

PROTEUS

*mesečnik
za poljudno
naravoslovje*



Maj, junij 2022, 9, 10/84. letnik
cena v redni prodaji 11,00 EUR
naročniki 8,64 EUR
upokojenci 7,10 EUR
dijaki in študenti 6,72 EUR
www.proteus.si



VELIKI SKOVIK
(Otno soopso)

grij Mikulatič
#m 9 (atljc)
SI 52M krajsko



416 Table of Contents

418 Uvodnik
Tomaž Sajovic

422 Jubilej
Pol stoletja *Zelene knjige*
Spominski utrinki urednika
Stane Peterlin

425 Nobelove nagrade za leto 2021
Od čilija in laboratorijske konice do odkritij, kako se s čutili odzivamo na dogajanja v našem telesu in okoli nas – ob lanski Nobelovi nagradi za fiziologijo ali medicino
Radovan Komel

435 Botanika
Botanične novosti iz Govcev. Pripoved o rastlinah in ljudeh, ki so me pripeljali do Hacquetove medvejke
V spomin Dušanu Robiču, Vitomirju Mikuletiču in Iztoku Mlekužu
Igor Dakskobler

446 Botanika in ekologija
V deželi svete bosvelije
Marina Dermastia

361 Letno kazalo

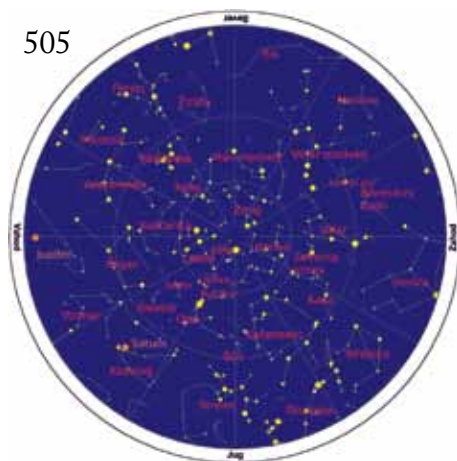
465 Nobelove nagrade za leto 2021
Nobelova nagrada za fiziko
Jože Rakovec, Žiga Zaplotnik, Tomaž Prosen



498



505



479 Medicina in farmacija
 Hidrogeli kot sistemi za ciljno dostavo
 zdravilnih učinkovin na tarčno mesto
Tilen Kopač, Aleš Ručigaj, Matjaž Krajnc

487 Medicina
 Spanje in epilepsija
Martin Natlačen

495 V spomin
 Ob zadnjem slovesu slovenskega
 odonatologa akademika Boštjana Kiaute
Matija Gogala

498 Nove knjige
 Izšla je monografija *Mozaik življenja,*
Natura 2000 Kras
Miloš Bartol

505 Naše nebo
 Poletno nočno nebo
Mirko Kokole

Contents

Editorial

Tomaž Sajovic

Anniversary

Half Century of the *Green Book*

Editor's Reminiscences

Stane Peterlin

This April (2022) marked 50 years since the *Green Book on the Threats to the Environment in Slovenia* was published by the Slovenian Natural History Society in collaboration with then Institute for Monument Protection of the Socialist Republic of Slovenia. As many as 62 authors and translators contributed their papers, images and diagrams to the book that extended over 255 pages.

Its purpose was to provide a concise and easy to understand, but still professional account of the damage sustained by the natural and living environment of our homeland, and to support these findings with facts.

It is difficult to even imagine bringing together so many professionals willing to offer their expertise for a joint venture like this.

The civil society at the time was able to do just that, but today, when such joint efforts are even more needed and valuable, we seem to be too divided by our particular interests.

Nobel Prizes 2021

From Chili Peppers to Discovering How We Sense and Interact with the Environment around Us – on Last Year's Nobel Prize in Physiology or Medicine

Radovan Komel

On October 4 last year the members of the Nobel Committee at the Swedish Karolinska Institute decided to award the Nobel Prize in Physiology or Medicine 2021 to two scientists, David Julius and Ardem Patapoutian for their discoveries of receptors for temperature and touch. These discoveries shed light on the complex interplay between our senses and the environment and how such impressions help us adapt

to the constantly changing surroundings. This knowledge is used also to develop new treatments for various diseases and conditions, including chronic pain.

Botany

Botanical novelties from Govci. A Tale of Plants and People Who Led Me to *Spiraea decumbens* subsp. *tomentosa*.

To the memory of Dušan Robič, Vitomir Mikuletič and Iztok Mlekuž

Igor Dakskobler

The author describes Govci, the mighty northeastern walls of the Trnovo Forest Plateau above the Trebuša Valley in Western Slovenia, some of its plant curiosities and people who guided him, each in their own way, in his research into this area. Indirectly, they contributed to his find of the southeastern-Alpine endemic *Spiraea decumbens* subsp. *tomentosa* in a small gorge under Mt. Poldanovec. This species is a novelty in the Flora of Slovenia and the Dinaric Alps.

Botany and ecology

In the Land of *Boswellia Sacra*

Marina Dermastia

The southwesternmost region of the sultanate of Oman, close to the Yemeni border, is known as the Land of Frankincense. Although any organic material that releases fragrant smoke when burnt is considered incense, the unmistakable smell of the Land of Frankincense comes from the holy incense used in Christian worship, which is harvested from the tree that bears a Latin name of *Boswellia sacra*.

Annual Table of Contents

Nobel Prizes 2021

Nobel Prize in Physics 2021

Jože Rakovec, Žiga Zaplotnik, Tomaž Prosen

Nobel Prize in Physics 2021 went to three scientists: half of the prize was awarded to two meteorologists, Syukuro Manabe and Klaus Hasselmann, and the other half went

to theoretical physicist Giorgio Parisi. The Royal Swedish Academy of Sciences website (Nobel Committee, 2021) reads: “Three Laureates share this year’s Nobel Prize in Physics for their studies of chaotic and apparently random phenomena. Syukuro Manabe and Klaus Hasselmann laid the foundation of our knowledge of the Earth’s climate and how humanity influences it. Giorgio Parisi is rewarded for his revolutionary contributions to the theory of disordered materials and random processes. Complex systems are characterised by randomness and disorder and are difficult to understand. This year’s Prize recognises new methods for describing them and predicting their long-term behaviour.”

Medicine and pharmacy

Hydrogels as Targeted Drug Delivery Systems

Tilen Kopač, Aleš Ručigaj, Matjaž Krajnc

Hydrogels are intelligent materials that are exceptionally useful in biomedical and pharmaceutical applications. The article presents hydrogels for targeted delivery of active substances. The role of hydrogel in such applications is to capture active ingredients in its structure and release them where they are intended. Encapsulation of the active ingredient protects it from being degraded in the human body and allows it to be transported to the targeted location. Once there, the structure of hydrogel changes so as to enable the release of the active ingredient from the hydrogel, where the speed of release is of key importance in achieving maximum treatment efficiency.

Medicine

Sleep and epilepsy

Martin Natlačan

Epilepsy is a group of neurological disorders characterized by seizures, and our ancestors used to believe these seizures were a symptom of demonic possession. The word epilepsy itself originates in the ancient Greek

verb that means to seize, torture (Magiorkinis, Sidiropoulou, Diamantis, 2010). Today, we know much more about the causes of this condition with many faces, and one of the more fascinating discoveries has to do with sleep. Sleep and epilepsy are closely related as they are both connected with brain plasticity. Brain plasticity is the brain’s capacity to form new neural connections, and these changes are activity-dependent. This mechanism is the foundation for information storage in the brain.

In memoriam

Last Goodbye to Slovenian Odonatologist, Academician Boštjan Kiauta

Matija Gogala

New books

New Monograph *Mozaik življenja, Natura 2000 Kras (Mosaic of Life, Natura 2000 Karst)*

Miloš Bartol

Our sky

Summer Night Sky

Mirko Kokole



Naslovnica:

Veliki skovik (Otus scops).

Narisa: Jurij Mikuletič.

Proteus

Izbaja od leta 1933

Mesečnik za poljudno naravoslovje

Izdajatelj in založnik:

Priradoslovno društvo Slovenije

Odgovorni urednik:

prof. dr. Radovan Komel

Glavni urednik: dr. Tomaž Sajovic

Uredniški odbor:

Sebastjan Kovač

prof. dr. Milan Brumen

dr. Igor Daksobler

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 Slavc

dr. Petra Draškovič Pelc

<http://www.proteus.si>

priradoslovno.drustvo@gmail.com

© Priradoslovno društvo Slovenije, 2022.

Vse pravice pridržane.

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

Lektor: dr. Tomaž Sajovic

Oblikovanje: Eda Pavletič

Angleški prevod: Andreja Šalamon Verbič

Priprava slikovnega gradiva: Marjan Richter

Tisk: Trajanus d.o.o.

Svet revije Proteus:

prof. dr. Nina Gunde – Cimerman

prof. dr. Lučka Kajfež – Bogataj

prof. dr. Tamara Lah – Turnšek

prof. dr. Tomaž Pisanski

doc. dr. Peter Skoberne

prof. dr. Kazimir Tarman

Proteus izdaja 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 4,32 EUR, za upokojence 3,55 EUR, za dijake in študente 3,36 EUR.

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

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

Vsi objavljeni prispevki so recenzirani.

Proteus (tiskana izdaja) ISSN 0033-1805

Proteus (spletna izdaja) ISSN 2630-4147

Uvodnik

Znanost je svojo »nevtiralnost« in »nepolitičnost« za vselej izgubila v Hirošimi (misel poljskega fizika in Nobelovega nagrajenca za mir Josepha Rotblata)

Ko se je bližala druga svetovna vojna, je Albert Einstein, prepričani pacifist, storil nekaj, kar ni bilo v njegovem značaju niti ni bilo nujno potrebno. Avgusta leta 1939 je podpisal pismo, naslovljeno na ameriškega predsednika Roosevelta, ki je opozarjalo, da bi nacisti lahko razvili jedrsko orožje. Einstein je bil prepričan, da morajo Združene države Amerike zato izdelati svoje atomsko orožje. Tako je bil rojen projekt ameriške atomske bombe *Manhattan*. Šest let kasneje sta atomski bombi uničili Hirošimo in Nagasaki. Takoj je bilo ubitih več kot 200.000 ljudi, za posledicami pa jih je umrlo vsaj še toliko. Druga svetovna vojna je bila končana, začela se je hladna vojna.

Einstein je pismo hudo obžaloval. Leta 1947 so v reviji *Newsweek* v članku *Človek, ki je vse začel* objavili njegove besede: »Če bi vedel, da Nemci ne bodo uspeli narediti atomske bombe, ne bi storil ničesar.« Drugače povedano, pisma ne bi nikoli podpisal. Leta 1955 je z znamenitimi intelektualci in znanstveniki podpisal nekaj popolnoma nasprotnega, in sicer znameniti *Russell-Einsteinov manifest*. Podpisniki so svetovne voditelje opozarjali na nevarnosti jedrskega orožja in jih pozvali, da mednarodne spore rešujejo miroljubno: »[P]roblemi se ne smejo reševati z vojno. Želimo, da bi to razumeli na Vzhodu in Zahodu. // Če izberemo to pot, je pred nami nenehni napredek v sreči, vedenju in modrosti. Naj namesto tega izberemo smrt, ker ne moremo pozabiti naših preprirov? Kot človeška bitja vas pozivamo: Spominjajte se svoje človečnosti in pozabite

na vse ostalo. Če lahko to storite, se bo odprla pot v novi raj; če tega ne morete, tvegajte smrt vseh.«

Podpisnike manifesta je strahotno jedrsko orožje prisililo, da so postali krik *vesti* človeštva. Zapustili so »laboratorije in kabinete« in vstopili v »areno življenja«. Joseph Rotblat (1908-2005) (Rotblat je podpisnik *Manifesta* ter eden od ustanoviteljev, dolgotletni tajnik in predsednik *Pugwashskih konferenc o znanosti in svetovnih zadevah*, ki si prizadevajo za svet brez jedrskega orožja in drugih orožij množičnega uničevanja, Rotblat in *Pugwashske konference* so leta 1995 prejeli tudi Nobelovo nagrado za mir) v svojem govoru pri podelitvi Nobelove nagrade o znanosti ni govoril pohvalno: »Načela, kot sta ‚znanost je nevtralna‘ ali ‚znanost nima nič opraviti s politiko‘, še vedno prevladujejo. So ostanki miselnosti slonokoščene stolpa, čeprav je slonokoščeni stolp [že] razdejala bomba v Hirošimi.« Misli v Rotblatovem govoru so danes pozabljene. Vrhunski znanosti čas, ki ceni samo še tako ali drugačno takojšnjo »dobičkonost«, ni naklonjen. Danes ni več prostora za mlade einsteine, je pred leti zapisal *Guardian* ... Tudi za rotblate ne. Prav zato hočem pisati o Rotblatu. Joseph Rotblat je bil poljski fizik z britanskim potnim listom. Med drugo svetovno vojno je delal pri Projektu ameriške atomske bombe *Manhattan*, vendar ga je leta 1944 - edini - zapustil iz etičnih razlogov. Na spletu lahko najdete besedilo s suhoparnim naslovom: *Rotblatovo poročilo*. »Poročilo« je najpomembnejši odlomek iz Rotblatovega teksta *Slovo od projekta bombe (Leaving the bomb project)*, ki je izšlo leta 1985 v *Biltenu atomskih znanstvenikov (The Bulletin of the Atomic Scientists)*. Rotblat je v njem prvič razkril, zakaj se je leta 1944 odločil zapustiti Los Alamos (tu je bil laboratorij, v katerem so znanstveniki »ustvarjali« atomsko bombo). »Poročilo« objavljam v svojem, ponekod nekoliko prirejenem prevodu. Vsaka znanstvenica in znanstvenik bi ga morala imeti na svoji mizi ...

»Marca leta 1944 sem doživel neprijetni šok. Takrat sem živel pri Chadwickovih [James Chadwick je bil britanski fizik - leta 1935 je za odkritje nevtrona dobil Nobelovo nagrado za fiziko - in Rotblatov sodelavec pri *Projektu Manhattan*] v njihovi hiši na Mesi, preden sem se kasneje preselil v »Veliko hišo«, stanovanja za samske znanstvenike. General Leslie Groves [vodja *Projekta Manhattan*] se je, ko je obiskal Los Alamos, pogosto oglasil pri Chadwickovih na kosilu in sproščenem pogovoru. Pri enem od takih pogovorov je dejal, da je glavni namen izdelave bombe seveda bil ukrotiti Sovjete. [...] Čeprav nisem imel nobenih iluzij o Stalinovem režimu - konec koncev, njegov pakt s Hitlerjem je kasneje omogočil napad na Poljsko -, sem imel globok občutek izdaje zaveznika. Samo spomnite se, to je bilo rečeno v času, ko so Rusi vsak dan umirali na vzhodni fronti, vezali nase Nemce in zaveznikom dajali čas, da se pripravijo na izkrcanje na evropsko celino. Do takrat sem mislil, da je naše delo bilo namenjeno preprečiti nacistično zmago, zdaj pa sem slišal, da je bilo naše orožje, ki smo ga delali, namenjeno uporabi proti ljudem, ki so bili pripravljeni žrtvovati svoja življenja prav za zmago zaveznikov nad nacisti.

Moja zaskrbljenost glede namena našega dela se je potrjevala v pogovorih z Nielsom Bohrom. Ponavadi je prihajal v mojo sobo ob osmih zjutraj, da bi na mojem posebnem radiu poslušal BBC-jeva poročila. Kot sam tudi on ni prenašal ameriških poročil, ki so poslušalce vsakih nekaj sekund prepričevala, da kupimo tako ali drugačno odvajalo! [...] Včasih se je Bohr zadržal dlje časa ter se pogovarjala o družbenih in političnih implikacijah odkritja jedrske energije in njegovi zaskrbljenosti zaradi zlovesčih posledic jedrske oboroževalne tekme med Vzhodom in Zahodom, ki jo je slutil.

Zaradi vsega tega in znamenj, ki so se kopičila, da se bo vojna v Evropi končala, preden bo projekt bombe zaključen, je postalo moje sodelovanje nesmiselno. Če so Ame-

ričani potrebovali toliko časa [za razvijanje atomskega orožja], potem je bil moj strah, da bi nas Nemci prehiteli, neutemeljen. Ko je proti koncu leta 1944 postalo očitno, da so Nemci opustili svoj projekt bombe, se je namen mojega bivanja v Los Alamosu izčrpal in prosil sem za dovoljenje, da se vrnem v Britanijo. Zakaj se drugi znanstveniki niso odločili enako? Očitno nekateri niso pričakovali, da bo general Groves končal projekt, ko bodo Nemci premagani, bilo pa je mnogo znanstvenikov, za katere je bil nemški dejavnik glavna motivacija. Zakaj niso [nehali sodelovati pri projektu], ko je ta dejavnik prenehal?

