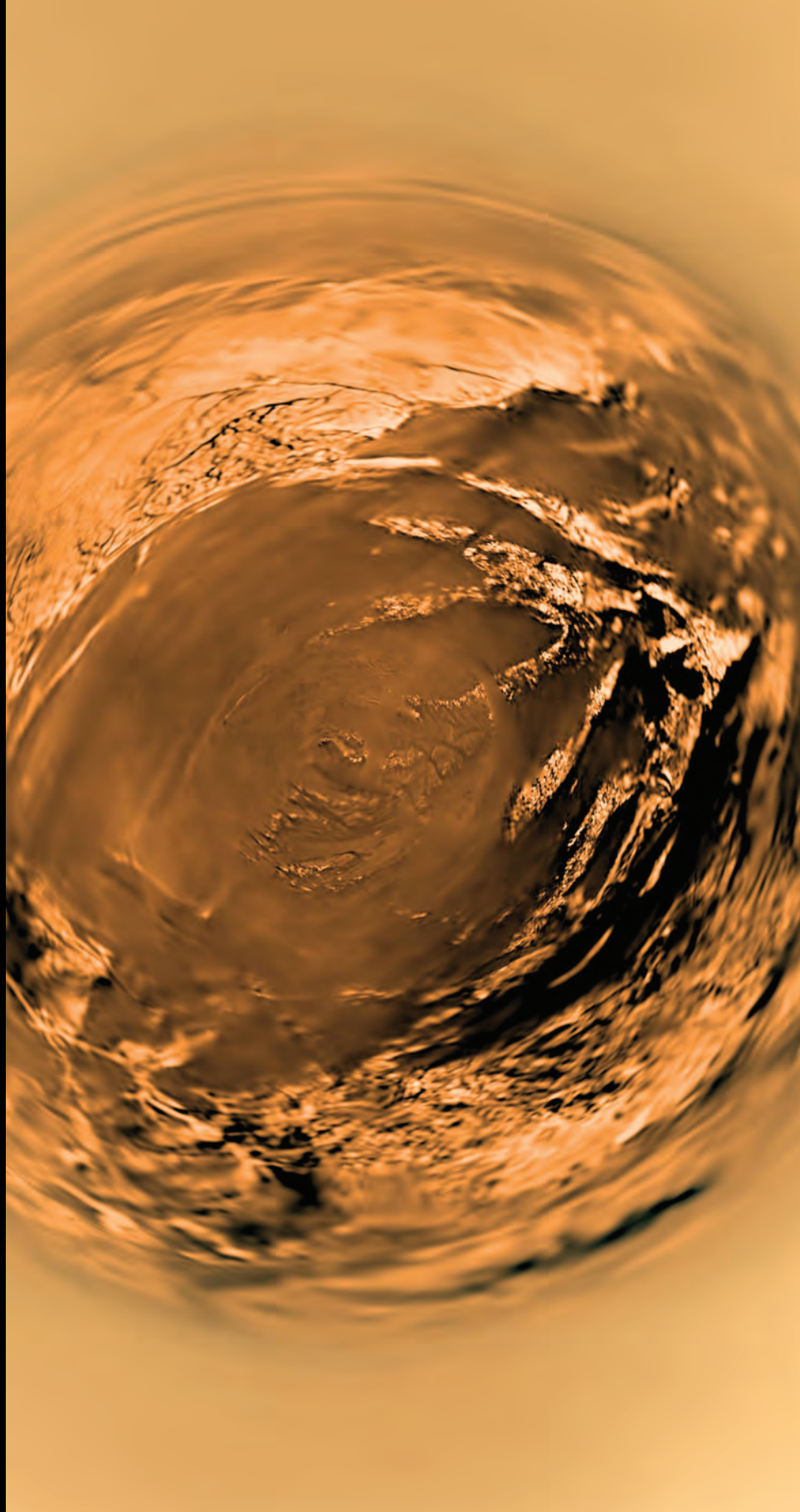


# PROTEUS

*mesečnik  
za poljudno  
naravoslovje*



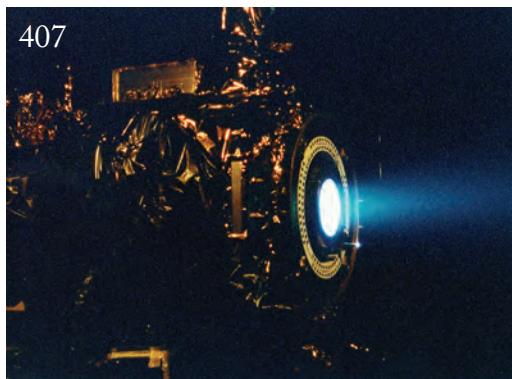
Maj, junij 2019, 9, 10/81. letnik  
cena v redni prodaji 5,50 EUR  
naročniki 4,50 EUR  
upokojenci 3,70 EUR  
dijaki in študenti 3,50 EUR  
[www.proteus.si](http://www.proteus.si)



392



- 388 Table of Contents
- 389 Uvodnik  
*Tomaž Sajovic*
- 392 Iz zgodovine geologije  
**Johann Wolfgang von Goethe in njegov pomen za nastajanje evropskega znanstvenega naravoslovja, posebej geologije. Popotni vtisi iz Češke, Harza in Weimarja**  
*Jurij Kunaver*
- 407 Vesoljska tehnologija  
**Ionski raketni pogon**  
*Tomaž Zwitter*
- 413 Ekologija  
**Cerkniško jezero, raj za rastline dvoživke**  
*Anja Kos, Mojca Krapež, Alenka Gaberšič*
- 420 Ekologija  
**Pojavljanje klopov (Acarina: Ixodidae) na dveh testnih površinah v Hrastovljah in Kosezah**  
*Maja Bitenc*
- 429 Letno kazalo
- 437 Jezik v naravoslovju  
**Kako povedati. Besede, izrazi, formulacije; pomeni in težave v naravoslovnih besedilih**  
*Boris Sket*
- 446 Medicina  
**Škodljivi vplivi sodobnega načina življenja na človekov imunski sistem**  
*Mina Pirih, Lučka Šetinc*



- 459 Kemija  
**Perovskitne sončne celice**  
*Barbara Repič, Tina Skalar,  
 Marjan Marinšek*
- 468 Veliki popularizatorji astronomije  
**Nenadkriljivi popularizator astronomije –  
 Camille Flammarion**  
*Marijan Prosen*
- 472 Življenjski jubileji  
**Mag. Andrej Seliškar – sedemdesetletnik**  
*Stane Peterlin, Igor Dakskobler*

- 474 Počastitve  
**Botanični vrt zdravnikom posvetil  
 drevo mokovec. Ob devetdesetletnici  
 primarija Luke Pintarja in  
 za petinosemdeset let predavanj  
 zgodovine medicine**  
*Zvonka Zužanič Slavec*
- 476 Naše nebo  
**Kačji pastir na Titanu**  
*Mirko Kokole*

## Editorial

*Tomaž Sajovic*

## Table of Contents

From the history of geology

**Johann Wolfgang von Goethe and His Contribution to the Making of European Natural Sciences, In Particular Geology. Impressions from the Journey to Czeckia, Harz and Weimar.***Jurij Kunaver*

This record would not have been made had it not been for the journeys, first to the vicinity of Cheb in west Czechia in the region of the tectonic depression of Ohře, followed by Göttingen, Harz and Weimar. The sequence of our destinations was random, but it was more or less »dictated« by Johann Wolfgang Goethe (1749-1832), the famous German playwright and poet who made a name for himself also as a naturalist. The traces of Goethe's interest in natural sciences can be seen at nearly every step. There are plenty of opportunities for new findings in the landscape between Cheb and Karlovy Vary. Goethe made 17 journeys to this part of Czechia, spending weeks at a time there. In Germany he made four fascinating journeys to the Variscan Harz Mountains and explored their mineral resources, but it was his first winter ascent to the summit of Brocken that made a lasting impression on the poet. Goethe took interest in many other regions as well, especially in Thuringia, where he could research rock formations, in particular granite. We will return to that in one of the next issues of Proteus. These are the reasons for a short journey to the time that forged the foundations of today's geological science; the time when scholars had to rely on their sound and critical mind, experienced eye and comparisons, not having the luxury of modern research methods we know today.

Space technology

**Ion Propulsion***Tomaž Zwitter*

Jets of hot gas fired out of the classic rocket engine are still the only way to launch spacecraft into space. Once we are there, however, we can be more economical. We will look at the solar sail, gravitational slingshot and ion thruster. The last two are in operational use. We will also glimpse at satellite control and some concerns raised by the launch of the Starlink system.

Ecology

**Lake Cerknica, Amphibian Plants' Paradise***Anja Kos, Mojca Krapež, Alenka Gaberšič*

Lake Cerknica with its intermittent water regime is an ecosystem with a thousand faces. Plant species, whose frequency and presence depend on the extent and duration of floods and the actual water level, are an important feature of its image. Numerous aquatic and wetland species are amphibian in nature, which allows them to survive in water as well as on land. In this article we look into the plant species and their diversity in the Stržen stream bed.

Ecology

**Occurrence of Ticks (Acarina: Ixodidae) in Two Test Areas in Hrastovlje and Koseze***Maja Bitenc*

Ticks are parasites that attach to the skin of the host and feed on blood of terrestrial mammals, birds, reptiles and, more rarely, amphibians. Most of them can survive more than a year waiting for a host. While feeding, ticks can store large volumes of blood, increasing their body weight by more than 100 times. The author's aim was to determine which tick species occur on two test areas, namely in Hrastovlje and Koseze in Ljubljana. She studied their development stages, seasonal activity and its dependence on temperature.

## Annual Table of Contents

Language in Natural Sciences

**How to Explain. Words, Expressions, Formulations: Meanings and Problems in Natural Science Writing***Boris Sket*

Language and vocabulary serve to enable communication. Irregular or altered use of words and different text formation lead to misunderstandings and misconceptions. These evolve from ignorance (lack of education, misapprehension, rash inferences) or just pretentiousness. Naturally, language evolves and evolution means change. This is something we have to accept. The language of natural science, however, is a different story. On the one hand, it is the language on which change has been imposed as necessary. Every new finding requires a new name, designation, and that's something we simply cannot avoid. At the same time this language requires special care in the choice of words as any change can lead to misconceptions. This is the language we are obliged to preserve; the meaning of words, concepts must be kept as intact and unambiguous as possible. Despite »evolution«.

Medicine

**Damaging Effects of Modern Lifestyle on Human Immune System***Mina Pirib, Lučka Šetinc*

We live in a time when people eat food of questionable quality, with many of us not likely to get enough exercise, but likely to become overweight. With higher standards of hygiene children today have less contact with microorganisms, while adults suffer from stress and have poor sleeping habits. We live in an environment (over)saturated with radiation from wireless communication. Nevertheless, we still live longer, but the question is whether we also live better and more healthily. In the article we will look into the effects of modern lifestyle on the immune system that protects the human body against negative external factors. Is our modern lifestyle making us more prone to autoimmune diseases?

Chemistry

**Perovskite Solar Cells***Barbara Repič, Tina Skalar, Marjan Marinšek*

We provide a brief overview of different generations of solar cells with a focus on third-generation perovskite solar cells. We describe main characteristics of each generation of solar cells, the technology behind them and the main materials used in solar cell technology.

Great astronomy popularisers

**Camille Flammarion – Unsurpassable Populariser of Astronomy***Marijan Prosen*

Personal jubilees

**Andrej Seliškar – Upon His 70th Birthday***Stane Peterlin, Igor Dakskobler*

Tribute

**Botanical Garden Dedicated a Whitebeam to Doctors Chief Physician Luka Pintar upon his 90th Birthday and 85 Years of History of Medicine Lectures***Zvonka Zupanič Slavec*

Our sky

**Dragonfly on Titan***Mirko Kokole*



Naslovnica: *Titanovo površje, ki ga je posnela vesoljska sonda Huygens.*

Foto: ESA/NASA/JPL/  
University of Arizona.

## Proteus

Izbhaja 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:

Janja Benedik

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 Slavce

dr. Petra Draskovič Pelc

<http://www.proteus.si>

[priradoslovno.drustvo@gmail.com](mailto:priradoslovno.drustvo@gmail.com)

© Priradoslovno društvo Slovenije, 2019.

Vse pravice pridržane.

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

Lektor: dr. Tomaž Sajovic

Oblikovanje: Eda Pavoletič

Angleški prevod: Andreja Šalomon 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 Lab - Turnšek

prof. dr. Tomaž Pisanski

doc. dr. Peter Skoberne

prof. dr. Kazimir Tarman

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

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

Cena posamezne številke v prosti prodaji je 5,50 EUR, za naročnike 4,50 EUR, za upokojence 3,70 EUR, za dijake in študente 3,50 EUR.

Celoletna naročnina je 45,00 EUR, za upokojence 37,00 EUR, za študente 35,00 EUR. 9,5 % DDV in poštnina sta vključena v ceno.

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

**Proteus (tiskana izdaja) ISSN 0033-1805**

**Proteus (spletna izdaja) ISSN 2630-4147**

## Uvodnik

### Teleskop na gori Mauna Kea. Mora biti vsak spomenik kulture res hkrati tudi spomenik barbarstva? (Walter Benjamin)

Mauna Kea je speči ognjenik na največjem od Havajskih otokov. Visok je 4.207 metrov. Ozračje nad ognjenikom je zelo suho, stabilno in svetlobno popolnoma neonesnaženo - idealne razmere za astronomsko opazovanje. Na vrhu ognjenika je zato »zraslo« trinajest observatorijev. Že od leta 2013 čaka na svojo postavitve tudi velikanski Tridesetmetrski teleskop (Thirty Meter Telescope, TMT). Teleskop bi bil tehnološko najnaprednejši teleskop. Po svojih zmogljivostih bi močno presegal Hubblova in bi predstavljal – če se izrazimo nekoliko ekspresivno - »popkovnico«, ki bi povezovala človeštvo s še neznanimi skrivnostmi vesolja. Seveda pa bi bil tudi velika poslovna naložba, stal naj bi namreč predvidoma kar eno milijardo in pol ameriških dolarjev.

Tu se začinja »zgodba« našega uvodnika. Mauna Kea ima osrednjo vlogo v zgodovini, kulturi in duhovnosti avtohtonih prebivalcev Havajev (sami sebe imenujejo Kanaka Maoli). Gora je »popkovnica«, ki povezuje havajske staroselce z njihovimi bogovi, predniki in naravo. Fizično in simbolično

je središče življenja Havajcev in najsvetejše mesto na vsem Havajskem otočju. Na gori so pokopani njihovi predniki in na njej še vedno opravljajo svoje obrede.

Predniki havajskih staroselcev so otočje naselili že zelo zgodaj, v letih od 600 do 1.100 pred našim štetjem. Havaji so bili od leta 1795 do leta 1893 samostojna in mednarodno priznana kraljevina. Leta 1893 je skupina ameriških izseljencev in lastnikov sladkornih plantaž s pomočjo ameriških marincev vrgla s prestola havajsko kraljico Liliuokalani, leta 1898 pa je ameriški kongres Havaje po ameriškem in mednarodnem pravu protizakonito razglasil za ameriško ozemlje (Združene države Amerike so se leta 1993 Havajcem celo uradno opravičile za nezakonito strmoglavljenje Havajske kraljevine leta 1893). Leta 1959 so Havaji po uspešnem referendumu postali petdeseta ameriška država, havajski jezik pa je poleg angleščine postal tudi uradni državni jezik.

Avtohtoni prebivalci Havajev nikoli niso pozabili nasilne ameriške kolonizacije otočja, nikoli se niso sprijaznili, da so jim Američani vzeli samostojnost, in nikoli niso pozabili svojih etničnih in duhovnih korenin. Načrtovane postavitve ogromne

ga tridesetmeterskega teleskopa na Mauna Kei zato niso mogli razumeti drugače kot predrzno skrunitve svoje svete gore in z njo vsega svojega življenja. Mauna Kea je postala »bojno polje«, na katerem so se »spopadli« zagovorniki največjega teleskopa na svetu in avtohtoni prebivalci Havajev. Nekateri mediji so »spopad« razglasili kar za spopad med znanostjo in kulturo. Vendar je izjava problematična. Problematična je, ker je »teoretsko« napačna: tudi znanost je namreč kultura (o tem nas lahko pouči že vsaka enciklopedija). Izjava je zato lahko samo ideološka. Natančneje povedano, danes je prav ločevanje znanosti od kulture ena od najbolj nevarnih, zahrbtnih in samoniklih ideologij, ki se ji ne morejo »upreti« niti znanstveniki sami.

Aprila leta 2015, ko so avtohtoni prebivalci Havajev prvič uspešno preprečili gradnjo Tridesetmeterskega teleskopa (31 protestnikov oziroma varuhov svete gore je bilo aretiranih), je ena od najuglednejših ameriških astrofizicark Sandra Faber (1944-) - profesorica astronomije in astrofizike na Kalifornijski univerzi v Santa Cruzu, raziskovalka evolucije galaksij, sodelavka pri konstruiranju Keckovih teleskopov na Mauna Kei in širokokotne in planetarne kamere na Hubblovem teleskopu ter dobitnica Nacionalne medalje za znanost - po elektronski pošti pozvala širšo astronomsko skupnost k podpisovanju peticije v podporo gradnje Tridesetmeterskega teleskopa z besedami: »Dragi prijatelji: Tridesetmeterski teleskop je v težavah, napada ga horda avtohtonih prebivalcev Havajev, ki lažejo o [škodljivih] vplivih projekta na gori in ogrožajo varnost osebja teleskopa. Vladni uradniki skušajo zagotoviti zakoniti začetek gradnje teleskopa, niso pa aretirali nobenega od protestnikov, ki so blokirali cesto.« Popolnoma nepričakovana nestrpnost od avtohtonih prebivalcev Havajev je osupnila del astronomske skupnosti, tako da se je ugledna znanstvenica morala za svoje besede javno opravičiti: »Zelo obžalujem, da je moja elektronska pošta vsebovala neobčutljiv in žaljiv jezik. S sporočilom sem želela razširiti peticijo v podporo Tridesetmeterskega teleskopa. Obžalujem, da sem ga poslala v naglici, ne da bi razmišljala, kako je bilo napisano ali kako si ga bodo ljudje razlagali. To je bila napaka in se zanjo iskreno opravičujem. Globoko obžalujem besede, s katerimi sem opisala protestnike. Globoko spoštujem izjemno naravo Mauna Kee ter havajsko kulturo, okolje in ljudi. Kot mnogi astronomi, ki uporabljajo velike teleskope na Mauna Kei, tudi sama osebno in z veseljem sodelujem pri slovesnostih proslavljanja globokega kozmičnega razumevanja, ki se poraja iz povezovanja starodavnih tradicij havajskih pomorščakov (navigatorjev) s tehnikami moderne astronomije. Zavzemam se za odprt in spoštljiv dialog z vsemi zainteresiranimi stranmi o prihodnosti astronomije na Mauna Kei. Še naprej

bom navdušeno podpirala gradnjo Tridesetmeterskega teleskopa in upam, da moje obžalovanja vredno elektronsko sporočilo ne bo negativno vplivalo na Tridesetmeterski teleskop.«

Sporočilo Sandre Faber v elektronski pošti je vzorčno ideološko. Ena od bistvenih značilnosti ideološkosti – nikakor pa ne edina – je »manihejski« dualizem: v ideološkem zoženem pogledu je svet bojišče med »dobrim« in »zlom«. V Tretjem rajhu na primer je bila »dobra« nemška arijska rasa, »zlo« pa Judje, danes so »dobri« krščanski Evropejci ali beli Američani, »zlo« pa muslimanski begunci. Ko je ugledna znanstvenica z dramatičnimi besedami pozvala znanstveno skupnost k obrambi Tridesetmeterskega teleskopa pred hordami lažnivih in nevarnih havajskih domorodcev, je ideološko manihejstvo aktualizirala: na eni strani »zli« in vraževarni havajski domorodci, na drugi »dobra« znanost, ki jo simbolizira »spomenik« veličastnega znanstvenega in tehničnega napredka – teleskop.

Besede Sandre Faber o havajskih domorodcih so nedvomno žaljive, rasistične in kolonialistične. Samo po sebi se zastavlja vprašanje, kako je mogoče, da tako ugledna znanstvenica s tako velikimi intelektualnimi sposobnostmi sploh lahko izreče nekaj tako »nepremišljenega«. Poleg tega v opravičilu celo sama prizna, da je elektronsko sporočilo »poslala v naglici, ne da bi razmišljala, kako je bilo napisano ali kako si ga bodo ljudje razlagali«. Znanstveničin rasizem in kolonializem sta očitno »nezavedna«, sama po sebi umevna, torej samonikla. Na dan sta privrela iz podzavesti, kamor družba v svojem razvoju »odlaga« marsikaj, tudi različne pred-sodke in ideologije.

Havaje so začeli kolonizirati že katoliški misijonarji, ki jih je leta 1820 poslala na otočje ameriška misijonarska družba iz Nove Anglije. Njihova naloga je bila »barbarsko«, »zaostalo« in »neverno«, »pogansko« havajsko kulturo in družbo »civilizirati« v krščanskem duhu. Havajski pogled na svet, ki je popolnoma drugačen od zahodnega/krščanskega, je izredno zanimiv in v času, ko se človeštvo spopriema s podnebnimi spremembami, tudi zelo poučen. Michael Kioni Dudley ga je podrobno popisal v svoji knjigi *Havajski narod: človek, bogovi in narava* (1993): »Da bi razumeli havajsko miselnost, se moramo najprej zavedati, da Havajci svet v resnici doživljajo popolnoma drugače. Nekdo, ki je prepričan, da ribe slišijo, ki prosi rastline za dovoljenje, preden nabere njihovo cvetje, in ki misli, da je v družinskem odnosu z vsem živim in neživim v naravi, očitno doživlja svet in se odziva nanj drugače kot nekdo, ki mu je vse to nerazumljivo in tuje.« Religiozna »podlaga« havajskega pogleda na svet je posebna oblika panteizma: »V nasprotju s krščanstvom, ki priznava enega samega, od ljudi ločenega vsemočnega in vsevednega Boga, Havajci doživljajo svet kot ne-

kaj duhovnega: v vsaki stvari – ljudeh, naravi in snovnih predmetih – prebiva božanski duh. [...] Narava in vsi njeni deli so živi in imajo zavest, prav tako kot človek in njegovo telo.» (Abby Starr Herhold: *Havajski Tridesetmeterski teleskop. Gradnja največjega teleskopa na svetu na svetem templju*, 2015.)

V nasprotju s havajskimi domorodci je odnos zahodnega/krščanskega človeka do narave gospodovalen, narava je zanj predvsem predmet izkoriščanja. *Že v Bibliji, v Prvi Mojzesovi knjigi (Genezi)*, tako beremo: »Bog je ustvaril človeka po svoji podobi, po Božji podobi ga je ustvaril, moškega in žensko je ustvaril. Bog ju je blagoslovil in Bog jima je rekel: ‚Bodita rodovitna in množita se, napolnita zemljo in si jo podvrzita; gospodujta ribam v morju in pticam na nebu ter vsem živalim, ki se gibljejo po zemlji!« Prav te svetopisemske besede pa nas vodijo naravnost k »očetu« novoveške znanosti, Francisu Baconu (1561-1626), ki je v *Hvalnici védenju* (1592) znanosti eksplicitno »namenil« vlogo gospodstva nad naravo: »Dandanes obvladamo naravo zgolj v svojih mislih in smo podvrženi njeni prisili; moramo ji pustiti, da nas vodi pri iznajdovanju, zato da bi ji zapovedovali v praksi.« Zahodni človek je polagoma začel izgubljeni stik z naravo, tisti stik, ki je bistvo havajskega pogleda na svet ...

Zdaj se lahko vrnemo k presunljivi ideološki izjavi Sandre Faber: »Tridesetmeterski teleskop je v težavah, napada ga horda avtohtonih prebivalcev Havajev, ki lažejo o [škodljivih] vplivih projekta na gori in ogrožajo varnost osebja teleskopa.« Drugi del izjave je – kot smo videli – rasističen in kolonialističen, prvi del – »Tridesetmeterski teleskop je v težavah« – pa razloži, v imenu česa je drugi del rasističen in kolonialističen: to je zahodna, zdaj tudi globalna znanost, ki ima v ideološkem svetu astrofizičarke Sandre Faber vrednost vrednote nad vrednotami. Michael Bolt, eden od direktorjev Tridesetmeterskega teleskopa in profesor astronomije na Kalifornijski univerzi v Santa Cruzu, je to ideološko prepričanje izrazil na presunljivo jasn način: astronomija je čista »intelektualna dejavnost«, ki streže le enemu samemu namenu: človekovi želji po spoznavanju neznanega. Abby Starr Herhold je izjavo komentirala z besedami: »V tej ‚zgolj intelektualni dejavnosti‘ se astronomija ločuje od Zemlje. Ta ločitev je dobesedna – teleskopi na Zemlji so usmerjeni v vesolje – in prenesena – kraji in ljudje, ki živijo tam, so manj pomembni kot najnovejša znanstvena odkritja. Astronomi se ne zavedajo, ali kot bi nekateri dejali, jih niti ne zanima, kako njihova dejavnost prizadeva sveto goro Mauno Keo in ljudi, ki jo želijo zaščititi.« Podobno kritiko astronomov – »Ko astronomi strmijo v daljne zvezde, ne vidijo tistega, kar je pred njihovimi očmi: neponovljivih kulturnih in naravnih vrednot Maune Kee« - lah-

ko preberemo tudi v tožbi, ki jo je leta 2002 Urad za Havajske zadeve, ki je bil ustanovljen zato, da bi varoval okolje in kulturo Havajskih domorodcev, vložil proti Nasi in Havajski univerzi zaradi gradnje šestih manjših teleskopov ob obeh Keckovih teleskopih na Mauna Kei. (Mimogrede, ko smo že pri varovanju okolja. Astronomija le ni tako čista »intelektualna dejavnost«, pri nekaterih teleskopih na Mauna Kei je že prišlo do nenadejanih izlitič čistilnih sredstev in motornih olj v okolje, leta 1990 pa so morali zaradi izlitja živega srebra enega od teleskopov celo začasno »zapreti«.) Toda astronomov ne velja kritizirati kar počez. Ko so julija letos havajski domorodci zopet protestirali proti nameravanemu začetku gradnje Tridesetmeterskega teleskopa in s svojimi telesi zaprli cesto na Mauna Keo ter so jih oblasti nekaj za kratek čas celo zaprli, je del astronomske skupnosti – predvsem njeni mlajši člani, veliko med njimi je podiplomskih študentov – podprl varuhe Mauna Kee z odprtim pismom. V pismu so astronomsko skupnost pozvali k razmisleku o širšem zgodovinskem kontekstu spora na Mauna Kei in k obsojbi kriminalizacije varuhov Mauna Kee. Posebej so opozorili na zatiranje in uničevanje načinov védenja (znanosti) in bivanja (kozmozgije) avtohtonih prebivalcev v zgodovini Združenih držav. V pismu navedene besede havajske znanstvenice Aurore Kagawa – Viviani so zelo pomenljive: »Znanstvene prakse v sedanji obliki zelo smrdijo po ameriškem *manifestu usoda*, ki je povzročil strahotno škodo mnogim avtohtonim skupnostim.« (Besedna zveza *manifest usoda* je bila prvič zapisana leta 1845, zaznamovala pa je prepričanje, da je Združenim državam od Boga usojeno, da širijo svoje ozemlje ter demokracijo in kapitalizem po vsej Severni Ameriki.) V nadaljevanju pisma podpisniki novoveški znanosti postavijo jasno človeško mejo: »Naša etična dolžnost je, da pravim ljudem damo prednost pred našo znanostjo. Če tega ne storimo, bo naša znanost neetična.« V zaključku pa se kritično obrnejo še na samo astronomsko akademsko skupnost, ki je marsikateri mlajši kolegi in kolegu, katerih poklicna pot je bila sicer tesno povezana s Tridesetmeterskim teleskopom na Mauna Kei, prepričala, da bi javno izrazila svojo zaskrbljenost in kritični pogled na ta projekt. Baconovsko gospodarstvo znanosti nad naravo se je prepisalo v gospodarstvo znanosti nad kulturo, to pa na koncu še v gospodarstvo članov akademske skupnosti z zgornjega dela hierarhične lestvice nad člani, ki šele začenjajo svojo akademsko pot.

In za konec spodbudnejši novici: avtohtoni prebivalci Havajev so za zdaj zopet odložili gradnjo teleskopa na svoji sveti gori, korporacija, ki skrbi za njegovo gradnjo, pa razmišlja, da bi teleskop morda gradili na Kanarskih otokih ...

*Tomaž Sajovic*

# Johann Wolfgang von Goethe in njegov pomen za nastajanje evropskega znanstvenega naravoslovja, posebej geologije

Popotni vtisi iz Češke, Harza in Weimarja

*Jurij Kunaver*

Tega zapisa ne bi bilo brez potovanj, najprej v zahodno Češko v okolico Heba oziroma na območje tektonskega jarka Ohrže, pozneje pa v Göttingen, na Harz in v Weimar. Njihovo zaporedje je nastalo spontano, »kriv« za to, bolj ali manj, pa je znameniti nemški dramatik in pesnik Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832), ki se je pro-

slavil tudi v naravoslovju. Pisec priznava, da o tej dejavnosti Goetheja pred tem ni vedel prav nič. Ne zaradi pomanjkljive predstavitve tega genija na svetovnem spletu, vsaj v slovenski izdaji. Tudi ne zato, ker je tega edinstvenega moža enoznačno nemogoče predstaviti, saj je bil tudi državnik. Morda je vzrok bolj geografski, zaradi oddaljenosti

in drugačnosti pokrajin, kjer je živel in ki jih je raziskoval, pa tudi zgodovinski, ker so k nam prišle vesti o njegovi kulturni širini – z izjemo njegovega literarnega dela – z zamudo. Za to je kriva, če lahko tako rečemo, Goethejeva literarna veličina, ki je zasenčila vse drugo.

Na očitne sledove Goethejevega naravoslovnega zanimanja je mogoče naleteti skoraj na vsakem koraku. V pokrajini med Hebom in Karlovimi Vari je veliko priložnosti za nova spoznanja na tem področju, še več, za prava presenečenja. V ta del Češke je Goethe potoval kar sedemnajstkrat in tu prebil vsakič po več tednov. Nikoli pa ni bil v Pragi. V Nemčiji so po-



*Portret Johanna Wolfganga Goetheja, naslikal ga je Joseph Karl Stieler.  
Foto: Jurij Kunaver.*



sebej zanimivi njegovi štirje obiski hercinskega pogorja Harz in raziskovanje njegovih rudnih bogastev, še posebej njegov prvi zimski vzpon na vrh Brocken. Zanimal se je še za številna druga območja, zlasti za tista z granitno geološko zgradbo na Thürinškem. O tem bo v *Proteusu* objavljen še en prispevek. Vse to so razlogi za kratek izlet v čase, ko so nastajali temeljni okviri današnje geološke znanosti in ko so za pravilne sklepe morali zadoščati samo bister in kritičen duh, izkušeno oko in primerjave, brez današnjih raziskovalnih metod.

Tolikšno gostoto spominskih obeležij enemu in istemu človeku kot na zahodnem Češkem Goetheju redko vidiš kje drugod. Goethe je tja hodil iz različnih nagibov, tudi v že takrat znana zdravilišča, a vzporedno so ga najbolj zanimale geološke posebnosti tega območja. Je morda tudi eden od najboljših primerov osebnosti, ki so se o vsem hoteli prepričati na lastne oči, kar je navadno

povezano tudi s sposobnostjo opazovanja. Naravno okolje je spoznaval načrtno, zavestno, sistematično in temeljito. Ta misel je v Goethejevem nacionalnem muzeju v Weimarju, poleg mnogih drugih, posebej zabeležena: »Svet od blizu. Vsega ni mogoče najti v knjigah. Goetheja so venomer zanimala nova srečanja, spoznanja, izkušnje; potovanja odstirajo svetove. Skoraj dve leti je raziskoval Italijo: kulturo, naravo, še zlasti, kako tam živijo ljudje. Udeležil se je sodnih procesov, šel v gledališče, močno ga je zanimal utrip na ulicah in trgih, videl je tudi rimski karneval. Ne samo Evropa, tudi Južna Amerika ga je pritegnila, ko se je družil z Alexandrom von Humboldtom, potem ko mu je ta pripovedoval o svojih odkritjih geografskih zakonitosti razširjenosti rastlinskih vrst.«

Če se za hip ozremo na omenjena potovanja, z lahkoto najdemo primerjavo. Na njih smo sami znova in znova spoznavali, kako

*Goethejev nacionalni muzej v Weimarju, ki je nastal leta 1885 iz Goethejeve stanovanjske hiše. Foto: Jurij Kunaver.*



nič ne more nadomestiti lastnih izkušenj, doživetij in spoznanj. So bistveno dragocenejše, pristnejše in izčrpejše od informacij, ki jih dobimo »iz druge roke«. Posredovanih informacij nikoli ni mogoče tako podoživeti in razumeti, kot podoživljamo in razumemo tisto, kar vidimo, doživljamo in občutimo sami. Preprosta, že dolgo, zlasti v znanosti, izpričana, najbrž že tudi pred Goethejem znana resnica, ki pa je pri vsakodnevnem delu še vedno premalo upoštevana.

Ob dejstvu, da gre pri Johannu Wolfgangu Goetheju za genialnega dramatika, novelista, pesnika, državnika in znanstvenika svetovnega slovesa, človeku postopoma postane jasno, da trajnost spomina nanj ni in ne more biti presenetljiva. O tem pa se mora vsak prepričati sam. Goethejevo zanimanje za različna naravoslovna znanstvena področja je v javnosti mnogo manj znano kot njegovo literarno delo. Tu se pričinja naša zgodba. Malo znano je namreč, da ima Goethe, ki je bil po geološki nazorski usmeritvi neptunist (naziranje o izključnem nastanku vseh kamnin iz vode, iz oceanov), celo posredne zasluge za dokončno uveljavitev plutonističnega naziranja o nastanku kamnin (iz magme). V zgodovini geoloških znanosti se to omenja redko, saj Goethe ni bil niti poklicni geolog niti poklicni naravoslovec. Vendar se po njem imenujejo celo železov mineral getit (goethit), na Harzu učne poti, pa tudi ena od evropskih geoloških pešpoti, da ne omenjamo številnih kulturnih in znanstvenih ustanov, ki nosijo njegovo ime.

Dejstvo, da je Goethe v nekem trenutku odločilno posegel v polemiko o enem od ključnih vprašanj geološkega razvoja in s tem vplival na poznejši naprednejši razvoj vede, je samo na videz nezanimivo. Ko pa se znajdeš neposredno na kraju, kjer je Goethe odkrival in razlagal skrivnosti narave, na primer na majhnem bazaltnem vulkanu Komorni Hurka pri Hebu na zahodu Češke, je to spodbuda za nadaljnja iskanja. Sem se še vrnemo. Nehote se spominjamo poglavij o katastrofistih oziroma neptunistih in plu-

tonistih, ki smo se jih sprva morali naučiti, pozneje o njih tudi predavati, a so izzvenela oddaljeno in neprivlačno. Tu, na vznožju Komorni Hurke, stojiš pred spominskim obeležjem, ki bo večno spominjalo na Goethejeve zgodovinske obiske in njegova naravoslovna prizadevanja in razmišljanja. Naj mi bo dovoljeno ob tem opozoriti tudi na našega Žigo Zoisa, ki je bil malo znani del zgodbe o katastrofistih. Svoje kamninske vzorce z območja Triglava je pošiljal v Sibirij na Sedmograško enemu najbolj vnetih plutonistov, J. E. Fichtlu (1732–1795), ki je trdil, da so Triglav in vrhovi okoli njega iz masivnega apnenca magmatskega nastanka. Zois s to trditvijo ni soglašal, ker je v kamninah iz samega vrhnjega dela Triglava, ki so mu jih prinašali številni ljudje, tudi Valentin Vodnik, našel morske fosile (Faninger, 1994/95: 562).

### **Kratko o življenju Johanna Wolfganga von Goetheja kot literata, misleca in predvsem naravoslovca**

Rodil se je 28. avgusta leta 1749 v Frankfurtu na Maini očetu Johannu Gasparju Goetheju, cesarskemu svetniku, in materi Catharini Elisabeth Textor, ki so jo ljubkovalno klicali gospa Aja. V Leipzigu je študiral pravo do leta 1768, ko je študij prekinil zaradi bolezní in ga nadaljeval leta 1770 v Strasbourgu. Leta 1773 in leta 1774 je napisal svoja prva dela, s katerimi se je proslavil tako v Nemčiji kot širše v Evropi, zlasti s kratkim romanom *Trpljenje mladega Wertherja*. Leta 1775 je bil poklican na dvor kneza Karla Avgusta Saško-Weimarskega v Weimar, kjer je nastopil službo »ministra s posebnimi pooblastili«. Leta 1777 je po nalogu svojega delodajalca prvič obiskal Harz, nato pa še dvakrat, leta 1783 in leta 1784. Leta 1786 je potoval v Italijo in tam bival do leta 1788. Po vrnitvi se je razdolžil državnih dolžnosti in se v Weimaru posvetil gledališču ter v Jeni univerzi. Leta 1794 je prijateljstvo s Friederickom Schillerjem pomenilo veliko spodbudo za

njegovo dramaturško ustvarjanje (*Ifigenija*, *Egmont*, *Učna leta Wilhelma Meistra*). V letih od 1800 do 1805 je bolehal. Leta 1805 je četrtič obiskal Harz. Leta 1806 se je poročil s Christiano Vulpius, leta 1808 se je v Erfurtu srečal z Napoleonom Bonapartejem, leta 1812 pa z Ludwigom van Beethovnom, Heinrichom Heinejem, tudi z mladim Felixom Mendelssohnom Bartholdyjem. Leta 1828 je umrl njegov prijatelj knez Karl Avgust, leta 1831 je dokončal drugi del *Fausta*, 22. marca naslednjega leta je umrl v starosti 82 let. Povzdignjen je bil v plemiški stan. Zanimiv je zlasti njegov svetovni nazor, ki je večplasten. Na kratko samo to, da je izviral iz protestantske družine in da ga povezujejo s filozofijo Barucha Spinoze. Po prepričanju je bil neke vrste svobodnjak s panteističnimi nazori, tudi prostozidar, navduševal se je nad ameriško revolucijo, manj pa nad francosko.

### Goethejeve znanstvene usmeritve

Goetheju je ukvarjanje z različnimi znanstvenimi področji veliko pomenilo. Geoloških vprašanj se je lotil šele kasneje, potem ko je kot minister pri weimarskem knezu

Karlu Avgustu dobil nalogo, da na območju Harza preuči možnosti za donosnejšo rudarsko dejavnost. A precej pred tem je zaslovel že s svojimi botaničnimi študijami, zlasti z delom *Morfologija in metamorfoza rastlin*. Njegovo drugo znanstveno zanimanje so bile barve. Preučeval jih je s pomočjo prizme. Napisal je *Teorijo barv*. Z njo se je močno uveljavil in s tem vplival na kasnejše raziskovanje svetlobe in barv, zlasti v 19. stoletju, na področju fizike, fiziologije, slikarstva in filozofije. Njegove ideje so pozneje povzemali in razvijali številni misleci 19. stoletja, med filozofi zlasti Hegel, Schopenhauer, Nietzsche, Cassirer, Jung in Wittgenstein, pa tudi angleški slikar William Turner. Ukvarjal se je tudi s človeško anatomijo. Njegovo naziranje o stalnem spreminjanju narave, ki ga je uporabil Charles Darwin, pomeni uvod v evolucijsko teorijo. Seznam Goethejevih področij znanstvenega ukvarjanja je neverjetno dolg. Njegov rojak in sodobnik, pesnik, filozof in geolog Friedrich von Hardenberg - Novalis (1772–1801) je napisal, da je bil Goethe prvi med fiziki tistega časa. Izvajal je tudi barometriške meritve zračnega tlaka, kar ga

*Delček obsežne Goethejeve kamninske zbirke v muzeju v Weimarju. Foto: Jurij Kunaver.*





*Goethejeva zbirka tako imenovanih kotlovecov in grabovcev (Sprudelstein) iz Karlovih Varov. V vročih vrelih se izloča aragonitni kotlovec, ki se useda v lepib, ritmično belo do rjavo obarvanih plasteh ob izvirih. Foto: Jurij Kunaver.*



*Eden od Goethejevih predalnikov za kamninske vzorce. Foto: Jurij Kunaver.*

je menda še posebej pritegovalo. Ugotovil je zakonitosti v spreminjanju zračnega tlaka neodvisno od nadmorske višine, kar je bila podlaga za preučevanje in napovedovanje

vremenskih sprememb. Ob koncu svojega življenja je imel Goethe v Weimarju največjo mineraloško zbirko v Evropi (17.500 primerkov). Zaslužen je tudi za ustanovitev

stolice za kemijo na univerzi v Jeni, prve na vsem takratnem nemško govorečem ozemlju, in tamkajšnjega botaničnega vrta, kot tudi astronomskega observatorija, veterinarskega inštituta, univerzitetne knjižnice ter muzejskih in umetniških zbirk, zadnjih v Weimarju. S pesnikom Schillerjem sta bila vodilni osebnosti weimarskega klasicizma.

