

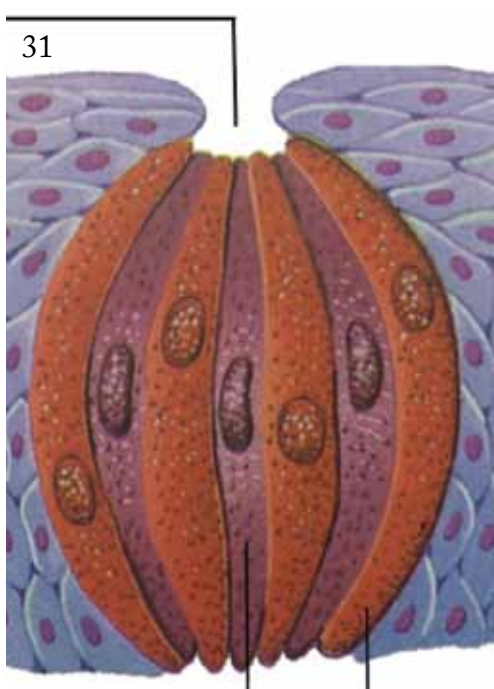
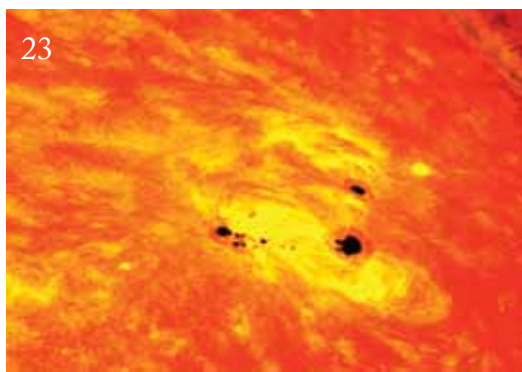
PROTEUS

*mesečnik
za poljudno
naravoslovje*



September 2021, 1/84. 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





3 Table of Contents

4 Uvodnik
Tomaž Sajovic

6 Vedénjska ekologija
Kaj pojmuje kot altruizem?
Andreja Stusek

14 Botanika
**Dve botanični zanimivosti iz južnih
Juljskih Alp**
Sinu Vidu v spomin
Igor Dakskobler

23 Fizika
V iskanju severnega sija
Lovrenc Fortuna

31 Medicina

Imaš dolg jezik?

Lidija Kocbek Šaherl, Kristijan Skok

39 Kemija

**Sodobni postopki odstranjevanja
mikroonesnaževal iz odpadne vode**

Andreja Žgajnar Gotvajn, Igor Boševski

45 Naše nebo

Smo odkrili planet zunaj naše galaksije?

Mirko Kokole

Contents

Editorial

Tomaž Sajovic

Behavioural ecology

What Do We Regard as Altruism?

Andreja Stuček

Selflessness is an admirable quality as it makes life in a community better for everyone. Altruism is good for society. Society welcomes individuals who help others, because this benefits more people. An individual who focuses his or her actions on the benefit of a group may do so to benefit him/herself as well, or (s)he may do so against his/her interests. While it is easier to understand why someone helps another if that also brings personal benefit, this becomes more difficult when someone has something to lose by helping others. From this perspective the “helping others” suddenly becomes less straightforward. The word altruism means helping others or putting their interests before yours. The most common form of this help is between parents and children. But there are other, less common forms of altruistic behaviour. The word has multiple meanings and even dictionaries offer various definitions of altruism. Oxford English Dictionary defines altruism as disinterested and selfless concern for the well-being of others. *The Dictionary of Slovenian Literary Language* defines it as regard for the welfare of others. Slovenian synonym is selflessness. While the *Dictionary of Slovenian Literary Language* defines altruism for people, biologists described altruistic behaviour also in other animals. The *Encyclopaedia of Ecology* defines altruism as behaviour by an individual that increases the fitness of another individual while decreasing the fitness of the actor. Fitness means the contribution that an individual makes to the gene pool of the next generation. *Encyclopaedia of Biodiversity* defines altruism as assistance provided by an agent to other individuals at the expense of its own lifetime reproductive fitness. In 1964 scientist Hamilton defined altruism as social behaviour that reduces the fitness of the organism performing the behaviour, but boosts the fitness of others. The *Dictionary of Ecology, Evolution and Systematics* defines altruism as the situation in which one individual acts to promote or enhance the fitness of an unrelated individual or of other members of a group at the same time reducing its own fitness. In their definitions of altruism biologists therefore draw a distinction between altruistic behaviour (to one's disadvantage) and the behaviour that benefits both the “agent” and others.

Botany

Two Botanical Curiosities from the southern Julian Alps

In Loving Memory of My Son Vid

Igor Dakskobler

The article describes new finds of two rare species of conservation importance in Slovenian flora of the southern Julian Alps (Tolmin-Bohinj range and Krn mountains). The Mediterranean species *Adiantum capillus-veneris* was found in the Kneška Grapa gorge under Masovnik (at the village of Kneške Ravne) at the altitude of about 570–600 m. This is its highest locality in Slovenia and the closest to the Triglav National Park. The new locality of the southeastern-Alpine endemic species *Moebria villosa* is above the village of Drežniške Ravne, at Turk Waterfall in the spring area of the Kozjak under Srednji Vrh, the western neighbour of Mt. Krn, and is also the westernmost locality in its entire distribution range.

Physics

The Quest for the Northern Lights

Lovrenc Fortuna

Since time immemorial, our innate human curiosity and urge to discover the new and previously unknown has led us to observe the diverse natural phenomena that surround us. The sky offers especially fascinating and extraordinary views. Dramatic green and red curtains that appear in the sky only to disappear the next moment were the subject of our ancestor's observations. Various attempts at explaining these exciting scenes relate to ancient stories, myths and the supernatural. Focused scientific research and modern findings on Earth's magnetism help us understand and explain the northern lights as a result of collisions between gaseous particles in the Earth's atmosphere with charged particles released from the Sun's atmosphere.

Medicine

How Long is Your Tongue?

Lidija Kocbek Šaherl, Kristijan Skok

Already Hippocrates, Galen and others considered the tongue to be the “barometer” of health. Several scientific disciplines deal with problems in the oral cavity: stomatology (Greek *stoma* – opening, *logos* – discourse) with dental medicine and otorhinolaryngology. Taste is one of the five traditional senses. We experience taste with taste buds, which respond to chemical stimuli. There are five basic tastes, sweet, sour, salty, bitter and umami. The sixth, which has been mentioned more often recently, is the taste of fat. Today we no longer believe in the “tongue map”, for we know that the tongue does not have different regions specialized for different tastes cells, and that all regions of the tongue that detect taste respond to all five taste qualities. For the tongue or cells to recognize a taste food must be dissolved in saliva. If it is insoluble the tongue cannot recognize it based on chemical stimuli and this food would therefore be more difficult to digest. In order to fully perceive taste, mechanical receptors in the mouth have to perceive smell and texture, and the food also has to be the right temperature. Among other things, senses serve to protect us from harm. A repulsive or bitter flavour warns us of potentially rotten/poisonous food, whereas sweet taste promises quickly available energy. From the evolutionary perspective it makes sense for energy-rich food (animal fats, sugar) to be very tasty, but it was very scarce in the past. Today, such food is widely available in the developed world and part of the reason for the obesity epidemic. In addition to sensing taste the tongue performs two other important functions: the first is mechanical digestion and the second is speech.

Chemistry

Contemporary Wastewater Micropollutant Removal Methods

Andreja Žgajnar Gotvajn, Igor Boševski

We live in a chemical world. Intensive technological development has enabled planning and production of enormous volumes of different substances, their trading and use in everyday life. More than one hundred million organic and inorganic substances have been produced in the last 50 years, but we don't always know what their impact on the environment will be. Substances that were prohibited decades ago can still be found in the environment and living organisms, because some of them accumulate, even in organisms, they can be poisonous or mutagenic, or disrupt the function of the endocrine system (Martín-Pozo et al., 2021). At the same time, substances can travel from industrial areas to remote, otherwise intact parts of the world, where they affect ecosystems. Tackling these issues is therefore no longer left to individual countries, but has become a global concern (REACH, 2006).

Our sky

Have we discovered a planet outside our galaxy?

Mirko Kokole



Naslovnica: *Severni sij, viden
z Laponske na Finskem.*

Foto: Lovrenc Fortuna.

Proteus

Izbaja od leta 1933

Mesečnik za poljudno naravoslovje

Izdajatelj in založnik:

Priradoslovno društvo Slovenije

Odgovorni urednik:

prof. dr. Radovan Komel

Glavni urednik: dr. Tomaž Sajovic

Uredniški odbor:

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 upokoјence 3,55 EUR, za dijake in študente 3,36 EUR.

Celoletna naročnina je 43,20 EUR, za upokoјence 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

Narave ne smemo samo razumsko spoznavati, moramo jo znati tudi živeti ...

Nemški filozof Hans-Georg Gadamer (1900-2002) je v svojem znamenitem delu *Resnica in metoda* (izšlo je leta 1960, v slovenščino je bilo prevedeno leta 2001) zapisal misel, ki opredeljuje človekovo usodo spoznavanja na tem svetu:

»Sonce tako za nas še vedno zahaja, čeprav je Kopernikova [heliocentrična] razlaga sveta postala sestavni del našega védenja. Očitno je povsem združljivo med seboj, da se oklepamo videza, obenem pa v svetu razuma vemo za njegovo sprevernjenost. In ali ni tako, da pri teh slojevitih življenjskih razmerjih kot dejavnik pomiritve in posredovanja dejansko sodeluje jezik? Naše govorjenje o sončnem zahodu gotovo ni samovoljno, temveč izreka to, kar je dejansko videti. Tako se stvar kaže nekemu, ki se ne premika. Sonce je tisto, ki nas obsije s svojimi žarki in nato zatone. Zato je sončni zahod za naš pogled resničnost. (Je ‚bivanjsko relativen‘.) Od te razvidnosti pogleda pa se lahko misleč osvobodimo s konstruiranjem nekega drugega modela, in ker to zmoremo, lahko izrečemo tudi razumski uvid Kopernikove teorije. Toda z ‚očmi‘ tega znanstvenega razuma ne moremo odpraviti ali zavriniti naravnega vi-

deza. To je nesmiselno ne le zato, ker je videz za nas pristna realnost, temveč tudi zato, ker je resnica, ki nam jo govori znanost, tudi sama relativna glede na določeno razmerje do sveta in si nikakor ne more lastiti, da je celotna resnica. Pač pa jezik dejansko vključuje celoto našega razmerja do sveta, in v tej celoti jezika najdeti svojo legitimnost tako videz kot znanost.«

Gadamerjeva teza, da znanstveni razum nikakor ne more »odpraviti ali zavriniti« naravnega videza, je za običajno, samoumevno prepričanje vsaj nenavadna, če ne celo »napačna«. Vzrok za tako prepričanje je moderna znanost, ki se je – po Rastku Močniku – v novem veku »kaj hitro povzpela na poveljniški položaj, od koder je v imenu ‚razuma‘, ‚racionalnega upravljanja‘, ‚znanstvenih politik‘ in ‚umnega sožitja‘ poslej obvladovala dogajanja v naši Moderni«. Angleški filozof Francis Bacon (1561-1626) je že leta 1592 objavil preroški »manifest« moderne znanosti z naslovom *V slavo védenja (Praise of Knowledge)* in z njim preroško »dodelil« novoveškemu človeku popolnoma novo vlogo gospodarja nad naravo: »Premoči človeka tiči [...] v védenju [...]. Dandanes obvladamo naravo zgolj v svojih mislih in smo podvrženi njeni prisili; moramo ji pustiti, da nas vodi pri iznajdevanju, zato da bi ji

zapovedovali v praksi.« Nemška filozofa in sociologa Max Horkheimer (1895-1973) in Theodor W. Adorno (1903-1969) sta v *Dialektiki razsvetljenstva* (1944, slovenski prevod 2002) v temnih barvah popisala urešničevanje Baconove prerokbe: »Kar se hočejo ljudje naučiti od narave, je to, da jo uporabljajo tako, da do kraja obvladujejo njo in ljudi. [...] Tehnika je bistvo tega vedenja. Ne meri niti na pojme in podobe ne na srečo vpogleda, temveč na metodo, izkoriščanje dela drugih, kapital.« Horkheimer in Adorno sta se dobro zavedala, da moderna, novoveška znanost zgodovinski ni nič »brezmadežnega«, čeprav se - po nemškem dramatik Bertoltu Brechtu (1898-1956) - nikoli ni hotela umazati z »zgodovinsko odgovornostjo«. S svojo ideologijo »indiferentnosti«, »nevtralnosti« in »objektivnosti« se je spremenila v tehniko, kot taka pa je postala »služabnica« kapitalizma. Kako se je novoveška znanost spremenila v tehniko in kakšna je povezava med njo kot tako in moderno tehniko, je pronicljivo opisal nemški filozof Martin Heidegger (1889-1976) v enem od svojih najpomembnejših besedil z naslovom *Vprašanje po tehniki* (1953), v slovenskem prevodu ga preberete lahko v njegovih *Predavanjih in sestavkih* (2003). Za Heideggerja v drugi polovici 18. stoletja vznikla moderna tehnika ni nič trivialnega - je namreč način razkrivanja resnice našega modernega sveta. Moderna tehnika naravo izziva, postavlja na razpolago - »pokrajina [na primer] je izzvana v izkopavanje premoga in rude«, gozdovi v Amazoniji v izsekavanje drevs zaradi gojenja živine - oboje zaradi kapitalističnih dobičkov. Narava v času moderne tehnike izgublja vso svojo samostojno bit, svoje dostojanstvo. Temu se ni izognil niti človek - je samo še delovna sila, material, številka. Baconova zahteva po podreditvi vsega živega in neživega se končuje v katastrofi planetarnih razsežnosti ... Moderna tehnika pa je lahko »stekla šele tedaj, ko se je mogla opreti na eksaktno naravoslovje«. Heidegger je natančno popisal, zakaj je temu takó: »Način predstavljanja [eksaktnih novoveških naravoslovnih znanosti] sledi naravi kot kaki izračunljivi povezanosti sil. Novodobna fizika ni eksperimentalna fizika zato, ker postavlja aparature za preiskovanje narave, temveč narobe: ker postavlja fizika že kot čista teorija naravo takó, da se predstavlja kot vnaprej izračunljiv splet sil, zato je na razpolago eksperiment, da bi se namreč preiskalo, ali se ta takó postavljena narava javlja in kako se javlja.« Toda Heidegger je tudi vedel, da je tak način predstavljanja narave lahko »le eden od načinov prisostvovanja, na katerega se navedeno prisotno [narava] sicer lahko prikazuje, vendar nikakor ni nujno, da bi se moralo prikazovati.« Narave »v njeni polnosti nikdar ne moremo zaobjeti«.

Zdaj se lahko vrnemo h Gadamerju, ki je trdil nekaj podobnega. Človek se ob razumskem spoznavanju nikoli ne more izogniti tudi čutnemu spoznavanju. Toda kapitalizem, ki ima v sebi zapisano bistvo tehnike, je prizadel tudi čutno spoznavanje, kar je dobro vedel že Karl Marx.

Karl Marx je človeške čute v *Kritiki nacionalne ekonomije* (*Pariški rokopisi 1844*) (v slovenščini so izšli leta 1969 v I. zvezku *Izbranih del* Karla Marxa in Friedricha Engelsa) osvobodil in jim vrnil dostojanstvo: »Odprava privatne lastnine je [...] popolna emancipacija vseh človeških čutov in lastnosti; toda ta emancipacija je ravno po tem, da so ti čuti in lastnosti, tako objektivno in subjektivno, postali človeški. Oko je postalo človeško oko, kot je njegov *predmet* postal družben, človeški, od človeka za človeka izvirajoč predmet. Čuti so zatgadelj neposredno v svoji praksi postali *teoretiški*. [...] Človek se samo tedaj ne izgubi v svojem predmetu, če mu ta postane človeški predmet [...]. To je mogoče samó, vtem ko mu predmet postane *družben* predmet, in on sam sebi družbeno bitje [...]. Ne le v mišljenju, marveč z *vsemi* čuti se zatorej človek zatruje v predmetnem svetu. [...] [Č]uti družbenega človeka so *drugačni* od čutov nedružbenega človeka; šele s pomočjo predmetno razvitega bogastva človeškega bista se deloma izoblikuje, deloma ustvari bogastvo subjektivne človeške čutnosti, muzikalno uho, oko za lepoto oblike, skratka, se šele deloma izoblikujejo, deloma ustvarijo človeških užikov zmožni čuti, čuti, ki se potrjujejo kot človeške bitne moči. Zakaj ne le petero čutov, ampak tudi tako imenovani duhovni čuti, praktični čuti (volja, ljubezen itn.), z eno besedo človeški čut, človekost čutov nastane šele s pomočjo bivanja *svojega* predmeta, s pomočjo *počlovečene* narave. Oblikovanje petih čutov je delo celotne dozdajšnje svetovne zgodovine. Pod grobo praktično potrebo ujeti čut ima tudi samo *omejen* smisel. Za izstradanega človeka ne biva človeška oblika hrane, ampak samo abstraktno bivanje le-te kot hrane; pravzaprav bi bila lahko tu v najbolj surovi obliki, in ni mogoče reči, po čem da se ta dejavnost hranjenja razlikuje od živalske dejavnosti hranjenja. Človek, ki ima mnogo skrbi in potrebe, nima nobenega čuta za najlepšo igro; trgovec z minerali vidi le merkantilno vrednost, ne pa lepote in svojske narave minerala; nima mineraloškega čuta [...].« Človeštvo je pred težko nalogo: *osvoboditi* bo moralo tudi razumsko spoznavanje. Narave ne smemo samo razumsko spoznavati, moramo jo znati tudi živeti ... Kar velja tudi za svet.

Tomaž Sajovic

Kaj pojmuje kot altruizem?