Ko sem izrazil namen, da zapustim Los Alamos, mi o tem niso dovolili razpravljati z nikomer, toda iz prejšnjih razgovorov kot tudi tistih mnogo kasnejših je bilo mogoče razbrati različne razloge, zakaj se za tak korak niso odločili tudi drugi znanstveniki, ki so sodelovali pri projektu. Najpogostejši razlog je bila čista in preprosta radovednost – močna želja ugotoviti, ali se bodo teoretični računi in predvidevanja uresničila. Ti znanstveniki so čutili, da bodo šele po testu v Alamogordu lahko razpravljali o uporabi bombe. Drugi so bili pripravljene odločitev sprejeti kasneje, prepričal naj bi jih argument, da bi mnoga ameriška življenja bila rešena, če bi bomba prinesla hitri konec vojne z Japonci. Šele ko bi bil dosežen mir, bi se začeli zavzemati za to, da bombe ne bi več uporabili. Drugi, ki so se sicer strinjali, da bi projekt morali ustaviti, ko bi nehali delovati nemški dejavnik, take odločitve niso bili pripravljene sprejeti, ker so se bali, da bi to škodilo njihovi prihodnji poklicni poti. Znanstveniki z družbeno zavestjo, ki sem jih pravkar opisal, so bili v znanstveni skupnosti v manjšini. Večina pa ni imela nobenih moralnih pomislekov: bili so čisto zadovoljni, da odločajo drugi, kako bo njihovo delo uporabljeno. Enak položaj je danes v mnogih državah pri delu v vojaških projektih. Toda prav moralni problem v času vojne me je begal in najbolj skrbel.

Potem ko sem Chadwicku povedal, da želim zapustiti projekt, se je čez nekaj dni vrnil z zelo skrb vzbujajočimi novicami. Ko je z mojo željo seznanil vodjo obveščevalne službe v Los Alamosu, so mu pokazali debeli dosje o meni s skrajno obremenjujočim dokazom. Bil naj bi vohun: s kontaktno osebo sem se v Santa Feju dogovoril, da se vrnem v Anglijo, od koder naj bi odletel in se s padalom spustil na območje na Poljskem v rokah Sovjetov, da bi jim predal skrivnosti o atomski bombi. Težava je bila, da je v vsem tem nesmislu bilo nekaj resnice. Res sem se srečal in se pogovarjal z neko osebo med svojimi potovanji v Santa Fe. Namen je bil čisto nesebičen in ni imel ničesar skupnega s projektom, za obiske pa sem imel tudi Chadwickovo dovoljenje. Kljub vsemu je to bilo v nasprotju z varnostnimi predpisi in zaradi tega sem postal ranljiv.

Na srečo so v svoji vnemi previdni agenti v poročila vključili podrobnosti pogovorov z datumi vred, kar je bilo mogoče z lahkoto ovreči in razkriti kot popolno potvorbo. Vodja obveščevalne službe je bil v precejšnji zadregi in je priznal, da je dosje brez vrednosti. Kljub vsemu je vztrajal, da ne smem z nobenim govoriti, da nočem več sodelovati pri projektu. S Chadwickom sva se strinjala, da bi razlog za moj odhod [če bi kdo spraševal po njem] moral biti čisto osebno: da me je skrbelo za ženo, ki sem jo pustil na Poljskem.

Tako sem na božični večer leta 1944 odplul v Združeno kraljestvo, toda ne brez še enega neprijetnega dogodka. Preden sem zapustil Los Alamos, sem vse svoje dokumente – zapiske o raziskovanju, korespondenco in druge zabeležke – zložil v zaboj, ki ga je naredil moj asistent. Na poti sem nekaj dni ostal s Chadwickoma v Washingtonu. Chadwick mi je osebno pomagal spraviti zaboj na vlak v New York. Toda ko sem tja prispel nekaj ur kasneje, zaboja ni bilo več. Kljub vsem naporom ga nisem več videl nikoli.

Delo pri *Projektu Mahattan* [...] je imelo trajni učinek v mojem življenju. Temeljito je spremenilo mojo znanstveno pot in razumevanje mojih dolžnosti do družbe. Delo pri atomski bombi me je prepričalo, da je celo popolnoma osnovno raziskovanje mogoče hitro uporabiti v tak ali drugačen namen. Zato sem se želel sam odločiti, kako naj bi bilo moje delo uporabljeno. Izbral sem tisto področje jedrske fizike, ki bi zagotovo bilo v korist človeštva: uporabo v medicini. Tako sem popolnoma spremenil usmeritev svojega raziskovanja in ostali del svoje akademske poklicne poti posvetil delu v medicinskem kolidžu in bolnišnici.

Medtem ko mi je to dalo osebno zadovoljstvo, so me vedno bolj skrbeli politični vidiki razvoja jedrskega orožja, še zlasti vodikove bombe, o kateri sem marsikaj slišal že v Los Alamosu. Zato sem se posvetil tako opozarjanju znanstvene skupnosti na grozečo nevarnost jedrskega orožja kot izobraževanju javnosti o teh vprašanjih. Bil sem ključen pri ustanovitvi Zveze atomskih znanstvenikov v Združenem kraljestvu in v njenem okviru organiziral Atomski vlak, potujočo razstavo, ki je javnosti pojasnjevala dobre in zle vidike jedrske energije. Ob teh aktivnostih sem začel sodelovati z Bertrandom Russelom. Iz tega sodelovanja so se porodile Pugwashske konference. Tu sem se spet srečal s kolegi iz *Projekta Manhattan*, ki jih je tudi skrbela grožnja človeštvu, ki jo je delno porodilo njihovo delo.

Po štiridesetih letih mi eno vprašanje ni dalo miru: smo se naučili dovolj, da ne bi ponovili napak, ki smo jih storili tedaj? Tega ne bi trdil niti zase. Čeprav nisem absolutni pacifist, ne morem zagotoviti, da bi ravnal enako, če bi prišlo do podobnega položaja. Zdi se, da so naša moralna načela pozabljena, ko se vojaški spopad začne. Zato je najbolj pomembno, da ne dovolimo, da pride do takega položaja. Naš najpomembnejši napor se mora usmeriti v preprečitev jedrske vojne, kajti v taki vojni ne bo izginila le moralnost, ampak celotna zgradba civiliza-

cije. Končni cilj pa je seveda ukinitvev vseh vojn.«

Tako je pisal Rotblat pred slabimi štiridesetimi leti. Kdor bi iz teh besed sklepal, da je bil Rotblat utopist in sanjač, se moti. Sodeloval je pri pripravi *Sporazuma o delni prepovedi izvajanja jedrskih preizkusov* (1963), *Sporazuma o neširjenju jedrskega orožja* (1968) in *Konvencije o biološkem in toksičnem orožju* (1972) ... Danes je Rotblat pozabljen, njegove globoko človeške ideje pa cinično zavračajo kot »preveč radikalne in nerealne« (prav s temi besedami država Slovenija zavrača podporo in ratifikacijo *Pogodbe o prepovedi jedrskega orožja*). Časi so se spremenili. Na slabše ...

Stane Peterlin v današnjem uvodnem besedilu to potrjuje: »Aprila letos (2022) je minilo petdeset let od izida *Zelene knjige o ogroženosti okolja v Sloveniji*, ki jo je izdalo Prirodoslovno društvo Slovenije v sodelovanju s tedanjim Zavodom za spomeniško varstvo Socialistične republike Slovenije. [...] Danes si težko predstavljam, da bi uspeli združiti toliko strokovnih ljudi, ki bi brezplačno hoteli sodelovati v skupni akciji. / Takratna nevladna scena je to zmogla, danes pa smo preveč razdrobljeni.«

Tomaž Sajovic

Pol stoletja *Zelene knjige*

Spominski utrinki urednika

Stane Peterlin

Aprila letos (2022) je minilo petdeset let od izida *Zelene knjige o ogroženosti okolja v Sloveniji*, ki jo je izdalo Prirodoslovno društvo Slovenije v sodelovanju s tedanjim Zavodom za spomeniško varstvo Socialistične republike Slovenije. Knjiga obsega 255 strani, v njej je sodelovalo 62 avtorjev prispevkov, prevajalcev in avtorjev slikovnih prikazov. Namen knjige je bil v zgoščeni in poljudno pisani obliki, vendar strokovno, z ugotovitvami in dejstvi predstaviti škodo, ki jo je dotlej utrpelo naravno in življenjsko okolje naše domovine.

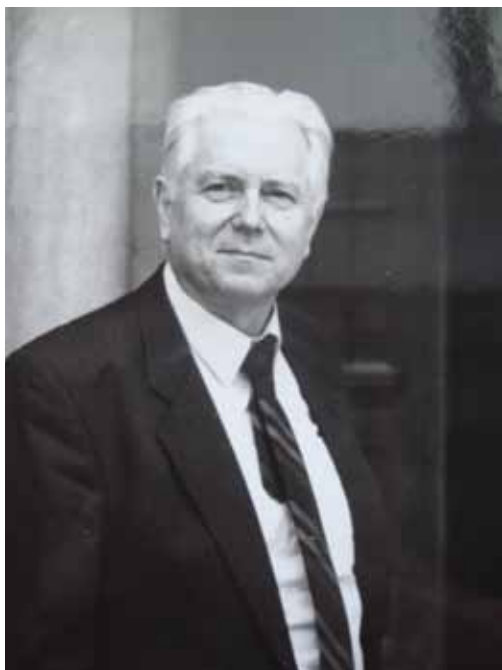
Idejne zametke knjige najdemo že v programu *Tedna varstva narave*, ki ga je Prirodoslovno društvo Slovenije organiziralo v sodelovanju z Zavodom za spomeniško varstvo Socialistične republike Slovenije maja leta 1967. Morda najbolj zaslužen za to izvedbo je bil tedanji predsednik društva prof. dr. Miroslav Kališnik, ki je mojo idejo, nastalo v povezavi z odzivom javnosti pri načrtih za hidroenergetsko izkoriščanje reke Soče, sprejel z vso vnemo in nam izvajalcem dajal

potrebno podporo za delo. Lahko rečem, da je društvo z njegovo izvolitvijo za predsednika imelo veliko srečo, ker je bil odličen organizator in je znal ljudi pritegniti k delu. Pri *Tednu* je z vključitvijo tudi republiških upravnih organov, pa znanstvenih in raziskovalnih ustanov in specializiranih strokovnjakov iz društvene akcije nastala vseslovenska prireditev, ki ji je bila posvečena dvojna številka 29. letnika revije *Proteus*.

Ob pripravah na Evropsko leto varstva narave leta 1970 se je na razširjenem društvenem sestanku porodila zamisel za pripravo *Zelene knjige*. Iz prvotno zasnovane brošure je po dvehletnem delu nastala obsežna knjiga, ki je izšla aprila leta 1972, ko je bila napovedana konferenca Združenih narodov o človekovem okolju junija leta 1972 v Stockholmu. Knjigo je tja odnesel slovenski član jugoslovanske delegacije prof. dr. Peter Novak.

Zelena knjiga je bila mozaik kratkih sestavkov, združenih v šest poglavij: Zemlja, Voda, Zrak, Rastlinstvo, Živalstvo, Človek. Zaključuje jo obsežen pregled tedanje literature. Kot društveni odbornik in Zavodov predstavnik sem na predsednikovo prošnjo prevzel urejanje





S tednom varstva narave želimo mobilizirati prav vse naše ljudi, današnje in jutrišnje proizvajalce in upravljavce, da bodo cenili in varovali naravne dobrine naše domovine, da jih bodo racionalno izkoriščali v prid vseh rojakov. S to vzgojno-izobraževalno akcijo nameravamo pripraviti našo javnost, strokovnjake in politike do tega, da bodo skušali vsak pomembnejši problem zajeti v celoti in upoštevati vse njegove vidike. Letošnji »teden varstva narave« naj pomeni le uvod v taka stalna prizadevanja.

Citat iz uvodnika dr. Miroslava Kališnika ob Tednu varstva narave (Proteus, 29, 9-10).

*Prof. dr. Miroslav Kališnik.
Družinski arhiv gospe Neve Kališnik.*

knjige. Ob urejanju knjige se mi je porodila zamisel, kako povezati medsebojno odvisnost vsebin, šest poglavij. Nastala je ideja za pentljo s šestimi prepleti. Vesel sem, da je pentlja postala simbol varstva narave.



Pentlja, nastala kot simbol poglavij Zelene knjige, in njena današnja uporaba.

Danes si težko predstavljam, da bi uspeli združiti toliko strokovnih ljudi, ki bi brezplačno hoteli sodelovati v skupni akciji.

Takratna nevladna scena je to zmogla, danes, ko bi bilo skupno delo še bolj potrebno, pa smo preveč razdrobljeni.

TEDEN VARSTVA NARAVE
od 22. do 28. maja 1967

Teden varstva narave je priredilo Prirodoslovno društvo Slovenije v sodelovanju z Zavodom za spomeniško varstvo SRS.

ČASTNO PREDSEDSTVO:

Sergej Kraigher, predsednik Skupščine SR Slovenije
Stane Kavčič, predsednik Izvršnega sveta Skupščine Slovenije
Josip Vidmar, predsednik Slovenske akademije znanosti in umetnosti
Prof. ing. Albert Struna, rektor Univerze v Ljubljani
Dr. Marijan Brečelj, predsednik Planinske zveze Jugoslavije
Albert Jakopič, predsednik Turistične zveze Jugoslavije
France Kimovec, podpredsednik Glavnega odbora Socialistične zveze delovnega ljudstva Slovenije
Ivo Janžekovič, predsednik Republiškega sveta Zveze sindikatov Slovenije
Ermin Kržičnik, republiški sekretar za urbanizem SR Slovenije
Mica Černigoj, ravnateljica Zavoda za spomeniško varstvo SRS
Dr. Angela Piskernik, referentka za varstvo narave Prirodoslovnega društva Slovenije.

AKCIJSKI ODBOR:

Izvršni odbor:

Doc. dr. Miroslav Kališnik, predsednik
Brane Vesel, prof. biol., podpredsednik
Stane Peterlin, prof. biol., tajnik
Rok Golob, prof. geogr., tajnik
Tone Wraber, prof. biol., upravnik
Jože Žitnik, blagajnik.

Strokovne komisije:

- a) **ta:** prof. ing. Franjo Rainer, ing. Jože Pintar, dr. Avguštin Lah
- b) **voda:** dr. Marjan Rejic
- c) **zrak:** doc. dr. Andrej Hočevar, Bojan Paradiž, prof. meteorol.
- č) **rastlinstvo:** doc. dr. Vlado Ravnik, prof. Jože Lazar, prof. dr. Viktor Petkovšek, kustos Tone Wraber
- d) **živalstvo:** dr. Anton Polenec, doc. dr. Kazimir Tarman
- e) **gozdarstvo:** ing. Milan Ciglar, prof. dr. Maks Wraber
- f) **hortikultura in varstvo krajine:** prof. ing. Ciril Jeglič, Vinko Strgar, prof. biol.
- g) **človek:** prof. dr. Ivan Bonač, doc. dr. Miroslav Kališnik
- h) **biotehnika:** prof. dr. Srečko Vatovec, prof. dr. ing. Bogdan Vovk
- i) **tehnika:** prof. dr. ing. Francè Avčin
- j) **prostorsko načrtovanje:** Braco Mušič, dipl. ing. arh.
- k) **turizem:** dr. Danilo Dougan, Marko Selan, dipl. pravnik
- l) **pravna vprašanja:** dr. Miha Potočnik, dr. Miro Saje, Janez Kocijančič, dipl. pravn.

Organizacijske komisije:

- a) **šolstvo:** Brane Vesel, prof. biol., Milojko Vidmar, prof. biol., Tine Orel, prof. slav., Janez Sivec, prof. slav., Vojko Novak, Vida Brelih, prof. biol., Stane Peterlin, prof. biol.
- b) **tišk:** France Cvenkel, asist., Marko Aljančič, Slavko Sršen, dipl. ekon., Tine Orel, prof. slav., Miran Zirkelbach
- c) **propaganda:** Marko Selan, dipl. pravnik, Vojko Novak, Miško Kranjec, pisatelj, Marjan Krišelj, prof., Bogdan Pagačnik, novinar, Ivo Motnikar, Mitja Vošnjak, pisatelj
- č) **predavanja in filmi:** Dušan Novak, dipl. biol., Mirko Šoštarič
Prvi navedeni je predsednik komisije.

Od čilija in laboratorijske konice do odkritij, kako se s čutili odzivamo na dogajanja v našem telesu in okoli nas – ob lanski Nobelovi nagradi za fiziologijo ali medicino

Radovan Komel

Lanskega četrtega oktobra so se člani Nobelovega odbora na švedskem Karolinskem inštitutu odločili, da Nobelovo nagrado za fiziologijo ali medicino za leto 2021 podelijo dvema znanstvenikoma, Davidu Juliusu in Ardemu Patapoutianu, in sicer za njuni odkritji genskih in biokemijskih osnov občutenja toplote in dotika. Odkritji sta pomembni za razumevanje, na kakšen način potekata naš odziv in prilagajanje na stalne spremembe v okolju. Med drugim je znanje o tem uporabno tudi za razvoj zdravil za različne bolezni, med njimi za kronično bolečino.