### Goethe je simbol za najzgodnejše geološko odkrivanje Evrope in za današnji geoturizem

V mnogih strokovnih krogih ni malo prizadevanj, da bi ime J. W. Goetheja obeleževalo geološke učne in druge poti s podobno vsebino. Znale so *Via Goethe* v dolini Adiže, *Evropska geološka pot*, imenovana po Goetheju, v okolici kraja Torbole ob Gardskem jezeru, in Goethejeva učna pot na

Harzu. Nanj oživljajo spomine tudi v drugih krajih okrog Gardskega jezera, saj je to navsezadnje vaba za turiste. Med najbolj znanimi kraji, ki se ponašajo z nekdanjo navzočnostjo Goetheja, je vsekakor slikoviti Malcesine na vzhodni jezerski obali tik pod Monte Baldom. Ko je z ladjo plul v Italijo, se je tam zaradi spremenjene smeri vetra moral neprostoovoljno ustaviti. Potoval je pod psevdonimom, a njegova prirojena radovednost in slikanje gradu bi ga skoraj pripeljali v ječo. Danes v slikoviti stari trdnjavi ne skoparijo s poudarjanjem pomena Goetheja, ki so mu namenili kar dve razstavni sobi. Goethe je naveden kot motiv tudi v organiziranih ekskurzijah na Gardsko jezero, ki jih prirejajo večinoma nemške turistične agencije.

Iz poročil o nekaterih geoloških kongresih

*Slikovito mesto Malcesine ob vzhodni obali Gardskega jezera. Foto: Jurij Kunaver.*





*Spominska plošča na malcesinskem gradu. Foto: Jurij Kunaver.*



*Doprni kip J. W. Goetheja na gradu v Malcesini. Foto: Jurij Kunaver.*

in zborovanih delovne skupine za geomorfozite (Mednarodna geomorfološka unija) izvemo, da se je pomen J. W. Goetheja za razvoj zgodnjega naravoslovja in posebej geologije, deloma pa tudi geomorfologije,

začel v zadnjem času še posebej poudarjati. Med najpomembnejšimi izzivi za oživljanje tovrstnega spomina nanj je njegovo potovanje po Italiji. Na vinogradniškem posestvu Endirizzi severno od Trenta so že leta 2008



Goethejeva risba izbruba Vezuva pri Neaplju.

postavili prve informacijske table, ki seznanjajo obiskovalce z Goethejevimi opisi in vtisi s potovanja. To naj bi bilo prvo dejanje v uresničitvi mednarodnega projekta za *Evropsko Goethejevo pot*, ki ima med drugim namen popularizirati in povečati zanimanje za naravne danosti in zanimivosti, zlasti geološke, pa tudi geomorfološke. A ne pozabljajo tudi na povezanost med človekom in naravo (geokulturne vsebine) ter njenega varstva. Če gre za širšo javnost, je to geoturizem. Med Torbolom, kjer je leta 1786 prenočeval Goethe, in bližnjim Nagom na skrajnem severu Gardskega jezera načrtujejo označbo naravnih posebnosti, kakršni so ledeniški mlini, vse v imenu Goetheja.

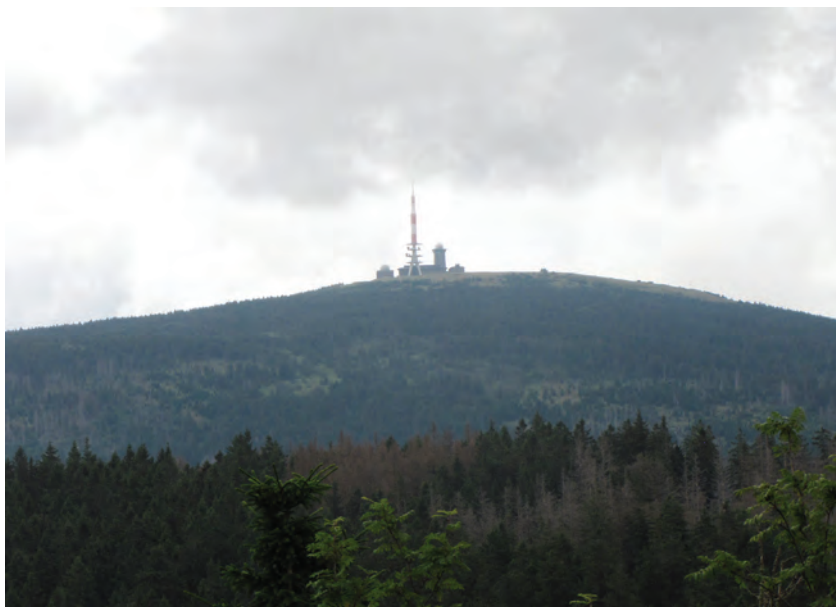
### Osnovne geografske, geološke in zgodovinske informacije o Harzu

Harz poznamo iz geološke zgodovine kot enega od najbolj znanih ostankov mladopaleozojskega gorotvornega obdobja v Evropi, imenovanega variskična ali hercinska orogeneza. Harz je najvišje, a precej osamljeno hribovje v severni Nemčiji. Delijo si ga tri nemške dežele: Spodnja Saška, Saška-Anhalt in Thuringija. Ime

Harz izvira iz stare nemščine (*Hardt* ali *Hart* za gorski gozd), v latinizirani obliki Hercinij. Najvišji vrh je Brocken (1.141 metrov) v tako imenovanem Zgornjem Harzu, drugi najvišji vrh pa je Wumberg (971 metrov), ki sodi že pod Spodnjo Saško. Brocken je zanimiv v več pogledih. Nanj so se prvič povzpeli v 16. stoletju (Stolberg), najbolj znani in opevani pa so štirje vzponi Goetheja in dva vzpona Heineja konec 18. in v začetku 19. stoletja. Danes se na Brocken podaja vsakdo, ki mu je do tega, da se naužije edinstvenih pogledov po večinoma mnogo nižjem ozemlju vsenaokrog. A ker je v poprečju tristo dni na leto zavrt v oblake ali meglo, to ni dano vsakomur. Znani nemški pesnik Heinrich Heine je po težavnem vzponu na Brocken, ki je bil takrat v oblakih, zapisal: »Viele Steine, müde Beine, Aussicht keine, Heinrich Heine,« ali v prostem prevodu: »Samo kamenje, utrujene noge, nobenega razgleda, Heinrich Heine.« O svojem štiritedenskem potovanju iz Göttingena do Harza in vzponu nanj je objavil spis *Die Harzreise (Potovanje na Harz)* (1826).



*Harz z Brocknom,  
od severozahoda.  
Foto: Jurij  
Kunaver.*



*Brocken  
(1.141  
metrov),  
najvišji  
vrh Harza.  
Foto: Jurij  
Kunaver.*

Pogorje Harza z Brocknom je zadnja visoka vzpetina na vsej razdalji od tu do Urala, so nekje zapisali. A tudi, da je bil Harz nekoč najpomembnejše rudarsko območje med Parizom in Sankt Peterburgom. Brocken je imel posebno vlogo v drugi svetovni vojni in po njej. Nacisti so imeli na njem pomemb-

ne komunikacijske naprave, ki so bile tarča zavezniškega bombardiranja. Poleg tega so velik del Harza spremenili v območje vojne industrije z obrati za proizvodnjo raket V2 ter številnimi prisilnimi delovnimi in koncentracijskimi taborišči. Ob koncu druge svetovne vojne so ga zavzele ameriške čete,





*Posledice ledenodobnih in holocenskih procesov zmrzalnega preperevanja granita so na Brocknu in v Harzu vidne v gostem pokrovu iz značilno oblikovanih granitnih skal.  
Foto: Jurij Kunaver.*

vendar so se po jaltskem sporazumu morale umakniti pred sovjetskimi četami. Brocken je bil krajši čas sicer odprt za obiske, a le do leta 1961, ko so na njem Rusi in Vzhodni Nemci začeli graditi prisluškovalne naprave. Meja z Zahodno Nemčijo je ves čas do leta 1990, ko je padla železna zavesa, tekla v neposredni bližini vrha. Brocken je sedaj osrednja atrakcija v Harzu, ki je za vsakdanje obiskovalce dosegljiva le z ozkotirno železnico. Je tudi središče Narodnega parka Zgornji Harz. Brocken vzbuja pozornost predvsem zaradi svoje izstopajoče višine, ki je posledica magmatske zgradbe tega dela Harza. Ob koncu hercinske orogeneze je v globinah sedanjega Harza prišlo do nastanka velikega magmatskega telesa (granitnega batolita), ki je na stiku z okoliško kamnino povzročil nastanek odporne metamorfne kamnine rogovca v njegovem vrhnjem delu. Pokrov iz rogovca, ki ga danes v glavnem ni več, je za dolgo zavaroval globlje ležeči granit pred erozijo. Zato se Brocknova granitna gmota še danes dviga znatno nad okolico. Številni so znaki, ki kažejo, da granit kar hitro razpada tudi v današnjem

podnebjju. Še bolj intenzivno pa je prepereval v obdobju hladnega pleistocena, kar se je v Harzu ohranilo v obliki debele vrhnje preperelinske plasti, sestavljene povečini iz granitnega skalovja. Na pobočjih so iz tistega časa značilni mirujoči plazovi, imenovani blokmeri ali polja blokov. Nič drugače ni v nekaterih drugih srednjeevropskih hribov-jih, kot je na primer Snežka v Krkonoših, kjer so v pleistocenu vladali periglacialno podnebje in periglacialni procesi in kjer je pisec na severnih pobočjih pred leti ta pojav videl prvič.

Harz ne bi bil tako znan brez svoje pestre in zanimive geološke zgradbe in zgodnjega, več kot 1.500 let starega rudarstva. Rudno bogastvo, v prvi vrsti srebrova, železova, svinčeva, bakrova in cinkova ruda, je bilo tisto, ki je sem pripeljalo Goetheja, in je bilo tisto, ki je botrovalo nastanku ene od najbolj znanih nemških tehničnih univerz v kraju Clausthal-Zellerfeld. Tu so tudi bogata nahajališča barita in fluorita ter nahajališča zlata in niklja ter še nekaterih rud. Rudnik Rammelsberg pri Goslarju je naj-slovitejši.



*Eden od večjih  
granitnih blokov  
na Harzu.*

*Foto: Jurij  
Kunaver.*



*Ravnješa območja  
na Harzu na  
neprepustni  
podlagi pokrivajo  
mokrotna tla  
visokih barij.*

*Foto: Jurij  
Kunaver.*

### **Goethe na griču Komorni Hurka in v čeških zdraviliščih severozahodne Češke**

Med naravoslovna presenečenja na zahodu Češke, povezana z Goethejevim imenom, brez dvoma sodi grič Komorni Hurka, eden najmanjših in najmlajših evropskih ugaslih vulkanov. Hurka je v češčini hribček (iz češko *hora*, slovensko *gora*). Komorni je

majhen, sobni. To je zares neznan, komaj do dvajset metrov visok grič, dva kilometra južno od zdravilišča Františkove Lazne ali manj kot štiri kilometre severozahodno od Heba. Ozemlje vulkanskega griča zavzema dobrih sedem hektarov površja. Od leta 1951 je grič zavarovan kot naravni spomenik, a pot do njega ni prav dobro označe-

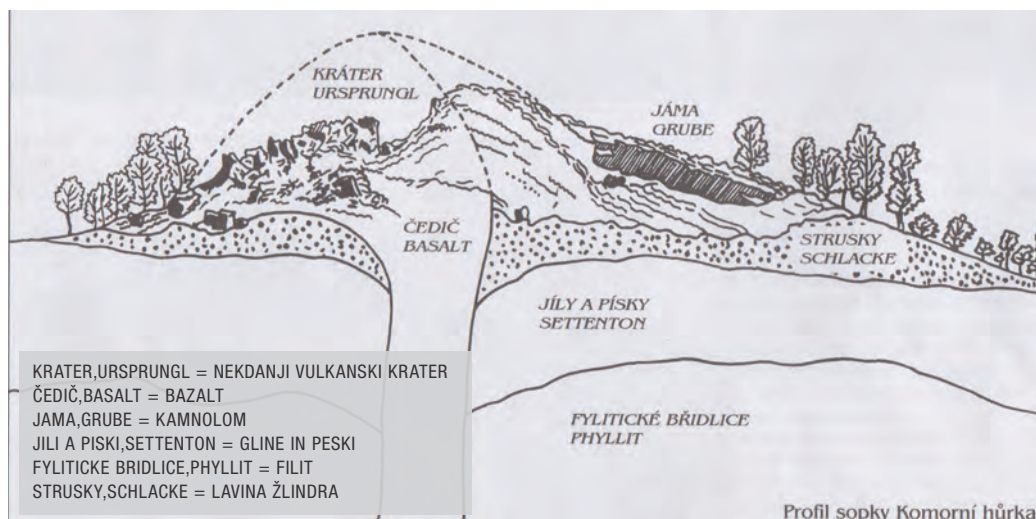


*Nizek grič  
Komorni  
Hurka blizu  
Heba je ostanek  
kratkotrajnega  
vulkanskega  
delovanja ob  
koncu zadnje  
ledene dobe.  
Foto: Jurij  
Kunaver.*

na. Gre za posebno naravno znamenitost, ki je močno povezana z razvojem geološke znanosti, v prvi vrsti z že omenjenim dolgoletnim sporom med neptunisti in plutonisti. Prav tu so potekale razprave, iz česa je sestavljen ta grič, kajti prvotno so v njem pričakovali nahajališče premoga. Neptunisti so trdili, da je tamkajšnja žilindri podobna kamnina posledica gorenja premoga. Zanj

so se začeli zanimati prav zato in zemljiški gospod grof von Zedwitz je v upanju, da ga bo našel, dal leta 1766 izkopati sto metrov vodoravnega rova. Tudi zato sodi Komorni Hurka med najboljše raziskane evropske vulkane in je v znanstvenem svetu dobro znan.

*Prerez vulkana (vulkančka) Komorni Hurka.  
Foto: Jurij Kunaver.*





*Hotel Tri lilije  
v Františkovih  
Laznách s  
spominsko ploščo.  
Foto: Jurij  
Kunaver.*



*Ena od številnih  
spominskih plošč,  
posvečenih Goetheju,  
na gostiščih  
med Hebom in  
Karlovimi Vari.  
Foto: Jurij Kunaver.*

Grič Komorni Hurka je obiskal tudi J. W. Goethe, in sicer trikrat, leta 1808, leta 1820 in leta 1822, saj je bil reden gost tega dela Češke, kajpada tudi najbližjega od tamkajšnjih zdravilišč, Františkovih Lazén. Njegova avtoriteta je pripomogla, da so se za ta grič začeli zanimati tudi drugi stro-

kovnjaki. Ko je bil tam nazadnje, je predlagal, da v grič izkopljejo še en rov, prečno na prejšnjega. Šele kopanje novih tristo metrov rogov (od leta 1835 do leta 1837, po Goethejevi smrti), kar je vodil Gaspar grof von Sternberg, ustanovitelj narodnega muzeja v Pragi, je v jedru vulkana pokazalo njegov



*Vhod v rudarski rov, katerega izkop je predlagal J. W. Goethe. V njem so naleteli na bazalt ter s tem ugotovili pravi geološki nastanek griča Komorni Hurka. Foto: Jurij Kunaver.*

pravi sestav in nastanek. V vulkanskem dimniku so naleteli na bazalt, ki ga obdajajo vulkanski izmečki (piroklasti), kot so vul-

kanski pepel, bombe, lapili in lavini tokovi. Bazalt, ki se je v ozkem pasu razlil na prosto, je porozni melilitski olivinski nefelinit.

Iz tega materiala so med drugim zgradili visok štirioglat obrambni steber skoraj črne barve na hebskem gradu, ki ga zato ni mogoče spregledati.

Po tem dogodku je žolčna debata med neptunisti, zagovorniki vodnega, sedimentacijskega nastanka vseh kamnin na Zemlji, na eni strani in plutonisti, zagovorniki njihovega ognjeniškega



*Spominski napis J. W. Goetheju na vznožju griča Komorni Hurka. Foto: Jurij Kunaver.*

nastanka, dokončno utihnila. Začelo se je povsem novo, plodnejše obdobje razvoja geologije, vede o pretekli in današnji geološki podobi Zemlje. Goethejeva zasluga v tem primeru je, da je predlagal metodo neposrednega opazovanja, ki edina daje pravi odgovor. Zato je ob vznožju griča, poleg vhoda v rudniški rov, upodobljena Goethejeva glava z napisom: *Goetheju, raziskovalcu griča Komorni Hurka, 1808–1822.*

Danes vemo, da je bila vulkanska dejavnost na tem ožjem območju živahna od začetka pleistocena pa morda vse do njegovega konca, na celotnem območju obsežnega tektonskega jarka Ohrže pa že od oligocena dalje. Vulkanska so hribovja Doupovske hori tik poleg Karlovih Varov ter Česke Sredohori med Dečinom in Litomeržicami. Izbruh vulkana Komorni Hurka in podobnega bližnjega vulkana (vulkančka) Železna Hurka nekaj kilometrov stran je bil eden zadnjih. Na podlagi radiometričnih meritev domnevajo, da se je zgodil pred 100.000 leti ali pa celo pred samo 10.000 leti. Izbruh naj

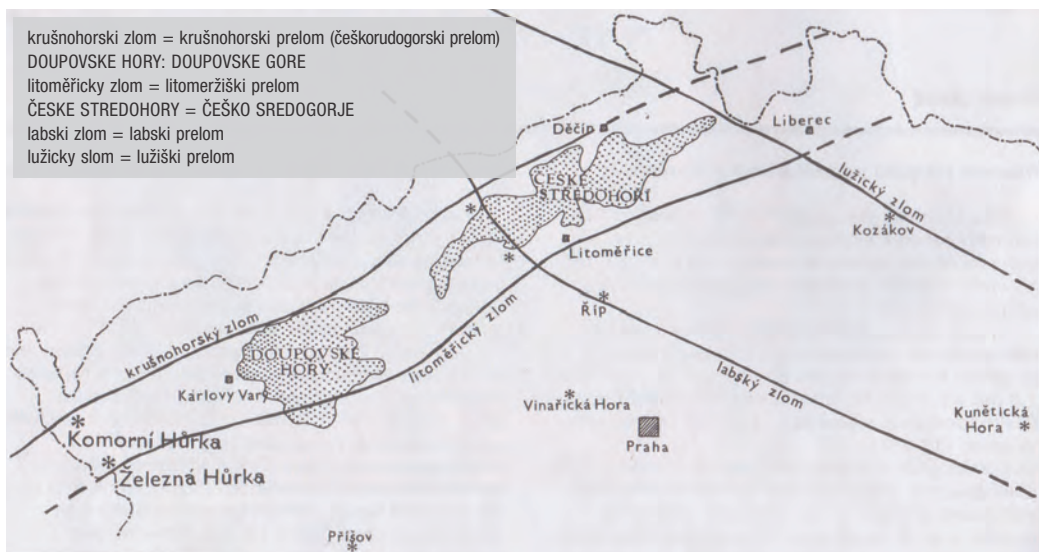
bi bil zelo kratkotrajen, strombolskega tipa, torej eksploziven, pri čemer bi se na koncu iz vulkanskega dimnika izlila bazaltna lava. Posebej zanimivo je, da v vulkanskem gradivu niso našli nobenih krioturbatnih pojavov (sortiranje gradiva zaradi zmrzali), kar govori za zgodnjeholocenski nastanek. Pri pregledu neposredne okolice so našli vulkanski pepel samo vzhodno od Hurke, kar prepričljivo govori o prevladujočem zahodniku tistega časa. Na portalu *YouTube* najdemo objavljeno celo simulacijo delovanja vulkana Komorni Hurka. In nenazadnje, v ljudskih legendah tega kraja se omenjajo skrivnostni pojavi na tem griču, kar je znamenje, da se je morda »kadilo« iz njega še v zgodovinskem, ali vsaj prazgodovinskem času.

### Namesto zaključka

Ko beremo različne sestavke o pomenu in načinu raziskovanja vulkana Komorni Hurka, povsod naletimo na ime J. W. Goetheja. Ni bil genialen samo na literarnem podro-

*Karta raztezanja paleogenskega tektonskega jarka Ohrže na severozabodu Češke, v katerem je prišlo do vulkanskega delovanja kot tudi do pogrezanja in nastanka bogatih nabajališč lignita in kaolinita. K. Brož, Komorní Hůrka.*

Foto: Jurij Kunaver.



čju, ampak je s svojim raziskovalnim navdihom, ustvarjalnostjo, vztrajnostjo, neskončnim zanimanjem za vse, kar ga je obdajalo, zlasti za naravo, in z izjemnim opazovalnim darom zapustil za seboj neprecenljivo dediščino ter s tem pokazal na razvojno pot naravoslovja v prihodnje. Luč, ki jo je prižgal J. W. Goethe, še vedno sveti!

#### Literatura in viri:

Brož, K., 2003: *Komorní Hürka. Nationales Natur Denkmal. Az studio, s.r.o. Hostinné. 2. upravené vydání.*  
 Faninger, E., 1994/95: *Sodelovanje barona Žiga Zoisa in Valentina Vodnika na področju geoloških znanosti. Geologija, 37/38: 561–564.*

Goethe, J. W., 2009: *Schriften zur Naturwissenschaft. Auswahl. Herausgegeben von Michael Böbler. Stuttgart: Philipp Reclam jun.*

Goethe, J. W., 2010: *Faust. Der Tragödie, erster Teil. Stuttgart: Philipp Reclam jun.*

Grah, D., 1972: *Spremna beseda in opombe. V: J. W. Goethe: Werther. Ljubljana: Mladinska knjiga, 97–111.*

Heine, H., 2011: *Die Harzreise. Herausgegeben von Manfred Windfubr. Stuttgart: Philipp Reclam jun..*

Janko, A., 1999: *Razmišljanje o Goethejevemu Faustu. V: J. W. Goethe: Faust. Izšlo ob 250-letnici pesnikovega rojstva. Maribor: Založba Obzorja, 5–46.*

Wikipedia: *Harz, Brocken, Johann Wolfgang von Goethe.*  
<https://www.boehmen-franken.de/zusammen-leben-zusammen-arbeiten/ein-gespraech-mit-johann-wolfgang-von-goethe/>

## Ionski raketni pogon

Tomaž Zwitter

Vroč plin, ki brizga iz klasičnega raketnega motorja, ostaja edina možnost za izstrelitev rakete v vesolje. Ko smo enkrat tam, pa lahko nadaljujemo varčneje. Omenili bomo sončno jadro, gravitacijsko fračo in ionski motor. Zadnja sta v operativni uporabi. Dotaknili se bomo tudi upravljanja satelitov in težav, ki jih lahko povzroči sistem *Starlink*.

### Klasični raketni motor

Če vas pot zanese preko Atlantika, močno priporočam obisk Huntsvill v Alabami, Houstona v Teksasu ali Kennedyjevega vesoljskega središča na Floridi. Tam si lahko ogledate modele *Saturna V* v polni velikosti, to je rakete, ki je pred pol stoletja ponesla astronave na Luno. Izpušne šobe njenih motorjev so s 3,7-metrskim premerom res impresivne. Ko videnemu dodate še posnetke izstrelitve iz letos izdanega dokumentarnega filma *Apollo 11*, ostane le beseda osupljivo.

Za izstrelitev potrebujete velik motor, saj mora raketa nositi lastno težo. Pet motorjev *Saturna V* je s skupno silo 35,1 milijona newtonov komaj uspelo dvigniti 3.039-tonsko raketo z izstrelitvene ploščadi. Cilj izstrelitve pa ni le doseganje višine, ampak moramo že v 12 minutah doseči hitrost 7,9 kilometra na sekundo, ki je potrebna, da raketa lahko kroži okoli Zemlje in torej ne pade dol. To je energijsko precej potratnejše od pridobivanja višine. Pri spremembi hitrosti za 7,9 kilometra na sekundo in dvigu za 200 kilometrov je potrebna sprememba kinetične energije 16-krat večja od spremembe potencialne energije. Sedaj razumete, da so navpični poleti »do roba vesolja«, ki jih želi jo ponuditi komercialni ponudniki, le blede senca pravih poletov v vesolje. Tudi govorjenje o gradnji visokih stolpov, s katerih bi »spuščali« satelite, je neumnost, saj bi brez dovolj velike hitrosti satelit pač padel proti vznožju stolpa. Če dosežete dovolj veliko hitrost, pa zaradi razmeroma majhne spre-

membe potencialne energije stolpa niti ne potrebujete.

Problem doseganja hitrosti 7,9 kilometra na sekundo je, da je ta precej večja od hitrosti izpušnih plinov iz raketne šobe. Zadnje so pri klasičnem motorju posledica temperature 3.400 stopinj Celzija, ki jo v *Saturnu V* dosežemo ob spajanju visoko prečiščene-ga kerozina s tekočim kisikom. Kerozinski motorji dosegajo izpušne hitrosti 2,6 do 3,5 kilometra na sekundo, če namesto kerozina uporabimo vodik, pa do 4,5 kilometra na sekundo. V vsakem primeru je to precej manj od 7,9 kilometra na sekundo in je zato *Saturn V* v krožni tir nad Zemljo lahko dvignil le 140 ton. Preostanek do 3.040 ton startne mase je porabljeno gorivo in prazni rezervoarji ter motorji prve in druge raketne stopnje, ki so jih odvrgli med vzpenjanjem proti krožnemu tiru. Skoraj celotna masa rakete je torej gorivo, kar gotovo ni najbolje. Žal pri izstrelitvah z Zemlje ni druge možnosti. Morda je mogoče prihraniti nekaj denarja s ponovno uporabo posameznih raketnih stopenj, vendar bo treba ugotoviti, ali obraba posameznih sklopov, zlasti črpalk za gorivo, in s tem povezana varnostna tveganja to dopuščajo. V vsakem primeru pa je klasični raketni motor na vroč plin zaenkrat edini, ki lahko zagotovi dovolj velik potisk, da raketa ob startu nosi lastno težo in se tako odlepi od tal.

### Varčni načini potovanja po Osončju

Ko enkrat krožimo okoli Zemlje, se nam nikamor ne mudi. Pospešujemo lahko tudi počasi. Ena od možnosti je, da razpnemo veliko in lahko sončno jadro. To seveda ne lovi vetra, ampak silo, ki jo jadru podeli sprememba gibalne količine odbite Sončeve svetlobe. Ob idealni odbojnosti bo pospešek zaradi odboja svetlobe izničil Sončev gravitacijski pospešek, če je masa plovila na kvadratni meter jadra enaka 1,5 grama. Cilj je torej izdelati jadra z maso blizu 1 grama na kvadratni meter. Ob gostoti aluminija to ustreza debelini 0,37 mikrona. Tako tanke

filme sicer znamo izdelati, žal pa so prekrhki, da bi zdržali močno tresenje ob izstrelitvi, ki pravzaprav spominja na (upajmo, da) nadzorovano eksplozijo goriva skozi raketne šobe. Tako je očitno, da bi bilo ta jadra treba izdelovati v orbiti okoli Zemlje, kar se ponuja kot zamisel za tovarno v vesolju.

Pogon s sončnim jadrom je kot prva leta 2010 uporabila japonska sonda *IKAROS*, ki je z jadrom z debelino 7,5 mikrona v šestih mesecih spremenila hitrost za 100 metrov na sekundo. Sprememba hitrosti za tanjša jadro bi bila večja. S študenti smo poračunali, da bi se s plovilom, ki bi imelo maso 2 grama na kvadratni meter, lahko zavihteli mimo Sonca in nato odleteli iz Osončja s hitrostjo kar 70 kilometrov na sekundo. To je dovolj za hitra potovanja po Osončju, vendar prepočasi za pot do drugih zvezd.

Po Osončju lahko potujemo tudi s klasičnim raketnim motorjem. Za pot do Marsa plovilo najprej na hitro pospešimo v smer gibanja Zemlje okoli Sonca. Nato z ugasnjnim motorjem po eliptični tirnici okoli Sonca dosežemo razdaljo Marsove tirnice. Če smo pravilno načrtovali, bo Mars takrat tam in nam preostane le še nov vklop motorjev, ki bo zmanjšal razliko med hitrejšim kroženjem Marsa okoli Sonca in počasnejšim gibanjem sonde, nato pa utirjenje ali celo pristanek na Marsu. Tako varčno potovanje do Marsa po tako imenovanem Hoffmannovem tiru traja približno osem mesecev.

V bližini Marsa imamo še eno možnost. Ker je naša sonda počasnejša od Marsa, se planetu bližamo z določeno relativno hitrostjo. Ker smo sedaj pod gravitacijskim vplivom Marsa, nam zakon o ohranitvi energije pove, da se bomo po srečanju z Marsom z enako relativno hitrostjo od Marsa tudi oddaljevali. Vendar v drugi smeri. Torej se bo glede na Sonce naša hitrost lahko spremenila. Prejšnje zaostajanje za Marsom lahko obrnemo v prehitavanje, torej bomo lahko brez vklopa motorjev povečali hitrost potovanja. (Energijski račun sicer plača Mars, a zaradi velike mase se mu to ne pozna.) Zvi-



jači, ki jo rutinsko uporabljamo za potovanja po Osončju, pravimo gravitacijska frača. Medplanetarne sonde do svojega cilja redko letijo naravnost, ampak se tudi po večkrat zavihtijo okoli planetov in tako zastojkar-sko pospešujejo. Taka zavita pot traja sicer dlje, vendar potrebuje manj goriva, kar je seveda pomembno, saj je treba to gorivo kot zelo drag tovor pripeljati z Zemlje.

### Ionski motor

Nad raketnim motorjem kot načinom pogona se ne bi pritoževali, če bi le bila hitrost izpušnih plinov kaj večja. Kot smo omenili, niti spajanje vodika in kisika ne omogoča izstopne hitrosti večje od 4,5 kilometra na sekundo, kar je občutno manj od denimo spremembe za 15,6 kilometra na sekundo, ki je potrebna za prehod z nizke krožne tirnice okoli Zemlje na eliptični tir proti Neptunu. Razmeroma nizke hitrosti izpuha ne omogočajo gospodarnega pospeševanja. Če plovilo izvrže stotinko svoje mase v obliki goriva, ki odleti s hitrostjo 4,5 kilometra na sekundo, se bo hitrost plovila spremenila le za stotinko od 4,5 kilometra na sekundo oziroma za 45 metrov na sekundo. Pri večjih izstopnih hitrostih bi bila tudi sprememba hitrosti plovila večja. Prav to naredimo z ionskim motorjem.

V klasičnem raketnem motorju hitro gibanje delcev plina v zgorevalni komori dosežemo z visoko temperaturo, ki je posledica eksplozivnega spajanja goriva in oksidanta. Ta proces ima svoje meje, saj se komora ne sme stopiti, pa tudi kemija nima na zalogi energijsko še izdatnejših eksotermnih reakcij. V ionskem motorju hitrega gibanja delcev plina ne dosežemo z gretjem, ampak s pospeševanjem v električnem polju.

Najpogosteje uporabljeni ionski motor temelji na elektrostatičnem pospeševanju ionov v električnem polju. Uporabimo zlahkni plin z razmeroma velikim masnim številom. Tak plin je ksenon, ki ima v jedru 131 delcev. Ksenonove atome z bombardiranjem z elektroni najprej spremenimo v pozitiv-

no nabite ione. Vir teh elektronov je lahko vroča katoda ali pa jih pospešimo z nihanjem električnim poljem. Pozitivno nabite ksenonove ione sedaj pospešimo z visoko napetostno razliko v smeri negativno nabite mreže. Pri napetostni razliki 1.200 voltov se ksenonovi ioni pospešijo do hitrosti 42 kilometrov na sekundo, kar je mnogo več od hitrosti v klasičnem raketnem motorju. Seveda poskrbimo, da se ioni ne zadenejo v mrežo, ampak skozi reže odletijo v vesolje. Treba je tudi paziti, da ne bi brizgali le pozitivno nabitih ionov, saj bi sicer plovilo postalo negativno nabito in bi se ksenonov oblak pozitivnih ionov vrnil nazaj in izničil pospeševanje. Zato ob pozitivnih ionih v izpuhu preko primerne osti spuščamo tudi negativno nabite elektrone. Tako izpuh in plovilo ostaneta električno nevtralna.

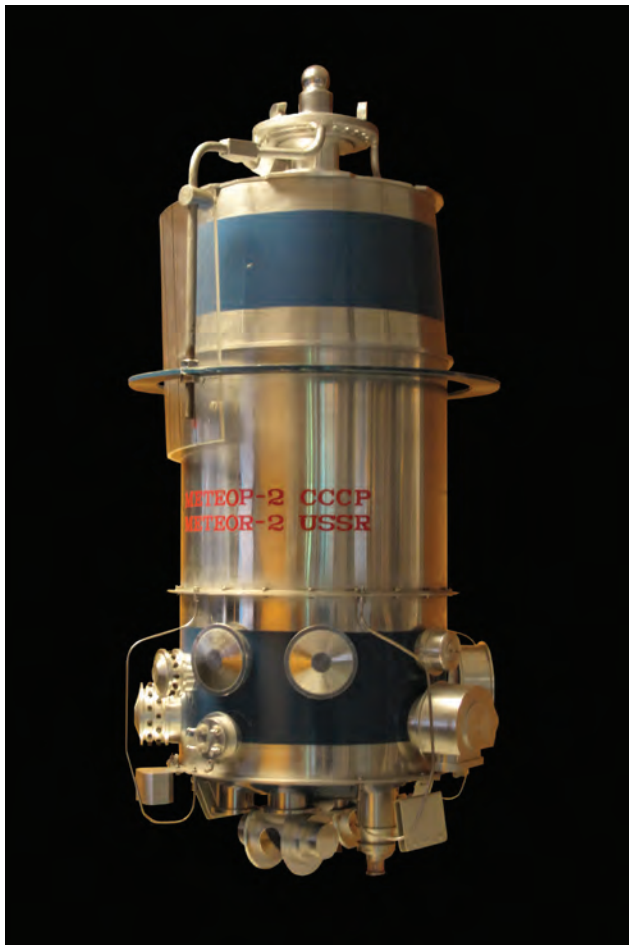
Ionski motor torej omogoča izjemno visoke hitrosti izpuha in s tem gospodarno pospeševanje. Žal pa ima tudi omejitve. Gustota pozitivno nabitih ionov mora biti omejena, saj se sicer preveč odbijajo med seboj, obenem pa tudi poškodujejo mrežo, ki jo uporabljamo za pospeševanje. Pri omenjeni hitrosti 42 kilometrov na sekundo zato masni tok ksenona navadno ni večji od 17 gramov na uro. Tako majhen tok goriva seveda pomeni, da je majhna tudi potisna sila, ki v našem primeru znaša le 0,2 newtona. Ionski motorji torej niso in ne bodo uporabni za izstrelitev z Zemlje. Tak motor bi lahko podpiral le težo miške, seveda pa sam tehta mnogo več kot miš. Drugače pa je v vesolju. Omenjena potisna sila v enem letu spremeni hitrost plovila z maso ene tone za 6,2 kilometra na sekundo in za to porabi 150 kilogramov goriva. Lep primer modrosti, da se vztrajnost obrestuje. Pospeševanje ionov troši tudi energijo. Za zgornji primer moramo ob 70-odstotnem izkoristku zagotoviti moč 6 kilovatov. Take električne moči lahko v okolici Zemlje dobimo s sončnimi celicami, dlje od Sonca pa s termoelektričnimi generatorji, ki jih greje razpad radioaktivnih izotopov.

Ionski pogon so doslej že večkrat uporabili za medplanetarne polete. Sonda *Deep Space 1* je dosegla spremembo hitrosti za 4,3 kilometra na sekundo in za to porabila manj kot 74 kilogramov ksenona. Rekord je sonda *Dawn*, ki je z ionskim motorjem hitrost spremenila kar za 11,5 kilometra na sekundo. V fazi testiranja so še precej zmogljivejši ionski motorji s potisnimi silami do 5 newtonov in močmi, ki dosegajo 100 kilovatov. Poleg opisanega obstajajo tudi sorodni motorji. Namesto elektrostatičnega pospeševanja uporabljajo elektromagnetno pospeševanje in jih je pravilneje imenovati plazemski pogoni. V Sovjetski zvezi in kasneje v Rusiji so za manevriranje plovil rutinsko upora-

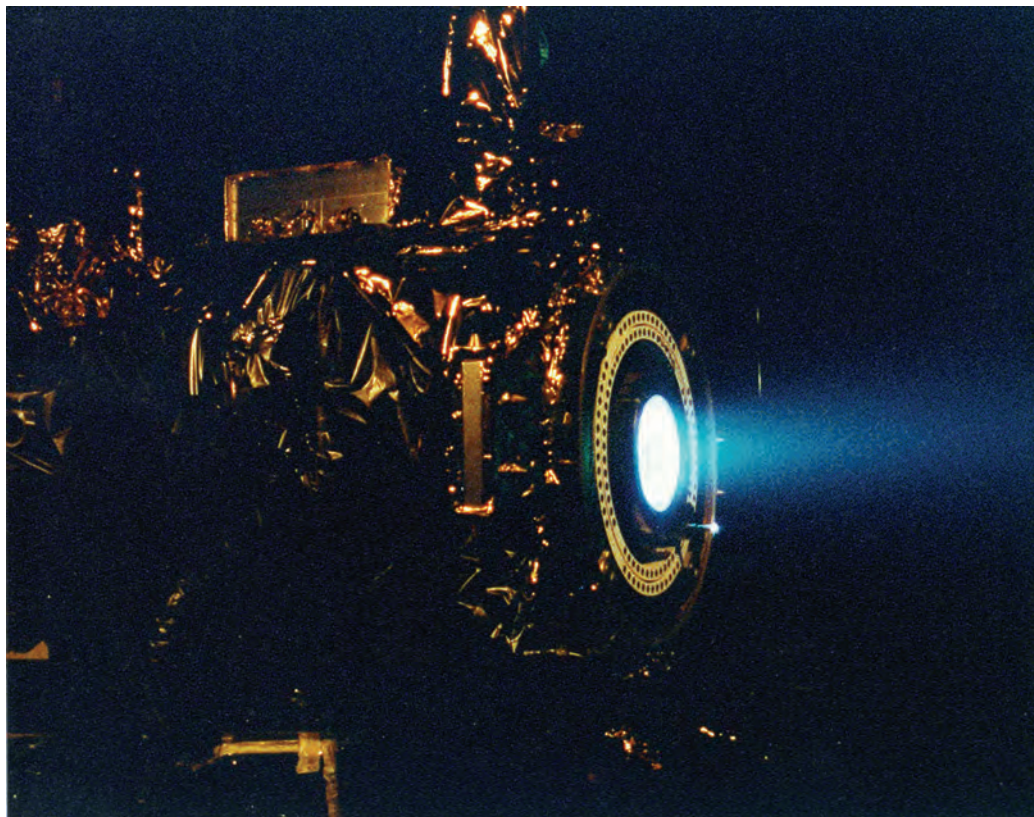
bljali Hallove pogone, ki so podvrsta plazemskih. Končno je tu še mnogo izpeljank, ki se razlikujejo po načinu ustvarjanja ionov in po načinu električnega oziroma elektromagnetnega pospeševanja, skupna pa je njihova nepreizkušena v realnih razmerah.

### Upravljanje satelitov in grožnje satelitskega sistema *Starlink*

Upravljanje satelitov pogosto zahteva manjše posege, za katere ni treba uporabiti opisanih vrst raketnih motorjev. Za obračanje satelita v želeno smer običajno uporabljamo inercialna kolesa. To so hitro vrteči se vztrajniki, ki jim lahko zasukamo os vrtenja, satelit pa se ob tem zasuka v obratno smer. Kadar je potrebna visoka natančnost, primer je satelit *Gaia* Evropske vesoljske agencije, pri katerem sodelujemo, lahko za obračanje satelita uporabimo tudi hladne ionske pogone, kjer iz šob izpuščamo majhne količine hladnega plina. Tak pogon je uporaben tudi za majhne popravke tirnice, ki so navadno potrebne po nikoli povsem predvidljivi spremembi hitrosti, ki jo dosežemo z uporabo klasičnih raketnih motorjev. Seveda taki pogoni trošijo gorivo in ko ga zmanjka, se konča tudi marsikatera vesoljska odprava. Pri odpravi *Gaia* nam bo tako zmanjkalo goriva proti koncu leta 2024.