Andreja Stušek

Požrtvovalnost je občudovanja vredna lastnost, ki naredi življenje v skupnosti prijetnejše za vso skupino. Posamezniki s to lastnostjo so v družbi bolj zaželeni. Družba namreč sprejema osebkke, ki pomagajo drugim, saj na tak način dobi korist več oseb. Posameznik, ki svoja dejanja usmeri v skupno dobro skupine, s takim dejanjem lahko koristi sebi ali pa se lahko oškoduje. Medtem ko je lažje razumeti, zakaj nekdo pomaga drugim, če s tem hkrati koristi tudi sebi, je večji izziv razumeti, zakaj bi nekdo oškodoval sebe, da bi pomagal drugim. S tega vidika dobi pojem »pomoč drugim« več nians. Beseda altruizem opredeljuje nudenje pomoči drugim oziroma upoštevanje koristi drugih. Najpogostejšo obliko pomoči drugim lahko vidimo v odnosu starši - otrok. Obstajajo še druge oblike altruističnega vedenja, ki pa niso tako razširjene kot požrtvovalnost med sorodniki. Tudi beseda altruizem se uporablja v različnih pomenih in celo v slovarjih obstaja več njenih definicij.

Oxfordov slovar angleškega jezika opredeljuje altruizem kot nesebično skrb za dobrobit drugih. *Slovar slovenskega knjižnega jezika* altruizem opredeli kot ravnanje oziroma nazor, pri katerem človek upošteva koristi drugih. Slovenska sopomenka altruizmu je beseda nesebičnost. *Slovar slovenskega knjižnega jezika* sicer opredeljuje altruizem le pri človeku, a biologi so različne oblike altruističnega vedenja opisali tudi pri ostalih živalih. Tako je v *Enciklopediji ekologije* altruizem zapisan kot vedenje na način, ko posameznik na račun svojega fitnesa povečuje fitnes drugega posameznika. Fitnes osebkke je v tem primeru mišljen kot njegov prispevek v genski sklad naslednje generacije. *Enciklopedija biotske raznovrstnosti* opredeljuje altruizem kot pomoč, ki jo nudi osebek drugemu

posamezniku na račun svojega življenjskega reproduktivnega (razmnoževalnega) fitnesa. Britanski evulucijski biolog William Donald Hamilton je leta 1964 predstavil definicijo altruizma kot socialno vedenje, ki zmanjša fitnes tistega organizma, ki se vède altruistično, in povečuje fitnes tistega, ki se mu pomoč nudi. V *Slovarju ekologije, evolucije in sistematike* je altruizem opredeljen kot položaj, v katerem posameznik poveča fitnes nesorodnega osebkke ali drugega člana skupine in s tem zmanjša svoj fitnes.

Biologi v definiciji altruizma torej ločijo med altruističnim vedenjem (v svojo škodo) in vedenjem, ki koristi tako »izvajalcu« kot ostalim. Prav vedenje, ki koristi vsem udeleženi, je mogoče najti pri sodelovanju različnih vrst živali in ne samo pri osebkkih znotraj vrste. Tako sodelovanje poimenujemo mutualistično vedenje. Mutualizem je sožitje dveh ali več vrst, kjer imajo vse udeležene korist. Primer mutualizma so bakterije v vampu prežvekovalcev. Ker mutualistično vedenje prinaša korist vsem udeležencem (in je zato zaželeno vedenje v skupini), se tako vedenje lahko uspešno ohranja tudi v skupini različnih organizmov. Primer vedenja, ki koristi vsem udeležencem, je združevanje živali v črede oziroma jate. Posamezna žival s pridružitvijo skupini pridobi zaščito pred plenilci, hkrati pa s svojo navzočnostjo varuje ostale v skupini.

Inkluzivni (vključujoči) fitnes

Pri altruističnem vedenju pa vsi udeleženci ne uživajo koristi. Altruist po definiciji vedno žrtvuje svojo korist oziroma svoj fitnes za dobro drugih. Ob takem žrtvovanju postane precej pomembno, za koga se osebek žrtvuje. Najbolj smiselno je, če se altruist žrtvuje za sebi sorodno bitje. Tako s svojim altruističnim vedenjem ohranja oziroma va-

ruje nekaj svojega genskega zapisa, ki si ga deli s sorodnim bitjem, kateremu pomaga. Osebkí, ki jih varujejo altruistični sorodniki, dobijo večjo možnost, da preživijo do odrasle dobe. Ker z veliko verjetnostjo nosijo altruistični genski zapis – kot njihovi sorodniki, ga ob spolni zrelosti in z uspešnim razmnoževanjem širijo dalje v populaciji in na tak način ohranjajo altruistično vedénje skozi generacije. Prvi, ki je opisal tak mehanizem, je bil Hamilton, ki ga je predstavil leta 1964 kot teorijo inkluzivnega (oziroma vključujočega) fitnesa. Veliko težje pa je razložiti razvoj altruističnega vedénja med nesorodnimi osebkí.

Primer inkluzivnega fitnesa lahko vidimo pri tibetanskih sinicah (*Pseudopodoces humilis*). Raziskovalci so med dvanajstletnim opazovanjem teh sinic zabeležili zanimivo vedénje nekaterih mladih ptic. Te so se namreč svoje prvo rodno leto izognile razmnoževanju in ta čas izkoristile tako, da so požrtovalno skrbele za naraščaj drugih

spolno zrelih ptic. Te altruistične mlade sinice so se začele razmnoževati šele naslednje leto in prenesle svoj genski zapis na potomce. V vsem svojem življenjskem ciklu so sicer te altruistične ptice dosegle primerljivo veliko število potomcev kot njihove vrstnice, ki niso žrtvovalle prvega leta spolne zrelosti za pomoč drugim pticam. Prednost, ki so jo altruistične ptice dosegle s prelaganjem razmnoževanja, se je pokazala pri skrbi za zarod. Potomci altruističnih sinic so imeli namreč več možnosti kot potomci ostalih sinic, da doživijo obdobje svoje spolne zrelosti, saj so zanje poleg staršev skrbele še mlajše sorodne ptice. Raziskovalci so opazili, da se je med opazovanimi tibetanskimi sinicami v času dolgoletnega opazovanja vzpostavilo stabilno ravnotežje med številom altruističnih in nealtruističnih osebkov v skupini.

Tibetanske sinice pa niso edine ptice, ki kažejo altruistično vedénje. Nesebično pomoč mladim pticam v skupnosti kažejo tudi



Pri sinicah so raziskovalci opazovali altruistično vedénje. Foto: <https://pixabay.com>.

galapaške kanje (*Buteo galapagoensis*). Samci se pri skrbi za skupni zarod ne ozirajo na sorodstvene vezi. Galapaške kanje živijo namreč v stabilni poliandriji (mnogomoštvu) in nesorodni samci si delijo starševsko skrb za potomce. Samci so pretežno monogamni, samice pa se plodijo z več samci. Te ptice so zelo teritorialne in živijo v zahtevnem okolju. Pri obrambi teritorija so učinkovite, kajti teritorij brani več samcev skupaj, kar se pokaže kot uspešnejša strategija, kot če bi teritorij branil en sam par.

Med kopenski sesalci lahko primer inkluzivnega fitnesa vidimo pri mladih volkovih (*Canis lupus*). Ko se starši mladičev odpravijo na lov, ostanejo pri mladičih mladi volkovi, ki še niso dovolj spretni pri lovu. Načeloma se odrasčajoči volkovi urijo skupaj s starši pri lovu, vendar se jim njihova pomoč pri varovanju mladičev ob odsotnosti star-

šev obrestuje, ko del plena, ki je namenjen mladičem, dobijo tudi oni. Raziskovalci so ugotovili, da mladi volkovi niso vedno tudi najbližji sorodniki mladičev, vendar kljub vsemu pomagajo varovati mladiče.

Altruizem znotraj vrste in celo med vrstami pa so raziskovalci opisali pri vodnih sesalcih. Pri kitih grbavcih (*Megaptera novaeangliae*) so zaznali, da odrasli kiti varujejo mladiče pred napadom ork (*Orcinus orca*), a njihova obramba se tu ne ustavi. Kiti grbavci se namreč pri odganjanju ork ne izpostavljajo samo pri svojih mladičih, temveč so jih raziskovalci zalotili, da so branili mladiča sinjega kita, tjulnje in celo ribe. Znanstveniki si njihovo obnašanje razlagajo kot odziv na plenilske zvoke ork, na katere se kiti grbavci odzivajo močno zaščitniško, ne glede na to, ali je v nevarnosti njihov mladič ali druga žival.



Mladi volkovi pomagajo pri varovanju mladičev. Vir: <https://pixabay.com>.

Recipročni altruizem

Leta 1971 je ameriški evolucionisti biolog Robert Trivers opisal recipročni (oziroma vzajemni) altruizem, s katerim je poskušal razložiti altruistično vedénje med nesorodnimi organizmi ali celo med pripadniki različnih vrst. Recipročni altruizem je namreč vedénje, ki prinaša koristi obema udeležencema. Za to vrsto altruizma morajo udeleženci sodelovati več kot enkrat in se ob naslednjem sodelovanju prepoznati. Vzajemni altruizem se najlažje razvija v majhnih skupinah, kjer je več možnosti za ponovna snidenja istih osebkov. Deluje na način, da osebek pomaga drugemu v stiski, vendar ob naslednji priložnosti pričakuje povrnjeno uslugo. Tako vedénje je pogosto pri ljudeh (zaradi kompleksnega socialnega in družbenega vedénja), manj pogosto pa jih je mogoče opaziti pri ostalih živalih.

Vampirski netopirji (*Desmodus rotundus*) so primer vzajemnega altruizma znotraj živalske vrste. Svojim lačnim sosedom pomagajo tako, da z njimi delijo kri plena. Vendar pa tega niso pripravljeni narediti kar s katerikoli netopirjem. Pomagajo le tistim, s katerimi že imajo vzpostavljen negovalni odnos in ga z deljenjem krvi še utrjujejo. Vampirski netopirji živijo v majhnih skupnostih in se družijo daljše obdobje, kar so ustrezne razmere, da se med njimi razvije vzajemni altruizem.

Primer vzajemnega altruizma med pripadniki različnih vrst lahko opazimo v tropškem morju med koralnimi grebeni. Tam živijo različne vrste majhnih rib (na primer *Labroides phthirophagus*), ki se obnašajo kot čistilci večjih rib (na primer *Mulloidichthys flavolineatus*), ko jim odstranjujejo parazite iz ust in škrg. Večje ribe se večkrat vrnejo



Podgane so pripravljene deliti brano tudi z nesorodnimi osebki. Vir: <https://pixabay.com>.

k preverjenim čistilcem na isto mesto. Ker tako poskrbijo za večkratna srečanja v času, se tudi pri njih izpolnijo ugodne razmere za vzajemni altruizem. Altruistično vedénje so raziskovalci opazili pri vrstah večjih rib. Ko je večjo ribo napadel plenilec ravno v času, ko je manjša riba čistila večjo ribo, je večja riba počakala, da je manjša riba izplavala ven iz ust, preden je pobegnila pred napadalcem. S takim obnašanjem je večja riba tvegala, da jo bo napadalec ranil oziroma ujel, a je vseeno poskrbela za varnost manjše ribe, da bosta lahko ohranili svoje sodelova-

nje. Sebično obnašanje bi bilo, da bi večja riba pogoltnila manjšo ribo, s tem pridobila čas in uspešneje pobegnila pred plenilcem. V laboratorijskih razmerah so tudi podgane (*Rattus norvegicus domestica*) pokazale altruistično vedénje. V poskusih so raziskovalci ugotovili, da so podgane pripravljene prostovoljno narediti manjše usluge - na primer deliti hrano z nesorodnimi osebki. Pri enem od poskusov so raziskovalci uporabili tehniko kaznovanja ali nagrajevanja podgan in podgane uspeli naučiti vzajemnega altruizma. Zanimiv je bil poskus, kjer so podga-



Čebela delavka na
sončnici.

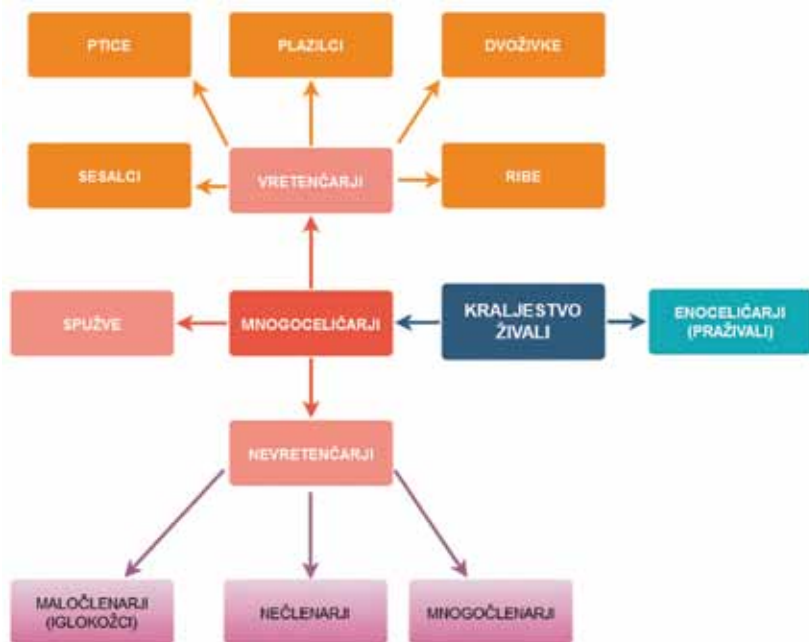
Foto: Andreja Stušek.

ne dobile na izbiro dve kletki, v katerih je bila v eni ujeta podgana in v drugi čokolada. Večina testiranih podgan je rešila ujeto podgano in z njo delila čokolado. Podoben poskus so nato opravili s podganami, ki so bile pod vplivom pomirjevala midazolam, ki ga uporabljamo tudi v humani medicini. Podgane so se pod vplivom pomirjevala večkrat odločale za odpiranje kletk s čokolado in manjkrat za odpiranje kletk z ujeto podgano. Raziskovalci si tako vedénje razlagajo s tem, da so podgane doživljale stres, ko so poslušale glasove ujetih živali v kletki. Da bi si stres omilile, so rešile ujete podgane iz kletk. Ko pa so bile podgane pod vplivom pomirjevala, pa niso bile več dovzetne za krike ujetih podgan, ker jih je pomirjevalo otopilo za doživljanje zunanjih stresorjev. Pri afriški sivi papigi (*Psittacus erithacus*) so raziskovalci v laboratorijskih poskusih dokazali, da se te papige lahko vedejo altruistično. Dokumentirali so, da so afriške sive papige vsaj v laboratorijskih razmerah pripravljene prostovoljno pomagati drugim papigam in z njimi deliti nagrado. Raziskoval-

ci so med testiranjem opazili, da so papige pomagale ostalim papigam tudi, če po delitvi nagrade niso dobile nobene nagrade oziroma neposredne koristi. Pomagale so celo nesorodnim papigam. Papige kot tudi vrane so sicer znane po razmeroma večjih možganih v primerjavi z ostalim telesom in tudi po večjih spretnostih reševanja težav. Kljub visoki socialni inteligenci obeh vrst ptic pa vrane v zgodnjih študijah niso pokazale pripravljenosti pomagati ostalim vranam.

Uporaba definicij altruizma

Altruizem ima človeška družba za plemenito vedénje, ki ga povzdiguje med ideale človeške družbe. Vendar je treba paziti pri izrazoslovju in razlikovati med številnimi definicijami altruizma, ki ponujajo različno razlago. Biologi poudarjajo, da je altruizem opredeljen s posledicami, ki se poznajo na fitnesu altruista, splošne definicije altruizma pa definicijo utemeljujejo na motivacijskih vzgibih. Zato moramo upoštevati različno uporabo besede altruizem pri pogovoru – ali res mislimo enako, ko se pogovarjamo



Kraljestvo živali.

Risba: Andreja Stušek.

o altruizmu. Razlika v definicijah postane očitna, ko imamo altruizem za vedénje, pri katerem se zavestno odločimo za pomoč drugim. V takem primeru večini živalskega sveta ne priznavamo zmožnosti altruizma (kot tudi ne sebičnosti). S tako definicijo altruizma potem težko razložimo altruizem pri žuželkah, kot so mravlje ali čebele. Čeprav naj žuželke ne bi imele zavestnih hotenj, pri njih vseeno opažamo visoko stopnjo požrtvovalnosti, ki se dogaja znotraj ene same velike družine – panja ali mravljišča. Vsak član ima posebno vlogo v skupnosti, ki prispeva k blagostanju celotne družine. Evolucijski razvoj je izpilil delitev nalog oziroma specializiranost članov v organizaciji, da danes lahko opazujemo ubrano živahnost v panju ali mravljišču.

Ali imajo različne opredelitve altruizma smisel pri opisovanju človeškega vedénja? Ljudje namreč tako kot ostale živali izkazujejo več altruizma svojim bližnjim sorodnikom kot pa ostalim ljudem. Izstopamo pa pri obširnem sodelovanju z nesorodnimi osebki. Primer, ko se včasih obnašamo na način, ki nasprotuje našemu biološkemu fitnesu, je posvojitev. Posvojitelji, ki nimajo svojih bioloških otrok, si zmanjšujejo svoj biološki fitnes, ko skrbijo za otroke drugih staršev. Vedénje posvojiteljev je torej altruistično. Poleg tega na ljudi (v primerjavi z drugimi živalmi) močneje vpliva kultura, ki je povezana z zavestnimi prepričanji in željami. Dejanja, ki jih izvajamo z zavestnim hotenjem pomagati drugim, ne povečujejo vedno biološkega fitnesa drugih. Po drugi strani pa lahko dejanje, ki je bilo zavestno izvedeno v lastno korist, tudi drugim poveča biološki fitnes.

Altruizem se tako pri človeku kaže v kompleksnih oblikah, kar potem vpliva na več poskusov definicij, ki želijo umestiti altruizem v okvire (različnih) opisov. Ker se beseda altruizem v različnih krogih različno uporablja oziroma označuje različne definicije altruizma, je pomembno, da se zavedamo teh razlik pri pogovoru, da ne prihaja

do nesporazumov. Idealno bi bilo, če bi v prihodnosti imeli bolj usklajene definicije altruizma. To bi močno olajšalo sporazumevanje in predvsem razumevanje pogovora o altruizmu.

Altruizem je torej kompleksen pojem, ki se izraža v več oblikah in ga najdemo tako pri žuželkah kot pri pticah in sesalcih. To kaže na tri veje na evolucijskem drevesu, ki se razvijajo vsaka v svojo (neodvisno) smer. Kljub različnim razvojnim smerem se je altruizem razvil pri omenjenih skupinah med seboj precej različnih živali, kar kaže na njegov smisel v socialnih družbah in kompleksnost pojma.

