

PROTEUS

*mesečnik
za poljudno
naravoslovje*



Oktober 2021, 2/84. 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





51 Table of Contents

52 Uvodnik
Tomaž Sajovic

54 Botanika
Nahajališča hladnikovke (*Hladnikia pastinacifolia*) na robu njenega območja razširjenosti
Igor Dakskobler, Daniel Rojšek, Elvica Velikonja

63 Paleontologija
Ledenodobni rosomah (*Gulo gulo*) v Sloveniji
Matija Križnar

70 Nobelove nagrade za leto 2021
Razvoj asimetrične organokatalize
Nobelova nagrada za kemijo za leto 2021
Uroš Grošelj

78 Medicina
O ušesu in sluhu
Kristijan Skok, Lidija Kocbek Šaherl

90 Naše nebo
Prevelika črna luknja
Mirko Kokole

93 Društvene novice
Članski program Prirodoslovnega društva Slovenije v letu 2021/22

Contents

Editorial

Tomaž Sajovic

Botany

Localities of *Hladnikia pastinacifolia* on the edge of its distribution range

Igor Dakskobler, Daniel Rojšek, Elvica Velikonja

Hladnikia pastinacifolia is one of the most notable plants in Slovenia, an endemic species whose localities are limited to the northern and southern rims of the Trnovski Gozd plateau. In 2020 and 2021 we recorded its localities on the southern edge of the plateau, including previously unmentioned localities at Veliki Rob (1,237 m) and under the elevation point 1,215 m at Mt. Čaven (1,185 m), as well as an underinvestigated locality in the Golobnica gorge at Predmeja. The elevation range of the localities is 700 to 1,250 metres above sea level. Here, the studied species occurs in large and vital populations, with the exception of the easternmost locality at the pasture Šunik at Predmeja, where we identified only a few specimens.

Paleontology

Ledenodobni rosomah (*Gulo gulo*) v Sloveniji

Matija Križnar

Ice Age Wolverines (*Gulo gulo*) in Slovenia

Fossil remains of wolverine (*Gulo gulo*) have so far been found at six localities in Slovenia. The best preserved fossil skeletal remains were found in a cave near Kostanjevica na Krasu. Other fossil wolverine fossil sites are in the caves of Križna jama (historically the oldest discovery), Ludvikova jama near Sežana, Jama velikih podkovnjakov, Potočka zijalka and the geologically oldest remains from the Črnotiče quarry. In this article, we present a new find of wolverine's skull, which cavers found in Erjavčeva jama in the vicinity of Solčava. The wolverine's skull is almost perfectly preserved with only a few missing teeth. The fossil remains were discovered at a secondary site of the cave and was heavily covered with sandy sediment. The new discovery of wolverine nicely complements the habitat area of Pleistocene wolverines in Slovenia and the wider territory of Europe.

Nobel prizes 2021

Development of Asymmetric Organocatalysis
Nobel Prize in Chemistry

Uroš Grošelj

The Nobel Prize in chemistry 2021 was awarded to Benjamin List and David W. C. MacMillan

for the development of asymmetric organocatalysis. Complex molecules, be they human-made in a lab or assembled by other organisms biologically (biochemicals), are assembled in a series of reaction steps from simple starting materials. Some or all steps in such a reaction sequence can be subjected to catalysis. Catalysts are molecules that speed up chemical reactions and their selectivity, but are not consumed in the process. After the reaction the catalyst remains the same. The concept of catalysis was introduced already in 1835 by Swedish chemist J. Berzelius (Trofast, 1981), and today catalysis represents the backbone of modern synthetic chemistry. Catalysis is developed and used every day both in academic laboratories and in industry. It is involved in much of the industrial conversion of chemical feedstocks into high value-added products, such as pharmaceuticals and agrochemicals (pesticides), and it has been estimated to contribute more than 35 percent of the world's GDP. On the other hand, catalysis of biological systems, which is mediated by enzymes, is a prerequisite for life as we know it. The development of highly-efficient catalysts is therefore among the most active fields of contemporary research, focused on reducing energy consumption and avoiding unwanted waste, – the key to conserving natural resources (sustainable development) – which means that organic catalysts are also environmentally friendly.

Medicine

On Ears and Hearing

Kristijan Skok, Lidija Kocbek Šaherl

Ear, nose and throat have intrigued interest since time immemorial. Already ancient Greek, Hindu and Byzantine doctors treated these organs. The science that specializes in them is called otorhinolaryngology. The article presents the basic properties of sound, important discoveries in the history of this field, certain characteristics of the ear in the animal world, and ear diseases and disorders that affect the human ear.

Our sky

A Strangely Massive Black Hole

Mirko Kokole

News from our Society

Membership Programme of the Slovenian Natural History Society 2021/22



Naslovnica: *Zohje rosomaha (Gulo gulo) z desne strani lobanje, ki je bila odkrita v Erjavčevi jami pri Solčavi.*
Foto: Matija Križnar

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:

Polona Sušnik

prof. dr. Milan Brumen

dr. Igor Dakskobler

asist. dr. Andrej Godec

akad. prof. dr. Matija Gogala

dr. Matevž Novak

prof. dr. Gorazd Planinšič

prof. dr. Mihael Jožef Toman

prof. dr. Zvonka Zupanič Slavec

dr. Petra Drašković Pelc

<http://www.proteus.si>

priradoslovno.drustvo@gmail.com

© Prirodoslovno društvo Slovenije, 2021.

Vse pravice pridržane.

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

Lektor: dr. Tomaž Sajovic

Oblikovanje: Eda Pavletič

Angleški prevod: Andreja Šalamon Verbič

Priprava slikovnega gradiva: Marjan Richter

Tisk: Trajanus d.o.o.

Svet revije Proteus:

prof. dr. Nina Gunde – Cimerman

prof. dr. Lučka 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 števil, letnik ima 480 strani. Naklada: 1.600 izvodov.

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

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

Celoletna naročnina je 43,20 EUR, za upokoence 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

Uvodnik

Vračanje umetnosti iz umetniških del k človeku ... (Po Dušanu Pirjevcu, literarnem zgodovinarju in kritiku.)

Poseben in dober razlog imam, da želim pisati o slovenskem prispevku na letošnjem beneškem arhitekturnem bienalu, ki je skušal najti odgovore na vprašanje *Kako bomo živeli skupaj?* Kuratorska ekipa slovenskega paviljona, sestavljali so jo umetnostni zgodovinarji Asta Vrečko in Martina Malešič ter arhitekta Blaž Babnik Romaniuk in Rastko Pečar, je namreč pod naslovom *Skupno v skupnosti. Sedemdeset let zadržnih domov kot družbene arhitekture* predstavila s današnjega zornega kota – živimo v kapitalizmu – neobičajni pojav, množično udarniško gradnjo zadržnih domov: v Sloveniji je bilo po drugi svetovni vojni – v socializmu – zasnovanih 523 zadržnih domov (na zvezni ravni več tisoč), od teh jih je bilo v kratkih petih letih zgrajenih kar 330, ki so bili namenjeni skupnemu dobru. Pri svojem razmišljanju o tem pojavu se bom skliceval na intervju s kuratorsko ekipo, ki je bil objavljen 13. novembra v *Sobotni prilogi Dela*.

Preden pa bomo razmišljali o njih, se moramo za kratko vrniti v leto 1918 in začetek leta 1919, ko je bilo v Muzeju moderne umetnosti (*Museum of Modern Art, MoMA*) v New Yorku mogoče videti odmevno razstavo z naslovom *H konkretni utopiji: arhitektura v Jugoslaviji,*

1948–1980. Ob tej priložnosti je v intervjuju, objavljenem v *Delu* 18. maja leta 2018, član kuratorskega odbora razstave arhitekturni zgodovinar Luka Skansi izrekel misel, ki ji velja posvetiti posebno pozornost: »V trenutku, ko arhitekturo postaviš v zgodovinski, politični in socialni prostor, meriš njeno vrednost prav v nenehnem odnosu do družbenopolitične situacije, ki jo je ustvarila. Lahko se sicer navdušujemo nad primeri kakovostne arhitekture, a tu ne gre samo za estetiko. Kakovostna arhitektura je tista, s katero lahko opišeš določeno zgodovinsko obdobje, v katerem je nastala.« Ključni stavek v navedku je naslednji: »Lahko se sicer navdušujemo nad primeri kakovostne arhitekture, a tu ne gre samo za estetiko.« V povzetku povedano: kakovostna arhitektura ni »samó« estetika. Če bi bila »samó« estetika, bi to bila *umetnost zaradi umetnosti* – *l'art pour l'art*, umetnost, ki je prav nič ne zanimajo družbenozgodovinske in politične okoliščine njenega nastanka. Tako dehistorizirano in depolitizirano razumevanje umetnosti je rodila liberalno demokratska ideologija drugega cesarstva v Franciji, ki ga je od leta 1852 do leta 1870 vodil Napoleon III., s pravim imenom Charles Louis Napoléon Bonaparte. Ekonomijo umetnosti je začel uravnavati zgolj kapitalistični svobodni trg. Leta 1917 se je v Rusiji zgodila oktohrska revolucija, ki si je za cilj postavila rušenje kapitalistič-

nega sistema in vzpostavitev brezrazredne družbe in to tudi začela izvajati. Ruska avantgardna umetnost je zavrgla sterilno sami sebi namenjeno, torej avtonomno, buržoazno estetiko (umetnost zaradi umetnosti) in jo radikalno »izničila« v izgradnji nove družbene ureditve – brezrazredne družbe.

Eden takih skrajnih »umetnikov« – predstavnikov tako imenovane produktivistične smeri – je bil na primer pisatelj Sergej Tretjakov (1892-1937), ki je tako kot Platon menil, da v mladi socialistični državi »ni mesta« za umetnost. Prepričan je bil, da mora pisatelj dejavno posegati v dogajanje. Ko so leta 1928, v času totalne kolektivizacije, razglašali parolo: »Pisatelje v kolhoze!«, se je Tretjakov odpeljal v enega od kolhozov in tam skliceval množične mitinge, zbiral denar za traktorje, prepričeval kmete, naj se pridružijo kolhozom, nadzoroval čitalnice, poročal moskovskim časopisom, uvedel radijsko postajo ... Najradikalnejši produktivist pa je nedvomno bil latvijsko-sovjetski avantgardni konstruktivistični kipar Karl Ioganson (latvijsko Karlis Johansons) (1890-1929), ki je popolnoma opustil svojo umetniško dejavnost, se zaposlil v valjarni v Moskvi in na delovnem mestu izumil stroj za obdelavo kovin, ki je zelo povečal produktivnost in s tem razbremenil delavce.

Zdaj se lahko vrnem o k Skansijevemu navedku iz intervjuja. V ključnem stavku je Skansi zapisal, da se nad primeri kakovostne arhitekture sicer lahko navdušujemo, a pri tem ne gre samó za estetiko. Kaj je torej sploh kakovostna arhitektura? Skansijev odgovor je na prvi pogled popolnoma jasen: kakovostna arhitektura je tista, s katero lahko opišemo določeno zgodovinsko obdobje, v katerem je nastala, – ali še nekoliko drugače –, njeno vrednost merimo prav v ne-nehnem odnosu do družbenopolitičnih okoliščin, ki so jo ustvarile. Taka arhitektura seveda ni umetnost zaradi umetnosti, prav nasprotno, vendar dvoumnost vnaša dodatke, »da pri tem ne gre samó za estetiko«, kar moramo brati, da gre seveda *tudi* zanjo. Natančno je treba prebrati le Skansijevo razmišljanje v intervjuju o »kamnitem cvetu«, spomeniku arhitekta Bogdana Bogdanovića, ki je posvečen vsem žrtvam ustašev v koncentracijskem taborišču Jasenovac: »Verjamem, da razstava arhitekture socialistične Jugoslavije v New Yorku ne bo pokazala recimo Bogdanovićevega cveta v Jasenovcu kot zgolj abstrakcijo ali intimno poezijo nekega kiparja na planoti, ampak da bo pojasnila tudi to, da je bil ta spomenik rezultat zelo težke bitke med različnimi akterji v trenutku, ko je bilo treba postaviti spomeniški kompleks na območju nekdanjega koncentracijskega taborišča. Kot opomnik pa tudi kot simbol, ki je imel namen združiti in graditi odnose med Hrvati in Srbi, ne pa še poglobljati razlik. Takrat je bila to izredno kompleksna stvar, na katero smo malce pozabili.« Iz citiranega besedila – če zelo poenostavim – je razvidno, da je Bogdanovićeve spomenik, če ga gledamo samega po sebi, popolnoma mogoče brati

»kot zgolj abstrakcijo« ali – kot piše v Wikipediji – »kot geometrijsko pravilno konstrukcijo«, torej kot zgolj larpurlartistični, avtonomni estetski predmet, družbenozgodovinsko angažiranost (kot spomin na grozote in kot poziv na tvorno sožitje Hrvatov in Srbov) pa mu lahko »prilepi«, »doda« le razlaga, interpretacija.

Bogdanovićeve spomenik je vzorčni primer hibridne oblike umetnosti – združitve avtonomne, larpurlartistične estetike in družbene, politične angažiranosti –, ki je zaznamovala večino jugoslovanske umetnosti od preloma s Stalinom dalje. Tako obliko umetnosti je v referatu na III. kongresu književnikov v Ljubljani leta 1952 utemeljil Miroslav Krleža in z njo opredelil »novo« kulturno politiko Jugoslavije. Toda že hrvaški literarni zgodovinar Stanko Lasić je ugotovil, da je Krleževa sinteza umetnosti in revolucije globoko protislovna: »umetnost mora služiti revoluciji, ker je revolucija njen končni cilj – umetnost ne sme služiti nikomur, ker je sama sebi cilj.« Krleževa socialistična umetnost zato »ostaja nedefinirana, abstraktna in subjektivna«. Srbski teoretik umetnosti in ideologije ter marksist Rade Pantić je v svoji knjigi *Umetnost skozi teorijo* (2019) vso problematičnost Krleževega stališča opisal takole: »Krleža je [...] ohranil avtonomijo estetskega [...], temu pa je dodal še nejasno zahtevo po družbeni angažiranosti [...]. Ta družbena angažiranost pa je pri Krleži izgubila svojo razredno naravo. Krleža namesto imperativa razredne problematike poudarja uveljavitev nacionalne jugoslovanske narave umetnosti [...]. Problem emancipacije delavskega razreda in graditve socialistične kulture je zamenjal problem originalnega kulturnega prispevka jugoslovanskih ljudstev k razvoju univerzalne evropske kulture. Jugoslovanska kulturna sfera se je tako vključila v povojno evroameriško pripoved o modernizaciji [...]«. Postala je del mednarodnega modernizma. Toda to ni bila resnična demokratična socialistična kultura. Nedvomno pa so to bili zadržni domovi, kar kaže že nekaj citatov iz intervjuja s kuratorsko ekipo:

»Arhitekturna teorija pravi, da ni vsaka stavba arhitektura. Ključna je komponenta presežne vrednosti objekta, da nekaj postane arhitekturni objekt. Pri združnih domovih pa kljub pomanjkanju presežne funkcije, združevalna moč projekta in umeščenost v prostor naredijo te stavbe za arhitekturne objekte. [...] Presežna vrednost – ne zgolj zgrajenega arhitekturnega objekta, ampak projekta – je v njegovi organizacijski strukturi, v razširjanju znanja, kulturni dejavnosti, tudi v nadvse premišljeni materialni logistiki [...]. Vsi ti elementi ne sodijo v uveljavljeni okvir presojanja o arhitekturi, vendar upamo, da bo naša raziskava spodbudila razmislek o kriterijih arhitekture.«

Več o tem pojavu pa v prihodnji številki.

Tomaž Sajovic

Nahajališča hladnikovke (*Hladnikia pastinacifolia*) na robu njenega območja razširjenosti

V spomin Emilu Velikonji

Igor Dakskobler, Daniel Rojšek, Elvica Velikonja

Hladnikovka (*Hladnikia pastinacifolia*) je ena izmed največjih znamenitosti rastlinstva na Slovenskem, endemit z nahajališči le na južnih in severnih obronkih Trnovskega gozda. Poleti leta 2020 sem pregledal nekatera od njih, ki so robna v zdaj znanem območju njene razširjenosti. Pri tem mi je s podatki in na terenu pomagala Elvica Velikonja, ki je soavtorica tega članka. Neodvisno od najine raziskave je Daniel Rojšek natančno pregledal hladnikovkina nahajališča v Mačjem kotu (V Čavnu, Golobnica), nad cesto, ki pelje na Predmejo, in pod njo. Tudi njega sem prosil za sodelovanje in soavtorstvo. Podajamo naša prva spoznanja, ki smo jih strnili tudi v znanstvenem članku.