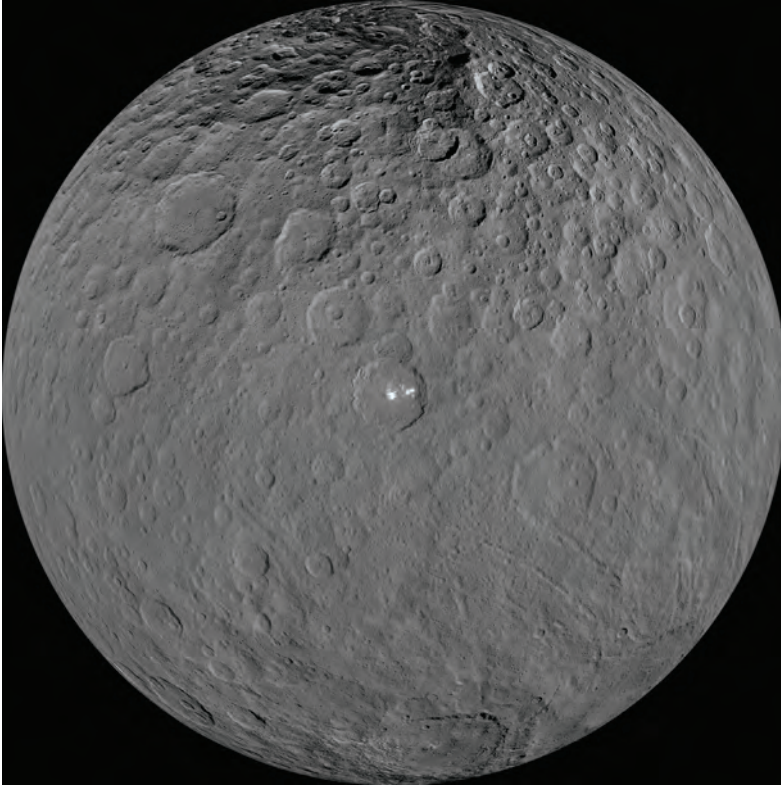
*Model meteorološkega satelita Meteor, s katerim je leta 1971 Sovjetska zveza demonstrirala uporabnost Hallovega ionskega pogona. Z ionskim motorjem, ki ga je razvil Aleksej Morozov, so dvotonskemu satelitu v dveh tednih zvišali višino tirnice za 15 kilometrov, kar je omogočilo dolgoročno delovanje tega satelita. Kasneje sta Sovjetska zveza in Rusija na različnih satelitih uporabili podoben motor še približno dvestokrat. Foto: MediaCommons.*



*Nasina odprava **Dawn** je prvo plovilo, ki se je uspelo utiriti v tirnico okoli pritlikavega planeta, najprej je bila to Vesta, nato pa še Ceres. Do konca odprave novembra lani je njen ionski pogon deloval skupaj 5,9 leta in dosegel skupno spremembo hitrosti kar 11,5 kilometrov na sekundo. Na sliki je eden od treh Dawnovih ionskih motorjev med testom v Jet Propulsion Labu. Foto: NASA.*

Nadzorovani konec delovanja je pomemben predvsem pri satelitih, ki krožijo v bližini Zemlje. Mednarodno sprejeto, vendar pogosto slabo spoštovano pravilo je, da satelit pred koncem delovanja usmerimo v Zemljino ozračje, kjer razpade in zgori. Blodeči satelit brez aktivnega nadzora je namreč grožnja za trk z drugimi sateliti. In pri takem trku z medsebojno hitrostjo več kilometrov na sekundo nastane na desetisoče razbitin, te pa predstavljajo grožnjo za nove trke. Resno se je bati verižne reakcije, kjer bi zaradi zablodelih vesoljskih smeti postalo izstreljevanje novih satelitov nemogoče. Žal se je človeštvo maja letos s prvimi izstrelitvami družine satelitov *Starlink* začelo

nevarno bližati taki katastrofi. Podjetnik Elon Musk se je ob odobritvi ameriške agencije za komunikacije in brez posvetovanja z mednarodno skupnostjo lotil izstreljevanja tega satelitskega sistema, ki naj bi omogočil boljše internetne povezave na Zemlji. Tu ne bomo govorili o tehničnih vprašanjih, kako bo vaš mobilni telefon lahko učinkovito izmenjeval podatke s satelitom na razdalji več sto kilometrov. Zanima nas delovanje teh satelitov, ki za upravljanje tudi uporabljajo ionski pogon in jih zato omenjamo v tem prispevku. Trenutno je v vesolju vsega skupaj približno 4.900 satelitov, od tega jih 1.900 deluje in le 500 od teh je v tirnicah v bližini Zemlje. Sistem *Starlink* naj bi v na-



*Slika pritlikavega planeta Ceres v visoki ločljivosti, ki jo je posnela odprava Dawn z višine 385 kilometrov. Posamezna točka ustreza velikosti 140 metrov. V sredini slike je udarni krater Occator. Svetli pegi na njegovem dnu sta usedlini natrijevega karbonata, ki sta morali nastati s hidrotermalno dejavnostjo.*  
Foto: NASA.

slednjih nekaj letih v nizke tirnice postavil kar dvanajst tisoč satelitov. Tako zasebno prisvajanje vesolja ima vsaj tri hude posledice: kot prvo so to razmeroma veliki sateliti z maso nekaj sto kilogramov, ki so po prvih izkušnjah vidni s prostimi očmi. To pomeni resno motnjo pri opazovanju nočnega neba, danosti, ki je tisočletja predstavljala vir užitka in zvedavosti mnogih generacij. Kot primer, v dvostopinjskem polju štirimetrskega teleskopa v Avstraliji, ki ga rutinsko uporabljamo v okviru raziskovalnega projekta *Galab*, bo v vsakem trenutku po en od dvanajst tisoč satelitov. Ker naše osvetlitve trajajo eno uro, se bo na vsakem posnetku nabralo kakih 130 satelitskih sledi. Druga posledica je, da se bodo ti povsod prisotni sateliti z močnimi radijskimi oddajniki sporazumevali z uporabniki na Zemlji. To bo zelo verjetno pomenilo oviro za opazovanje vesolja z radijskimi teleskopi. Če se bodo

ponovile slabe izkušnje s sateliti *Iridium*, v prihodnosti torej ne bo slik črnih lukenj in podobnih odmevnih dosežkov. In na koncu me resno skrbi, kaj bo s sateliti, ki se bodo pokvarili. Podjetje Elona Muska je sicer zagotovilo, da naj bi jih vsaj 90 odstotkov uničili s potopitvijo v Zemljino ozračje, a vprašanje ostaja, kaj bo s tisoči neuničenih in kaj se bo zgodilo, če podjetje svoje obveze ne bo izpolnilo. Bomo poročali o dnevnih trkih satelitskega drobirja?

### **Z raketo do zvezd?**

Z nobenim od opisanih pogonov ne moremo potovati do planetov okoli drugih zvezd. Tudi če bi izumili nove vrste motorjev, preprosto nimamo dovolj energije. Kot primer vzemimo, da potujemo do Soncu najbližje zvezde Proksime Kentavra, ki je oddaljena 4,2 leta potovanja svetlobe. Do tja in nazaj bi želeli priti v trajanju enega človeškega

življenja, recimo v 84 letih. Zahtevane desetine svetlobne hitrosti, torej trideset tisoč kilometrov v sekundi, seveda ne znamo doseči z nobenim od omenjenih motorjev. A bodimo optimisti, predpostavimo, da imamo motor, ki to zmore in ki ima stoodstotni izkoristek. Srednješolska fizika pove, da za pospešitev vsake tone na desetino hitrosti svetlobe potrebujemo kinetično energijo  $4,510^{17}$  joula. Toliko energije človeštvo v obliki fosilnih goriv ter (v manjši meri) ob-

novljivih virov in jedrske energije porabi v 10 urah. Seveda bi za 84-letno pot do Proksime želeli ladjo z maso, mnogo večjo od ene tone. Govorimo o energiji, ki jo človeštvo porabi v desetletjih ali stoletjih. Vidimo, da ne bo šlo, pa čeprav smo spregledali, da bi morali ob Proksimi še zavreti in nato pospešiti nazaj proti domu. Torej se splača na naš Zemljin dom paziti in grožnje podnebne krize vzeti resno.

Cerkniško jezero, raj za rastline dvoživke • Ekologija

## Cerkniško jezero, raj za rastline dvoživke

Anja Kos, Mojca Krapež, Alenka Gaberščik

Cerkniško jezero je ekosistem tisočerih obrazov, ki so posledica presihajočega vodnega režima. Podobo jezera pomembno zaznamujejo tudi rastlinske vrste, katerih pogostost in prisotnost sta odvisni od obsega in trajanja poplav ter trenutnega vodostaja v jezeru. Številne vodne in močvirske vrste imajo amfibijski značaj, ki jim omogoča preživetje v vodi in na kopnem. V prispevku predstavljamo rastlinske vrste in raznolikost njihovih oblik v strugi Stržena.

### Značilnosti Cerkniškega jezera

Cerkniško jezero je presihajoče jezero, ki se nahaja na Cerkniškem polju in je del povodja reke Ljubljanice. Kamninsko podlago območja tvorita dolomit in apnenec, ki ustvarjata ugodne razmere za razvoj kraških pojavov. Približno osemdeset odstotkov vode pride na Cerkniško polje s kraškimi pritoki ter skozi bruhalnike in estavele, le petnajst odstotkov pa je priteče po površini. Edini površinski pritok je reka Cerkniščica. Po

polju vijuga reka Stržen, ki ob obilici vode prestopi bregove in ustvari jezero. Zato tudi rečemo, da je Cerkniško polje poplavna ravnica reke Stržen. Hitrost nastajanja jezera je odvisna od količine padavin v povodju. Valvazor piše, da so kmetje, ki so na območju jezera



Slika 1: Pogled na poplavljeni Cerkniško jezero.

Foto: Domen Kocjan.



*Slika 2: Struga reke Stržen na delu, ko se ta še ne razliva na poplavne ravnice. Foto: Domen Kocjan.*

opravljali svoja dela, nemalokrat bežali pred naraščajočo vodo. Spomladi in v pozni jeseni voda pokriva šestindvajset kvadratnih kilometrov Cerknjskega polja. Cerknjsko polje je poplavljeno približno devet mesecev v letu in suho približno dva meseca, navadno poleti. Odtok vode je v celoti kraški. Voda odteka skozi ponorne jame na obodu jezera ter skozi estavele in ponikve v jezerskem dnu. Zaradi svojih posebnosti je Cerknjsko jezero uvrščeno med svetovno pomembna mokrišča in je Ramsarsko območje, na nacionalni ravni pa je zaščiteno v okviru Notranjskega regijskega parka. Zaradi prisotnosti različnih prednostnih vrst in življenjskih prostorov pa sodi jezero tudi med območja *Natura 2000*. Zaradi spremenljivega vodostaja in razgibane površine je območje Cerknjskega jezera mozaik raznolikih življenjskih prostorov, združb in procesov, ki se spreminjajo v času in prostoru. Vodni režim se med leti bistveno razlikuje. Menjavanje poplav in osušenosti jezera deluje kot ciklična motnja, ki podpira visoko biotsko raznovrstnost in pospeši mineralizacijo, kar občasno poveča dostopnost hranil v ekosistemu. Zaporedje in obseg sprememb vodostaja v določenem letu vplivata na to, katera vrsta bo v določenih razmerah uspešnejša. To se kaže v množičnem pojavljanju tistih rastlinskih vrst, ki

so najbolj prilagojene na trenutne razmere in ustvarjajo specifično podobo jezera. Prevladujejo rastlinske vrste z amfibijskim značajem, lahko bi tudi rekli, dvoživke med rastlinami, ki imajo veliko fenotipsko plastičnost in se lahko morfološko, anatomsko in fiziološko prilagajajo na rast v vodi in na kopnem. Značilne vrste z amfibijskim značajem, ki uspevajo na Cerknjskem jezeru, so na primer navadna smrečica (*Hippuris vulgaris*), prava potočarka (*Rorippa amphibia*) in širokolistna koščica (*Sium latifolium*).

### **Rastline dvoživke**

Nemoteno delovanje rastlin z amfibijskim značajem omogočajo raznolika oziroma heterofilija in različne rastne oblike, kot so plavajoča (f. *natans*), vodna (f. *aquatica*) in kopenska oblika (f. *terrestris*). Razvoj različnih listov in rastnih oblik pogojujejo različni okoljski dejavniki, kot so koncentracija ogljikovega dioksida v vodi, razmerje med rdečo in daljno rdečo svetlobo ter relativna vlaga. Potopljeni listi so tanjši, daljši, lahko fino razcepljeni, z večjo specifično površino, lahko tudi trakasti, z manj listnimi režami ali brez njih ter s tanjšo kutikulo in mezofilom v primerjavi z zračnimi listi. Značilnosti vodnih listov omogočajo, da rastline bolje kljubujejo vodnemu toku in valovanju ter

da učinkovito privzemajo raztopljena hranila in pline, katerih difuzija v vodi je za faktor  $10^4$  počasnejša kot v zraku. Rastline v vodi preskrbo s plini izboljšajo tudi z aerenhimi (sistemom zračnih prostorov), ki delujejo kot sistemi za premeščanje plinov in kot zbiralniki plinov, predvsem kisika in ogljikovega dioksida. Aerenhimi pa poleg oskrbe rastline s plini povečajo vzgon in zagotavljajo ustrezen položaj rastline v vodnem stolpcu. Omogočajo pa tudi učinkovito dihanje podzemnih organov ter prezračevanje rizosfere, saj se kisik iz korenin lahko sprošča v okolico, kar omogoča kolonizacijo tudi aerobnim bakterijam in glivam, ki pospešujejo mineralizacijo in povečajo dostopnost hranil. Prave vodne vrste so na Cerkniškem jezeru redke in se pogosteje pojavljajo le ob visokih vodostajih in na globljih delih, kjer se voda

zadrži dlje časa, na primer v strugi Stržena. Njihova prisotnost in pogostost sta večji pri dolgotrajnih poplavah v vegetacijskem obdobju. Pomembni gradniki rastlinske združbe pa so tudi močvirske rastline (helofiti). Najpogostejši med njimi je navadni trst (*Phragmites australis*), ki poseljuje predele jezerske kotanje, kjer globina vode ne presega dveh metrov.

### Rastlinstvo vodotoka Stržen

Velika količina padavin in posledično visoki vodostaj maja in junija leta 2019 sta ustvarila ugodne razmere za razvoj pravih vodnih rastlin in vodnih oblik rastlin z amfibijskim značajem (f. *aquatica*). Najboljše razmere zanje so v strugi Stržena, kjer je voda vse leto. Da bi raziskale, kaj raste v strugi Stržena, smo se konec junija v okviru terenskih vaj

Slika 3: Mojca na premcu. Foto: Anja Kos.





Slika 4: List na zračnem delu poganjka (A) in drobno razcepljeni vodni list širokolistne koščice (B).

Foto: Aleksander Kozina.



Slika 5: Listi plavajoče sladike na vodni površini.

Foto: Alenka Gaberšček.

pri predmetu Ekosistemi Anja, Mojca in Alenka s čolnom podale po strugi Stržena, od mosta pri Gorenjem jezeru do mosta pri Goričici. S seboj smo vzele ustrezno opremo, teleskopsko palico s kavljí («makrofitolovec») in dolgo vrv z obteženimi kavljí na koncu, s katerimi smo rastline lahko izvlekle iz vode in določile.

Naš namen je bil popisati pojavljanje različnih vrst makrofitov vzdolž vodotoka ter oceniti spreminjanje njihove zastopanosti. Da bi lažje sledile strugi in se ne bi izgubile v neskončnih površinah močvirskih rastlin, smo si pomagale z GPS-napravo. Strah je bil popolnoma odveč, saj je bila struga na vsej dolžini poplavljenega dela vodotoka po-

raščena z rumenim blatnikom (*Nuphar lutea*), rob vodotoka pa so omejevale emerzne močvirske rastline. Na prvem delu vodotoka, kjer je bila voda še v strugi, je bila to večinoma trstična pisanka (*Phalaris arundinacea*), na drugem, poplavljenem delu pa v glavnem navadni trst. Vzdolž celotnega toka pa se je pojavljal tudi jezerski biček (*Schoenoplectus lacustris*), ki lahko raste celo v globlji vodi kot navadni trst (sliki 1 in 3). Pogled v strugo je razkril, da je dno vodotoka v veliki meri poraščeno. V bližini mosta pri Gorenjem jezeru je bila voda razmeroma plitva (manj kot en meter) in v njej so prevladoval predvsem emerzne in potopljene močvirske rastline. Zelo zanimiva je bila





Slika 6: Struga Stržena na poplavljenem delu polja, ki jo vzdolž večine toka porašča rumeni blatnik.

Foto: Mojca Krapež.

videti širokolistna koščica (*Sium latifolium*) s poudarjeno heterofilijo, saj smo na isti rastlini našli kar pet oblik listov, od drobno razcepljenih v vodi do običajnih deljenih na zračnem delu poganjka (slika 4). Našli pa smo tudi njenega manjšega sorodnika, navadnega sovca (*Oenanthe fistulosa*), ki pa je imel »le« tri različne tipe listov z votlimi peclji.

Poleg navedenih vrst smo našle še plavajočo sladiko (*Glyceria fluitans*), ki s plavajočimi listi tvori črtaste vzorce na površini vode (slika 5) ter potopljene oblike bleščočeplo-dnega ločja (*Juncus articulatus*), vodne mete (*Mentha aquatica*), vodnega jetičnika (*Veronica anagallis-aquatica*), močvirske spominčice (*Myosotis scorpioides* agg.) ter trstične pisanke. Iz vode pa so štrleli poganjki navadne krlenke (*Lythrum salicaria*), močvirske

site (*Eleocharis palustris*) in trstične pisanke. Z oddaljevanjem od mosta se je globina vode povečevala in je bila večinoma globoka od dva do dva metra in pol. Zato se je spremenila tudi združba. Poleg plavajoče sladike (*Glyceria fluitans*), močvirske site in trstične pisanke smo našle še razkremenolistno vodno zlatico (*Ranunculus circinatus*), ki je tvorila goste cvetne preproge na površini vode, potopljeno obliko navadne smrečice in rumeni blatnik (slika 6). Vse te vrste lahko preživijo na kopnem, ko voda odteče, saj ob padcu vodostaja poženejo zračne liste ali kopenske poganjke. V osrednjem delu struge smo našle tudi klasasti rmanec (*Myriophyllum spicatum*), ki je prava vodna rastlina, ki nima amfibijskega značaja in ne prenese popolnega izsuševanja, zato ob presahnitvi hitro propade. To velja tudi za češljasti dristavec

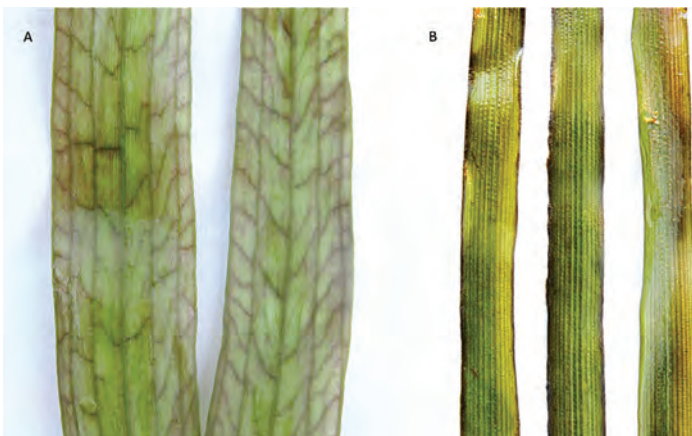


Slika 7: *Goste sestojе bleščečega dristavca smo našle v delu, kjer Stržen poplavlja.*  
Foto: Alenka Gaberšič.

(*Potamogeton pectinatus*), ki smo ga našle nekoliko bolj dolvodno, in bleščeči dristavec (*Potamogeton lucens*), ki se je množično pojavljal v drugi polovici pregledanega dela struge (slika 7).

Pogosto se je pojavljala tudi prava potočarka (*Rorippa amphibia*), ki je poleg razvoja različnolistnosti sposobna tudi podaljševanja stebel. Ob višanju vodostaja se internodiji močno podaljšajo, kar omogoča, da rastlina cveti nad vodo. Ob presahnitvi pa dolgi poganjki ostanejo na blatnem dnu in iz nodijev poženejo na spremenjene razmere pri-

lagojeni novi poganjki. Podobno strategijo ima tudi vodna dresen, ki je imela na koncu dolgih stebel razvite bleščeče plavajoče liste. Ko se rastline znajdejo na kopnem, iz nodijev poženejo pokončni poganjki z odlačenimi zračnimi listi. V plitvejšem delu struge se je pojavljala tudi vodna preslica (*Equisetum fluviatile*), katere votli poganjki so navpično štrleli iz vode. Posebno zanimive so bile različne močvirske vrste z amfibijskim značajem, ki v vodi razvijejo dolge trakaste liste. Mednje sodijo navadna streluša (*Sagittaria sagittifolia*), enostavni ježek (*Spargani-*



Slika 8: *Slika trakastih listov navadne streluše (A) in enostavnega ježka (B), ki so lahko dolgi tudi do dva metra.*

Foto: Alenka Gaberšič.

*um emersum*) in jezerski biček. Vodni listi streluše so lahko morfološko zelo raznoliki, od širokih trakastih (slika 8A) do trakastih s kopjasto konico, ki so lahko dolgi tudi več kot dva metra. Večinoma pa poznamo le kopenske kopjaste liste. Tudi vodni listi enostavnega ježka, ki smo ga našli le na enem mestu, so ozki trakasti (slika 8B).

V osrednjem delu struge smo opazili tudi ozke trakaste vodne liste jezerskega bička, ki jih ne bi prepoznali, če ne bi rastle iz istega šopa kot dolgi šibasti poganjki, ki štrlijo iz vode. Raznolike liste pa lahko razvijeta tudi velika zlatica (*Ranunculus lingua*) in suličastolistni porečnik (*Alisma lanceolatum*), ki sta prav tako našla svoj življenjski prostor v strugi Stržena. Med gostim rastlinstvom so prosto plavali primerki mešink (*Utricularia* sp.). Mešinke sodijo med mesojede rastline, pri katerih je pridobivanje hranil iz živalskega vira prilagoditev na mineralno revna rastišča. Številni mešički služijo kot pasti za vodne bolhe in druge drobne živali. Past s podtlakom v vrečki posrka plen, ki priplava mimo, v svojo notranjost. Mešinca ima najhitrejši lovni mehanizem med mesojedimi rastlinami, saj ves proces, od vzdraženja dlačic do posrkanja, traja le deset do petnajst milisekund. Njihova prisotnost kaže trenutno revno hranilno stanje tudi v vodnih telesih, ki navadno niso revna s hranili. Občasno pomanjkanje hranil je lahko posledica intenzivne rasti rastlin in obilnega redčenja vode z deževnico.

## Zaključek

V pregledanem delu vodotoka Stržen smo našle osemindvajset različnih taksonov rastlin. Najdeno število taksonov je bilo večje v delu, kjer je bila voda omejena na rečno strugo. Raziskovanje je bilo res pravi izziv, saj so bile nekatere vrste v vegetativni fazi in jih je bilo težko določiti. Delo so nam olajšali posamezni cvetoči primerki. Za težave je poskrbel tudi veter, ki je vedno pihal v napačno smer. Kljub temu je bilo veslanje v divjini, daleč od ponorelega sveta, nepozabno doživetje. Za pestrost so poskrbeli tudi nenadni preleti rac in čapelj ter oglašanje različnih vrst ptic, ki so bile v neposredni bližini v zavetju močvirskih rastlin. Najbolj presenetljivi so bili globoki, odsekanji zvoki bobnarice.

### Viri:

- Gaberšček, A., ur., 2003: *Jezero, ki izginja: monografija o Cerkniškem jezeru*. Ponatis. Ljubljana: Društvo ekologov Slovenije, 333 str.
- Kržič, N., Germ, M., Urbanc - Berčič, O., Kubar, U., Janauner, G., Gaberšček, A., 2007: *The quality of the aquatic environment and macrophytes of karstic watercourses*. *Plant Ecology: an International Journal*, 192: 107-118.
- Tratnik, D., Cvetko, M., Stergaršek, J., 2019: *Vodnik po Notranjskem regijskem parku*. Cerknica: Notranjski regijski park, 103 str.

# Pojavljanje klopov (Acarina: Ixodidae) na dveh testnih površinah v Hrastovljah in Kosezah

Maja Bitenc



Gozdni klop (*Ixodes ricinus*) v značilni drži s sprednjimi okončinami v zraku išče gostitelja.  
Vir: *Ixodes ricinus* – Factsheet for experts, 2014.

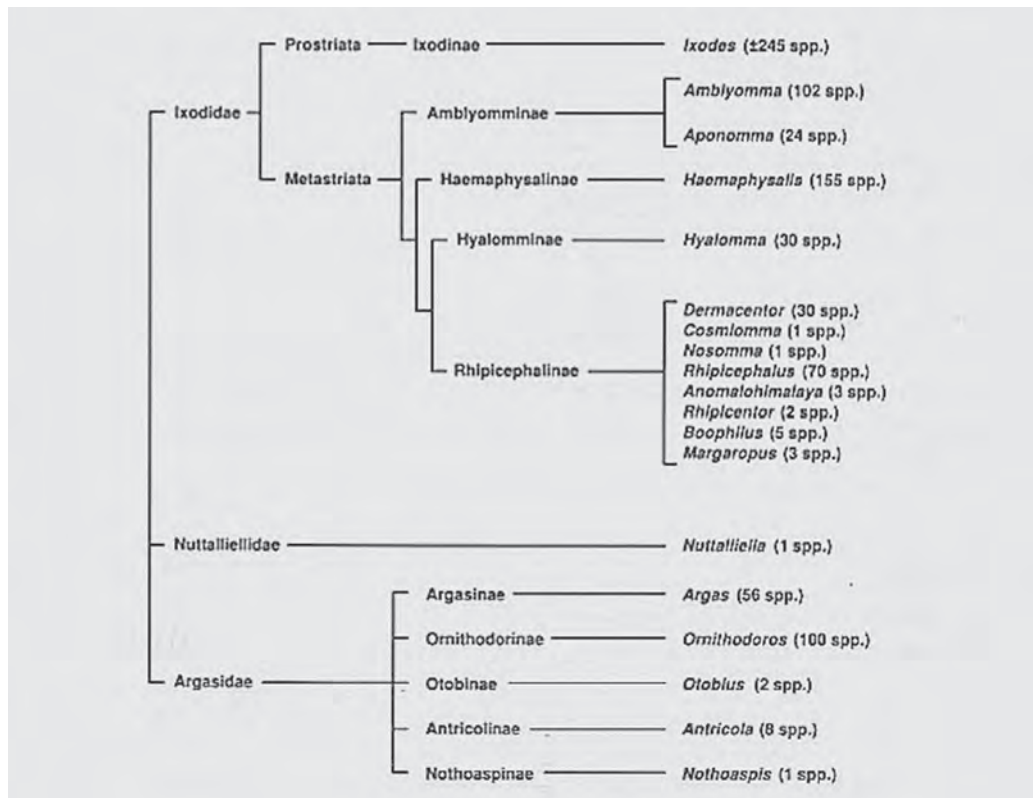
Klopi so zajedavci, ki se pritrdijo na kožo in hranijo s krvjo kopenskih sesalcev, ptic, plazilcev in redkeje dvoživk. Večina ima sposobnost preživetja več kot eno leto, medtem ko čakajo na gostitelja. Po hranjenju lahko polni krvi povečajo svojo težo tudi več kot stokrat. V nalogi, s katero sem se udeležila tekmovanja *Mladi raziskovalci* in zanj prejela zlato priznanje, želela ugotoviti, katere vrste se pojavljajo na dveh testnih površinah. Preučevala sem njihove razvojne stopnje, sezonsko aktivnost in njeno odvisnost od temperature.

Klopi so takoj za komarji najpomembnejši prenašalci povzročiteljev bolezni pri ljudeh

in živalih. Prvi zapisi o klopji mrzlici segajo v leto 1.500 pred našim štetjem. Do pomembnejšega odkritja je prišlo konec 19. stoletja, ko sta Američana Smith in Kilburne (1893) odkrila povezavo med klopi in boleznimi, ki jih prenašajo. Ugotovila sta, da je goveji klop (*Boophilus annulatus*) prenašalec protozoja *Babesia bigemina*, ki pri živini povzroča teksaško mrzlico.

## Evolucijska in sistematska razmerja klopov

Klope uvrščamo v deblo členonožcev (Arthropoda), razred pajkovcev (Arachnida) in podrazred pršic (Acari). Zaradi majhnega števila odkritih fosilov o evoluciji klopov



*Evolucijska in sistematska razmerja klopov (Sonenshine, 1991).*

ne vemo prav veliko. Prvi znani fosil klopa iz družine Ixodidae se je ohranil v jantarju iz zgodnjega terciarja, starem približno 50 milijonov let. Verjetno je, da so se predniki klopov, podobni današnjim mehkim ali usnjatim klopom (družina Argasidae), razvili pred približno 225 milijoni let.

### Značilnosti družin klopov

Danes poznamo več kot 850 različnih vrst klopov iz podreda Ixodida. Delimo jih v tri družine: Ixodidae (trdi ali ščitasti klopi), Argasidae (mehki ali usnjati klopi) in Nuttalliellidae. Zadnjo predstavlja samo ena vrsta: *Nuttalliella namaqua*. Družina Ixodidae je največja in ekonomsko najpomembnejša družina z velikim pomenom v veterini in medicini.

Po podatkih Prirodoslovnega muzeja Slove-

nije živi v Sloveniji 16 vrst klopov iz družine Ixodidae, med katerimi je najbolj razširjen gozdni klop (*Ixodes ricinus*) (Trilar, 2004).

### Biologija klopov

Telo klopa je sestavljeno iz kapitulum - nepravne glave, podosome, na kateri so okončine in genitalne pore, ter opistosome ali abdomna. Kapitulum in podosoma skupaj imenujemo prosoma, ki je značilna za pajkonce. Kapitulum nosi obustne dele, ne pa tudi oči. Bazalni del kapitulum nosi dve gibljivi heliceri, ki služita prebadanju kože. Notranji člen ima mehanske čutilne in kemijske čutilne receptorje, z njimi klopi zaznavajo sestavo gostiteljevih tekočin. Na kapitulumu se nahajajo tudi par gibljivih pedipalпов, ki imajo čutilno vlogo in varujejo zgornji del hipostoma, ter helicer in nazobčani hipo-

stom (bodalo), ki služi lažjemu zasidranju v kožo gostitelja. V hipostomu se nahaja kanal za hrano, po katerem kri iz gostitelja potuje skozi žrelo (pharynx).

Na hrbtni strani kapituluma samic je par poroznih regij s številnimi porami. Pore so zunanja izvodila žlez, katerih izločki proizvajajo snov za zaščito jajčec. Ta naj bi preprečevala oksidacijo nenasičenih lipidov, ki obdajajo jajčeca.

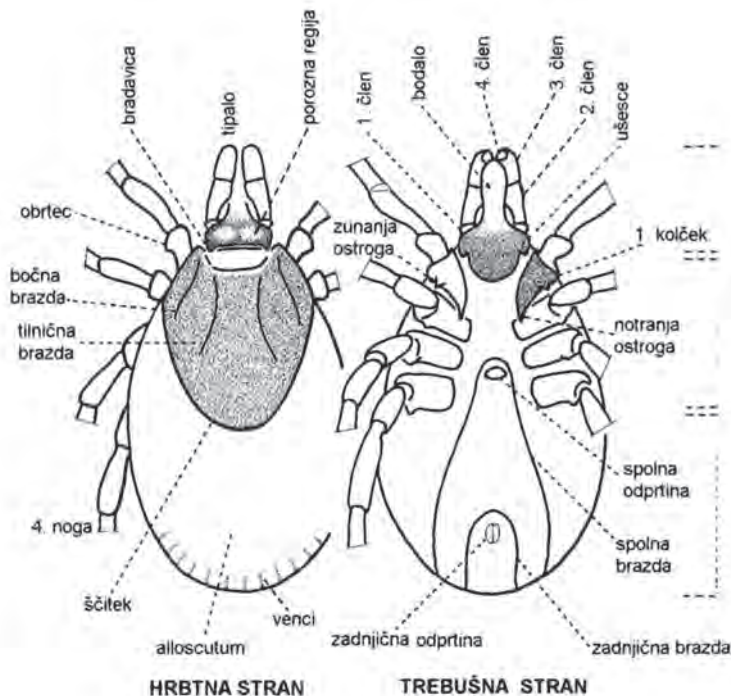
Ličinke imajo samo tri pare nog in so brez spolnih odprtin, poroznih regij in fovealnih por. Četrty par nog je viden kot zasnova okončin, ki se razvijejo na prehodu v nimfo. Nimfe imajo štiri pare nog in so prav tako brez spolnih odprtin. Odrasle samice in samci imajo štiri pare nog in veliko spolno odprtino. Predstavniki nekaterih rodov (na primer *Ixodes* in *Haemaphysalis*) so lahko brez oči. Pri samcih ščitok (scutum) pokriva celotno hrbtno stran telesa, medtem ko je pri samici in mladostnih stopnjah omejen le na sprednji del idiosome. Del, ki ni pokrit

s ščitkom, se imenuje aloskutum. Pigmentna znamenja, ki se pojavljajo na ščitku nekaterih vrst, kot na primer pri rodu *Dermacentor*, imenujemo ornament. Oblika ščitka in pigmentacija sta prav tako uporabni za določanje vrst.

Na trebušni strani se nahajajo vidne strukture: spolne odprtine pri odraslih, analna odprtina, kapitulum, začetni členi nog in parne dihalnice. Pri samcih (iz rodu *Ixodes*) je večji del trebušne strani pokrit s sklerotiziranimi ploščami. Štirje pari nog (trije pri ličinki) so vsi sestavljeni iz šestih členov, na hrbtni strani najbolj zunanjšega člena noge - stopalca - se nahaja Hallerjev organ - čutilni aparat, ki zaznava spremembe temperature, vlage, koncentracije ogljikovega dioksida, aromatskih spojin, kemikalij, feromonov in vibracije zraka.

### Razmnoževanje

Klopi imajo veliko razmnoževalno sposobnost. Samice iz družine Ixodidea in rodu



*Morfologija hrbtne in trebušne strani samice gozdnega klopa (Ixodes ricinus)*

(Hillyard, 1996; napisi v slovenščini: Tomi Trilar).

*Hyalomma* lahko izležejo tudi deset tisoč jajčec ali več. S krvjo napita samica postane nekakšna »razmnoževalna tovarna«, katere krvni obrok se prebavi in preusmeri v izdelavo jajčec. Pri tem lahko pride do transovarialnega prenosa povzročiteljev bolezni na potomstvo, torej prek jajčnikov. Razmerje med spoloma pri ličinkah je običajno 1 : 1. Partenogeneza - do razvoja zarodka iz jajčne celice pride brez oploditve - se pojavlja tako pri družini Argasidae kot tudi Ixodidae. Razmnoževanje sestavlja en gonotropični cikel, med katerim se v enem obroku krvi teža samice poveča tudi do stokrat, krvni obrok pa se porabi za proizvodnjo jajčec v eni sami ovipoziciji (obdobju odlaganja jajčec). Obstaja neposredna povezava med velikostjo klopa, količino obroka in številom jajčec. Samica se ne napije krvi, če ne pride do

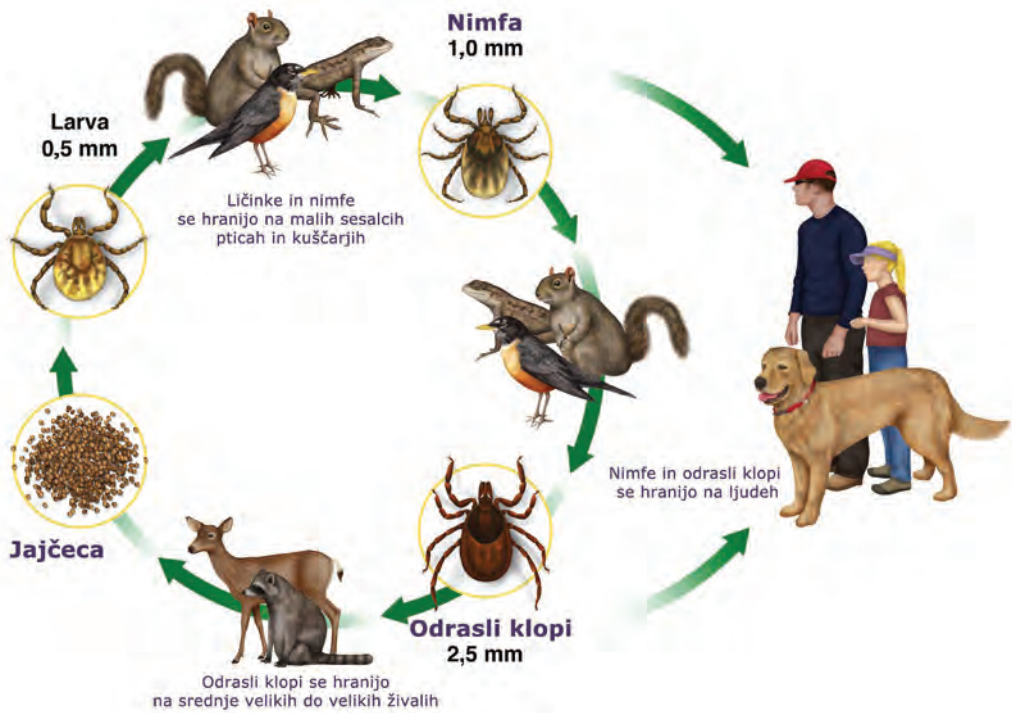
oploditve. Po parjenju in zaključenem hranjenju samica zapusti gostitelja. Temu sledita počitek in inkubacija jajčec, ki naj bi trajala dva ali več tednov, odvisno od vremenskih razmer (diapavza). Samica zavaruje jajčeca z voskasto prevleko, pri čemer si pomaga z Genejevim organom, značilnim samo za klope, ki se med ovipozicijo izviha iz telesne odprtine. Voskasti lipidni ovoj omogoča preživetje jajčec. Obdajanje enega jajčeca pri vrsti *Ixodes ricinus* traja od tri do dvanajst minut. Na koncu samica pogine od izčrpanosti. Jajčeca se izležejo po dveh tednih - izleganje pa lahko traja tudi do enega leta.

### **Kaj se torej zgodi, ko klop »ugrizne« gostitelja?**

Slina, ki jo izločajo klopi ob hranjenju, vsebuje številne beljakovine, proti katerim se

*Portret samice gozdnega klopa (Ixodes ricinus). Foto: Tomi Trilar, 2017.*





Življenjski cikel klopov. Vir: Klopi – nevarnost iz podrasti, 2013.

odzove gostiteljev imunski sistem. Ob pritrditvi na gostitelja pride do krčenja žil in strjevanja krvi, vnetja ter preobčutljivostne reakcije gostitelja, ko se bele krvne celice, vključno z bazofilci, zberejo na mestu vboda in sprostijo histamin in serotonin.

Žleze slinavke klopa kot odgovor na imunsko reakcijo gostitelja začnejo izločati protivnetne, protihemolitične in imunosupresivne substance. Sledita razširitev žile, s čimer se poveča pretok krvi, in izločanje antihistaminov, ki zavirajo bazofilno degranulacijo. V primeru, da klop zaužije bazofilne delce, sledi poškodba njegovega prebavnega sistema.

### Življenjski cikel klopov

Življenjski cikel klopov traja od enega do šest let, sestavljajo pa ga štiri stopnje – jajčeca in tri aktivne, parazitske stopnje: ličinka, nimfa in odrasla žival. Večina vrst iz družine Ixodidae je trigostiteljskih, vsa-

ka stopnja se hrani samo enkrat, pri čemer lahko povečajo svojo težo tudi do stokrat. V neugodnih razmerah preidejo v stanje diapavze, pri kateri se upočasnijo metabolizem, rast, razvoj in razmnoževanje, posledično ima veliko klopov sposobnost preživetja več kot eno leto brez obroka.

### Življenjski prostor klopov

Klopi so se prilagodili večini kopenskih življenjskih prostorov. Poselitev je odvisna od prilagojenosti na preprečevanje izgubljanja telesne vode, tolerance na temperaturo, diapavze in gostiteljev. Klopi so se prilagodili različnim življenjskim prostorom, kjer lahko pridejo v stik z ustreznim gostiteljem in so hkrati zaščiteni pred izsušitvijo, nizkimi temperaturami in drugimi neugodnimi razmerami. Mednje štejemo gozdove, travnike, savane, polpuščave ali celo puščavska območja.