Viri:

- A Dictionary of Ecology, Evolution and Systematics*, 1998: Cambridge University Press.
- Brucks, D, von Bayern, A. M. P., 2020: *Parrots Voluntarily Help Each Other to Obtain Food Rewards. Current Biology*, 30 (2): 292-297.e5, doi:10.1016/j.cub.2019.11.030.
- Bshary, R., 2002: *Biting Cleaner Fish Use Altruism to Deceive Image-Scoring Client Reef Fish. Proceedings: Biological Sciences*, 269 (1505): 2087-2093, doi: 10.1098/rspb.2002.2084, <http://www.jstor.org/stable/3558870>. (Dostop 2. 8. 2021.)
- Delay, L. S., in sod., 1996: *Paternal Care in the Cooperatively Polyandrous Galapagos Hawk. The Condor*, 98: 300-306.
- Delmas, G., Lewu, S., Zanutto, S., 2019: *High mutual cooperation rates in rats learning reciprocal altruism: The role of payoff matrix. PLOS ONE*. 14. e0204837. 10.1371/journal.pone.0204837.
- Encyclopedia of Biodiversity*, 2013: Elsevier, Academic Press. Second Edition.
- Encyclopedia of Ecology*, 2019: Elsevier, Academic Press. Second Edition, Volume 1.
- Hamilton, W. D., 1964: *The Genetical Evolution of Social Behaviour I and II. Journal of Theoretical Biology*, 7: 1-16, 17-32.
- Hernandez Lallemand J., in sod., 2020: *Harm to Others Acts as a Negative Reinforcer in Rats. Current biology*, 30 (6): 949-961.e7, doi: 10.1016/j.cub.2020.01.017.
- Mason, P., 2015: *Helping Another in Distress: Lessons from Rats. Japanese Journal of Animal Psychology*, 65 (2): 71-78, <https://doi.org/10.2502/janip.65.2.1>.
- Miralles, A., Raymond, M., Lecointre, G., 2019: *Empathy and compassion toward other species decrease with evolutionary divergence time. Scientific Reports*, 9

(1): 19555, doi: 10.1038/s41598-019-56006-9.

Okasha, S., 2020: *Biological Altruism*, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Edward N. Zalt (ur.), <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/altruism-biological/>. (Dostop 2. 8. 2021.)
 Oxford English Dictionary Online, junij 2021.
 Oxford University Press. <http://www.oed.com/viewdictionaryentry/Entry/11125>. Dostop 23. 8. 2021.)
 Pitman, R. L., in sod., 2016: *Humpback whales interfering when mammal-eating killer whales attack other species: Mobbing behavior and interspecific altruism?* *Marine Mammal Science*, 33 (1): 7–58, <https://doi.org/10.1111/mms.12343>.
 Roberts, G., 2020: *Cooperation: How Vampire Bats Build Reciprocal Relationships*. *Current Biology*, 30 (7):

R307–R309, doi:10.1016/j.cub.2020.01.066.

Slovar slovenskega knjižnega jezika, druga, dopolnjena in deloma prenovljena izdaja. www.fran.si. (Dostop 16. 7. 2021.)
 Scheggia, D., Papaleo, F., 2020: *Social Neuroscience: Rats Can Be Considerate to Others*. *Current Biology*. 30 (6): R274–R276, doi: 10.1016/j.cub.2020.01.093.
 Trivers, R. L., 1971: *The Evolution of Reciprocal Altruism*. *Quarterly Review of Biology*, 46: 35–57.
 Wu, M., Walser, J. C., Sun, L., Kölliker, M., 2020: *The genetic mechanism of selfishness and altruism in parent-offspring coadaptation*. *Science Advances*, 6 (1): eaaw0070, doi:10.1126/sciadv.aaw0070.



Andreja Stussek, dr. med., je diplomirala na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani leta 2009 in opravila specialistični izpit iz družinske medicine leta 2014. Med specializacijo se je dodatno usposobila za delo v urgentni medicini in pridobila dodatne veščine iz tropske medicine na humanitarni medicinski odpravi pod okriljem *Sekcije za tropsko in potovalno medicino Slovenskega zdravniškega društva*. Je članica *Slovenskega združenja paliativne in hospic oskrbe* in *Združenja zdravnikov družinske medicine Slovenije*.

Dve botanični zanimivosti iz južnih Julijskih Alp

Sinu Vidu v spomin

Igor Dakskobler

Jesen leta 2019 je bila za našo družino črna. Žalost in nemoč sem poskušal premagovati z delom in gibanjem v naravi. Najraje sem šel na kolo in v klanec, čim bolj v samoto. Nekajkrat sem se zapeljal tudi v konec Kneške grape, kjer se ta skoraj razširi v dolino, pod Rodico, Šijo, Vogel in Žabijski Kuk. Kneške Ravne so višje, na prisojnih terasah, a tu nad mlado Knežo (Knežico, Knešco) so le osamljene domačije, Pologar na osojah pod Liscem in Kogoj na prisojah pod Masovnikom. Pritegnilo me je skalnato območje približno na sredini tega okoli

1.000 metrov visokega hriba. Zagotovo sem tam blizu некоč hodil, vsaj leta 1986, ko sem opisoval tukajšnje gozdove. Kaj pa če v teh skalah raste kratkodlakava popkoresa? V Kneški grapi mi ne uspe najti prav nobenega nahajališča, čeprav jih poznam v obeh sosednjih dolinah, nad Koritnico in nad Zadlaščico. Bom moral naslednjo pomlad to preveriti!

Tudi pomlad leta 2020 je bil drugačna od mnogih prejšnjih. Negotovost, celo strah, omejeno gibanje. Terensko delo sem zato



Kogoj in Pologar v Kneških Ravnah. Foto: Igor Dakskobler.



*Skalovje v nedrjih Masovnika nad domačijo Kogoj v Kneških Ravnah. Približno sto metrov pod tem skalovjem so nahajališča venerinih laskov (*Adiantum capillus-veneris*). Foto: Igor Dakskobler.*

začenjal v okolici Tolmina in s kolesom. V začetku aprila sem z njim ponovno šel v Kneško grapo, h Kogoj, in v breg proti skalovju v nedrjih Masovnika. Pogled od daleč mi je v njem razkril številne tise (*Taxus baccata*), njena posamezna manjša drevesa pa sem srečal že v bukovem gozdu kmalu nad domačijo. Toda pot do skalovja je bila zapletena. Zaustavila me je poševna, proti severozahodu potekajoča, okoli sto metrov dolga in od nekaj metrov do vsaj dvajset metrov visoka skalna pregrada (kamnina je dolomit z rožencem), čez katero bolj ali manj stalno meži voda, odlaga se lehnjak, ki ga je več v osrednjem delu, kjer je manjši slap. Pozneje sem ugotovil, da pod Masovnikom izvira manjši potok, ki si je našel pot skozi vsaj sto metrov visoko ostenje, naprej teče nekaj več kot petdeset metrov po gozdu in potem v slapu pade v bukov gozd na dnu pobočja in se pridruži

nekoliko večjemu potoku z leve (vzhodne) strani, ki prav tako izvira pod istim hribom. Naš potok je ob suši najbrž suh, a spodnja stopnja je vedno nekoliko mokra.

V njej ni bilo kratkodlakave popkorese, temveč na moje veliko veselje venerini laski (*Adiantum capillus-veneris*). Zima je bila mila in so se vsaj na dveh krajih lepo ohranili do pomladi. V južnih Julijskih Alpah niso več tako presenečenje, kot so bili pred več kot pol stoletja, ko jih je gozdarski inženir Aleš Capuder (še živeči kartuzijan pater Stanislav iz Pleterij pod Gorjanci) našel na vznožju Kotla, natančneje Malega vrha pri Grahovem ob Bači. Zdaj poznamo tudi bogata nahajališča v povodju Volarje pod Krnom.

A tu v Kneških Ravnah smo že skoraj 600 metrov visoko, najvišje za to sredozemsko praprot v Sloveniji in še bolj neposredno pod gorami, saj se takoj za Masovnikom



Skalovje pod Masovnikom bolj od blizu, s številnimi tisami (Taxus baccata). Foto: Igor Dakskober.



Začetek aprila leta 2020, venerini laski v družbi z mahovnimi vrstama Hymenostylium recurvirostre in Palustriella commutata. Foto: Igor Dakskober.

že dviga skoraj 1.900 metrov visoki Žabj-ski Kuk. Tudi meja Triglavskega narodnega parka je zelo blizu. Naredil sem fitocenološke popise in nabral mahovne vrste, ki mi jih prizadevno in nesebično določa profesor Andrej Martinčič. To nama omogoča pisanje člankov o rastlinskih združbah vlažnih skalnih razpok in slapov. Tudi podrobnejšo obdelavo nahajališč in združb, ki jih ome-

njam v tem članku, sva napisala skupaj. Pod Masovnik sem potem prišel še dvakrat, v drugi polovici maja in v začetku septembra istega leta, in ponovil popise. Takrat je bilo venerinih laskov še več, rastejo tudi pri slapu s stebrom lehnjaka.



Slap s stebrom lebnjaka, skupina venerinih laskov v začetku septembra leta 2020. Foto: Igor Dakskobler.



Posebnost v njihovi tukajšnji združbi je kranjski zali kobulček (*Astrantia carniolica*). Ta je razširjen v Jugovzhodnih Alpah in severnem delu Dinarskega gorstva in ga do zdaj v Sloveniji skoraj nismo poznali na skupnih rastiščih s to sredozemsko praprotnjo. Polno ime združbe venerinih laskov v Kneških Ravnah je zapleteno, a ga vseeno zapišem, v njem pa sta poleg dveh cevnic upoštevani še dve mahovni vrsti *Eucladium verticillatum* (ta je na popisih redek) in *Hymenostylium recurvirostre*: *Eucladio-Adiantetum hymenostylietosum recurvirostri* var. *Astrantia carniolica*.

Vlažna stopnja s slapom in lebnjakom pod Masovnikom. Foto: Igor Dakskobler.



Kranjski zali kobilček (Astrantia carniolica) v vlažnih skalah pod Masovnikom ponekod raste v združbi, ki bi jo lahko imenovali po njem (Palustriello commutati-Astrantietum carniolicae nom. prov.). Foto: Igor Dakskobler.

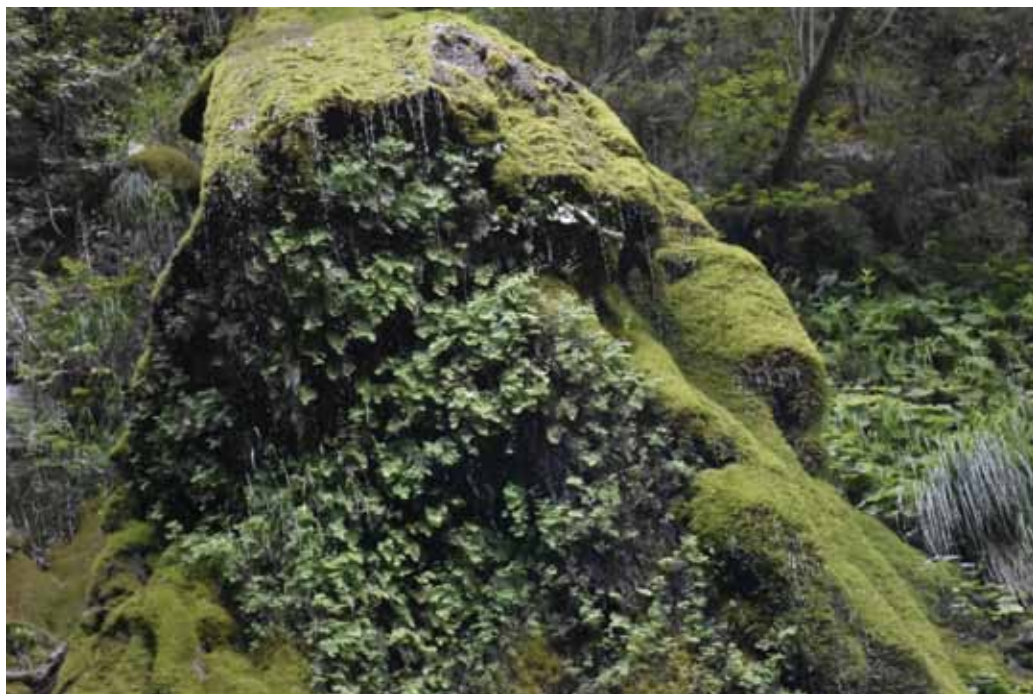
Maja in septembra mi je uspelo priti tudi pod skalovje s tisami, ki je z roba poraslo z grmiščem črnega gabra in malega jesena (*Fraxino orni-Ostryetum*), a kratkodlakave popkorese tudi tam nisem našel.

Med botaničnimi zanimivostmi tega ostenja je Charmeilov repuš (*Phyteuma scheuchzeri* subsp. *columnae*), ki ima v slovenskem delu Julijskih Alp redka nahajališče (v okolici Kneških Raven tudi pod vzpetino Gabro-

vec), zelo pogost pa je v povodju Idrijce in Trebušice. Razširjen je sicer v južnih Alpah in severnem delu Dinarskega gorstva. Skupaj s kratkodlakavo popkorese raste pod Malim vrhom nad Grahovim ob Bači in pod Hudičevim robom pri Kojci, skupaj z venerinim laski pa pri slapu v Brezni grapi nad Grahovim ob Bači in na obeh bregovih Soče pri Solkanu (na vznožju Sabotina in Skalnice).



Združba črnega gabra in malega jesena (Fraxino orni-Ostryetum) v skalovju pod Masovnikom. Foto: Igor Dakskobler.



*Odлом lehnjaka v Skriti grapi pod Selcami v povodju Volarje z združbo venerinih laskov (*Adiantum capillus-veneris*). Foto: Igor Dakskobler.*

Venerini laski v Kneški grapi so me spodbudili k ponovnemu ogledu te praproti ob Volarji in tam sem zašel v grapo, ki sem jo do zdaj, čeprav sem večkrat hodil mimo njenega konca, povsem prezrl. Svoj začetek ima pod vasjo Selce, v rečico Volarjo pa se izliva nizvodno njenega sotočja z Mrzlico. V spodnjem delu te prezrte grape, nekaj sto metrov pred izlivom v Volarjo, je večji kotel z več kot trideset metrov visokim slapom. Ob njem so nahajališča venerinih laskov, ki so najbolj številčni na značilni lehnjakovi »gobi« (odlomu lehnjaka) visoko v slapu. Toponim na zemljevidih pri tem kotlu je Korita, sam jo imenujem Skrita grapa. Tukajšnja nahajališča venerinih laskov so najbolj južna v povodju Volarje.

Kak mesec po mojem drugem obisku venerinih laskov v Kneških Ravnah me je zvečer poklical Rafko Terpin in mi poročal o svojem izletu k paradiževki (*Paradisea liliastrum*) pod Krnčico nad Drežniškimi

Ravnami. So v polnem cvetenju, moram jih pogledati. Njegov spremljevalec in prijatelj Ivan Laharnar mi je poslal tudi nekaj zelo lepih fotografij. Ker pri paradiževki že skoraj deset let nisem bil, sem Rafka spraševal, ali na travnikih še kosijo, se že kaj zaraščajo? »Ni več košeno,« mi je odgovoril, »če kdo še kaj počisti ali poseče (pokosi), so to lovci.« Ni mi šlo v račun. Teden dni pozneje, bil je bolj meglen, oblačen in soparen dan, sem se odpravil v Drežniške Ravne in navzgor v Ograjenco in Ledinco. Travniki še niso bili pokošeni, a tam, kjer je navadno veliko paradiževke, ni kazalo na zaraščanje, gotovo bodo tu še pokosili. Moral sem se potruditi, da sem med gosto travo opazil njena že odcvetele stebela. Zdaj mi je bilo jasno, Rafko je imel v mislih višja nahajališča, ob lovski stezi, sam pa ta spodnja, ki pa se z zgornjega roba tudi vedno bolj zaraščajo.

Pomirjen, da sva nesporazum razrešila, na



Paradiževka (Paradisea liliastrum) – pod Zatrepom pod Krnčico, v drugi polovici junija leta 2020. Foto: Ivan Laharnar.



zgornja nahajališča nisem šel (podrobno sem jih pregledal in popisal zgodaj poleti 2021), pač pa bolj proti vzhodu, na travnik, kjer smo paradiževko pred dvajsetimi leti z družino prvič našli. Bilo je drugo leto zatem, ko smo izgubili starejšo hčerko, otroka pa sestro. Tudi takrat smo žalost preganjali z izleti v naravo. Ta travnik zdaj ni še bil pokošen, paradiževke nisem opazil ne takrat ne zgodaj poleti 2021. Toda blizu je bil smerokaz za slap Curk. Nisem se mogel spomniti, ali smo takrat z majhnimi otroci tja sploh šli. Grem pogledat, če je v vlažnih skalah kakšna zanimiva združba, in nabere mahove za prof. Martinčiča.

Skalovje ob slapu Curk v grapi Kozjak pod Krnčico. Foto: Igor Daksakobler.



Kratkodlakava popkoresa (Moehringia villosa) v skalovju na levem bregu Kozjaka pri slapu Curk.

Foto: Igor Dakskobler.

Pot je na nekaterih mestih zavarovana z jeklenico, a kmalu sem bil v mogočnem kotlu z okoli sedemdeset metrov visokim slapom. Njegovega opisa v zame klasičnih knjigah (Rojškovih *Naravnih znamenitostih Posočja* in Ramovševih *Slapovih v Sloveniji*) nisem našel. Bil sem okoli 1.000 metrov visoko, v povirnem delu Kozjaka, pod njegovim prvim večjim slapom, nad njim sta Srednji vrh in Krnčica, Krnova severozahodna sosedka v grebenu proti Bovcu, kamnina je ploščasti apnenec s primesjo laporovca in roženca. Pogled sem najprej usmeril v razčlenjeno bolj ali manj previsno skalovje na levem bregu potoka in v bele rušice, ki so se kazale v njem. Šel sem bliže in ni bilo dvoma, bila je kratkodlakava popkoresa (*Moehringia villosa*) v svoji goli različici (forma *glabrescens*). Dva popisa mi je uspelo narediti, za še kakšnega bi bilo treba skoraj plezati. Združba je precej značilna za rastišča kratkodlakave popkorese. V njej rastejo tudi lanolistna

zvončica (*Campanula carnica*) – ta vrsta je tudi v imenu združbe (*Campanulo carnicae-Moehringietum villosae*), rumeno milje (*Paeederota lutea*), skorjasti kamnokreč (*Saxifraga crustata*) in srebrni ovsenec (*Trisetum argenteum*). Skalovje nad desnim bregom potoka tik pod slapom je bolj vlažno, v njem sta tudi marjetičasta nebina (*Aster bellidiastrum*) in skalna špajka (*Valeriana saxatilis*). Še bolj proti slapu pa je nekaj rušic kratkodlakave popkorese v povsem vlagoljubni, za njena rastišča neznatni združbi, v kateri poleg marjetičaste nebine in rumenega milja prevladujeta dvocvetna vijolica (*Viola biflora*) in vednozeleni kamnokreč (*Saxifraga aizoides*), bogata je mahovna plast. Nad desnim bregom potoka nizvodno slapu mi je poleti 2021 uspelo narediti še dva popisa tudi v povsem suhem skalovju.