Kako dojemamo svet

Ena od velikih skrivnosti, s katerimi se sooča človeštvo, je, kako zaznavamo svoje okolje. Mehanizmi, na katerih temeljijo naša čutila, že tisočletja sprožajo našo radovednost. Sprašujemo se, kako oči zaznavajo svetlobo, kako zvočni valovi vplivajo na naša notranja ušesa in kako različne kemične spojine medsebojno delujejo z receptorji v nosu in ustih ter ustvarjajo vonj in okus. Imamo tudi druge načine za dojetanje sveta okoli sebe. Predstavljajte si, da na vroč poletni dan hodite bos po travniku. Lahko čutite blagodejno toploto sonca, božanje



David Julius je profesor in predstojnik Oddelka za fiziologijo in vodja Katedre Morrisa Herzsteina za molekularno biologijo in medicino na Kalifornijski univerzi v San Franciscu. Rojen je bil 4. novembra leta 1955 v New Yorku v Združenih državah Amerike. Diplomiral je leta 1977 na Tehnološkem inštitutu Massachusettsa in doktoriral leta 1984 na Univerzi Columbia v Berkeleyju v Kaliforniji.



Ardem Patapoutian je profesor in raziskovalec na Scrippsovem raziskovalnem inštitutu na Medicinskem inštitutu Howarda Hugbesa v La Yollu v Združenih državah Amerike.

Rojen je bil 30. novembra leta 1966 v Bejrutu v Libanonu. Po pridobitvi ameriškega državljanstva je leta 1986 diplomiral in leta 1990 doktoriral na Kalifornijski univerzi v San Franciscu.

vetra in mehak dotik trave pod nogami. Ti vtisi temperature, dotika in gibanja so bistveni za naše prilagajanje nenehno spreminjajočemu se okolju. V 17. stoletju si je filozof René Descartes zamislil niti, ki bi povezovale različne dele kože z možgani. Na ta način bi noga, ki bi se dotaknila odprtega ognja, poslala mehanski signal v možgane. Odkritja so pozneje razkrila obstoj specializiranih živčnih celic - čutilnih nevronov, ki zaznavajo spremembe v našem okolju. Joseph Erlanger in Herbert Gasser sta leta 1944 prejela Nobelovo nagrado za fiziologijo ali medicino za odkritje različnih vrst čutilnih živčnih vlaken, ki se odzivajo na različne dražljaje, na primer na boleči in neboleči dotik. Od takrat je bilo dokazano, da so živčne celice visoko specializirane za zaznavanje in pretvorbo različnih vrst dražljajev, kar omogoča niansirano zaznavanje naše okolice, na primer občutenje razlik v teksturi površin s konicami prstov ali razločevanje tako prijetne toplote kot boleče vročine. Pred odkritji Davida Juliusa in Ardema Patapoutiana je naše razumevanje, kako živčni sistem zaznava in razlaga naše okolje, še vsebovalo temeljno nerešeno vprašanje: kako se toplotni in mehanski dražljaji pretvorijo v električne impulze v živčnem sistemu?

Od paprike čili preko gena do sprožilca sporočila

V drugi polovici devetdesetih let prejšnjega stoletja je David Julius s Kalifornijske univerze v San Franciscu v Združenih državah Amerike videl možnost velikega napredka pri odgovoru na to vprašanje s sistematično preiskavo, kako kemična spojina kapsaicin povzroča pekoči občutek, ki ga čutimo, ko pridemo v stik s čilijem. Že prej je bilo znano, da kapsaicin aktivira živčne celice, ki povzročajo občutek bolečine, toda kako je ta kemikalija dejansko opravljala to vlogo, je bila nerešena uganka. Pravzaprav je bila izvirnost Juliusovega pristopa v izboru in uporabi kemične spojine, ki povzroča

podoben občutek, kot ga čutimo ob stiku z nevdržno toploto.

Julius in njegovi sodelavci so iz celične DNA ustvarili zbirko milijonov delcev DNA, ki so ustrezali nukleotidnim zapisom (mRNA), izraženim samo v čutilnih nevronih, ki lahko reagirajo na bolečino, vročino in dotik. Domnevali so, da bi ta zbirka lahko vključevala fragment DNA oziroma gen, ki kodira protein, ki je sposoben reagirati na kapsaicin. Posamezne gene iz te zbirke so zato izrazili v vrsti gojenih celic, ki običajno ne reagirajo za kapsaicin. Po naporem iskanju so prepoznali en sam gen, ki je lahko te celice naredil občutljive na kapsaicin. Ugotovljeni gen je namreč kodiral nov protein ionskega kanalčka in ta na novo odkriti receptor za kapsaicin je bil kasneje imenovan TRPV1 (angleško *Transient Receptor Potential cation channel subfamily V member 1*), kar pomeni, da gre za protein, ki vsajen v ovojnico (membrano) celice deluje kot kanalček za prehod pozitivno nabitih ionov.

Kaj so ionski kanalčki in kakšen je njihov način delovanja?

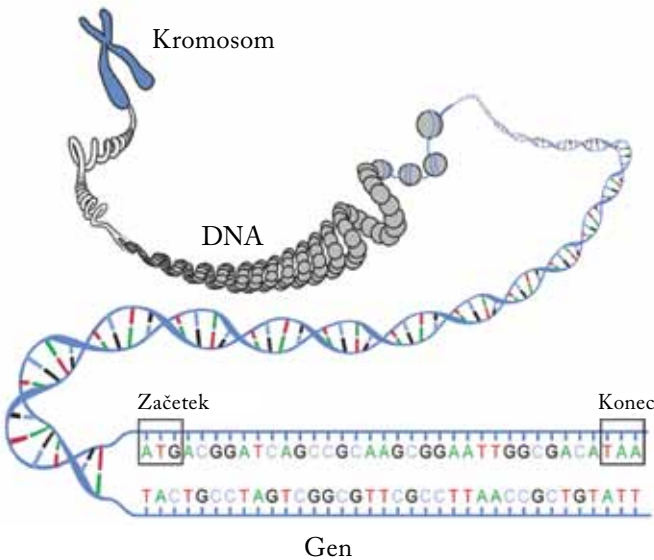
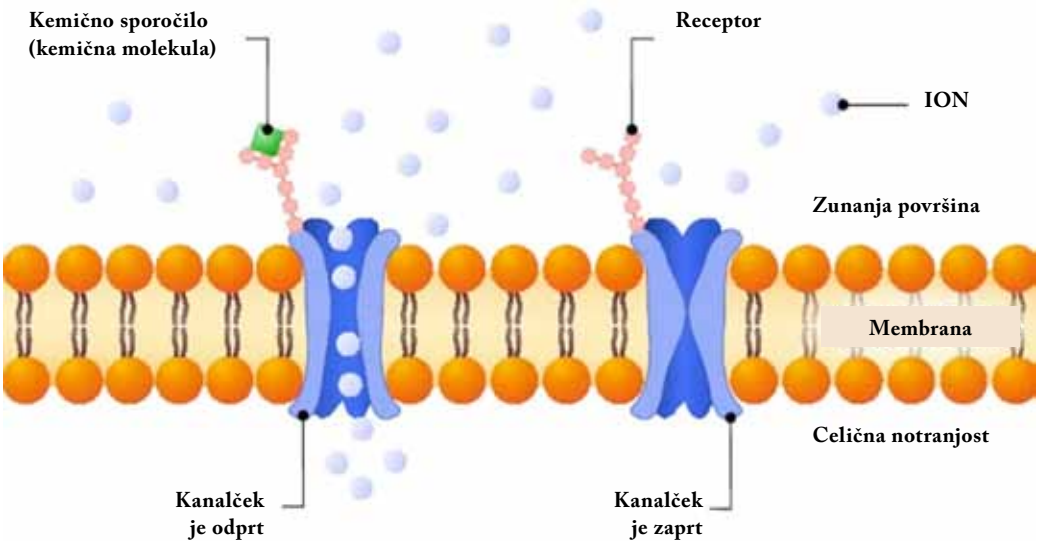
Ionski kanalčki so integralni membranski proteini, navadno sestavljeni iz več posameznih podenot - enakih ali homolognih proteinov. Proteinske podenote tesno objemajo z vodo napolnjeno poro, ki prebada lipidni dvosloj celične membrane. Ionski kanalčki se nahajajo v membranah vseh vzdražljivih celic in številnih znotrajceličnih organelov. Pora posameznega kanalčka je na najožjem mestu široka samo en ali dva atoma in je navadno prilagojena izbrani vrsti ionov (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- ...), kar pomeni, da skozi poro prehajajo samo ioni določene velikosti in/ali naboja, vendar pa so nekateri kanalčki lahko prepustni tudi za več vrst ionov, ki pa si običajno delijo skupni naboj: pozitivnega (kationi) ali negativnega (anioni). Prehod skozi pore urejajo »vrata« (iz celične membrane navzven štrleči del proteinskih podenot), ki se lahko odprejo

ali zaprejo kot odgovor na posebno kemično spojino (kemično sporočilo), ki se veže nanje oziroma na njihov del (receptor), ali kot odgovor na električni signal, toploto ali mehansko silo.

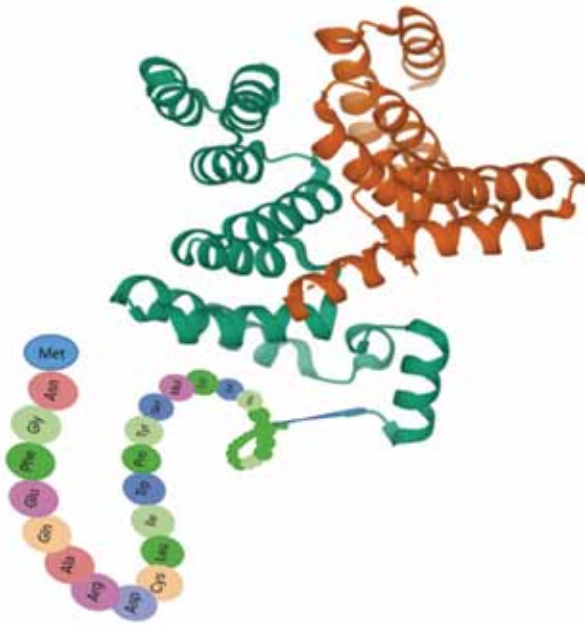
Zanima nas, zakaj in kako se proteinska »vrata« odpirajo in zapirajo in s tem uravnavajo pretok ionov v celico ali iz nje. Da

bi lahko odgovorili na to vprašanje, moramo obnoviti znanje iz zgradbe proteinov in poiskati razlago za pojem »alosterija«.

Posamezen protein je sestavljen iz aminokisljin. Te so med seboj povezane v zaporedje (niz), ki je prevod zaporedja sestavnih delov (nukleotidov) DNA oziroma njenega kodirajočega dela – specifičnega, temu proteinu



Tripleti nukleotidov specifičnega gena so zapisi (kodoni) za posamezne aminokisljine v nizu ustrežajočega proteina.

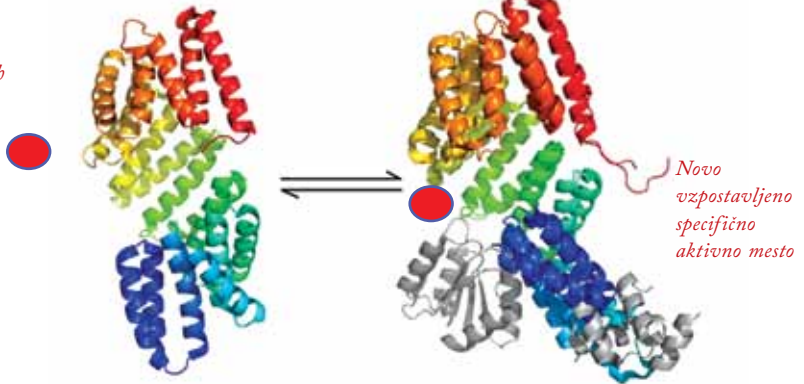


Privlačne in odbojne sile med posameznimi aminokislinami v proteinskem nizu povzročijo povezave posameznih delov proteina v njegovo končno aktivno prostorsko zgradbo.

Molekula kemične spojine (kemično sporočilo, na primer hormon) se veže na specifično aktivno receptorsko mesto proteina. S tem na mestu vezave povzroči pretrganje nekaterih aminokislinskih povezav in vzpostavitev novih, kar se verižno (od vezi do vezi) prenaša v globino proteinske molekule. Končna posledica je preoblikovanje celotne proteinske zgradbe v novo, biokemijsko aktivno zgradbo.

Neaktivna zaprta oblika proteina

Aktivna odprta oblika proteina

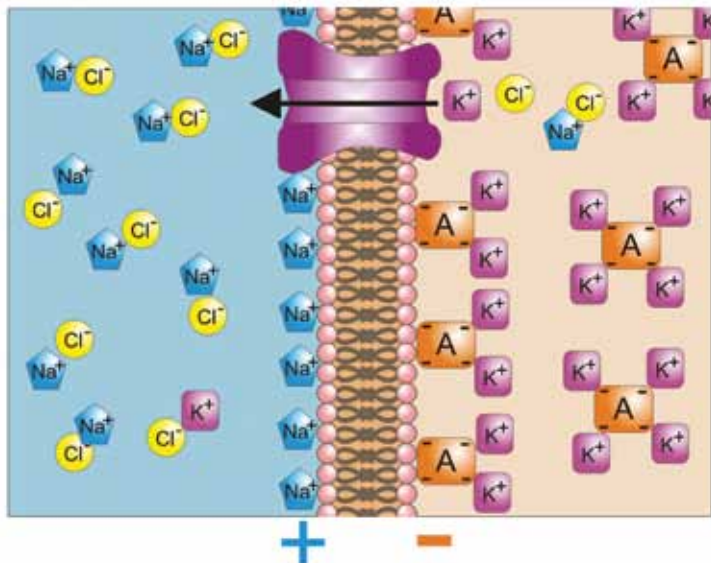


Novo vzpostavljeno specifično aktivno mesto

ustrezajočega gena. Med posameznimi aminokislinami v tem nizu zaradi njihove kemijske zgradbe vladajo privlačne in odbojne sile, zato se posamezni deli niza oblikujejo v značilne vijačne ali ploskovne zgradbe, te pa ponovno zaradi privlačnih in odbojnih sil izoblikujejo končno, na primer klobčičasto zgradbo proteina.

Številne povezave med posameznimi deli proteina včasih niso zelo trdne oziroma stabilne, zato se ob manjšem ali večjem vplivu iz okolja (kot je na primer vezava molekule določene kemične spojine) lahko pretrgajo in vzpostavijo se nove, kar lahko spremeni obliko celotne proteinske molekule in s tem tudi njeno aktivnost oziroma sposobnost

Celična membrana



Ločitev nabojev povzroča membranski potencial. Sistem kot celota pa je elektronevtralen. Nekompensirani pozitivni naboji zunaj celice (v tem primeru Na^+) in nekompensirani negativni naboji znotraj celice ($=\text{A}$) se fizično poravnajo po površini membrane in privlačijo drug drugega preko lipidnega dvosloja. Privrejeno po: https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane_potential.

Porazdelitev el. naboja vzdolž membrane.



Razlike v koncentracijah posameznih ionov.

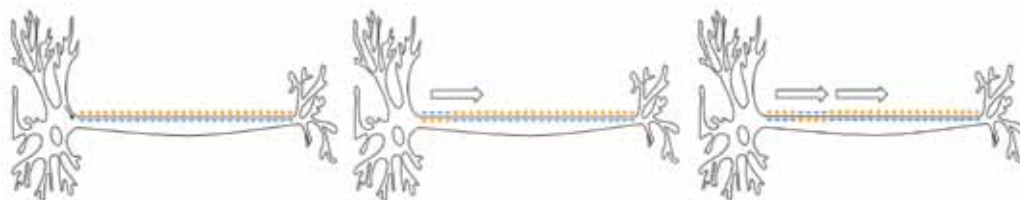
interakcije z okoljem. Pojav, ki se verižno prenaša od posameznega dela proteina do drugega in s tem vpliva na celotno zgradbo proteina, imenujemo *alosterija*.

Kakšna pa je vloga ionskih kanalčkov pri prenosu živčnega signala?

Posledica z ionskimi kanalčki nadzorovanega pretoka posameznih ionov je razlika v koncentraciji nekaterih ionov na eni in drugi strani celične membrane, v primeru živčnega vlakna med notranjostjo in zunanostjo nevronskega aksona. S tem je vzpostavljena elektronapetostna razlika, tako imenovani membranski potencial.

Ko na določenem delu celične membrane pride do hitre spremembe membranskega potenciala, se pojavi tako imenovani ak-

cijski potencial oziroma živčni impulz. Do navedene hitre spremembe lahko pride, če se zaradi zunanje vpliva (vezave kemične spojine – kemijsko sporočilo, spremembe temperature, mehanske sile) alosterično spremenijo nekateri določeni kanalčki, ki se zato odprejo za nekatere ione, in posledica je lokalna depolarizacija membrane. Lokalna sprememba ionske koncentracije ob membrani pa spodbudi obratno aktivacijo sosednjih ionskih kanalčkov. Konkretno: Na^+ -kanalčki se odprejo na začetku akcijskega potenciala, Na^+ pa se premakne v akson in povzroči depolarizacijo. Repolarizacija se zgodi, ko se pod vplivom narasle koncentracije Na^+ -ionov v notranjosti odprejo K^+ -kanalčki in K^+ izstopi iz aksona, kar povzroči spremembo električne po-



... in tako naprej, do konca aksona.