## Iskanje gostiteljev

Pri členonožcih se pojavljata dve temeljni strategiji iskanja gostiteljev, aktivna in pasivna. Vednje klopov, ki iščejo gostitelja, delimo na eksofilno in endofilno. Endofilni klopi ostajajo skriti v živalskih gnezdih in drugod, kjer čakajo morebitnega gostitelja, medtem ko ga eksofilni klopi aktivno iščejo. Endofilni klopi uporabljajo tako imenovano strategijo zasede, pri kateri čakajo na mimoidočo žrtev. Eksofilne vrste klopov, ki živijo v travi, grmičevju ali na bolj odprtih in izpostavljenih površinah, splezajo po rastlinstvu, kjer čakajo na gostitelja s sprednjim parom okončin v zraku, v tako imenovanem položaju iskanja. Tresljaji, ki jih povzročajo gibanje živali, vonjave, temperatura, ki jo oddajajo, in sence povzročijo odziv klopa, katerega sprednje okončine se iztegnejo v zrak z gibanjem, ki posnema mahanje. Ko pridejo v stik z gostiteljem, se ga sunkovito oprimejo.

## Klopi kot prenašalci povzročiteljev bolezni

Po svetu, še posebej v Evropi, se je v zadnjem času razširila ozaveščenost o klopih in povzročiteljih bolezni, ki jih prenašajo. Prenašajo večje število bolezni kot kateri koli drugi členonožci. Patogene organizme lahko dobijo v svoje telo prek matere (prek jajčnika do jajčeca – transovarialni prenos) ali pa med hranjenjem na že okuženem gostitelju. Klopi so glavni prenašalci povzročiteljev bolezni ljudi in domačih živali. Klopi in organizmi, ki jih ti prenašajo, so v naravnem ravnovesju, kar imenujemo enzootična stabilnost.

## Nadzor klopov

Klopi letno prizadenejo osemsto milijonov goved in podobno število ovac. Med glavnimi problemi pri zatiranju klopov je njihova razpršenost po vegetaciji, zaradi česar je uporaba akaricidov (pesticidov, ki ciljajo družino Acari) nemogoča brez onesnaženja naravnega okolja z velikimi količinami

strupenih snovi (na primer DDT-jem), uporabljajo se namreč s pršenjem po vegetaciji. Veliko oviro predstavljata tudi njihova velika razmnoževalna sposobnost in zmožnost dolgega preživetja brez hrane.

Izraz biološki nadzor se splošno uporablja za opis namernega povečanja števila plenilcev, parazitov in patogenov, da bi z njimi omejevali populacije škodljivcev/prenašalcev. Za zmanjšanje števila klopov so prav tako učinkovite nekatere rastline iz rodu *Melantis* in *Stylosanthes*. Smrtnost med klopi je pogosteje rezultat izstradanja kot pa plenjenja naravnih sovražnikov, kot so ptice (škorci, vrane, kokoši ...). Ogrožajo jih tudi drugi členonožci (mravlje, pajki ...), manjši sesalci, plazilci, gliste in celo nekatere vrste rastlin. Izobraževanje je najverjetneje najučinkovitejša metoda za zaščito ljudi. Preprečevalni ukrepi so primerna in dolga oblačila ter uporaba repelentov, ki vsebujejo permetrin (insekticid). Eden od načinov je tudi imunizacija, umetno povzročena odpornost gostitelja za nadzor populacij klopov in bolezni, ki jih prenašajo.

## Potek in rezultati raziskovalne naloge

Pri svojem raziskovanju sem želela ugotoviti, katere vrste se pojavljajo na dveh testnih površinah, ob Koseškem bajerju in v Hrastovljah, razvojne stopnje najdenih klopov, njihovo sezonsko aktivnost in njeno odvisnost od temperature ter razlike v sezonski aktivnosti glede na različne testne površine. V obdobju od aprila leta 2018 do konca februarja leta 2019 sem pod mentorstvom dr. Tomija Trilarja iz Prirodoslovnega muzeja Slovenije in dr. Petre Starbek, profesorice biologije na Gimnaziji Bežigrad, v enomesecnem razmiku vzorčila klope na omenjenih testnih površinah. Prva testna površina ob Koseškem bajerju je del predalpskih pokrajin, v katerih prevladujejo mešani gozdovi in travniki. Druga testna površina v Hrastovljah je del obsredozemskih pokrajin. Nahaja se na stiku flišnega in kraškega sveta, tik pod Kraškim robom. Vzorčila sem na pa-

šniku, kjer se vse leto pasejo predvsem ovce, koze, osli in istrski boškarini. Za vzorčenje sem uporabila tako imenovano metodo vlečenja zastave. To je bela rjuha, velika 135 centimetrov x 110 centimetrov, ki je na eni strani pritrjena na palico in jo vlečemo po vegetaciji. To je učinkovita metoda za določevanje sezonske aktivnosti klopov, saj se jo oprimejo le osebkki, ki iščejo gostitelja.

Na podlagi števila ujetih klopov sem določila njihovo sezonsko aktivnost, stopnje v razvoju in vrste. Vzorceja nekajkrat zaradi neugodnih vremenskih razmer niso bila mogoča, in sicer aprila leta 2018 v Hrastovljah in januarja leta 2019 ob Koseškem bajerju. Našla sem dve vrsti klopov, gozdnega klopa (*Ixodes ricinus*) (Koseze in Hrastovlje) in rdečega ovčjega klopa (*Haemaphysalis punctata*) (Hrastovlje).

Postavila sem hipotezo, da sta obe vrsti, rdeči ovčji klop (*Haemaphysalis punctata*) in

gozdni klop (*Ixodes ricinus*), najbolj aktivni spomladi in jeseni, poleti pa aktivnost pade zaradi višjih temperatur in manjše vlažnosti. Skupno sem našla 2.497 klopov obeh vrst in treh razvojnih stopenj (ličinke, nimfe in odrasle živali).

V Kosezah sem našla 1.023 gozdnih klopov. Vrsta je imela dva vrha sezonske aktivnosti, najvišjega v obdobju pomlad–poletje in manjšega jeseni. S padanjem temperatur pozimi se je zmanjševalo tudi število ujetih klopov, a nikoli na nič. Ulov klopov je bil uspešen vse leto.

V Hrastovljah sem našla 1.474 klopov obeh vrst. 98,78 odstotka je bilo rdečih ovčjih klopov in samo 1,22 odstotka gozdnih klopov oziroma 18 osebkov, ki so prav tako imeli dve sezonski aktivnosti, poletno in jesensko, kar se nekoliko razlikuje od aktivnosti gozdnih klopov v Kosezah. A vendar

*Metoda pobiranja klopov z zastavo. Foto: Katarina Trilar Prosenec.*





*Vse stopnje razvoja vrste Ixodes ricinus: ličinka (levo spodaj), nimfa (druga z leve spodaj), samec (desno), samica (zgoraj).*

*Vir: Irmer, 2017.*

je zaradi majhnega števila ujetih gozdnih klopov v Hrastovljah težko sklepati o njihovi sezonski aktivnosti. V Hrastovljah je prevladoval rdeči ovčji klop, našla sem namreč 1.456 osebkov. Imeli so samo en vrh aktivnosti, in sicer ličinke junija, nimfe julija in odrasli osebki septembra. V času najvišjih temperatur je število najdenih klopov malce upadlo, prav tako od novembra dalje zaradi upadanja temperatur. Razvidno je, da sta bili obe vrsti aktivni v širokem temperaturnem območju, kar pomeni, da imata široko ekološko valenco za temperaturo. Pozimi se z nižanjem temperatur manjša število klopov, ki zaradi nižjih temperatur in manj Sončevega sevanja večinoma preidejo v diapavzo ali umrejo. Po drugi strani pa naj bi se sezonska aktivnost klopov, ki živijo na toplejših območjih, torej v Hrasto-



*Samec rdečega ovčjega klopa v obrambni drži.*

*Foto: Tomi Trilar, 2017.*

vljah, zaradi toplejšega podnebja začela bolj zgodaj spomladi in zavlekla pozno v jesen. Torej naj bi bilo pozimi pojavljanje klopov na Primorskem zaradi milejših zim večje kot v Kosezah, kar pa ni v sorazmerju z rezultati, saj v Kosezah klopi prej začnejo z aktivnostjo kot v Hrastovljah in jih je več v drugi polovici leta.

Svoje hipoteze ne potrjujem, gozdni klop ima v Kosezah res dva vrha aktivnosti, spomladi in jeseni, poleti pa število osebkov ne pade prav bistveno, ker je njihovo okolje gozd, ki dobro zadržuje vodo in je posledično dokaj vlažno. Gozdni klop v Hrastovljah pa ima večjo aktivnost poleti in jeseni. Rdeči ovčji klop ima v Hrastovljah samo en vrh aktivnosti, in sicer pozno spomladi, poleti je viden upad, ki je posledica visokih temperatur in nizke vlažnosti. Zaradi lege v Sredozemlju in milejšega podnebja bi pričakovala večje število rdečega ovčjega klopa v zgodnjih spomladanskih in poznih jesenskih mesecih.

Na število ujetih klopov so v veliki meri vplivale vremenske razmere in tudi uspešnost pri nabiranju. Za boljše rezultate bi sezonsko aktivnost morala meriti vsaj dvanajst mesecev, poleg temperature zraka pa bi bilo dobro meriti tudi temperaturo tal, vlažnost zraka in količino padavin. Kljub manjšemu številu ujetih klopov pozimi pa bi rekla, da imata obe vrsti široko strpnostno območje za temperaturo. Zato previdnost pred klopi velja vse leto.

#### Literatura:

Agencija Republike Slovenije za okolje, 2018. *Arso meteo*. Pridobljeno s <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bbR2cv0WZ0V2bvEGcw9-ydJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WabxXYiNGapZZZ8tHZv1WYp5mOnMHb vZZZuWYnwcChjXYiVGdlJnOn0UQQdSf>.  
Estrada Peňa, A., Bouattour, A., Camicas, J. L., Walker, A. R., 2004: *Ticks of Domestic Animals in the Mediterranean region: A Guide to Identification of species*. Zaragoza: University of Zaragoza.  
Hillyard, P. D., 1996: *Ticks of North-West Europe, Synopses of British Fauna*. London: The Natural History Museum.

Irmer, J., 2017: *New TBE transmission pathways discovered*. Pridobljeno s <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/en/article/news/new-tbe-transmission-pathways-discovered/>.

*Ixodes ricinus* – Factsheet for experts, 2014. Pridobljeno s <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/facts/tick-factsheets/ixodes-ricinus>.

*Klopi – nevarnost iz podrašč, 2013*. Pridobljeno s <http://mojalekarna.blogspot.com/2011/06/klopi-nevarnost-iz-podrašč.html>.

Senegačnik, J., 2016: *Slovenija 2: Geografija za 4. letnik gimnazij*. Ljubljana: Modrijan.

Sonenshine, D. E., 1993: *Biology of ticks: Volume 2*. New York: Oxford University Press.

Sonenshine, D. E., 1991: *Biology of ticks: Volume 1*. New York: Oxford University Press.


Trilar, T., 2004: *Ticks (Acarina: Ixodidae) on birds in Slovenia. Acrocephalus*, 25 (123): 213–216.

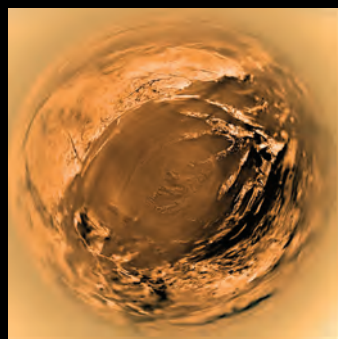
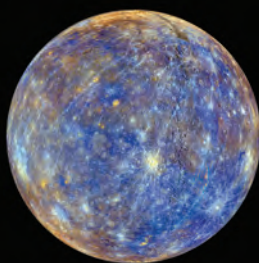
Trilar, T., 30. 3. 2017. *Privredoslovni muzej Slovenije: Kustodiat za nevretenčarje. Haemaphysalis punctata Canestrini et Fanzago, 1878*. Pridobljeno s <http://www1.pms-lj.si/animalia/galerija.php?load=2>.



Maja Bitenc se je rodila leta 2000 v Ljubljani. Po končani bežigrasjski gimnaziji se je vpisala na Biotehniško fakulteto, smer biologija. Svoj prosti čas najraje preživlja v naravi s svojima kužkoma.

# PROTEUS

letnik 81  mesečnik za poljudno naravoslovje  
[www.proteus.si](http://www.proteus.si)



# Letno kazalo

## Stvarno kazalo

### Članki

Matjaž Stenovec, Robert Zorec: **Sintezna patobiologija: raziskave mehanizmov nevrodegeneracije** (področje: sintezna biologija) 12

Luka Kristanc: **Razvojne motnje ter kronična obolenja živčevja v povezavi z užjitimi in zdravilnimi rastlinami** (področje: medicina in botanika) 17

Vesna Žgavec: **Za vsako bolezen rožca raste** (področje: medicina in etnologija) 28

Rok Renko: **Zakoni, zapisani v Svetem pismu, in njihov medicinski pomen** (področje: zgodovina medicine) 37

Bojan Radej: **Slepi za resnico** (področje: znanost in resničnost) 54

Kristijan Skok, Andrej Markota, Marko Gosak: **Uravnavanje telesne temperature** (področje: biologija in medicina) 60

Natalija Bohinc, Urška Blaznik, Urška Rozman, Sonja Šostar Turk: **Pesticidi v pitni vodi** (področje: javno zdravstvo) 73

Marijan Prosen – Majo: **Dogodki in pojavi ob ekliptiki** (področje: astronomija) 84

Marina Dermastia: **Plameneče življenje na veliki nogi** (področje: zoologija) 109

Anja Bubik, Eva Ravnjak: **Mononatrijev glutaminat – (ne)pogrešljivi aditiv današnjega časa** (področje: prehrana) 120

Anamarija Hribar: **Zgodovina psihiatrije** (področje: zgodovina medicine) 125

Igor Dakskobler, Branko Vreš, Ljudmila Dakskobler, Boris Turk in Urban Šilc: **Čija (*Salvia hispanica*) – od prehranskega dopolnila do invazivne tujerodne vrste?** (področje: botanika) 161

Matjaž Simončič: **Kemijske reakcije v gostih molekularnih oblakih** (področje: kemija) 172

Katarina Miklavc: **Pomen zdravnikovega pogovora z bolnikom – beseda, prvo zdravilo** (področje: medicina) 177

Matija Gogala: **Toča žuželk izpod neba** (področje: entomologija) 181

Jurij Kurillo: **»Invazija« ščinkavcev** (področje: ornitologija) 183

Tjaša Zagoršek, Ivan Kljun: **Nezakoniti lov in ubijanje ptic v Sloveniji** (področje: varstvo narave) 185

Andrej Rozman, Aleš Poljanec, Kostja Jerovšek, Jernej Trnkoczy, Igor Dakskobler:

**Macesnov pragozd Macesnje nad dolino Belega potoka v Julijskih Alpah** (področje: gozdarstvo) 198

Kazimir Tarman: **Flores – otok vulkanov in skrivnostnih hobitov** (področje: paleoantropologija) 212

Benjamin Zupančič: **Neuspehi vojne proti drogam. Kako je razviti svet obrnil hrbet zlorabi mamil** (področje: medicina) 221

Leon Marič, Ana Vaupotič, Janja Trček: **Sinteza bakterijskih zunajceličnih polisaharidov** (področje: mikrobiologija) 230

- Jurij Kurillo: **Metulji monarhi ogroženi** (področje: ekologija) 235
- Zvonka Zupanič Slavec: **Iz anatomske učilnice Leonarda da Vinci (1452–1519)** (področje: zgodovina medicine) 246
- Tina Bregant: **Starševstvo – zapisano v možganih** (področje: nevrobiologija) 255
- Petra Pavšič: **Ajavaska, trta duše** (področje: etnofarmakologija in nevrobiologija) 263
- Živa Bombek: **Tudi dvoživke imajo svojo pot** (področje: varstvo narave) 279
- Mirko Cigula: **Bobri ob reki Pesnici** (področje: ekologija) 283
- Tomaž Zwitter: **Prva slika neposredne okolice črne luknje** (področje: astrofizika) 294
- Kazimir Tarman: **Kaj Darwin ni rekel?** (področje: evolucija in družba) 300
- Polona Sušnik, Andreja Urbanek Krajnc, Rebeka Lucijana Berčič: **Murve na Slovenskem – dediščina nekdanjega svilogojstva** (področje: naravna in kulturna dediščina) 306
- Matija Križnar: **Sprehod skozi naravo severne Patagonije – polotok Valdés z okolico** (področje: ekologija) 316
- Marko Razpet: **Plemljev trikotnik** (področje: matematika) 328
- Matija Križnar, Jure Ušeničnik: **Fosilni morski ježki iz fliša** (področje: paleontologija) 330
- Katja Valjavec, Andrej Perdih: **Razvoj zdravih učinkovin in metode računalniško podprtega načrtovanja** (področje: kemija, medicina in računalništvo) 350
- Luka Kristanc: **Hormonske motnje in jetrne okvare, povezane z užjitimi in zdravilnimi rastlinami** (področje: medicina in botanika) 359
- Andrej Likar: **Znanost pri starih Grkih** (področje: zgodovina znanosti) 368
- Katja Vörös: **Razmišljanje o smrti in pravi do dostojanstvenega umiranja. Smrt v religiji in filozofiji, pravica do dostojanstvenega življenja in umiranja vseh** (področje: medicina) 374
- Jurij Kunaver: **Johann Wolfgang von Goethe in njegov pomen za nastajanje evropskega znanstvenega naravoslovja, posebej geologije. Popotni vtisi iz Češke, Harza in Weimarja** (področje: zgodovina geologije) 392
- Tomaž Zwitter: **Ionski raketni pogon** (področje: vesoljska tehnologija) 407
- Anja Kos, Mojca Krapež, Alenka Gaberščik: **Cerkniško jezero, raj za rastline dvoživke** (področje: ekologija) 413
- Maja Bitenc: **Pojavljane klopov (Acarina: Ixodidae) na dveh testnih površinah v Hrastovljah in Kosezah** (področje: ekologija) 420
- Boris Sket: **Kako povedati. Besede, izrazi, formulacije; pomeni in težave v naravoslovnih besedilih** (področje: jezik v naravoslovju) 437
- Mina Piriš, Lučka Šetinc: **Škodljivi vplivi sodobnega načina življenja na človekov imunski sistem** (področje: medicina) 446
- Barbara Repič, Tina Skalar, Marjan Marinšek: **Perovskitne sončne celice** (področje: kemija) 459

## Geologija v šoli

Rok Brajkovič, Nina Valand, Katarina Kadivec, Dominik Božič, Petra Žvab Rožič: **KamenCheck** – učni pripomoček za prepoznavanje in razvrščanje kamnin 270

## Narava na znamkah

Jurij Kurillo: **Metulj lastovičar na poštinih znamkah – z eno napako** 131

## Naše nebo

Mirko Kokole: **Vrzel v Hertzsprung-Russellovem diagramu** 45

Mirko Kokole: **Gremo na Merkur** 93

Mirko Kokole: **Nebo v novembru** 139

Mirko Kokole: **Sonda *InSight* je pristala na Marsu** 186

Mirko Kokole: **Sonda *Nova obzorja* pri asteroidu Ultima Thule** 237

Mirko Kokole: **Astronomi potrdili razpadanje zvezdne kopice** 285

Mirko Kokole: **Astronomi potrdili obstoj molekule fullerena C<sub>60</sub> v medzvezdnem prostoru** 333

Mirko Kokole: **Bo Jupitrova velika rdeča pega izgnila?** 381

Mirko Kokole: ***Kačji pastir* na Titanu** 476

## Nobelove nagrade za leto 2018

Miha Pavšič: **(Po)moč evolucije. Nobelova nagrada za kemijo** 102

Radovan Komel: **Kako z lastnim imunskim odzivom uničiti raka – ob letošnji Nobelovi nagradi za medicino** 150

Natan Osterman: **Nobelova nagrada za fiziko 2018: Optična pinceta in metoda za ustvarjanje ultrakratkih optičnih sunkov visokih intenzitet** 342

## Nove knjige

Aleksander Manohin: **Monumentalna Zgodovina zdravstva in medicine na Slovenskem** 141

## Obletnice

Ivica Kavčič: **Ob deseti obletnici smrti dr. Darinke Soban (1921–2008)** 134

## Počastitve

Zvonka Zupanič Slavec: **Botanični vrt zdravnikom posvetil drevo mokovec. Ob devetdesetletnici primarija Luke Pintarja in za petinosemdeset let predavanj zgodovine medicine** 474

## Pogovori

Tomaž Sajovic: **Luka Pintar, sopotnik Proteusa in človek, ki je poznal Pavla Grošlja** 6

## Pomniki slovenskih naravoslovk in naravoslovcev

Nada Praprotnik: **Park Angele Piskernik** 137

## Veliki popularizatorji astronomije

Marijan Prosen: **Nenadkriljivi popularizator astronomije – Camille Flammarion** 468



**Življenjski jubileji**

Stane Peterlin, Igor Dakskobler: **Mag. Andrej Seliškar – sedemdesetletnik** 472

**Uvodnik**

Tomaz Sajovic 4, 52, 100, 148, 196, 244, 292, 340, 390

**Prevodi**

Andreja Šalamon Verbič 3, 51, 99, 147, 195, 243, 291, 339, 388

**Letno kazalo**

Tomaz Sajovic 429

**Kazalo avtoric in avtorjev****B**

Rebeka Lucijana Berčič 306

Maja Bitenc 420

Urška Blaznik 73

Natalija Bohinc 73

Živa Bombek 279

Dominik Božič 270

Rok Brajković 270

Tina Bregant 255

Anja Bubik 120

**C**

Mirko Cigula 283

**D**

Igor Dakskobler 161, 198, 472

Ljudmila Dakskobler 161

Marina Dermastia 109

**G**

Alenka Gabersčik 413

Matija Gogala 181

Marko Gosak 60

**H**

Anamarija Hribar 125

**J**

Kostja Jerovšek 198

**K**

Katarina Kadivec 270

Ivica Kavčič 134

Ivan Kljun 185

Mirko Kokole 45, 93, 139, 186, 237, 285,  
333, 381, 476

Radovan Komel 150

Anja Kos 413

Mojca Krapež 413

Luka Kristanc 17, 359

Matija Križnar 316, 330

Jurij Kunaver 392

Jurij Kurillo 131, 183, 235

## L

Andrej Likar 368

## M

Aleksander Manohin 141

Leon Marič 230

Marjan Marinšek 459

Andrej Markota 60

Katarina Miklavc 177

## O

Natan Osterman 342

## P

Miha Pavšič 102

Petra Pavšič 263

Andrej Perdih 350

Stane Peterlin 472

Mina Pirih 446

Aleš Poljanec 198

Nada Praprotnik 137

Marijan Prosen – Majo 84, 468

## R

Bojan Radej 54

Eva Ravnjak 120

Marko Razpet 328

Rok Renko 37

Barbara Repič 459

Andrej Rozman 198

Urška Rozman 73

## S

Tomaž Sajovic 4, 6, 52, 100, 148, 196,  
244, 292, 340, 390, 429

Matjaž Simončič 172

Tina Skalar 459

Boris Sket 437

Kristijan Skok 60

Matjaž Stenovec 12

Polona Sušnik 306

## Š

Andreja Šalamon Verbič 3, 51, 99, 147,  
195, 243, 291, 339, 388

Lučka Šetinc 446

Urban Šilc 161

Sonja Šostar Turk 73

## T

Kazimir Tarman 212, 300

Janja Trček 230

Jernej Trnkoczy 198

Boris Turk 161

**K**

Andreja Urbanek Krajnc  
306

**U**

Jure Ušeničnik 330

**V**

Nina Valand 270  
Katja Valjavec 350  
Ana Vaupotič 230

Katja Vöröš 374

Branko Vreš 161

**Z**

Tjaša Zagoršek 185

Robert Zorec 12

Benjamin Zupančič 221

Zvonka Zupanič Slavec  
246, 474

Tomaz Zwitter 294, 407

**Ž**

Vesna Žgavec 28

Petra Žvab Rožič 270

*Iz prispevka Jurija Kurilla Izguba čuta za migracije pri gojenih monarhib, ki bo izšel v naslednji številki Proteusa. Ogromna gruča prezimujočih monarbov na drevesu v Montereyju v Kaliforniji. Foto: Gregorij Kurillo.*



# *Proteus*

*Izhaja od leta 1933*

*Mesečnik za poljudno naravoslovje*

*Izdajatelj in založnik: Prirodoslovno društvo Slovenije*

**Odgovorni urednik:**

*prof. dr. Radovan Komel*

**Glavni urednik:**

*dr. Tomaž Sajovic*

**Uredniški odbor:**

*Janja Benedik*

*prof. dr. Milan Brumen*

*dr. Igor Dakskobler*

*asist. dr. Andrej Godec*

*akad. prof. dr. Matija Gogala*

*dr. Matevž Novak*

*prof. dr. Gorazd Planinšič*

*prof. dr. Mihael Jožef Toman*

*prof. dr. Zvonka Zupanič Slavec*

*dr. Petra Draškovič Pelc*

**Lektor:** *dr. Tomaž Sajovic*

**Oblikovanje:** *Eda Pavletič*

**Angleški prevod:** *Andreja Šalomon 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*

# Kako povedati

## Besede, izrazi, formulacije; pomeni in težave v naravoslovnih besedilih

*Boris Sket*

### Le začnimo pri Homeri (Uvod)

Jezik in izrazoslovje sta namenjena sporazumevanju. Nepravilna ali spremenjena raba besed in spremenjeno oblikovanje besedil vodita v nesporazume, nerazumevanje. Osnova takim nesporazumom je lahko nevednost (neizobraženost, nerazumevanje, miselna površnost ...) ali preprosto izumetničenost. Jezik se seveda razvija in razvoj je spreminjanje. To moramo sprejeti. A z »znanstvenim« jezikom, na primer jezikom naravoslovne vsebine, so pri tem težave. Po eni strani je prav to jezik, ki mu je spreminjanje vsiljeno, nujno. Skoraj vsako novo spoznanje zahteva tudi novo označitev, poimenovanje ... Brez tega preprosto ne gre. Obenem pa je ravno to jezik, ki zahteva posebno previdnost v rabi besed, saj vsaka sprememba lahko pripelje do nesporazuma. Prav ta jezik moramo ohranjati, pomen besed, pojmov, moramo vzdrževati čim bolj nespremenjen, nedvoumen. »Razvoju« navkljub.

V slovenskih **znanstvenih** naravoslovnih besedilih naletimo na množico težav, nekaj jih bom skušal urediti in pojasniti. To so na primer spremembe pomena, pa neprimerna raba izrazov, pa uporaba izrazov ali formulacij, ki napeljujejo na napačno razmišljanje, sklepanje. Marsikateri bralec, tudi če je znanstvenik, si pa želi, da je jezik sam na sebi logičen in celo lep. Nepotrebni lepotni spodrsliji takšnega bralca preprosto motijo. V **poljudnih** besedilih imamo še dodatne težave. Na strani pisca, kako povedati zapleteno stvar, da jo bodo razumeli tudi nestrokovnjaki. In na strani bralca, doklej

verjeti piscu, da njegove poenostavitve še ne zavajajo. Kako ugotoviti, ali se je pisec le nerodno izrazil, ali je napisano res nekaj novega, res v nasprotju z že prej usvojenim? Je bil pisec strokovnjak, ki ve, kaj si lahko dovoli? Kako prepoznati, da je novinar ali sekundarni pisec premalo verno posnel neko znanstveno besedilo? Kako prepoznati pomoto ali kako prepoznati blef in bleferja? Prosim za malo uvidevnosti, če sem ponekod uporabil primer, ki ni niti znanstvene niti naravoslovne narave. Gre le za demonstracijski pripomoček.

Do nesporazumov pripelje tudi na videz čisto spodobno rabljeni jezik, če so misli, trditve, neprimerno ali nerodno formulirane. Temu je lahko razlog neznanje, piščevo nerazumevanje. Pogosto pa kar dober namen (saj veste: Pot v pekel je posuta z dobrimi nameni ...), da bi bil zapis čim prijetnejši za branje in čim lažji za razumevanje. To je seveda res hvalevredno, če ne gremo v prizadevanju predaleč ali pa v napačno smer, kar se dogaja kar zelo pogosto. Včasih poenostavljeno besedilo preprosto zavaja.

Kot dolgoletnega bralca, tu in tam tudi pisca, poljudnih in znanstvenih besedil, me je vedno marsikaj motilo. Končno sem sklenil popustiti dolgoletnim pritiskom vestí in želji, da bi se znebil tega bremena – sklenil sem nekaj zapisati ... Pisanje sem namenil bralcem, da bodo lažje razumeli, zakaj česa ne razumejo, da bodo razumeli, da česa preprosto ne moremo razumeti, da pomislijo na to, da morda tudi pisec česa ni razumel. Ali pa, da bo prav prebral nekatere trditve, ki so pogosteje zapisane napačno ali vsaj premalo prav. No, in po malem skušam biti

## Za konec uvoda: primer »oziroma«

Začnimo za konec uvoda z eno najpogosteje zlorabljanih besed, »**oziroma**«. V prebranih besedilih sem uspel izluščiti tele domnevne pomene: »**kar pomeni ...**«; »**in**«; »**ali**« (= torej, »to pomeni«); »**pravzaprav ne to, ampak ...**«. Nekaj primerov.

V stavku: »**Kroglice so bile rdeče oziroma modre barve**,« je pomen besede povsem nedoločljiv. Lahko pomeni: »**pravzaprav ne rdeče, ampak modre**«; »**so bile rdeče in modre barve**«, kar spet lahko pomeni: »**nekatero rdeče, druge modre**« ali pa »**so bile modro-rdeče**« ali (oziroma!) »**dvobarvne**«.

V neki doktorski disertaciji sem pa prebral: »**Organizme smo nabirali enkrat letno v spomladanskem oziroma jesenskem času**.« Kaj naj pa to pomeni? Kdaj torej?

*Slovar slovenskega knjižnega jezika* pravi za »**oziroma**«: »publ., v ločnem priredju **1.** za vezanje {dveh} stavkov ali stavčnih členov, ki sta vsebinsko porazdeljena na dve prej omenjeni osebi, stvari ali skupini oseb, stvari.« A beseda je za naravoslovna besedila skoraj neuporabna.

tudi poučen za pisce. Domišljavo si drznem opozoriti na pasti, ki bi se jim veljalo izogniti pri pisanju. Bralcu in sebi v dobro. Od tu naprej pa poskušajmo šibkosti in napake navajati v nekakšnem redu, po »poglavjih«, ki so:

### Spremembe imen, izrazov.

#### Ohlapno izražanje, dvoumni izrazi.

#### Napačno rabljene besede (ali besedne zveze).

#### Modno in sproščujoče izražanje.

#### Napačna raba besed (ali besednih zvez).

#### Napačen prevod in estetski kiksi.

#### Brezupno opletanje s količinami in števili.

#### Čisto neprimerno, nerodno izražanje, teleologija.

#### Pa še nekaj stavkov za lepoto.

### Sprememba imen, izrazov,

je lahko posledica nemarnosti ali želje po izboljšanju. Lahko je seveda razlog za spremembo, zaviti v meglo preteklosti, pozabljen. Ali pa je kar posledica pregrešne želje po »originalnosti«.

Nekatera živalska imena, priljubljena v njihovih mladih letih (torej že zdavnaj), so preprosto izginila. Namesto splošno poznanih **morskih somov** imamo zdaj morske pse,

namesto **letečih psov** letече lisice, **morskega pajka** so prekrstili v veliko rakovico. Namesto **morskih gob** imamo spužve, kar je dobro; prvotno ime se je ohranilo le še pri »gobah« za umivanje, ki pa so zdaj le še iz plastičnih mas (sintetike) in celo te komaj še uporabljamo. No, ne ravno. Nova imena ne služijo nič slabše, v primeru prekrščenja v spužve bi celo rekel, da smo prišli na boljše. Čeprav bi kak zadržev v tem videl nezaželen hrvatism. Mislim, da smo za jastrebe imeli neke druge ujede kot danes. In še bi se našlo.

Pa tudi splošnejši pojmi spreminjajo imena. Danes skoraj ne vemo več, da smo **membrani** nekoč lepo rekli **opna**. Tudi ne, da je **marmoriran** vzorec pravzaprav **marogast**. Morda se kdo spomni le še Žogice Marogice. Kaj ne zveni očarljivo?

Nekatero izraze smo celo sami zavestno spremenili, popravili. Tako smo na primer **biospeleologijo** zamenjali s **speleobiologijo**. Vsebinsko te vede namreč ni nekako biološko obarvano jamoslovje (torej biološka speleologija), to je biologija jam, ali natančneje, biologija podzemeljskih habitatov in živali. Poudarek je torej na biologiji.

Pojma, ki sta pogosteje na tapeti, sta **sovražniki** in **roparji**. Na primer: »Pingvini

... Želijo se namreč prepričati, da nanje ne preži njihov najhujši sovražnik – leopardji tjulenj ... najljubša hrana so mu prav pingvini ...» (ScII, 2016: 80.)

Živali v resnici ne ropajo po svojem okolišu, le svoj nujni obrok si **uplenijo**. Zato je neki moj kolega poskusil vpeljati bolj nevtralni izraz **plenilci**, kar se mu je izjemno dobro in hitro posrečilo. Sploh pa živali ali rastline ne škodujejo drugim iz nekih **sovražnih** nagibov. Tisto, kar še vedno največkrat imenujemo sovražnike, so dejansko bodisi plenilci (predatorji) bodisi zajedalci. Ena vrsta drugi lahko konkurira, jo zajeda, a vse to brez trohice sovraštva ali kakega podobnega čustva. To so kvečjemu **nasprotniki**, nič hujšega.

Malo drugače je z besedo **koda**. Te najbrž nismo »pokvarili« zavestno, namensko, temveč bolj pod pritiskom govornih težav, torej zaradi praktičnosti in lepote govorjenega. Mišljen je pravzaprav **kod**, ki pa je Slovencu (v imenovalniku ali nominativu) težko razločno izgovorljiv. Kod je ključ za prevajanje (kodiranje, kodificiranje, šifriranje) informacij; je sistem dogovorjenih znakov; semkaj spadata seveda tudi genski kod, pa črtna koda. Izhaja iz latinskega *codex* – knjiga, zakonik. Koda v nepokvarjeni rabi pa je – zaključni del skladbe (v glasbi). Seveda spet iz latinščine, tokrat *coda*, *cauda* – rep. Torej, recimo, koda v informatiki je potvorba, sprejemljiva praktičnosti in lepoti v prid.

Naj omenim še primer, o katerem sem že nekje pisal. Zamenjava izraza »naravni izbor« z »**naravnim odbiranjem**«. Problem ni samo v tem, da je izraz po nepotrebnem nov. Problem je neprimernost novega izraza. Za razliko od umetnega izbora (umetne selekcije), ki je res odbiranje, v »postopku« naravnega izbora odbiranja preprosto ni.

### Ohlapno izražanje, dvoumni izrazi

Kolonija je skupina družno živečih osebkov. Tukaj se vsi bolj ali manj strinjamo. Vendar pa je to zelo nedoločna, ohlapna oznaka. Oznaka za enako ohlapen pojem.

Pri nas smo nekoč že uporabljali za različne tipe kolonij različne, bolj določujoče izraze, Angloameričani pa ne. In tako danes pod vplivom angleške vsepomenske *colony* tudi v slovenščini opuščamo raznoliko (in bolj natančno) poimenovanje. Skušajmo to popraviti. **Kolonija** naj še vedno ostane na primer kolonija (skupina, družba) gnezdečih galeb, kolonija pingvinov in podobno. Visoko organizirano skupino združnih žuželk, na primer mravelj ali čebel, pa bomo raje imenovali **zadruga**, saj se v nekaterih primerih njena sestava in delovanje neverjetno ujemata s staroslovansko zadrugo (preverite po *Wikipediji* (*Wikipedii*): »*A zadruga* (Cyrillic: *Задруга*, pronounced [ˈzâ:drugɑ]) refers to a type of rural community historically common among South Slavs... formed of one extended family or ...« In tako dalje.). To je namreč skupina s povsem določeno sestavo, z določenim načinom medsebojnega sporazumevanja, medsebojnih odnosov, z delitvijo dela. So tudi zadruge iz različnih osebkov, polimorfne zadruge. Manj primerna, a uporabljana izraza za isto sta družina in država. Za skupino organsko, telesno, povezanih osebkov so si že moji učitelji izmislili oznako **korm**, slovensko lepše **kopuča**. Take so »kolonija« znamenitega volvoksa ali pa »kolonije« koral. Tudi v kormu so lahko (pod) osebki različni in je tak korm pravzaprav že osebek višje stopnje, saj so različni osebki v njem med seboj odvisni.

V tesni zvezi s povedanim pa je še označitev nastanka kopuča. Navadno brez pomisleka zapišejo: »Celice **so se sprijele**.« V resnici pa večcelične tvorbe le v izjemnih primerih nastajajo z združevanjem, sprijemanjem osebkov, navadno nastanejo tako, da se osebki po delitvi ne ločijo, ostanejo združeni v večceličnih tvorbah.

In v evoluciji je morda prišlo celo do nastanka večceličnosti z ločevanjem v celice znotraj enoceličnega osebka. Tako naš cenjeni pokojni učitelj prof. Jovan Hadži; bistro, a ne sprejeto ...

Še nekaj. Izraz **celica** je v splošni rabi tu-

di za telo »enoceličnih« bitij, bakterij, alg, protozojev; če smo natančni, pa so celice le osnovni gradbeni delčki (mnogoceličnega) telesa in tako imenovani enoceličarji sploh niso sestavljeni iz celic, so dejansko neceličarji. Spet ne preveč upoštevana Hadžijeva »domislica«. Ki je bila bistvena v sklopu Hadžijeve hipoteze o nastanku večceličnosti s celularizacijo, sicer pa manj.

Zlasti v raznih zdravniških nasvetih zelo pogosto naletimo na takele: »zaradi diuretičnega delovanja pomaga pri odpravljanju zastajanja **tekočin** v telesu« ali pa »tablete jemljite z veliko **tekočine**«. V teh in podobnih primerih je verjetno bistvena le voda (in sploh ne pride v poštev za kakršne koli tekočine kot alkohol, bencin, živo srebro ...); torej, navadno bi veljalo reči, da v telesu (v tkivih) zastaja voda, saj je vse drugo le dodatek. Tablete pa tudi jemljemo z vodo ali vsaj s **pijačo** (po možnosti nealkoholno).

K »ohlapnemu izražanju« bi lahko uvrstili tudi neprimerno rabo oklepaja. Z besedami v oklepaju želi pisec navadno pojasniti ali natančneje določiti pomen prej povedanega. Pri tem pa s prisilno rabo prvega sklona v oklepaju vse prepogosto zabriše odnos med besedami pojasnila in besedami zunaj oklepaja. Na primer: »To je primer bionike (biomimetika), vede ...« namesto »To je primer bionike (biomimetike), vede ...« Ali pa: »Številni procesi potekajo samo v posebnih razmerah (temperatura, zračna vlaga ...) ...«, namesto »... samo v posebnih razmerah (temperaturi, zračni vlagi ...) ...«. Pa: »Če je oko daleč od ključavnice (velika goriščna razdalja), lahko ...« namesto »Če je oko daleč od ključavnice (če je goriščna razdalja velika), lahko ...«

Raba oklepaja v taksonomskih latinskih imenih pa je stvar zase.

Pa še tale formulacija: »Poznate Ljubljano bolje **od voznika** avtobusa?« To sicer ni naravoslovno vprašanje, berem ga le vsak dan v avtobusu, na poti v Biološko središče. A

se podobna formulacija v različnih izpeljavah (navadno pritrtilnih) najde tudi v naravoslovnih člankih. Kaj pomeni?

Poznate Ljubljano bolje **kot** (jo pozna) **voznik** avtobusa?

Poznate Ljubljano bolje **kot** (poznate) **voznika** avtobusa?

### Napačno rabljene besede ali besedne zveze

Nekateri izrazi ali besedne zveze so **dvo-umni ali pa** preprosto **napačni**. Neredko zato, ker njihove »sopomenke« pomenijo v angleščini nekaj drugega. So pa vsaj modni. Zelo pogosto rabljena, priljubljena beseda je »primerljiv«. Sliši se lepo, bolj imenitno kot »podoben«, a v devetdesetih odstotkih primerov naj bi pomenilo prav slednje. Prav bi bilo uporabiti besedo primerljiv za stvari, pojave ..., ki jih je mogoče, jih je smiselno primerjati. Podobno naj pa ostane podobno. V tem primeru je angleški *comparable* enako nesmiseln kot naš *primerljiv*. Mi pa smo se odločili (?) za eno besedo za dva različna pojma. To je spet siromašenje jezika. (Jabolko in hruška sta in nista primerljivi. Tudi sta in nista podobni.)