Novo nahajališče pri slapu Curk (kvadrant 9747/2) je do zdaj najbolj severozahodno v celotnem območju razširjenosti našega en-



Zgoraj: Združba kratkodlakave popkorese in lanolistne zvončice (*Campanulo carnicae*-*Moehringietum villosae*) pri slapu Curk. Foto: Igor Dakskobler.

Spodaj: Združba vlažnega skalovja pri slapu Curk, v kateri uspeva tudi kratkodlakava popkoresa. Foto: Igor Dakskobler.



demita in prvo v občini Kobarid. V Krnskem pogorju smo jo do zdaj poznali le pod Rdečim robom in Pelcem ter v Slemenskih pečeh, vse nad dolino Tolminke. Njena robna nahajališča v drugih nebesnih smereh so: najbolj proti vzhodu pod Hočem nad Podporeznom (občina Železniki), najbolj proti severovzhodu v Homah pod Črno goro (občina Bohinj) in najbolj proti jugu pri Hudičevem robu pod Kojco (občina Cerkljo). Največ nahajališč je še vedno v občini Tolmin, predvsem v zgornjem delu Baške doline.

V Kneški grapi sem jo iskal in je nisem našel, a me je njeno iskanje pripeljalo k venerinim laskom (kot že pred tridesetimi leti h kortuzovki pod Črnim vrhom nad Batavo). Kdo me je pripeljal k njenemu nahajališču v povirju Kozjaka? Nihče drug kot Rafko Terpin! Brez njegovega telefonskega klica bi me vsaj to poletje pod Krnčico skoraj gotovo ne bilo. Hvala, prijatelj, za to pozornost.

Literatura:

Dakskobler, I., Martinčič, A., 2021: *New localities of *Adiantum capillus-veneris* and *Moerhousia villosa* in the southern Julian Alps. Folia biologica et geologica, 62 (1): 33-57.*

V iskanju severnega sija • Fizika

V iskanju severnega sija

Lovrenc Fortuna

Prirojena človeška radovednost po odkrivanju novega in nepoznanega nas že od nekdaj vodi k opazovanju različnih naravnih pojavov okoli nas. Pogled proti nebu je še posebej zanimiv, saj ponuja nevsakdanje prizore. Razgibane zelene in rdeče zaves, ki se na nebu pojavijo in nato izginejo, so bile predmet opazovanj naših prednikov. Različni poskusi razlag nastanka teh razburljivih prizorov se povezujejo s starimi zgodbami, miti in nadnaravnim. Z načrtnim znanstvenim raziskovanjem in s sodobnimi dognanji o Zemljinem magnetizmu danes razumemo in lahko pojasnimo nastanek severnega sija kot posledico vzajemnega delovanja med nabitimi delci s Sonca ter atomi in molekulami plinov v našem ozračju.

Severni sij je človeštvu privlačen že od davnine. O tem pričajo začetki opazovanj, ki segajo daleč v preteklost. Nekoč so nastanek povezovali z delovanjem bogov in nadzemskih sil. Zaradi značilne rdeče barve in redkejšega pojavljanja na zmernih zemlje-

pisnih širinah so ga nekatera ljudstva imeli za znanilca vojn in bolezni. V nasprotju s tem pa so mu številni skandinavski narodi pripisovali nadnaravne in čudežne lastnosti. Zaradi visoke pogostosti pojavljanja severnega sija je ta postal ena izmed njihovih pomembnih kulturnih značilnosti. Opise, opazovanje in pojavljanje severnega sija zato lahko zasledimo v številnih literarnih delih. Inuitsko ljudstvo iz okolice Hudsonovega zaliva je severnemu siju pripisovalo pomembno mitološko vrednost. Po njihovem naj bi bile na nebu luknjice, skozi katere duhovi pokojnih prehajajo na nebeško stran. Pot do tja jim ostali pokojni iz nebes osvetlujejo z baklami. Prav to svetlobo bakel pa naj bi videli kot severni sij (slika 1).

Eden izmed prvih, ki je pojav opisal, je bil antični filozof Aristotel (384–322 pred našim štetjem). V svojem delu *Meteorologija* ga je opisal kot svetlobo, podobno gorečemu plinu. Pojavlja se na nebu v jasni noči kot različne oblike žarkov rdeče barve.

V letih od 1349 do 1350 je v *Knjigi o naravi*



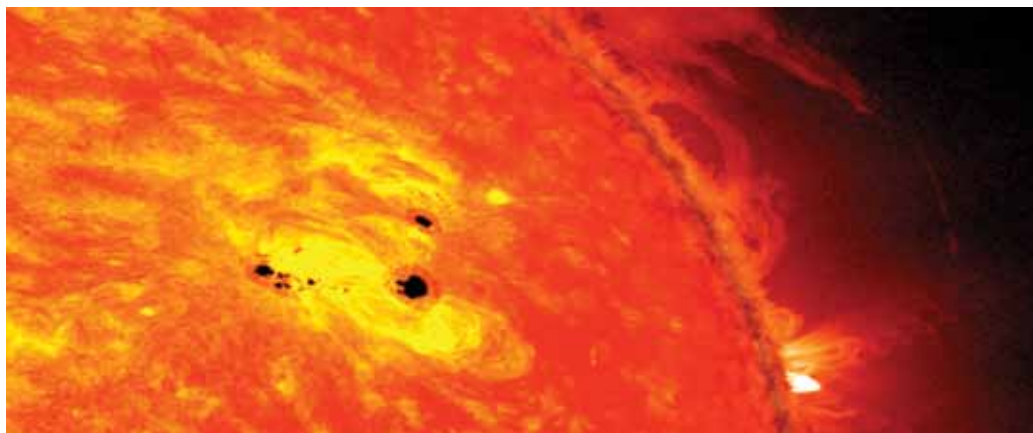
Slika 1: Severni sij nad okolico Tampereja na Finskem. Posneto avgusta leta 2019. Foto: Lovrenc Fortuna.

nemški učenjak Konrad von Megenberg opisal barvne spremembe pri pojavljanju sija. Opis severnega sija najdemo tudi v *Bibliji*. V stari zavezi ga je prerok Ezekijel opisal kot vihar z velikim oblakom, ki prihaja s severa. Oblak je poln plapolajočega ognja. Obdaja ga svetlobni sijaj, ki sveti iz notranjosti. Poimenovanje pojava severni sij prav tako kot prvotne razlage nastanka izvira iz mitologije. Za polarni sij, ki je skupen izraz za sij na severni in južni polobli, v strokovni literaturi najdemo izraz avrora. Ime ima po rimski boginji zore. Glede na poloblo pojavljanja je poimenovanje različno. Na severni se imenuje Aurora Borealis, na južni pa Aurora Australis.

Z razvojem znanosti, novimi spoznanji, boljšimi razmerami za natančno opazovanje in preučevanje vesolja ter težnjo po globljem razumevanju pojava se je pokazalo, da omenjene mitološke razlage in pojmovanja nastanka severnega sija niso niti grob približek

dejanskega nastanka pojava. Na začetku 18. stoletja so številni raziskovalci namenili veliko pozornosti znanstvenemu opazovanju avrore. Med njimi je angleški astronom Edmund Halley ugotovil, da je nastanek polarnega sija povezan z Zemljinim magnetizmom. Prav tako je bil eden izmed prvih pomembnejših korakov k razumevanju pojava prispevek Andersa Celsiusa. Sredi 18. stoletja je opazil, da se magnetne igle ob močnih avrorah obračajo. Zaradi te ugotovitve je pojav tudi on povezal z magnetizmom.

V začetku 19. stoletja je bil v Nemčiji postavljen eden od prvih observatorijev za zaznavanje sprememb v Zemljinem magnetnem polju. Izsledki raziskav in meritev so povezali nastanek polarnega sija s številom peg na Soncu. Ugotovitev je nadgradil Sophus Tromholt, ki je pojasnil, da pogostost pojavljanja sijev ni stalna, ampak se spreminja s številom Sončevih peg (slika 2). S tem so dokazali, da Sonce poleg oddajanja

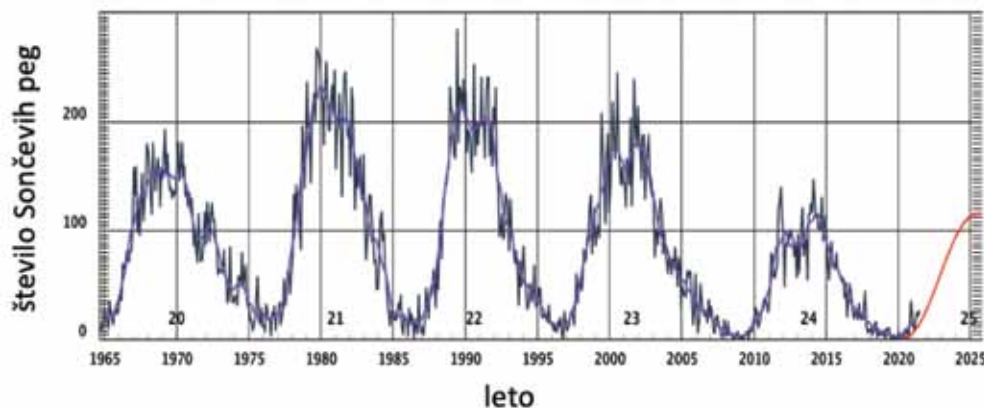


Slika 2: *Sončeve pege na površju Sonca. Povzeto po ameriški vesoljski agenciji NASA 8. julija leta 2021 (<https://spaceplace.nasa.gov/solar-activity/en/solar-activity2.en.jpg>).*

svetlobne in toplotne energije tudi drugače pomembno vpliva na planet Zemlja. Na začetku 20. stoletja sta s triangulacijo opazovanja pojava na različnih mestih Carl Størmer in John Dalton določila višino plasti, iz katerih izvira in v katerih se pojavlja. Zatem je Kristian Birkeland objavil teorijo, da polarni sij povzročajo nabiti delci s Sonca. Ti se ujamejo v Zemljino magnetno polje in tako pripotujejo v ozračje. Tam reagirajo z atomi in molekulami plinov, ki ga sestavljajo. V istem obdobju so izmerili tudi svetlobni spekter avrore ter predstavili spoznanja o magnetnih nevihtah in stalnem Sončevem vetru. Ob velikem napredku je pri raziskavah prihajalo tudi do nekaterih napačnih razlag. Jean-Baptiste Biot je tako na primer zmotno mislil, da avrora nastane zaradi delcev, ki jih izbruhaajo ognjeniki.

Omenili smo, da je severni sij pojav, ki nastane pri medsebojnem delovanju Sonca in Zemlje. Sonce v medplanetarni prostor oddaja magnetno valovanje. Poleg tega nenehno oddaja tudi snov v obliki plazme. Tok u nabitih delcev rečemo Sončev veter. To je plin električno nevtralne mešanice negativnih elektronov in pozitivnih ionov – gre predvsem za protone atomskih jeder vodika. Kot primer znanega Zemljinega pojava, pri

katerem je udeležena plazma, je strela. Sončev veter izvira iz korone Sonca, zunanjega dela njegove atmosfere. Delci v njem imajo dovolj veliko hitrost, da ubežijo težnosti Sonca in odletijo v medplanetarni prostor. Sonce zapuščajo s hitrostjo približno od 450 do 700 kilometrov na sekundo. Gostota, hitrost in pogostost izbruhov vroče plazme so odvisne od aktivnosti Sonca, ki se povezuje s številsko gostoto Sončevih peg. Te temne lise, po velikosti primerljive Zemlji, so izhodišče eksplozivnih delcev, ki v vesolje sproščajo svetlobo, Sončev material in energijo. Kadar je na Soncu večja skupina peg, lahko na tem območju pričakujemo več izbruhov. Aktivnost Sonca lahko tako spremljamo po številu peg na njegovem površju. Število se s časom periodično spreminja. Značilen je enajstletni cikel, ki je razviden na grafu 1. Kadar je izbruh usmerjen proti Zemlji, delci na poti od Sonca po približno osemnajstih urah pridejo v stik z Zemljinim magnetnim poljem. To nastane okoli planeta, ki izpolnjuje dva pogoja – telo mora imeti v svoji notranjosti tekočo in električno prevodno notranjost (jedro) ter se mora vrteti okoli svoje osi. Izvor magnetnega polja Zemlje so električni tokovi staljenega železa v njeni sredici. William Gilbert je že leta 1600

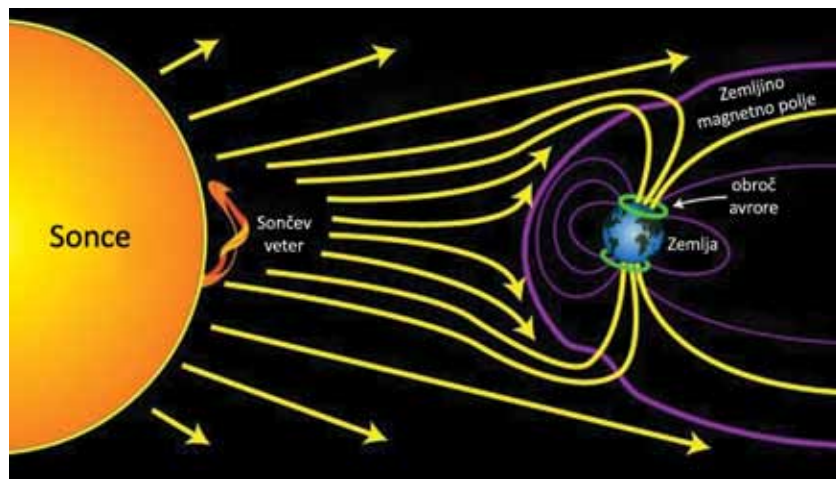


Graf 1: *Prikaz periodičnega spreminjanja števila Sončevih peg glede na leto. Povzeto po: Space Weather Prediction Center (Središču za napovedovanje vremena v vesolju) 7. julija leta 2021 (<https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression>).*

trdil, da je Zemlja velik magnet. To so kasneje tudi potrdili. Magnetno polje si lahko predstavljamo kot nevidno silo okoli magneteta, ki je najmočnejša ob tečajih magneteta. Tako kot vsak magnet ima tudi Zemlja severni in južni magnetni tečaj. Magnetno polje našega planeta ni omejeno le na površje, temveč sega daleč v vesolje. Njegova pomembna naloga je, da varuje planet pred energetsko nabitimi delci, ki pridejo s Sonca. Kljub temu pa nekateri izmed njih vseeno pridejo v stik z Zemljinim magnetnim

poljem na približni razdalji deset Zemljinih polmerov od središča planeta. Ujeti v Zemljino magnetno polje potujejo po njem. Naelektreni delci se stekajo in potujejo vzdolž magnetnega polja proti severnemu in južnemu tečaju (slika 3).

Nabitni delci elektronov in protonov, ki so ujeti v Zemljinem magnetnem polju v ozračju na višini okoli sto kilometrov in več, začnejo trkati v molekule in atome plinov. To se zgodi na omejenem območju pasov okoli tečajev. Zaradi tega je tudi polarni sij



Slika 3: *Poenostavljeni shematski prikaz potovanja Sončevega vetra s Sonca proti Zemlji in medsebojnih vplivov med njim in Zemljinim magnetnim poljem. Povzeto po ameriški vesoljski agenciji NASA 7. julija leta 2021 (<https://bit.ly/3hoITGX>).*

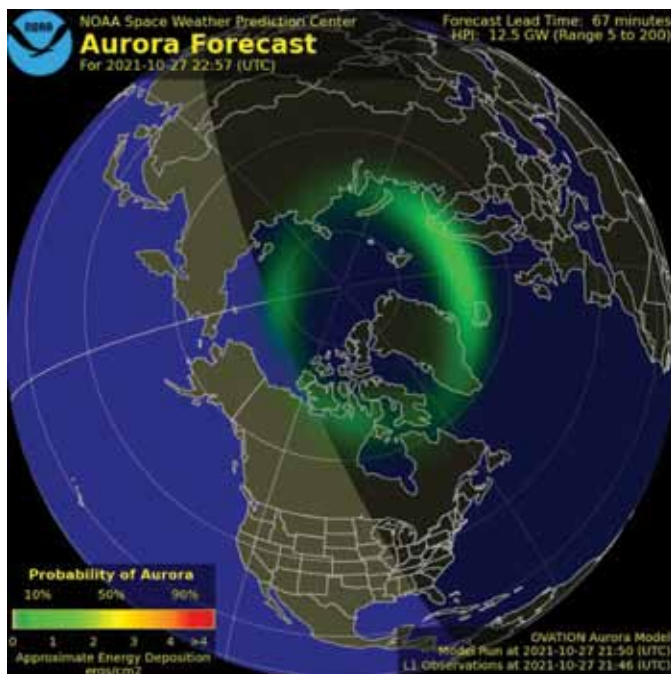
zemljepisno omejen. Pri medsebojnem vplivu teh delcev ter nevtralnih ali ioniziranih molekul in atomov kisika, dušika in vodika (O_2 , O , N_2 , N , H) pride do kemijskih reakcij. Pri njih nastanejo produkti v vzbujenem energetskem stanju. Pri prehodu nazaj v osnovno stanje te molekule in atomi izsevajo značilno svetlobo s specifično valovno dolžino. To vidimo kot polarni sij. Barva polarne sija je odvisna od višine, na kateri nastane, saj je število posameznih ionov, atomov in molekul v ozračju na različnih višinah različno. V spektru prevladujejo zelena (višina od 90 do 150 kilometrov), rdeča (višina od 150 do 600 kilometrov) in modrovijoličasta (višina nad 1.000 kilometrov). Najpogostejša barva polarne sija je zelenorumen. Nastane pri značilni reakciji med dušikovim protonom, N^+ , in molekulo kisika, O_2 , na višini od 90 do 150 kilometrov. Reakcijo opisuje naslednja kemijska enačba: $N^+ + O_2 \rightarrow NO^+ + O(^1S)$. Nastali kisik v vzbujenem stanju med relaksacijo odda foton z valovno dolžino 555,7 nanometra, kar vidimo kot polarni sij zelenorumene barve. Polarni sij je razgiban pojav, saj pogosto spreminja obliko. Prepoznamo lahko nekaj značilnih oblik, kot so pasovi, žarki, loki, zavese, oblaki, vrtinci in podobno.