Moje zanimanje za hladnikovko je bilo postopno. Z njenimi nahajališči sem se prvič spoznal pri preučevanju naravnih gozdov črnega bora (*Fraxino orní-Pinetum nigrae*) v Govcih nad Trebušo. Te raziskave sem začel jeseni leta 1996 in jih kasneje razširil tudi na popise bukovja z dlakavim slečem, združb skalnih razpok in kamnitih travnišč, kar je trajalo do približno leta 2003. Takrat smo na Biološkem inštitutu ZRC SAZU prevzeli nalogo o evropsko varstveno pomembnih vrstah v Sloveniji v povezavi z omrežjem *Natura 2000* in eno leto kasneje izdali tudi knjigo. V elaboratu sem bil še soavtor obravnave hladnikovke, pri čemer sem opisal njena nahajališča in rastišča pod Zelenim robom in Poldanovcem, v knjigi (Čušin in sod., 2004) pa je njen urednik želel pri tej vrsti biti edini avtor in je moja spoznanja le povzel, večino prostora pa namenil nahajališčem na južnem robu Trnovskega gozda od Predmeje do Kuclja.

V poletnih mesecih leta 2020 sem se podal na Malo goro, kjer sem iskal nahajališča mečkov (*Gladiolus* sp.), in pozneje tudi na Kucelj. Od tam sem se oziral proti Velikemu robu in nanj povzpel iz trnovske smeri, torej iz Krnice. Zanimati so me začeli natančni podatki o tukajšnjih nahajališčih hladnikovke. Boško Čušin (2004) je zapisal, da raste med Predmejo in Kucljem, v območju, ki ga s skupnim imenom imenujejo Čaven, ne pa tudi na vzpetini, ki se imenuje Čaven in je tri kilometre zahodno od Kuclja. Elvica Velikonja (2007: 12; 2012: 148) tukajšnjo razširjenost zapiše takole: »vedenje o nahajališčih hladnikovke se je s Čavna in Male gore širilo v Krnico, na Kucelj in Predmejo,« in dopiše novo nahajališče na Šniku, ki ga je našla leta 2002 in je opisano tudi v naši knjigi iz leta 2004. Med nahajališči, ki jih omenja, je torej eno več kot pri Čušinu, in to Krnica. Od kje ta navedba? Tone Wraber (1990: 110) je hladnikovkina nahajališča na južnem robu Trnovskega gozda označil takole: med Malo goro in Selovcem, leto prej v znamenitem rdečem seznamu (T. Wraber, Skoberne, 1989: 181) pa natančneje: 0048/2 Selovec-Krnica (1941), objava Cohrs (1953-54), avtor podatka je C. Zirnich. Dobesedno pa je Zirnichov podatek naslednji: *zwischen Selouce und Karnica* (Cohrs, 1954: 113), torej med Selovcem in Krnico. Zirnich jo je tam nabral dvakrat, 25. julija leta 1941 in 17. julija leta 1947. Še starejši vir je sicer Franc Krašan (1863: 390), ki pa Krnice ne omenja in je pri njem nahajališče napisano takole: *am Rücken des Geb. von Čaven oberhalb H. Kreutz*, kar bi prevedli: na grebenih pogorja Čaven nad Sv. Križem (zdaj Vipavski Križ).



*Veliki rob
s Kuclja,
vzhodna
pobočja,
kjer raste
hladnikovka.*

*Foto: Igor
Dakskobler.*

Med Selovcem in Krnico je vzpetina Veliki rob (tudi Sončni školj, 1.237 metra) in na njem hladnikovka nedvomno uspeva in sem njena tamkajšnja rastišča tudi popisal. Raste na precej krajih v skalovju in zelo kamnitih travščih na (jugo)vzhodnih vršnih pobočjih, tudi ob planinski poti in v ruševju (ki skoraj gotovo ni naravno) na severni strani tega vrha.

Na Velikem robu sta Elvica in Emil Velikonja hladnikovko opazila že leta 2005, a Elvica te vzpetine v članku in knjigi ni izrecno navedla (temveč zgolj Krnico). Sam sem potem šel še na Selovec, kjer hladnikovke nisem našel, in tudi na koto 1.215 metrov, ki je približno na sredi-ni med Velikim robom in Čavnom (kota 1.185 metrov), a nekoliko bližje slednjemu. Ta kota je



*Hladnikov-
ka pod Veli-
kim robom.*

*Foto: Igor
Dakskobler.*



*Kota 1.215 metrov,
med Velikim Robom
in Čavnom, nasad
črnega bora.*

*Foto: Igor
Dakskobler.*



*Kamnita griža
pod koto 1.215
metrov, rastišče
hladnikovke. Foto:
Igor Dakskobler.*

porasla z gozdom črnega bora (ki je tu nasajen in subspontan), vendar so na obojni strani večje naravne vrzeli, kamnite griže, z gozdom neporasla ali manj porasla skalnata območja. Na vsaj petih krajih tudi tam raste hladnikovka.

Od vrha Čavna (kota 1.185 metrov) so ta nahajališča oddaljena približno 250 metrov v smeri proti severovzhodu. Hladnikovkina nahajališča so torej tako na Čavnu v smislu, kot ga razumejo na Predmeji – pogorje med Malo goro in Kuceljem, kot tudi pri vzpetini Čaven (kota

1.185 metrov) nad Krnico. Celotni razpon njenih nahajališč v smeri vzhod-zahod je: Šunik na Predmeji-Mačji kot (V Čavnu, Golobnica)-Črna skala (Črni školj)-Na Bevrce pod Malim Modrasovcem-Platne-Mala gora-Kucelj-Vrata (tudi Ušja vrata, blizu njih, v smeri proti Avški gmajni, raste v kamnitih grmiščih navadnega brina in rušja)-Veliki rob (Sončni školj)-Čaven nad Krnico, višinski razpon pa od približno 700 metrov: Mačji kot (do zdaj najnižje znano nahajališče, ki ga je odkril Daniel Rojšek), do



Hladnikovka pod koto 1.215 metrov pri Čavnu.

Foto: Igor Dakskobler.



Opušeni peskokop, Platne pod Predmejo, drugotno nahajališče hladnikovke.

Foto: Igor Dakskobler.

približno 1.250 metrov: Na Bevrci pod Malim Modrasovcem. Domnevati smemo, da je Zirnichovo nahajališče med Selovcem in Krnico najbrž Veliki rob, lahko pa bi bil tudi njegov zahodni сосед, koto 1.215 metrov pri Čavnu. Vsekakor je območje razširjenosti hladnikovke na južnem robu Trnovskega gozda nekoliko večje, kot smo ga opisovali do zdaj (Čušin, 2004). Kakšna pa je njena številčnost in vitalnost? Zagotovo zadovoljiva na večini nahajališč. To velja za Čaven nad Krnico (oziroma koto 1.215

metrov). Tam sem opazil skupno več kot 60 primerkov. Podobno lahko o velikem številu primerkov poročamo za Veliki rob, enako za Malo goro in skalovje in melišča pod njo in za skalovje in grušč pod Malim Modrasovcem. Nahajališče na Platnah (približno 760 do 780 metrov nadmorske višine) na opuščnem peskokopu nad cesto na Predmejo je drugotno. Tam se hladnikovka pojavlja na več krajih na grušču, ki se zarašča s črnim borom in vrbami, v združbi s sršico (*Achnatherum calamagrostis*)



V žlebu nad cesto Lokavec-Predmeja, Golobnica v Mačjem kotu, uspeva hladnikovka na gruču, tudi v senci grmičastih vrb (Salix spp.) in v skalnih razpokah, navadno med šopi trav.

Foto: Daniel Rojšek.

in snežnobelim repuhom (*Petasites paradoxus*). Bogata je tudi populacija ob cesti Lokavec-Predmeja, nad njo in pod njo. Tam so cestarji zavarovali promet pred padajočim kamenjem z mrežami in ograjami. Najštevilčnejše nahajališče tik ob cesti so Daniel Rojšek in njegovi sodelavci z Zavoda za varstvo narave uspeli izločiti iz prekritja že med načrtovanjem, dela pa

pogosto spremljali. Posegi (padci podrtih dreves, vrtanje in čiščenje usedlin) številnim rastlinam večinoma niso škodovali. Daniel Rojšek in delovodja Blaž Belhar sta jeseni leta 2020 podrobno raziskala nahajališča v Golobnici, v žlebu pod mostom in nad njim, ter določila njihovo spodnjo mejo (na nadmorski višini 705 metrov) in zgornjo mejo (925 metrov nadmor-



Mogoča nahajališča hladnikovke na Robu pod Predmejo.

Foto: Igor Dakskobler.



*Kamnito travnišče
pod Kuclem,
rastišče hladnikovke.*

*Foto: Igor
Dakskobler.*

ske višine). Ob žlebu hladnikovka raste tudi v vrzelastih sestojih črnega bora. Daniel Rojšek je o tej raziskavi pripravil poročilo, ki ga bo razširil v članek.

Določen, a najbrž zelo majhen vpliv na uspevanje hladnikovke ima lahko človek ob planinskih poteh (na primer ob Srednječavenski poti, na Velikem robu in Kuclju), ponekod tudi zaraščanje s črnim borom. Na Kuclju, ne sicer povsem na vrhu hriba, in pod njim, na Avški

gmajni, je prisotna paša. Kljub temu smo na njegovih osojnih pobočij poleti leta 2021 opazili precej hladnikovkinih rozet ali celo cvetočih primerkov, in to pod stezico, ki prečka pobočje, in nad njo. Sklepamo, da ji paša v zdajšnjem obsegu najbrž ne škodi, saj je tudi Elvica Velikonja poleti leta 2012 ugotovila podobno številčnost. Pašnik je tudi na Šuniku. To najbolj vzhodno nahajališče je resno ogroženo tudi zaradi zelo majhnega števila primerkov, ki tam še rastejo.



*Hladnikovka
(Hladnikia
pastinacifolia) na
Kuclju. Foto: Elvica
Velikonja.*



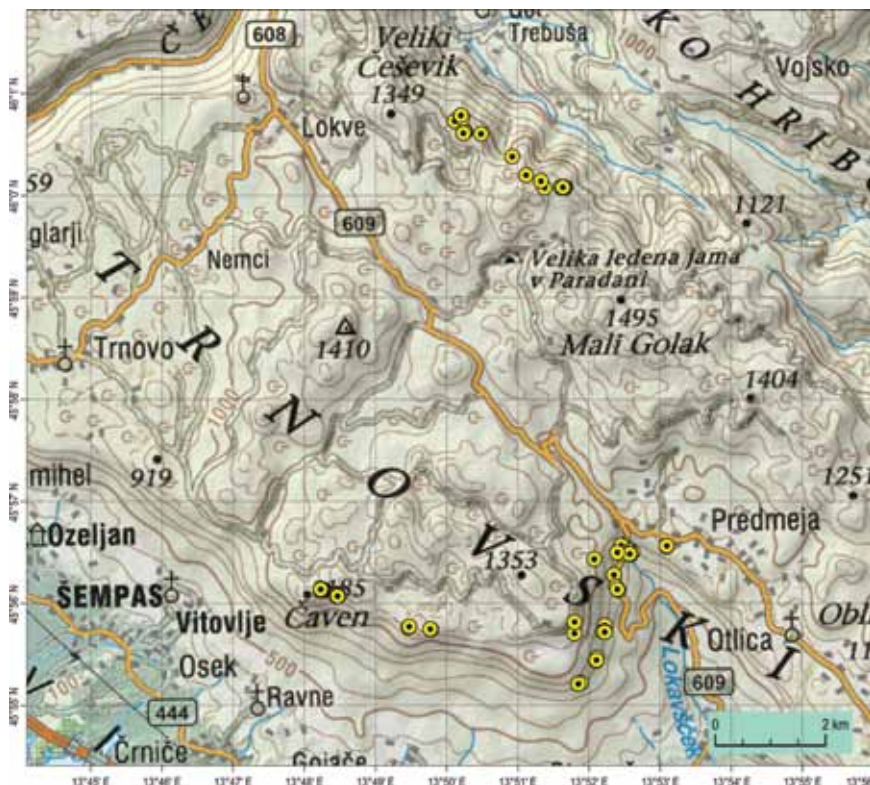
Kamnita pregrada (grubla) na Šuniku, rastišče hladnikovke. Foto: Igor Dakskobler.

Na kamniti pregradi (grubli) na pašniku smo poleti leta 2020 opazili le še nekaj rastlin. Številčnost rastlin je bila ob času najdbe precej večja. Šajna in sodelavci (2012) so v letih 2004 in 2005 tamkajšnjo velikost populacije ocenili na sto primerkov. Vzrok za njeno zmanjšanje ni toliko paša kot domnevno izkopavanje rastlin. Vendar ta travnik oziroma pašnik ni najbolj značilno rastišče tega endemita – to so predvsem melišča (*Festuco carniolicae-Drypidetum jacquinianae*, *Stipetum calamagrostis*), skalovje

(*Phyteumato columnae-Potentilletum caulescentis*) in kamnita travišča (*Genisto holopetalae-Caricetum mucronatae*, *Genisto sericeae-Seslerietum kalnikensis*, *Primulo auriculae-Seslerietum kalnikensis*), zato je mogoče, da je nahajališče na Šuniku drugotno in se je morda rastlina tja priselila s skalnatih območji pod robom planote. Kolikor smo jih do zdaj pregledovali, je tam nismo našli. Lahko pa je hladnikovka, tako razmišlja Elvica, na Šunik prišla tudi s pobočij Čavna. Predmeščani so namreč pred drugo sve-



Hladnikovka na Šuniku, od pred dvema desetletjema številčne populacije so ostali redki primerki. Foto: Igor Dakskobler.



Nahajališča hladnikovke (*Hladnikia pastinacifolia*) na južnem in severnem robu Trnovskega gozda. Zemljevid je pripravil Iztok Sajko.

točni vojno in tudi še po njej tam kosili in seno spravljali domov. Seno je bilo na seniku, nato v hlevu. Gnoj so vozili na njive in tudi živina se je pasla po gmajnah. Ko so jih čistili, so pograbljeno odlagali na gruble.

Kako pa je z nahajališči na severnem robu planote? V literaturi poleg navedb Zelenega roba in Poldanovca (vsa so v kvadrantu 9949/3) večinoma ne najdemo drugih nahajališč. Izjema so tri objave: Peterlin in sodelavci (1985: 66), Praprotnik (1987: 64) in Jogan in sodelavci (2001: 198), kjer je v kartah območij razširjenosti označen tudi kvadrant 9948/4. To je območje severozahodno od Poldanovca, pod Velikim Česevikom in Stanovim robom. Avtor karte območij razširjenosti v prvih dveh objavah (iz let 1985 in 1987) je bil Tone Wraber (in tudi Jogan in sodelavci, 2001, se sklicujejo nanju), ki pa tega kvadranta v rdečem seznamu (T. Wraber, Skoberne, 1989) ni več upošteval. Dejansko zanj v dosedanjih objavah ni nobene

podlage in tudi moji dosednji pregledi, zadnje sem opravili v letu 2020, ko sem raziskal dele skalovja pod Velikim Česevikom in Stanovim robom, so bili neuspešni. Dejstvo pa je, da je ta predel zelo obsežen in veliko je rastišč, ki so podobna tistim pod Poldanovcem. Za zdaj pa tega kvadranta pri območju razširjenosti hladnikovke ne moremo upoštevati. Nahajališča pod Poldanovcem in Zelenim robom in nad njima so na nadmorski višini od 1.020 metrov do 1.330 metrov, v črnem borovju (*Fraxino orni-Pinetum nigrae*), ruševju (*Rhodothamnno-Pinetum mug*), kamnitih travščih (*Primulo carniolicae-Caricetum firmae*, *Saxifraga squarrosae-Craicetum mucronatae*), v skalnih razpokah (*Primulo carniolicae-Potentilletum clusianae*, *Potentillo clusianae-Campanuletum zoysii*) in redko v vlažnem gruču (*Astrantio carniolicae-Adenostyletum glabrae*). Človekovih vplivov na nahajališčih skoraj ni, z izjemo morda bolj obiskanega Poldanovca. Obseg populacije pa

je zaradi težavnega in še ne dovolj preglednega terena težko natančneje oceniti, vsekakor hladnikovka v tem delu Trnovskega gozda ni ogrožena in na njeno razširjenost vplivajo predvsem naravni dejavniki.

Hladnikovka je izrazito prilagodljiva in nezahtevna vrsta. Zna si poiskati nova rastišča in razen krajevno, na posameznih nahajališčih, ni ogrožena in ji človek za zdaj ne more bistveno škodovati. Sama po sebi se pojavlja primerjava z drugim našim znamenitim endemitom, kranjskim jegličem (*Primula carniolica*). Deloma sta si podobna po rastiščih, imata tudi del skupnega območja razširjenosti (v Govcih nad Trebušo). Sam imam v podatkovni bazi *FloVegSi* 19 popisov, kjer uspevata skupaj v kamnitih traviščih in v združbah skalnih razpok. A so med njima vseeno razlike. Kranjski jeglič uspeva na nadmorski višini od 200 metrov do 1.460 metrov, torej tudi na Golakih, kjer hladnikovke ne poznamo, in tudi v dolinskih grapah (na primer ob Trebušici), medtem ko hladnikovka le v gorskem pasu (700 metrov do 1.330 metrov). Obe vrsti dobimo v kamnitih svetlih črnboborvih sestojih, v kamnitih traviščih, skalnih razpokah in na meliščih, s tem da je na slednjih kranjski jeglič bistveno redkejši. On je bolj vlagoljuben, hladnikovka pa bolj svetloljubna. Obema najbolj ustrežata dolomit in dolomitni apnenec. Nobena od njiju ne uspeva v Julijskih Alpah, kjer bi bilo zanju precej primernih rastišč. Kranjski jeglič ima nahajališča čisto na njihovem južnem robu, v grapah pod Kojco in na robu Šentviške planote, njegovo najbolj jugozahodno nahajališče v Trnovskem gozdu pa je pri Selovcu (Cohrs, 1954: 117). Morda je območje razširjenosti hladnikovke nekoliko večje, kot ga poznamo zdaj. Njena rastišča so namreč tudi težko dostopna ostenja, ki jih botaniki še nismo pregledali. A tudi v znanem območju razširjenosti ima dobre možnosti, da se v njem ohrani in najbrž, tako kot kranjski jeglič, preživi Slovence.