Tudi izraz **robusten** je nekoč pomenil le robusten, zdaj pa se pojavlja v dveh pomenih. Eden je iz nekdanje udomačene tujke, izvirajoče iz latinske besede *robustus*, ki pomeni tršat, grob, zajeten, tudi (Verbinc) krepek, močan. Dobimo ga tudi iz angleške besede *robust*, odporen, obstojen, vztrajen, neobčutljiv. V naravoslovju zelo priljubljen in uporaben izraz. Nerodno je le to, da včasih ne vemo, kaj naj pomeni. Seveda je oboje izpeljano iz latinske besede *robustus*.

Po *Slovarju slovenskega knjižnega jezika* je izraz robusten pridobil na negativnosti in pomeni:

1. ki zaradi izredne telesne razvitosti **deluje nerodno, okorno**;
2. ki v odnosu do ljudi **ne kaže rabločutnosti, obzirnosti**.

V naravoslovnih besedilih pa največkrat pomeni **3.** obstojen, ki ga (naravno ali mate-



matično) okolje ne more zlahka spremeniti. Lahko bi rekli, da v klasičnem slovenskem pomenu prevladuje negativna konotacija, v angleškem pa pozitivna. Torej v nekaterih besednih zvezah zahteva dodatno pojasnilo.

Povsem prevajalski greh je **izkušnja** (iz *experience* = poskus, skušnja, doživljaj, doživetji, pretrpeti) – s čimer je v večini besedil mišljeno **doživetje**. V slovenščini pomeni »izkušnja« nekaj drugega.

Ko pripovedujemo, v kakšnih **pogojih** uspeva kaka rastlina, žival – in to počnemo neštetokrat –, skoraj vedno mislimo na **razmere**. Menim, da je to nekakšen funkcionalni hrvatizem, saj imamo v srbohrvaščini za pogoje in razmere enak izraz, *uvjeti/uveti*. Pri nas pa bi morali reči, da rastlina raste v primernih razmerah; takšne razmere pa so res pogoj, da preživi.

### Modno in sproščujoče izražanje

Biser modnega izražanja je beseda **sploh**. »Tiskani mediji, **sploh pa** splošni dnevnoinformativni tisk, so to že povsem sprejeli ...« Novi pomen besede se je že zelo uveljavil, v dnevnem tisku ga srečamo vsakodnevno. Petim pomenom iz *Slovarja slovenskega knjižnega jezika* je dodan še (nepotrebn) šesti. Zdaj nam pomeni tudi **zlasti** ali **posebno** (ki imata spet vsak po dva pomena). A ta »sploh« ima zanimivo zgodovino. Nedavno sem bral tole: »Močarilec, **sploh** človeška ribica, tu in tam tudi bela kačica imenovan, se zove v ptujim jeziku proteus ...« in tako dalje (Henrik Freyer 1850). Kaj pa je tukaj pomenilo »sploh«?

Med mojimi kolegi, pa tudi sicer, je zelo priljubljen izraz **predstavniki**. Na primer: »Qingtianci so **predstavniki** ljudstva Han.« Ali pa: »... ribe so **predstavniki** vretenčarjev.« Navadno mislimo **pripadnike** vretenčarjev ali česar koli že, saj jim nič ne daje položaja predstavnikov. Nobenega pooblastila nimajo.

### Napačna raba besed (ali besednih zvez)

je bodisi posledica jezikovne zapletenosti, neizmerne površnosti, neznanja ali pa »prefinjenosti«.

Berem Gogolja: »dame v mestu N ... odlikovale po nenavadni ... spodobnosti v besedah ter izrazih ... nobena rekla: useknila sem se, ... pljunila sem ... iz govornjenja pregnale skoraj polovico besed ...« zaradi prefinjenosti. Tako zaidemo iz **vonjanja** namesto vohanja v »prefinjenost«, pa namesto prirodo-pisa, naravoslovja, v »zgodovino narave«, ki je le površnost.

V naravoslovnih besedilih pa vse prepogosto slišim ali berem, da žaba diha čez kožo. Površnost, nemarnost. Saj seveda vsak ve, da lahko diha le **skozi** kožo. In s pljuči (ali skozi pljuča), se ve.

Pa tudi, da hrana »... potuje skozi prebavila, **izločanje** pa je ... boleče«. Ali pa: »Ptice odnesejo pojedena semena daleč, preden jih **izločijo**.« In: »... imela velika usta, ki so bila namenjena tudi **izločanju**, saj na fosilu niso opazili zadnjične odprtine.« Morda se **iztrebljati** zdi komu grdo, ostudno. Vendar, izločanje opravijo izločala; izločamo vodo in metabolite. Ostanke hrane pa iztrebljamo po črevesu in večinoma skozi anus. Res, bolj pogosto tudi skozi usta. Vsekakor, kar nas zapušča skozi prebavila, **iztrebljamo**. **Izločamo** pa skozi izločala in seč odtakamo iz mehurja.

Beremo, da »je **vonjal** dišeče cvetje,« in: »Ženske niso vedele, da **vonjajo** dojenčka, a so si bile enotne, da je vonj prijeten,« lahko pa tudi: »... zdravniki so ... začeli **vonjati** smrdljive pline iz črevesja. Zdravniki bi lahko torej postavljali diagnoze z **vonjanjem** prdcev ...« Saj bi bilo tudi **vohati** najbrž nespodobno, grdo. A vonja pač tisto, kar lahko zavohamo. In, tako živali kot rastline, imajo tudi vonjalne organe; mi pa njihove izločke zaznamo z vohali ali vohalnimi organi, jih vohamo.

Berem: »Kolibri ... se otreša dežnih kapljic ... s stresanjem **glave in telesa**.« Ali pa: »Hudourniki imajo dolga krila in majhno telo, zato ...« Zelo pogosta napaka, ne le v poljudnem, tudi v znanstvenem slovstvu, smiselno tudi v angleščini. A skoraj neizogibna. Ne ločujejo med telesom in trupom in včasih je ta razloček tudi težko spraviti v razumen stavek. Vendar pa so glava in okončine tudi deli telesa, preostanek telesa, brez njih je **trup**. Kar komaj še kdo zazna. Tudi v angleščini, da se razumemo. Kar zapletena zadeva.

### Napačen prevod (navadno iz angleščine)

Včasih smo poznali malega in velikega pandu. Zdaj se pojavlja **orjaški panda**, ki je v resnici čisto luštna in nič orjaška zver. Ne vem, zakaj ga Angleži imenujejo *giant panda*, morda imajo drugačna merila za velikost; mi pa seveda ... ponekod izraz *giant* prevajamo z orjaškim, tudi če ni v skladu z našim pojmovanjem »orjaškosti«.

Pod vplivom angleščine se nam naši klasični leteči psi zdaj pojavljajo kot **leteče lisice** (*flying foxes*). So pa to, seveda, veliki, rastlinojedi netopirji, niti psi niti lisice ...

### Primer: »izselitev iz Afrike«.

Morda v hudo zmoto pa nas pelje besedilo, doma v »mednarodni« znanosti, ki se je prijelo v nič krivi poljudni znanosti in pri nič krivih Slovencih. »Človek se je preselil iz Afrike ...,« pa: »Z drugimi besedami: ko so anatomsko moderni ljudje zapustili Afriko in začeli naseljevati druge kontinente ...« Torej v nasprotju med zapisom in našim vedenjem naj bi Afrika nekoč ostala povsem brez človeka, brez rodu *Homo* ali vsaj brez vrste *Homo sapiens*. Mislim, da je ta slovenski zapis povsem nedvoumen. Nedvoumen pa nam se zdi tudi angleški zapis v znanstvenih publikacijah: » ... has been hypothesized that the **exodus of Homo sapiens out of Africa and into Eurasia** ...« Mar ta angleški zapis pomeni kaj drugega kot navidez logični prevod v slovenščino?

V opravičilo poljudnim piscem: takšna zavajajoča formulacija, kot da je prišla iz **znanstvenih zapisov**: »... has been hypothesized that the **exodus of Homo sapiens out of Africa and into Eurasia** ...« (Res pa pozneje pove): »... and **expanding further into Eurasia etc ... The model simulates ... dispersal** ...« Pravilno tolmačenje, razvidno tudi iz ilustracij. Sicer pa je exodus - (iz)selitev, *Ek-sodus* (grško: ἐξοδος, exodos) pomeni »odhod«. V slovenščini nam je povsem jasno, kaj pomeni odhod. *Homo sapiens* pa se seveda ni izselil, temveč se je razširil iz Afrike – po vsem svetu. Bistvena razlika.

Ker nam standardni prevajalci očitno ne morejo odpomoči, mi ni preostalo drugega, kot poiskati za pomoč dovolj potrpežljivega angleškega »nejtiv spikerja«. In prijazen gospod Martin Cregeen mi je povedal: »Certainly, the English usage is not precise but: **The species *Homo sapiens* left Africa** and dispersed across Asia etc' does not mean (necessarily) that all members of *Homo sapiens* left Africa. ... Does that help?« (»Seveda, angleška raba ni precizna (dodatna točka - navzdol - za angleščino), a **The species *Homo sapiens* left Africa etc.**' itd. ne pomeni (nujno), da so vsi člani družine *Homo sapiens* zapustili Afriko., - Ali to kaj pomaga?«) In še odrešujoči dodatek (»a slight addendum«): »I think that if an English author meant that the entire species left Africa, he would probably use a different verb, such as 'abandoned'.« ((»Kratek pripis«): »Mislim, da če bi angleški avtor dejansko imel v mislih, da je celotna vrsta zapustila Afriko, bi verjetno uporabil drug glagol, npr. abandon - zapustiti, odpovedati se.«) Mislim, da v slovenščini to nikakor ne velja (smem tukaj reči še eno čez angleščino?). Res pa se skriva (!) pojasnilo tudi zapisano, nekaj odstavkov preč, le da prevajalec ni opazil zveze (ga začutil kot takega): »Ker so bili migranti zelo majhen del celotne afriške populacije ...«

»... in da se vsaka **hoče razširiti** ...« je verjetno prevod namiga »... *high rate at which all organic beings tend to increase*«. Iz »evolucijskih« besedil. Vendar za **tend** najdemo po slovarjih še pomen negovati, usmeriti se, težiti k, imeti za cilj. Dodal bi še **nagibati se k** (ki je sicer tudi **are inclined to**). Torej, v tem primeru, živa bitja so (močno) nagnjena k porastu (naraščanju). Ta »*tend to*« je primernejši, ker ne vključuje kakšnega zavestnega hotenja, ki ga nemislečim bitjem ne moremo pripisati. Torej

ne gre za hotenje, tu je le nagonsko opravljajenje tistega, česar rezultat je naraščanje, porast. »Porast« pa seveda tudi ni nedvoumen. Mišljen je porast populacije, naraščanje števila osebkov.

Veliko rabljen, vendar ne povsem jasen pojem, izraz, je **disperzija**. Navadno lahko pomen razberemo iz sobesedila. Vsekakor smo besedo začeli uporabljati po angleških *dispersion*, *dispersal*. V slovarjih – na primer v spletnem slovarju PONS – pa najdemo takele:

### Primer: »molekularno«.

Nerodne besede nastajajo zlasti pri izpeljevanju iz tistih angleških pridevnikov, ki sploh niso izvorno angleški. Taka nerodnost je na primer **molekularni**; je izpeljanka iz molekule. Vendar naši kolegi besede niso izpeljali iz slovenskega samostalnika »molekula«, temveč iz angleškega pridevnika *molecular*. Tako smo dobili »molekul-ar-ni« namesto priločnejšega »**molekulski**«. Torej z nadgrajevanjem angleškega samostalnika v angleški pridevnik, ki mu sledi nadgrajevanje angleškega pridevnika v slovenski pridevnik. Nekaterim pa naj bi imela »molekulski« in »molekularni« različen pomen.

slovenski samostalnik  
**molekul-a**

sl. obrazilo za pridevnik  
**-ski** (sicer tudi –ni)

slov. pridevnik  
**molekul-ski**

angleški samostalnik  
**molecul-e**

angl. obrazilo za pridevnik  
**-ar**

angl. pridevnik  
**molecul-ar**

»nadgrajena« angl. osnova  
**molecular > molekular**

sl. obrazilo za pridevnik  
**-ni** (sicer tudi –ski)

izmaličen sl. pridevnik  
**molekular-ni**

Res pa lahko *molekularni* in *molekulski* uporabljamo tudi v rahlo različnem pomenu.

Nekaj podobnega je – k sreči manj rabljena beseda – **denisovski, denisovanci**. To so bili nekdanji prebivalci Denisove jame v Altaju. Mi zlahka uganemo, kaj pomeni Денисова пещера in bi te sorodnike s pametjo poimenovali za **denisovce** (tako, kot smo nekdanje prebivalce Neanderthala naredili za neandertalce). Tudi v »prevodu« Denisova Cave bi se še znašli. Angleško govoreči svet pa ni zmožen v Denisovi prepoznati pridevnika (kar je opravičljivo). Tako so namesto na primer »Denisovs« seveda naredili »Denisovans«. Točneje, *Denisovan Hominin* (pa tudi manj moteče *Denisova hominin*). In ker slovansko govoreči svet ni zaznal pasti, smo spet uporabili za izpeljavo svojega célo angleško ime in tako zakuhali »denisovance« (Denisovance).

Podobnih primerov je še več, a so jih razgledani pisci še za časa popravili. Tako je bilo s **talibani**, s **šerpasi** (z že požegnanimi **old boysi**), še s kom. Naravoslovci imamo morda rešen problem molekularnega, a je v jeziku težko biti dosleden. Izraz celularni bi pa res le težko sprejemljivo popravili. Latinsko *cellula*, angleško *cell*, zato skoraj neizbežno pridevnik *cellular*, celularni. No, zlahka pa bi se sprijaznil z bolj domačim, čeprav preprostim, »celični«.

*dispersal* – razpršitev, razselitev, razpad, razhod, širjenje,  
*dispersion* – razdeljevanje, razširjenost, porazdelitev, disperzija,  
 raztresenost – *absence of mind*,  
 razpršenost – *dispersion*,  
 razkropiti se – *to disperse, (to scatter)*.

Če je beseda nelogična, bo za nekoga, ki jezik čuti, delovala neprijetno; bo **moteča, grda**.

»Ta parček(!) čipkastih rac **je doma iz** Južne Amerike.« Po starem bi rekli, da »je iz Amerike« ali pa da »je doma v Ameriki«. Saj je najbrž še vedno tam. Podobna bi bila tudi besedna zveza »prihaja iz Amerike«, kakršno prakticirajo predvsem naše lepotne kandidatke v intervjujih ... »Prihajam iz(s) Ptuja.« Končno pa, kdo ve, če je ravno tisti parček rac res tam ali od tod.

### Brezupno opletanje s količinami in števili

Razumem, vsaj na silo, kaj naj bi pomenilo, da je **6 trikrat več kot 2**. Vendar, le na silo in le za silo. Po pameti je 6 le trikrat **toliko** (in ne trikrat **več**) kot 2. Kaj pa je trikrat manj kot 6? To vidim nešteto krat zapisano, a še nisem uspel priti do nedvoumne rešitve. Najbolj verjetno se mi zdi, da je mišljena tretjina, 1/3. Vendar se bojim, da je to že davno izgubljena bitka; k sreči mi povedo, da ni kje zapisano in kodificirano, da bi moralo biti tako. Torej je to vendar napačno formulirano. Nekako tako, kot »drug za drugim ...«.

To večinoma tudi prav razumemo – v vsakdanjem jeziku. A v znanstvenem, ali celo že v poljudnoznanstvenem, je drugače. Tam se neredko vprašamo, ali sem prav razumel. Morda pa je mišljeno drugače. Pa smo tam. V vsakdanjem jeziku to niti ni problem. V množici spremljevalnih besed in stavkov bomo morda našli tudi zanesljivo rešitev. A v znanosti, tudi poljudni, moramo biti gotovi.

Ko sem se že sprijaznil, da je 6 dvakrat več kot 3, pa vendar nekje preberem, da je »sadje še enkrat dražje, kot je bilo«. Se da tudi razumljiveje povedati, mar ne?

Podobna zmeda je pogosto z odstotki. »V meduzi je 95 odstotkov vode.« Torej preostane zunaj tiste meduze le še 5 odstotkov (vse) vode. Ne bo šimalo. Res pa je, da 95 odstotkov meduze sestavlja voda, da **je** 95 odstotkov meduze voda.

Še huje je, ko v znanstvenem članku nalletimo na trditev (tokrat v angleščini), »da je 20 °C dvakrat višja temperatura kot 10 °C«. Ena nejasnost in ena huda strokovna napaka v istem stavku. Nejasnost: kaj res pomeni »dvakrat višja«? Ta problem obravnavamo drugje v tem članku. Napaka: pomislite, - ali temperatura »prične« pri 0 °C? Kaj sledi iz ugotovljenega? Ko vemo, da gre po pravilu vsak rokopis za znanstveno revijo skozi roke urednika in dveh visoko kvalificiranih recenzentov (*peer review*).

Dogovorimo se: **tako kot besede »oziroma« se bomo tudi izjav z »več kot« na vso moč izogibali**.

### Čisto neprimerno, nerodno izražanje, teleologija

Morda so vse to nepomembne drobnjarije. Preostane pa nam še šopek nerodnosti, ki zavajajo naše mišljenje na kriva pota. Žalostno je, da so takih formulacij polni odlično posneti naravoslovni filmi. Ponujajo številne primere za razumevanje evolucije, vendar ... jih – vsaj tako je videti – pripisujejo načrtovanemu razvoju, morda stvarniku.

»Bogomolka se je tako razvila, **da bi** ... preliščila plen.«

»**Zaradi** plenilcev **so morale** živali razviti oklepe ...«

»Alge so našle pot do hladnejših območij.«

»Rastline so pretentale žuželke (da jim prenašajo plodove).«

»Rastline **so razvile** različne taktike.« Rastline niso ničesar razvile, to **se jim je** razvilo.

»Rastline .. se **trudijo** ustvariti potomce .. Zato **goljufajo**. Se **bojujejo** za svetlobo.«

Prav čisto nič od tega se seveda ne dogaja!

»Rastlina **hoče** nekaj za nagrado ... nekatere vrste niso **zadovoljne** z muhami ... Vrčnica

hoče hrano iz tupajinih iztrebkov.« Težko bi verjel, da rastlina kaj hoče. Zlasti kaj takega. Niti od večine živali niti od mesojede rastline ne pričakujemo kakšnega zadovoljstva. Pač pa se to bitje mora zadovoljiti (mora zadovoljiti svoje potrebe) s čim skromnim. Sicer ne preživi.

»... rastline (rabijo svetlobo), zato **naredijo vse, da ...** ... vitica opleta ... **išče** oporo ... iskati **znajo** (korenine) tudi hranilne snovi ... Rastlina **je našla** sijajno rešitev.« Pa spet: »Rastline **so razvile .. trudijo se** ustvariti potomce .. Zato **goljufajo**. Se **bojujejo** za svetlobo. Rastline **so razvile** učinkovitejši način opravevanja (s cvetom).« Ne! Rastlina se z ničemer ne trudi. Vitice ničesar ne iščejo in korenine ničesar ne znajo.

Vse to se je pojavilo in razvilo s slučajnimi mutacijami in izpopolnilo z usmerjeno selekcijo, naravnim izborom, ker se je pokazalo na vsaki stopnji razvoja za koristno in koristnejše. Poteka, ne da bi rastlina (ali pa žival) to hotela. Ne nudi rastlini nobenega zahrbtnega zadovoljstva, omogoča pa ji obstanek. In res na koncu izgleda, kot da vse to počne neko prefrigano bitje, s točno določenim namenom. In od današnjega stanja izgleda, kot da je nastajalo po izdelanem načrtu.

»... vsaka žival **mora iznajti rešitev** v kompeticiji ...« Ne, sploh ni treba, da jo iznajde. A obdržala se bo le, če se ji to slučajno posreči. Drugače povedano, poznamo le take živali, rastline, bakterije, ki se jim je to posrečilo. Drugih preprosto (več) ni.

»**Zato da bi ... zato da bi ... zato da bi ...**« Nič v naravi ni bilo narejeno »zato da bi«, z nekim namenom, tudi ne »neprijeten« vonj raflezije. Prav je le: **zato ker** ...; cvet smrdi zato, ker se je predniku naredila taka mutacija in se je ta pokazala za koristno.

Ali pa: »Gosenica **nagonsko ve**, kako (delati zapredek) ...« Kvečjemu »nagonsko čuti«. Ko bi vedela, to ne bi bil nagon. Nagon ali instinkt je »**prirojeno, nehotno** teženje človeka

ali živali k določenemu ravnanju, stanju«. A to je bil le še en dodaten zaplet.

In seveda: »Bakterije vedno **poskušajo razviti** odpornost proti zdravilom.« Bakterije poskušajo, lepo vas prosim!

»Evolucija **izpopolnjuje** .. razumevanje, kako lahko evolucija **poskrbi za** neverjetno raznolikost ...« **Pa:** »Brez **evolucije, ki je poskrbela**, da se starši zaljubijo v svojega otroka, starši ne bi doživljali svojih otrok ...« Pri tem se velja ustaviti. Kdo ali kaj je evolucija? Evolucija vendar ni nekdo, ki bi kaj počel – ali pa doživljal. Evolucija je dogajanje, je proces. V tem primeru je evolucija samo nastajanje te neverjetne raznolikosti. Evolucija je proces, ki poteka (ki se dogaja) v živemu svetu. Je **posledica** interakcije (medsebojnega vplivanja, sodelovanja) procesov v njem in vplivov okolja. V živem svetu poteka evolucija, kar pomeni samo, da se živi svet spreminja. Čeprav je do določene mere tudi njen akter. In neživi svet seveda tudi. Drugače povedano: razumevanje, raznolikost, ... se razvijajo v evoluciji, so torej njen produkt, obenem pa seveda vplivajo na nadaljnji potek evolucije, prožijo evolucijske procese, v katerih se razvija kaj drugega.

»Če so živali **hotele** živeti na suhem ...« Saj niso ravno hotele, čemu le. Res pa se jim je lahko razširilo bivalno okolje na še nezasedeno kopno le, če so se jim razvile določene lastnosti. Na ta račun so potem doživele nesluhten dodaten razcvet, odprle so se jim povsem nove možnosti razvoja.

»Zemlja **zna** preživeti take katastrofe.« Pa smo spet tam! Še Zemlja naj bi nekaj znala.

**Ne bom se spuščal v vprašanje, ali je tako besedovanje posledica nerazumevanja (nerazumevanja evolucije) ali pretirana težnja po popularnosti, poljudnosti (morda že pravi naravoslovni populizem) ali morda le neroden prevod (!!!). Vsekakor je zavezajoče in ne razlagajoče.**

In mimogrede: »V Severnem Jadranu naj bi **živelo pet različnih vrst meduz**.« Seveda,

če niso različne, niso vrste. (Vrste so pač tisto, kar je različno). A če se vrnemo k tematiki tega poglavja: To je bilo za smisel.

Pa še nekaj stavkov za lepoto napisanega, rečenega.

Če je izraz, beseda, nelogična, bo na nekoga, ki jezik čuti, delovala neprijetno; bo moteča, grda. Stavek: »Fosil devet metrov dolgega ... dinozavra *Brachylophosaurus canadensis* so odkrili ...«, res moti. Motečemu in nelogičnemu slovenskemu sklanjanju latinskih imen se lahko izognemo bodisi z dodatno slovensko oznako, ki jo brez škode sklanjamo (v tem primeru je bila ta sploh že dodana, a ne izrabljena!), ali pa s poslovenjenjem latinskega imena. Na primer: »Fosil ... dinozavra *Brachylophosaurus canadensis* so odkrili ...«, ali pa na primer: »Fosil ... kanadskega brahilofozavra (*Brachylophosaurus canadensis*) so odkrili ...«

Za povsod prisotno, pa zelo nadležno **dih jemajočo** naravo imamo prav uporabno in čisto čedno slovensko oznako – **je osupljiva**.

Ampak, seveda, *breathtaking* je pač tudi dih jemajoč.

... Pravijo: »blagodejno deluje na črevesno **mikrobioto**.« V resnici učinkuje na **mikrobiota**. Mikrobiota so skupek mikrobov, mikrobiontov, to je torej množina, srednji spol, tako kot so polja, morja ... in **skripta** (latinsko *scripta*). Slednja smo tudi bolj ali manj dokončno poženščili v »**skripto**«.

In za zaključek so tu **biološki odpadki**. Če upoštevamo, da je biologija znanost (!) o življenju, mora biti vsaj Ljubljana neverjetno naklonjena znanosti, ko celo znanstvene odpadke tako vestno zbiramo. Pa naslednja pripomba. Ko se je tale rokopis nekaj mesecev medil v urednikovem predalu, je akademska srenja opravila nekaj razprave o slovenščini. In »denisovci« so se pojavili. A to je naključje. Ta članek niti ni mogel vplivati na siceršnje dogajanje, niti ni mogel biti pod njegovim vplivom. Kako rad bi bralca zvalil še k branju bloga: ***Kako nategujemo slovenščino ...***

Medicina • Škodljivi vplivi sodobnega načina življenja na človekov imunski sistem

## Škodljivi vplivi sodobnega načina življenja na človekov imunski sistem

Mina Pirih, Lučka Šetinc

Živimo v času, ko je neoporečnost prehrane vprašljiva, čedalje več ljudi pa je premalo telesno aktivnih in ima preveliko telesno težo. Zaradi višjih higienskih standardov smo kot otroci deležni manj stika z mikroorganizmi, v odrasli dobi pa veliko ljudi občuti posledice

psihičnega stresa in neustreznih spalnih navad. Gibamo se v okolju, ki je zaradi brezžične komunikacije (pre)nasičeno s sevanjem. Kljub temu živimo dlje – vprašanje pa je, ali v vseh pogledih bolj kakovostno in zdravo.

V članku bova predstavili vpliv omenjenih dejavnikov sodobnega načina življenja na imunski sistem, ki človeško telo varuje pred negativnimi zunanji vplivi. Ali nas sodobni način življenja dela torej bolj dovzete za imunске bolezni?

### Kako deluje imunski sistem – na hitro

Imunski sistem je glavni obrambni sistem, ki nas varuje pred vdorom patogenih mikroorganizmov iz okolja. Imunski odziv delimo na prirojeni in pridobljeni. Ključna značilnost imunskega sistema je sposobnost razločevanja med telesu lastnimi in tujimi molekulami, ki so izražene na površini celic, pri čemer v normalnih razmerah imunski odziv sprožijo le tuje. Če telesu lastne celice sprožijo imunski odziv, govorimo o avtoimunosti oziroma o **avtoimunih boleznih**.

Pomemben del imunosti predstavljajo bele krvničke oziroma levkociti, ki jih delimo v monocite, granulocite in limfocite. Prvi dve podskupini levkocitov (**monociti**, ki se v tkivih preobrazijo v **makrofage**, in **granulociti** – najštevilčnejši predstavniki granulocitov v krvi so **nevtrofilci**) zagotavljata proces **fagocitoze**, to je požiranje/odstranjevanje tujkov iz telesa. Med **fagociti** (celicami, ki opravljajo fagocitozo) moramo omeniti tudi **dendritične celice**, ki se nahajajo v tkivih, ki so v stiku z zunanjim okoljem – v koži, nosu, pljučih, črevesju. Te celice so del **prirojenega imunskega odziva**, za katerega je značilno, da se sproži takoj po stiku s patogenom, a deluje nespecifično in ne zagotavlja trajne zaščite.

Tretja podskupina belih krvničk so **limfociti**, ki sodelujejo pri **pridobljenem imunskem odzivu**. Delimo jih na **limfocite T** in **limfocite B**. Med prve sodijo celice T pomagalke, regulatorni limfociti T, citotoksični limfociti in spominski limfociti. **Limfociti B** pa so pomembni za nastanek **protiteles**, to so beljakovine (tako imenovani **imunoglobulini**), ki z vezavo na antigene onesposobijo tujke (zlasti mikrobo) ter sprožijo mehanizme za odstranitev tuj-

ka iz telesa. Nastanek in delovanje protiteles imenujemo humoralni imunski odziv. **Antigeni** so tarčne molekule, izražene na površini patogenih organizmov, ki sprožijo nastanek protiteles. Pridobljeni imunski odziv nastane šele čez nekaj tednov od vdora tujka v telo, njegov nastanek sproži predstavljanje v fagocitih razgrajenih tujkov celicam T pomagalcam. Pridobljeni imunski odziv je specifičen za določen patogen ter omogoča nastanek trajne zaščite proti patogenu oziroma imunski spomin. Posebna oblika limfocitov so **naravne celice ubijalke (celice NK)**, ki so sposobne prepoznati in ubiti gostiteljeve celice, ki so okužene s patogenom ali so tumorsko spremenjene. **Celice T pomagalke** so podvrsta limfocitov T, ki so dobile ime po tem, da spodbujajo limfocite B pri produkciji protiteles, hkrati pa sproščajo **citokine**, to so beljakovinski posredniki informacij med celicami imunskega sistema. Med najbolj pomembne citokine uvrščamo rastne faktorje, faktor tumorske nekroze (TNF), interferone, interleukine in kemokine. **Regulatorni limfociti T** ob koncu imunске reakcije zavirajo imunološko dejavnost organizma in preprečijo, da bi imunске celice ogrozile telesu lastne celice – preprečijo avtoimunske procese. **Citotoksični limfociti T (citotoksičnost** – strupenost za celice) uničujejo z virusi okužene in rakave celice, pomembne so pa tudi pri imunskem odzivu po presaditvi organov. Z receptorji se vežejo na specifične antigene, ki jih na površini izražajo te celice in jih uničijo. Citotoksični limfociti T med imunskim odzivom diferencirajo v **spominske limfocite**, ki po odstranitvi tujka še leta dolgo ostanejo v organizmu in se po ponovnem soočenju z istim tujkom zelo hitro aktivirajo (**imunski spomin**).

Učinkovitost imunskega odziva temelji na razmnoženih spominskih limfocitih, ki so usmerjeni proti tuji antigeni molekuli. Ponoven stik z enakim antigenom vzbudi specifični imunski odziv, ki je hitrejši in

močnejši od tistega, ki nastane pri prvem stiku z enakim antigenom (Kraigher, Ihan, Avčin, 2011; Wikipedia: Imunski sistem).

### **Sodobna prehrana prispeva k nastanku alergijskih in avtoimunskih bolezni**

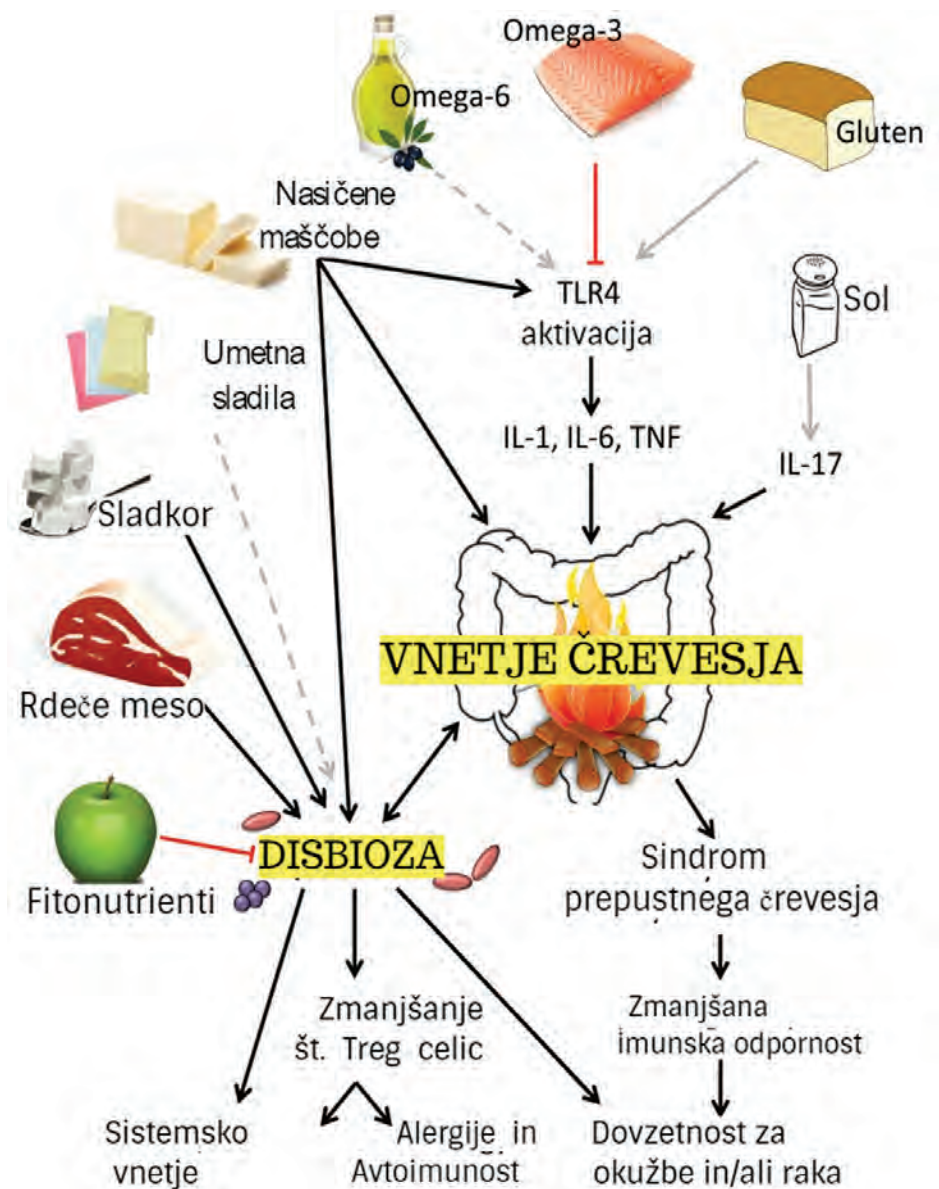
Za sodobni način prehranjevanja v zahodnih državah je značilno vse večje uživanje hitro pripravljene hrane in čezmeren energijski vnos; povprečen človek tako zaužije preveč enostavnih sladkorjev, soli in nasičenih maščob ter premalo maščobnih kislin omega-3 in vlaknin. Vpliv visokokalorične in hitro pripravljene prehrane na razvoj kroničnih bolezni, zlasti srčno-žilnega sistema, je znan že desetletja, vedno več raziskav pa potrjuje tudi povezavo med tako imenovanim zahodnim načinom prehranjevanja in večjo pojavnostjo vnetnih in avtoimunskih bolezni (Thorburn, Macia, Mackay, 2014; Myles, 2014; Christ, Günther, Lauterbach, Duewell, Biswas, Pelka in sod., 2017; Corley, Schuppan, 2015).

Mehanizmi vpliva prehrane na človekov imunski sistem so številni in kompleksni, pri večini pa je v ospredju komenzalna bakterijska črevesna flora (Thorburn, Macia, Mackay, 2014; Myles, 2014; Noverr, Huffnagle, 2004; Rook, Martinelli, Brunet, 2003). Komenzalne bakterije so tiste, ki živijo v našem organizmu in imajo pri tem korist, a ne škodujejo – med pomembnejšima omenjamo *Bifidobacterium* spp. in *Bacterioides thetaiotaomicron*. Omogočajo ustrezno izločanje črevesne sluzi in s tem pripomorejo k integriteti črevesne bariere, dodatno pa lahko spodbujajo sekrecijo imunoglobulinov A iz črevesnih limfocitov B (Thorburn, Macia, Mackay, 2014). Sodobni način prehranjevanja lahko povzroči spremembe v številu in vrsti komenzalnih bakterij. To vodi v zmanjšano nastajanje nekaterih njihovih presnovkov, na primer acetata, kratkoverižnih maščobnih kislin in produktov triptofana, ki imajo ugoden učinek na sluznico prebavnega trakta. Moteno delovanje sluznične povrhnjice omogoča prehod bak-

terij in njihovih produktov iz črevesnega lumna v tkiva, posledici pa sta stimulacija celic imunskega sistema in vnetje (Thorburn, Macia, Mackay, 2014; Fukuda, Toh, Taylor, Ohno, Hattori, 2012). Za razvoj optimalne bakterijske črevesne flore je potreben zadosten vnos vlaknin, ki jih v sodobni prehrani pogosto primanjkuje. Vlaknine preko mehanizma tako imenovanega kompetitivnega izključevanja omogočajo razrast komenzalnih bakterij in tako patogenim bakterijam omejujejo dostop do črevesne povrhnjice (Thorburn, Macia, Mackay, 2014). Moteno funkcijo črevesne povrhnjice so med drugim povezali z nastankom sladkorne bolezni tipa 1 (Vaarala, Atkinson, Neu, 2008), prav tako pa vpliva na višjo pojavnost in težji potek astme (Boulet, 2013; Dixon, Holguin, Sood, Salome, Pratley, Beuther in sod., 2010; Jensen, Wood, Gibson, 2012). V zadnjih dveh desetletjih se je dvakrat povečala pogostost (prevalenca - število bolnikov z neko boleznijo v določeni populaciji v danem trenutku) alergij na prehranske antigene, ki znaša že od 3 do 7 odstotkov pri otrocih in od 1 do 3 odstotke pri odraslih; vzrok za to bi lahko bile spremembe v črevesnem mikrobiomu. Podobni mehanizmi bi lahko prispevali k porastu pojavnosti (incidence - število novih primerov določene bolezni v določenem obdobju v populaciji) celiakije in kroničnih vnetnih črevesnih bolezni (Corley, Schuppan, 2015).

Poleg lokalnih ima neustrezna prehrana tudi sistemske učinke na imunski sistem. Po eni strani gre za zmanjšano količino za delovanje imunskega sistema pomembnih metabolitov, na primer kratkoverižnih maščobnih kislin, ki ugodno vplivajo na funkcijo makrofagov in dendritičnih celic v bezgavkah in kostnem mozgu. Hkrati lahko škodljivi presnovki, ki nastanejo kot posledica energetske (preveč) bogate hrane, okrnijo funkcijo nevtrofilcev in regulacijskih limfocitov T ter tako vplivajo na periferni imunski odziv v različnih organih, zlasti na primer v





Slika 1:  
Grafična ponazoritev mehanizmov vpliva sestavin moderne prehrane na dovzetnost za okužbe, alergije in avtoimunost.

Razlaga kratic:  
 Omega-3 – omega-3-maščobne kisline;  
 Omega-6 – omega-6-maščobne kisline,  
 TLR4 – Toll-Like Receptor 4 (tolični receptor 4);  
 IL-1- interlevkin 1;  
 IL-6 – interlevkin 6;  
 IL-17 – interlevkin 17;  
 TNF – faktor tumorske nekroze;  
 Treg – celice – regulatorni limfociti T.

Slika povzeta iz članka: Myles, I., 2014: Fast food fever: reviewing the impacts of the Western diet on immunity. *Nutrition Journal*, 13: 61.

pljučih (Thorburn, Macia, Mackay, 2014). Posamezni mehanizmi, preko katerih prehranski metaboliti vplivajo na delovanje imunskega sistema, se razlikujejo glede na vrsto vnešenega hranila. Prevelik vnos enostavnih sladkorjev na primer zmanjša učinkovitost fagocitoze in poveča tvorbo pro-vnetnih citokinov. Podobno velja za nasičene maščobe, ki vnetje spodbujajo neposredno preko receptorjev na celicah prirojenega imunskega sistema, dodatno pa lahko čezmerni energijski vnos povzroči sproščanje pro-vnetnih citokinov iz maščobnih celic. Nekatero raziskavo so pokazale, da bi povečan vnos soli preko tvorbe interleukina-17 lahko poslabšal potek nekaterih avtoimunih bolezni (Myles, 2014). Prehranski metaboliti lahko na imunski sistem vplivajo tudi dolgotrajno preko sprememb v izražanju genov organizma (Thorburn, Macia, Mackay, 2014).

Vse več raziskav torej dokazuje poveza-vo med sodobnim načinom prehranjevanja ter alergijskimi in avtoimunimi boleznimi in kroničnimi vnetnimi boleznimi črevesa (Thorburn, Macia, Mackay, 2014; Myles, 2014; Christ, Günther, Lauterbach, Du-ewell, Biswas, Pelka in sod., 2017; Corley, Schuppan, 2015).