Ugotovitve večletnega opazovanja in beleženja pojavljanja polarne sija na severni polobli nakazujejo na najpogostejše pojavljanje v obroču avror. Ta sega v polmeru približno 2.500 kilometrov od severnega tečaja. Omenjeni pas sega čez območja Skandinavije, Islandije, Grenlandije, severnega dela Kanade, Aljaske in Sibirije (slika 4). Eden izmed najprimernejših krajev za opazovanje severnega sija je mesto Andenes na zahodni obali Norveške. Poročila naznanjajo možnost opazovanja pojava skoraj vsako temno in jasno noč. Redkeje pa je severni sij viden tudi z manj skrajnih severnih leg. Ob veliki aktivnosti Sonca in močnih izbruhih plazme je tako viden tudi s srednjeevropskih zemljepisnih širin. Ker se ne pojavlja v tako intenzivnih zelenih barvah, kot bi pričako-

vali, ga pogosto spregledamo in ne zaznamo. Pojavljanje na območju Slovenije spremljajo številni raziskovalci že več let. Nekateri objavljeni prispevki poročajo o videnem severnem siju leta 1981 z observatorija pri Črnem vrhu. Viden je bil tudi leta 2000, leta 2003 v zgornji Savinjski dolini, leta 2011 na Pohorju in leta 2015 iz neposredne bližine Ljubljane. Vsa ta leta je bila aktivnost Sonca zelo velika, kar lahko razberemo tudi z grafa 1, ki prikazuje spreminjanje števila Sončevih peg glede na leto. Za opazovanje severnega sija je treba izbrati primerni čas in mesto. Najprimerneje je ponoči v temi, tam, kjer ni veliko svetlobnega onesnaženja. Višje kot gremo, bolje ga bomo videli, saj je tam prosojnost zraka večja. Močna Luna lahko naše opazovanje moti, prav tako tudi oblaki.

S spremljanjem aktivnosti Sonca se ukvarjajo profesionalne nacionalne meteorološke agencije. Dober primer je Space Weather Prediction Center (Središče za napovedovanje vremena v vesolju). Na podlagi analize meritev pretoka nabitih delcev, magnetnega polja in opazovanja Sonca s satelita DSCOVR (**D**eep **S**pace **C**limate **O**bservatory) izdeluje in javno objavlja napoved s predvidenim pojavljanjem avrore v prihajajočih urah in dneh (slika 5).

Človek najlažje in najpogostejše zazna severni sij kot značilne pasove zelene barve na nebu. Poleg vidne zaznave pa pojavljanje avrore vedno pogostejše povezujemo tudi z različnimi zvoki. Številni opazovalci poročajo o zvokih pokanja, bobnanja in klikanja, ki naj bi postajali glasnejši z večanjem jakosti avrore. Od leta 2000 v razvojnem centru Univerze Aalto na Finskem načrtno raziskujejo ta pojav. Številni znanstveniki so še vedno skeptični glede resničnega obstoja zvokov avrore. V ta namen so letos v mestu Jyväskylä na Finskem zasnovali raziskovalni projekt z več kot dvesto prostovoljci. Z njim želijo posneti in natančno določiti lokacijo zvokov in s tem potrditi domneve o pojavljanju zvoka pri avrori.



Slika 5: Primer napovedi pojavljanja severnega sija prikazuje predvideno območje z verjetnostjo, da bo viden, v odstotkih. Povzeto po: Space Weather Prediction Center (Središču za napovedovanje vremena v vesolju) 7. julija leta 2021 (<https://www.swpc.noaa.gov/products/aurora-30-minute-forecast>).

Slika 4: Severni sij, viden na Laponskem na Finskem. Posneto decembra leta 2019. Foto: Lovrenc Fortuna.

Slika 5: Zgoraj levo: Center za napovedovanje vesoljskega vremena. Napoved Avrore (severnega sija). Za 27. 10. 2021 ob 22.57 (UTC). Univerzalni koordinirani čas.

Zgoraj desno: Forecast Lead Time = Čas od objave napovedi do pojava sija: 67 minut.

HPI (hemispherical power input) = Hemisferična moč: 12,5 GW (obseg 5 do 200).

Spodaj levo:

Verjetnost nastanka avrore.

Približna raven energije (erg/cm^2).

Desno spodaj:

OVATION Model Avrore.

Prikaz modela 27. 10. 2021 ob 21.50 (UTC).

L1 Opazovanja 27. 10. 2021 ob 21.46 (UTC).



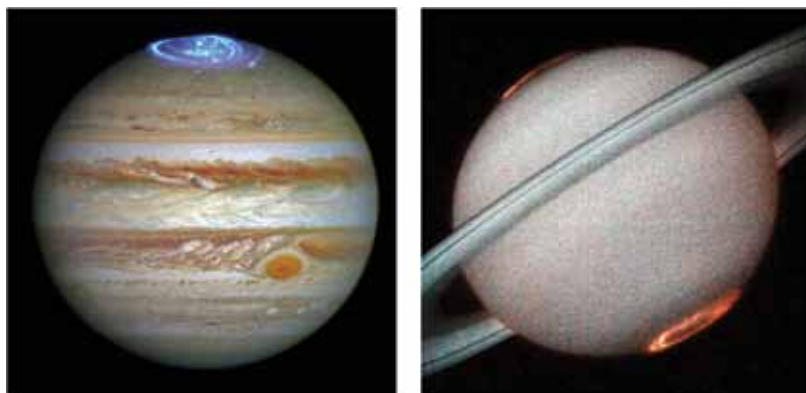
Slika 6: *Pas vijolične barve po imenu STEVE*. Povzeto po: Eos.org 7. julija letos (<https://eos.org/wp-content/uploads/2019/02/steve-circle-lake-sky-stars-800x600.jpg>).

Zanimive so tudi raziskave v zadnjih petih letih o ozkem osvetljenem pasu vijoličaste barve, ki so ga poimenovali STEVE (Strong Thermal Emission Velocity Enhancement). Do nedavnega je bilo zmotno mišljeno, da med njim in polarnim sijem ni razlike. Po študiji primerjave satelitskih meritev in slik se je pokazalo, da ga v nasprotju s polarnim sijem ne povzročijo nabiti ioni in elektroni. Do tega trenutka zanesljive razlage nastanka še nimamo. Lahko pa si pogledamo številne posnetke te različice (slika 6).

Pojavljanje avrore največkrat povezujemo s severnim tečajem. Vendar pa to ni pojav, ki je edinstven samo na našem planetu, saj lahko nastane tudi na drugih planetih. Raziskave na tem področju so še precej nove, saj se ti planeti od planeta Zemlje razlikujejo

po velikosti, položaju in razmeram v ozračju – dostop in meritve teh podatkov pa so težavne. V teoriji pa velja podoben princip nastanka avrore kot na Zemlji. Nastane lahko na tistem planetu, ki ima dejavno magnetno polje. Primeri takih planetov v našem Osončju so Jupiter, Saturn, Uran in Neptun (sliki 7 in 8).

Treba se je zavedati, da se avrore na teh planetih precej razlikujejo od Zemljinih. Najočitnejše so razlike v barvnem spektru, velikosti, obliki in pogostosti pojavljanja. Leta 2016 so bile s Hubblovim teleskopom posnete fotografije avrore na Jupitru. Te s prostim očesom ne bi bile vidne. Naše oči namreč niso sposobne zaznati rentgenskih in ultravijoličnih žarkov, ki jih tam seva avrora. Zanimiv primer je tudi planet Mars.



Sliki 7 in 8: *Aurora na Jupitru na levi in Saturnu na desni. Povzeto po: ameriški vesoljski agenciji NASA 7. julija leta 2021 (<https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/hs-2016-24-a-print-new.jpg> in https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/227191main_slide22high_full.jpg).*

Čeprav nima več dejavnega magnetnega polja, je raziskovalna odprava *Mars Express* leta 2004 prvič zaznala avrore na njem. V petnajstih letih raziskav je odprava zbrala podatke, ki pričajo o tem, da za pojavljanje avrore magnetno polje ni vedno nujno potrebno. Za natančnejše razumevanje nastanka avrore v tem primeru so potrebne nadaljnje raziskave.

Severni sij je izjemno zanimiv, saj še danes pritegne pozornost številnih raziskovalcev. O tem pričajo številni novi izsledki, ki vedno znova nadgrajujejo razumevanje tega pojava. Kljub temu pa ostajajo neznanke, ki jih želimo pojasniti v prihodnosti. Morda bodo nova odkritja nekoč imela celo širšo uporabno vrednost.

Mende, S. B., Harding, B. J., Turner, C., 2019:

Subauroral Green STEVE Arcs: Evidence for Low-Energy Excitation. Geophysical Research Letters, 46 (24): 14256–14262.

Miller, S., 2021: *Planetary Aurorae. Oxford Research Encyclopedias of Planetary Science.*

Mohorič, A., 2018: *Polarni sij in Zemljino magnetno polje. Obzornik za matematiko in fiziko*, 65 (1): 12–25.

Schröder, W., 2011: *The first accurate description of an aurora. Eos, Transactions American Geophysical Union*, 87 (51): 584.

Smrekar, M., 2012: *Severni sij. Presek*, 39 (5): 21–24.

Strnad, J., 1993: *Polarni sij. Proteus*, 56 (2): 51–57.

Zaplotnik, J., 2019: *Polarni sij. Matrika*, 6 (2): 1–17.

Zupan, J., 2000: *Aurora borealis – severni sij.*

Kvarkadabra: časopis za tolmačenje znanosti, 6.

Literatura:

Atanackov, J., Kac, J., 2004: *Polarni sij nad Slovenijo: 20. novembra 2003. Spika*, 12 (1): 34–36.

Jeremiab, J., 1870: *Early Mention of the Aurora Borealis. Nature*, 3: 174–175.

Herman, M., 1981: *Polarni sij nad Slovenijo. Proteus*, 43 (9/10): 364–365.

Kambič, B., 2000: *Polarni sij, viden iz Slovenije! Gea*, 10 (8): 52.

Laine, U. K., 2019: *Auroral crackling sounds and Schumann resonances: Proceedings of the 26th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2019. Canadian Acoustical Association.*

Lovell, A., Clegg, J., Ellyett, C., 1947: *Radio Echoes from the Aurora Borealis. Nature*, 160: 372.



Lovrenc Fortuna je študent programa razredni pouk na Pedagoški fakulteti v Ljubljani. Zanima ga področje poučevanja naravoslovnih vsebin najmlajših osnovnošolcev. Prosti čas najraje preživlja v naravi na kolesu.

Imaš dolg jezik?

Lidija Kocbek Šaherl, Kristijan Skok

V šesti številki osemdesetega letnika *Proteusa* (2018) je bilo predstavljeno oko - čutilo za vid, tokrat obravnavamo jezik - čutilo za okus, v sledečih številkah pa se bomo posvetili še sluhu in vonu.

Že Hipokrat, Galen in ostali so menili, da je jezik »barometer« človekovega zdravja. Zdravljenje težav v ustni votlini obravnava več znanstvenih vej: stomatologija (grško *stoma* - odprtina, *logos* - véda) z dentalno medicino in otorinolaringologija. Okus je eden izmed petih tradicionalnih čutov. Zaznavanje okusa nam omogočajo okušalne brbončice, ki zaznajo kemične dražljaje. Osnovne okuse delimo na sladko, kislo, slano, grenko in okus umami. Ob tem se omenja še šesti okus za maščobo. V nasprotju z nekdanjo znano teorijo »regij okušanja na jeziku« se danes ve, da so celice za okušanje prisotne po vsem jeziku in ni posebnih regij, ki so odgovorne za zaznavanje točno določenega okusa. Da lahko jezik oziroma celice prepoznajo okus določene hrane, mora biti hrana v prvi vrsti topna, saj se s slino

hrana kemično obdela in topi že na konici jezika. Če je snov netopna, je jezik ne more prepoznati na podlagi kemičnih dražljajev in bi to hrano tudi težje prebavili. Za popolno dožemanje okusa sta potrebni tudi zaznava vonja in teksture z mehanskimi receptorji v ustih ter temperatura zaužite hrane. Ena izmed funkcij vseh čutov je tudi varovanje pred škodljivimi snovmi. Odvrten ali grenak okus nas opozori na morebitno pokvarjeno/zastrupljeno hrano, pri čemer nam sladek okus sporoča, da gre za hrano z visoko energijsko vrednostjo. Z evolucijskega vidika je razumljivo, da je energijsko bogata hrana (živalska maščoba, sladkor) zelookusna, kajti v preteklosti je bila redka. Danes je takšna hrana v razvitem svetu široko dostopna in je tudi del razloga za epidemijo debelosti. Jezik ima poleg zaznave okusa še dve pomembni vlogi: prva je mehanska predelava hrane, druga pa je govor.



Parsonov kameleon (Chamaeleo maderensis). Foto: Steve Wilson, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Parson%27s_Chameleon.jpg.

Simbolni pomeni

Simbolni pomen jezika je pogost in primerov je veliko. Z jezikom lahko uničujemo in ustvarjamo. Ni čudno, da obstaja v zvezi z njim veliko pregovorov in rekov. Nekateri izmed pogostejših so: jezik mu gladko teče (izraža se spretno); jezik se mu zapleta, (ne govori gladko); ljudje si že brusijo jezike (opravljajo); lomi si jezik (s težavo govori); pokazati komu jezik (v znamenje omalovaževanja in nasprotovanja); pristriči komu jezik (zmanjšati njegovo odrezavost); nima dlake na jeziku (v vsakem položaju si upa odkrito povedati, kar misli); ima že dušo na jeziku (je tako slab, da bo kmalu umrl); ima srce na jeziku (hitro zaupa svoja čustva); ima dolg jezik (je opravljaliv, veliko govori); ima jezik kot kača, kot krava rep (je zelo odrezav, piker) in podobno.

Jezik se pojavlja kot simbol tudi v sanjskih knjigah. Pojmovanja te simbolike so najrazličnejša. Nekateri primeri iz teh knjig so: če vidimo jezik, pomeni, da se moramo bati hudobije in obrekovanja; imeti otekel jezik pomeni, da je v družini bolezen; imeti dolg jezik napoveduje nesrečo in revščino; odgrizniti si jezik napoveduje bolnim smrt in zdravim nesrečo; jesti jezik pa, da si trdnega zdravja.

Motiv jezika je izrazit pri hindujski boginji Kali, boginji časa, stvarjenja, uničenja, moči in še česa. Kali je pogosto prikazana kot stoječa ali plešoča na svojem možu, ki mirno leži pod njo. Ob tem ima iztegnjen značilno rdeči jezik in/ali izrazite, zverinske podočnike. Razlag za njen rdeči jezik je več. Kali je iztegnila svoj jezik ob reševanju nadčloveških in katastrofalnih položajev. S svojim jezikom naj bi uničila demona in izsesala njegovo kri. Popita kri jo je spravila ob pamet in edini, ki jo je lahko umiril, je bil njen mož. V svojem stanju ga Kali ni prepoznala in je po pomoti stopila nanj. Iz sramu je iztegnila jezik. Motiv krvavega jezika bi naj opominjal na naravo, ki daje in jemlje življenje.

V grški mitologiji je znana zgodba Filomene, ki jo na potovanju k sestri Prokni posili njen mož Terej. Da ga ne izda, ji Terej odreže jezik. Ker Filomena ne more več govoriti, stke tapiserijo, ki prikazuje dogodek. Izdelek pokaže sestri, ta iz jeze ubije svojega sina Itisa, ga skuha in postreže možu kot jed. Terej, nevede, poje jed, nakar mu pokažejo sinovo gla-



Različni pomeni jezika.

a) Boginja Kali. Avtor: Richard B. Godfrey.

Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/Kali#/media/File:Kali_Devi.jpg.

b) Tereju prinesejo glavo njegovega sina Itisa. Avtor: Peter Paul Rubens.

Vir: <https://en.wikipedia.org/wiki/Philomena#/media/File:Tereo.jpg>.

c) Prikaz glosolalije. Avtor: neznan.

Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/Glossolalia#/media/File:Pentecost_icon.jpg.

vo. Ob spoznanju njunega dejanja Terej pobesni in sestri poskuša pokončati s sekiro. Tik preden Terej sestri ujame, za pomoč prosita bogove. Spremenijo ju v ptice. Prokna postane lastovka, Filomena slavček. Zaradi nasilja in krute narave mita so petje slavčka pogosto razlagali kot žalostno.

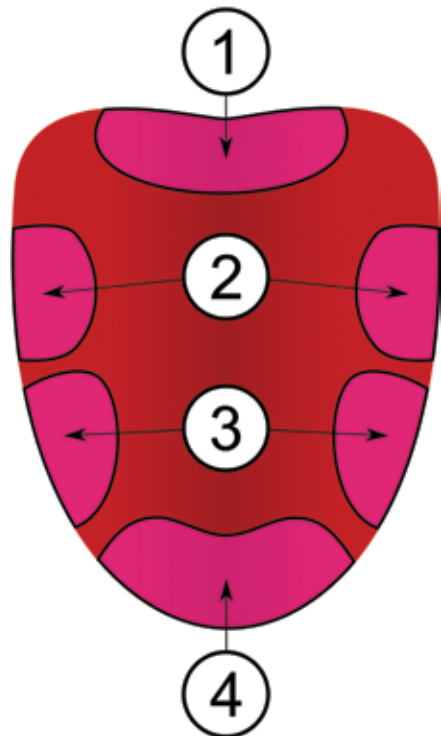
V *Svetem pismu Nove zaveze* je v *Apostolskih delih* (2,1-13) opisan prihod Svetega Duha: »Ko je prišel binkoštni dan, so bili vsi zbrani na istem kraju. Nenadoma je nastal z neba šum, kot bi se bližal silovit vihar, in napolnil vso hišo, kjer so se zadrževali. Prikazali so se jim jeziki, podobni plamenom, ki so se razdelili, in nad vsakim je obstal po eden. Vsi so bili napolnjeni s Svetim Duhom in začeli so govoriti v tujih jezikih, kakor jim je Duh dajal izgovarjati.« Sveti Duh je zbranim apostolom dal dar govorenja v različnih jezikih: po tem so govorili tako, da so jih lahko hkrati razumeli govorniki različnih jezikov in narečij. V *Svetem pismu* so za ta pojav uporabljali grško besedo glosolalija.