Zahvala

Pri pripravi tega članka so nam na terenu ali s podatki pomagali pokojni Emil Velikonja, Blaž

Belhar, dr. Branko Vreš, mag. Gabrijel Seljak, Marija Skok, prof. dr. Andrej Martinčič in dr. Nada Praprotnik. Zemljevid je za tisk pripravil Iztok Sajko. Vsem iskrena hvala.

Literatura:

- Cohrs, A., 1954: *Beiträge zur Flora des nordadriatischen Küstenlandes. Feddes Repertorium*, 56 (2): 97–143.
- Čušin, B., 2004: *Hladnikia pastinacifolia* Rchb. – *rebrinčevolistna hladnikija, hladnikovka*. V: Čušin, B., in sod.: *Natura 2000 v Sloveniji. Rastline*. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU, 107–113.
- Čušin, B., Babij, V., Bačič, T., Dakskobler, I., Frajman, B., Jogan, N., Kaligarič, M., Praprotnik, N., Seliškar, A., Skoberne, P., Surina, B., Škornik, S., Vreš, B., 2004: *Natura 2000 v Sloveniji. Rastline*. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU, 172 str.
- Jogan, N., Bačič, T., Frajman, B., Leskovar, I., Naglič, D., Podobnik, A., Rozman, B., Strgulc – Krajšek, S., Trčak, B., 2001: *Gradivo za Atlas flore Slovenije. Miklavž na Dravskem polju: Center za kartografijo favne in flore*, 443 str.
- Krašan, F., 1863: *Beiträge zur Flora der Umgebung von Görz. Österreichische botanische Zeitschrift*, 13 (12): 385–396.
- Peterlin, S., Skoberne, P., Wraber, 1985: *Na poti k botanični »Rdeči knjigi« za Slovenijo. Biološki vestnik*, 33 (2): 61–72.
- Praprotnik, N., 1987: *Ilirski florni element v Sloveniji. Doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani*, 234 str.
- Rojšek, D., 2020: *Poročilo o novem nahajališču rebrinčevolistne hladnikovke (Hladnikia pastinacifolia) v čavenskem žlebu Matjega kota. Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, Območna enota Nova Gorica*, 3 str.
- Seliškar, T., Vreš, B., Seliškar, A., 2003: *FloVegSi 2.0. Računalniški program za urejanje in analizo bioloških podatkov*. Ljubljana: Biološki inštitut ZRC SAZU.
- Šajna, N., Kavcar, T., Šuštar – Volžič, J., Kaligarič, M., 2012: *Population genetics of the narrow endemic Hladnikia pastinacifolia Rchb. (Apiaceae) indicates survival in situ during the pleistocene. Acta Biologica Cracoviensis*, 54 (1): 1–13.
- Velikonja, E., 2007: *Hladnikovka (Hladnikia pastinacifolia). Gora (Predmeja)*, 11, (36): 11–13.
- Velikonja, E., 2012: *Rastejo pri nas. Rastline Trnovskega gozda. Predmeja: Samozaložba*, 252 str.
- Wraber, T., 1990: *Sto znamenitih rastlin na Slovenskem. Ljubljana: Prešernova družba*, 239 str.
- Wraber, T., Skoberne, P., 1989: *Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk SR Slovenije. Varstvo narave (Ljubljana)*, 14–15: 1–429.

Ledenodobni rosomah (*Gulo gulo*) v Sloveniji

Matija Križnar

Rosomah ali žeruh (*Gulo gulo*) je največja kuna (poddružina Mustelinae), ki pa po videzu spominja na majhnega medveda. Rosomah danes poseljuje severna območja Zemljine poloble od Skandinavije (Finske, Norveške, Švedske in Estonije), Rusije, severa Kitajske in Mongolije do večjega dela Aljaske, Kanade in delno tudi nekaterih severnih držav Združenih držav Amerike. Zgodovinski podatki kažejo, da je rosomah še pred nekaj stoletji imel veliko večji življenjski prostor. Tako je v Evropi na zahodu živel celo v Romuniji in na Poljskem, na jugu pa v osrednjem delu Kazahstana. Še v času zadnjih ledenih dob pa je njegov življenjski prostor segal celo do obal Jadranskega morja, osrednje Evrope, Britanskega otočja in Pirenejev.

Ta zelo aktivna kuna je plenilec, ki se ne ustraši niti večjih živali, kot so severni je-

len in njemu podobne. Njegovi priljubljeni življenjski prostori so tundra, tajga, gozdovi iglavcev in celo močvirnata območja. Samci rosomaha so običajno večji od svojih samic: zrastejo lahko do enega metra in tehtajo do petnajst kilogramov. Ledenodobni rosomahi so bili zagotovo večji in močnejši od današnjih, kar kažejo tudi fosilni ostanki.

Predniki današnjega in ledenodobnega rosomaha so se razvili iz rodu *Plesiogulo*. Čeprav je fosilni zapis o pojavu rodu *Gulo* še vedno redek, pa paleontologi predvidevajo, da je bila zgodnjepleistocenska vrsta *Gulo schlosseri* neposredni prednik današnje vrste *Gulo gulo*. Zanimivo je, da vrsta *Gulo schlosseri* še ni bila prilagojena na hladno podnebje, kar dokazujejo fosilni ostanki, najdeni skupaj z značilnim toploljubnim rastlinstvom. Rosomah se je po nekaterih raziskovalcih pril-

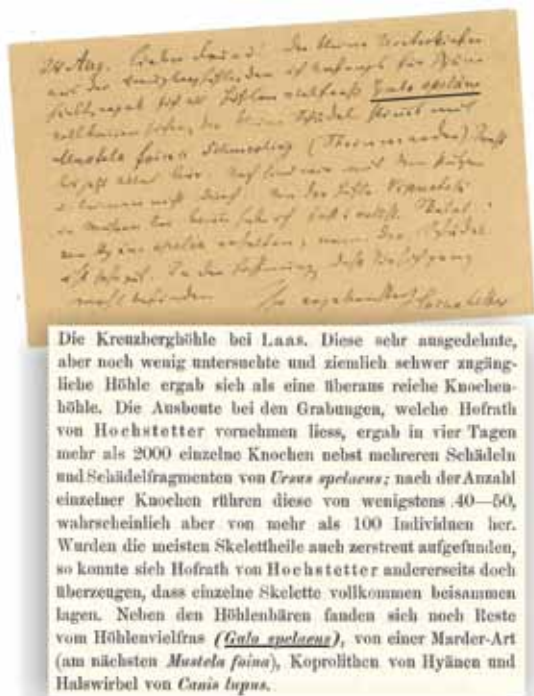
Današnji rosomahi (Gulo gulo) so prebivalci severnih in mrzlih območij. Sodijo med največje kune in so neustrašni plenilci. Ilustracija: Pika Križnar.



tologu Ernstu Kittlu (1854-1913) ter muzejskemu preparatorju Ferdinandu Schulzu (1849-1936). Ob nepregledni množici kosti jamskih medvedov, izkopanih predvsem v Medvedovem rovu, so našli tudi del spodnje čeljusti in podlahtnico rosomaha (takrat so ga imenovali še *Gulo spelaeus*) (Hochstetter, 1879). O tej in še nekaterih drugih zanimivih in redkih najdbah iz Križne jame je na dopisnici Hochstetter obvestil tudi Dežmana še pred uradnimi objavami. Večji del izkopanega in zbranega paleontološkega gradiva so odpeljali v naravoslovni muzej na Dunaju, kjer se je za omenjenimi ostanki rosomaha za več kot stoletje izgubila vsaka sled.

Drugo najdišče pleistocenskega rosomaha leži v bližini Kostanjevice na Krasu. O izjemni najdbi skoraj polovice okostja rosomaha je leta 1941 prvi poročal in ostanke opisal italijanski geolog in speleolog Franco Anelli (1899-1977). Toda zgodba o odkritju teh fosilov se je odvijala že desetletja pred tem. Leta 1915 naj bi ob raziskovanju neke jame pri Kostanjevici na Krasu ostanke rosomahovega okostja našel inženir H. Boch. Ostanke so ležali v tretji dvorani jame oziroma brezna na površini grušča. Pobrane kosti so očitno bile kasneje shranjene v Postojni na takratnem Italijanskem speleološkem inštitutu (deloval je v letih od 1929 do 1934), kjer jih je tudi »odkril« Anelli (Anelli, 1941). Med kostnimi ostanki rosomaha so ohranjene lobanja, spodnja čeljust in mnoge kosti. Ta najdba verjetno sodi med najbolj ohranjene ostanke rosomaha v Evropi (Döppes, 2001). Danes je tudi bolj znano pravo ime jame ozi-

roma brezna, v katerem so našli rosomahove ostanke. Med prvotnimi imeni najdišča smo lahko zasledili italijansko poimenovanje Grotta di Castagnavizza, pred tem nemško poimenovanje Nakošnikhöhle (jama Nakošnik) in jama Grapača. Šele s pomočjo Pavla Jamnika in članov Jamarskega kluba Temnica iz Kostanjevice na Krasu so ugotovili, da je najdišče v resnici jama na Halametovem. Sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja so jamarji in arheologi ponovno naleteli na redke ostanke ledenodobnih rosomahov. Prve fosile so našli v Ludvikovi jami blizu Sežane in pripadajo spodnji čeljustnici ter trem fragmentom zgornjih čeljustnic. Ob rosomahovih kosteh so našli še nekaj drugih kosti ledenodobnih sesalcev (Pavšič, Turk, 1989). Nekoliko bolj skromne fosilne ostanke so našli v pleistocenskih sedimentih Jame velikih podkovnjakov blizu Črnotič nad Kopro. Tudi tukaj so izkopali dva večja fragmenta spodnjih čeljustnic in nekaj zob (Pavšič, Turk, 1989).



Zgodovinsko najstarejša odkritja ostankov rosomahov v Sloveniji so našli v Križni jami. O najdbi rosomaha je leta 1878 poročal Ferdinand von Hochstetter Karlu Dežmanu, takratnemu kustosu Deželnega muzeja za Kranjsko. Omenjeni ostanki so shranjeni na Dunaju.

Vir: Arhiv Narodnega muzeja Slovenije.

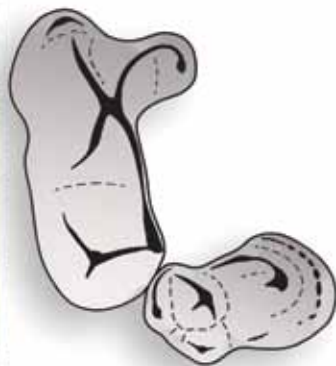
Foto: Matija Križnar.



Spodnja čeljust rosomaha iz Ludvikove jame blizu Sežane, kjer so našli ostanke vsaj dveh osebkov. Primerek brani paleontološka zbirka Oddelka za geologijo na Naravoslovnotehnoški fakulteti v Ljubljani. Ohranjeni ostanek je dolg približno deset centimetrov.

Foto: Matija Križnar.

Morda geološko najstarejši ostanek je bila spodnja čeljustnica rosomaha iz zasute jame v kamnolomu Črnotiče. O tej najdbi zelo na kratko poroča krasoslovec Andrej Mihevc v eni izmed svojih monografij (Mihevc, 2001). Po našem poizvedovanju pri odkri-



V znameniti Potočki zijalki (vhod v jamo na levi) so med zadnjimi izkopavanji na prehodu v 21. stoletje odkrili nekaj ostankov rosomaha. Ostanke so pripisali zgornji čeljustnici (zoba na desni). Vir: po Döppesu, 2001.

Foto: Matija Križnar.

telju smo izvedeli neprijetno novico, da je bil zelo krhek in drobljiv fosil uničen med preparacijo, pripadnost rosomahu pa je bila nesporna.

Zadnji odkriti ostanki rosomaha pa so bili izkopani v znani Potočki zijalki med za-

dnjimi izkopavanji na prehodu v 21. stoletje. Takrat so z natančnimi in sistematičnimi izkopavanji našli del desne zgornje čeljustnice, desni podočnik (kanin) in gleženjsko kost rosomaha (Döppes, 2001).

Najditeljica Patricija Oštir takoj po najdbi lobanje rosomaha v Erjavčevi jami. Na fotografiji je lepo vidno, da je bila lobanja debelo prekrita s peščenim sedimentom, kar je verjetno pripomoglo k njeni ohranitvi. Foto: Boris Šajtegel.



Novo presenečenje iz Erjavčeve jame

V poznopomladanskih dneh leta 2021 je pri raziskovanju nekaterih predelov Erjavčeve jame blizu Solčave jamarka Patricija Oštir po naključju naletela na manjšo lobanjo

zveri. Lobanja je ležala med večjimi skalnimi bloki in gruščem na dnu kotanje, ki je pogosto poplavljen. Že v jami je lobanjo postojnski entomolog in biolog Slavko Polak prepoznal kot rosomahovo ter jo zaradi ne-



Lobanja rosomaha iz Erjavčeve jame pri Solčavi. Dolžina lobanje je približno 16 centimetrov, primerek hrani Prirodoslovni muzej Slovenije.

Foto: Matija Križnar

varnosti uničenja tudi odvzel (o najdbi je bil obveščen tudi Zavod Republike Slovenije za varstvo narave, enota Celje). Glede na položaj najdbe je bila lobanja v jami verjetno prenesena iz višje oziroma drugje ležečih plasti jamskih usedlin. Po preparaciji se je pokazalo, da je lobanja odlično ohranjena in na njej manjka le nekaj zob. Novo odkriti ostanek lobanje rosomaha meri v dolžino 158 milimetrov. Največjo širino lobanje zaradi poškodovanosti, delno odlomljenih ličnih lokov (*arcus zygomaticus*), ne moremo natančno izmeriti. V zgornji čeljusti so ohranjeni vsi zobje, manjkata le levi podočnik in tretji levi sekalec. Zgornja dva ličnika - derača (P⁴) - sta približno 20,5 milimetra dolga in 11,5 milimetra široka. Vse omenjene meritve uvrščajo rosomaha iz Erjavčeve jame med morfološko manjše fosilne osebe, medtem ko ga v primerjavi z današnjimi lahko primerjamo z večjimi samci rosomahov (Döppes, 2001, 60).

Pri predstavitvi starih in novih fosilnih najdb rosomaha moramo vedno imeti v mislih tudi varovanje teh izjemnih odkritij fosilnih vretenčarjev. Zato vse naključne najditelje, jamarje, zbiralce in raziskovalce opozarjamo, da so vsi fosilni ostanki vretenčarjev, odkriti na ozemlju Slovenije, zaščiteni po *Zakonu o ohranjanju narave* (75. člen), kar še bolj natančno opredeljuje tudi *Pravilnik o določitvi in varstvu naravnih vrednot*. O morebitnih podobnih najdbah pa lahko obvestite naravovarstvenike na območnih enotah Zavoda Republike Slovenije za varstvo narave, strokovnjake v Prirodoslovnem muzeju Slovenije, lokalni muzej ali tudi katero drugo podobno ustanovo. Z upoštevanjem omenjenih predpisov lahko vsi bistveno pripomoremo k ohranjanju in varovanju naše edinstvene in zanimive paleontološke dediščine.

Zahvala

Spodbudo k pisanju tega prispevka je gotovo pripomogla najnovejša najdba rosomahove lobanje iz Erjavčeve jame, ki jo je našla jamarka Patricija Oštir, prevzel in temeljito prepariral in konserviral pa Slavko Polak iz Notranjskega muzeja Postojna. Pri nekaterih informacijah sta mi veliko pomagala tudi Pavel Jamnik, Andrej Mihevc in člani Jamarskega kluba Temnica iz Kostanjevice na Krasu. Vsem se zahvaljujem za nesebično pomoč in sodelovanje.

Literatura:

- Anelli, F., 1941: *Un importante reperto di Gulo gulo L. Nella Grotta di Castagnavizza. Le Grotte d'Italia*, 2 (4): 92–118.
- Döppes, D., 2001: *Gulo gulo (Mustelidae, Mammalia) im Jungpleistozän Mitteleuropas. Beiträge zur Paläontologie*, 26: 1–95.
- Hochstetter, F. v., 1879: *Die Ergebnisse der von der Commission im verflossenen Jahre veranlassten Forschungen und Ausgrabungen. Anzeiger der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe*, 16 (2): 13–19.
- Križnar, M., Oštir, P., Jamnik, P., Polak, S., Mihevc, A., 2021: *Novi ostanek poznopleistocenskega rosomaha (Gulo gulo Linné) v Sloveniji: z zgodovinskim pregledom dosedanjih fosilnih najdb. Geološki zbornik (25. posvetovanje slovenskih geologov)*, 26: 54–57.
- Mihevc, A., 2001: *Speleogeneza Divaškega krasa. Ljubljana: Založba ZRC*, 180 str.
- Pavišič, J., Turk, I., 1989: *Prva najdba Panthera pardus (Linné) in nove najdbe vrste Gulo gulo Linné v Sloveniji. Razprave SAZU*, 30 (4): 129–160.