### **Debelost je nov dejavnik tveganja za okužbe**

Debelost postaja čedalje večji javnozdra-vstveni problem. Maščobno tkivo ni le skladišče energije, ampak aktivni endokrini organ, ki izloča adipokine (citokine maščob-nega tkiva). Najprepoznavnejši adipokin je leptin, ki predstavlja ključno povezavo med neuroendokrinim in imunskim sistemom. Ko se veže na leptinski receptor v hipota-lamusu, povzroča občutek sitosti, a leptinski receptorji so precej izraženi tudi na celicah imunskega sistema. Povečana vsebnost lep-tina v krvi, ki je značilna za debele osebe, povzroča odpornost tkiv proti leptinu. Uči-nek slednje na imunski sistem je bil pred-met številnih raziskav, ki so jih opravljali na

miših, ki so imele zaradi genskega progra-miranja nefunkcionalne leptinske receptorje (ekivalent odpornosti tkiv proti leptinu, ki se pojavi pri debelih). V primerjavi s kon-trolno skupino so miši z nefunkcionalnimi leptinskimi receptorji imele višjo stopnjo umrljivosti po okužbi z virusom gripe, po-gostejša vnetja dihal, opazno atrofijo pri-željca in znižano koncentracijo limfocitov T in B (Francisco, Pino, Campos-Cabaleiro, Ruiz-Fernandez, Mera, Gonzales-Gay, Go-mez, Gualillo, 2018).

Vpliv leptina na prirojeni imunski sistem se kaže kot večja citotoksičnost naravnih celic ubijalk ter kot aktivacija granulocitov, ma-krofagov in dendritičnih celic. Leptin vpliva tudi na regulatorne limfocite T, ki so poten-cialni zaviralci avtoimunih obolenj, kot je na primer revmatoidni artritis. V kliničnih raziskavah so potrdili, da znižanje vrednosti leptina v krvi s hujšanjem izboljša simptome te bolezni (Francisco, Pino, Campos-Ca-baleiro, Ruiz-Fernandez, Mera, Gonzales-Gay, Gomez, Gualillo, 2018).

Debelost zaradi zavore imunskega siste-ma postaja dejavnik tveganja za nalezljive bolezni. Ena najpogostejših nalezljivih bo-lezni v današnjem času je gripa, ki vsako leto prizadene milijone ljudi na svetu. Po prvi pandemiji gripe v enaindvajsetem sto-letju (prašičja gripa, H1N1, leta 2009) so v Združenih državah Amerike opravili klinič-no raziskavo, ki je preučevala 534 obolelih odraslih za gripo. Kar 51 odstotkov obolelih za gripo je imelo preveliko telesno težo (in-deks telesne teže, ITM  $\geq 30$  kilogramov na kvadratni meter) in 61 odstotkov od umrlih zaradi gripe v isti raziskovalni skupini pa je bilo pretežkih (Louie in sodelavci, 2011). Da je debelost dejavnik tveganja za gripo, so potrdile tudi raziskave na miših. Debe-le miši so med drugim imele nižje vredno-sti limfocitov B, ki so ključni za tvorjenje protiteles, zanimivo pa je, da se smrtnost zaradi gripe pri debelih miših ni zmanjša-la niti po predhodnem cepljenju proti gripici. Podobno so ugotovili v kliničnih raziskavah,

kjer so v krvi preiskovancev trideset dni po tem, ko so jih cepili proti gripi, ugotovili, da je odziv na cepljenje primeren v vzorcih obeh skupin – ustrezno in čezmerno prehranjenih. Vendar se je leto dni po cepljenju v serumu čezmerno prehranjenih močno znižala količina zaščitnih protiteles (Green, Beck, 2017). Med letoma 2013 in 2015 so v raziskavi, ki je zajela 1.022 obolelih za gripo, ugotovili, da imajo cepljeni pretežki odrasli kar dvakrat večje tveganje za klinično izraženo gripo kot cepljeni odrasli s primerno telesno težo, in to kljub enaki tvorbi zaščitnih protiteles proti gripi po cepljenju v obeh primerjalnih skupinah (Neidich, Green, Rebeles in sodelavci, 2017).

Te ugotovitve izzivajo trenutno veljavne standarde za zaščito pred okužbami, zlasti ker se število pretežkih oseb povečuje in debelost postaja resen javnozdravstveni problem po vsem svetu. Poleg do sedaj znanih skupin ljudi s povečanim tveganjem za težji potek gripe, kamor uvrščamo starejše, otroke in bolnike z oslabeledim imunskim sistemom, bomo morali v prihodnje uvrstiti tudi osebe s preveliko telesno težo in jim ponuditi ustrezne preventivne programe (Green, Beck, 2017).

### **Sedeči življenjski slog povzroča kronično sistemsko vnetje**

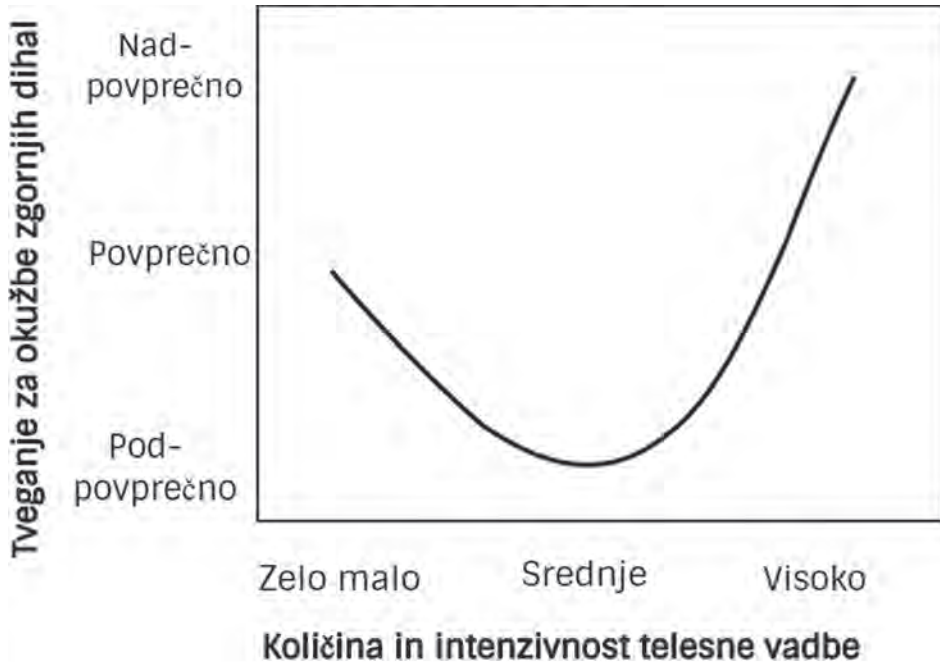
Za delovno aktivno prebivalstvo sta čedalje bolj značilna sedeči način življenja in zmanjšana telesna aktivnost, kar negativno vpliva na imunski sistem. Povezava med telesno vadbo in dovzetnostjo za okužbe zgornjih dihalnih poti (ki so najpogostejša nalezljiva bolezen ljudi sploh) ima tako imenovano obliko J-krivulje, kar pomeni, da zmerno telesno aktivni zaradi ojačanja imunske odpornosti proti patogenom prebolevajo manj okužb kot tisti s pretežno sedečim življenjskim slogom. Število dni s simptomi okužb zgornjih dihalnih poti se zmanjša za 25 do 50 odstotkov, če je oseba od 12 do 15 tednov vsakodnevno zmerno telesno aktivna. Nasprotno pa dolgotrajna visoko intenzivna

vadba, kot je na primer maratonski tek, začasno zmanjša učinkovitost imunske obrambe in poveča pojavnost prehladnih obolenj (Gleeson, 2007).

Med telesno vadbo se v krvi zviša koncentracija ključnih igralcev imunskega sistema, kot so levkociti, nevtrofilci, protitelesa, vnetni citokini in C-reaktivni protein (CRP). Bolj kot je vadba intenzivna, višje so vrednosti teh označevalcev v krvi, povišane vrednosti pa vztrajajo še tri ure po vadbi. Prav tako telesna aktivnost poveča protitelesni odziv na cepljenje (Nieman, 2012).

Čeprav med telesno vadbo krvni označevalci vnetja porastejo nad referenčne vrednosti, pa med mirovanjem pri telesno aktivnih ljudeh v povprečju izmerimo bistveno nižje vrednosti teh označevalcev kot pri ljudeh, ki so čezmerno prehranjeni in/ali imajo pretežno sedeči način življenja. Na primer vrednosti C-reaktivnega proteina (CRP) pri odraslem rednem tekaču lahko v mirovanju padejo pod 0,5 miligrama na liter, medtem ko pri čezmerno prehranjeni postmenopavzni ženski pričakujemo vrednost, višja od 4 miligramov na liter. V krvi ljudi s pretežno sedečim življenjskim slogom torej opazimo stalno povišane vrednosti vnetnih označevalcev, kar imenujemo kronično sistemsko vnetje. Slednje je povezano z večjo pojavnostjo srčno-žilnih bolezni, rakavih obolenj, bolezni presnove (sladkorna bolezen tipa 2, ostoporoza), depresije in demence (Nieman, 2012).

Dejstvu, da telesna vadba pozitivno vpliva na imunsko odpornost, nasprotuje dejstvo, da so športniki po pretečenem maratonskem teku bolj ogroženi za prehladna obolenja. Daljša visoko intenzivna telesna vadba namreč zavira izražanje receptorjev na monocitih, ki so odgovorni za prepoznavo patogenov, kar pomeni, da ob okužbi ne pride do ustreznega imunskega odgovora. A dolgoročno ima ta začasna imunska pomanjkljivost po intenzivni športni vadbi pozitiven učinek. Manjše izražanje teh receptorjev povzroči zmanjšano vnetno kapaciteto levkoci-



*Slika 2: J-krivulja, ki ponazarja povezavo med stopnjo telesne aktivnosti in tveganjem za okužbe zgornjih dihalnih poti.*

*Slika povzeta po internetnem viru: [https://www.researchgate.net/figure/J-curve-model-depicting-the-risks-of-developing-URTI-based-on-the-volume-and-intensity\\_fig1\\_328673046](https://www.researchgate.net/figure/J-curve-model-depicting-the-risks-of-developing-URTI-based-on-the-volume-and-intensity_fig1_328673046).*

*Pridobljeno 26. maja 2019.*

tov v krvi vrhunskih športnikov, ki na dolgi rok zmanjša tveganje za kronična sistemska vnetna obolenja (Gleeson, 2007).

### **Višja higiena okolja in manjša izpostavljenost mikroorganizmom vodita v porast alergijskih in avtoimunih bolezni**

Nižjo obolevnost zaradi nalezljivih bolezni v zahodnem svetu spremlja porast bolezni imunskega sistema: gre za temelj tako imenovane higienske hipoteze, ki predpostavlja, da okužbe varujejo pred nastankom alergij-

skih in avtoimunskih bolezni oziroma da se pojavnost (incidenca) teh bolezni povečuje sorazmerno z izboljšanjem higienskega standarda (Okada, Kuhn, Feillet, Bach, 2010; Stiemsma, Reynolds, Turvey, Finlay, 2015). Strachanova higienska hipoteza iz leta 1989 v veliki meri izvira iz epidemioloških podatkov. Statistične analize v zadnjih desetletjih so namreč pokazale, da so se (zlasti v zahodnem svetu) zmanjšale predvsem okužbe z virusom hepatitisa A, s povzročitelji virusnih drisk in s paraziti, hkrati pa se je v območjih, ki so doživela največji upad teh okužb, izrazito povečala pojavnost alergijskih bolezni, sladkorne bolezni tipa 1, multiple skleroze in kroničnih vnetnih črevesnih bolezni (Okada, Kuhn, Feillet, Bach, 2010; Stiemsma, Reynolds, Turvey, Finlay, 2015; Bach, 2018). Hipotezo dodatno podpirajo še podatki o večji pojavnosti alergijskih in avtoimunskih bolezni pri otrocih ljudi, ki so se naprimer iz Azije preselili v Evropo

ali Združene države Amerike: kot primer lahko omenimo višjo pojavnost sladkorne bolezni pri Pakistancih v Veliki Britaniji in višjo pojavnost multiple skleroze pri Azijcih, živečih v Združenih državah Amerike. Dodatno je znotraj Evrope in Združenih držav Amerike opazen tudi trend naraščanja pojavnosti bolezni imunskega sistema od juga proti severu: na severu je obolevnost za alergijskimi in avtoimunskimi boleznimi višja, česar ne moremo povsem pojasniti zgolj z razlikami v genetski zasnovi (Okada, Kuhn, Feillet, Bach, 2010).

Naslednje zanimivo opažanje, ki podpira higiensko hipotezo, je dejstvo, da je pojavnost bolezni imunskega sistema obratno sorazmerna s številom starejših bratov in sester; mlajši otroci v družini imajo torej manjšo verjetnost, da zbolijo za alergijskimi ali avtoimunskimi boleznimi. Z drugimi besedami: več kot ima otrok starejših bratov/sester, manjša je verjetnost za imunske bolezni (Stiemsma, Reynolds, Turvey, Finlay, 2015). Bolezni, pri katerih je bila omenjena povezava potrjena z raziskavami, so diabetes tipa 1, multipla skleroza, alergijski rinitis in astma (Okada, Kuhn, Feillet, Bach, 2010). Pojavnost zadnjih dveh je bila manjša tudi pri otrocih, ki so v prvih šestih mesecih življenja obiskovali skupinsko varstvo (Ball, Castro-Rodriguez, Griffith, Holberg, Martinez, Wright, 2000). Možno je torej, da bi mikroorganizmi, ki so jim otroci v takih okoliščinah neizogibno izpostavljeni, lahko prispevali k zaščiti pred nastankom bolezni imunskega sistema (Okada, Kuhn, Feillet, Bach, 2010).

Da bi potrdili vpliv infekcijskih agensov na imunski sistem, je bilo izpeljanih več raziskav na živalih: te so pri miših na primer dokazale povezavo med znižanim infekcijskim bremenom in posledično višjo pojavnostjo sladkorne bolezni tipa 1 (Like, Guberski, Butler, 1991) ter obratno sorazmerno povezavo med okužbo z mikobakterijami in pojavnostjo (incidenca) alergijske astme (Hopfenspirger, Parr, Hopp, Townley,

Agrawal, 2001). Raziskave so pokazale tudi, da okužbe s paraziti pri živalih preprečujejo senzibilizacijo (povečano občutljivost) na alergene: pri miših, okužene s paraziti *Heligmosomoides polygyrus*, *Shistosoma mansoni* in *Ancylostoma ceylanicum*, je bila pojavnost alergijskih in vnetnih bolezni nižja (Kitagaki, K., Businga, T., Racila, D., Elliott, D., Weinstock, J., Kline, J., 2006; Zaccone, Fehrevari, Jones, Sidobre, Kronenberg, Dunne, Cooke, 2003; Cancado, Fiuzza, Lemos, Gazzinelli-Guimaraes, Martins, Bartholomeu in sod., 2011). Nekaj raziskav je celo dokazalo učinkovitost zdravljenja kroničnih vnetnih črevesnih bolezni pri ljudeh z jajčeci parazita *Trichuris suis*, vendar več drugih raziskav učinkovitosti tovrstnega zdravljenja ni moglo potrditi (Stiemsma, Reynolds, Turvey, Finlay, 2015; Summers, Elliott, Urban, Thompson, Weinstock, 2005).

Obstajajo tudi raziskave, ki so se večinoma osredotočale na vpliv probiotikov na zdravljenje ali zaščito pred določenimi boleznimi. Čeprav so dokazi nasprotujoči, bi jemanje probiotikov med nosečnostjo lahko imelo pozitiven vpliv na zmanjšanje pojavnosti atopijskega dermatitisa pri dojenčkih (Kalliomäki, Salminen, Arvilommi, Kero, Koskinen, Isolauri, 2001). Zanimive so tudi ugotovitve leta 2009 izpeljane raziskave (Miele in sod.), ki so na sicer majhnem vzorcu otrok z ulceroznim kolitisom dokazali znatno povečanje števila začasnega izboljšanja (remisij) bolezni pri otrocih, ki so jemali probiotike (Miele, Pascarella, Giannetti, Quaglietta, Baldassano, Staiano, 2009).

Kljub obširnim raziskavam na tem področju pa imunološki mehanizmi za higiensko hipotezo še vedno niso jasni. Predpostavka, da pomanjkanje izpostavljenosti mikroorganizmom spremeni razmerje med celicami T pomagalkami tipa 1 in tipa 2 v korist zadnjih, ki imajo pomembno vlogo v senzibilizaciji na alergene, se je v zadnjih letih pokazala za nepopolno, saj na primer parazitne

okužbe paradoksnost povečujejo število celic T pomagalke tipa 2 ob hkratnem zmanjšanju verjetnosti za nastanek alergij. Zanimiva je tudi hipoteza o tekmovanju antigenov (angleško *antigen competition*), ki predpostavlja, da bi razvoj imunskega odziva proti »močnim« antigenom na površini mikroorganizmov lahko preko kompleksnih povezav med celicami imunskega sistema zavrl imunski odziv proti podobnim, vendar »šibkim« antigenom, kot so avtoantigeni in alergeni. Pri zmanjšanju vnetnega odziva pod vplivom nekaterih okužb pa bi lahko imeli vlogo tudi regulatorni limfociti T, celice, ki sodelujejo pri nadzoru aktivnosti imunskega odziva. Higijenska hipoteza – če drži – odpira mnoge nove možnosti za zdravljenje ter morda tudi preprečevanje bolezni imunskega sistema (Okada, Kuhn, Feillet, Bach, 2010; Stiemsma, Reynolds, Turvey, Finlay, 2015).

### Stres vpliva na odpornost

Ena od glavnih negativnih posledic sodobnega načina življenja je psihološki stres, ki mu je izpostavljenih vse več ljudi, zlasti v delovno aktivni populaciji. Stres je zelo širok pojem in na človeka deluje različno, odvisno od intenzitete in časa delovanja stresorjev. Akutni stres, ki traja nekaj minut, deluje pozitivno na imunski sistem in nas obvaruje pred poškodbo ali okužbo. S sproščanjem stresnih hormonov (naprimer kortizola), ki povečajo število belih krvničk v krvi, omogoči zamejitev okužbe na tarčnem mestu. Pri akutnem stresu je krvna koncentracija stresnih hormonov mejno povišana in levkociti so nakopičeni v tarčnem tkivu in območnih bezgavkah (Morey in sod., 2015; Miele, Pascarella, Giannetti, Quaglietta, Baldassano, Staiano, 2009; McGregor, Murphy, Albano, Ceballos, 2016).

Pri kroničnem stresu, ki traja vsaj nekaj ur na dan več tednov zapored, pa je vrednost kortizola v krvi tako visoka, da povzroči apoptozo prekurzorjev limfocitov B. Posledica tega je slabši protitelesni odziv na različne antigene (tudi na cepljenje). Poleg

nižje proliferacije (razmnoževanja) limfocitov kronični stres povzroča večjo pojavnost reaktivacije latentnih virusov (neaktivnih, spečih virusov v telesu, ki se običajno aktivirajo ob padcu imunske odpornosti) (na primer pasavec) ter daljše celjenje ran. Dolgotrajni psihološki stres zavira imunsko obrambo ter s tem poveča dovzetnost za okužbe in rakava obolenja, paradoksnost pa tudi poslabša alergijske, avtoimune ter kronične sistemske vnetne bolezni. Dolgotrajna izpostavljenost visoki vrednosti kortizola namreč povzroči odpornost oziroma neobčutljivost receptorjev imunskih celic za stresne hormone. Zavrt uravnavalen učinek kortizola vodi v razmah sistemskega vnetja, ki je vzrok za različna obolenja (Morey in sod., 2015; Dhabhar, 2008; McGregor, Murphy, Albano, Ceballos, 2016).

### Pomanjkanje spanja slabi imunski odziv

Vse več ljudi pomanjkanje časa rešuje z zmanjšanjem števila ur, ki si jih vsakodnevno privoščijo za spanje. Medtem ko so kratkotrajni učinki pomanjkanja spanja očitni in vsem dobro znani – utrujenost, razdražljivost, pomanjkanje motivacije –, pa je manj razširjeno zavedanje o škodljivem vplivu pomanjkanja spanja na imunski sistem.

Neprespanost povečuje tveganje za že povsem običajne okužbe, kot je navadni prehlad (Basedowski, Lange, Born, 2012). Slabša funkcija imunskega odziva je posledica več celičnih mehanizmov, kot so motena proliferacija limfocitov, spremenjena funkcija imunskih celic in znižano izražanje za imunski sistem pomembnih genov (Basedowski, Lange, Born, 2012). Začetne faze spalnega cikla v splošnem lahko označimo kot provnetne: poveča se koncentracija imunskih celic v krvi in bezgavkah, hkrati pa povezave med imunskimi celicami postanejo bolj aktivne zaradi večjega sproščanja nekaterih molekul, kot so faktor tumorske nekroze alfa (TNF- $\alpha$ ), interferon gama (IFN- $\gamma$ ) in interleukina 1 in 12 (Basedowski, Lange, Born, 2012). Naštete

spremembe v aktivnosti imunskega odziva nastanejo pod vplivom nekaterih hormonov, ki se v povečani koncentraciji izločajo med spanjem, in sicer ravnega hormona, prolaktina, melatonina in leptina (Ibarra-Coronado, Pantaleon-Martinez, Velazquez-Moctezuma, Prospero-Garcia, Mendez-Diaz, Perez-Tapia, 2015). Hkrati se aktivnost imunskega odziva med spanjem poveča tudi zaradi lokalnih sprememb v celicah in tkivih; poskusi *in vitro* (to so poskusi, ki jih delajo v umetnem okolju, na primer v epruveti) so pokazali, da imajo makrofagi kot ključne celice v imunskem odzivu nekakšno notranjo uro, ki jim omogoča periodično povečevanje in zmanjševanje svoje aktivnosti (Keller, Mazuch, Abraham, Eom, Herzog, Volk, 2009). Poskusi na živalih so pokazali, da bi tudi zmanjšana simpatična aktivnost živčnega sistema med spanjem lahko prispevala k močnejšemu imunskemu odzivu (Cardinali, Della Maggiore, Selgas, Esquifino, 1996). Zadostna količina spanja je ključnega pomena za ustrezno obrambo pred okužbami, pa tudi za nastanek ustreznega imunskega spomina: tvorjenje protiteles po cepljenju je dokazano učinkovitejše, če se po cepljenju primerno naspimo (Basedowski, Lange, Born, 2012; Ibarra-Coronado, Pantaleon-Martinez, Velazquez-Moctezuma, Prospero-Garcia, Mendez-Diaz, Perez-Tapia, 2015).

Po drugi strani dolgotrajna neprespanost – v raziskavah običajno od štiri do deset dni – paradoksnno poveča imunsko aktivnost organizma, saj se v periferni krvi poveča koncentracija označevalcev vnetja (Meier-Ewert, Ridker, Rifai, Regan, Price, Dinges, Mullington, 2004). Pomanjkanje spanja tako vodi v provnetno stanje, ki za razliko od normalno delujočega imunskega odziva ni zaželeno. Ta navidezni paradoks lahko razložimo s spremenjenim razmerjem med vrstami spodbujenih imunskih celic, ki se v primeru dolgotrajnega pomanjkanja spanja pomakne v smer nespecifičnih celic naravnega imunskega odziva: ob dolgotrajnem pomanjkanju spanja naj bi torej imunski odziv postal moč-

nejši, vendar manj specifičen in s tem neustrezen. Pomanjkanje spanca torej povečuje verjetnost tako za okužbe kot za sistemske vnetne bolezni (Basedowski, Lange, Born, 2012; Ibarra-Coronado, Pantaleon-Martinez, Velazquez-Moctezuma, Prospero-Garcia, Mendez-Diaz, Perez-Tapia, 2015).

### Staranje prebivalstva povzroča imunosenescentco

Svetovno prebivalstvo se stara in posledično se stara tudi človekov imunski sistem. Ta pojav imenujemo imunosenescentca. Starostne spremembe imunskega sistema nastanejo zaradi genetike in vplivov okolja, kot so izpostavljenost virusom, neustrezni življenjski slog (premalo telesne aktivnosti, nezdrava prehrana) ter dolgotrajni psihološki stres. Prva znaka imunosenescentce sta atrofija priželjca in zmanjšanje primarne limfopoeze. Zmanjša se število limfocitov B in T, tvorba protiteles upade in s starostjo se slabša protitelesni odziv na nove antigene (Sellami in sod., 2018). Starejši ljudje imajo višjo koncentracijo faktorja tumorske nekroze in interleukinov v serumu, kar povzroča kronično vnetje brez izraženih simptomov ter povečano tvorbo avtoprotiteles, zato so pri njih avtoimune bolezni pogostejše. Imunosenescentca povzroča slabši ter kratkotrajnejši protitelesni odziv starejših oseb na cepljenje. Količina protiteles po cepljenju pri starejših upada hitreje kot pri mlajših, zato je za zagotovitev primerne imunskega spomina pomembna zlasti ustrezna osnovna precepljenost v mladosti. Pri starejših od petinšestdeset let priporočajo cepljenje proti gripi, pnevmokoknim okužbam, pasavcu, klopnemu meningoencefalitisu ter pozitivne odmerke proti davici, tetanusu in oslovskemu kašlju (Vidovič, Simonovič, Turk, Vuzem, 2017).

### Vpliv brezžičnih sistemov komunikacije na imunski sistem

Človek je že od nekdaj izpostavljen elektromagnetnemu sevanju iz naravnih virov, a v

sodobnem času zaradi hitrega tehnološkega razvoja in vzpostavljanja brezžičnih sistemov komunikacije intenziteta umetno ustvarjenih sevanj neustavljivo raste. Znanstveniki, politiki, zaposleni na vodilnih položajih telekomunikacijskih podjetij in splošna javnost že vrsto let iščejo odgovor na vprašanje: »Ali lahko človeški organizem brez posledic prenese vedno večje elektromagnetno sevanje v okolju, kjer biva?« (Johansson, 2009; Gajšek, Valič, 2014.)

Izsledki raziskav kažejo, da elektromagnetno sevanje povzroča spremembe v človeškem telesu že ob izpostavljenosti mnogo nižjim vrednostim, kot so v predpisih določene najvišje dovoljene sevalne obremenitve v okolju. Kot največjo nevarnost elektromagnetnega sevanja za zdravje se pogosto omenjajo rakava obolenja, zlasti otroška levkemija, a raziskave kažejo tudi na povečano tveganje za možganske tumorje, kot so akustični nevriinom, astrocitom in meningeom na tisti strani možganov, kjer posameznik drži mobilni telefon med pogovorom (Johansson, 2009). A naj se osredotočimo na vprašanje, kakšen vpliv ima brezžična komunikacija na imunski sistem, ki predstavlja »prvo bojno linijo« človeškega telesa pred potencialno škodljivimi zunanji vplivi. Medtem ko običajni antigeni vstopajo v telo skozi ena »vhodna vrata« – skozi kožo, prebavno sluznico ali dihala –, elektromagnetno sevanje prodira skozi celotno telo, zaradi česar bi bili lahko njegovi učinki toliko bolj škodljivi. Leta 2006 je Svetovna zdravstvena organizacija objavila članek o elektrohipersenzitivnosti, funkcionalnem stanju, ki povzroča simptome na koži obraza (srbečica, eritem), težave v koncentraciji in simptome motenega delovanja srčno-žilnega sistema, ki se pojavijo po izpostavitvi elektromagnetnemu sevanju. Sevanje pri nekaterih ljudeh namreč povzroča degranulacijo histamina iz mastocitov, ki se nahajajo v koži, možganih in srcu. Raziskave na miših, ki so jih izpostavili močnemu visokofrekvenčnemu elektromagnetnemu sevanju za dvajset minut, so pokazale upad

nevtrofilcev v krvi za petdeset odstotkov dve uri po izpostavitvi. Znižana vrednost nevtrofilcev je vztrajala še dan po izpostavitvi, normalna fagocitna funkcija nevtrofilcev pa se je povrnila po treh dneh. Leta 2001 je izšla študija, ki je potrdila, da visokofrekvenčno elektromagnetno sevanje zmanjša citotoksično aktivnost v periferni krvi človeka. Skupina odraslih žensk, ki je bila dve leti izpostavljena dvakrat večjemu elektromagnetnemu sevanju v okolju kot kontrolna skupina žensk, je pokazala statistično pomemben upad imunskih celic v krvi, prav tako je bila nižja produkcija interleukina-2 in interferona gama *in vitro* (Johansson, 2009).

Glede na do sedaj opravljene raziskave je moč sklepati, da visokofrekvenčno elektromagnetno sevanje negativno vpliva na imunski sistem in je lahko vzrok imunskih obolenj, alergijskih reakcij ter avtoimunih bolezni. Manj znani so učinki dolgotrajne izpostavljenosti nizkofrekvenčnim elektromagnetnim sevanjem ter netermični vplivi sevanja. To ostaja predmet nadaljnjih raziskav (Johansson, 2009; Gajšek, Valič, 2014).

### Zaključek

Sodobni način življenja vse prepogosto zaznamujejo nezdravi način prehranjevanja, veliko psihičnih obremenitev ter premalo gibanja in spanja. Vse naštetu pripomore ne le k nastanku bolezni srčno-žilnega sistema, ki so v zadnjih desetletjih najpogostejši vzrok obolevnosti in umrljivosti prebivalstva, temveč tudi k slabitvi imunskega sistema. V članku sva opisali, kako sodobni način življenja povečuje tveganje za nastanek alergijskih, avtoimunskih in sistemskih vnetnih bolezni. Bolezni, kot so atopijski dermatitis, alergijski rinitis, astma, diabetes tipa 1 in kronična vnetna črevesna bolezen, so tako pogostejše kot kadar koli prej, hkrati pa se, tudi zaradi starajočega se prebivalstva, povečuje število oseb z okrnjenim delovanjem imunskega sistema.

Čeprav na vse življenjske okoliščine ne



moremo vplivati, je pomembno, da se zavedamo vpliva našega načina življenja na zdravje in odpornost: zgolj tako bomo lahko boleznim sodobnega časa ne samo zdravili, temveč tudi preprečevali. Pri tem oblikovanje preprečevalnih ukrepov ne sme biti prepuščeno zgolj bolnišnicam in zdravstvenim domovom, saj ima prav vsak posameznik možnost, da v skladu s svojim znanjem prispeva k zdravju sebe in drugih.

#### Literatura:

- Bach, J., 2018: *The hygiene hypothesis in autoimmunity: the role of pathogens and commensals. Nature Reviews Immunology*, 18: 105–120.
- Ball, T., Castro-Rodriguez, J., Griffith, K., Holberg, C., Martinez, F., Wright, A., 2000: *Siblings, day-care attendance, and the risk of asthma and wheezing during childhood. New England Journal of Medicine*, 343 (8): 538–543.
- Basedowski, L., Lange, T., Born, J., 2012: *Sleep and immune function. Pflügers Archiv: European Journal of Physiology*, 463 (1): 121–137.
- Boulet, L., 2013: *Asthma and obesity. Clinical and Experimental Allergy*, 43: 8–21.
- Cancado, G., Fiuza, J., Lemos, L., Gazzinelli-Guimaraes, P., Martins, V., Bartholomeu, D., in sod., 2011: *Hookworm products ameliorate dextran sodium sulfate-induced colitis in BALB/c mice. Inflammatory Bowel Diseases*, 17 (11): 2275–2286.
- Cardinali, D., Della Maggiore, V., Selgas, L., Esquifino, A., 1996: *Diurnal rhythm in ornithine decarboxylase activity and noradrenergic and cholinergic markers in rat submaxillary lymph nodes. Brain Research*, 711 (1–2): 153–162.
- Christ, A., Günther, P., Lauterbach, M., Dueswell, P., Biswas, D., Pelka, K., in sod., 2017: *Western Diet Triggers NLRP3-Dependent Innate Immune Reprogramming. Cell*, 172 (1): 162–175.
- Corley, D., Schuppan, D., 2015: *Introduction – Food, the Immune System, and the Gastrointestinal Tract. Gastroenterology*, 148 (6): 1083–1086.
- Dhahbar, F., 2008: *Enhancing versus Suppressive Effects of Stress on Immune Function: Implications for Immunoprotection versus Immunopathology. Allergy, Asthma and Clinical Immunology*, 4.
- Dixon, A., Holguin, F., Sood, A., Salome, C., Pratley, R., Beutner, D., in sod., 2010: *An official American Thoracic Society Workshop report: obesity and asthma. Proceedings of the American Thoracic Society*, 7 (5): 325–335.
- Francisco, V., Pino, J., Campos-Cabaleiro, V., Ruiz-Fernandez, C., Mera, A., Gonzales-Gay, M. A., Gomez, R., Gualillo, O., 2018: *Obesity, Fat Mass and Immune System: Role for Leptin. Frontiers in Physiology*, (9): 640.
- Fukuda, S., Tob, H., Taylor, T., Ohno, H., Hattori, M., 2012: *Acetate-producing bifidobacteria protect the host from enteropathogenic infection via carbohydrate transporters. Gut Microbes*, 3 (5): 449–454.
- Gajšek, P., Valič, B., 2014: *Elektromagnetna sevanja – Brezžični sistemi in zdravje. (Publikacija.) Ljubljana: Forum EMS.*
- Garcia, O., Mendez-Diaz, M., Perez-Tapia, M., 2015: *The Bidirectional Relationship between Sleep and Immunity against Infections. Journal of Immunology Research*: 678164.
- Gleeson, M., 2007: *Immune function in sport and exercise. Journal of Applied Physiology*, 103: 693–699.
- Green, W. D., Beck, M. A., 2017: *Obesity impairs the adaptive immune response to Influenza virus. North Carolina: Department of Nutrition, University of North Carolina at Chapel Hill.*
- Hopfenspirger, M., Parr, S., Hopp, R., Townley, R., Agrawal, D., 2001: *Mycobacterial antigens attenuate late phase response, airway hyperresponsiveness, and bronchoalveolar lavage eosinophilia in a mouse model of bronchial asthma. International Immunopharmacology*, 1 (9–10): 1743–1751.
- Ibarra-Coronado, E., Pantaleon-Martinez, A., Velazquez-Moctezuma, J., Prospero-Keller, M., Mazuch, J., Abraham, U., Eom, G., Herzog, E., Volk, H., 2009: *A circadian clock in macrophages controls inflammatory immune responses. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (50): 21407–21412.
- Jensen, M., Wood, L., Gibson, P., 2012: *Obesity and childhood asthma – mechanisms and manifestations. Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 12 (2): 186–92.
- Johansson, O., 2009: *Disturbance of the immune system by electromagnetic fields – A potentially underlying cause for cellular damage and tissue repair reduction which could lead to disease and impairment. Pathophysiology*, 16: 157–177.
- Kalliomäki, M., Salminen, S., Arvilommi, H., Kero, P., Koskinen, P., Isolauri, E., 2001: *Probiotics in primary prevention of atopic disease: a randomised placebo-controlled trial. Lancet*, 357 (9262): 1076–1079.
- Kitagaki, K., Businga, T., Racila, D., Elliott, D., Weinstock, J., Kline, J., 2006: *Intestinal helminths protect in a murine model of asthma. Journal of Immunology*, 177 (3): 1628–1635.
- Kraigher, A., Ihan, A., Avčin, T., 2011: *Cepljenje in cepiva – dobre prakse varnega cepljenja. Univerzitetni učbenik za študente medicinske in zdravstvene fakultete. Ljubljana: Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije.*
- Like, A., Guberski, D., Butler, L., 1991: *Influence of environmental viral agents on frequency and tempo of diabetes mellitus in BB/Wor rats. Diabetes*, 40 (2): 259–262.
- Louie, J. K., in sod., 2011: *California Pandemic (H1N1) Working Group. A novel risk factor for a novel virus:*

obesity and 2009 pandemic influenza A (H1N1). *Clinical Infectious Diseases*, 52: 301–312.

McGregor, B. A., Murphy, K. M., Albano, D. L., Ceballos, R. M., 2016: *Stress, cortisol, and B*

*lymphocytes: a novel approach to understanding academic stress and immune function. Stress*, 2: 185–191.

Meier-Ewert, H., Ridker, P., Rifai, N., Regan, M., Price, N., Dinges, D., Mullington, J., 2004: *Effect of sleep loss on C-reactive protein, an inflammatory marker of cardiovascular risk. Journal of the American College of Cardiology*, 43 (4): 678–683.

Miele, E., Pascarella, F., Giannetti, E., Quaglietta, L., Baldassano, R., Staiano, A., 2009: *Effect of a probiotic preparation (VSL#3) on induction and maintenance of remission in children with ulcerative colitis. American Journal of Gastroenterology*, 104 (2): 437–443.

Morey, J. N., in sod., 2015: *Current Directions in Stress and Human Immune Function. Current Opinion in Psychology*, 5: 13–17.

Myles, L., 2014: *Fast food fever: reviewing the impacts of the Western diet on immunity. Nutrition Journal*, 13: 61.

Neidich, S. D., Green, W. D., Rebeles, J., in sod., 2017: *Increased risk of influenza among vaccinated adults who are obese. International Journal of Obesity*, 41: 1324–1330.

Nieman, D. S., 2012: *Clinical implication of exercise immunology. Journal of Sport and Health Science*, 1: 12–17.

Noverr, M., Huffnagle, G., 2004: *Does the microbiota regulate immune responses outside the gut? Trends in Microbiology*, 12 (12): 562–568.

Okada, H., Kubn, C., Feillet, H., Bach, J., 2010: *The »hygiene hypothesis« for autoimmune and allergic diseases: an update. Clinical and Experimental Immunology*, 160 (1): 1–9.

Rook, G., Martinelli, R., Brunet, L., 2003: *Innate immune responses to mycobacteria and the downregulation of atopic responses. Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 3 (5): 337–342.

Sellami, M., in sod., 2018: *Effects of Acute and Chronic Exercise on Immunological Parameters in Elderly Aged: Can Physical Activity Counteract the Effects of Aging? Frontiers in Immunology*, (9), članek 2187.

Stiemsma, L., Reynolds, L., Turvey, S., Finlay, B., 2015: *The hygiene hypothesis: current perspectives and future therapies. ImmunoTargets and Therapy*, 4: 143–157.

Summers, R., Elliott, D., Urban, J., Thompson, R., Weinstock, J., 2005: *Trichuris suis therapy in Crohn's disease. Gut*, 4 (1): 87–90.

Thorburn, A., Macia, L., Mackay, C., 2014: *Diet, Metabolites, and »Western-Lifestyle«. Inflammatory Diseases. Immunity*, 40 (6): 833–842.

Vaarala, O., Atkinson, M., Neu, J., 2008: *The »perfect storm« for type 1 diabetes: the complex interplay between intestinal microbiota, gut permeability, and mucosal*

*immunity. Diabetes*, 57 (10): 2555–2562.

Vidovič, Š., Simonovič, Z., Turk, K., Vuzem, S., 2017: *Imunosenescenca in cepljenje starostnikov. Javno zdravje*, 1: 15–22.

Wikipedia: Imunski sistem, [https://sl.wikipedia.org/wiki/Imunski\\_sistem](https://sl.wikipedia.org/wiki/Imunski_sistem). (Dostop 30. 7. 2019.)

Zacone, P., Febrevari, Z., Jones, F., Sidobre, S., Kronenberg, M., Dunne, D., Cooke, A., 2003: *Schistosoma mansoni antigens modulate the activity of the innate immune response and prevent onset of type 1 diabetes. European Journal of Immunology*, 33 (5): 1439–1449.

**Mina Pirih** je letos diplomirala na Medicinski fakulteti v Ljubljani in opravlja sekundariat v Splošni



bolnišnici Jesenice. Zanima jo specializacija iz družinske medicine, sicer pa jo veseliijo potovanja in pohodništvo, za katera kljub materinstvu še vedno najde čas.

**Lučka Šetinc** je absolventka Medicinske fakultete v Ljubljani in se trenutno izpopolnjuje na Oddelku za infektologijo in revmatologijo berlinske univerzitetne klinike Charité, saj jo v nadaljevanju kariere poti zanima specializacija iz infektologije. Prosti čas rada preživlja v naravi in ob športnih aktivnostih, zlasti plavanju in pohodništvu.



# Perovskitne sončne celice

Barbara Repič, Tina Skalar, Marjan Marinšek

Življenje brez elektrike si danes skoraj ni mogoče predstavljati. Zaradi našega življenjskega sloga so potrebe po njej iz dneva v dan večje. Poznamo veliko načinov pridobivanja električne energije, a še zmeraj prevladuje konvencionalna tehnologija, ki temelji na notranjem izgorevanju fosilnih goriv. Njihove zaloge se zmanjšujejo in njihova proizvodnja je zaradi izpustov toplogrednih plinov in drugih škodljivih onesnaževalcev ekološko vprašljiva. Raziskovalci zato namenjajo veliko pozornost izrabam alternativnih virov energije in energijskim pretvorbam, ki so manj obremenilne za okolje.