Osnovne lastnosti in zgradba jezika

Jezik je mišičnat organ, ki se nahaja v ustni votlini (*cavitas oris propria*). Gradita ga dva dela: večji, sprednji ali telo (*corpus linguae*), in manjši, zadnji koren jezika (*radix linguae*). V notranjosti jezika je fibrozni skelet, ki daje jeziku čvrstost in služi za pripenjanje mišic. Jezik gradita dve skupini prečnoprastih mišic. Notranje mišice so jeziku lastne in spreminjajo obliko, zunanje pa spreminjajo položaj jezika.

Telo jezika je gibljivo, postavljeno vodoravno in predstavlja dve tretjini celotnega jezika. Na njem ločimo vrh (*apex linguae*), hrbtišče (*dorsum linguae*), spodnjo stran (*facies inferior linguae*) in rob (*margo linguae*). Mejo med telesom in korenem jezika predstavlja v obliki črke V naprej odprta brazda (*sulcus terminalis*). Zadaj v sredini brazde se nahaja ostanek embrionalnega izvoda ščitnice (*foramen caecum linguae*), spredaj pa sredinska brazda (*sulcus medianus linguae*), ki poteka vzdolž telesa. Koren jezika je fiksiran in navpični del jezika ter predstavlja zadnjo tretjino jezika. V sluznici korena jezika se nahajajo limfni vozli – *folliculi linguales*, ki predstavljajo *tonsillo lingualis* in dajejo jeziku valoviti videz. Spodnja stran jezika se s sluznično gubo (*frenulum linguae*) veže na dlesen spodnje čeljusti. Na straneh frenuluma skozi sluznico presevajo veje ven jezika. Pod sluznico jezika se nahajajo *glandulae*

linguales, ki pripadajo skupini majhnih žlez slinavk.



Zmotna predstava o okušalnih regijah oziroma območjih:

1 – grenko, 2 – kisló, 3 – slano, 4 – grenko.

Avtor: MesserWoland.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Taste_buds.svg

Otočkaste bradavice ali papile

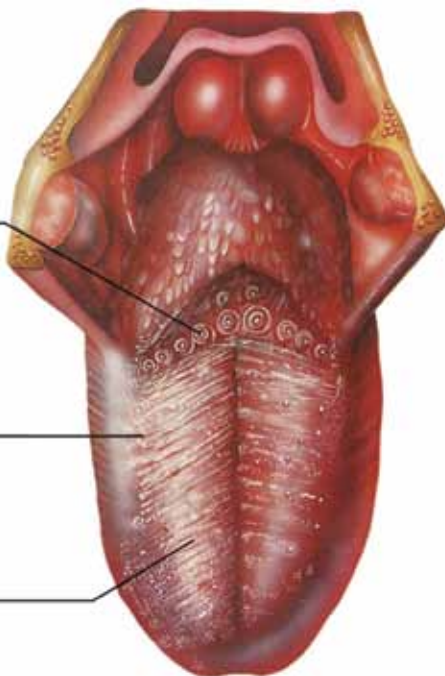
so razporejene v zadnjem delu
telesa jezika v obliki črke V.

Gobaste bradavice ali papile

so razporejene predvsem na
robvih jezika.

Nitaste bradavice ali papile

so razporejene po hrbtišču jezika.



Jezik.

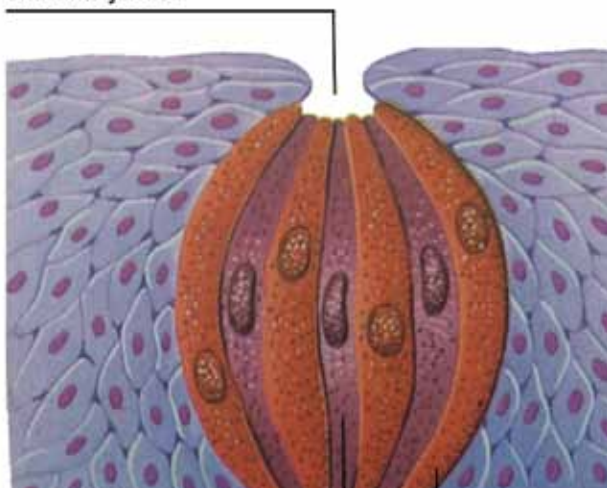
Vir: Arnau, E.,
1997: Človeško telo.
Ljubljana: Tehnična
založba Slovenije.

Jezik pokriva sluznica s številnimi bradavicami ali papilami. Izbočene nad površino in različnih oblik in velikosti dajejo jeziku značilno teksturo in videz. Poznamo pet vrst papil, poimenovane so glede na obliko: otočkaste (*papillae vallate*), ki jih je od devet do dvanajst, so največje in se nahajajo pred

sredinsko brazdo; gobaste (*papillae fungiformes*) so raztresene po vsej zgornji strani jezika, večinoma na vrhu in robvih; listaste (*papillae foliatae*) se nahajajo v zadnjih delih robov jezika; nitaste (*papillae filiformes*) so najštevilčnejše, najmanjše, na zgornji strani jezika, dajejo jeziku žametasto površino,

omogočajo zaznavanje dotika ter povečajo površino jezika; konične (*papillae conicae*) so podobne nitastim, le da imajo zašiljeni vrh. Otočkaste, gobaste in listaste bradavice so okušalne papile jezika in vsebujejo v epiteliju (povrhnjici) okušalne brbončice (*calculus gustatorius*). Te papile predstavljajo čutilo okusa (*organum gustus*) in čutilni dražljaji se iz brbončic papil prenesejo po

okušalna jamica



Okušalna brbončica.

Vir: Arnau, E., 1997: Človeško telo.
Ljubljana: Tehnična založba Slovenije.



*Som. Avtor:
Dieter Florian.
[https://upload.
wikimedia.
org/wikipedia/
commons/d/
d3/Silurus_
glanis_02.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Silurus_glanis_02.jpg).*

živcih do okušalnih središč v možganih. Brbončice so ovalne oblike, raztezajo se navpično od bazalne membrane do majhne odprtine, okušalne jamice, na površju večskladnega ploščatega epitelija, ki pokriva jezik. Okušalno brbončico sestavljajo oporne, bazalne in čutne (receptorne) celice. Slednje so povezane z živčnimi končiči. Življenjska doba celic okušalnih brbončic je le nekaj dni, razen bazalnih, ki z mitozo nadomestijo propadle, degenerirane in odlučene celice.

Nekaj posebnosti jezika v živalskem svetu

Sesalci, kot so psi in mačke, jezik pogosto uporabljajo za čiščenje kože in telesa. Jeziki teh vrst imajo zelo grobo teksturo, ki jim omogoča odstranjevanje olj in zaje-davcev. Pasji jezik deluje tudi kot regulator toplote. Nekatere živali imajo jezike, ki so posebej prilagojeni za lov plena (kameleoni, žabe, mravljinčarji).

Nekatere živalske vrste imajo moder jezik. To so žirafa, pes čovčev in modrojezični kuščar. Vijolična, modrikasto ali skoraj črna barva jezikov žiraf je posledica gostote temnih melaninskih pigmentov. Za to še vedno ni dokončne razlage, toda vodilna teorija je, da melanin nudi dodatno zaščito

pred ultravijoličnimi žarki in preprečuje, da bi se njihovi občutljivi jeziki močno opekli, ko se nahajajo visoko. Modročrna barva jezika pri psih izvira iz iste vrste pigmenta, zaradi katerega imajo ljudje pege. Modrojezični kuščar ima jezik modre barve za obrambo pred plenilci.

Druge živali imajo lahko organe, ki so analogni jeziku, na primer metuljev rilček ali strgača pri mehkužcih, vendar ti niso homologni z jeziki, ki jih najdemo pri vretenčarjih, in imajo pogosto malo podobnosti v delovanju. Mnoge vrste rib imajo na dnu ust majhne gube, ki bi jih neuradno lahko imenovali jeziki, vendar nimajo mišične strukture kot pravi jeziki, ki jih najdemo pri večini tetrapodov.

Živali svet vidijo in vonjajo drugače kot mi. Število okušalnih brbončic se razlikuje glede na vrsto, čeprav imajo vsi vretenčarji jezike. Tako kot je moč našega vonja odvisna od števila vonjalnih receptorjev, je občutljivost določene vrste za okus odvisna tudi od tega, koliko okušalnih brbončic ima. Ptice imajo na splošno zelo malo okusnih brbončic, piščanec jih ima le okoli trideset. Ljudje na drugi strani imajo približno 10.000, psi približno 1.700, mačke pa povprečno nekaj manj kot 500 okušalnih brbončic. Krave

imajo približno 25.000 okušalnih brbončic, prašiči pa 14.000, da lažje prepoznajo strupene in nestrupene rastline. Med vsemi živalskimi vrstami ima največ okušalnih brbončic som. Ima jih več kot 100.000, razporejene so po telesu in skoncentrirane na brkih okoli ust.

Mačke in drugi mesojedi imajo genetske mutacije, zaradi katerih ne morejo okusiti sladkega; genetske mutacije imajo tudi delfini in morski levi. Mačke lahko zaznajo grenke okuse, kar jim pomaga, da se izognejo žarkemu mesu. Metulji in muhe imajo receptorje za okus na nogah, čebele pa še na antenah in čeljustih. Podatke o viru hrane prenašajo v svoje možgane, da presodijo, ali je hrana dobra ali slaba. Medonosne čebele lahko razlikujejo med sladkim, kislim, grenkim in slanim okusom. Sladki okus je tisto, kar ima večina muh najraje.

Nekatere bolezni jezika in nepravilnosti okusa

Tako kot je okušanje povezano z drugimi čutili (na primer vohom), so tudi razlogi za motnje v okusu povezani z drugimi čutili. Dober primer je zmanjšano okušanje ob

prehladu, ker nosna komponenta okušanja ne deluje primerno. Zmanjšano zaznavanje okusa se imenuje *disgeusia*, popolna odsotnost pa *ageusia*. Prav tako z leti pride do degeneracije in atrofije okušalnih brbončic. S tem se zmanjša njihovo število in proizvaja se manj sline. To negativno vpliva na zmožnost ovlažitve in razgradnje hrane ter posledično na zaznavanja okusa. Prav tako s staranjem pride do sprememb voha. To je lahko povezano z bolj suho sluznico in propadom živčnih končičev. Njihov propad pospešijo kajenje, izpostavitve škodljivim plinom in podobno.

Lingua villosa nigra je benigno zdravstveno stanje, znano tudi po angleškem imenu *black hairy tongue*. Kot pove ime, je značilnost stanja obarvanost in kosmatost jezika. Do občutka kosmatosti pride zaradi podaljšanja filiformnih papil in nabiranja keratina. Posledično je več bakterij na jeziku in tudi te sprostijo več barvila. Jezik se lahko obarva tudi zaradi hrane. Spremembe se večinoma pojavijo v osrednjem predelu jezika. Nekateri izmed možnih vzrokov za bolezen so slaba ustna higiena, čezmerno kajenje, oslabelost organizma, glivična okužba, zmanjša-

Prikaz oreščka areka in prebivalca vasi na Tajskem, kjer pogosto žvečijo orešček.

a) Areca catechu. Foto: Dick Culbert.

Vir: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Areca_catechu%2C_Betel_Nut_%2814436668393%29.jpg.

b) Predstavnik plemena Črni zobje. Foto: Steve Evans.

Vir: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Thailand_Hill_Tribes_%282401861669%29.jpg.





Prikaz patologije jezika.

a) *Lingua villosa nigra*. Avtor: uporabnik Com4.

Vir: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Black_tongue.jpg.

b) *Rak jezika*. Avtor: uporabnik Welleschik.

Vir: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/ZungenCa2a.jpg>.

c) *Lingua geographica*. Avtor: uporabnik Jbarta.

Vir: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/ff/f1/Geographic_tongue_%28cropped%29.jpg.

na količina sline, nekatera zdravila in tako dalje. Stanje lahko vodi do halitoze (slabega zadaha), vendar je redko povezano z drugimi simptomi. Primarni in najpomembnejši ukrep je dobra ustna higiena. V kolikor se stanje kljub temu ne izboljša, je treba pomisliti na glivično ali bakterijsko okužbo, pomanjkanje vitaminov in podobno.

Lingua geographica je benigna vnetna bolezen sluznice jezika, ki se pojavi pri približno treh odstotkih prebivalstva. Za bolezen je značilna izguba papil na nekaterih mestih jezika. To ustvari videz številnih gladkih rdečih območij jezika, ki so podobne reliefu pokrajine. Lezije se pogosto zacelijo in selijo. Stanje večinoma poteka asimptomatsko, kljub temu se lahko občasno pojavi peko-

či občutek in nelagodje v jeziku. Bolezen spontano mine in ni povezana z drugimi bolezenskimi stanji ali rakom.

Zaradi svoje pogostosti, možnosti vpliva na pojavnost in razmeroma visoke smrtnosti predstavlja rak ustne votline velik javnozdravstveni problem. Leta 2018 je bilo v slovenskem registru (*SLORA*) 339 novih primerov raka ust in žrela. Trend se na žalost povečuje. V zahodni kulturni sferi imata pri nastanku karcinoma ustne votline vodilno vlogo kajenje in uživanje žganih pijač. Kot zanimivost navajamo, da prispeva k nastanku raka ustne votline tudi orešček palme areka (*Areca catechu*) oziroma iz njega izdelano žvečilo, ki lahko vsebuje mešanico listja palme in tobaka. Orešček negativno

vpliva na vse organske sisteme človeškega telesa (možgane, srce, pljuča, prebavni sistem, reproduktivne organe in tako dalje). Dodatno lahko poslabša predhodna zdravstvena stanja (aritmijo, okvare jeter, diabetes ...). Vpliva tudi na endokrini sistem in privede do zmanjšane delovanja ščitnice, neplodnosti in podobno. Škodljive učinke ima tudi na plod v času nosečnosti. Njegov mehanizem delovanja je oviranje delovanja imunskega sistema. Podatek o njegovi rakotvornosti se ujema z veliko pojavnostjo rakov ustne votline v predelih, kjer to vrsto palme pogosto uživajo (Indija, Pakistan). Prav tako sta zelo pomembna dejavnika tveganja okužba s humanim papiloma virusom (HPV) (ustno-žrelni rak) in/ali Epstein-Barr virusom (nosno-žrelni rak). Rak ustne votline najpogostejše nastane na ustnem dnu, za kočniki oziroma na stranskih robovih gibljivega jezika. Bolniki, pri katerih se razvije ta rak, pogosto navajajo slab zadah (*foetor ex ore*), iztekanje sline, krvavkasti izpljune, bolečine v področju ustne votline, omejeno gibljivost jezika, spremembo v izgovorjavi, oteženo požiranje ali pa spremembe pri nošnji proteze. Obravnava bolnika s sumljivo spremembo v ustni votlini se začne z natančno anamnezo in kliničnim pregledom. V tem primeru je treba bolnika natančno pregledati in pretipati v območju celotne glave in vratu. Diagnoza pa se potrdi s patohistološkim pregledom vzorca tkiva. Zdravljenje raka ustne votline pomeni najprej popolno odstranitev rakavega tkiva. Po odstranitvi je enako pomembna tudi rekonstrukcija, s tem se obnovita oblika in vloga.



Kristijan Skok je doktor medicine in specializant patologije v bolnišnici Landeskrankenhaus Graz II (LKH Graz II) v Gradcu.

Nadaljnje zdravljenje je odvisno od stadija bolezni in splošnega stanja bolnika.

Slovarček:

Umami. Okus hrane, bogate z beljakovinami.

Ageusia. Delna ali popolna izguba ali oslabitev okusa.

Halitoza. Slab zadah.

Areca catechu. Vrsta palme, ki raste predvsem v azijskih krajih. Znana po sadežu orešku areka.

SLORA. Register raka Republike Slovenije, ki deluje že od leta 1950.

Melanin. Naravni rjavi pigment, ki je odgovoren za barvo kože, šarenice in las.

Viri in literatura:

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.

Kobe, V., Dekleva, A., Lenart, I. F., Širca, A., Velepčič, M., 1997: *Anatomija: skripta za študente medicine. Del 4, Drobje, koža.* Ljubljana: Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani.

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

Nogueira, J. F., Hermann, D. R., Américo, R. dos R., Barauna Filho, I. S., Stamm, A. E. C., Pignatari, S. S. N., 2007: *A brief history of otorhinolaryngology: otology, laryngology and rhinology.* Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, 73 (5): 693–703. Dostopno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18094813>.

Probst, R., 2005: *Basic Otorhinolaryngology. A Step-by-Step Learning Guide.* Stuttgart: Thieme.

Ronneberg, A., urednica, 2010: *The book of symbols: reflection on archetypal images.* Köln: TASCHEN GmbH.



Lidija Kocbek Šaherl je veterinarica in docentka na Inštitutu za anatomijo, histologijo in embriologijo na Medicinski fakulteti v Mariboru.