Prerejeno po: https://en.wikipedia.org/wiki/Action_potential.

larnosti med zunanjim in notranjim delom celice. To se ponavlja vzdolž živčne celice in impulz potuje po aksonu do konca aksona, kjer signal preda drugim nevronom.

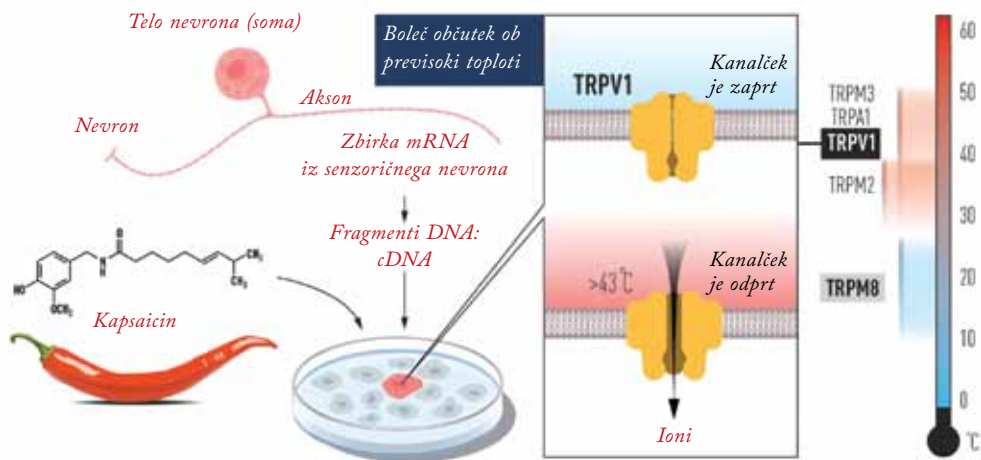
Ionski kanalčki se razlikujejo glede na ion, ki ga prepuščajo (na primer Na^+ , K^+ , Cl^-), načine, s katerimi je uravnava njihovo delovanje, število podenot, iz katerih so sestavljeni, in glede na druge vidike njihove zgradbe. TRPV1, ki ga je odkril David Julius, pripada veliki družini tako imenovanih receptorskih kationskih kanalčkov prehodnega potenciala (TRP), ki uravnava prepuščanje kalcijevih (Ca^{2+}) ionov. Ime »prehodni receptorski potencial« prihaja od TRP vinske mušice, ki je pokazal prehodno zvišanje membranskega potenciala kot odziv na svetlobne dražljaje, in se zdaj nanaša na družino proteinov s podobno zgradbo in funkcijo, ne pa tudi na mehanizem njihove aktivacije. Kasneje so bili kanalčki prehodnega receptorskega potenciala odkriti pri vretenčarjih, kjer so vseprisotno izraženi v številnih tipih celic in tkiv.

Gremo ven iz teoretskih osnov in pogledjmo, kaj je sledilo papriki čili

Vsakdo, ki je kdaj poskusil kakšno jed, začinjeno s čilijem, se je soočil z bolj ali manj izrazitim pekočim občutkom v ustni votlini, ki spominja na neprijeten občutek bolečine ob stiku z vročim predmetom. David Julius je to izkoristil in uporabil čili za odkritje ionskega kanalčka, povezanega z bolečino, ter v nadaljevanju s prefinjeno raziskavo z elektronskim mikroskopom pokazal, da se čilijeva »pekoča spojina« kapsaicin poveže

z receptorskim delom nevrnskega ionskega kanalčka TRPV1 in povzroči konformacijsko spremembo, kot je prikazano na sliki na strani 426. Posledica je sprememba oblike oziroma odprtje kanalčka za vdor kalcijevih ionov v nevrnski akson, kar povzroči lokalno depolarizacijo aksonske membrane in nastanek akcijskega potenciala oziroma živčnega impulza. Kmalu zatem je Julius pokazal, da ta kanalček lahko neposredno aktivira tudi sama toplota, v odsotnosti kapsaicina in drugih podobnih dejavnikov, tako da kanalček deluje kot molekularni povezovalc bolečih toplotnih dražljajev in neprijetnih kemičnih dražljajev.

Ob ugotovitvi, da ima TRPV1 ključno vlogo pri povečani občutljivosti za toploto, je postalo očitno, da morajo obstajati tudi drugi toplotno občutljivi receptorji, saj so poskusne živali, ki so jim odstranili gen za TRPV1 in so tako ostale brez proteina TRPV1, pokazale le manjšo izgubo občutka za akutno škodljivo toploto. To je utrla pot do razkritja dodatnih TRP-receptorjev za zaznavanje temperature, ki skupaj kodirajo toplotni občutek. Leta 2011 je skupina Thomasa Voetsa iz belgijskega Luevena prepoznala TRPM3 kot drugi senzor za škodljivo toploto pri miših brez gena *Trpv1*, ker pa je inaktivacija genov *Trpv1* in *Trpm3* pri poskusnih miših samo ublažila, ne pa tudi odpravila refleksnih odzivov na škodljivo toploto, so pozornost usmerili še na tretji kanalček TRP, TRPA1, ki sta ga pred tem, leta 2004, neodvisno odkrila laboratorija Davida Juliusa in Ardema Patapoutiana kot receptorja za odziv na ostre kemične spoji-



Slika prikazuje odkritje proteina TRPV1 z uporabo presejalne raziskave vseh genov, ki se povečano, v obliki mRNA, izrazijo v čutilnih (senzoričnih) neuronih kot odziv na kapsaicin. Ko so prepise teh genov (mRNA) prepisali nazaj v njim ustrezajoče fragmente DNA (v tako imenovane komplementarne DNA, cDNA), in te vnesli v celice celične linije, ki se sicer ne odziva na kapsaicin, so na gojitveni podlagi našli kolonije celic, v katerih se je vzpostavila odzivnost na kapsaicin. To je utrla pot do razkritja TRPV1 in dodatnih TRP-receptorjev za zaznavanje toplote, ki skupaj kodirajo toplotni občutek. Prirejeno po: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2021/advanced-information/>.

ne v gorčičnem olju, hrenu, cimetu, česnu, nageljnovih žbicah in ingverju ter na druge kemikalije. Spoznanju, da sam prvo odkriti ionski kanalček TRPA1 lahko aktivirajo različne kemične snovi, pa tudi mraz in toplota, je sledila ugotovitev, da se način njegovega aktiviranja razlikuje med vrstami sesalcev. Vprašanje, kateri ionski kanalčki prispevajo k škodljivemu občutku toplote pri miših, je bilo razrešeno, ko je Voetsova skupina pokazala, da je to odvisno od triade ionskih kanalčkov, in sicer TRPV1, TRPM3 in TRPA1.

Odkritje TRPV1 je bil velik preboj, ki je pripeljal do razkritja dodatnih receptorjev za zaznavanje toplote. David Julius in Ardem Patapoutian sta neodvisno drug od drugega, s podobnim pristopom, kot je bila uporaba čilijeve spojine kapsaicin za odkritje TRPV1, uporabila kemično snov mentol za prepoznavanje TRPM8, receptorja, za katerega se je pokazalo, da ga aktivira mraz. Z nadaljnjimi raziskavami, pri katerih so uporabili gensko spremenjene poskusne miši, ki so jim predhodno dodali ali odstranili

domnevne kandidatne gene, so odkrili dodatne ionske kanalčke, povezane s TRPV1 in TRPM8, ki jih aktivira vrsta različnih temperatur. Juliusovo odkritje TRPV1 je bil velik korak naprej, ki nam je omogočil razumeti, kako lahko razlike v temperaturi povzročijo električne signale v živčnem sistemu.

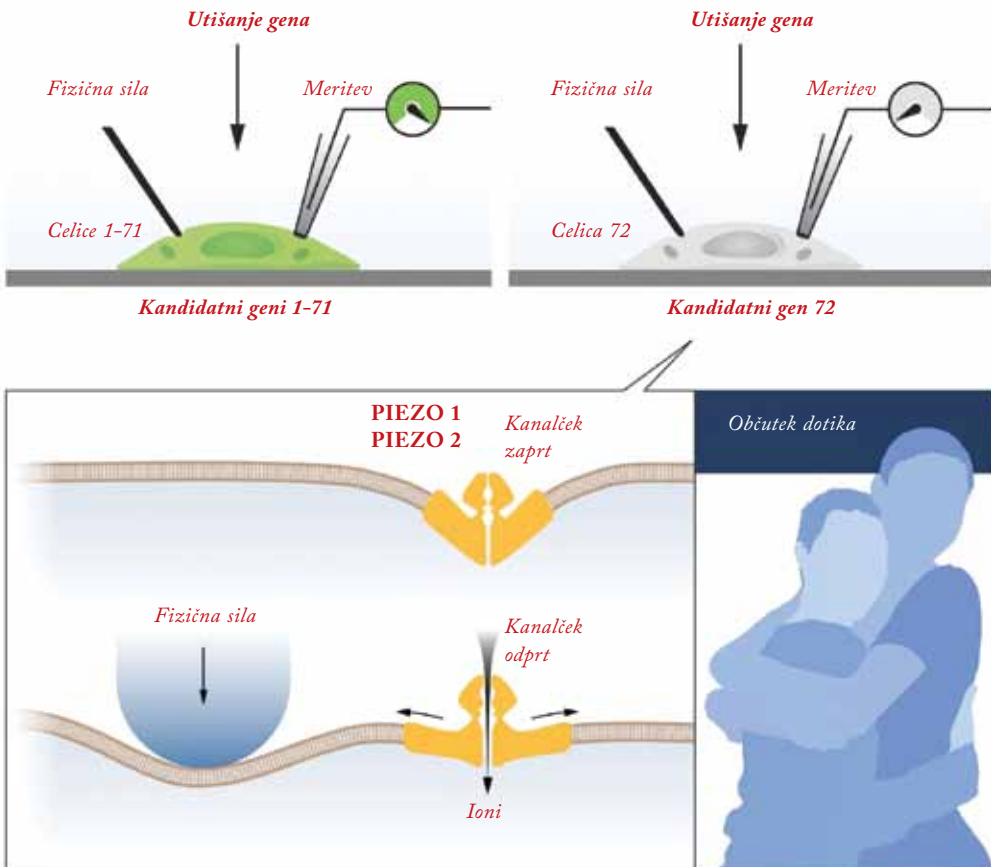
Poleg občutka za toploto ali mraz imamo tudi občutek za dotik

Medtem ko so razkrivali mehanizme za občutenje razlik v temperaturi, je ostajalo odprto vprašanje, kako se mehanski dražljaji pretvorijo v naše občutke za dotik in mehanski stres. Mehanski senzori v bakterijah so sicer že bili odkriti, vendar pa so mehanizmi, na katerih temelji občutek za dotik pri vretenčarjih, ostajali neznani. Problema se je lotil Ardem Patapoutian s Scrippsovega raziskovalnega inštituta na Medicinskem inštitutu Howarda Hughesa v La Yolli v Kaliforniji v Združenih državah Amerike in želel razkriti nepoznane receptorje, ki jih aktivirajo mehanski dražljaji. Najprej so našli celično linijo, ki je oddajala merljivi ele-

ktrični signal, ko so posamezne celice zbadali z mikropipeto. Predpostavljali so, da je receptor, aktiviran z mehansko silo, ionski kanalček. V naslednjem koraku so s podobnim pristopom, kot ga je uporabil David Julius pri odkrivanju gena za toplotno odzivni TRPV1, prepoznali 72 kandidatnih genov, ki bi lahko kodirali možne mehanskoodzivne receptorje. Gene so drugega za drugim inaktivirali (utišali) in preučevali mehansko občutljivost celic. Po napornem iskanju je Patapoutianu in njegovim sodelavcem uspelo prepoznati en sam gen, zaradi utišanja

katerega so celice postale neobčutljive za zbadanje z mikropipeto. Odkrili so nov in povsem neznan mehansko občutljiv ionski kanal, ki so ga po grški besedi za tlak (píesi) poimenovali PIEZO1. Zaradi podobnosti s PIEZO1 so nato odkrili še drug gen in ga imenovali PIEZO2. Nadalje so ugotovili, da čutilni nevroni izražajo visoke ravni PIEZO2. Nadaljnje študije so potrdile, da sta PIEZO1 in PIEZO2 ionska kanalčka, ki se neposredno aktivirata s pritiskom na celične membrane.

Slika prikazuje odkrivanje kanalčkov PIEZO z utišanjem 72 kandidatnih genov v celicah mehansko občutljive celične linije in iskanjem izgube občutljivosti za fizični pritisk. Utišali so gen za genom in šele kolonija celic z utišanim dvainsedemdesetim genom je pokazala, da je izguba tega gena povzročila neodzivnost celice na mehanski stres. To je tlakovalo pot do razkritja ionskega kanalčka PIEZO2 kot mehanoreceptorja za dotik in posledične občutke v čutilih, ki jih uporabljamo na primer pri objemu. Prirejeno po: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2021/advanced-information/>.



Proteini PIEZO so tudi senzorji mehanskih sprememb v notranjih telesnih organih

Patapoutian in sodelavci so dokazali, da se tako imenovani arterijski barorefleks, ki nenehno spremlja in vzdržuje krvni tlak, opira na proteina PIEZO1 in PIEZO2, ki sta v čutilnih nevronskih ganglijah. Barorefleks ali baroreceptorski refleks je eden od telesnih homeostatskih mehanizmov, ki pomaga vzdrževati krvni tlak na skoraj stalni ravni. Miši, ki so jim z utišanjem genov za PIEZO1 in PIEZO2 odvzeli oba proteina, so pokazale nestabilno povišanje krvnega tlaka, podoben pojav, kot ga kažejo ljudje z odpovedjo barorefleksa.

PIEZO2 je pomemben tudi v prebavnem traktu, kjer celice, občutljive za mehanski dražljaj, sproščajo hormone in druge signalne molekule kot odgovor na mehansko spodbudo želodčne vsebine. Ta protein je tudi mehanski senzor v urotelijskih celicah in čutilnih nevronih sečnega mehurja. Ljudje brez funkcionalnega proteina PIEZO2 imajo zato oslavljen nadzor sečnega mehurja.

Kot senzor mehanskih sil v površinskih celicah ožilja, rdečih krvnih celicah in večinskih celicah okostja pa ima pomembno vlogo protein PIEZO1. Zaznavanje strižnega stresa v omenjenih celicah je namreč pomembno za tvorbo krvnih žil med razvojem, za rast in obnovo krvnih žil v tkivih odraslih kot tudi za uravnavanje žilnega napona (tonusa), v rdečih krvničkah pa je protein vključen v vzdrževanje celične prostornine (volumna). Navzočnost proteina PIEZO1 je pomembna tudi v kostnih celicah, osteoblastih, kjer je eden od dejavnikov tvorbe kosti, odvisne od mehanske obremenitve.

Spremembe v genih za ionske kanalčke TRP in PIEZO se kažejo v številnih genetskih boleznih

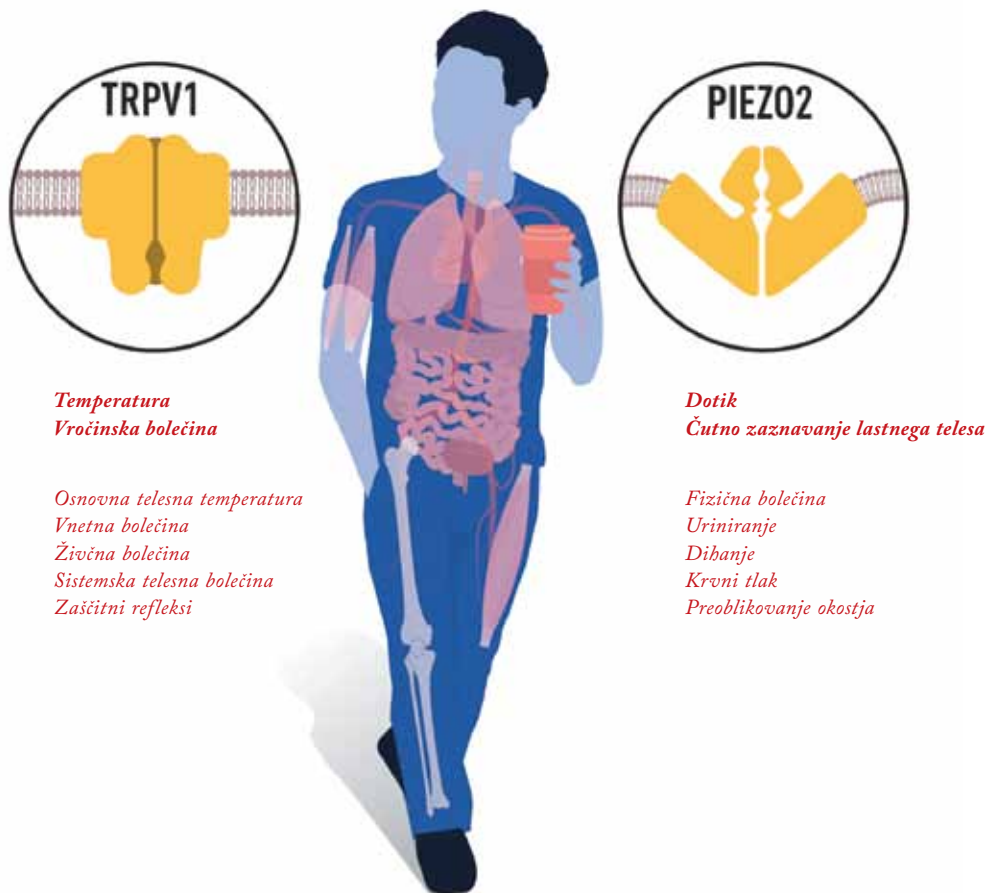
Študije na ljudeh z genetskimi mutacijami v ionskih kanalčkih TRP in PIEZO so omogočile vpogled v vlogo teh kanalčkov

pri zaznavanju temperaturnih sprememb, bolečine, dotika in različnih fizičnih stresov kot tudi pri občutku gibanja, sile in položaja telesa ter prevajanju teh signalov v ustrezni telesni odgovor.