Med obnovljive vire energije sodi tudi Sončeva energija. Sonce oddaja cel spekter svetlobe. Del Sončeve svetlobe se odbije od ozonske plasti, ozračja, oblakov in delcev v zraku, kljub temu pa Sonce k nam prenese ogromne količine energije. V eni sami uri Sonce prenese enako količino energije, kot ga celotno človeštvo porabi v enem letu - približno  $5 \times 1.020$  joulov. Vsa energija, ki jo Zemlja od Sonca sprejme v enem letu, pa je kar dvakrat večja od vseh znanih zalog premoga, nafte, zemeljskega plina in urana skupaj. Ko to združimo z dejstvom, da je Sončeva energija v bistvu neizčrpna, na voljo po vsem svetu in okoljsko neoporečna, si je težko predstavljati, zakaj tega bolje ne izkoristimo (Morton, 2006).

Sončeva energija se lahko pretvori v električno energijo na dva načina:

- S sončnimi koncentratorskimi sistemi za proizvodnjo električne energije posredno s predhodno pretvorbo v toplotno energijo. Pri teh sistemih se Sončeva svetloba koncentrira na medije, ki proizvajajo paro. Ta poganja turbino, ki v povezavi z generatorjem proizvaja električno energijo.
- S fotovoltaičnimi napravami, ki energijo svetlobe zaradi fotovoltaičnega učinka neposredno pretvorijo v električno energijo.

Sončno energijo lahko izkoriščamo tudi s sončnimi kolektorji, s katerimi grejemo vodo - sanitarno vodo in vodo za ogrevanje (Pavlin, 1996).

## Splošno o sončnih celicah

Fotovoltaika je veda, ki raziskuje pretvorbo energije fotonov v elektriko. Ime je sestavljeno iz grške besede *phos*, ki pomeni svetlobo, in besede *volt*. Sončna celica ali fotovoltaična celica je električna naprava, ki Sončevo sevanje pretvori neposredno v električno energijo. Pri tem sodelujeta tako neposredno sevanje - to je sevanje, ki neovirano prodre skozi ozračje - kot tudi difuzno Sončevo sevanje - to je Sončevo sevanje, ki se razprši oziroma absorbira zaradi prašnih delcev in molekul v ozračju in neusmerjeno prispe na Zemljino površino. Princip delovanja je pri vseh sončnih celicah podoben in temelji na fotovoltaičnem učinku. To pomeni, da materiali ob osvetlitvi zaradi absorpcije fotonov

svetlobe sproščajo nosilce električnega naboja. Če so ti prosti elektroni zajeti, dobimo enosmerni električni tok oziroma električno energijo (Blakers, Zin, McIntosh, Fong, 2013). Na prvi pogled se zdi, da je Sončeva energija popolna rešitev vseh energijskih in okoljskih težav.

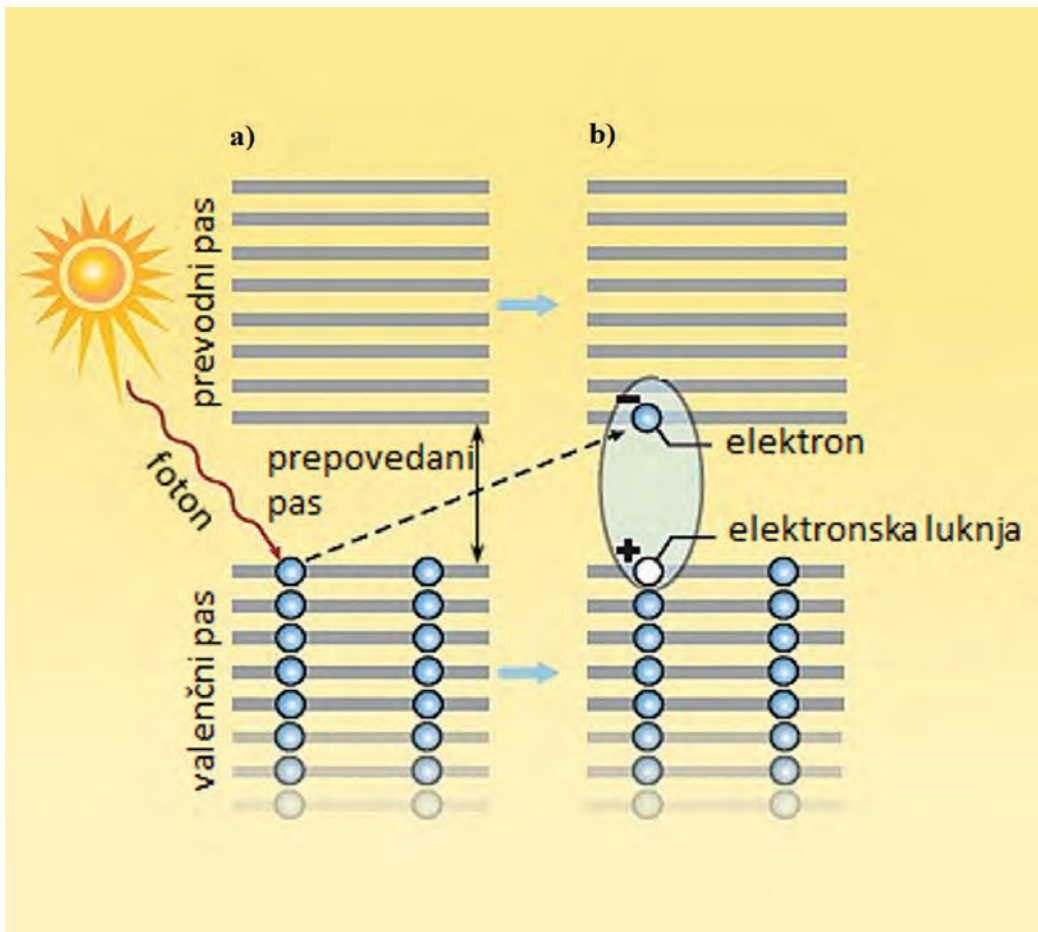
Ena od velikih prednosti uporabe sončnih celic je majhen vpliv na okolje. Edino onesnaženje, ki ga ustvarijo sončne celice, nastane med njihovo izdelavo. Druga velika prednost pa je sposobnost proizvodnje električne energije na mestih, ki niso povezana z električnim omrežjem - v manjših vaseh ali celo vesoljskih plovilih (Hasnain, Elani, Alawaji, Abaoud, Smiai, 1995). Poleg številnih prednosti pa imajo sončne celice tudi

nekaj slabosti. Glavni argument nasprotnikov sončnih celic je, da se za njihovo izdelavo porabi preveč energije. Druga slabost pa so visoki proizvodni stroški. Električna energija, proizvedena s sončnimi celicami, je namreč dražja od električne energije, pridobljene s pomočjo vetra ali iz zemeljskega plina. Poleg visokih proizvodnih stroškov je slabost sončnih celic tudi razmeroma nizka učinkovitost. Učinkovitost silicijevih sončnih celic, ki so najbolj razširjene na trgu, je od deset- do dvajsetodstotna (Alharbi, Kais, 2015; Blakers, Green, 1986).

### Princip delovanja sončnih celic

Sončne celice so narejene iz polprevodniških materialov, ki imajo ločena valenčni in prevodni energijski pas. Pasova označujeta, kakšno energijo ima lahko nosilec naboja. Med obema pasovima se nahaja tako imenovani prepovedani pas, kjer ne najdemo nosilcev naboja (slika 1).

Za čiste (imenovane tudi intrinzične) polprevodnike je značilno, da imajo v osnovnem stanju (pri zelo nizki temperaturi) popolnoma zaseden valenčni in popolnoma prazen prevodni pas, zato ne prevajajo elek-



*Slika 1: Energijski diagram polprevodnika:  
a) v osnovnem stanju in b) v vzbujenem stanju  
(McEvoy, A., Markvart, T., Castañer, L., 2013).*

tričnega toka (McEvoy, Markvart, Castañer, 2013). Če je energija vpadnih fotonov svetlobe enaka ali večja od širine prepovedanega pasu, lahko atomi kristala absorbirajo fotone, s čimer lahko nekateri elektroni atomov polprevodnika zapustijo svoje mesto v valenčnem pasu (VB) in se preselijo v prevodni pas (CB), za seboj pa pustijo elektronske vrzeli v kristalni strukturi polprevodnika. V mnogih pogledih se te vrzeli obnašajo kot delci, podobno kot prevodniški elektroni, toda s pozitivnim nabojem. Ustvari se torej par prostih nosilcev električnega naboja elektron-vrzel. V takšnem paru so elektroni nosilci negativnega naboja, elektronske vrzeli pa pozitivnega. Ti nosilci naboja niso vezani na kristalno strukturo polprevodnika in imajo dovolj energije, da se prosto gibljejo po kristalni rešetki z Brownovim gibanjem in s tem ustvarijo električni tok (McEvoy, Markvart, Castañer, 2013). Poznamo dva glavna mehanizma, ki uravnata smer potovanja para elektron-vrzel. Prvi deluje s pomočjo uporabe električnega polja, ki zagotavlja silo za poganjanje elektronov in vrzeli v nasprotnih smereh. To ustvarja električni tok v polprevodniku, ki se lahko nadaljuje skozi zunanji tokokrog. Ta mehanizem prevladuje v večini sončnih celic, ki so osnovane na tako imenovanem  $p$ - $n$  spoju. Drugi mehanizem pa je difuzija. Prevladuje le v materialih, kjer ni električnega polja.

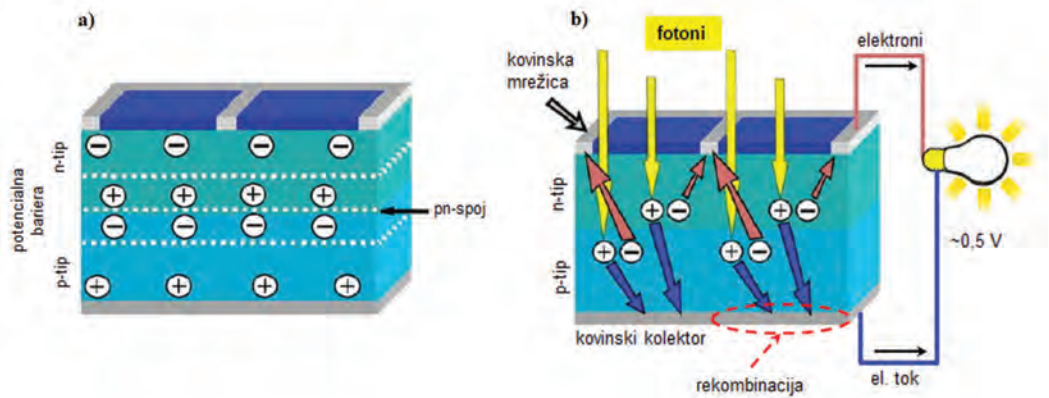
Intrinzični polprevodniški materiali imajo v termičnem ravnovesju enako količino negativnih in pozitivnih nosilcev naboja. Z raztapljanjem majhne količine različnih primesi oziroma z »dopiranjem« pa lahko v tak material vnesemo dodaten naboj. Tako tako imenovani polprevodnik tipa  $n$  dobimo, če polprevodniški kristal (na primer silicij, Si) dopiramo s petvalentnim elementom (na primer arzenom, As, ali fosforjem, P). V navedenem primeru atomom arzena ali fosforja pravimo donorski atomi, saj imajo en zunanji elektron več kot atomi čistega polprevodnika. Ta elektron ne sodeluje pri tvorbi vezi s sosednjimi atomi silicija ter postane

last celotnega kristala in lahko sodeluje pri prevajanju elektrike. Pri polprevodnikih tipa  $n$  so torej večinski nosilci naboja elektroni (Dittrich, 2015). Podobno lahko polprevodnik tipa  $p$  pripravimo, če čisti polprevodniški kristal (na primer silicij) dopiramo s trivalentnim elementom (na primer galijem, Ga, ali borom, B). Atomom galija ali bora v tem primeru pravimo akceptorski atomi, saj imajo en zunanji elektron manj kot atomi silicija. Manjkajoči zunanji elektron v atomu trivalentne primesi opišemo v kristalu polprevodnika kot vrzel. Elektronske vrzeli so last vsega kristala in se po njem lahko gibljejo. Pri polprevodnikih tipa  $p$  so torej večinski nosilci naboja vrzeli.

### Sončne celice s $p$ - $n$ spojem

Dopirani silicij je najpogostejši polprevodniški material, ki se uporablja v sončnih celicah. Ko  $n$ - in  $p$ -tip polprevodnika staknemo skupaj (slika 2a), pride do difuzije nabojev preko stične površine  $p$ - $n$  spoja. Elektroni iz polprevodnika tipa  $n$  pričnejo difundirati v polprevodnik tipa  $p$ . Pri tem za sabo pustijo pozitivno nabito območje. Vrzeli pa prodirajo iz polprevodnika tipa  $p$  v polprevodnik tip  $n$ . Ozek pas ob meji je na strani  $p$  negativen, na strani  $n$  pa pozitiven. Ustvarjeni naboj povzroči električno polje, ki zavira nadaljnjo difuzijo elektronov in elektronskih lukenj.

Pri osvetljeni sončni celici pride zaradi absorpcije vpadnih fotonov, ki dosežejo notranjost celice, do izbijanja elektronov iz valenčnega pasu v prevodni pas ter nastanka para elektron-vrzel. Električno polje loči in povleče elektrone iz prehodnega območja v polprevodnik tipa  $n$  in vrzeli v polprevodnik tipa  $p$ . Elektroni in vrzeli se nato z difuzijo premikajo proti kovinskima elektrodama (slika 2b) na zunanjih ploskvah obeh polprevodniških plasti. Kljub naravni težnji, da elektroni zapustijo plast in se rekombinirajo z vrzelmi, zaradi električnega polja ne morejo na drugo stran. Zato med obema polprevodniškima območjema nastane nerav-



Slika 2:

a) p-n spoj in območje električnega polja na sredini ter  
 b) princip delovanja sončne celice s p-n spojem  
 (Dittrich, 2015).

notežje naboja. Del kristala, kjer se kopičijo elektroni, je negativno nabit, kjer se nabirajo vrzeli, pa pozitivno nabit. Ločitev elektronov in vrzeli povzroči napetostno razliko na zunanjih elektrodah. Z zagotavljanjem zunanjšega tokokroga (s porabnikom), s katerim lahko elektroni pridejo na drugo stran, se proizvaja električni tok, ki nastaja, vse dokler svetloba pada na sončne celice. V takih razmerah celica deluje kot generator napetosti, ki Sončevo svetlobo neposredno spremeni v električno energijo. Ravno to je razlog, da so sončne celice tako zanimive (Aberle, 2000; Birkmire, Eser, 1997).

### Delitev in vrste sončnih celic

Sončne celice so običajno poimenovane po polprevodniškem materialu, iz katerega so izdelane. Cilj razvoja sončnih celic je ustvariti celice z visoko učinkovitostjo, nizko ceno, uporabo okolju prijaznih materialov in možnostjo recikliranja. Učinkovitost sončne celice je razmerje med količino proizvedene električne energije in energijo vpadne svetlobe na površino celice. Leta 1961 sta

fizika William Shockley (ki je leta 1956 dobil Nobelovo nagrado za fiziko za izum tranzistorja) in Hans Queisser izračunala, da lahko najpreprostejši tip sončne celice doseže največ 31-odstotno učinkovitost pri 1,3 elektronvolta širokem prepovedanem pasu (tako imenovana Shockley-Queisserjeva meja). Danes se tehnologije sončnih celic tradicionalno delijo na tri generacije (Green, 2002).

### Prva generacija sončnih celic

Sončne celice prve generacije (oziroma konvencionalne celice) temeljijo na rezinah kristalnega silicija (tako monokristalnega kot tudi polikristalnega silicija) in galijevega arzenida (GaAs). Te celice temeljijo na enem p-n spoju, kjer iz enega absorbiranega fotona nastane en par elektron-vrzel. Med različnimi enospojnimi tehnologijami sončnih celic celice iz galijevega arzenida kažejo največjo učinkovitost, sledijo pa ji celice iz monokristalnega silicija – s približno 15- do 20-odstotno učinkovitostjo. Na današnjem tržišču prevladujejo kristalne silicijeve sončne celice. Gre predvsem za tiste celice, ki jih navadno vidimo na strehah hiš. Poleg dobre učinkovitosti je prednost te tehnologije sončnih celic tudi visoka obstojnost. Po drugi strani pa so toge in za proizvodnjo

zahtevajo veliko energije zaradi vakuumskih procesov obdelave in potrebe po zelo čistih materialih (Bruton, Luthardt, Rasch, Roy, Dorrity, Garrard, Teale, Alonso, Ugalde, Declerq, Nigs, Szlufcik, Rauber, Wettling, Vallera, 1997).

### Druga generacija sončnih celic

Sončne celice druge generacije (oziroma konvencionalne tankoplastne sončne celice) temeljijo na tankih plasteh amorfne silicija (a-Si) in drugih spojin oziroma polprevodnikov, kot sta kadmijev telurid (CdTe) in baker-indij-galijev-diselenid (CIGS). Tanka plast je nanešena na stekleno podlago, kjer delujejo kot ostale *p-n* celice. Ta vrsta sončnih celic se večinoma uporablja v kalkulatorjih in urah, kjer je potreba po energiji manjša. Tankoplastne celice običajno absorbirajo svetlobo deset- do stokrat bolj učinkovito kot rezine silicija, kar omogoča uporabo samo nekaj mikrometrov debelih plasti namesto 160 do 240 mikrometrov debelih rezin. Prednost te generacije sončnih celic je ravno zmanjšanje proizvodnih stroškov, saj se za tanke plasti porabi manj aktivnega materiala kot za rezine. Ker proizvodnja druge generacije sončnih celic še vedno vključuje vakuumске procese in visoke temperature obdelave, je z njihovo proizvodnjo še vedno povezana velika poraba energije. Čeprav so solarne naprave druge generacije veliko cenejše od monokristalnih silicijevih celic, je njihova učinkovitost manjša od učinkovitosti njihovih monokristalnih dvojnikov (duplikatov) (Luque, 2018).

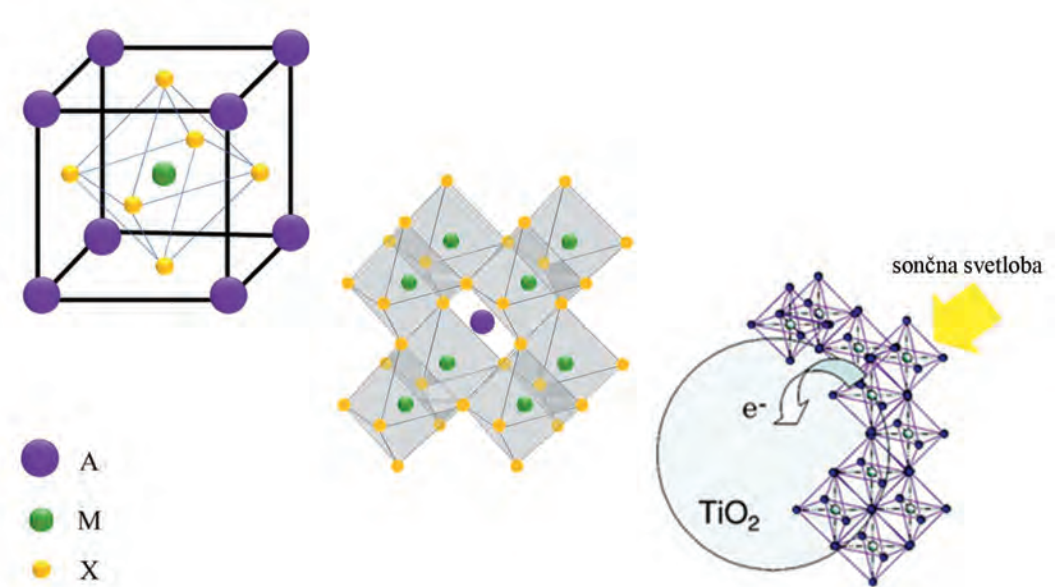
### Tretja generacija sončnih celic

Sončne celice tretje generacije (oziroma tankoplastne sončne celice v razvoju) temeljijo na uporabi številnih tankoplastnih tehnologij, ki imajo potencial za preseganje Shockley-Queisserjeve meje učinkovitosti, ali pa temeljijo na novih polprevodnih materialih. Ker večina teh tehnologij še ni komercialno uporabljena in je še vedno v fazi raziskav ali razvoja, lahko govorimo tudi o nastajajoči

fotovoltaiki. Cilj te generacije sončnih celic je še dalje znižati proizvodnje stroške, ob tem pa povečati učinkovitost. V tretjo generacijo sončnih celic vključujemo barvno občutljive sončne celice (DSSC), sončne celice na osnovi kvantnih pik (QDSC), organske sončne celice (OPV) in perovskitne sončne celice (PVSC) (Green, 2001). Tretja generacija zajema tudi visoko učinkovite večspojne sončne celice, ki držijo svetovni rekord v učinkovitosti sončnih celic (ta je več kot 40-odstotna). Sestavljene so iz več tankoplastnih celic iz polprevodnikov različnih širin prepovedanega pasu, ki so zložene druga vrh druge. Ta ureditev omogoča absorpcijo svetlobe veliko širšega spektra valovnih dolžin kot pri enospojnih sončnih celicah. Čeprav sta učinkovitost in obstojnost tretje generacije sončnih celic še vedno omejena v primerjavi s prvo in drugo generacijo sončnih celic, imajo velik potencial za komercializacijo.

### Perovskitne sončne celice

Nova vrsta tankoplastnih sončnih celic, ki je trenutno predmet velikega števila raziskav, so tako imenovane perovskitne sončne celice. So zelo obetavne in kažejo zelo dobro učinkovitost – več kot 20-odstotno. Perovskitne sončne celice so prava osvežitev med nastajajočimi fotovoltaičnimi tehnologijami. Presenetile so z neverjetno hitrim izboljšanjem učinkovitosti, ki je z 2 odstotkov v letu 2006 zrastle na več kot 22,1 odstotka v letu 2018 (Salhi, Wudil, Hossain, Al-Ahmed, Al-Sulaiman, 2018). Perovskitne sončne celice so precej podobne barvno občutljivim sončnim celicam in organskim sončnim celicam. Prevladujoč absorpcijski material perovskitnih sončnih celic temelji na anorgansko-organskem perovskitu s splošno kemijsko formulo  $AMX_3$  (slika 3). Na sliki 3 pomeni A organski kation, ki je običajno  $CH_3NH_3^+$  (MA),  $C_2H_5NH_3^+$  (EA) ali  $HC(NH_2)_2^+$  (FA). Nahaja se na robovih kubične perovskitne osnovne celice. M predstavlja divalentno kovino ( $Pb^{2+}$ ,



*Slika 3: Perovskitna kristalna struktura  $AMX_3$  (levo in sredina) in shematski prikaz delovanja perovskitnega absorberja svetlobe (desno) (Li, Liao, Shai, Huang, Liu, Li, Shen, Wang, 2016).*

$Sn^{2+}$ ) in je v središču strukture. X predstavlja halogen anion ( $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$ ), ki je v središču vsake posamezne ploskve kubične strukture.

Perovskitna struktura  $AMX_3$  (A in M sta dva različna kationa, medtem ko je X anion) je lastna mnogim materialom. Tako velika družina perovskitnih materialov združuje tudi mnogo različnih funkcionalnih lastnosti, zato med perovskitnimi materiali najdemo tako izolatorje, antiferomagnetne materiale, piezoelektrike, termoelektrike, polprevodnike, prevodnike in celo superprevodnike. Nekateri perovskitni materiali s polprevodniškimi lastnostmi so zanimivi za uporabo v električnih aplikacijah, pripravljenih s tehnologijo tiskanja. V začetku devetdesetih let so se na primer začele intenzivne raziskave optično–elektronskih lastnosti organsko–anorganskih perovskitnih materialov. Te raziskave so se sčasoma osredotočile na organsko–anorganske

perovskitne materiale, ki so učinkoviti absorberji svetlobe oziroma jih s svetlobo razmeroma enostavno vzbujamo. Takšni materiali so na primer amonijevi-trihalogen-plumbati. Amonijevi-trihalogen-plumbati lahko imajo tridimenzionalno strukturo ( $R-NH_3PbI_3$ ) ali pa plastovito strukturo ( $(R-NH_3)_2PbI_4$ ) (Kojima, Teshima, Shirai, Miyasaka, 2009).

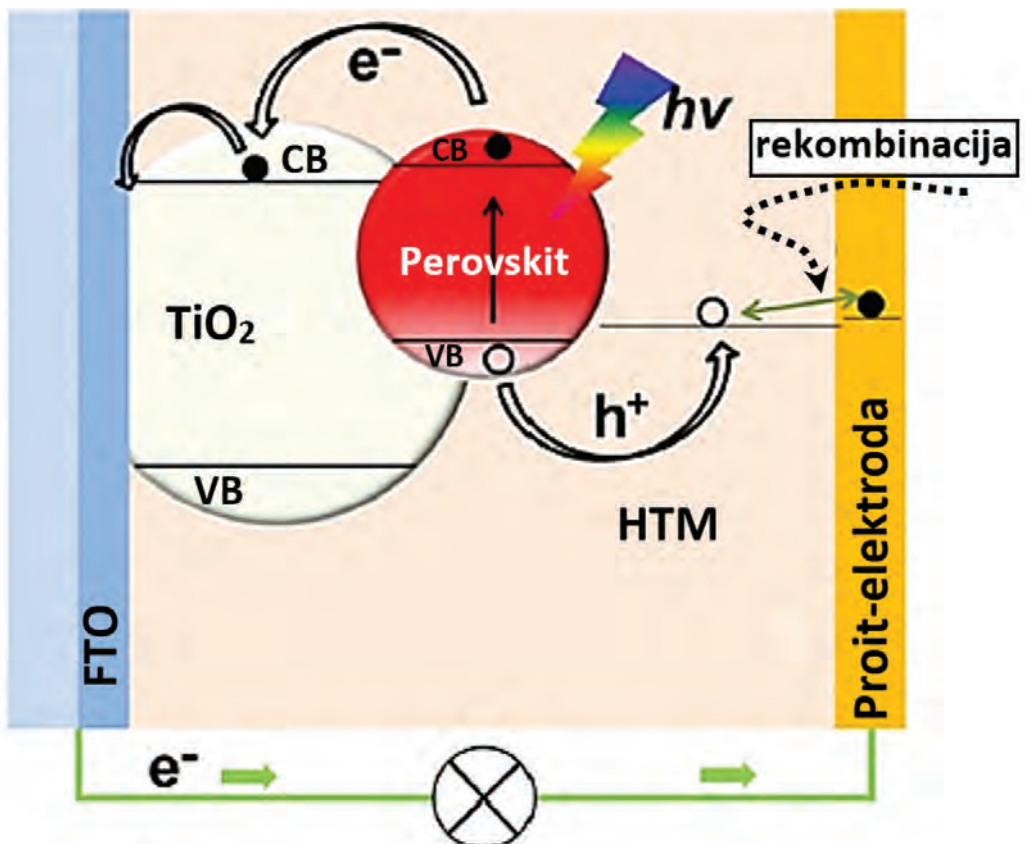
V tehnologiji perovskitnih sončnih celic se organsko-anorganski perovskitni material v obliki tanke plasti nanese na polprevodniški material (največkrat titanov dioksid,  $TiO_2$ ). Med obsevanjem takšnega para pride do fotogeneracije elektronov in vrzeli običajno v plasteh perovskita. Ti kot odlični absorberji svetlobe absorbirajo svetlobo tudi v vidnem območju. Nosilne plasti titanovega dioksida pa omogočajo veliko gibljivost (mobilnost) elektronov, imajo širok prepovedani pas in visoko elektronsko afiniteto. Fotogenerirani elektroni in elektronske vrzeli se ločijo na fazni meji med perovskitno plastjo in nosilno plastjo titanovega dioksida. Elektroni ( $e^-$ ) se prenesejo v prevodni pas titanovega dioksida, vrzeli ( $h^+$ ) pa na okoliški medij.



Na sliki 4 je shematsko prikazano delovanje perovskitne sončne celice. Plast perovskitnih nanodelcev, ki deluje kot zbiralec svetlobe, je nanešena na površino plasti oksidnega polprevodnika, titanovega dioksida. Med obsevanjem s svetlobo nastane v perovskitu par elektron-vrzel. Ker je energetska raven prevodnega pasu perovskita energetske višja od energetske ravni prevodnega pasu titanovega dioksida, se vzbujeni elektron injicira v prevodni pas titanovega dioksida, nato pa preko omrežja nanodelcev titanovega dioksida potuje do anode, ki je običajno steklo - s fluorom dopirani kositrov dioksid (FTO). Elektron nato potuje skozi zunanji tokokrog do nasprotno elektrode (katode). Istočasno pa se vrzel iz valenčnega pasu perovskita prenese v tako imenovani prevodnik vrzeli (hole-transport material, HTM). Prevodnik vrzeli služi za regeneracijo perovskita in transport vrzeli na katodo, kjer se te rekombinirajo z elektroni (Kung, Li, Lin, Chiang, Chan, Guo, Chen, 2018). Prevodniki vrzeli so običajno organski polprevodni materiali tipa  $p$ , zato se sončne celice z občutljivim trdnim polprevodnikom v mnogih primerih imenujejo tudi hibridne sončne celice. Na opisani način se sončna svetloba v perovskitnih sončnih celicah pretvori v električno energijo brez kemijske reakcije v trdnih fotovoltaičnih sistemih.

(hole-transport material, HTM). Prevodnik vrzeli služi za regeneracijo perovskita in transport vrzeli na katodo, kjer se te rekombinirajo z elektroni (Kung, Li, Lin, Chiang, Chan, Guo, Chen, 2018). Prevodniki vrzeli so običajno organski polprevodni materiali tipa  $p$ , zato se sončne celice z občutljivim trdnim polprevodnikom v mnogih primerih imenujejo tudi hibridne sončne celice. Na opisani način se sončna svetloba v perovskitnih sončnih celicah pretvori v električno energijo brez kemijske reakcije v trdnih fotovoltaičnih sistemih.

Slika 4: Princip delovanja sončnih celic s fotoobčutljivim trdnim perovskitom (Gong, Liang, Sumathy, 2012).

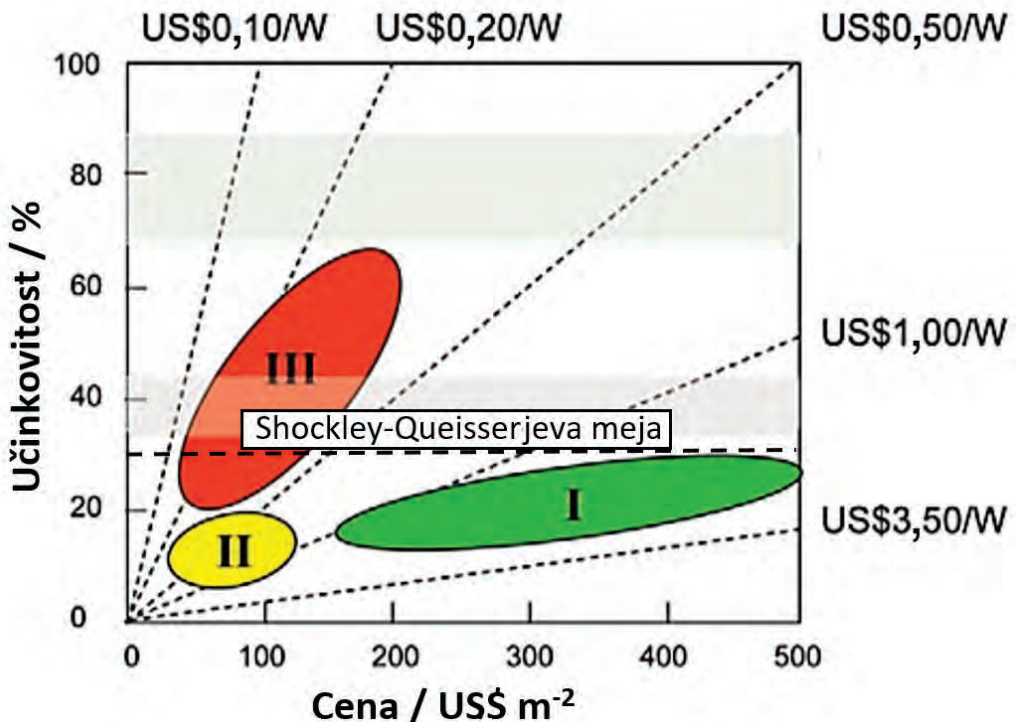


Sončne celice, ki uporabljajo perovskitne absorberje svetlobe, so zelo zanimive zaradi treh razlogov: 1) zaradi že omenjene razmeroma visoke učinkovitosti energijske izrabe vpadne svetlobe do vrednosti 15 odstotkov ter dejstva, da v tej smeri nikakor še nismo dosegli mejno visokih vrednosti, 2) razmeroma nizki stroški priprave sončnih celic tega tipa ter sprejemljivo nizka cena na enoto proizvedene energije in s tem povezana povrnitev investicijskih stroškov - takšen tip sončnih celic ne vsebuje žlahtnih kovin ali drugih dragih sestavin, ravno tako pa tudi njihova izdelava ne vsebuje sofisticiranih in dragih visokotemperaturnih procesov, 3) dobra obstojnost takšnih sončnih celic. Omeniti pa velja tudi prilagodljivost ter nizko maso perovskitnih sončnih celic.

Kljub številnim izboljšavam je tehnologija perovskitnih sončnih celic še vedno v

zgodnji fazi komercializacije v primerjavi z drugimi bolj zreli solarnimi tehnologijami. Ostajajo namreč številni pomisleki glede obstojnosti organsko-anorganskih perovskitnih materialov ob prisotnosti vlage ter toksičnosti svınca v najbolj raziskovanih perovskitnih materialih. Posledično gre nadaljnji razvoj perovskitnih sončnih celic v smeri nadomestitve svınca v perovskitnih materialih z drugimi kovinami, kot so na primer kositer, baker ali germanij. Podobno se zaradi zelo prilagodljive perovskitne strukture lahko zamenjujejo tudi kationi na mestih A. Dejstvo, da struktura na mestih A vključuje organski kation, pa daje številne

*Slika 5: Razmerje med učinkovitostjo in ceno posameznih generacij sončnih celic.*



možnosti nadaljnje manipulacije ter priprave vrste novih perovskitnih materialov, da bi našli tistega, ki bo najprimernejši za uporabo v perovskitnih sončnih celicah.

## Zaključek

Razvoj sončnih celic napreduje izredno hitro. Te postajajo bolj učinkovite in hkrati cenejše (slika 5).

Sprva so za sončne celice uporabljali le anorganske polprevodnike. Te celice so v celoti temeljile na konceptu  $p$ - $n$  spoja. Ko so se znanstveniki približali fizikalni meji učinkovitosti za posamezni  $p$ - $n$  spoj (tako imenovani Shockley-Queisserjevi meji), samo izboljšave v materialih in strukturi celic niso bile več dovolj. Nove tehnologije so morale uporabiti drugačne metode za povečevanje učinkovitosti, kot na primer večspojne (tandem) celice (uporaba več  $p$ - $n$  spojev), koncentriranje svetlobe na majhno površino sončne celice ali teksturiranje za povečevanje površine. Danes gre razvoj v različne smeri, zato poznamo različne primere novih sončnih celic, ki temeljijo na novih materialih. Ko razmišljamo o komercializaciji ene generacije sončnih celic, je v pripravi že naslednja generacija. Kljub temu, da se je razvoj perovskitnih sončnih celic šele dobro začel, spodbudni rezultati glede učinkovitosti energijske pretvorbe v perovskitnih sončnih celicah že kažejo njihovo potencialno komercializacijo. Seveda ostajajo nekateri nerešeni problemi v tehnologiji perovskitnih sončnih celic, povezani z obstojnostjo in morebitno toksičnostjo posameznih sestavin, vendar pa je na podlagi odličnih rezultatov energijske učinkovitosti in neskončne potrebe ljudi po električni energiji njihova prihodnost zelo svetla.

## Literatura:

- Aberle, A. G., 2000: *Surface passivation of crystalline silicon solar cells: a review. Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 8: 473-487.
- Alharbi, F. H., Kais, S., 2015: *Theoretical limits of photovoltaics efficiency and possible improvements by intuitive approaches learned from photosynthesis and quantum coherence. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43: 1073-1089.
- Alonso, J., Ugalde, U., Declercq, K., Nigs, J., Szlufcik, J., Rauber, A., Wettling, W., Valleria, A., 1997: *A study of the manufacture at 500 MWp p.a. of crystalline silicon photovoltaic modules, Conference Record, 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona*, 11-16.
- Birkmire, R. W., Eser, E., 1997: *Polycrystalline thin film solar cells: present status and future potential. Annual Review of Materials Research*, 27: 625-653.
- Blakers, A. W., Green, M. A., 1986: *20% efficiency silicon solar cells. Applied Physics Letters*, 48: 215-217.
- Blakers, A., Zin, N., McIntosh, K. R., Fong, K., 2013: *High Efficiency Silicon Solar Cells. Energy Procedia*, 33: 1-10.
- Bruton, T. M., Luthardt, G., Rasch, K-D., Roy, K., Dorrity, I. A., Garrard, B., Teale, L., Luque, S., 2018: *Introduction to Photovoltaic Effect, In Solar Panels and Photovoltaic Materials. London: IntechOpen*, 1-8.
- Conibeer, G., 2007: *Third-generation photovoltaics. Materials Today*, 10: 42-50.
- Dittrich, T., 2015: *Materials concepts for solar cells. London: Imperial College Press*, 3-78.
- Green, M. A., 2001: *Third generation photovoltaics: Ultra-high conversion efficiency at low cost. Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 9: 123-135.
- Green, M. A., 2002: *Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond, Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 14: 65-70.
- Gong, J., Liang, J., Sumathy, K., 2012: *Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 5848-5860.
- Hasnain, S. M., Elani, U. A., Alarwaji, S. H., Abaoud, H. A., Smiai, M. S., 1995: *Prospects and proposals for solar energy education programs. Applied Energy*, 52: 307-314.
- Kojima, A., Teshima, K., Shirai, Y., Miyasaka, T., 2009: *Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. Journal of the American Chemical Society*, 131 (17): 6050-6051.
- Kung, P. K., Li, M. H., Lin, P. Y., Chiang, Y. H., Chan, C. R., Guo, T. F., Chen, P., 2018: *A Review of Inorganic Hole Transport Materials for Perovskite Solar Cells. Advanced Materials Interfaces*, 5: 1-35.

Li, D., Liao, P., Shai, X., Huang, W., Liu, S., Li, H., Shen, Y., Wang, M., 2016: *Recent progress on stability issues of organic – inorganic hybrid lead perovskite-based solar cells*. *RSC Advances*, 6: 89356–89366.

McEvoy, A., Markvart, T., Castañer, L., 2013: *Solar cells: materials, manufacture and operation*. 2<sup>nd</sup> Ed. Amsterdam: Elsevier, 3–52.

Morton, O., 2006: *Solar Energy: A New Day Dawning? Silicon Valley Sunrise*. *Nature*, 443 (7), 19–22.

Pavlin, M., 1996: *Sončne celice v debeloplastni tehnologiji*, *Vakuumist*, 16: 4–8.

Salbi, B., Wudil, Y. S., Hossain, M. K., Al-Ahmed,

A., Al-Sulaiman, F. A., 2018: *Review of recent developments and persistent challenges in stability of perovskite solar cells*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90: 210–222.

Solangib, K. H., Islamb, M. R., Saidura, R., Rahimb, N. A., Fayaz, H., 2011: *A review on global solar energy policy*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 2149–2163.

Veliki popularizatorji astronomije • Camille Flammarion

# Nenadkriljivi popularizator astronomije – Camille Flammarion

Marijan Prosen

Vsak strokovno napisani članek še ni nujno poljuden. V poljudni spis je treba poleg trdnega znanja in strokovnosti vtakati veliko več energije, predvsem pa čustveni pristop do podajanja snovi. Če je v njem premalo čustvenega naboja, poleg tega pa še ne dovolj ljubezni, ljubeznivosti, prijaznosti, odgovornosti in sploh neke nevidne pozitivnosti do posredovanja snovi, in če avtorica ali avtor ne nakloni bralcu posebne pozornosti, se pripoved lahko včasih slabo napiše, celo izjalovi. Tudi ni dobro, da je v spisu preveč naštevanja. Tako lahko v podatkovnem morju bistvena informacija izpuhti. Lahko se celo zgodi, da članek ne prinese ustrezno napisane zamišljene vsebine. To pa je najslabše, kar se prispevku lahko zgodi. Takšnih člankov najdemo veliko.

