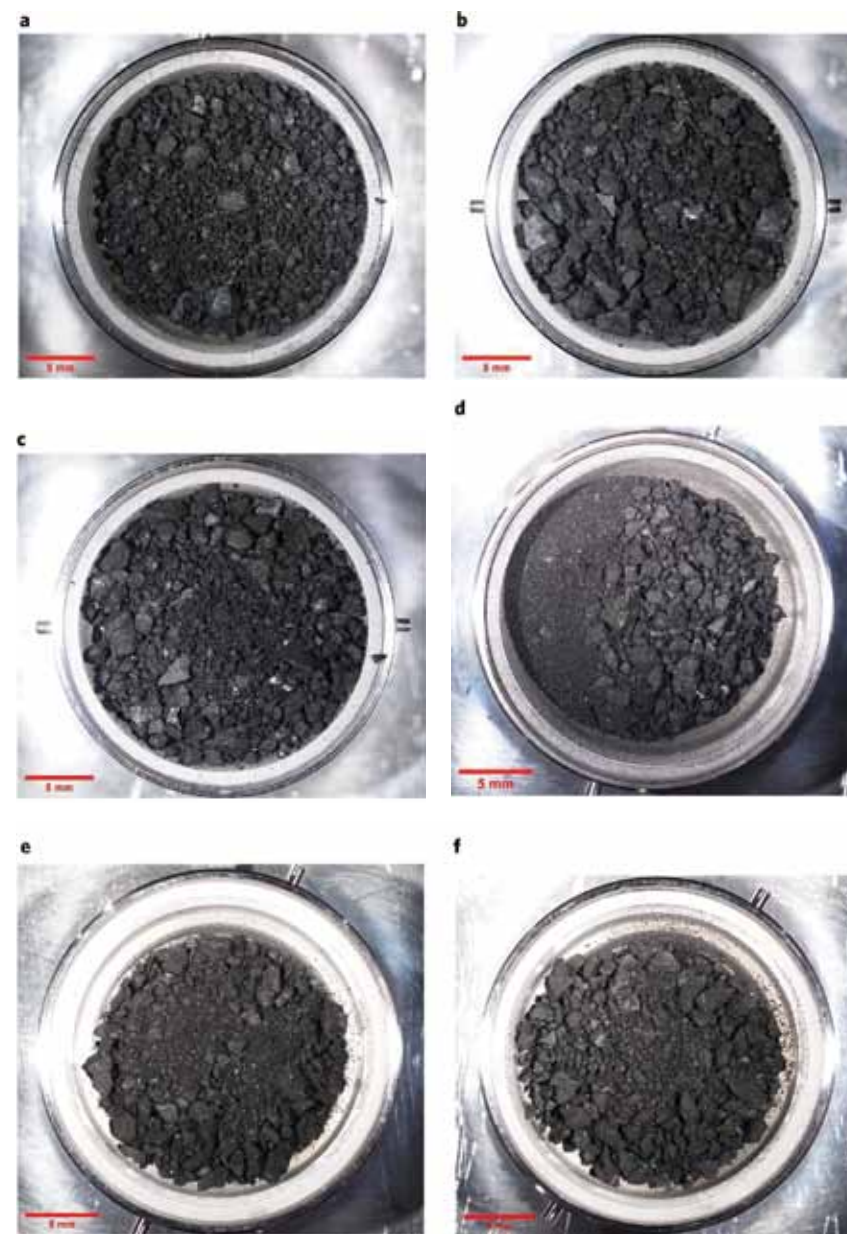
raziskovanje Zemlji bližnjih asteroidov). Ime Rjugu-jo je dobil po čarobni podvodni palači iz japonske ljudske pripovedke. Rjugu je asteroid tipa C, kar pomeni, da je bogat z ogljikom in drugimi organskimi spojinami.

V premeru meri približno en kilometer in je nepravilne oblike.

Leta 2014 je Japonska agencija za raziskovanje vesolja (JAXA) izstrelila vesoljsko plovilo Hajabusa2, ki naj bi preučevalo asteroid Rjugu, zbralo vzorce z njegove površine in se z njimi vrnilo na Zemljo. Po več kot treh letih potovanja je vesoljsko



Asteroid Rjugu, kot ga je posnela kamera ONC-T na vesoljski sondi Hajabusa2 leta 2018. Rjugu oziroma 162173 Rjugu je asteroid tipa C, kar pomeni da je sestavljen iz snovi, bogate z ogljikom.
Foto: ISAS/JAXA.



Vzorci snovi, ki jih je na asteroidu Rjugu nabrala vesoljska sonda Hajabusa2.
Foto: Yada, T., Abe, M., Okada, T. et al.

plovilo junija leta 2018 prispelo do asteroida in osemnajst mesecev preučevalo njegovo površino in sestavo. Decembra leta 2020 se je Hajabusa2 vrnila na Zemljo z vzorci z asteroidove površine.