Sodobni postopki odstranjevanja mikroonesnaževal iz odpadne vode

Andreja Žgajnar Gotvajn, Igor Boševski

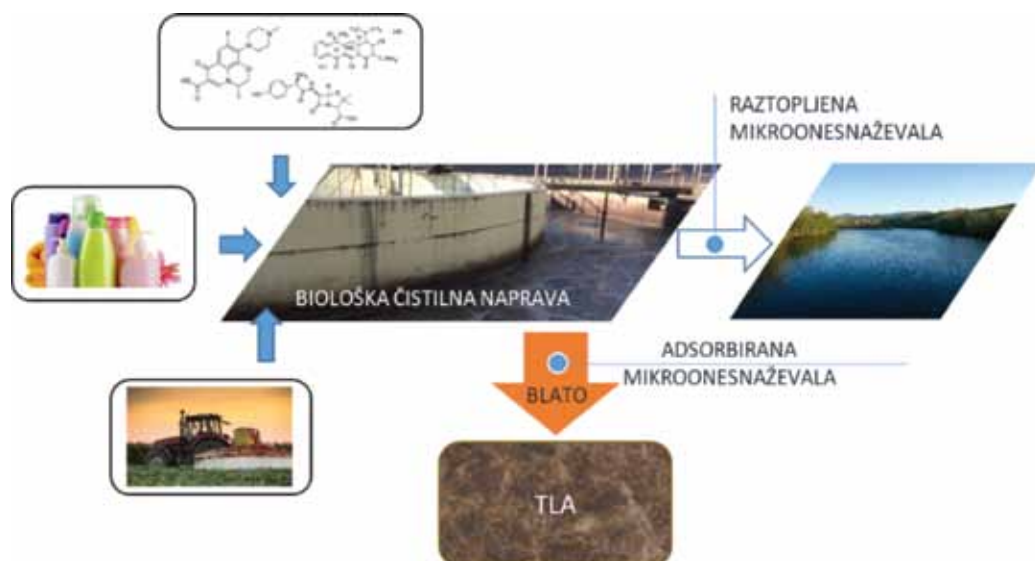
Kemikalije in mikroonesnaževala

Živimo v svetu, kjer prevladujejo kemikalije. To je posledica intenzivnega tehnološkega razvoja, ki omogoča načrtovanje in proizvodnjo velike množine različnih snovi, globalno trgovanje z njimi in njihovo uporabo v vsakdanjem življenju. V zadnjih petdesetih letih je bilo proizvedenih več kot sto milijonov organskih in anorganskih snovi, pri čemer njihovega vpliva na okolje ne poznamo vedno dobro. Snovi, ki so bile že pred desetletji prepovedane, lahko še vedno najdemo v okolju in živih organizmih, saj se nekatere izmed njih kopičijo, tudi v organizmih, lahko so strupene, mutagene ali pa delujejo kot hormonski motilci (Martín-Pozo in sod., 2021). Hkrati lahko snovi, nastale na industrijskih območjih, potujejo v oddaljene, sicer neokrnjene dele sveta in vplivajo na tamkajšnje ekosisteme. Zato reševanje teh

izzivov že dolgo ni samo naloga posamezne države, ampak se teh problemov lotevamo na globalni ravni (REACH, 2006).

V okolju se pojavljajo različna mikroonesnaževala, kot so na primer rastlinska zaščitna sredstva (pesticidi, herbicidi), snovi iz izdelkov za osebno nego, farmacevtske učinkovine ter različne industrijske kemikalije, ki se pojavljajo v tako majhnih koncentracijah, da smo jih zaznali šele v zadnjih letih z ustreznim načinom vzorčevanja ter uporabo modernih analiznih tehnik. Problematični so na primer obstojni antibiotiki, saj že zelo majhne koncentracije spodbujajo razvoj genov odpornosti v okolju (Yu in sod., 2009). Med pomembnejšimi viri teh genov so iztoki očiščene vode in odpadno blato iz komunalnih čistilnih naprav oziroma naprav za čiščenje odpadne vode iz živalskih farm. Ko

Slika 1: Pot mikroonesnaževal v okolju.



antibiotiki vstopijo v okolje, delujejo tudi neposredno baktericidno, se pravi, da uničujejo bakterije, in bakteriostatično, kar pomeni, da zavirajo rast bakterij, to pa lahko povzroči tudi izginotje nekaterih populacij mikroorganizmov in s tem njihove vloge v ekosistemu.

Te snovi največkrat niso biorazgradljive ali pa se v konvencionalni komunalni čistilni napravi, ki temelji na biološkem načinu čiščenja z delovanjem mikroorganizmov, zgolj adsorbirajo na biološko blato (slika 1). Zato moramo te snovi najprej kemijsko razgraditi do stopnje, da postanejo biorazgradljive. Če to iz tehničnih ali ekonomskih razlogov ni izvedljivo, lahko vpeljemo dodatne stopnje čiščenja tudi pred konvencionalnim biološkim čiščenjem in po njem. Za to pa so primerni predvsem napredni oksidacijski procesi.

Napredni oksidacijski procesi

Napredni oksidacijski procesi (*AOP, Advanced Oxidation Processes*) temeljijo na visokem oksidacijskem potencialu hidroksilnega radikala ($\bullet\text{OH}$) ter se med seboj razlikujejo glede na način tvorbe tega radikala. Hidroksilni radikali so za uporabo v industrijskem merilu zelo primerni, ker niso strupeni niti korozivni ter ne tvorijo dodatnih odpadkov. Ker imajo zelo kratko življenjsko dobo, njihovo delovanje tudi enostavno reguliramo (Brillas in sod., 2009). Ker reakcije potekajo brez povišanega tlaka ali temperature, lahko imamo tehnologijo oksidacije s hidroksilnimi radikali za okolju prijazno. Hidroksilni

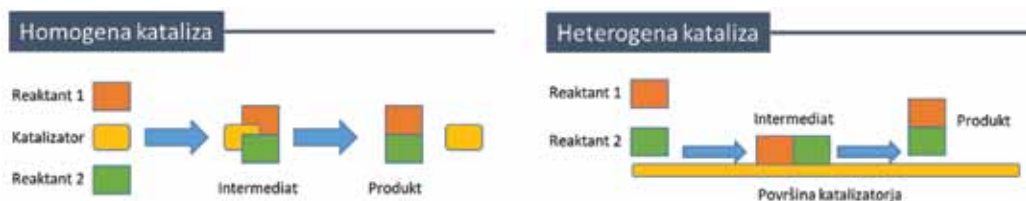
radikali hitro reagirajo z večino organskih snovi, izjema so klorirani alkani (Haag in sod., 1992). V grobem jih delimo na homogene (vsi reaktanti ter morebitni katalizator so v isti fazi, na primer raztopljeni v vodi) in heterogene (reaktanti so v različnih fazah, na primer trden katalizator), pri katerih naprej ločimo tiste, ki potrebujejo zunanji vir energije (sevanje, ultrazvok, električno energijo), in tiste, ki zunanjega vira energije za potek kemijske reakcije ne potrebujejo (Cuerda-Correa in sod., 2020, tabela 1).

Bistvena pomanjkljivost naprednih oksidacijskih procesov so visoki obratovalni stroški zaradi uporabe dragih reagentov in porabe energije (tvorbe ozona ali ultravijolične svetlobe). Običajno so heterogeni procesi manj učinkoviti, saj so omejeni s hitrostjo prenosa reaktantov do aktivnih mest na površini trdne faze (katalizatorja), hitrostjo kemijske reakcije ter sproščanjem nastalih produktov nazaj v tekočo fazo (slika 2).

Homogeni napredni oksidacijski procesi

To so procesi, ki se v industrijskem merilu največkrat uporabljajo za pripravo pitne vode, čiščenje komunalne in industrijske odpadne vode, obdelavo odpadnega blata iz komunalnih čistilnih naprav ter za postopke recikliranja in ponovne uporabe vode. Pomembno mesto ima uporaba ozona, to je ozonacija. Proizvedemo ga na mestu uporabe z električnim praznjenjem iz zraka ali kisika in prilagodimo različnim aplikacijam. Ozon je močan oksidant, ki reagira z velikim številom organskih in anorganskih

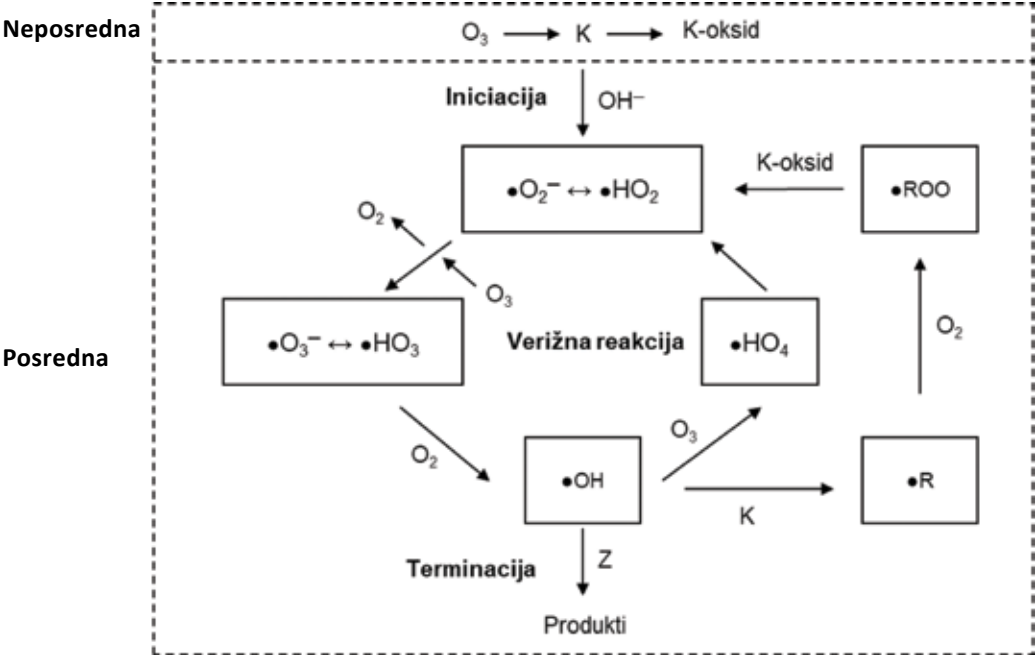
Slika 2: *Homogena in heterogena kataliza.*



Splošno ime procesa	Vir hidroksilnih radikalov
Fotoliza	UV svetloba
Procesi, ki temeljijo na ozonu	O_3 O_3/UV O_3/H_2O_2 $O_3/H_2O_2/UV$
Procesi, ki temeljijo na vodikovem peroksidu	H_2O_2/UV H_2O_2/Fe^{2+} (Fenton) H_2O_2/Fe^{3+} (Fentonu podoben) $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ (Foto-Fenton)
Heterogena fotokataliza	TiO_2/UV $TiO_2/UV/H_2O_2$
Sonokemijska oksidacija	Ultrazvok 20 kHz – 2 MHz (sonoliza v vodnem mediju)
Elektrokemijska oksidacija	Električni tok, 2-20A elektroliza v vodnem mediju

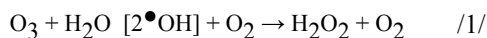
Tabela 1: Klasifikacija naprednih oksidacijskih procesov glede na vir hidroksilnih radikalov (Cuerda-Correa in sod., 2020).

Slika 3: Model reakcij za neposredno in posredno ozonacijo (Staelin in sod., 1983).
Z: zaviralec reakcije, R: reakcijski produkt; K: mikroonesnaževalo.



snovi, torej tudi z mikroonesnaževali. Redoks potencial ozona je velik ($E^\circ = 2,8$ volta pri 25 stopinjah Celzija), med plini ima večji potencial samo še fluor ($E^\circ = 3,05$ volta pri 25 stopinjah Celzija). Ozon sam po sebi ne tvori strupenih stranskih produktov, saj je končni produkt njegovega razpada kisik. Strupeni in nevarni produkti lahko nastanejo kot posledica oksidacije snovi, ki jo želimo razgraditi ali odstraniti. Reakcije z ozonom so lahko neposredne (reakcija molekule z ozonom) ali posredne (reakcija molekule s hidroksilnimi radikali, ki se tvorijo iz ozona), kar vodi do različnih oksidacijskih produktov. Slika 3 kaže pregled obeh poti reakcij ter njuno medsebojno povezanost (Staehelin in sod., 1983).

Ozon lahko kombiniramo tudi z ultravijolično svetlobo, ki povzroči tvorbo več hidroksilnih radikalov v krajšem času, hkrati pa ultravijolična svetloba pospeši hitrost kemijskih reakcij oksidacije mikroonesnaževal (Peyton in sod., 1988):

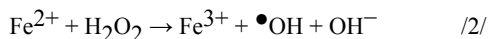


Tak način v industrijskem merilu zaradi velike porabe energije ni zelo razširjen, zato tudi ni na voljo veliko podatkov o njegovi učinkovitosti. Ozon lahko kombiniramo tudi z vodikovim peroksidom (H_2O_2), ki pospeši razpad ozona in nastanek hidroksilnih radikalov. Dodatno učinkovitost dosežemo s kombinacijo vseh treh, ozona, peroksida in ultravijolične svetlobe, s čimer spodbudimo sočasni potek različnih kemijskih reakcij, ki prispevajo k tvorbi hidroksilnih radikalov.

Vodikov peroksid je zelo razširjen in se pogosto uporablja za obdelavo vode tudi samostojno, saj deluje ne samo kot oksidant onesnaževal, pač pa tudi kot sredstvo za dezinfekcijo in odstranjevanje neprijetnih vonjav. Učinkovit je v širokem pH-območju ter ne tvori soli ali strupenih stranskih produktov. S kombinacijo vodikovega peroksida in ultravijolične svetlobe ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) učinkovitost procesa še povečamo, saj kombiniramo

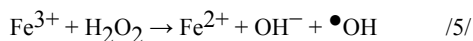
dva kemijska procesa, in sicer posredno in neposredno ultravijolično fotolizo raztopljenih onesnaževal ter njihove reakcije s hidroksilnimi radikali, ki se tvorijo ob homolizi O-O vezi vodikovega peroksida. Skupni učinek je močno odvisen od valovne dolžine in intenzivnosti ultravijolične svetlobe kot tudi od lastnosti odpadne vode - pH in koncentracije onesnaževal (Cuerda-Correa in sod., 2020).

Tudi Fentonov reagent ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) je zelo uporabna tehnika za odstranjevanje organskih onesnaževal predvsem iz industrijske odpadne vode, ki vsebuje specifična onesnaževala. Dodatek železove soli kot katalizatorja v prisotnosti vodikovega peroksida je ena od klasičnih metod tvorbe hidroksilnih radikalov ($\bullet\text{OH}$), pri čemer največjo moč oksidacije dosežemo v kislem območju, pri pH med 3 in 5. Čeprav mehanizem oksidacije organskih snovi s Fentonovim reagentom ni podrobno raziskan, veljajo za splošno sprejete naslednje ključne reakcije (Walling, 1975):



Pri tem je R organska snov, P1 in P2 pa intermediata oziroma končna produkta oksidacije. Prvi reakcijski mehanizem /2/ tvori hidroksilne radikale, ki kasneje reagirajo z organsko molekulo v reakciji /4/. To je tudi glavni mehanizem razgradnje v Fentonovem procesu. Železo lahko dodamo v raztopljeni obliki (homogeni proces) ali v trdni fazi v obliki granul ali nanešenega na nosilcu (heterogeni proces), s čimer zmanjšamo količino nezaželenega stranskega produkta procesa, blata Fe^{3+} oksidov. Fentonov reagent lahko oksidira veliko aromatskih (fenoli, poliofenoli in tako dalje) in alifatskih (alkoholi, aldehidi in tako dalje) organskih onesnaževal. Brez prisotnosti železovih ionov se hidroksilni radikali ne tvorijo. Ko

koncentracija železovih ionov in vodikovega peroksida narašča, narašča hitrost oksidacije organskih snovi. Z naraščanjem temperature nad 40 stopinj Celzija učinkovitost reagenta pade zaradi pospešenega razpada peroksida na kisik in vodo. Fentonova oksidacija je neučinkovita v bazičnem mediju, in sicer zaradi pretvorbe železa iz hidratne v koloidno obliko, ki katalitsko razgrajuje vodikov peroksid na kisik in vodo brez tvorbe hidroksilnih radikalov. Reakcijo lahko pospešimo z uporabo ultravijolične svetlobe (Foto-Fenton), ki pospeši tvorbo hidroksilnih radikalov, torej zmanjša potrebo po peroksidu v primerjavi s konvencionalnim procesom. Glavna pomanjkljivost Fentonove oksidacije je visoka cena reagentov H_2O_2 in Fe^{2+} , zato se iščejo možnosti, da se Fe^{2+} nadomesti s Fe^{3+} , ki je cenejše – v tem primeru govorimo o Fentonu podobnih procesih. Hidroksilni radikali se v tem sistemu tvorijo po sledeči reakciji (Gallard in sod., 2000):



V naprednih oksidacijskih procesih lahko kot vir energije poleg svetlobe uporabimo tudi ultrazvok (UZ), to so zvočni valovi s frekvencami, višjimi od tistih, ki jih zaznava človeško uho (16 kilohercv), in nižjimi od 1 gigaherca. Ultrazvok z visoko frekvenco in majhno intenzivnostjo ne povzroča fizikalno-kemijskih sprememb v mediju, v katerem ga uporabljajo, na primer medicinski diagnostiki. Ultrazvok velike intenzivnosti lahko reagira z medijem na fizikalni (na primer pomoč pri tvorbi emulzije, čiščenju, razplinjevanju) ali na kemijski način (sinteza organskih spojin, razgradnja onesnaževal in tako dalje) (Cuerda-Correa in sod., 2020). V postopkih odstranjevanja onesnaženja iz odpadne vode uporabljajo ultrazvok s frekvenco od 20 do 2 megaherca, ki povzroči kavitacijo, to je pojav tvorbe, rasti in implozije mikromehurčkov vodne pare v tekočini, ki se pojavi v času nekaj milisekund in ob tem

sprošča veliko količino energije (Gogate in sod., 2004). Ta povzroči mehanske sile, ki vplivajo na molekule vode in mikroonesnaževal, tvorijo se različni reaktivni radikali in povzročajo cel nabor kemijskih reakcij. Enake učinke lahko dosežemo tudi z lasersko svetlobo ali hitro spremembo pretoka kapljevine – hidrodinamsko kavitacijo.

Za odstranjevanje mikroonesnaževal so učinkoviti tudi elektrokemijski procesi, kjer reagente uvajamo neposredno v odpadno vodo z raztapljanjem elektrod, torej anodno oksidacijo. Električni tok (od 2 do 20 amperov) med dvema elektrodama v vodi povzroči v reakcijskem mediju tvorbo hidroksilnih radikalov, skupaj s proizvodnjo vodikovega peroksida, ki pospeši proces oksidacije. Tako lahko enostavno z regulacijo napetosti na elektrodah ter izbiro ustreznega elektrolita (natrijevega klorida in tako dalje) učinkovito odstranimo mikroonesnaževala in hkrati optimiramo proces.

Heterogeni napredni oksidacijski procesi

Čeprav se homogeni Fentonov in Fentonu podoben proces široko uporabljata zaradi velike učinkovitosti in razmeroma preprostega rokovanja, imata oba pomembno pomanjkljivost zaradi tvorbe blata in ozkega območja optimalnega pH. To pomanjkljivost lahko vsaj delno odpravimo z uporabo heterogenega Fentonovega procesa, kjer reakcija poteka med vodikovim peroksidom in trdnim Fe^{3+} v različnih oblikah; na primer Fe_2O_3 , Fe_3O_4 ali $\alpha\text{-FeOOH}$. Katalizator je lahko v obliki delcev v vodi ali pa vezan na trden nosilec. Heterogeni proces je manj učinkovit od homogenega, predvsem zaradi omejitev pri masnem transportu, zato v zadnjem času iščejo bolj učinkovite kovinske okside, ki bi lahko nadomestili železo: Mn_3O_4 , WMoO , FeCuO_2 , NiCuO_2 in tako dalje. Ti pospešijo reakcijo oksidacije onesnaževal ter razširijo optimalna pH-območja vse do 10, kjer konvencionalni sistem odpove zaradi obarjanja Fe^{3+} v obliki različnih hidroksidov (Zhang in sod., 2019).