Glede razumljivosti mora prispevek zadovoljiti tako strokovnjake različnih strok kot tudi bralce različnih izobrazbenih struktur – od osnovne šole navzgor. Članek naj bo

zanimiv tudi navadnemu človeku, delavcu v tovarni ali podjetju, gospodinji in vedoželjnemu kmetu. Članek mora pritegniti. Napisan mora biti strokovno neoporečno, a preprosto in splošno razumljivo v dobri ali celo najboljši slovenščini. Za to pa je treba večkrat kar močno zavihati rokave.

V svetovnem merilu je pravkar opisane zahteve (in še veliko več) zagotovo upošteval in povsem izpolnil francoski astronom, ki je bil sam tudi strastni popularizator astronomije in sploh naravoslovja. To je bil svetovno slavni Camille Flammarion. O tem nedvomno neprekosljivem pisnem posredovalcu številnih in najrazličnejše zahtevnih astronomskih vsebin je na Slovenskem zelo malo ali skoraj nič znanega. Zato tu posredujemo nekaj več besed o njem.

Camille Flammarion se je rodil leta 1842 v kraju Montigny-le-Roi en Haute-Marne in umrl leta 1925 v kraju Juvisy-sur-Orge.

Astronomsko izobrazbo si je v glavnem pridobil kot samouk. Uspelo mu je, da je vrsto let delal na Pariškem astronomskem observatoriju. Leta 1883 pa je osnoval lastni observatorij v Juvisyju s 24-centimetrskim ekvatorialom kot osnovnim teleskopom in ostal njegov direktor do smrti.

Leta 1861 je izšla prva Flammarionova knjiga *Množičnost naseljenih svetov*. Napovedovala je začetek večje serije izredno uspešnih in pronicljivih poljudnih astronomskih del, ki so Flammariona pozneje ustoličila kot najbolj znanega popularizatorja znanosti tistega časa. Njegovi knjigi *Poljudna astronomija* (1880) ter *Zvezde in zanimivosti neba* (1882) sta bili široko razširjeni po Evropi, zelo brani, sploh pa občudovani. Bili sta najboljši knjigi te vrste v 19. stoletju na svetu. Še danes sta občudovanja vredni, tako vsebinsko kot slikovno. Prinašata številne in bogate podatke o zvezdah in drugih nebesnih telesih in pojavih na nebu. Tudi zanimivosti o zvezdnih mitih. Flammarion je bil resnični genij v popularizaciji astronomije.

Težko bi našli človeka, ki je na področju popularizacije astronomije v svetovnem merilu naredil več kot Camille Flammarion. Doma imam italijanski prevod njegove popularne knjige *Zvezde in zanimivosti neba* (iz leta 1927). Občudovanja vredna knjiga! Marsikak podatek iz te knjige sem uporabil v svojem poljudnem pisanju.

Znana so še Flammarionova znanstvena dela o dvojnih in večkratnih zvezdah. Tako je odkril splošno lastno gibanje številnih zvezdnih parov. Preučeval je barve zvezd in celo barve posameznih tvorbo na Luninem površju (na primer barvne spremembe v kraterju Platon). Leta 1876 je zasledil sezonske spremembe temnih območij na Marsu. Številna opazovanja tega planeta, ki jih je Flamma-

*Camille Flammarion, vrhunski ali kar največji popularizator astronomije do današnjih dni z najmanj petdesetimi napisanimi poljudnimi deli (velikimi »buklami«).*

Vir: <https://www.retronews.fr/sciences/echo-de-presse/2018/10/09/quand-lastronome-camille-flammarion-fit-relier-lun-de-ses-livres>.



rion opravil v svojem observatoriju v Juvisyju, je objavil v knjigi *Planet Mars in razmere za bivanje na njem* (1909). V tem delu je zbral vsa opazovanja Marsa od leta 1636 dalje. Trdno je zagovarjal obstoj kanalov in razumskega življenja na Marsu. Sploh pa je verjel, da so na vesoljskih telesih posejana živa bitja.

Flammarion se je živahno zanimal za številna področja naravoslovja, poleg astronomije za vulkanologijo, za pojave v Zemljinem ozračju (zlasti atmosfersko elektriko) in klimatologijo. Leta 1882 je osnoval znamenito poljudno revijo *L'astronomie*, ki izhaja še danes, in vanjo pridno pisal popularne članke, leta 1887 pa je osnoval Francosko astronomsko društvo.

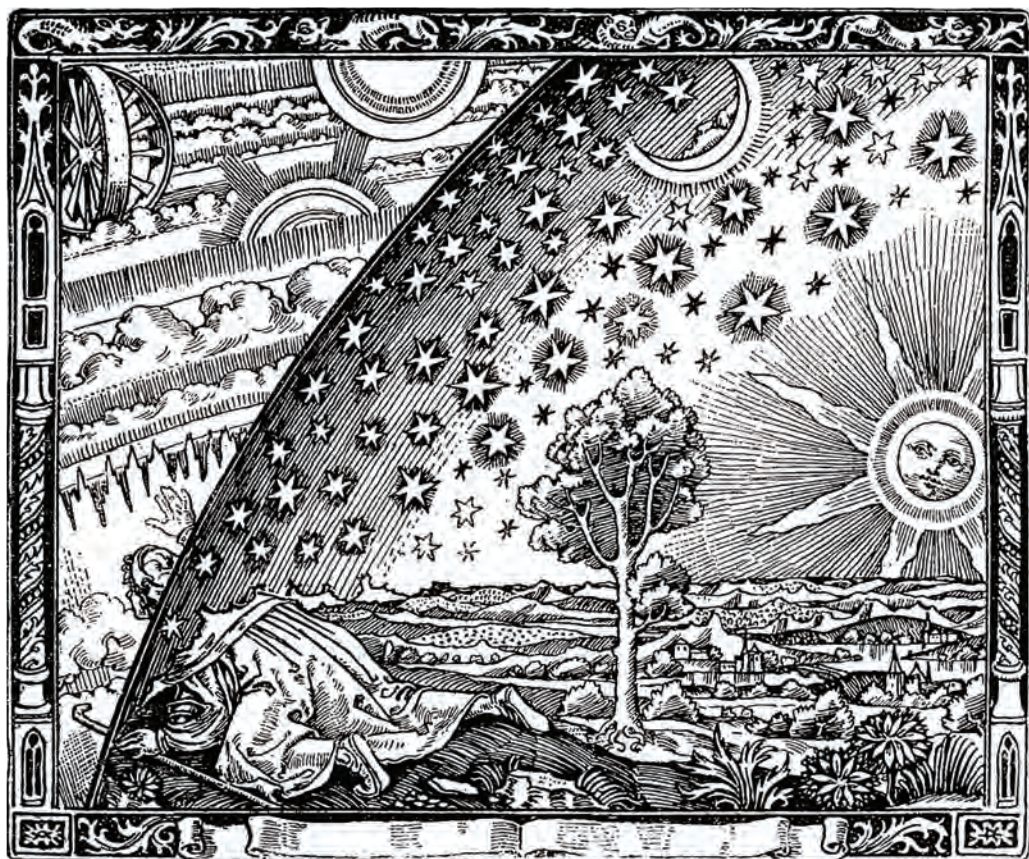
Še kratek odlomek iz popularne knjige *Zvezde in zanimivosti neba* (1927), in sicer s

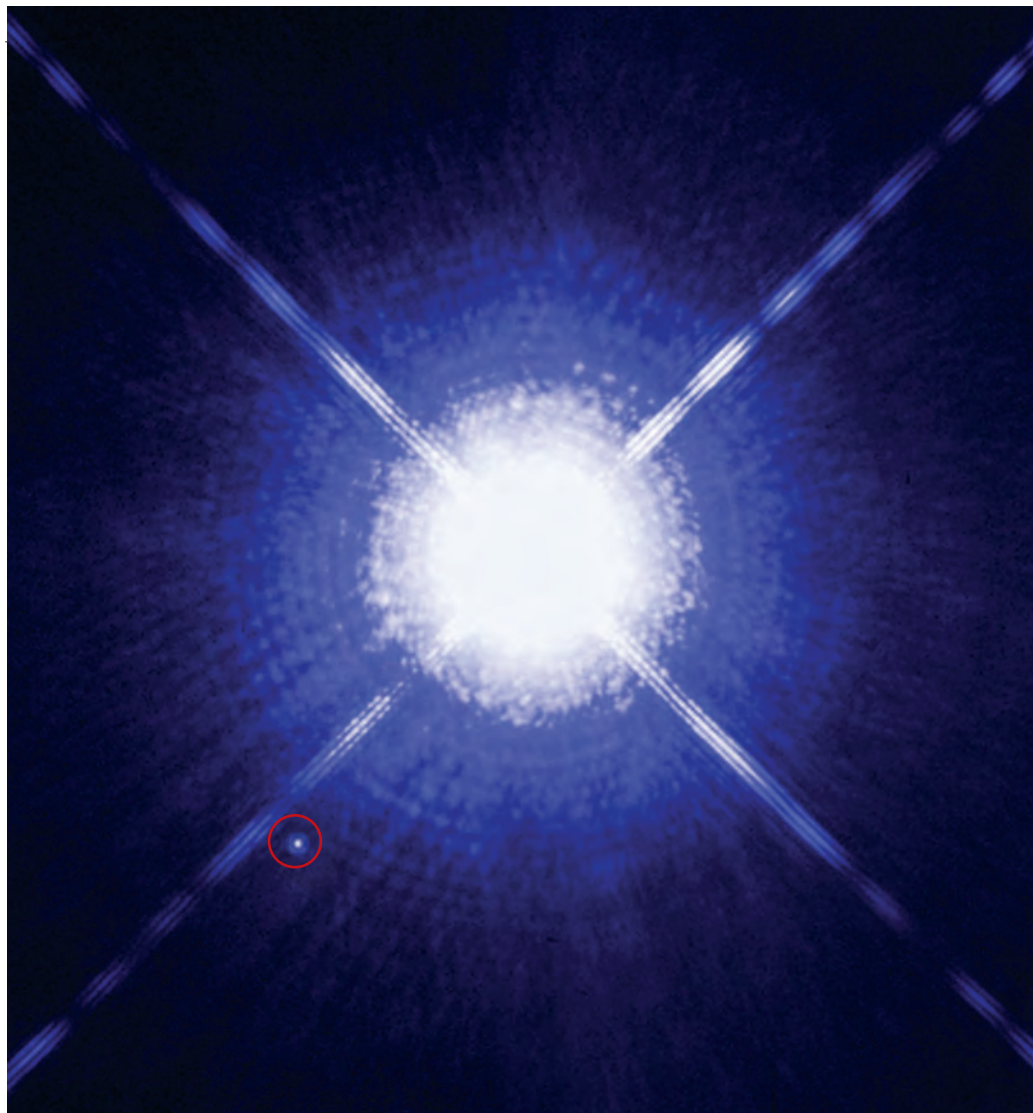
tiste strani, kjer Flammarion zelo živo pripoveduje zgodbo o zvezdi Sirij, pravzaprav o odkritju Sirijeve spremljevalke.

»... Da bi pojasnil to nepravilnost, je leta 1844 astronom Bessel oblikoval domnevo o moteči zvezdi, torej o nevidni Sirijeви spremljevalki, za katero je leta 1851 Peters izračunal teoretični tir, ki je boljje ustrežal opazovalnim podatkom. Enajst let pozneje je optik Alvan Clarck izdelal tedaj največji objektiv (s premerom 47 centimetrov) in

*Zelo znana domišljjska slika Pogled v vesolje, ki jo je Flammarion objavil v svoji knjigi *Atmosfera: popularna meteorologija* (1888), še danes buri duhove. Le poglejte človeka, kaj je naredil, da bi pogledal v stvarstvo vesolja.*

Vir: [https://en.wikipedia.org/wiki/Flammarion\\_engraving#/media/File:Flammarion.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Flammarion_engraving#/media/File:Flammarion.jpg)





ga preskusil. Ko ga je nekega večera njegov sin obrnil v smer proti Siriju, je kaj kmalu zavpil: ‚Oče, oče, Sirij ima spremljevalko.‘ Torej je bila lega te spremljevalke tako natančno izračunana kakor svoj čas lega planeta Neptuna, ki je bil prej odkrit na konici peresa (to je z računom) kot pa z daljnogledom. Toda prerok Bessel je bil že od leta 1846 pod rušo.

Po zaslugi računov, ostrega očesa Clarckovega sina in tako zmogljivega inštrumenta so kasneje opazovali drobno zvezdico 9. magnitude, jo merili [...] in tako potrdili teoretično napoved [...].« (Prevod: Stana Prosen.)

*Zvezda Sirij in njegova spremljevalka (obkrožena s krožcem).*

*Vir: <https://www.spacetelescope.org/images/heic0516a/>.*

# Mag. Andrej Seliškar – sedemdesetletnik

Stane Peterlin, Igor Dakskobler

Mag. Andrej Seliškar je z naravoslovjem prišel v stik že v najmlajših letih v družinskem okolju, saj je bila njegova mati Amalija Seliškar spoštovana gimnazijska profesorica biologije in mentorica naravoslovnega krožka na kranjski gimnaziji, oče profesor dr. Albin Seliškar pa univerzitetni profesor in raziskovalec na področju fiziologije in jamske biologije. Oba starša sta bila dejavna tudi pri Prirodoslovnem društvu Slovenije in *Proteusu*.

Mag. Andrej Seliškar se je po diplomu na Oddelku za biologijo na Biotehniški fakulteti leta 1973 zaposlil na Biološkem inštitutu Jovana Hadžija ZRC SAZU in bil na njem zaposlen vse do upokojitve (2009). Magistrski študij je zaključil na Univerzi v Zagrebu (1980). Njegova osnovna specialnost je fitocenologija,

predvsem travniške združbe, a je z leti pridobil izjemno široko znanje in preučuje, popisuje in kartira večino rastlinskih združb, ki jih poznamo v Sloveniji (od mokrišč do gozdov), prav tako se dejavno posveča tudi taksonomiji in floristiki. Je nedvomno eden izmed najbolj vsestranskih in najbolj široko razgledanih botanikov pri nas, tudi z velikim posluhom za slovensko strokovno izrazje. Rezultati njegovih dolgoletnih raziskovanj so povzeti v številnih znanstvenih, strokovnih in poljudnih člankih (veliko jih je sam ali v soavtorstvu prispeval tudi v našo revijo), prav tako so vsebovani v nekaterih širši javnosti namenjenih knjigah. Naštetimo samo nekatere izmed njih: *Trav-*

*Andrej Seliškar na vrhu Pece.*

Foto: Igor Dakskobler.





niške rastline na Slovenskem – skupaj s Tone-  
tom Wraberjem (1986, tudi ponatis), *Natura  
2000 v Sloveniji – rastline* (Čušin in sod.,  
2004), *Habitatni tipi Slovenije* (Jogan in sod.,  
2004), *Botanični terminološki slovar* (Batič in  
sod., 2011), *Vipavska dolina* (ur. Jernej Pavšič,  
2013), *Rastlinstvo življenjskih okolij v Slove-  
niji* (skupaj z Brankom Vrešem in Darinko  
Gilčvert Berdnik, 2014), *Cvetje slovenske de-  
žele* (skupaj z Luko Pintarjem, 2015), *Bohinj  
cveti. Rastlinsko bogastvo Bohinja* (Dakskobler  
in sod., 2019). Je soavtor računalniškega pro-  
grama in podatkovne baze *FloVegSi* (skupaj  
s sinom Tomažem Seliškarjem in Brankom  
Vrešem, 2003), ene izmed najbolj obsežnih  
podatkovnih baz o razširjenosti rastlin v Slo-  
veniji. Več let, od leta 1987 do leta 1995, je  
bil predstojnik Biološkega inštituta Jovana  
Hadžija. Med nekdanjimi sodelavci in bo-  
taniki ter naravoslovci nasploh uživa velik  
ugled tudi zaradi svojih značajskih lastnosti  
– prijaznosti, nesebičnosti, pripravljenosti za  
pomoč, nasvete ter strokovne in jezikovne  
preglede člankov in knjig.

V neposredni stik z društvom je prišel kot  
prizadevni krožkar, ko je bil povabljen na  
nagradno ekskurzijo, in od tedaj dalje se ta  
zveza ni več pretrgala. Kot mladi univerzite-  
tni diplomirani biolog je bil leta 1975  
izvoljen za tajnika Prirodoslovnega društva  
Slovenije in to nalogo je opravljal z vsem  
mladostnim žarom in zavzetostjo. Že nasle-  
dnje leto, leta 1976, je predlagal, da bi utečeni  
formalni program občnega zbora obogatili z  
živo in aktualno vsebino. Tej dopolnitvi je  
dal tudi ime – *Dan slovenskih naravoslovcev*,  
spremljala pa jo je še priložnostna brošura  
z besedili predavanj. Naslednjega leta, leta  
1977, je bil program še bogatejši in pokazalo  
se je, da lahko Dan slovenskih naravoslovcev  
postane samostojna prireditve, predstavljena pa  
je bila v prednovoletni čas. In tako je ostalo  
vse do leta 2012, ko smo se med drugim z  
listino zahvale oddolžili najstarejšim še dejav-  
nim članom društva in *Proteusa*.

Mag. Andrej Seliškar je bil kot odbornik de-  
javen na vseh področjih društvenega delova-  
nja. Ko sta leta 1979 s profesorjem Rajkom

Pavlovcem pripravljala program nagradne ek-  
skurzije, je napisal spremno besedilo, kar do  
takrat ni bilo običajno. Zato smo posamezna  
besedila zbrali v skupaj speti snopič in jih  
kot brošurico razdelili udeležencem. Ko smo  
tej pobudi dali še lično obliko, je nastal pr-  
vi vodnik iz zbirke *Ekskurzije naravoslovnih  
krožkov*. V naslednjih letih, vse do leta 1992,  
je društvo izdalo kar sedemnajst drobnih vo-  
dnikov, pri njih pa so sodelovale desetine so-  
delujočih voditeljev ekskurzij.

Kmalu po začetku se je pridružil zelo dobro  
pripravljeni in široko organizirani mladinski  
raziskovalni akciji *Okolje v Sloveniji*, ki je  
trajala več let. Prevzel in vodil je eno od na-  
log pod naslovom *Tla* in zanjo v soavtorstvu  
pripravil priročnik za mentorje in izvajalce z  
naslovom *Naša rodna zemlja*.

Veliko truda je skupaj z drugimi člani Priro-  
doslovnega društva Slovenije vložil v projekt  
ustanovitve in zagona *Slovenskega sklada za  
naravo* leta 1992. Skupaj s sinom Tomažem  
sta izdala nekaj števil organizacijskega gla-  
sila *Zelena rega*. Žal zunanje okoliščine tej  
pobudi niso bile več naklonjene in prizadeva-  
nja so po nekaj letih zamrla, vrzel pa še danes  
ostaja nezapolnjena.

Leta 1999 je bilo Prirodoslovnemu društvu  
Slovenije zaupano vodenje večletnega medna-  
rodno financiranega raziskovalnega projekta  
*Kartiranje travnišč Slovenije*, v katerem je  
mag. Andrej Seliškar imel eno najpomembnejših  
organizacijskih in izvajalskih vlog. Projekt je  
bil uspešno končan leta 2003.

V letih od 1995 do 2001, ko je bil društveni  
program izjemno bogat, je bil dejavni predse-  
dnik Prirodoslovnega društva Slovenije. Za  
prizadevno društveno delo mu je bil leta 2013  
podeljen naslov častnega člana Prirodoslovne-  
ga društva Slovenije.

Ker mu energije in zamisli še ne manjka, pri-  
čakujemo, da bo naše naravoslovje obogatil  
še s kakšno pobudo, ki nam bo v teh ne-  
prijaznih časih še zelo dobrodošla. Zato mu  
ob nedavnem življenjskem jubileju želimo še  
veliko zdravih in dejavnih let.

## Botanični vrt zdravnikom posvetil drevo mokovec.

Ob devetdesetletnici primarija Luke Pintarja in za petinosemdeset let predavanj zgodovine medicine

*Zvonka Zupanič Slavec*

Inštitut za zgodovino medicine ljubljanske Medicinske fakultete je z Znanstvenim društvom za zgodovino zdravstvene kulture Slovenije pripravil priložnostno srečanje ob devetdesetletnici častnega člana Znanstvenega društva, zdravnika za otroške bolezni in odličnega fotografa cvetja primarija Luke Pintarja (rojena leta 1929), sina docenta

Ivana Pintarja, začetnika zgodovine medicine na Slovenskem in prvega predavatelja tega predmeta na ljubljanski medicinski fakulteti. Predavati je začel nekaj let pred Lukovim rojstvom, tako da tudi zgodovinarji medicine korakamo proti »svoji« petinosemdesetletnici (1935-1936). Luka Pintar je vedno gojil visok odnos do zdravstvenih korenin in njenih prvin ter je sozaslužen za ohranjanje te stroke pri nas. Ker pa je tudi izjemen botanik in se je tudi njegov oče ukvarjal s cve-

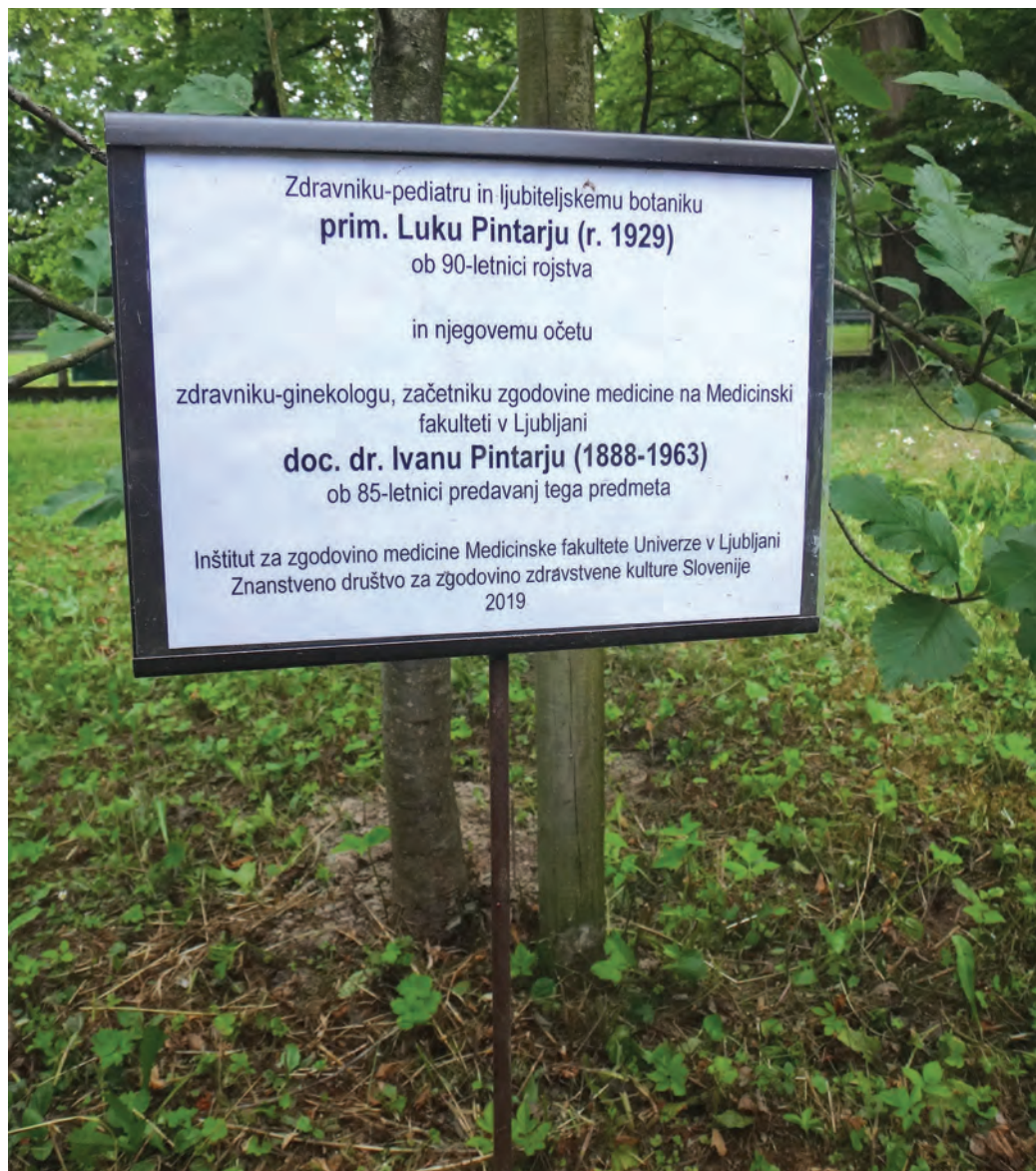


*Drevo mokovec je izbrano v spomin na devetdesetletnika primarija Luko Pintarja in na skoraj toliko let predavanj zgodovine medicine na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani, kar je izvajal oče, docent doktor Ivan Pintar. Na fotografiji z desne: primarij Luka Pintar, profesorica Damjana Furlan Hrabar – predsednica Znanstvenega društva za zgodovino zdravstvene kulture Slovenije, profesorica Zvonka Zupanič Slavec – predstojnica Inštituta za zgodovino medicine Medicinske fakulteti Univerze v Ljubljani, doktor Jože Bavcon – direktor Botaničnega vrta Ljubljana. Foto: Duša Fischinger.*

tjem, sta soorganizatorja srečanja v ljubljanskem Botaničnem vrtu z njegovim vodjo dr. Jožetom Bavconom pripravila priložnostno slovesnost, na kateri so jima posvetili imenitno drevo mokovec s posebno spominsko ploščico. Naj bo drevo čilo in zdravo, naj lepo cveti in v cvetju ohranja tudi zgodovino medicine. Ta je v svetu velikokrat pove-

zana z medicinsko humanistiko ter študente medicine bogati in plemeniti z znanjem iz medicinske etike, filozofije, psihologije in sociologije.

*Napis na spominski ploščici na drevesu v Botaničnem vrtu. Foto: Zvonka Zupanič Slavec.*



## *Kačji pastir na Titanu*

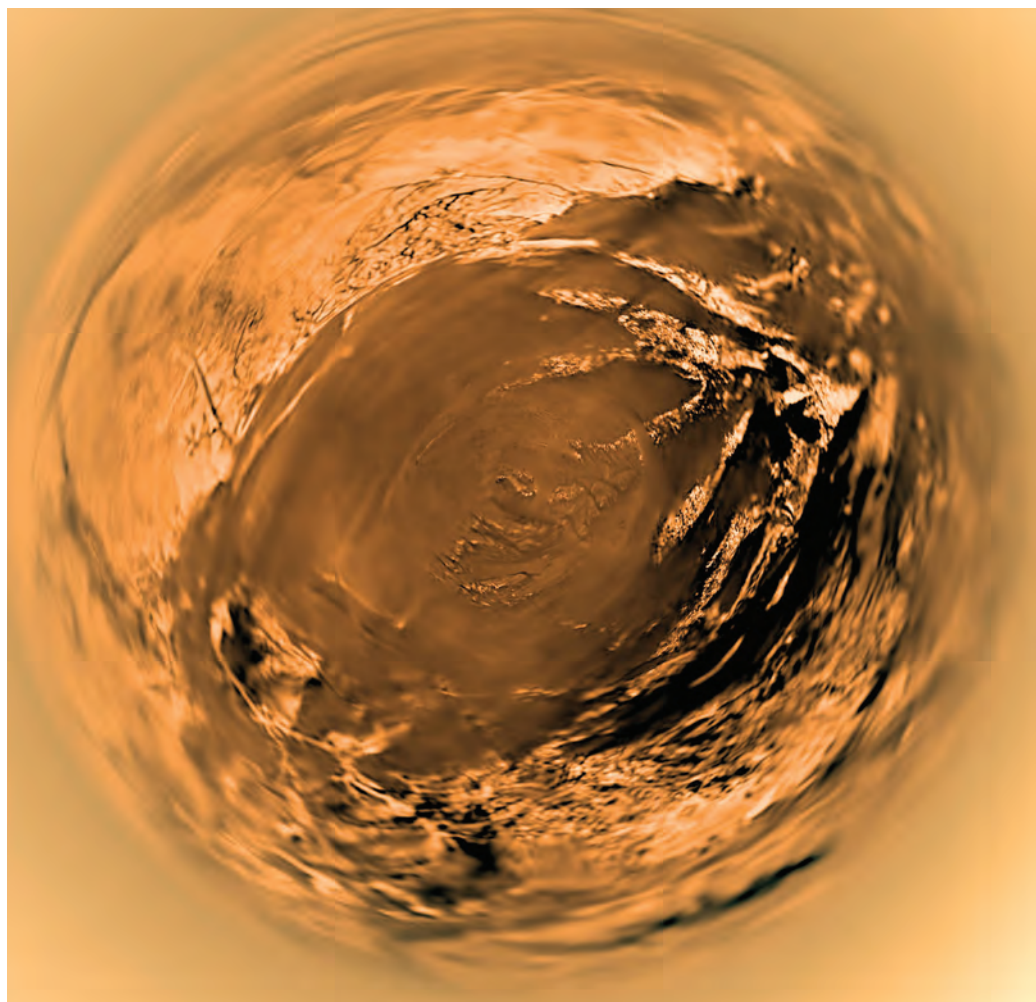
*Mirko Kokole*

Saturnova luna Titan je nekaj čisto posebnega v našem Osončju. Ko je na njej prvič pristala vesoljska sonda, se je tam pokazala prav posebna podoba. Sonda *Huygens* je na Titanovem površju pristala leta 2005 in nam poslala čudovite posnetke, ki so marsikoga osupnili. Titan ima debelo plast ozračja z aktivnim meteorološkim delovanjem, le da tam namesto vode dežuje metan, ki se

nabira v manjših in večjih jezerih ter rekah. Razlog, da na njem namesto vode najdemo tekoči metan, so izjemno nizke temperature.

*Titanovo površje, ki ga je posnela vesoljska sonda Huygens. Na sliki vidimo značilnosti površja, ki so nad vse podobne Zemljinim.*

*Foto: ESA/NASA/JPL/University of Arizona.*



Titan je druga največja luna v Osončju in edina luna, ki ima omembe vredno ozračje. Odkril ga je leta 1655 Christian Huygens, 45 let potem, ko je Galileo odkril štiri velike Jupitrove lune. V začetku dvajsetega stoletja je nanj ponovno opozoril španski astronom José Comas y Solá (1868–1937) (v katalonščini Josep Comas i Solà, po rodu je bil namreč Katalonec). Poročal je, da je na Titanovi ploskvi opazil značilnosti, za katere je domneval, da so oblaki. Takrat so prvič pomislili, da ima Titan ozračje. To je leta 1944 potrdil Gerard Kuiper, ki je pri opazovanju spektra svetlobe s Titana opazil prisotnost metana. Kasneje je Titan obiskala vesoljska sonda *Voyager 1* in poslala obilico podatkov, vendar ne dovolj, saj Titanovo ozračje vsebuje veliko ogljikovodikov, ki preprečujejo, da bi videli površje. Sondi *Cassini* in *Huygens* sta vsa prejšnja predvidevanja potrdili in poleg tega pokazali, da sta Titanovo ozračje in površje vredni nadaljnje opazovanja.

Pred kratkim je ameriška vesoljska agencija NASA naznanila, da bo na Titan poslala vesoljsko sondo, ki pa bo nekaj čisto posebnega, saj bodo prvič v vesolje poslali dron, to je mali avtonomni helikopter. To bodo lahko naredili, ker ima Titan gosto ozračje in majhno gravitacijo, kar pomeni, da je tam zelo lahko leteti.

Sondo, ki so jo poimenovali *Dragonfly* (*Kačji pastir*), bodo proti Titanu poslali leta 2026, na cilj pa bo prispela leta 2034. To je skoraj trideset let po pristanku sonde *Huygens*. Vesoljska sonda *Huygens* je imela namen opraviti le zelo kratek predogled, kaj vse lahko najdemo na Titanu. Kljub temu so podatki marsikoga presenetili, saj so pokazali, da najdemo na Titanu reke, jezera in sipine ter še mnoge druge površinske značilnosti, ki jih opazimo na Zemlji. Titan vsebuje tudi vse sestavine za nastanek življenja - tako vodo kot organske spojine. Zato ima njegovo preučevanje izjemen pomen za razumevanje kemijskih procesov pred nastankom življenja. Prav zato so se znanstve-

niki odločili, da na Titan pošljejo sondo, ki bo dalj časa in bolj podrobno preučevala njegovo površje in ozračje.

Sonda *Kačji pastir* bo po velikosti in vsebini podobna vesoljski sondi *Radovednost* (*Curiosity*), ki je raziskovala površje Marsa. Ker pa bo *Kačji pastir* lahko letel, bo v svojem predvidoma 2,7 leta dolgem delovanju raziskal veliko večje območje, kot ga je lahko raziskala *Radovednost*. Razdalja, ki jo bo *Kačji pastir* preletel, bo znašala kar 175 kilometrov, kar je dvakrat več, kot so jo pri svojem raziskovanju skupaj »prepotovale« vse dosedanje sonde, ki so pristale na objektih našega Osončja.

*Kačji pastir* bo opremljen s številnimi inštrumenti. Dve kameri, eno s pogledom v tla in drugo s pogledom proti obzorju, bo sonda uporabljala za navigacijo in opazovanje površja. Masni spektrometer bo *Kačji pastir* uporabil, ko bo pristal na Titanovem površju in tam v tla zavrtal majhno luknjo. Pri tem se bodo sprostil plini in prah, z njihovim merjenjem pa bodo lahko preučevali sestavo površja. Masnemu spektrometru so dodali tudi spektrometer žarkov gama, ki jih aktivirajo nevtroni. Ta inštrument nam bo dal nekaj več podatkov o globljih predelih Titanovega površja. Nazadnje bo *Kačji pastir* uporabil tudi meteorološko postajo in seizmograf. Skupaj nam bodo ti inštrumenti dali celotno sliko Titanovega površja in njegovega ozračja.

Ker na Titanu ni dovolj Sončeve svetlobe, da bi sonda lahko uporabila sončne celice, bo energijo dobila iz radioizotopnega termoelektričnega generatorja. Tak generator uporablja za proizvodnjo elektrike toploto, ki se sprošča pri radioaktivnem razpadu. Generator lahko brez težav deluje zelo dolgo časa in ker se pri delovanju tudi segreva, je to še posebej ugodno za sondo, ki mora delovati pri izjemno nizkih temperaturah. Termoelektrični generator pa ne zmore sam proizvesti dovolj moči za pogon propellerskih motorjev, zato ga bodo v času mirovanja porabili za polnjenje baterij, ki bodo lah-

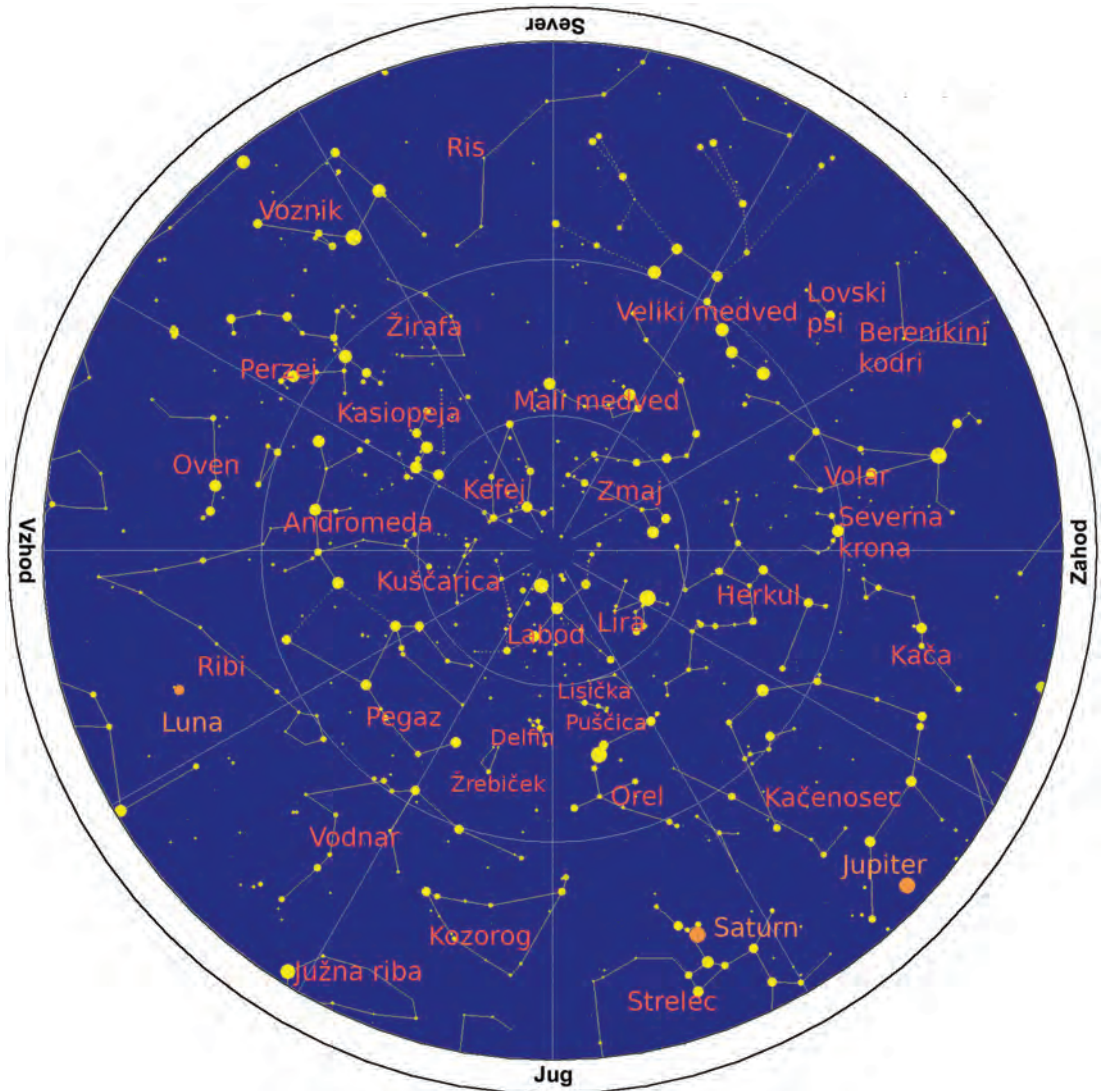
ko sprostili dovolj moči za pogon motorjev. Zato bo moral *Kačji pastir* počivati približno osem Zemljinih dni za eno polnjenje baterij. Predvideni najdaljši leti bodo dolgi osem kilometrov. *Kačji pastir* bo tako delal nekakšne manjše »žabje« skoke. Takšno letenje je pomembno tudi zato, ker mora sonda delovati popolnoma avtonomno in mora najprej raziskati, kam bo letela v prihodnjem letu. Vsekakor bo trenutek, ko bo *Kačji pastir* pristal na Titanu, izjemno vznemirljiv. Zemljani bomo prvič imeli letečo sondo na kakem vesoljskem objektu, videli pa bomo

tudi Titanovo površje ter njegovo ozračje z natančnostjo, o kateri smo lahko pred kratkih le sanjali.

*Idejna slika Kačjega pastirja v več fazah letenja – od pristanka do »žabjih« skokov, ki jih bo uporabljal pri raziskovanju površja in ozračja.*  
Foto: NASA.



*Nebo v septembru.  
Datum: 15. 9. 2019  
Čas: 22.00  
Kraj: Ljubljana*





## KRETA Z ARHEOLOGOM

17. – 26. oktober 2019

Kreta je otok, ki privlači na različne načine - spomladi je raj za ljubitelje rastlin in pohodnike, ki uživajo v osvajanju visokih vrhov ali potepanju po številnih soteskah. Tu lahko svoj raj na Zemlji najdejo številni počitnikarji, nikakor pa se ne moremo izogniti sledovom dolge, pestre in zelo bogate zgodovine, ki priča že o najzgodnejši človeški poselitvi, napredni minojski civilizaciji, ostankih grške in rimske poselitve in pestri paleti narodov, ki so v kasnejših obdobjih tudi na tem otoku pustili svoj pečat. V spremstvu arheologa bomo odkrivali starodavne skrivnosti in jih ponovno obudili v življenje.

Ceno potovanja in podrobnejše programe si lahko ogledate na spletni strani [www.proteus.si](http://www.proteus.si), več informacij dobite v upravi društva na telefonski številki **01 252 19 14** ali na elektronskem naslovu [prirodoslovno.drustvo@gmail.com](mailto:prirodoslovno.drustvo@gmail.com).

ISSN 0033-1805



9 770033 180000