Japonski znanstvenik Jasuhiro (v Hepburnovem zapisu Yasuhiro) Oba z univerze v Hokaidu je že leta 2020 objavil študijo meteo-

ritov, s katero je potrdil obstoj predbiotskih molekul, kot so uracil, timin in citozin, na objektih zunaj našega planeta. S tem je pokazal, da bi lahko molekule, ki so gradniki RNA in DNA, nastale tudi v vesolju. Vendar takrat niso mogli popolnoma izključiti kontaminacije na Zemlji in v njenem ozračju, saj so preučevali ostanke meteorjev, ki

so padli na Zemljo. Oba je sedaj uporabil svojo izjemno natančno metodo še na vzorcih snovi z asteroida Rjugu in tako nedvoumno dokazal obstoj uracila, ki je gradnik

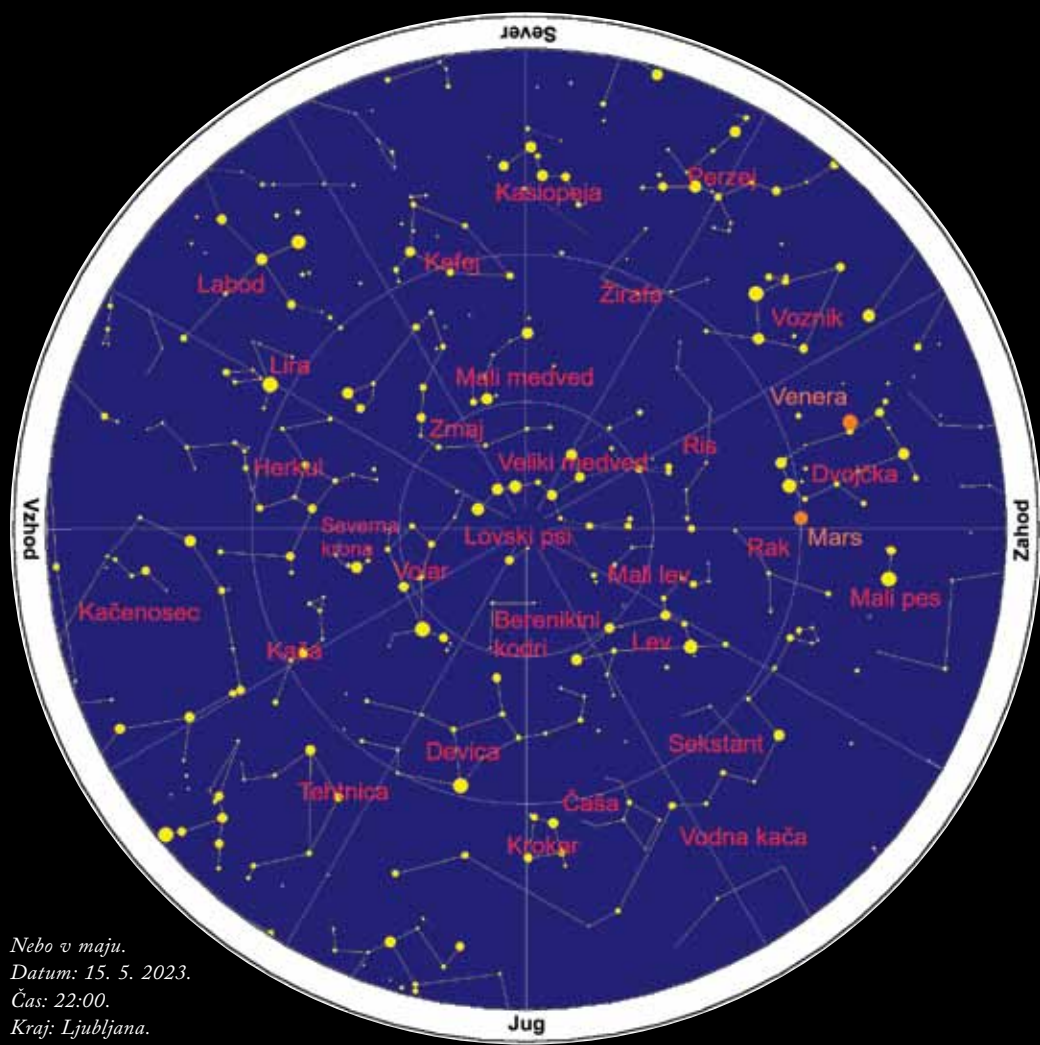
RNA, in s tem njegov nastanek zunaj našega planeta.

Novo odkritje predbiotskih molekul v vzorcih snovi z asteroida Rjugu je zelo po-

membno, saj nam nedvomno potrjuje, da lahko osnovni gradniki življenja nastanejo tudi v vesolju in niso nastali samo na Zemlji. Seveda zaradi tega spoznanja nismo

kaj posebej bližje odkritju, kako je življenje nastalo, lahko pa smo veliko bolj prepričani, da življenje ne obstaja samo na Zemlji, ampak tudi drugod v vesolju.





Nebo v maju.

Datum: 15. 5. 2023.

Čas: 22:00.

Kraj: Ljubljana.

ISSN 0033-1805



9 770033 180000