Pri ljudeh obstaja več genetskih »TRP-kanalopatijskih« kot posledic genetskih sprememb ali različic genov za proteine TRPA1 in TRPV1. Kažejo se z epizodami izčrpavajoče bolečine v zgornjem delu telesa, ki jo sprožijo mraz, post in fizični stres, v nekaterih primerih pa tudi s paradoksalnim občutkom toplote, pomanjkanjem občutljivosti za hlad in spremenjeno občutljivostjo za pekoče kemične spojine.

Na zdravje ljudi lahko vplivajo tudi mutacije v genih za proteine PIEZO, ki v primeru spremenjenega proteina PIEZO2 močno vplivajo na občutek za dotik, tresljaje in čutno zaznavanje lastnega telesa (propriocepcijo). Propriocepcija, imenovana tudi kinestezija, je občutek gibanja, sile in položaja telesa in jo včasih opisujejo kot »šesti čut«. Mutacije gena za protein PIEZO2 se lahko kažejo z nepravilnim razvojem okostja, skupaj z oslavljenim čutnim zaznavanjem lastnega telesa in zmanjšanim občutkom za dotik. Posledica so lahko prirojene skrčitve v sklepih prstov na rokah in stopalih, ukrivljenost hrbtenice, izpahnenost kolkov, izguba nadzora položaja in gibanja telesa, težave pri hoji, izguba mišične mase in mišična oslabeledost. Pri nekaterih bolnikih se lahko pojavijo dihalna stiska in motnje pri uriniranju. Po drugi strani pa mutacije v genu proteina PIEZO1 poslabšajo integriteto in fiziološke funkcije rdečih krvničk kot tudi razvoj limfnega sistema.

Prelomna odkritja kanalčkov TRPV1, TRPM8 in PIEZO lanskimi Nobelovimi nagrajencev so nam omogočila razumeti, kako lahko toplota, mraz in mehanska sila sprožijo živčne impulze, ki nam omogočajo zaznavanje sveta okoli nas in prilagajanje nanj. Kanalčki TRP so osrednji za našo sposobnost zaznavanja toplote. Kanalček PIEZO2 nam omogoča občutek za dotik in



Glavna ionska kanalčka TRPV1 in PIEZO2 nas obdarujeta z občutkom temperature, toplote, bolečine, dotika ter gibanja, sile in položaja telesa. Številne dodatne fiziološke funkcije so odvisne od kombinacije še drugih temperaturno in mehansko občutljivih kanalčkov TRP in PIEZO. Prirjeno po: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2021/advanced-information/>.

sposobnost občutenja položaja in gibanja delov telesa. Kanalčki TRP in PIEZO pa lahko prispevajo k številnim dodatnim fiziološkim funkcijam, ki so povezane z zaznavanjem temperature ali mehanskih dražljajev. Intenzivne raziskave, ki izvirajo iz letošnjih Nobelovih nagrajenih odkritij, se osredotočajo na pojasnitev funkcij ugotovljenih receptorjev v različnih fizioloških procesih. Pridobljeno znanje uporabljajo pri razvoju zdravljenja številnih bolezni, med njimi tudi zdravljenja kronične bolečine.

Viri:

*Press release: The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2021. Nobel Prize Outreach AB 2022; <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2021/press-release/>.
Advanced information - Scientific background: Discoveries of receptors for temperature and touch. Nobel Prize Outreach AB 2022; <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2021/advanced-information/>.
Ion channel - From Wikipedia, the free encyclopedia; https://en.wikipedia.org/wiki/Ion_channel.*

Botanične novosti iz Govcev. Pripoved o rastlinah in ljudeh, ki so me pripeljali do Hacquetove medvejke

V spomin Dušanu Robiču, Vitomirju Mikuletiču in Iztoku Mlekužu

Igor Dakskobler

Čprav (rovtnarski) Tolminec, sem Govce prvič uzrl šele kot mlad gozdarski inženir. Moj profesor Dušan Robič (1933-2013), ki me je navdušil za fitocenologijo, me je povabil, da ga spremljam pri raziskavah gozdnega rastja na Idrijskem. Po končanem delu me je želel zapeljati v Tolmin, zato sva se preko Mrzle Rupe spustila v dolino Trebuše. Pogled na obsežna gozdnata in skalnata

strma do prepadna pobočja in ostenja pod Zelenim robom, Poldanovcem, Stanovim robom, Stadorjem in Kobilico vse do prevala Drnulk me je prevzel. Pomislil sem, tu je pa tako kot v Alpah. Prizor je primerljiv s pogledom na Loško steno nad Logom pod Mangartom s predelske ceste, ki so ga že pred stoletji opisovali prvi turistični obiskovalci naših gora.

Govci nad dolino Trebuše. Foto: Igor Dakskobler.



Na gozdove v Trebuši so me opozarjali moji takratni gozdarski kolegi v Tolminu, predvsem Iztok Mlekuž (1954-2015), pozneje Dani Oblak, in najbrž sem tja kakšen dan šel z njimi tudi na teren. O tej dolini in njenih posebnostih mi je navdušeno pravil moj takratni šef Vitomir Mikuletič (1925-2020). On je še v času, ko je po dolini peljal samo skromni kolovoz, nad Krtovšami našel Blagajev volčin (*Daphne blagayana*). To je bilo takrat najbolj severozahodno nahajališče naše znamenite rastline in o njem sta s Tonetom Wraberjem napisala članek za *Biološki vestnik*. Prav po Mikuletičevih napotkih sem že, ko sem presegel Kristusova leta (1993), v Trebuši prvič videl kranjski jeglič (*Primula carniolica*).

V strmine Govcev sem se podal tri leta kasneje, avgusta leta 1996. Zagotovo je na to vplival Rafko Terpin s svojimi članki v *Planinskem vestniku*, najbrž tudi zelo nazorni opis poti iz doline Trebuše na Poldanovec

Mihe Nagliča v časopisu *Delo*. Žirovskega filozofa in pisatelja je na to goro vodil prav Rafko. Moje zanimanje je najprej veljalo združbi črnega bora (*Pinus nigra*), ki v tem mogočnem ostenju porašča najbolj skrajna rastišča, dolomitne roglje, grebene in skoraj navpično skalovje. Ugotovili smo, da je po svoji vrstni sestavi bolj podobna jugovzhodnoalpskemu črnoborovju, ki se imenuje po malem jesenu (*Fraxino orni-Pinetum nigrae*), kot ilirskemu (severnodinarskemu) rdeče- in črnoborovju, ki se imenuje po trirobi košeničici (*Genisto januensis-Pinetum sylvestris*). Druga posebna gozdna združba Govcev, pogosto stična z združbo črnega bora, je bukov gozd z dlakavim slečem (*Rhododendro hirsuti-Fagetum*). Ta raste na podobno strmih, a vseeno manj skalnatih osojnih pobočjih z nekoliko globljimi tlemi. V tistih letih sva ga v dveh ločenih delih Slovenije popisovala in kot posebno združbo prepoznala dva, sam v Posočju in moj nekdanji profesor

Združba črnega bora in malega jesena v Govcih. Foto: Igor Dakskobler.





Združba buke in dlakavega sleča v Govcih. Foto: Igor Dakskobler.

in takratni kolega na Biološkem inštitutu ZRC SAZU Marko Accetto (1936-2017) predvsem na Kočevskem. V Govcih so me zanimala tudi združbe skalnih razpok, še posebej tiste, v katerih raste kranjski jeglič, melišča, kamnita travišča in ruševje.

Kdo so bili botanični pionirji v tem robnem delu Trnovskega gozda? Zagotovo so ta ostenja vsaj deloma poznali znameniti botaniki iz devetnajstega in začetka dvajsetega stoletja: Dionizij Stur, Muzio Tommasini, Franc Krašan, Eduard Pospichal in Julij Głowacki. Med prvo in drugo svetovno vojno jih je dejavno raziskoval Carlo Zirnich. Njihov botanični raziskovalec je tudi prof. Andrej Martinčič. Vzhodnemu delu Trnovskega gozda je pod mentorstvom prof. Ernesta Mayerja posvetil diplomsko nalogo in v njej obdelal tudi rastlinstvo Zelenega roba in Poldanovca. Terenske raziskave je opravil leta 1956 in 1957. Ob tem je zanimivo, da je, zdaj že v 86. letu starosti, pri raziskavah

Govcev še vedno dejaven. Nedavno mi je namreč iz nabirke iz njihovih skalnih razpok določil subarktično-subalpinsko mahovno vrsto *Cyrtomnium hymenophylloides*, ki je razširjena predvsem v severnejših območjih Evrope, Azije in Severne Amerike.

Poznavanje naštetih in še drugih botanikov ter naša spoznanja smo vključili v knjigo *Natura 2000 v Sloveniji* (Čušin in sod., 2004). V njej smo napisali, da v Govcih uspeva kar pet evropsko varstveno pomembnih vrst: kranjski jeglič (podatki o njegovih nahajališčih na Poldanovcu in Zelenem robu v Tommasinijevem herbariju v Trstu so iz let 1834 in 1837), hladnikovka (*Hladnikia pastinacifolia*) – podatek za Zeleni rob je iz leta 1878 (Joseph Claudius Pittoni), na Poldanovcu ga je prvi našel Andrej Martinčič, Zoisova zvončica (*Campanula zoysi*) – pod Poldanovcem jo je za svoj herbarij Carlo Zirnich nabral avgusta leta 1941, julijska orlica (*Aquilegia iulia*) – pod tem imenom jo



Govci po hudem žledu, poleti leta 2014. Foto: Igor Dakskobler.

poznamo šele zadnje desetletje, glej *Proteus* 75 (7), in Scopolijev repnjak (*Arabis scopoliiana*) – na Stanovem robu smo ga našli v začetku enaindvajsetega stoletja. Govci so gozdni rezervat in varstveno območje *Nature 2000* za vse našete vrste. Njihov manjši del je na ozemlju krajinskega parka Zgornja Idrija.

Februarja leta 2014 je gozdno rastje Govcev močno poškodoval žled. Pogled na ostenja Zelenega roba in Poldanovca je bil strašljiv: polomljena ali izravana drevesa, pobočni zdrsi, prizadeti so bili tako bukovi kot črnoborovi sestoji. Poškodovane ali s podrtim drevjem zasute so bile redke steze in prehodi iz doline Trebuše na rob planote. Več let sem se jim izogibal in se posvetil rastlinstvu od žleda manj poškodovanih grap na desnem bregu Trebušice, predvsem Gačnika, Makčeve in Srne grape, na levem bregu te reke pa le rastlinstvu Kozjijske grape pod Vršami (Govcem podobno, a nekoliko

nižje strmo skalnato pobočje, ki se nadaljuje do Skopice, katere severovzhodna pobočja se spuščajo že v dolino Idrije). Ob njenem raziskovanju sem naletel na nenavadna rastišča podgorskih bukovih gozdov, na katera sta me že davno opozorila Iztok Mlekuž in Dani Oblak, a si nisem nikoli vzel čas, da bi jih primerno popisal. Ti gozdovi rastejo namreč na mešani geološki podlagi. Čeprav v Trebuši prevladuje dolomit, je pod ostnjem Govcev vsaj stometrski višinski pas, v katerem so dolomitu primešani glinavci, peščenjaki, laporovci in tufiti.

Geolog prof. Jože Čar mi zna te plasti nazorno in podrobno razložiti. Sam zelo poenostavljam, a v rastju se to mešanje očitno kaže, ker v istem gozdnem sestoji najdemo vrste, značilne za dolomitno podlago, na primer tevje (*Hacquetia epipactis*) in črni teloh (*Helleborus niger*), a tudi kisloljubne vrste, na primer rebrenjačo (*Blechnum spicant*), gorsko krpačo (*Thelypteris limbosperma*), bu-



Karbonatno-silikatne geološke plasti v Gorenji Trebuši. Foto: Igor Dakskobler.

kovčico (*Phegopteris connectilis*) in štajerski pljučnik (*Pulmonaria stiriaca*). Je to še bukov gozd s tevjem (*Hacquetio-Fagetum*)?

Na površju se taka geološka podlaga kaže v položnejših pomolih z raztresenimi domačijami nekaj sto metrov nad dnom doline. Izhodišče za popisovanje teh bukovih sestojev mi je bila zgornja trebuška cesta, ki je speljana nad levim bregom doline, prav blizu stika dolomita in mešanih plasti z glinavcem. Enkrat sem avto pustil blizu obsežnega peskokopa pod dolomitno špico Šprajnh (937 metrov) južno od zelo opaznega Stadorja (1.030 metrov). Zazrl sem se v spodnja ostenja te špice (vršna sem poznal in jih obiskoval iz vasi Lazna). Zdelo se mi je, da bi bila dosegljiva od spodaj, torej sem naredil izjemo in se podal v čisto dolomitno območje nad cesto. Prav kmalu, nadmorska

višina je bila še manj kot 500 metrov, sem v podrasti bukovega gozda (*Ostryo-Fagetum*) opazil Blagajev volčlin. Med vzpenjanjem navzgor na razmeroma široki pomol (približno 680 metrov nadmorske višine) kakih 400 metrov vzhodno od vrha Šprajnh sem ga popisal še na precej krajih, predvsem v združbi bukve in dlakavega sleča, a tudi v sestojih črnega gabra in malega jesena (*Fraxino orni-Ostryetum*) in v resavi, združbi spomladanske rese (*Erica carnea*).

Blagajev volčlin v Trebuši po več kot petdesetih letih od Mikuletičeve najdbe v Krtovsah ni več taka redkost. Poznamo ga tudi na pobočjih nad Gačnikom (Dakskobler in sod., 2021), idrijski botaničarki Anka Rudolf in Tinka Gantar pa sta ga pred leti našli na strmih pobočjih pod Skopico, že nad dolino Idrijce.



Stador in Šprajnh nad dolino Trebuše. Foto: Igor Dakskobler.

Blagajev volčin pod Šprajnhom. Foto: Igor Dakskobler.





Poldanovec in grape pod njim, v spodnjem delu slike med Špikovo in Orlejško grapo je nabajališče Hacquetove medvejke. Foto: Igor Dakskobler.

Žleb pod Poldanovcem, nad nabajališčem Hacquetove medvejke. Foto: Igor Dakskobler.





Rastišče Hacquetove medvejke. Foto: Igor Dakskobler.

Nahajališče pod Šprajnhom je najbrž prvo zanesljivo v Govcih, le da nisem njegov prvi najditelj. Preveril sem namreč svoje starejše zapiske o tej rastlini in v njih našel podatek: pobočja Stadorja nad Renkom, Iztok Mlekuž, in pripis – tam je najbrž *Daphne alpina*! Mlekuževo najdbo pod Stadorjem sem sicer v enem od svojih člankov omenil, s pripombo, da je nisem preveril. Ko sem pod Stador oziroma nad domačijo Renko šel, Blagajevega volčina tam nisem našel, pač pa le alpski oziroma Scopolijev volčin (*Daphne alpina* subsp. *scopoliana*). Domneval sem, da ju je morda Iztok zamenjal. Toda tudi zdaj odkrito nahajališče je v širšem smislu pod Stadorjem in nad domačijo Renko, le kakih pol kilometra zračne črte bolj južno. Torej sem se motil jaz in ne Iztok, ker sem takrat pregledal le del območja nad domačijo

Renko, ne pa celote. Žal pokojnemu prijatelju njegove najdbe ne morem več potrditi, a zagotovo ga lahko napišem kot najditelja Blagajevega volčina v Govcih.