Med heterogene napredne oksidacijske procese uvrščamo še fotokatalizo, ki jo definiramo kot pospešitev fotokemijske reakcije v prisotnosti katalizatorja, to je polprevodnika, ki ga aktivira absorbirana svetloba. Najpogosteje se uporablja titanov dioksid (TiO_2), predvsem zaradi svoje dobre kemijske obstojnosti in nizke cene (Gogate in sod., 2004). Glavne prednosti teh procesov so, da lahko potekajo pri povišanem tlaku, sobni temperaturi in s sončno svetlobo. Pomembna sta tudi nizka cena in možnost recikliranja katalizatorja, težave pa so povezane z zagotavljanjem enakomernega obsevanje po celotni površini katalizatorja in njegovim odstranjevanjem iz očiščene odpadne vode po končani reakciji (Cuerda-Correa in sod., 2020). Včasih se v sistem doda tudi vodikov peroksid (H_2O_2), kar še prispeva k učinkovitosti procesa.

Zaključek

Napredni oksidacijski procesi izrabljajo prednost velike oksidacijske sposobnosti hidroksilnega radikala ($\bullet\text{OH}$) za oksidacijo organskih molekul v tehnično nezahtevnih razmerah, to je pri običajnem tlaku in temperaturi. Še posebej so te tehnike uporabne za odstranjevanje mikroonesnaževal, ki so večinoma biološko nerazgradljive kemikalije in se v okolju zaradi svojih specifičnih lastnosti tudi (bio)akumulirajo ter imajo različne, še ne dobro poznane, tudi dolgotrajne škodljive vplive. Ti nezaželeni vplivi, kamor na primer uvrščamo tudi razvoj odpornosti proti antibiotikom, so jasno sporočilo moderni družbi, da mora širjenje teh snovi v okolje bolje nadzorovati ter predvsem preprečiti, k čemer teži tudi razvoj zakonodaje. Napredni oksidacijski procesi čiščenja odpadne vode imajo pri tem pomembno mesto.

Literatura:

- Brillas, E., Sirés, I., Oturan, M. A., 2009: *Electro-fenton process and related electrochemical technologies based on fenton's reaction chemistry*. *Chemical Reviews*, 109: 6570–6631.
- Cuerda-Correa, E. M., Alexandre-Franco, M. F.,

- Fernández-González, C., 2020: *Advanced Oxidation Processes for the Removal of Antibiotics from Water. An Overview*. *Water*, 12 (1): 102.
- Gallard, H., De Laat, J., 2000: *Kinetic modelling of Fe(III)/ H_2O_2 oxidation reactions in dilute aqueous solution using atrazine as a model organic compound*. *Water Research*, 34: 3107–3116.
- Gogate, P. R., Pandit, A. B., 2004: *A review of imperative technologies for wastewater treatment: Oxidation technologies at ambient conditions*. *Advances in Environmental Research*, 8: 501–551.
- Haag, W. R., Yao, D. C. C., 1992: *Rate Constants for Reaction of Hydroxyl Radicals with Several Drinking Water Contaminants*. *Environmental Science & Technology*, 26: 1005–1013.
- Martín-Pozo, L., Gómez-Regalado, M. G., Moscoso-Ruiz, I., Zafra-Gómez, A., 2021: *Analytical methods for the determination of endocrine disrupting chemicals in cosmetics and personal care products: A review*. *Talanta*, 234: 122642.
- Peyton, G. R., Glaze, W. H., 1988: *Destruction of pollutants in water with ozone in combination with ultraviolet radiation. 3. Photolysis of aqueous ozone*. *Environmental Science & Technology*, 22: 761–767.
- REACH, Uredba ES št 1907/2006 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 18. decembra 2006 o registraciji, evalvaciji, avtorizaciji in omejevanju kemikalij (REACH), o ustanovitvi EU agencije za kemikalije ...
- Staehelin, J., Hoigne, J., 1983: *Reaktionsmechanismus und kinetik des ozonzerfalls im Wasser in Gegenwart organischer stoffe*. *Vom Wasser*, 62: 337–348.
- Yu, D., Yi, X., Ma, Y., Yin, B., Zhuo, H., Li, J., Huang, Y., 2009: *Effects of administration mode of antibiotics on antibiotic resistance of Enterococcus faecalis in aquatic ecosystems*. *Chemosphere*, 76 (7): 915–920.
- Walling, C., 1975: *Fenton's Reagent Revisited*. *Accounts of Chemical Research*, 8: 125–131.
- Zhang, N., Chen, J., Fang, Z., Tsang, E. P., 2019: *Ceria accelerated nanoscale zerovalent iron assisted heterogenous Fenton oxidation of tetracycline*. *Chemical Engineering Journal*, 369: 588–599.

Slovarček:

Akumulacija. Zbiranje, kopičenje snovi na določenem mestu.

Bioakumulacija. Zbiranje, kopičenje snovi v tkivih in/ali organih živih organizmov (bakterij, rastlin, živali, človeka).

Mikroonesnaževala. Biološka ali kemična onesnaževala, ki zaradi človekovih dejavnosti pridejo v površinske vode, podtalnico

ali tla v nizkih, mikrogramskih koncentracijah, sledovih.

Homogeni proces. Proces, kjer so vse komponente reakcije v isti fazi; na primer kapljevina, plin.

Heterogeni proces. Proces, kjer komponente reakcije niso vse v isti fazi; na primer kapljevina in plin.

Hormonski motilci. Snovi, ki motijo delo-

vanje žlez z notranjim izločanjem, tako da posnemajo delovanje naravnih hormonov v telesu.

Biorazgradnja. Razgradnja snovi z delovanjem živih organizmov v običajnih razmerah v okolju. Produkti biorazgradnje so za okolje sprejemljivi, na primer voda, ogljikov dioksid in biomasa.



Andreja Žgajnar Gotvajn je profesorica za področje okoljskega inženirstva na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani ter vodja programskega sveta doktorskega študija Varstvo okolja. Njeno raziskovalno delo je osredotočeno na ravnanje s trdnimi odpadki, raziskave biološke razgradljivosti in ekotoksičnosti kemikalij in odpadnih vod, oceno tveganja in študij različnih načinov čiščenja odpadne vode, njenega recikliranja in ponovne uporabe.



Igor Boševski je doktoriral na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani, kjer se raziskovalno ukvarja s tehnikami napredne oksidacije pri odstranjevanju mikroonesnaževal. V svoji poklicni karieri se je ukvarjal tudi s tehnikami čiščenja odpadne vode in odstranjevanja odpadkov, problematiko farmacevtskih učinkovin v okolju, pa tudi s sistemi okoljskega vodenja po standardih ISO, upravljanjem energetske učinkovitosti, ogljičnim odtisom in splošnimi vidiki trajnostnega razvoja v industriji

Smo odkrili planet zunaj naše galaksije? • Naše nebo

Smo odkrili planet zunaj naše galaksije?

Mirko Kokole

Odkritje novega planeta že dolgo ni več posebna novica, saj smo jih do danes odkrili že skoraj pet tisoč. Poznamo vse od orjaških planetov velikosti Jupitra do majhnih Zemlji podobnih. Te planete pa združuje eno dejstvo, vsi se nahajajo v naši galaksiji. To ni nič presenetljivega. Popolnoma razumljivo

je, da bomo najprej našli nam najbližje in največje planete. Ob misli, da bi lahko našli planet zunaj naše galaksije, bi marsikateri astronom zamahnil z roko in rekel: »To je nemogoče.« V nam najbližjih galaksijah komaj ločimo zvezde med seboj, ker je naše vidno polje tako zelo ozko, kako bomo



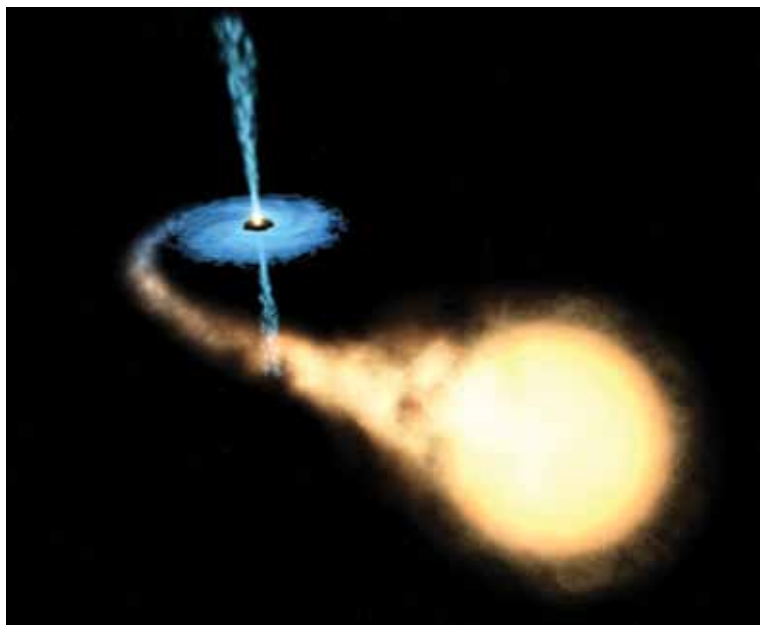
Posnetek galaksije M51, ki se nahaja v ozvezdju Lovskih psov. Rentgenska dojrnica M51-ULS-1 se nahaja v eni od spiralni vej galaksije blizu njenega središča.

Foto: S. Beckwith (STScI) Hubble Heritage Team (STScI/AURA), ESA, NASA.

potem lahko odkrili planet, ki je še veliko manjši od zvezd. A to dejstvo ni ustavilo skupine astronomov z več različnih univerz na svetu. Po zelo premišljenem razmisleku in previdni obdelavi zbranih podatkov jim je uspelo. Domnevajo, da so našli pravi planet zunaj naše galaksije, nahaja se v galaksiji s oznako M51 v ozvezdju Lovskih psov.

Verjetno je eno najbolj zanimivih dejstev, ki jih astronomija ponuja znanstvenikom, to, da imamo za raziskovanje na voljo le »eno« samo metodo. To je opazovanje svetlobe oziroma, bolj natančno, celotnega spektra elektromagnetnega valovanja. S takim opazovanjem smo prišli do današnjega zelo velikega poznavanja vesolja. In ker smo tako zelo omejeni, moramo zato vedno dobro premisliti, kako se bomo opazovanja lotili in kako bomo pridobljene podatke obdelali.

Pri iskanju planetov je seveda vse to tudi res. Večino do danes odkritih planetov smo odkrili z opazovanjem mrkov zvezd oziroma z opazovanjem, kako ti vplivajo na gibanje zvezde. Teh metod pa na žalost ne moremo več uporabiti, ko začnemo opazovati daljne galaksije. Galaksije so od nas tako zelo oddaljene, da v njih večinoma ne moremo več razločiti posameznih zvezd in tudi če jih lahko, je svetloba iz njih prešibka, da bi lahko uporabili naše standardne metode iskanja planetov. Zato so astronomi iskali izvor svetlobe, ki bi bil dovolj močan in jih v posamezni galaksiji ne bi bilo tako veliko, da jih med seboj ne bi mogli ločiti. Po premisleku so prišli do odgovora, da bi bilo najbolje iskati planete v okolici rentgenskih dvozvezdij. Rentgenska dvozvezdja so sestavljena iz navadne zvezde ter nevtronske zvezde ali črne luknje. Črna luknja oziroma



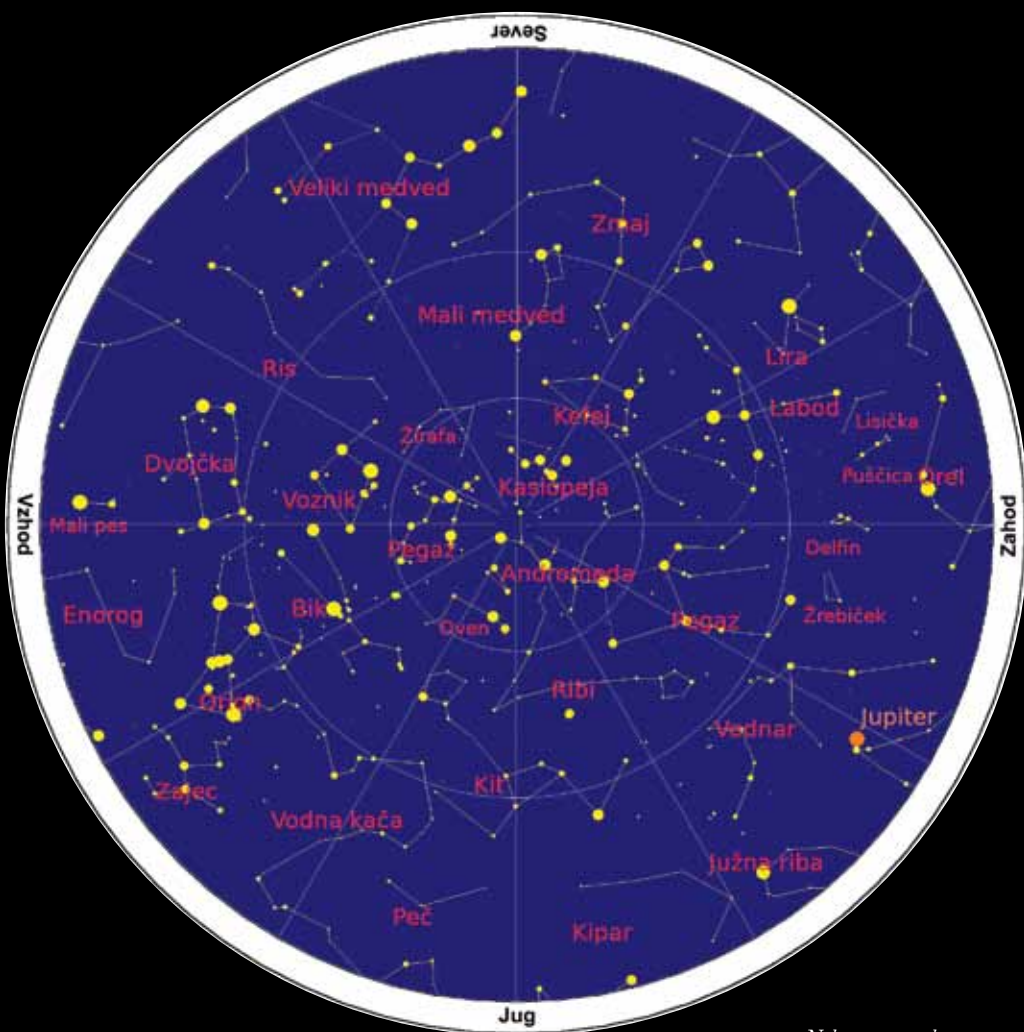
Rentgenska dvojnica je sestavljena iz navadne zvezde ter nevtronske zvezde ali pa črne luknje. Nevtronska zvezda ali črna luknja zaradi velikega gravitacijskega vpliva črpa atmosfero iz zvezde. Pri črpanju nastane akrecijski disk, ki se zaradi sproščanje gravitacijske energije močno segreje in zato intenzivno seva v rentgenskem spektru elektromagnetnega sevanja. Foto: ESA, NASA, and Felix Mirabel (French Atomic Energy Commission and Institute for Astronomy and Space Physics/Conicet of Argentina).

nevtronska zvezda vleče k sebi material navadne zvezde, okoli črne luknje ali nevtronske zvezde tako nastane akrecijski disk ter zelo močno rentgensko sevanje. Če opazujemo, kako se s časom spreminja to sevanje, lahko opazimo tudi, če nam ga zakrije že manjši objekt, kot je na primer planet.

Astronomi so za iskanje planetov uporabili podatke, ki sta jih zbrala vesoljska teleskopa *Chandra* in *XMM-Newton*. Iz podatkov so poiskali vse zanimive rentgenske dvojnice in v njihovih svetlobnih krivuljah iskali zanke mrkov, ki bi jih lahko povzročil planet. Po dolgem iskanju so prišli do treh kandidatov v galaksijah M51, M101 in M104. Rentgenska dvojnica v galaksiji M51 se je zdela najboljši kandidat.

Rentgenska dvojnica v galaksiji M51 z oznako M51-ULS-1 je eden močnejših virov rentgenske svetlobe v tej galaksiji in se nahaja blizu središča galaksije. V njeni svetlobni krivulji so odkrili zmanjšanje izseva, ki ima vse značilnosti mrka zaradi nebesnega objekta. Zmanjšanje izseva seveda še ne pomeni avtomatično odkritja planeta, saj bi ga lahko povzročili tudi drugi pojavi, na primer

sprememba pospeševanja snovi v akrecijskem disku, zasenčenje zaradi medzvezdne oblaka ter notranja sprememba v izsevu zvezde. Vsak od teh pojavov ima specifični vpliv na svetlobno krivuljo in izsevani spekter rentgenske svetlobe. Ker izmerjena svetlobna krivulja in spekter nimata nobene teh značilnosti, so astronomi lahko izločili vse pojave razen mrka. Ko so vedeli, da je sprememba v svetlobni krivulji posledica mrka zaradi prehoda nebesnega objekta, so se lotili ugotavljanja, kakšen objekt bi lahko to bil. Po zelo natančnem premisleku in modeliranju več možnosti so prišli do rezultata, da je mrk povzročil planet velikosti Saturna. Odkritje so objavili v reviji *Nature Astronomy* 25. oktobra letos. Ali so popolnoma brez dvoma odkrili planet, še ni popolnoma gotovo, a vse kaže, da je njihovo odkritje pravilno, kar je za astronomijo velik dosežek. Ali novo odkritje pomeni, da so tudi druge galaksije polne planetov tako kot naša, seveda ne moremo reči. Zelo verjetno so. Zagotovo pa lahko rečemo, da smo pred novim valom odkritij planetov zunaj naše galaksije.



*Nebo v novembru.
Datum: 15. 11. 2021.
Čas: 22:00.
Kraj: Ljubljana.*

ISSN 0033-1805



9 770033 180000