Razvoj asimetrične organokatalize

Nobelova nagrada za kemijo za leto 2021

Uroš Grošelj

Nobelovo nagrado za kemijo za leto 2021 sta prejela Benjamin List in David W. C. MacMillan za razvoj asimetrične organokatalize.

Kompleksne molekule, pripravljene v laboratoriju ali pa če jih biokemijsko sestavijo različni organizmi, običajno nastanejo v seriji reakcijskih korakov iz preprostih izhodnih spojin. Nekateri ali vsi reakcijski koraki v izbranem reakcijskem zaporedju so lahko

katalizirani. Katalizator je snov, ki poveča hitrost in selektivnost kemijske reakcije, pri tem pa se ne porabi. Katalizator po reakciji ostane nespremenjen. Čeprav je koncept katalize že davnega leta 1835 vpeljal švedski kemik J. J. Berzelius (Trofast, 1981), kataliza predstavlja bistvo moderne sintezne kemije. Katalizo danes razvijajo in jo vsak dan uporabljajo tako v akademskih laboratorijih kot v industriji. Ključna je pri mnogih industrijskih pretvorbah izhodnih surovin v



Levo: Benjamin List (Inštitut Maxa Plancka za raziskave premoga, Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, v Mülheimu na Ruhru v Nemčiji); desno: David W. C. MacMillan (Univerza Princeton v Združenih državah Amerike). Vir portretov: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2021/summary/>. Ilustracija: Niklas Elmehed.



Slika 1: a) Oba enantiomera kiralne spojine; b) akiralna spojina; c) (R)- in (S)-oblika talidomida.

proizvode z višjo dodano vrednostjo, kot so farmacevtski izdelki in kmetijske kemikalije (na primer pesticidi). Ocenjujejo, da kataliza prispeva k več kot 35 odstotkom svetovnega bruto družbenega proizvoda (Hagen, 2015). Po drugi strani pa kataliza v bioloških sistemih s pomočjo encimov omogoča življenje, kot ga poznamo. Razvoj visoko učinkovitih katalizatorjev zato spada med najbolj dejavna področja sodobnih raziskav, saj sta zmanjševanje porabe energije in izogibanje nezaželenim odpadkom bistvenega pomena za ohranjanje naravnih virov (trajnostni razvoj), kar pripomore k skrbi za okolje (The Nobel Prize in Chemistry 2021, 2021; Grošelj, Ričko, 2017).

Asimetrična kataliza (v ožjem pomenu) je vrsta katalize, pri kateri kiralni neracemni katalizator usmerja tvorbo kiralnega produkta iz akiralnega reaktanta tako, da pri tem nastane selektivno eden od dveh enantiomernih produktov. Za kiralne spojine je značilno, da zrcalna slika kiralne spojine ni enaka izvorni spojini; kiralna spojina posledično obstaja v obliki dveh prostorskih izomerov – enantiomerov, ki sta si zrcalno podobna. Nasprotno je zrcalna podoba akiralne spojine identična izvorni spojini (slika 1). Kiralne spojine so izrednega pomena, zlasti na področju farmacevtskih učinkovin, kjer en enantiomer lahko predstavlja spoji-

no z želenimi zdravilnimi lastnostmi, drugi enantiomer pa teh lastnosti nima ali pa so njegove lastnosti celo škodljive. Tak primer je kiralna spojina talidomid (Thalidomide). (R)-oblika talidomida je učinkovina s pomirjevalnim in uspavalnim delovanjem, (S)-oblika pa kaže teratogenost (slika 1). Zdravilo *Contergan*, ki je vsebovalo talidomid v obliki zmesi (S)- in (R)-oblike v razmerju 1:1 (racemna zmes), so leta 1957 na trg uvedli kot zelo varno in primerno tudi za nosečnice zoper jutranjo slabost. Žal so se zaradi prisotnosti teratogene (S)-oblike talidomida v zdravilu pri otrocih, katerih matere so ga med nosečnostjo uživale, pojavili številni primeri deformacij. Zdravilo je bilo zato leta 1961 umaknjeno s trga.

Do preloma tisočletja je veljalo, da asimetrična kataliza temelji pretežno na (organo)kovinski katalizi in biokatalizi (za vse podeljene Nobelove nagrade za kemijo glej: <https://www.nobelprize.org/prizes/list/all-nobel-prizes-in-chemistry/>). Pri (organo)kovinski katalizi kovina oziroma kovinski ion aktivira substrat, v kompleksu s kiralnimi ligandi pa zagotavlja asimetrično okolje. Pri biokatalizi so katalizatorji biološke makromolekule, kot so encimi, kjer v asimetričnem okolju aktivnega mesta poteka stereoselektivna pretvorba substrata do produkta. *Asimetrična organokataliza*, po drugi strani,

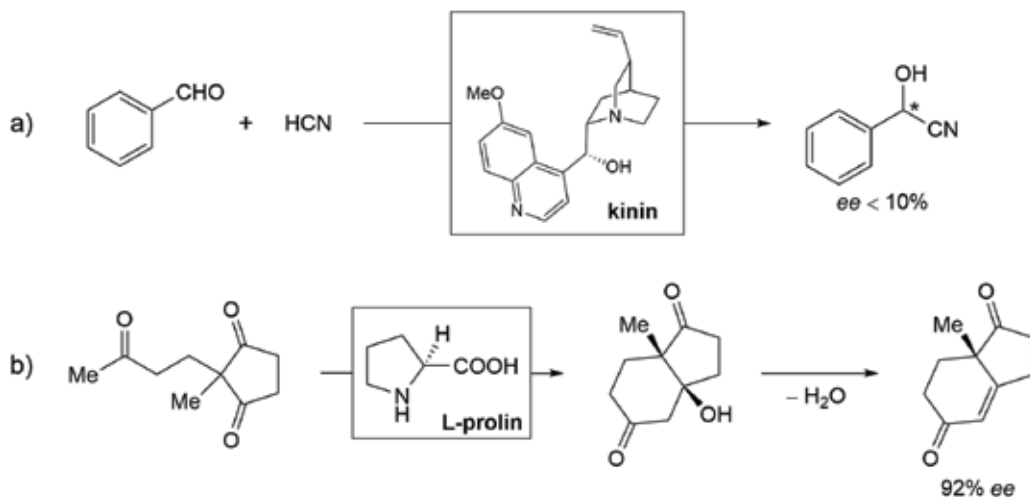
temelji na katalitskem delovanju majhnih kiralnih organskih molekul, sestavljenih iz ogljika, vodika, dušika, žvepla in fosforja brez kovine kot pospeševalca (promotorja) katalize (Torres, 2013).

Začetki uporabe kiralnih organokatalizatorjev segajo v leto 1912, ko sta G. Bredig in W. S. Fiske izvedla adicijo vodikovega cianida na benzaldehid v prisotnosti katalizatorja kinina, pri tem pa izolirala produkt z nizkim enantiomernim presežkom (*ee*) (shema 1, primer a) (Bredig, Fiske, 1912). Kljub občasni uporabi asimetrične organokatalize, kot je primer visoko enantioselektivne intramolekularne aldolne reakcije, katalizirane s prolinom, to je Hajos–Parrish–Eder–Sauer–Wiechertove reakcije (shema 1, primer b) (Torres, 2013), pa je do preboja organokatalize kot temeljne metodologije asimetrične katalize prišlo šele leta 2000 s prelomnim delom Benjamina Lista na področju enaminske organokatalize (List, Lerner, Barbas, 2000) in Davida W. C. MacMillana na področju iminijeve organokatalize (Ahrendt, Borths, MacMillan, 2000).

Enaminska organokataliza v osnovi posnema

delovanje encimov aldolaz tipa I, ki v aktivnem mestu s pomočjo primarnega amina lizinskega preostanka stereoselektivno katalizirajo aldolno reakcijo. Reakcija poteka preko enaminskega reaktivnega intermedata (Lai, Nakai, Chang, 1974). Kljub temu da je mehanizem delovanja aldolaz tipa I znan že od sedemdesetih let 20. stoletja, si je bilo težko predstavljati, da lahko majhna organska molekula, kot je L-prolin, posnema delovanje makromolekule, kot je encim, ki ima natančno definirano strukturo aktivnega mesta. Izvirna ideja Nobelovega nagrajenca Benjamina Lista je bilo spoznanje, da L-prolin lahko deluje kot »mikroaldolaza«, torej da lahko oponaša aldolazo tipa I, in da L-prolin stereoselektivno katalizira aldolno reakcijo med acetonom in aromatskimi aldehydi (List, Lerner, Barbas, 2000). Kasneje je uporabo L-prolina kot katalizatorja razširil še na Mannichovo reakcijo, α -aminiranje aldehydov in druge reakcije (Torres, 2013). Splošni katalitski cikel je za primer enaminske organokatalize prikazan na shemi 2. Aldehid ali keton kot substrat s katalizatorjem (kiralnim sekundarnim aminom)

Shema 1: a) Organokatalizirana adicija HCN na benzaldehid;
b) visoko enantioselektivna Hajos–Parrish–Eder–Sauer–Wiechertova reakcija.

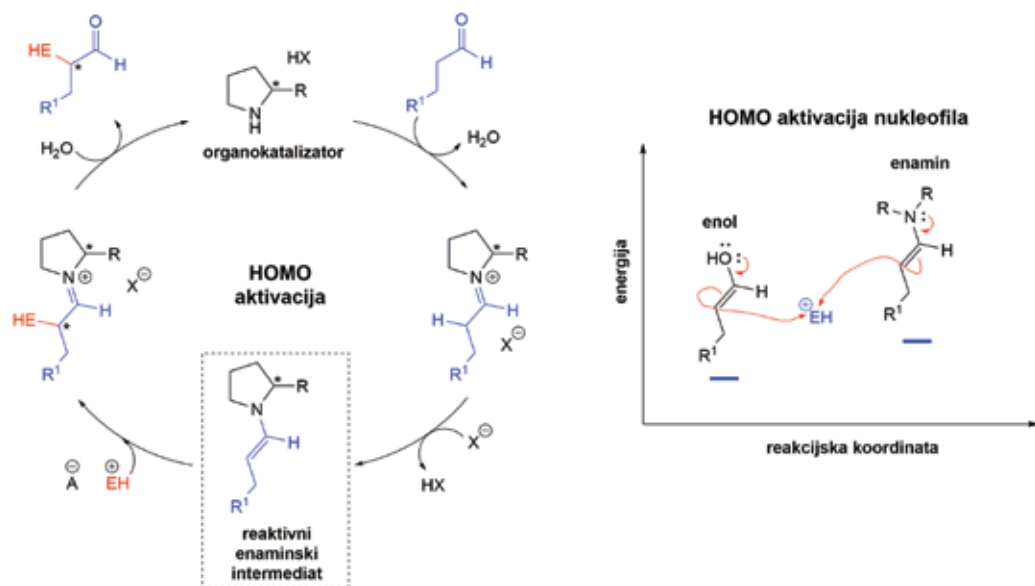


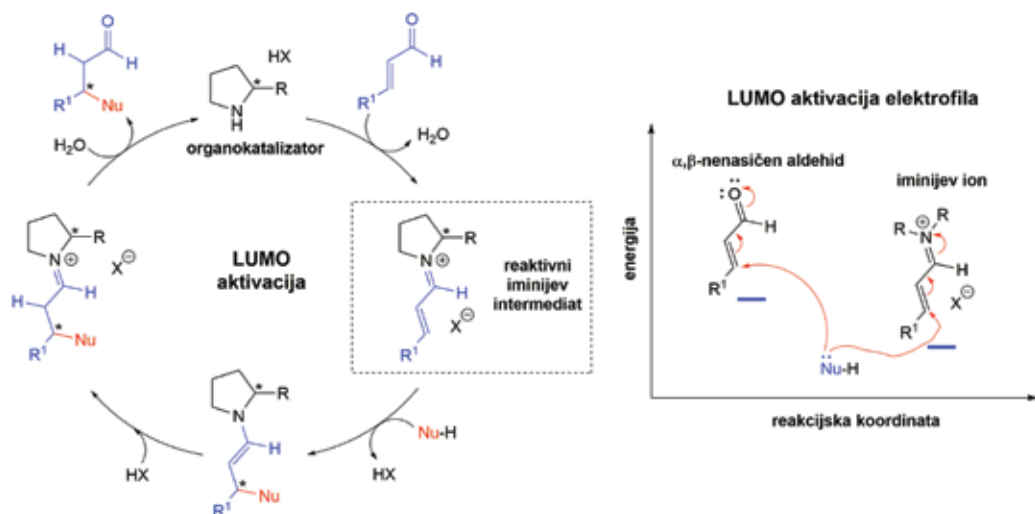
kondenzira do enamina, ki predstavlja reaktivni intermedat (Seebach, Grošelj, Badine, Schweizer, Beck, 2008). Govorimo o HOMO aktivaciji substrata, ki je v enaminski obliki bolj nukleofilna kot izvorni aldehid ali keton v enolni obliki. Enamin v naslednji elementarni stopnji reagira z izbranim elektrofilom do iminijevega iona, ki v zadnji stopnji hidrolizira do končnega produkta, α -funkcionaliziranega aldehida ali ketona, in regeneriranega organokatalizatorja, ki vstopi v nov katalitski cikel (Torres, 2013).

Iminijeva organokataliza temelji na povečani elektrofilnosti, to je reaktivnosti, iminijevih soli v primerjavi s karbonylnimi spojinami (α,β -nenasičeni aldehidi in ketoni), iz katerih jih lahko pripravimo. Govorimo o tako imenovani LUMO aktivaciji karbonylnega substrata. Primeri uporabe iminijevih soli v različnih kemijskih pretvorbah, kot so cikloadicije in Michaelove adicije, so že bili predhodno znani in dobro opisani v literaturi (Jung, Vaccaro, Buszek, 1989). Šele leta 2000 pa je Nobelov nagrajenec David W. C. MacMillan v svojem izvirnem delu pokazal, da lahko z uporabo kiralnega sekundarnega

amina (imidazolidinonski organokatalizator) enantioselektivno kataliziramo Diels-Alderjevo reakcijo med α,β -nenasičenimi aldehidi in različnimi dieni, kjer je prehodna tvorba reaktivnega iminijevega intermedata ključna za uspeh reakcije (Ahrendt, Borths, MacMillan, 2000). Nov način aktivacije je uspešno uporabil tudi v drugih pretvorbah α,β -nenasičenih aldehydov in ketonov, kot so 1,3-dipolarne cikloadicije, Friedel-Craftsova reakcija in 1,4-adicije (Torres, 2013). Splošni katalitski cikel je za primer iminijeve organokatalize predstavljen na shemi 3. α,β -nenasičeni aldehid ali keton reagira s kiralnim sekundarnim aminom (katalizatorjem) v prisotnosti kisline in tvori reaktivno iminijevo sol (reakcijski intermedat) (Grošelj, Seebach, Badine, Schweizer, Beck, Krossing, Klose, Hayashi, Uchamaru, 2009), ki v naslednji elementarni stopnji reagira z izbranim nukleofilom. Tako nastane enaminski intermedat, ki je v ravnotežju z iminijevim ionom. Slednji z vodo hidrolizira do končnega produkta, β -funkcionaliziranega aldehida ali ketona, in regeneriranega organokatalizatorja, ki vstopi v nov katalitski

Shema 2: Splošni katalitski cikel za primer enaminske organokatalize; * center kiralnosti.





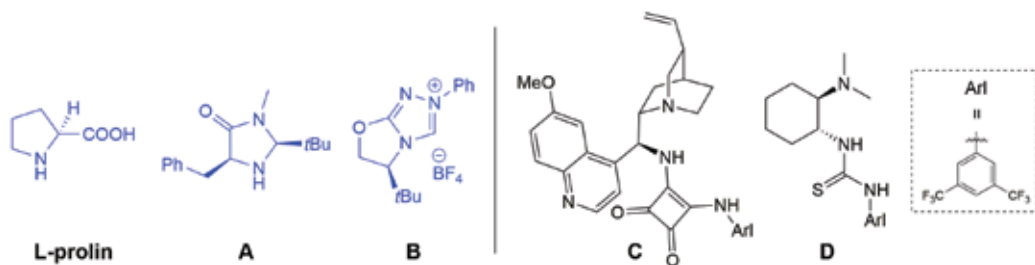
Shema 3: Splošni katalitski cikel za primer iminijeve organokatalize; * center kiralnosti.

cikel (Torres, 2013). Vizionarskim dosežkom B. Lista in D. W. C. MacMillana je sledil eksponentni razvoj asimetrične organokatalize, ki je pripeljal do številnih novih organokataliziranih pretvorb, izboljšanih generacij organokatalizatorjev ter spodbudil razvoj novih področij asimetrične organokatalize (Torres, 2013). Poleg kovalentne organokatalize, kamor sodijo enaminska in iminijeva organokataliza ter organokataliza s karbeni (Enders, Balensiefer, 2004), se je bliskovito razmahnila tudi nekovalentna organokataliza, kjer katalizator aktivira substrat s šibkejšimi medmolekulskimi interakcijami, kot so na primer vodikove vezi (Torres, 2013; Okino, Hoa-

shi, Takemoto, 2003; Malerich, Hagihara, Rawal, 2008). Nekaj značilnih kovalentnih in nekovalentnih katalizatorjev je predstavljenih na sliki 2. Številne mehanistične študije, ki so sledile prvotnim odkritjem, pa so pojasnile delovanje posameznih vrst organokatalizatorjev, kar je bistvenega pomena za nadaljnji razvoj organokatalize (Torres, 2013). Obdobje po letu 2000, z bliskovitim razvojem organokatalize, je znano tudi kot »organokatalitska zlata mrzlica« (Melchiorre, Marigo, Carlone, Bartoli, 2008).