Ob pregledovanju zapiskov o tej znameniti rastlini sem našel še naslednjo opombo: Pod Zelenim robom nad Trebušo, že v zasebnem gozdu (vir Jože Papež oziroma neimenovani lovec). Moja pozornost se je preusmerila od podgorskih bukovih gozdov na mešani podlagi v iskanje Blagajevega volčina pod ostanjem med Poldanovcem in Zelenim robom. Naslednji teren sem naredil tako, da sem avto pustil pri sotočju Trebušice in Jelenka in se podal peš ob levem bregu reke navzgor mimo Podrteje in potem v pobočja med Špikovo in Orlejško grapo, dve večji grapi severovzhodno pod Poldanovcem. Že precej nizko (450 metrov), nad desnim bre-



Hacquetova medvejka v grapi pod Poldanovcem. Foto: Igor Dakskobler.

gom Špikove grape, sem v združbi bukve in dlakavega sleča, v kateri rastejo tudi smreka, črni bor, bodika in tisa, opazil mlade poganjke širokolistne lobodike (*Ruscus hypoglossum*). Prav tako kot Blagajev volčin je značilnica ilirskih (jugovzhodnoalpskih-severnodinarskih) bukovih gozdov in novost v rastlinstvu Govcev. Nad levim bregom Trebušice sem jo našel tudi nad Kozijsko grapo zahodno od domačije Dolc. Višje sem našel prehode v zelo strma, od žleda močno poškodovana pobočja z vrzelastimi sestoji združbe bukve in dlakavega sleča in tudi na ozke dolomitne roglje z vrzelastim naravnim črnborovjem. Uspelo mi je torej pregledati del spodnjega pasu ostenja Govcev, ki sem ga do zdaj opazoval le z desnega brega Trebušice. Ob tem sem iskal tudi morebitna rastišča kranjskega jegliča in zašel v sprva

neizrazito grapo vzhodno od Špikove grape, ki pa višje, na nadmorski višini od približno 570 metrov do 600 metrov, postane zelo strm, skalnat, s podrtim drevjem deloma zasut in zame neprehodni žleb. Tu sem se ustavil in začel popisovati skalovje na njegovem desnem bregu.

Na njem sem, v skoraj navpični, proti severozahodu obrnjeni steni na površini le nekaj kvadratnih metrov, opazil nekaj deset grmičev polegla medvejke (*Spiraea decumbens*). To je jugovzhodnoalpski endemit z znanimi nahajališči le v severovzhodni Italiji in severozahodni Sloveniji. V severozahodni Sloveniji jo je prvi raziskoval Tone Wraber v šestdesetih letih dvajsetega stoletja. Vsa nahajališča je našel v Breginjskem kotu. Za njim jih je prav tam pregledoval Boško Čušin, sam pa sem jo našel tudi nad dolino

Učje, na severni strani Stolovega grebena. Pri predavanjih o gozdnih združbah Slovenije sem spoznal študenta in posoškega rojaka Marka Pavlina, domačina iz Borjane in on si je za temo diplomske naloge izbral medvejke (poleglo in brestovolistno). Mentor mu je bil prof. Robert Brus, mene sta povabila za somentorja. Marko je našel nova

nahajališča polegla medvejke, do zdaj najbolj jugozahodno v njenem območju razširjenosti nad desnim bregom Nadiže pri Kozji peči pod Mijo in nedavno tudi najbolj vzhodno nahajališče v Konjski dolini jugozahodno pod Breginjskim Stolom.

Polegla medvejka ima dve podvrsti, tipsko (subsp. *decumbens*), ki ima gole liste, cvetne

Polegla medvejka iz Breginjskega kota (nabral Branko Vreš) (levo) in Hacquetova medvejka iz Govcev (desno).

Foto: Branko Vreš.



peclje in cvetišče, in v Sloveniji smo določali le njo, ter dlakavo (subsp. *tomentosa*, sinonim je *Spiraea hacquetii*), ki ima dlakave liste, cvetne peclje in cvetišče. Ta druga je razširjena nekoliko bolj zahodno kot prva. Do zdaj znana nahajališča so bila v italijanskih provincah Udine (Videm/Viden) in Pordenone (Furlanija) ter Belluno in Treviso (dežela Veneto/Benečija). V Furlaniji jo poznajo v Karnijskih Alpah in zahodnih Julijskih Alpah. Novejše podatke o razširjenosti obeh podvrst v severovzhodni Italiji mi je prijazno posredoval prof. Fabrizio Martini iz Trsta.

Z roko mi je uspelo seči do prvih grmičev v steni in za herbarij sem nabral primerek z že plodečim socvetjem. Doma sem ga pogledal pod lupo in listi, cvetni peclji in cvetišče so očitno dlakavi, torej v Govcih raste dlakava podvrsta, Hacquetova medvejka (*Spiraea decumbens* subsp. *tomentosa*). To je za zdaj edino njeno nahajališče zunaj Alp in je torej novost ne samo za rastlinstvo Govcev, Trnovskega gozda in Slovenije, temveč tudi za rastlinstvo Dinarskega gorstva.

V naslednjih terenih sem poskušal pregledati še nekaj grap v grebenu med Poldanovcem in Zelenim robom, a neuspešno. Našel nisem ne Blagajevega volčina ne novih nahajališč poleg medvejke. Toda Govci so vsi prepredeni z divjimi grapami. Pregledoval sem jih v glavnem le v bližini lovskih ali gozdarskih stez, le nekatere, tako kot to med Špikovo in Orlejško grapo, tudi v brezpotju. Torej majhna skupina tega endemita skoraj zagotovo ni edina v tem ostenju. Poiskali in verjetno tudi našli jo bodo mlajši in plezalsko spretnejši botaniki od mene. V za zdaj neimenovani grapi (lahko bi jo imenoval Ličerjeva grapa po gozdarskemu kolegu Francu Ličerju, domačinu, ki mi je sicer povedal precej toponimov v Govcih) sem Hacquetovo medvejko popisal v endemični združbi kranjskega jegliča in Charmeilovega repuša (*Phyteumato columnae-Primuletum carniolica*). V neposredni bližini je rasel še en endemit Jugovzhodnih Alp in severne-

ga dela Dinarskega gorstva, julijska orlica. Ne tako daleč, približno 500 metrov višje v ostenju, so nahajališča Zoisove zvončice. Našteto potrjuje spoznanje večine botanikov, ki smo tu kdaj raziskovali, da je rastje v Govcih očitno še precej alpsko. Kljub temu pa vrste, kot so Scopolijev repnjak, hladnikovka, travnolistna vrčica (*Edraianthus graminifolius*), deloma tudi Blagajev volčin in širokolistna lobodika, vseeno kažejo, da imajo v njih svoj prostor tudi bolj dinarsko razširjene vrste.

Moj prijatelj Brane Anderle bo ob tem dolgem pisanju gotovo nezadovoljen. »Kako da pišeš tako dolge klobase, saj vse, kar je v tvoji zgodbi zanimivega, lahko poveš v nekaj odstavkih.« Ima čisto prav, toda če ... , če ne bi bilo Dušana Robiča, Vitomirja Mikuletiča, Iztoka Mlekuža in še mnogih drugih, ki so vstopili v mojo botanično zgodbo, tudi tistih nekaj odstavkov nikoli ne bi mogel napisati.

Literatura:

- Čušin, B., Babij, V., Bačič, T., Dakskobler, I., Frajman, B., Jogan, N., Kaligarič, M., Praprotnik, N., Seliškar, A., Skoberne, P., Surina, B., Škornik, S., Vreš, B., 2004: *Natura 2000 v Sloveniji, Rastline*. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU, 172 str.
- Dakskobler, I., 2022: *Spiraea decumbens Koch subsp. tomentosa (Poech) Dostál, novelty for the flora of Slovenia and the Dinaric Alps*. *Hacquetia*, DOI: 10.2478/hacq-2022-0003.
- Dakskobler, I., Čar, J., Rudolf, A., Terpin, R., Vreš, B., 2021: *Rastje in rastlinstvo povodja Gačnika na Vojskem in v Trebuši - prispevek za njegovo naravovarstveno vrednotenje*. *Folia biologica et geologica*, 62 (1): 201–221.
- Dakskobler, I., Vončina, A., Gantar, T., 2011: *Rastišča in združbene razmere vrste Daphne blagayana v povodju Idrije*. *Hladnikia*, 28: 3–16.
- Pavlin, M., Brus, R., Dakskobler, I., 2015: *Localities and sites of southeastern-alpine endemic Spiraea decumbens Koch in Breginjski kot (northwestern Slovenia)*. *Acta Silvae et Ligni*, 107: 1–14.

V deželi svete bosvelije

Marina Dermastia

Fotografije: Marina Dermastia in Tom Turk

In tudi če pridejo pevci in plesalci in piskachi, kupite njihova darila. Saj so tudi oni nabiralci sadja in kadila in kar prinesejo, čeprav je narejeno iz sanj, so oblačila in brana za vašo dušo.

Kahlil Gibran (1883-1931), libanonsko-ameriški pisatelj in pesnik (prevedla Marina Dermastia).



Skrajni jugozahodni del sultanata Oman tik ob jemski meji imenujejo »dežela kadila«. Čeprav je kadilo vsaka organska snov, ki pri sežigu oddaja aromatični dim, je nezgrešljivi značilni vonj »deže kadila« povezan s svetim kadilom krščanskega bogoslužja, pripravljenim iz rastline z latinskim imenom *Boswellia sacra*.



Življenje v Dhofarju oblikuje *khareef*

»Dežela kadila« je uradno gubernorat Dhofar. Z južne strani ga obdaja Indijski ocean, proti severu, vzhodu in zahodu pa ga pred puščavo zapira gorska veriga Quara, ki se dviga do 1.200 metrov visoko.

Če deželo obiščete pozimi, lahko opazite le še eno čudovito puščavo s številnimi navpičnimi klifi in globokimi soteskami. Vse pa se spremeni v času od julija do septembra, ko jo doseže jugozahodni monsun, ki mu tukaj rečejo *khareef*. Oblaki, ki jih žene veter z oceana, se srečajo z vetrom s severa in vzhoda. Ujeti v dhofarsko kotlino vanjo spustijo monsunki dež, ki deželo za tri poletne mesece spremeni v zeleno oazo. V tem času se otravijo livade in odženejo divje smokve, oljke, tamarinde in akacije. Zadiši jasmin in cvetove odprejo številne divje cvetlice. Kljub časovno omejenemu monsunu pa je v Dhofarju precej več stalne vode kot drugod v Omanu. V številnih soteskah, ki jim rečejo *wadi* in ki se zažirajo v visoke puščavske sklade, je polno kristalno zelenih tolmunov, obraščenih z divjim rastjem, s strmih skal pa se spuščajo slapovi. Ti se ob deževju spremenijo v zastore vode, ki pada s strmih skal. Zaradi vode v Dhofarju je bilo območje naseljeno že davno in že zgodaj so naseljenci izdelali tehnološko zapleteni namakalni sistem za svoja polja.

Sedem dromedarjev na vsakega prebivalca Dhofarja

Dhofar je eno od redkih območij, kjer živi kritično ogroženi arabski leopard. V gorah živijo tudi hijene, lisice in arabska divja mačka. Številne so tudi ptice. Nekatere so tu stalne prebivalke, številne pa selivke in v Dhofarju le gnezdiijo. Veliko ptic je v preletu na migracijskih poteh med Palearktiko, Afriko in Indijo. Leta 2013 so v Dhofarju odkrili omansko sovo (*Strix butleri*), ki naj bi bila edina endemična vrsta ptic v Omanu. V Omanu živijo le tri vrste dvoživk in ena od njih je dhofarska krastača.

Vse omenjene živali, z izjemo nekaterih



Dhofar z juga zapira Indijski ocean (na sliki zgoraj obala Fazayah), s severa pa gore Quara (na sliki spodaj soteska Ash Shurwaymiyyah).



Zgoraj: Oaza v soteski Wadi Ash Shurwaymiyyah, ki se širi v notranjost puščave iz slikovite ribiške vasice.

Spodaj: Razširjeno območje Wadi Darbata je kmetijsko območje. Reka, ki ga napaja, se najprej razširi v kaskadna jezercja in nato v obliki slapa pade v globino.



Zgoraj: *Veliki* (*Phoenicopterus roseus*) in *mali* (*Phoeniconaias minor*) plamenci so pogosti prebivalci lagun.
Spodaj: *Afriški rajski muhar* (*Terpsiphone viridis*) je selivka, ki gnezdi južno od Sahare, prezimuje pa tudi v Omanu.



Koliko časa bo kamelja pastorala še zdržala pred pritiski industrializacije in urbanizacije Dhofarja?

ptic, naključni popotnik zelo težko opazi, a ene vrste, ki v Dhofarju živi v desetisočih, ne more spregledati. To je enogrba arabska kamela ali dromedar (*Camelus dromedarius*). Čeprav dromedarje vidiš povsod, kako se prosto pasejo, te to ne sme zavesti. V naravi ni divjih dromedarjev že 2.000 let. Domnevajo, da so jih na Arabskem polotoku udomačili pred približno 4.000 leti in jih še danes gojijo za meso, mleko in tudi za ježo. Da so sestavni del omanske kulture, pričajo številne skalne poslikave v Dhofarju, ki prikazujejo njihov pomen pri tradicionalnem nomadskem življenju, trgovanju, prevozu in v vsakdanjem življenju.

Kljub še vedno ogromnim nenaseljenim območjem Dhofarja pa lahko slutiš proces izjemnega razvoja. Dobesedno iz nič v puščavi rastejo nova naselja in omanska vlada želi odstraniti dromedarske črede in narediti prostor gradnji. Temu se domačini upirajo, kar je v letu 2021 vodilo do aretacije okolj-

skega aktivista in specialista za desalinacijo (razsoljevanje) dr. Ahmeda Issa Qatana. Kot je poročal spletni časopis *Middle East Eye*, so proti aretaciji protestirali številni, zaradi protestov pa so zaprli omanskega pesnika Salema Ali al-Maashanija in umetnika Amra Mussallama. Ker se dromedarji prosto sprehajajo dobesedno povsod, se sodobnemu svetu ne morejo več izogniti in številni končajo tudi v prometnih nesrečah na avtocesti.

Nesporni gospodar puščave

Dromedar je najvišja izmed treh vrst kamel v rodu *Camelus*. Ima dolg in ukrivljen vrat ter grbo, visoko najmanj dvajset centimetrov. Sestavlja jo fibrozno tkivo in je porasla z dolgo dlako. Dromedarji so prave puščavske živali s številnimi prilagoditvami. Te jim pomagajo varčevati z vodo in uravnavati telesno temperaturo, ki jo aktivno spreminjajo čez dan od 31 do 41,7 stopinje Celzija. Z urinom izločijo minimalno vode. Kljub



Goste obrvi in dvoredne trepalnice preprečujejo, da bi dromedarju v oči prišel puščavski pesek, varujejo pa jih tudi pred sončnim sevanjem. Dromedar lahko aktivno zapre nozdrvi, kar mu prav tako pomaga pred izgubljanjem vode.



Dromedarji se hranijo z listjem in trnastim puščavskim rastjem. Če paše ne najdejo, jedo celo ribe in kosti ter pijejo slano brakično vodo.



Pri iskanju paše se dromedarji podajo tudi čez plitve lagune na bližnje otoke.



Skupaj s sorodnimi vrstami v družini Camelidae so dromedarji edini kopitarji, ki se pariyo v sedečem položaju.

Samica za mladiča skrbi do pet let.





Skalnata pobočja nad Dhojarjem so naravna rastišča svete bosvelije.

prilagoditvam lahko kot edini sesalec brez poškodb izgubijo več kot 30 odstotkov vode. Pri zunanjih temperaturah od 30 do 40 stopinj Celzija vodo potrebujejo le na vsakih deset do petnajst dni. Rehidrirajo se zelo hitro, saj lahko spijejo od deset do dvajset litrov vode na minuto. V grbi je shranjenih do 36 kilogramov maščobe. Z njihovo presnovo je povezano shranjevanje hrane in vode. Grba jim pomaga tudi razporejati toploto po telesu. Dromedarji spolno dozoriijo med tretjim in petim letom. Parijo se enkrat letno. Samica povrže enega mladiča, za katerega skrbi tri do pet let.



Mladi lističi so porasli s finimi dlavicami, dišeči cvetovi pa privabljajo številne in raznolike žuželke oprasevalce.



Cvetoča bosvelija.



Plodovi svete bosvelije so glavice.

Revna omanska flora je v glavnem omejena na Dhofar

Na južnih pobočjih dhofarskih gora je bilo leta 1989 še 53.000 hektarov gozda, a v letu 2020 jih je zaradi izsekavanja in sledenče gradnje ostalo le še 10.000. V gozdovih uspeva 750 vrst rastlin, kar predstavlja več kot 75 odstotkov vse omanske flore. Za razliko od severnih omanskih puščav, kjer v oazah prevladujejo datljeve palme, v Dhofarju uspevajo kokosove.

Dom svete bosvelije

Obladne gmote v času *khareefa* ostajajo uje-te na južni strani dhofarskih gora in tako severna pobočja ostajajo suha in obsijana s soncem. In prav ta območja so naravna rastišča najslavnejše omanske rastline – svete bosvelije (*Boswellia sacra*).

Boswellia sacra je manjše listopadno drevo v družini Burseraceae, visoko od dva do osem metrov. Pogosto je deblo metlasto razraslo. Lubje ima papirnato strukturo in se z lahkoto lupi. Listi so sestavljeni iz lihe-

ga števila drobnih lističev, ki so nasprotno nameščeni. Novi listi so prekriti s finimi dlačnicami. Cvetovi so drobni in rumenobebe barve; plodovi so centimeter dolge glavice. Bosvelija uspeva na apnenčastih nabrežinah in strmih pobočjih do 1.200 metrov nadmorske višine, na katerih se lahko razvijejo tudi nekakšne oporne odebeltive debla, ki ji pomagajo vzdržati na skalni strmini.

Dragocena smola

Drevo je vir smole, ki je cenjena predvsem kot kadilo. Angleški izraz za to smolo je *frankincense* in izvira iz stare francoske besede *franc encense*, ki je pomenila »čisto kadilo« ali dobesedno »brezplačna razsvetljava«. Omanci o drevesu pravijo, da »iz njegovih vej teče tekočina in ko slišijo njeno ime, v njeno čast začne biti na milijone src«. Začetke trgovanja s kadihom lahko sledimo že tisoče let v preteklost. Že takrat so od te trgovine živela omanska pristanišča in mesta. Po eni od razlag naj bi celo ime sul-tanata Oman izviralo iz arabske besede *aa-*



Ostanki starodavne jadrnice dhow v Khor Rori – v ustju reke, ki priteče iz Wadi Darbata. Na območju so ostanki starodavne mestne trdnjave Sumburan, ki je v času od 3. stoletja pred našim štetjem do 5. stoletja našega štetja branila vhod v laguno in bila pomemben člen pri trgovanju s kadilom. Laguna je pomembno paritveno območje številnih ptic. Khor Rori je del Unescove svetovne dediščine.



Tisočletna zgodovina pridelave kadila in trgovanja z njim je prikazana v Muzeju dežele kadila v glavnem mestu Dbofarja Salalahu.

men ali *amoun*, kar naj bi pomenilo ljudje, ki za razliko od beduinov živijo v naselju. Trgovanje s kadilom je bil temelj za kulturno izmenjavo med starodavnimi pristanišči v Dhofarju in Mezopotamijo, starodavnim Egiptom, antično Grčijo in Rimskim imperijem, kot tudi Indijo in Kitajsko. Trgovske poti so vodile po kopenski poti s karavanami najprej oslov in kasneje kamel ali po morju s tradicionalnimi jadrnicami *dhow* s trikotnimi jadri. Kljub tisočletni prisotnosti

na evropskih tleh pa so bili v Evropi do tridesetih let 19. stoletja prepričani, da je kadilo smola grmov iz rodu *Juniperus*.

Drevo začne smolo izdelovati, ko je staro od osem do deset let. Najboljše kadilo je iz smole, ki jo ročno zberejo med aprilom in septembrom. Smolo pridobivajo tako, da v deblo ali veje z miniaturno koso, *manqaf*, naredijo plitko zarezo. Po prvem rezu, *taw qii*, začne mlečno bela smola mezeti na površino drevesa in se na zraku hitro strdi. Na

Kakovost kadila je odvisna od rastišnih in podnebnih razmer, različne vrste imajo različno barvo in vonj.



drevesu jo pustijo približno dva tedna. Takrat naredijo drugi rez ali *belo kadilo*. Smola v stiku z zrakom koagulira v kepice, ki jih nato ročno pobirajo. Smolo najboljše kakovosti začnejo zbirati dva tedna po drugem rezu. Ponekod kasneje naredijo še tretji rez in pridobivajo slabše, rjavo kadilo. Z enega drevesa na leto zberejo od tri do štiri kilograme smole, v celotnem Dhofarju pa do 7.000 ton.

Kakovost smole je zelo odvisna od razmer na rastišču. Na ozkem območju Dhofarja, kjer se stikajo vlažna južna pobočja gora s suhimi severnimi, je smola najboljša in koagulira v velike bisernate skupke. Imenujejo se *Al-Hojari* ali lahke solze. Ta smola je bele ali limonasto bele barve z različnimi odtenki zelene. Vonj *Al-Hojarija* ima nežno citrusno aromo s pridihom vonja lesa. V mesecih po *kbareefu* zbirajo *Annajdi*, na začetku deževne dobe zbirajo *Ashazri*, smolo najslabše kakovosti, *Asha'bi*, pa zbirajo v hladnih mesecih leta z dreves na obali.

Zdravilne učinkovine kadila

Najpogostejše spojine, ki so poleg smole, ki je je v kadilu šest odstotkov, so še sladkorni gumi (od 30 do 60 odstotkov), 3-acetil- β -bosvelična kislina, α -bosvelična kislina, incensol acetat in ciklični monoterpen α -felandren. Komplementarni učinek teh snovi naj bi pozitivno učinkoval na astmo, revmatidni artritis, vnetja prebavil, osteoartritis in multiplo sklerozo. Smola naj bi učinkovala

tudi protibakterijsko, protiglivno in aflatoksigeno. Bila naj bi tudi potencialno učinkovit biopreservativ. Novejše raziskave na miših kažejo, da α -felandren deluje protibolečinsko, spodbuja proliferacijo makrofagov in ima učinke na izražanje genov, povezanih s popravili DNA in celičnim ciklom, ter apoptozo rakavih celic.

Kadilo, pridobljeno iz smole svete bosvelije, je najbolj cenjeno, vendar pa ga pridobivajo tudi iz drugih drevesnih vrst iz rodu *Boswellia*. Prav vse vrste rodu so ogrožene in deset jih je na Rdečem seznamu ogroženih vrst. Drevesa ogrožajo čezmerna paša koz in kamel, požari in preveliko zbiranje smole.

Viri:

Ali Tigani ElMabi, 2015: *Camels in Rock Art Scenes in Dhofar*. *Journal of Arts & Social Sciences*. 10.24200/jass.vol6iss1pp101-114.


Ali Tigani ElMabi, 2011: *Old Ways in a Changing Space: The Issue of Camel Pastoralism in Dhofar*. 10.24200/jams.vol16iss0pp51-64.

Di Stefano, V., Schillaci, D., Cusimano, M. G., Rishan, M., Rashan, L., 2020: *In Vitro Antimicrobial Activity of Frankincense Oils from Boswellia sacra Grown in Different Locations of the Dhofar Region (Oman)*. *Antibiotics*, 9 (4): 195.

Plants of The World Online. *Plants of the World Online | Kew Science*.

Saifeldin A. F. El-Nagerabi, Abdulkadir E. Elshafie, Suleiman S. AlKhanjari, Saif N. Al-Babry, Mohamed R. Elamin, 2013: *Biological activities of Boswellia sacra extracts on the growth and aflatoxins secretion of two aflatoxigenic species of Aspergillus species*. *Food Control*, 34: 763-769.

PROTEUS

letnik 84  mesečnik za poljudno naravoslovje
www.proteus.si



Letno kazalo**Stvarno kazalo**

Članki

Andreja Stušek: **Kaj pojmuje kot altruizem?** (Vedénjska ekologija.) 6

Igor Dakskobler: **Dve botanični zanimivosti iz južnih Julijskih Alp. Sinu Vidu v spomin.** (Botanika.) 14

Lovrenc Fortuna: **V iskanju severnega sija.** (Fizika.) 23

Lidija Kocbek Šaherl, Kristijan Skok: **Imaš dolg jezik?** (Medicina.) 31

Andreja Žgajnar Gotvajn, Igor Boševski:

Sodobni postopki odstranjevanja mikroonesnaževal iz odpadne vode. (Kemija.) 39

Igor Dakskobler, Daniel Rojšek, Elvica Velikonja: **Nahajališča hladnikovke (*Hladnikia***

***pastinacifolia*) na robu njenega območja razširjenosti.** (Botanika.) 54

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

Kristijan Skok, Lidija Kocbek Šaherl: **O ušesu in sluhu.** (Medicina.) 78

Aljaž Gaber, Uroš Prešern, Špela Konjar, Miha Pavšič: **Vloga proteinov na površini rakavih celic pri odkrivanju in zdravljenju rakavih obolenj.** (Medicina.) 102

Lidija Kocbek Šaherl, Kristijan Skok: **»Imaš dober nos.«** (Medicina.) 111

Brane Anderle, Branko Zupan, Igor Dakskobler: **Jesenček (*Dictamnus albus*), novost za floro Bohinja in Julijskih Alp.** (Botanika.) 121

Mirjan Žorž, Franc Stare: **Prva najdba japonskih dvojčkov kremenca v Sloveniji (prvi del).** (Kristalografija.) 127

Simona Kaligarič: **Vabljeni v Haloze.** 150

Jernej Golc, Darinka Fakin, županja občine Majšperk: **Haloze.** 154

Sonja Golc, Jernej Golc: **Naravna in kulturna dediščina kot razvojna priložnost Haloz.** 156

Igor Žiberna: **Naravnogeografske značilnosti Haloz.** 164

Igor Žiberna: **Raba tal v Halozah.** 172

Mirjan Žorž, Franc Golob, Viljem Podgoršek, Matija Križnar, Mojca Bedjanič, Miha Jeršek:

Geološke, paleontološke in mineraloške značilnosti Haloz. 178

Sonja Škornik: **Haloška polsuha travišča.** 210

Igor Paušič: **Kukavičevke in druge botanične posebnosti Haloz.** 218

Mateja Cojzer: **Gozdovi Haloz in značilnosti zaraščanja v očeh gozdarja.** 235

Samo Jenčič, Klemen Kamenik, Andreja Senegačnik: **Drevesna dediščina in naravovarstveno pomembna gozdna območja Haloz.** 242

Luka Šparl: **Glive Haloz.** 256

Matjaž Bedjanič: **O kačjih pastirjih Haloz.** 265

Matjaž Bedjanič: **O kobilicah Haloz in Donačke gore** 272

Valerija Zakšek, Barbara Zakšek, Rudi Verovnik: **Dnevni metulji Haloz** 280

Matjaž Jež, Barbara Zakšek: **Nočni metulji Haloz in Donačke gore** 287

Matjaž Bedjanič: **O potočnih rakih Haloz** 295

Nik Šabeder, Anja Bolčina, Mojca Vek: **Dvoživke Haloz** 303

Milan Vogrin: **Plazilci Haloz** 312

Milan Vogrin: **Ptice Haloz** 318

Monika Podgorelec, Jasmina Kotnik,

Primož Presetnik, Aja Zamolo: **Netopirji – škržabci – v Halozah** 327

Jelka Brdnik: **Kmetijstvo v Halozah ohranja tradicionalno kulturno krajino in njeno biotsko raznovrstnost** 341

Srečko Štajnbaher: **Kulturna dediščina v Halozah** 346

Maruša Bradač: **James Webb začne potovanje nazaj na začetek vesolja.** (Astronomija.) 370

Dorotej Černela, Žan Cenc, Igor Paušič: **Vpliv zgradbe socvetja pri zaviti škrbici *Spiranthes spiralis* (L.) Chevall. (Orchidaceae) na vedenje opraševalcev.**

(Botanika in etologija oprasovalcev.) 374
 Daniel Rojšek: **Varstvo rebrinčevolistne hladnikovke (*Hladnikia pastinacifolia*) v Čavnu oziroma Mačjem kotu.** (Botanika in varstvo narave.) 383

Nina Špegel: **Bralna očala danes, pilokarpinske kapljice jutri?** (Medicina.) 394

Mirjan Žorž, Franc Stare: **Prva najdba japonskih dvojčkov kremenca v Sloveniji (drugi del).** (Kristalografija.) 399

Igor Dakskobler: **Botanične novosti iz Govcev. Pripoved o rastlinah in ljudeh, ki so me pripeljali do Hacquetove medvejke. V spomin Dušanu Robiču, Vitomirju Mikuletiču in Iztoku Mlekužu.** (Botanika.) 435

Marina Dermastia: **V deželi svete bosvelije.** (Botanika in ekologija.) 446

Tilen Kopač, Aleš Ručigaj, Matjaž Krajnc: **Hidrogeli kot sistemi za ciljno dostavo zdravilnih učinkovin na tarčno mesto.** (Medicina in farmacija.) 479

Martin Natlačén: **Spanje in epilepsija.** (Medicina.) 487

Društvene novice

Članski program Prirodoslovnega društva Slovenije v letu 2021/22. 93

Jubilej

Stane Peterlin: **Pol stoletja *Zelene knjige*. Spominski utrinki urednika.** (Jubilej.) 422

Tomaž Sajovic: **Letno kazalo** 461

Naravoslovna fotografija

Jurij Kurillo: **Pol stoletja slovenske naravoslovne fotografije. Razstave Prirodoslovnega društva Slovenije. V spomin Marku Aljančiču.** 132

Naše nebo

Mirko Kokole: **Smo odkrili planet zunaj naše galaksije?** 45

Mirko Kokole: **Prevelika črna luknja.** 90

Mirko Kokole: **Tretji planet Proksime**

Kentavra. 140

Mirko Kokole: **Opazujmo Sončeve pege.** 406

Mirko Kokole: **Poletno nočno nebo.** 505

Nobelove nagrade za leto 2021

Uroš Grošelj: **Razvoj asimetrične organokatalize Nobelova nagrada za kemijo za leto 2021.** 70

Radovan Komel: **Od čilija in laboratorijske konice do odkritij, kako se s čutili odzivamo na dogajanja v našem telesu in okoli nas – ob lanski Nobelovi nagradi za fiziologijo ali medicino.** 425

Jože Rakovec, Žiga Zaplotnik, Tomaž Prosen: **Nobelova nagrada za fiziko.** 465

Nove knjige

Miloš Bartol: **Izšla je monografija *Mozaik življenja, Natura 2000 Kras*.** 498

V spomin

Matija Gogala: **Ob zadnjem slovesu slovenskega odonatologa akademika Boštjana Kiaute.** 495

Prevodi

Andreja Šalamon Verbič 3, 51, 99, 356, 367, 416

Uvodnik

Tomaž Sajovic 4, 52, 100, 368, 418

Kazalo avtoric in avtorjev

Brane Anderle 121

Miloš Bartol 498

Matjaž Bedjanič 265, 272, 295

Mojca Bedjanič 178

Anja Bolčina 303

Igor Boševski 39

Maruša Bradač 370

Jelka Brdник 341

Žan Cenc 374

Mateja Cojzer 235

Dorotej Černela 374

Igor Dakskobler 14, 54, 121, 435

Marina Dermastia 446

- Darinka Fakin **154**
 Lovrenc Fortuna **23**
 Aljaž Gaber **102**
 Matija Gogala **495**
 Jernej Golc **154, 156**
 Sonja Golc **156**
 Franc Golob **178**
 Uroš Grošelj **70**
 Samo Jenčič **242**
 Miha Jeršek **178**
 Matjaž Jež **287**
 Simona Kaligarič **150**
 Klemen Kamenik **242**
 Lidija Kocbek Šaherl **31, 78, 111**
 Mirko Kokole **45, 90, 140, 406, 505**
 Radovan Komel **425**
 Špela Konjar **102**
 Tilen Kopač **479**
 Jasmina Kotnik **327**
 Matjaž Krajnc **479**
 Matija Križnar **63, 178**
 Jurij Kurillo **132**
 Igor Paušič **218, 374**
 Miha Pavšič **102**
 Stane Peterlin **422**
 Monika Podgorelec **327**
 Viljem Podgoršek **178**
 Primož Presetnik **327**
 Uroš Prešern **102**
 Tomaž Prosen **465**
 Jože Rakovec **465**
 Daniel Rojšek **54, 383**
 Aleš Ručigaj **479**
 Tomaž Sajovic **4, 52, 100, 368, 418, 461**
 Andreja Senegačnik **242**
 Kristijan Skok **31, 78, 111**
 Franc Stare **127, 399**
 Andreja Stušek **6**
 Nik Šabeder **303**
 Andreja Šalomon Verbič **3, 51, 99, 356, 367, 416**
 Sonja Škornik **210**
 Luka Šparl **256**
 Nina Špegel **394**
 Srečko Štajnbaher **346**
 Elvica Velikonja **54**
 Mojca Vek **303**
 Rudi Verovnik **280**
 Milan Vogrin **312, 318**
 Barbara Zakšek **280, 287**
 Valerija Zakšek **280**
 Aja Zamolo **327**
 Žiga Zaplotnik **465**
 Branko Zupan **121**
 Andreja Žgajnar Gotvajn **39**
 Igor Žiberna **164, 172**
 Mirjan Žorž **127, 178, 399**

Proteus

Izbaja od leta 1933

Mesečnik za poljudno naravoslovje

Izdajatelj in založnik:

Priradoslovno društvo Slovenije

<http://www.proteus.si>

priradoslovno.drustvo@gmail.com

© Priradoslovno društvo Slovenije, 2022.

Vse pravice pridržane.

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

Odgovorni urednik:

prof. dr. Radovan Komel

Glavni urednik: dr. Tomaž Sajovic

Uredniški odbor:

Sebastjan Kovac

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 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 Lah - Turnšek

prof. dr. Tomaž Pisanski

doc. dr. Peter Skoberne

prof. dr. Kazimir Tarman

Nobelova nagrada za fiziko

Jože Rakovec, Žiga Zaplotnik, Tomaž Prosen

Nobelovo nagrado za fiziko za leto 2021 so dobili trije znanstveniki: dva meteorologa, Syukuro Manabe in Klaus Hasselmann, si delita polovico nagrade, teoretični fizik Giorgio Parisi pa je prejel drugo polovico.

Na spletni strani Kraljeve švedske akademije znanosti (Nobelov odbor, 2021) o njih piše: »Trije nagrajenci si letos delijo Nobelovo

nagrado za fiziko za svoje raziskave kaotičnih in očitno naključnih pojavov. Syukuro Manabe in Klaus Hasselmann sta postavila temelje našega znanja o podnebnju na Zemlji in kako človeštvo vpliva nanj. Giorgio Parisi je nagrajen za svoje revolucionarne prispevke k teoriji neurejenih materialov in naključnih procesov.