Danes asimetrična organokataliza, poleg (organo)kovinske katalize in biokatalize, velja za tretji steber asimetrične katalize; vsi trije pa se med seboj v številnih primerih

Slika 2: Kovalentni organokatalizatorji **L-prolin**, imidazolidinon **A** in prekursor karbena **B** ter nekovalentna organokatalizatorja na osnovi alkaloida kinina **C** in cikloheksandiamina **D**.



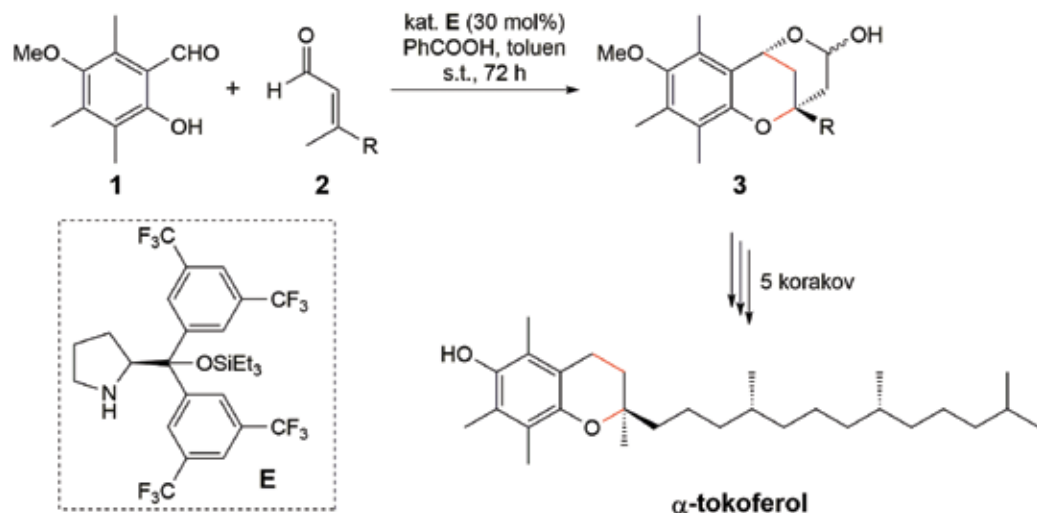
uspešno dopolnjujejo. Izrazita prednost organokatalize je uporaba majhnih organskih molekul, ki ne vsebujejo potencialno strupenih kovin ter so obstojne v prisotnosti kisika in vlage, kar bistveno olajša njihovo praktično uporabo v sintezi. V večini primerov so organokatalizatorji sintezno lahko dostopni iz naravnih spojin kiralnega bazena, kot so ogljikovi hidrati, terpeni oziroma terpenoidi in aminokisline (Torres, 2013).

S primernim načrtovanjem lahko asimetrično organokatalizo uporabimo za sintezo kompleksnih molekul, kot so biološko pomembne naravne spojine, farmacevtske učinkovine ter kmetijske kemikalije (pesticidi) in njihovi strukturni analogi. V ta namen uporabimo tako imenovane kaskadne reakcije (Torres, 2013; Grondal, Jeanty, Enders, 2010; Parella, Jakkampudi, Zhao, 2021; Hughes, 2018), kjer produkt prvega reakcijskega koraka predstavlja izhodno spojino za naslednji sintezni korak, vse pa poteka v eni reakcijski posodi brez dodatnih operacij čiščenja vmesnih produktov posameznih reakcijskih stopenj. Eleganten primer je sinteza α -tokoferola (vitamina E): ključna stopnja je enantioselektivna organo-

katalizirana kaskadna reakcija med aromatskim aldehidom **1** in α,β -nenasičenim aldehidom **2**, ki ob katalizi z derivatom prolina **E** vodi do nastanka spojine **3**. Sledi še pet sinteznih korakov do vitamina E (shema 4) (Liu, Chougnnet, Woggon, 2008).

Leto 2000 označuje začetek sodobnih raziskav organokatalize, področja, ki je pritegnilo veliko pozornost raziskovalne skupnosti, kar je sprožilo nesluteni razvoj, ki še vedno traja. Raziskovalno področje je izredno široko, saj poleg enaminske in iminijeve katalize vključuje še druga področja kovalentne in nekovalentne organokatalize, fotoredoks in (organo)kovinsko katalizo. Danes pa je organokataliza dozorela v orodje, ki se rutinsko uporablja pri načrtovanju in izvedbi mnogih sintez, tako v industriji kot v akademskih krogih. V prihodnosti lahko pričakujemo razvoj novih, učinkovitejših in bolj »zelenih« organokatalizatorjev, njihovo pospešeno vključevanje v sintezne procese v industriji ter nadaljevanje povezovanja organokatalize z različnimi področji organske sinteze in katalize.

Shema 4: Organokatalizirana sinteza spojine **3**, prekursorja α -tokoferola.



Slovarček:

Enamin. Nenasičena spojina, ki vsebuje konjugirani alken in aminska skupino. Običajno nastane pri kondenzaciji aldehida ali ketona s sekundarnim aminom.

Enantiomer. V kemiji eden od dveh stereozomerov, ki sta zrcalni podobi drug drugega. Enantiomerov ne moremo popolnoma prekriti (superponirati). Izraz kiralnost izvira iz starogrške besede za roko (*kheir*, χειρ), saj za levo in desno roko velja, da sta zrcalni podobi.

HOMO. Najvišja zasedena molekulska orbitala (angleško *Highest Occupied Molecular Orbital*).

Kaskadna reakcija. Kemični proces, ki obsega vsaj dve zaporedni reakciji, kjer produkt prvega reakcijskega koraka predstavlja izhodno spojino za naslednji sintezni korak, vse pa poteka v eni reakcijski posodi. Vsak korak kaskadne reakcije se zgodi zaradi funkcionalnih skupin, oblikovanih v predhodnem koraku. Pri kaskadnih reakcijah izolacija vmesnih produktov ni potrebna, saj se vsaka reakcija, ki sestavlja zaporedje, zgodi spontano. V najstrožji definiciji izraza se reakcijski pogoji med zaporednimi koraki kaskade ne spreminjajo in se po začetnem koraku ne dodajajo nobeni novi reagenti.

Katalizator. Snov, ki sodeluje pri kemijski pretvorbi in znižuje aktivacijsko energijo za pretvorbo ter tako poveča hitrost kemijske reakcije. Katalizator kot tak se pri reakciji ne porablja in po reakciji ostane nespremenjen.

LUMO. Najnižja nezasedena molekulska orbitala (angleško *Lowest Unoccupied Molecular Orbital*).

Organokataliza. Uporaba majhnih organskih molekul, sestavljenih iz ogljika, vodik, dušika, žvepla in fosforja (brez kovine kot pospeševalca, promotorja katalize) kot katalizatorjev za pospeševanje in usmerjanje organskih reakcij.

Racemna zmes. Zmes, ki vsebuje enako količino levosučnega in desnosičnega enantiomera neke kiralne spojine.

Teratogenost. Lastnost določene snovi oziroma dejavnika (na primer elektromagnetnega sevanja), da povzroča strukturne, funkcijske, presnovne in vedenjske nepravilnosti pri zarodku oziroma plodu, če je nosečnica izpostavljena takemu dejavniku.

Literatura:

- K. A. Abrendt, C. J. Borths, D. W. C. MacMillan, 2000: *New Strategies for Organic Catalysis: The First Highly Enantioselective Organocatalytic Diels-Alder Reaction*. *Journal of the American Chemical Society*, 122: 4243–4244.
- G. Bredig, W. S. Fiske, 1912: *Beiträge Zur Chemischen Physiologie und Pathologie*. *Biochemische Zeitschrift*, 46: 7–23.
- D. Enders, T. Balensiefer, 2004: *Nucleophilic Carbenes in Asymmetric Organocatalysis*. *Accounts of Chemical Research*, 37: 534–541.
- C. Grondal, M. Jeanty, D. Enders, 2010: *Organocatalytic cascade reactions as a new tool in total synthesis*. *Nature Chemistry*, 2: 167–178.
- U. Grošelj, D. Seebach, D. M. Badine, W. B. Schweizer, A. K. Beck, I. Krossing, P. Klose, Y. Hayashi, T. Uchamaru, 2009: *Structures of the Reactive Intermediates in Organocatalysis with Diarylprolinol Ethers*. *Helvetica Chimica Acta*, 92, 1225–1259.
- U. Grošelj, S. Ričko, 2017: *Vzpon in razcvet organokatalize*. *Proteus*, 80: 132–137.
- J. Hagen, 2015: *Industrial Catalysis: A Practical Approach*, 459–462.
- D. L. Hughes, 2018: *Asymmetric Organocatalysis in Drug Development—Highlights of Recent Patent Literature*. *Organic Process Research & Development*, 22: 574–584.
- M. E. Jung, W. D. Vaccaro, K. R. Buszek, 1989: *Asymmetric Diels-Alder reactions of chiral alkoxy iminium salts*. *Tetrahedron Letters*, 30: 1893–1896.
- C. Y. Lai, N. Nakai, D. Chang, 1974: *Amino acid sequence of rabbit muscle aldolase and the structure of the active center*. *Science*, 183, 1204–1206.
- K. Liu, A. Chouhnet, W.-D. Woggon, 2008: *A Short Route to α -Tocopherol*. *Angewandte Chemie International Edition*, 47, 5827–5829.
- B. List, R. A. Lerner, C. F. Barbas, 2000: *Proline-Catalyzed Direct Asymmetric Aldol Reactions*. *Journal of the American Chemical Society*, 122: 2395–2396.
- J. P. Malerich, K. Hagihara, V. H. Rawal, 2008: *Chiral Squaramide Derivatives are Excellent Hydrogen Bond Donor Catalysts*. *Journal of the American Chemical Society*, 130: 14416–14417.

P. Melchiorre, M. Marigo, A. Carlone, G. Bartoli, 2008: *Asymmetric Aminocatalysis—Gold Rush in Organic Chemistry. Angewandte Chemie International Edition*, 47: 6138–6171.

T. Okino, Y. Hoashi, Y. Takemoto, 2003: *Enantioselective Michael Reaction of Malonates to Nitroolefins Catalyzed by Bifunctional Organocatalysts. Journal of the American Chemical Society*, 125: 12672–12673.

R. Parella, S. Jakkampudi, J. C. G. Zhao, 2021: *Recent Applications of Asymmetric Organocatalytic Methods in Total Synthesis. ChemistrySelect*, 6: 2252–2280.

D. Seebach, U. Grošelj, D. M. Badine, W. B. Schweizer, A. K. Beck, 2008: *Isolation and X-ray structures of reactive intermediates of organocatalysis with diphenylprolinol ethers and with imidazolidinones. A survey and comparison with computed structures and with 1-acyl-imidazolidinones: the 1,5-repulsion and the geminal-diaryl effect at work. Helvetica Chimica Acta*, 91: 1999–2034.

Thalidomide. Dostopno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thalidomide>.

The Nobel Prize in Chemistry 2021, 2021. Dostopno na: <https://www.nobelprize.org/uploads/2021/10/advanced-chemistryprize2021-3.pdf>.

R. R. Torres, 2013: *Stereoselective Organocatalysis: Bond Formation Methodologies and Activation Modes. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.*

J. Trofast, 1981: *The Concept of Catalysis. In Perspectives in Catalysis: In Commemoration of Jöns Jacob Berzelius.*

R. Larsson, ur. Lund: Gleerup, str. 9–17.

Za vse podeljene Nobelove nagrade za kemijo glej: <https://www.nobelprize.org/prizes/list/all-nobel-prizes-in-chemistry/>.



Uroš Grošelj je leta 2000 diplomiral, leta 2004 pa doktoriral (podiplomski študij organske kemije) na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani pod mentorstvom prof. dr. Jurija Sveteta. Po doktoratu se je zaposlil na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo kot raziskovalec v raziskovalni skupini prof. dr. Branka Stanovnika. Po podoktorskem izpopolnjevanju v skupini prof. dr. Dieterja Seebacha na Švicarski državni tehniški visoki šoli Zürich (ETH-Zürich) v Švici (2008–2009) se je na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo zaposlil kot asistent za področje organske kemije (2014), nato pa leta 2017 kot visokošolski učitelj za področje organske kemije. Je prejemnik Krkine nagrade (2004) in nagrade Futurum (2006). Je avtor več kot 140 znanstvenih in preglednih člankov. Njegova raziskovalna zanimanja vključujejo sintezo in pretvorbe heterocikličnih sistemov, stereoselektivno sintezo, kemijo terpenskih enaminonov, cikloadicije, organokatalizo in medicinsko kemijo.

O ušesu in sluhu

Kristijan Skok, Lidija Kocbek Šaherl

Uho, nos in grlo so bili v ospredju zanimanja že od nekdaj. Te organe so zdravili že stari Grki, Hindujci in Bizantinci. Veda, ki se ukvarja s temi organi, se imenuje otorinolaringologija. V prispevku so predstavljene osnovne lastnosti zvoka, pomembnejša odkritja v zgodovini na tem področju, nekatere značilnosti ušesa v živalskem svetu in boleznj ušes, ki prizadenejo človeka. V prejšnjih prispevkih sta bili predstavljeni čutili za vid - oko - in čutilo za okus - jezik. V tem prispevku obravnavamo čutilo za sluh - uho.

Zvok je mehansko valovanje, ki se širi v dani snovi (trdnini, kapljevini ali plinu). To valovanje potuje v notranjost ušesa. Pomembna lastnost zvoka je, da mora v nasprotju s svetlobo, ki lahko potuje skozi vakuum, potovati skozi medij (zrak, vodo, steklo ali kovino). Prva oseba, ki je ugotovila, da zvok za potovanje potrebuje medij, je bil znanstvenik Robert Boyle.

Glede na tip valovanja se zvok širi po plinih in kapljevinah kot longitudinalno valovanje, v trdninah pa lahko tudi kot prečno

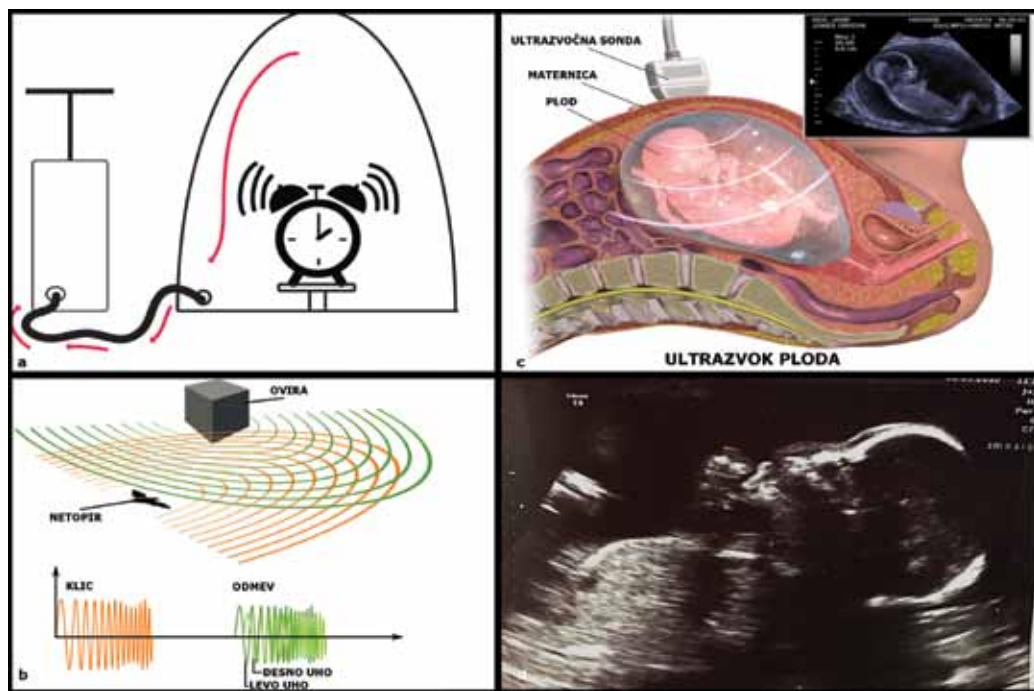
Slika 1: Vampirski netopir (Desmodus rotundus) iz rodu Desmodus in družine Phyllostomidae. Ta vrsta netopirja živi izključno od krvi plena (hematofagija). Za orientacijo v prostoru uporablja eholokacijo.

Avtor: Daniel Streicker. <http://ns.umich.edu/Releases/2013/Dec13/vampirebat.html>. Vir: Stoner-Duncan, B., Streicker, D. G., Tedeschi, C. M., 2014: Vampire Bats and Rabies: Toward an Ecological Solution to a Public Health Problem. PLoS Neglected Tropical Diseases, 8, e2867, doi:10.1371/journal.pntd.0002867.



Lastnosti in uporaba zvoka

Robert Boyle je postavil navito budilko v veliko stekleno posodo. Medtem ko je budilka zvonila, je s črpalko izsesal ves zrak iz posode. Postopno je zrak izčrpal in zvonjenje se ni več slišalo. Med druge fizikalne lastnosti zvoka sodi tudi odboj. To zakonitost s pridom uporabljajo tudi v arhitekturi. Da se še najtišji šepet lahko sliši po vsej sobi, prostoru ali prizorišču, lahko vidimo pri gradnji nekaterih zgradb, kot je amfiteater. V preteklosti so že vedeli, da nekatere kamnine lahko zvok okrepijo ter ga odbijejo. Danes se v ta namen lahko uporabljajo posebej zgrajeni ukrivljeni/skledasto oblikovani premični predmeti, ki se nahajajo za nastopajočimi in publiko. Tako se ustvari območje, kjer se zvok lahko okrepi in odbije.



Slika 2: Lastnosti in uporaba zvoka.

a) Zvok se ne širi v vakuumu. Vir: lasten.

b) Netopir in ehlokalizacija. Avtor: Petteri Aimonen. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Animal_echolocation.svg.

c) Uporaba ultrazvoka pri nosečnicah. Avtor: Bruce Blaus.

https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound#/media/File:Fetal_Ultrasound.png.

d) Ultrazvočni prikaz ploda v maternici. Vir: lasten.

Ultrazvok

Preiskave z ultrazvokom imajo velik pomen v medicini. Ultrazvočna sonda oziroma tipalo oddaja ultrazvočne signale in sprejete odmeve iz tkiv nato prikaže kot sliko z različno svetlobno intenzivnostjo (svetlejša ali temnejša). Sodi med neinvazivne in varne metode ter ne oddaja škodljivega sevanja. Tudi nekatere živali slišijo glasove v območjih ultrazvoka, to so netopirji, žuželke (vešče, hrošči, bogomolke), psi in mačke, delfini in nekatere ribe.

valovanje. Valovanje se s fizikalnega vidika lahko opredeli na podlagi frekvence, amplitude, hitrosti in smeri potovanja. Zvok, ki ga lahko slišimo, je v frekvenčnem območju

od 20 hercev do 20 kilohercv. Zvok z nižjimi frekvencami je infrazvok, z višjimi pa ultrazvok.

Simbolni pomeni

V egipčanski mitologiji so pogosti prikazi ušesa kot motiva v stelah. Stele so bile namenjene določenim božanstvom v zahvalo za uslišane prošnje. Stela je prikazovala sliko boga in prosilca, ki časti božanstvo. Nad tem prikazom so pogosto vklesana človeška ušesa, ki bi naj pomagala božanstvu pri uslišanju prošnje. Božanstva »dobrega sluha« so bila Amun-Re, Phat, Horus, Isis in Thoth. V hindujski kozmologiji se omenja primordialno brnenje – mantra om –, ki je obstajalo že pred svetlobo in ostaja slišno starešinam/modrecem, ki imajo izredno sposobnost koncentracije. Motiv ušesa je omenjen tudi v krščanstvu v srednjem veku.



Slika 3: Pomen sluha v različnih kulturah in njegovega vpliva na življenje.

a) *Prikaz budističnega meniha.*
<http://arthistoryteachingresources.org/wp-content/uploads/2014/12/jaya1-509x700.jpg>.

b) *Pravljicična bitja Panoti, za katera so dolgo časa mislili, da so realna. Avtor: Hartmann Schedel (1440–1514).*
https://de.wikipedia.org/wiki/Panoti#/media/File:Schedel%27sche_Weltchronik-Large_ears.jpg.

c) *Stele iz Egipta.*
<http://www.touregypt.net/images/touregypt/stele11.jpg>.

d) *Kolosej v Rimu je grajen tako, da lahko vsi slišijo dogajanje v areni. Avtor: David Ilif.*
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colosseum_in_Rome,_Italy_-_April_2007.jpg.



Slika 4: Prikaz legende o kralju Midasu.

Avtor: Stefan Mart: Märchen der Völker.

Hamburg:

Cigaretten-

Bilderdienst,

1933. [http://](http://www.stefanmart.de/thumbs/13_midas.htm)

www.

[stefanmart.de/](http://www.stefanmart.de/thumbs/13_midas.htm)

thumbs/13_

midas.htm.

Ostali pomeni

Svetovno znana zgodba z mnogimi različicami je zgodba o kralju z oslovskimi ušesi. V grški mitologiji se je to pripetilo kralju Midasu, ki je znan po legendi o zlatem dotiku, ki vse spremeni v zlato. Bog Dioniz je kralju izpolnil željo, da se vse, česar se dotakne, spremeni v zlato (slika 4a). Pohlep po zlatu je kralja kmalu minil, kajti tudi hrana in pijača sta se spremenili v zlato. Ko se je po pomoti dotaknil svoje hčerke, je zaprosil Dioniza, da prekliče prekletstvo. Bog mu je velel, naj sebe in vse, kar želi spremeniti nazaj, položi v reko Pactolus. Na podlagi te zgodbe so si prebivalci razlagali veliko vsebnost zlata v reki.

Midas se je po tem dogodku odrekel materialnim dobrinam in se preselil na deželo, kjer je postal častilec gorskega boga Pana. Pan, misleč, da je njegova glasba najlepša, je nekega dne izzval boga Apolona na glasbeni dvoboj. Apolon je vse razen enega prepričal v svojo nadarjenost. Ta posameznik je bil kralj Midas (slika 4b). Za kazen je Apolon spremenil njegova ušesa v oslovstva. Svojo sramoto je kralj želel prikriti s turbanom. Njegov brivec te skrivnosti ni mogel obdržati zase in je tekel na polje, skopal luknjo ter v njo zašepetal skrivnost. Čez nekaj časa je začelo rasti trstičje, ki je ponavljalo stavek o kralju, ki ima oslovstva ušesa (slika 4c). Veter je šepetanje trstičja prenesel po vsej pokrajini. Zgodba ima več različic in je svetovno znana.

Zgodovina otologije

Znanost, ki se ukvarja z anatomijo, fiziologijo in patologijo ušesa, se imenuje otologija. Sodi v področje otorinolaringologije, véde, ki se ukvarja še z nosom in grlom.

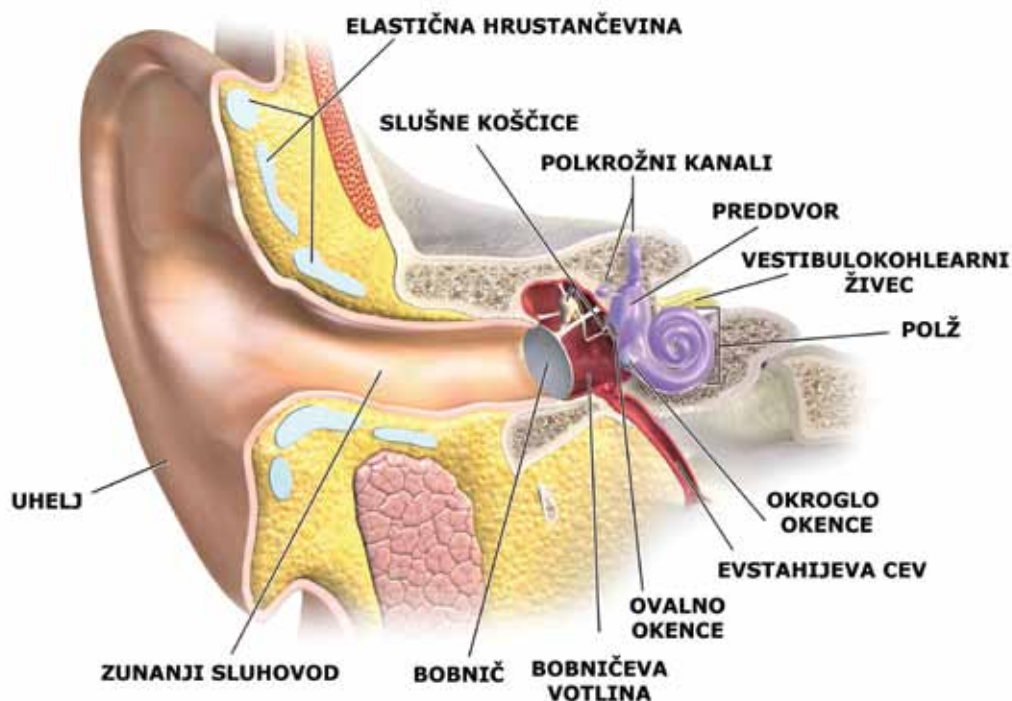
Že v obdobju Egipčanov so obstajali zapisi o poškodbi senčne (temporalne) kosti lobanje in posledične okvare sluha in govora. Na tem mestu se namreč nahajajo možganska govorna območja in potek slušnega živca, česar takrat še niso natančno poznali. Grški filozof Empedokles je prvi poimenoval strukturo *koblea* ali polž. Ime *κόχλος* je dobilo zaradi podobnosti z morskjo školjko, ki se nahaja v Sredozemskem morju. Pred obdobjem renesanse je bilo zelo malo znanega o anatomiji ušesa. Razlog sta bili težja dostopnost skozi senčno kost in takratna prepoved seciranja človeka. Čeprav velja A. Vesalius za očeta nove šole anatomije, se je ušesu še bolj natančno posvetil Gabrielle Fallopio di Modena. Opisal je bobnič, slušne koščice, obe okenci (okroglo in ovalno), promontorij, *hordo timpani*, labirint, polkrožne kanale, polža, slušni živec in mišice uhlja. Za anatomski popis ušesa je prav tako pomemben Bartolomeo Eustachio, ki je živel v šestnajstem stoletju. Najbolj je poznan po raziskavi anatomske strukture, ki povezuje srednje uho z žrelom in se po njem imenuje Evstahijeva cev. V sedemnajstem stoletju je Francoz Perrault opisal, da membrana v polžu vibrira ob visokih tonih in lahko s starostjo začne degenerirati. V osemnajstem stoletju so bili znani raziskovalci na tem področju Malphigi, Valsalva in Morgagni. Marchese Alfonso Corti v devetnajstem stoletju je bil prvi, ki je opisal histološko zgradbo organa sluha (Cortijev organ) in labirinta. V tem času je deloval tudi Prosper Ménière, ki je poznan po odkritju bolezni, ki nosi njegovo ime. Za Menierovo bolezen je značilna triada vrtoглаvice (vertigo), izgube sluha in piskanja v ušesu (tinitus). Zdravniki so takrat menili, da vzrok bolezni tiči v možganih. Ménière je dokazal, da vzrok bolezni tiči v notra-

njem ušesu in ne v možganih. Ob tem je izdelal teste za testiranje sluha. Ménière je nasprotoval tudi nasilnim načinom zdravljenja gluhote in je bil mnenja, da se gluhote ne da pozdraviti in da se morajo posamezniki naučiti živeti s svojo hibo. Prav tako pomembna sta bila Ernst Reissner, po katerem se imenuje membrana, ki ločuje strukture v polžu, in Politzer. Po njem se imenuje manever izravnavanja pritiska v srednjem ušesu in žrelu (Poltitzerjev manever). Napredek v tehnologiji je omogočil še natančnejši opis struktur ušesa. Hermann von Helmholtz je poleg oftalmologije prispeval tudi k razvoju razumevanja fiziologije sluha. Znan je predvsem po razlagi interpretacije analize sluha v notranjem ušesu in tonotopične (*tono*, zvok; *topo*, mesto) organizacije polža. Ta princip definira, da se prihajajoči zvočni valovi spremenijo v živčne impulze na anatomske določenih mestih po višini frekvence zvoka. V dvajsetem stoletju so se véde združile v skupno védo otorinolaringologijo. V tem času je von Bekesy na truplu opazoval potovanje zvočnega vala po slušnem polžu in za svoje raziskovalno delo prejel Nobelovo nagrado. Brownell je pozneje odkril, da ima uho sposobnost ojačitve zvoka z mehanizmom elektromotilitete zunanjih dlačnic. Napredek na tem področju omogoča v zadnjih letih proizvodnjo vedno boljših slušnih aparatov, boljše diagnostiko bolezni in s tem boljše zdravljenje. V otorinolaringologiji za nastanek obolenj danes iščejo genetsko podlago, da bi nekega dne bolezni tudi enostavneje ozdravili ali preprečili.

Osnovne lastnosti in zgradba ušesa

Čutilo ravnotežja in sluha leži v ušesu, ki ga razdelimo na zunanje, srednje in notranje uho. Za zaznavo zvoka so potrebni vsi trije deli ušesa.

K zunanjemu ušesu sodita uhlj in zunanji sluhovod, ki sega do bobniča. Uhlj je ovalno oblikovana struktura iz elastične hrustančevine, pokrite s tesno prilegajočo se tanko plastjo kože. Hrustanec uhlja,



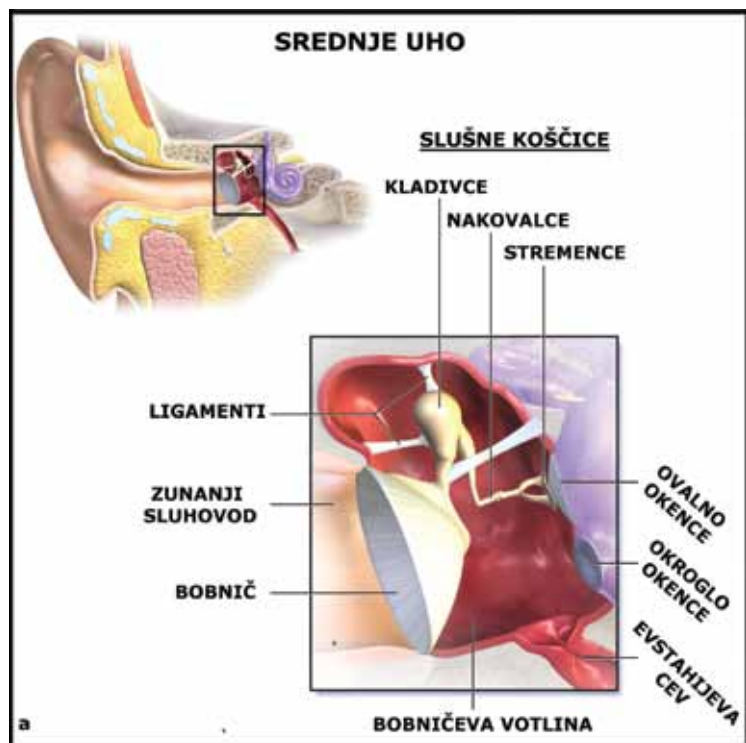
ANATOMSKA ZGRADBA UŠESA

Slika 5: *Prikaz zgradbe ušesa*. Avtor: Blausen.com staff, 2014. https://en.wikiversity.org/wiki/WikiJournal_of_Medicine/Medical_gallery_of_Blausen_Medical_2014).

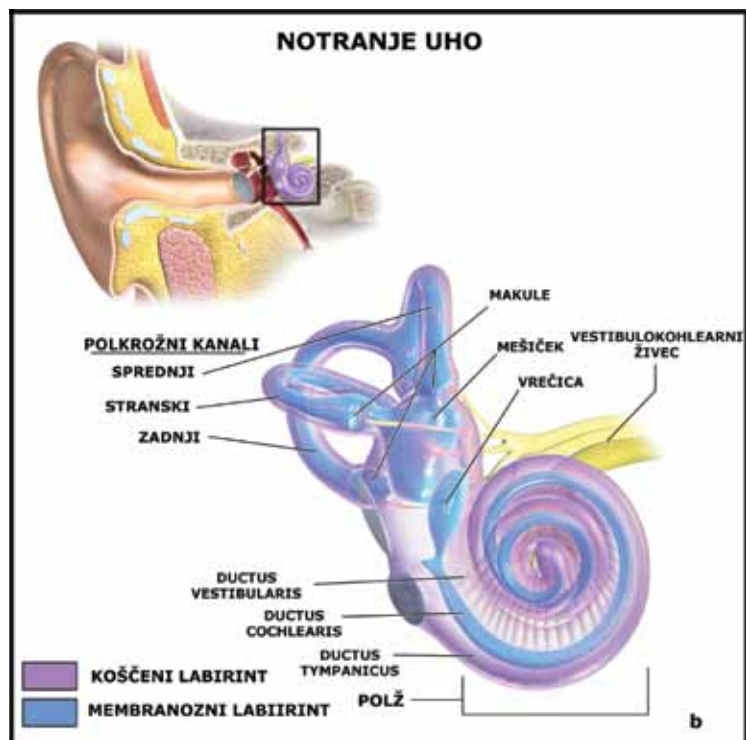
pokrit s kožo, se nadaljuje v hrustančni del zunanjega sluhovoda. Zunanji sluhovod je z zrakom napolnjeni zaviti kanal in meri od uhlja do bobniča približno dva centimetra in pol. Sluhovod pokriva koža z dlakami, lojnicami in modificiranimi dišavnicami, žlezami mastilkami. Te žleze izločajo ušesno maslo (cerumen), ki je rjavkasta mešanica maščob in voska. Maslo varuje kožo in globlje strukture sluhovoda pred tujki. Če ga je preveč, lahko delno ali popolnoma zamaši sluhovod in moti sluh.

Srednje uho sestavljajo bobnič, bobničeva votlina s slušnimi koščicami (*malleus*, kladivce; *incus*, nakovalce; *stapes*, stremence) in Evstahijeve cev. Meja med zunanjim in srednjim ušesom je bobnič. V steni srednjega

ušesa, na meji proti notranjemu ušesu, sta dve okenci: ovalno (*fēnēstra ovalis*) in okroglo (*fēnēstra rotunda*). Ovalno okence zastira slušna koščica stremence, okroglo zapira membrana. Bobnič je s slušnimi koščicami povezan z ovalnim okencem. Bobničeva votlina leži znotraj senčne kosti. Evstahijeve cev ali ušesna troblja je dolga tri centimetre in pol in povezuje votlino srednjega ušesa z nosnim delom žrela (nazofarinks). Ušesna troblja je večino časa zaprta, odpre se med požiranjem in zehanjem. Omogoča izravnavo zračnega tlaka v srednjem ušesu z zrakom v zunanjem sluhovodu na drugi strani bobniča. Slušne koščice so iz kompaktne kostnine in povezane med seboj s pravimi sklepi. Koščice v srednjem ušesu okrepijo



Slika 6: *Zgradba srednjega in notranjega ušesa. Avtor: Blausen.com staff, 2014. https://en.wikiversity.org/wiki/WikiJournal_of_Medicine/Medical_gallery_of_Blausen_Medical_2014).*



ali utišajo zvok s tako imenovanim stapedialnim refleksom. Refleks se sproži ob zelo glasnih zvokih jakosti od 70 do 100 decibelov in takrat se mišici (*m. stapedius* in *m. tensor tympani*) skrčita. Prva mišica se skrči in povleče stremence stran od ovalnega okenca polža. S tem se prepreči prenos vibracij v notranje uho in posledično nastanek poškodb dlačnic v notranjem ušesu.

Notranje uho leži najgloblje v delu senčne kosti. Sestavljeno je iz koščene labirinta, v katerem se nahaja membranski labirint. Med labirintoma je tekočina, imenovana perilimfa. Koščeni labirint je rigidna, koščena zunanja stena notranjega ušesa. Strukture koščene labirinta so polž, centralno ležeči predvor in za njim trije polkrožni kanali, ki so drug na drugega položeni v devetdesetstopinjskem kotu. S takšno lego pokrivajo tri ravnine: sagitalno, čelno in vodoravno. Najpomembnejša dela notranjega ušesa sta polž in vestibularni sistem. Polž je spiralasto zavita votla kost. S pomočjo celic membranskega labirinta omogoča pretvorbo vibracij oziroma valovanja, ki se je preneslo z vibracij kosti srednjega ušesa po perilimfi notranjega ušesa do čutnic na organu sluha. Vestibularni sistem omogoča ohranjanje ravnotežja.

Membranozni labirint je membranska struktura, ki je oblikovana v cevi in vrečke. V njem se nahajajo tekočina endolimfa in receptorji oziroma celice, ki omogočajo zaznavo ravnotežja in sluha. Dela membranoznega labirinta sta ravnotežni in polžev labirint. V ravnotežnem labirintu sta iz epitelijske oblikovani vrečki (mešiček, vrečica) in trije polkrožni vodi. V steni vrečice in mešička se nahaja čutilo ravnotežja, ki je sestavljeno iz dlačnic in opornih celic. Vrečica in mešiček zaznavata statično ravnovesje. Polkrožni kanali so nadaljevanje mešička in na podlagi sprememb toka tekočine endolimfe zaznavajo dinamično ravnotežje (vodoravni in navpični pospeški). Čutilo za sluh se nahaja v polžu. Iz vrečice membranskega labirinta izoblikovani vod znotraj polža se imenuje polžev vod (*ductus cochlearis*). Polž lahko delimo

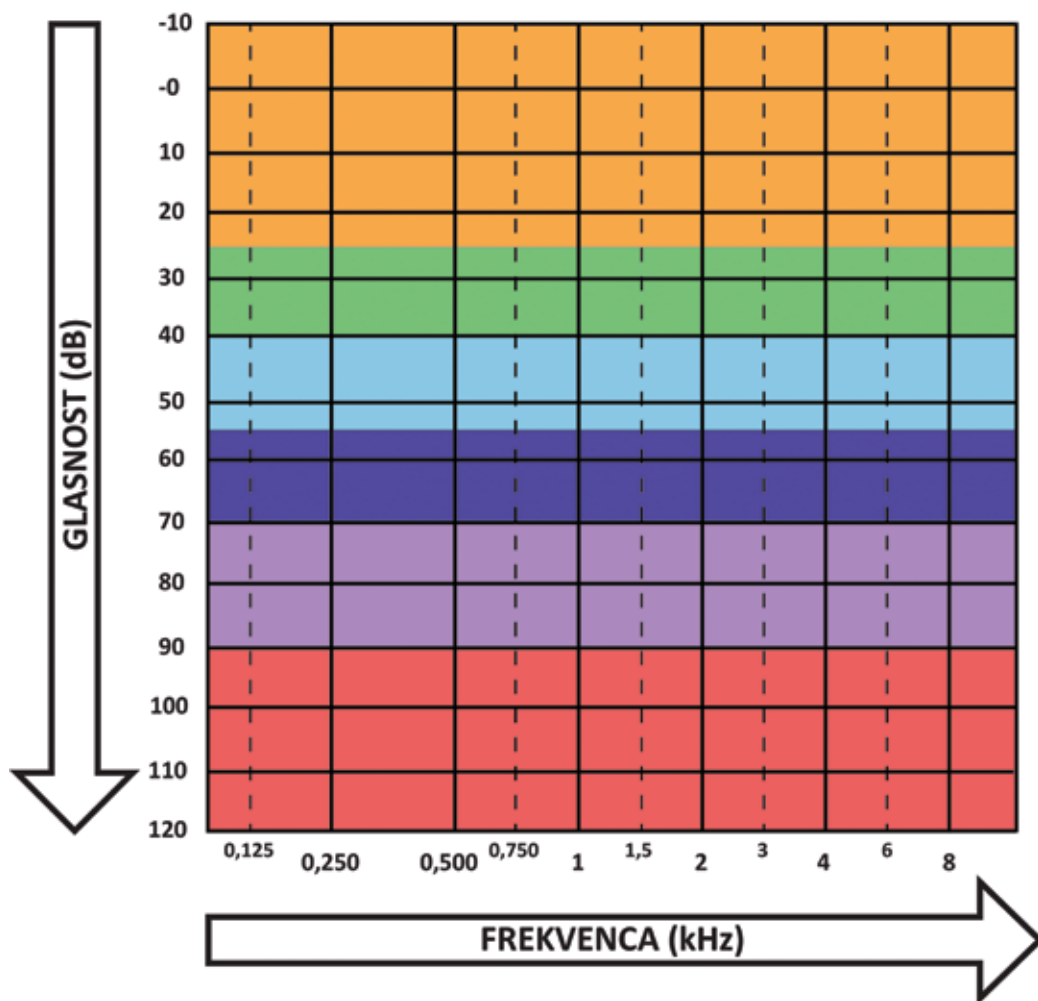
na tri dele, polžev vod ali *scalo media*, *scalo vestibuli* in *scalo tympani*. Po slednjih dveh vodih se pretaka perilimfa. Nihanje tekočine, ki se pretaka po teh vodih, vzburi membrano, na kateri ležijo dlačnice Cortijevega organa, poznanega tudi kot čutilo sluha. Mehanično nihanje dlačnic na membrani se prenese kot mnogi živčni dražljaji v možgane, kjer leži središče za zaznavo sluha.

Nekaj posebnosti ušesa v živalskem svetu

Živalske vrste se razlikujejo od ljudi tudi po sluhu. Uhlji psov so lahko pokončni ali viseči, vsebujejo veliko mišic, ki uhlj premikajo v določenih smereh, pri konjih se uhlja premikata neodvisno drug od drugega. Slon uporablja uhlje za hlajenje, saj vsebujejo na predelih, kjer je koža izredno tanka, bogato mrežo krvnih žil in tako se kri zaradi neposrednega stika z zunanjih okoljem ohladi. Kače in ptice nimajo zunanjega ušesa. Žabe imajo bobnič, ki je nameščen zunaj telesa za očesom. Ribe zbirajo podvodne zvočne vibracije z zračnim mehurjem, ki pošilja signale v srednje, nato pa v notranje uho. Netopir sliši frekvence od 3 do 120 kilohercov, velika voščena večica celo do 300 kilohercov. Z oddajanjem ultrazvočnih valov in merjenjem časa, ki je potreben za odmev (eholokacija, biološki sonar), so netopirji zmožni pridobiti podrobne informacije iz okolice, določiti svoj položaj v prostoru in se tako nemoteno premikati/potovati, iskati plen. Eholokacijo uporabljajo tudi delfini, rovkve in nekatere ptice.

Nekatere bolezni ušes

Glušost je stanje, pri katerem je zaznavanje sluha v govornem območju tako moteno, da je posnemanje ali ponavljanje govornih elementov in zvokov nemogoče. Izguba sluha se pojavi v enem ali obeh ušesih, lahko je začasna ali trajna. Pri otrocih težave s sluhom onemogočajo oziroma otežujejo učenje govora, pri odraslih pa se zaradi otežene komunikacije pojavijo težave na delovnem mestu in v družbenem okolju, kar lahko v



Slika 7: Audiogram. Vir: lasten.

starosti privede do popolne družbene izoliranosti – osamljenosti.

Naglušnost se opredeli glede na jakost zvoka, ki ga oseba ne sliši. Posamezni pragovi so barvno označeni na sliki 7. Z oranžno je prikazano območje normalnega sluha. Lažja izguba sluha pomeni izgubo sluha v območju od 26 do 40 decibelov (zeleno), zmeren v območju od 41 do 55 decibelov (svetlo modro), težja v območju od 56 do 70 decibelov (temno modro), težka v območju od 71 do 90 decibelov (vijolično) in gluhot v območju nad 91 decibelov (rdeče).

Vrste izgube sluha lahko delimo na prevodni (konduktivni), senzorinevralni in mešani tip. Vzroki za prevodni tip naglušnosti se nahajajo v zunanjem in/ali srednjem ušesu. V zunanjem ušesu lahko pride do oteženega prenosa zvoka zaradi zamašitve z ušesnim maslom ali tujkom, vnetja zunanjega sluhovoda, tumorjev sluhovoda ali poškodbe (preluknjanja bobniča, poškodbe zaradi zračnega pritiska). V primeru zamašitve z maslom se lahko opravi izpiranje zunanjega ušesa pri osebnem zdravniku. Ob izpiranju je treba biti pozoren na temperaturo vode kot tudi

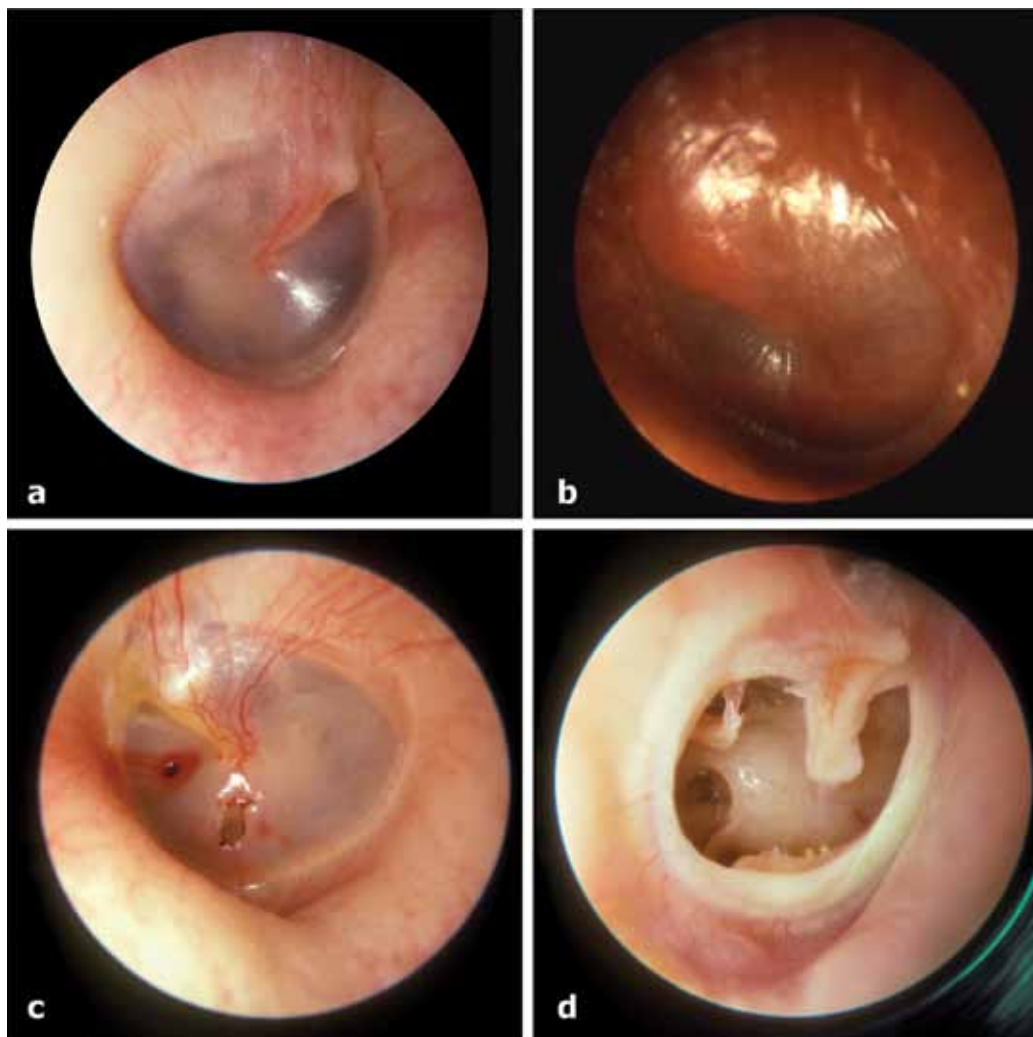
Slika 8: *Patologija bobniča*. <http://www.laserfocus.org/phacoemulsification/>.

a) *Normalni videz bobniča desnega ušesa*. Avtor: Michael Hawke MD. [https://en.wikipedia.org/wiki/File: TM_RIGHT_NORMAL.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:TM_RIGHT_NORMAL.jpg).

b) *Vnetje srednjega ušesa s pordelim, izbočenim bobničem*. Avtor: B. Welleschik. https://en.wikipedia.org/wiki/Otitis_media#/media/File:Otitis_media_entdifferenziert2.jpg.

c) *Preluknjanje bobniča zaradi klofute po ušesu*. Avtor: Michael Hawke MD. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Traumatic_Perforation_of_the_Tympanic_Membrane.jpg.

d) *Subtotalna perforacija bobniča zaradi predhodnega vnetja srednjega ušesa*. Avtor: Michael Hawke MD. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Subtotal_Perforation_of_the_right_tympanic_membrane.tif.



primeren način brizganja, kajti v skrajnem primeru lahko pride do preluknjanja bobniča. Včasih se s prvim izpiranjem ne more odstraniti masla, zato se lahko v vmesnem

času doma uporabijo pripravki za mehčanje masla (parafinske kapljice, pršila za uho in podobno). Uporabe vatiranih palčk ali drugih ostrejših predmetov za čiščenje ušesa ne

priporočajo, saj se lahko zaradi nepravilne uporabe maslo potisne še globlje v uho, kar privede včasih celo do preluknjanja bobniča. V srednjem ušesu lahko pride do vnetja (akutnega ali kroničnega). Zelo pogosto se ob navadnem virusnem prehladu pojavijo tudi težave s sluhom. Razlog temu je lahko vnetje sluznice žrela in sluznice Evstahijeve cevi. Zamašitev preprečuje prezračevanje srednjega ušesa in to posledično privede do občutka zamašenosti in slabšega sluha. Prav tako lahko ob dalj časa trajajočem prehladu pride do hkratne bakterijske okužbe srednjega ušesa. Ob vnetju je bobnič po navadi pordel, vnet in izbočen. V tem primeru je potreben antibiotik, ob poslabšanju ali ob ponavljajočih se vnetjih pa obisk pri otorinolaringologu. Možni vzroki težav v srednjem ušesu so tudi otoskleroza in poškodbe koščic.

Za senzorinevralni tip naglušnosti je značilna poškodba notranjega ušesa. V notranjem ušesu pride do poškodb lasnih celic zaradi hrupa, zdravil (nekaterih antibiotikov), pa tudi zaradi okužbe ali težav z endolimfo (Menierova bolezen). Vzrok Menierove bolezni je neznan. Težave nastanejo zaradi zvišanega pritiska v endolimfatičnem območju, ki povzroča motnje sluha in ravnotežja, zvonjenje v ušesih in vrtoglavico. Napadi se pojavijo nenadoma in trajajo od nekaj minut do več dni, nato pa postopno izzvenijo. Blažje oblike lahko zdravimo z zdravili proti vrtoglavici (na primer antihistaminiki). Priporočljivo je tudi zmanjšanje vnosa soli. Pri težjih oblikah lahko uporabimo kirurško zdravljenje (drenažo endolimfatične vrečke). Vzrok za nastanek senzorinevralne naglušnosti je lahko prizadeto prevajanje po slušnem živcu. Nastane zaradi poškodbe v sklopu zloma lobanje, okužbe notranjega ušesa ali pri avtoimunih boleznih in tumorju omenjenega živca. V sklop senzorinevralnega tipa naglušnosti sodi tudi starostna izguba sluha ali *presbycusis* (*presbys*, staro; *akousis*, sluh). Zanj je značilna simetrična, ireverzibilna, napredujoča izguba sluha

zaradi starostne degeneracije membranskih struktur polža in živčnih celic. Izguba sluha je najbolj značilna pri višjih frekvencah. Pogosti simptomi so težje razumevanje govora, potreba po večanju glasnosti na televiziji, radiu in drugih glasbenih napravah, težave z uporabo telefona, izguba občutka smeri izvora zvoka. Zdravljenje temelji na lajšanju simptomov s slušnimi pripomočki.

Slovarček:

Eholokacija. Oddajanje zvočnih valov in sprejemanje njihovih odmevov.

Endolimfa. Tekočina, ki napolnjuje membranski labirint v notranjem ušesu.

Evstahijeva cev. Komunikacija med zgornjim (nosnim) delom žrela in srednjim ušesom. Služi izravnavanju zračnega pritiska in se odpre ob požiranju sline.

Menierova bolezen. Bolezen z večinoma neznanimi vzroki. Zanj je značilna trojica simptomov: vrtoglavica, izguba sluha in piskanje v ušesih.

Perilimfa. Tekočina, ki napolnjuje prostor med koščenim in membranskim labirintom v notranjem ušesu.

Polž (kohlea). Del koščenega labirinta notranjega ušesa v obliki polževe hišice, v katerem je kohlearni duktus obdan s perilimfo.

Presbycusis. Starostna izguba sluha, ki nastane zaradi degeneracije dlačnih celic in živcev.

Slušne koščice. Tri koščice, ki so zaradi svoje oblike dobila imena kladivce, nakovalce in stremence. Omogočajo prenos vibracij bobniča do ovalnega okenca.

Slike: uporabljeno slikovno gradivo je lastno ali pod licenco z dovoljenjem za ponovno uporabo s spreminjanjem.

Literatura:

Bevc, S., in sod., 2016: *Kratek priročnik znakovnega jezika (Breaking the silence)*. Maribor: Univerzitetna založba Univerze.

Hachmeister, J. E., 2003: *An Abbreviated History of the Ear: From Renaissance to Present*. *Yale Journal of Biology and Medicine*, 76: 81–86.

Hutchins, M., Evans, V. A., Garrison, R. W., Schlager, N. (uredniki), 2003: *Grzimek's Animal Life Encyclopedia, 2nd edition. Volume 3, Insects*. Farmington Hills, Michigan: Gale Group.

Martinčič, Š. D., 2010: *Histologija: Univerzitetni učbenik*. Maribor: Medicinska fakulteta.

Probst, R., 2017: *Basic Otorhinolaryngology A Step-by-Step Learning Guide*. Stuttgart: Thieme.

Ronneberg, A., 2005: *The book of symbols: reflection on archetypal images*. Köln: TASCHEN GmbH.

Stoner-Duncan, B., Streicker, D. G., Tedeschi, C. M., 2014: *Vampire Bats and Rabies: Toward an Ecological Solution to a Public Health Problem*. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8, e2867, doi:10.1371/journal.pntd.0002867.

Spletni naslovi

<http://oto2.wustl.edu/cochlea/intro1.htm>>. *Anatomija notranjega ušesa (ANGL.)*.

<http://www.nijz.si/sl/podrocja-dela/moje-okolje/hrup>>.

Priporočila Nacionalnega inštituta za

javno zdravje glede hrupa.

<http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.0030137>. Zanimivo članek

o zaznavanju našega okolja.

Popravek

V prejšnji številki *Proteusa* je bila v prispevku Andreja Stušek *Kaj pojmuje kot altruizem?* na strani 10 objavljena fotografija »čebele delavke na sončnici«, vendar na njej ni čebela, ampak muha trepetavka. Za razlago smo poprosili Andreja Gogalo, ki se je prijazno odzval s sledečim kratkim besedilom:

Muhe trepetavke (družina Syrphidae) mnogi zamenjajo za čebele ali ose in tako se pogosto pomotoma znajdejo tudi v objavah, katerih avtorji niso entomologi. Še posebno, ker so na cvetovih ponavadi bolj mirne kot čebele, ki se jim mudi z nabiranjem hrane za svoj zarod, zato jih je lažje fotografirati. Mnoge vrste trepetavk so po barvah in vzorcih močno podobne čebelam, čmrljem, osam ali celo sršenom. Podobnost jim je koristna, saj se zmotijo tudi plenilci in jih pustijo pri miru. Njihove vzornice se lahko branijo z želom, kar varuje tudi posnemovalce. Podobnost ranljivih vrst nevarnim vzornicam imenujemo Batesova mimikrija. Trepetavke ravno tako obiskujejo cvetove, a le za lastno prehrano. Kljub temu so opraševalke, pomembne predvsem v hladnem vremenu, na primer v gorah, kjer je čebel manj. Od kožekrilcev (red Hymenoptera), kamor uvrščamo ose in čebele, se trepetavke, ki so predstavnice reda dvokrilcev (Diptera), ločijo po enem samem paru kril. Drugi par je ohranjen le s štrclji, ki jim pravimo haltere. Poleg tega imajo zelo kratke tipalke in večje oči. Med opazovanjem v naravi lahko trepetavke prepoznamo tudi po značilnem upogibanju zadka navzdol in navzgor. Ne gradijo gnezd, temveč imajo prosto živeče ličinke, ki se prehranjujejo z organskimi ostanki ali lovijo listne uši. Med njimi tudi ni razvito družbeno življenje, kakršno poznamo pri nekaterih čebelah in osah.

Prevelika črna luknja

Mirko Kokole

V astronomiji so odkritja, ki se nanašajo na črne luknje in temno snov, vedno med najzanimivejšimi. To je še posebej res, kadar astronomi odkrijejo nekaj popolnoma nepričakovanega. Tako odkritje je pred nedavnim uspelo skupini astronomov, ki je opazovala, kako se gibljejo zvezde v majhni galaksiji Leo I v ozvezdju Leva. Ugotovili so, da se v njenem središču nahaja orjaška črna luknja, ki je po masi podobna orjaški črni luknji v središču naše Galaksije. Odkritje je astronome popolnoma presenetilo, saj je črna luknja mnogo prevelika in v takšni galaksiji ne bi smela obstajati. Svoje rezultate so objavili 5. novembra leta 2021 v reviji *The Astronomical Journal*.

Astronomi lahko z opazovanjem gibanja zvezd v galaksijah sklepajo, kakšna je porazdelitev mase v opazovani galaksiji. Ko so to prvič poskušali izmeriti, so prišli do ugotovitve, da se zvezde v galaksijah gibljejo s hitrostmi, ki niso ustrezale masni porazdelitvi vidne snovi (se pravi zvezd in plina). Ugotovili so, da mora v vesolju obstajati tudi neka snov, ki ima maso, a je ne moremo videti. Tako je nastala predpostavka o obstoju temne snovi. Kaj je ta temna snov, še danes le ugibamo, vemo le to, da mora obstajati.

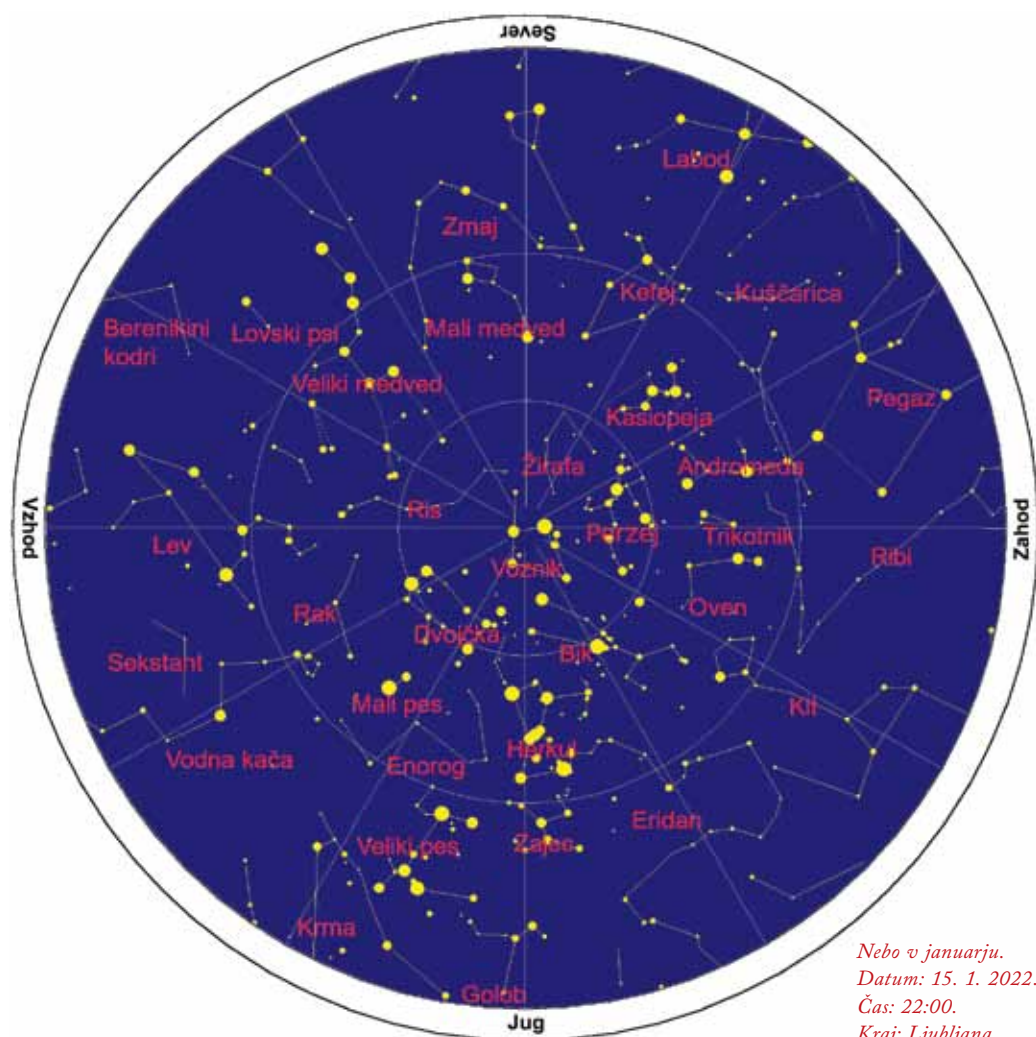
Med najbolj zanimivi galaksijami za opazovanje temne snovi so pritlikave sferične galaksije (»dwarf spheroidal« ali okrajšano dSph). To so majhne galaksije s sferično po-

Posnetek pritlikave sferične galaksije Leo I in Regula v ozvezdju Leva. Galaksijo Leo I so odkrili razmeroma pozno, saj njeno opazovanje zelo moti Regula, ki je ena od svetlejših zvezd na nebu. Foto: Wikipedia.



razdelitvijo zvezd, ki so zelo podobne eliptičnim galaksijam, le da je za njih značilno, da imajo majhen izsev. Zato jih je težko odkriti in opazovati. Ko tako galaksijo najdemo, ji dajo oznako glede na to, v katerem ozvezdju se nahaja, ter zaporedno rimsko številko, če je v ozvezdju več takšnih galaksij. Pritlikave sferične galaksije so zelo podobne tudi večjim globularnim zvezdnim kopicam in prav vsebnost temne snovi je tista, ki jih med seboj loči. Pritlikave sferične galaksije vsebujejo bistveno več temne snovi kot zvezdne kopice. Druga pomembna raz-

lika je, da kopice vsebujejo zvezde približno enake starosti, sferične galaksije pa so imele več epizod nastanka zvezd in tako vsebujejo zvezde različnih populacij, se pravi starosti. Med pritlikavimi sferičnimi galaksijami je Leo I še posebej zanimiva in velikokrat opazovana. Leo I je med vsemi znanimi pritlikavimi sferičnimi galaksijami od naše Galaksije najbolj oddaljena in obstaja celo možnost, da ni gravitacijsko vezana na našo Galaksijo. V zgodovini opazovanj je astronomom večkrat predstavljala uganko, saj se ni obnašala kot značilne galaksije njenega



*Nebo v januarju.
Datum: 15. 1. 2022.
Čas: 22:00.
Kraj: Ljubljana.*

tipa. A tokratno odkritje je še posebej presenetljivo, saj si ga na noben način ne moremo razložiti.

Med opazovanji, s katerim so poskušali ugotoviti, kako je porazdeljena temna snov v galaksiji Leo I, so prišli do zaključka, da je vsebnost temne snovi manjša od pričakovane in da je njeno količino zelo težko natančno ugotoviti. Računski modeli so kazali izjemno raznolike rezultate, kar pomeni, da je vsebnost temne snovi težko določiti z znanimi podatki. Ti isti računski modeli pa so tudi pokazali, da z veliko verjetnostjo v središču galaksije obstaja črna luknja. Ta črna luknja ni le velika, ampak je orjaška in ima maso, primerljivo z maso črne luknje v

središču naše galaksije. Tako velika črna luknja v tako majhni galaksiji preprosto ne bi smela obstajati. Astronomom ni poznan noben proces, ki bi pripeljal do nastanka tako velike črne luknje v tako majhni in pritlikavi sferični galaksiji. Tako je njen nastanek popolna uganka.

Ali je ta črna luknja velikanka v galaksiji Leo I le statistično naključje ali pa se v ozadju skrivajo neznani procesi pri nastanku orjaških črnih lukenj, bodo pokazali le čas in dodatna opazovanja. Vsekakor je to odkritje velik opomin, da je vesolje resnično zelo skrivnostno in da nikakor še nismo razvozlali vseh njegovih ugank.

ČLANSKI PROGRAM PRIRODOSLOVNEGA DRUŠTVA SLOVENIJE V LETU 2021/22

Spoštovane članice in člani društva!

Obveščamo vas o programu Prirodoslovnega društva Slovenije za društveno leto 2021/2022. Naravoslovna predavanja bodo do nadaljnjega še naprej potekala prek spleta.

- **16. novembra 2021 ob 19. uri:** naravoslovno predavanje Špele Borko: *Pot skozi goro.*
- **21. decembra 2021 ob 19. uri:** naravoslovno predavanje Damjana Vinka: *Pisani svet kačjih pastirjev Slovenije pred 30. obletnico Slovenskega odonatološkega društva.*
- **18. januarja 2022 ob 19. uri:** naravoslovno predavanje Roka Brajkovića: *Geologija v šoli.*
- **15. februarja 2022 ob 19. uri:** naravoslovno predavanje Roka Šturma: *Prisluškovanje skrivnostnim pogovorom žuželk.*
- **15. marca 2022 ob 19. uri:** naravoslovno predavanje Petra Skoberneta: *Spomenica in Prirodoslovno društvo Slovenije.*
- **19. aprila 2022 ob 19. uri:** naravoslovno predavanje Matevža Novaka: *Kamnita streha – apnenec kot skupni imenovalec kulturne krajine vzdolž vzhodne jadranske obale.*
- **Junija ali septembra 2022:** naravoslovna ekskurzija Radovana Komela: *Zgornja in srednja Kolpa.*

Člani društva boste o vsaki aktivnosti obveščeni sproti preko e-pošte, strani Facebook Prirodoslovno društvo Slovenije ter Instagram profila prirodoslovnodrustvo.

Vabljeni, da se nam pridružite!

Pripravljamo tematsko številko *Proteusa* o Halozah – večini Slovincem slabo poznano izrazito gričevnato pokrajino z dobro ohranjeno mozaično kulturno krajino južno od Ptuja. Z njo želimo našim bralkam in bralcem predstaviti naravno in kulturno dediščino tega slabo poznanege območja ter jih povabiti k spoznavanju in odkrivanju tega skritega kotička Slovenije tudi v živo.



Grad Borl. Foto: Srečko Štajnbaber.





Kozáča. Foto: Milan Vogrin.

ISSN 0033-1805



9 770033 180000