Syukuro Manabe je meteorolog japonskega rodu, ki je meteorologijo doštudiral v Tokiu in se po doktoratu leta 1959 preselil v Združene države Amerike. Tam se je priključil skupini, ki je razvijala tridimenzionalne numerične modele ozračja za preučevanje splošnega kroženja ozračja (pa tudi za napovedovanje vremena) in ki jo je tedaj v Vremenskem uradu Združenih držav Amerike vodil Joseph Smagorinsky (sedaj se ta Laboratorij za geofizikalno dinamiko tekočin – Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL – vključen v Nacionalno upravo za oceane in atmosfero – National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA). Za štiri leta se je vrnil na Japonsko kot direktor oddelka za raziskave globalnega segrevanja. Od leta 2002 je bil gostujoči raziskovalni sodelavec na univerzi Princeton, kjer je sedaj meteorolog na univerzi, vmes pa je tudi gostoval na Univerzi v Nagoji. Že pred Nobelovo nagrado je prejel veliko priznanj in medalj: Carl-Gustaf Rossby Research Medal, Blue Planet Prize, Asahi Prize, Volvo Environment Prize, William Bowie Medal, Franklin Institute Awards, Crafoord Prize. Po Wikipediji: https://en.wikipedia.org/wiki/Syukuro_Manabe. Vir slike: CC BY 2.0, Bengt Nyman.



Klaus Hasselmann je fiziko in matematiko doštudiral na Univerzi v Hamburgu in leta 1957 doktoriral v Göttingenu iz preučevanja turbulence. Posvetil se je meteorologiji, pa tudi oceanografiji. Ustanovil je Inštitut Maxa Plancka za meteorologijo (Max-Planck-Institut für Meteorologie, MPI-M) v Hamburgu. Na tem inštitutu so v devetdesetih letih prejšnjega stoletja razvili sklopljeni model: atmosferski model Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF) so povezali z MPI-jevim modelom oceanov LSG (Large-Scale-Geostrophic ocean general circulation model). Med januarjem leta 1988 in novembrom leta 1999 je bil tudi znanstveni direktor v Nemškem podnebnem računalniškem središču (Deutsches Klimarechenzentrum, DKRZ) v Hamburgu. Bil je podpredsednik in član upravnega odbora Evropskega podnebnega foruma (danes Svetovnega podnebnega foruma), ki sta ga leta 2001 ustanovila s Carlom Jaegerjem. Pred Nobelovo nagrado je prejel ogromno priznanj in medalj – tu navedimo le nekatere: Award of the American Geophysical Union, Sverdrup Medal of the American Meteorological Union, Nansen Polar Bear Award, Oceanology International Lifetime Achievement Award, Symons Memorial Medal of the Royal Meteorological Society, Vilhelm Bjerknes Medal of the European Geophysical Society in druga. Po Wikipediji: https://en.wikipedia.org/wiki/Klaus_Hasselmann. Vir slike: CC-BY-SA 4.0 iz wikidata.org Q109370#.



Giorgio Parisi je diplomiral na Rimski univerzi La Sapienza leta 1970 pod mentorstvom Nicole Cabibbo. Bil je raziskovalec v Nacionalnem laboratoriju v Frascatiju (1971–1981) in gostujoči znanstvenik na Univerzi Columbia (1973–1974), na Institut des Hautes Études Scientifiques (1976–1977) in na École Normale Supérieure (1977–1978). Od leta 1981 do leta 1992 je bil redni profesor teoretične fizike na Rimski univerzi Tor Vergata, zdaj pa je profesor kvantne teorije na Rimski univerzi La Sapienza. Je član Simons Collaboration on Cracking the Glass Problem (to je skupina na Čikaški univerzi, ki se ukvarja z neurejenimi sistemi, nelinearnostjo in sistemi, ki so zelo neravnovesni). Od leta 2018 do leta 2021 je bil predsednik Nacionalne akademije dei Lincei. Že pred Nobelovo nagrado je bil mnogokrat počaščen: z Boltzmannovo, Diracovo in Planckovo medaljo, s Fermijevo, Lagrangeovo in Onsagerjevo nagrado – če naštejemo samo tiste, ki nosijo imena najbolj slavnih znanstvenikov.

Po Wikipediji: https://en.wikipedia.org/wiki/Giorgio_Parisi.

Vir slike: CC BY-SA 4.0 iz Wikivand.com.

Za kompleksne sisteme je značilna naključnost in neurejenost in jih je težko razumeti. Letošnja nagrada se zaveda pomembnosti novih metod za njihovo opisovanje in napovedovanje njihovega dolgoročnega vedenja.«

Nekaj o podnebjju in njegovih spremembah

Glavni dejavniki podnebjja na Zemlji so sevanje Sonca, oddaljenost Zemlje od Sonca in infrardeče (IR) sevanje Zemlje, drugi vplivi, na primer tok toplote iz Zemljine notranjosti navzven, kozmično sevanje ter Lunin odboj Sončevega sevanja in izsev pa so zanemarljivi. Energija sevanja se od Sonca širi na vse strani in zato gostota energijskega toka j upada kvadratno z razdaljo od Sonca. Pri Zemlji znaša j dobrih 1361 W/m². Na njej je zato temperatura blizu 0 stopinj Celzija – pri tleh v letošnjem povprečju približno +15 stopinj Celzija, tam zgoraj, kjer letijo letala, pa približno –50 stopinj Celzija. Na Zemlji torej niti ni tako vroče niti tako mraz kot na nekaterih drugih planetih.

Če Zemlja ne bi imela ozračja, bi bilo njeno površje izpostavljeno neposredno vesoljskemu okolju. Sončevo sevanje bi Zemlja z radijem r_z prestrezala s svojim velikim krogom – presekom s površino πr_z^2 , toda en del – $a j_0$ – se od nje odbija. Odbojnost a pozna-

mo na podlagi raznih podatkov – med drugim pa jo tudi vidimo na slikah Zemlje iz vesolja: največ svetlobe odbijajo bela polarna območja in rumene puščave, zelena vegetacija in modra morja pa je odbijejo precej manj ... Zelo dobro odbijajo Sončevo sevanje tudi oblaki (njihov vpliv na odbojnost prav tako upoštevamo). Tisti del, ki se ne odbije, torej $(1 - a)j_0$, pa bi Zemlja prejela. Seveda bi bila Zemlja pri tem ogreta na neko ravnovesno temperaturo in bi tudi sama sevala – v infrardečem (IR) delu sevalnega spektra po Stefanovem zakonu – s svoje celotne površine $4\pi r_z^2$ torej $4\pi\sigma r_z^2 T^4$, kjer je σ Stefan-Boltzmanova konstanta. V sevalnem ravnovesju, torej ko je moč oddanega sevanja enaka moči prejetega sevanja, bi lahko izračunali njeno ravnovesno temperaturo $T = 1/\sigma \sqrt[4]{(1-a)j_0/4}$. Dokaj natančno vemo, da je odbojnost Zemlje za celotno območje Sončeve svetlobe $a = 0,31$. Ker sta Jožef Stefan in Ludwig Boltzmann tudi določila vrednost konstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴, bi izračunali temperaturo površja Zemlje – približno –20 stopinj Celzija. Hudo mraz?

K sreči ima Zemlja ozračje in v njem tudi tako imenovane toplogredne pline: vodno paro (H₂O), ogljikov dioksid (CO₂), metan (CH₄), ozon (O₃), didušikov oksid (N₂O) in druge. Ti plini so sposobni absorbirati

(vsrkati) infrardeče sevanje, infrardeče elektromagnetno valovanje, pri čemer njihove molekule pričnejo vibrirati (nihati), ker se del energije sevanja prenese v energijo vibracij (nihanj). Pogoji za to je, da se pod vplivom nihajočega električnega polja lahko težišči pozitivnega in negativnega naboja v molekuli prerazporedita. Do tega lahko pride le, če je molekula polarna (kot na primer molekula vodne pare) ali pa so polarne posamezne vezi v molekuli (obe vezi C-O v molekuli ogljikovega dioksida). S tem da absorbirajo približno sedemdeset odstotkov infrardečega sevanja, ki ga oddajajo tla (pri nekaterih valovnih dolžinah skoraj vse, pri drugih manj), povzročijo, da ta del ne gre neposredno v vesolje. K vplivu tople grede¹ daleč največ (približno šestdeset odstotkov) prispeva vodna para (v zraku je je med nekaj promili – odtisočki - in nekaj odstotki), sledi ogljikov dioksid (0,4 promila oziroma odtisočka) s približno eno četrtno vpliva, pa metan (slabi dve milijoninki) z nekaj manj kot desetino vpliva in tako dalje.

Molekule dušika in kisika, ki jih je v zraku največ, ne vsebujejo polarnih vezi in ta najbolj zastopana plina ozračja k topli gredi ne prispevata.

Seveda so na Zemlji precejšnje podnebne razlike. Omenili smo že razmere pri tleh in v višinah in že iz osnovne šole vemo, da je pri tleh ob ekvatorju topleje, v polarnih predelih pa mraz. Topleje je tudi ob zahodnih obalah celin kot ob vzhodnih, saj k zahodnim obalam oceanski tokovi prinašajo toplejšo vodo

od jugozahoda: k Evropi tako imenovani Zalivski tok, medtem ko je na drugi strani Atlantika precej bolj mraz, med drugim tudi zato, ker tja doteka hladni Labradorški tok. Pa še marsikaj bi lahko povedali.

Razmere pa se ne spreminjajo le iz kraja v kraj in z letnimi časi, ampak tudi v daljših časovnih obdobjih. S tem se ukvarja paleoklimatologija. Za primer: v obdobju jure (v obdobju dinosavrov in preslic pred 150 do 200 milijoni let) je bilo marsikje znatno topleje, kot je danes. Pa ne samo zaradi na splošno toplejšega podnebja, ampak tudi zato, ker so se celine v geoloških obdobjih preoblikovale in premikale ter tedaj niso bili tam, kjer so danes. Nekaj o metodah paleoklimatologije, tudi na podlagi vrtnanj globoko v oceanske sedimente in v led na Antarktiki in Grenlandiji ter glede na izotopsko sestavo elementov v njih, je poročal tudi že *Proteus* (Rakovec, 2009). Do približno leta 2000 so iz globokih vrtn v ledu razvozlali temperaturne razmere za približno 400 tisoč let v zgodovini in potrdili, da se glavne ledene dobe pojavljajo na vsakih 100 tisoč let, da se tedaj ohladi za kakih pet do šest stopinj, pa potem nazaj segreva, in da je bilo zadnje ledene dobe konec pred približno 11,7 tisoč leti.

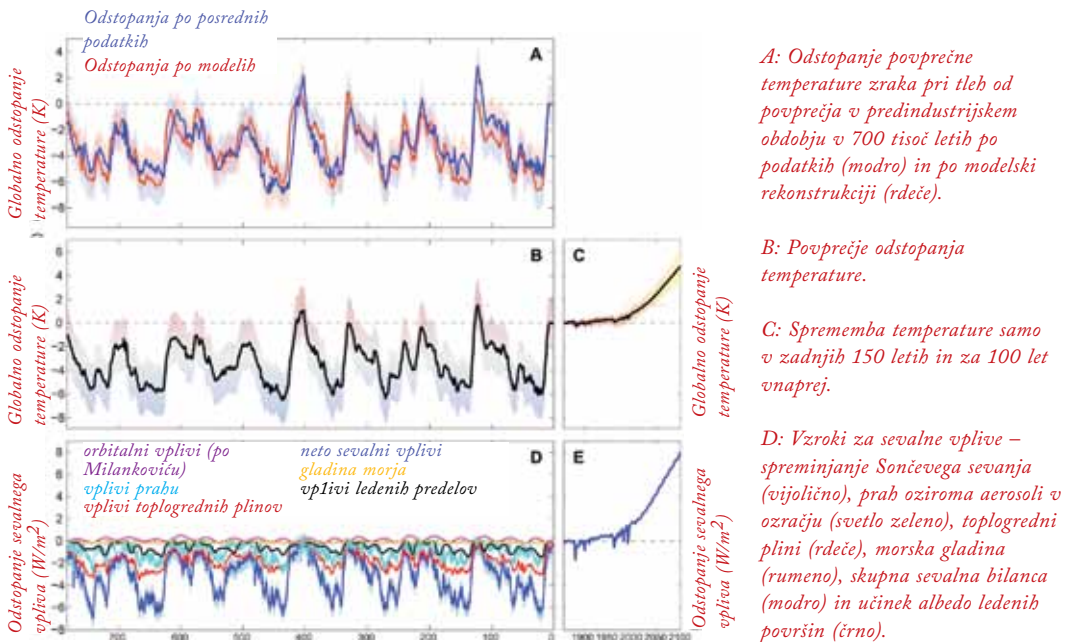
Sedaj, dvajset let kasneje, so iz še globljih vrtn potegnili nove in dlje v geološko zgodovino segajoče vzorce, iz katerih so lahko določili prevladujočo temperaturo na Zemlji pri tleh v zadnjih 800 tisoč letih. Friedrich in sodelavci (2016) so preučili podatke o temperaturi morske površine, dobljene iz 63 globokih vrtn, podrobneje pa upoštevali tiste iz štirinajstih vrtn in dobili ocene za temperature na sliki 1. Do podobnih ugotovitev in slik so prišli s podatki iz vrtn v ledu, na primer na Antarktiki, tudi Haeberli in sodelavci (2021).

Zakaj nas torej skrbi sedanje segrevanje za dobro stopinjo v zadnjem stoletju in morda za še dve ali morda tri stopinje v naslednjih stotih letih? Ko malo bolj podrobno pogledamo sliki A ali B, vidimo, da so se v zgo-

1 Izraz »topla greda« je ponesrečen in tudi fizikalno netočen, ampak ga zaradi zgodovinskih razlogov zdaj uporabljamo. Izraz je namreč skoval Fourier po analogiji z de Saussurovo »vročo škatlo« (Horace Bénédicte de Saussure, 1740–1799), vendar pa je v njej fizikalni mehanizem, ki povzroči dvig temperature, precej drugačen. Plasti stekla v de Saussurovi škatli preprečujejo konvekcijo vročega zraka, ki tako ostane ujet med njimi. Infrardeče sevanje iz ogretega stekla je v njegovem eksperimentu drugotnega pomena, glavni učinek je, da se plasti zraka ne mešajo. Pri sevalni »topli gredi« pa je prav infrardeče sevanje bistveno za to, da je na Zemlji pri tleh topleje, kot če infrardeče absorpcije in emisije v ozračju ne bi bilo.

Slika 1 iz članka: Friedrich in sod., 2016: *Nonlinear climate sensitivity and its implications for future greenhouse warming.*

© avtorji, nekatere pravice pridržane; izključne pravice American Association for the Advancement of Science AAAS. Ponatisnjeno z dovoljenjem AAAS v okviru licence CC BY-NC 4.0.



A: Odstopanje povprečne temperature zraka pri tleh od povprečja v predindustrijskem obdobju v 700 tisoč letih po podatkih (modro) in po modelski rekonstrukciji (rdeče).

B: Povprečje odstopanja temperature.

C: Sprememba temperature samo v zadnjih 150 letih in za 100 let vnaprej.

D: Vzroki za sevalne vplive – spreminjanje Sončevega sevanja (vijolično), prah oziroma aerosoli v ozračju (svetlo zeleno), toplogredni plini (rdeče), morska gladina (rumeno), skupna sevalna bilanca (modro) in učinek albedo ledenih površin (črno).

E: Sevalni vplivi samo v zadnjih 150 letih in za 100 let vnaprej.

dovini temperature spreminjale na približno vsakih sto tisoč let, sedaj pa smo priča dvestokrat hitrejšemu ogrevanju v preteklem stoletju – ena stopinja na sto let. Sliki C in E pa napovedujeta še veliko hitrejše naraščanje temperature v naslednjem stoletju. Tako hitro ugotovimo, zakaj smo sedaj lahko zaskrbljeni!

Nobelovi nagrajenci za fiziko v letu 2021 si delijo nagrado za svoje raziskave kaotičnih in očitno naključnih pojavov. Meteorologa Syukuro Manabe in Klaus Hasselmann sta postavila temelje našega znanja o podnebnju na Zemlji in kako človeštvo vpliva nanj – torej predvsem s svojimi raziskavami v zvezi s tistim, kar kažeta sliki C in E. Teoretični fizik Giorgio Parisi pa je bil nagrajen za svoje revolucionarne prispevke k teoriji ne-

urejenih materialov in naključnih procesov na različnih področjih fizike ter najrazličnejših velikostih, od atomskih do planetarnih. Med drugim je nagrado dobil tudi za teorijo, na podlagi katere lahko razložimo prehode med ledenimi dobami in vmesnimi toplimi obdobji, ki so videti precej kaotični in jih prikazujeta sliki A in B.

Kako je raziskoval in kaj je ugotovil Syukuro Manabe

Na spletni stani Nobelovega odbora za fiziko o Manabeju piše med drugim:

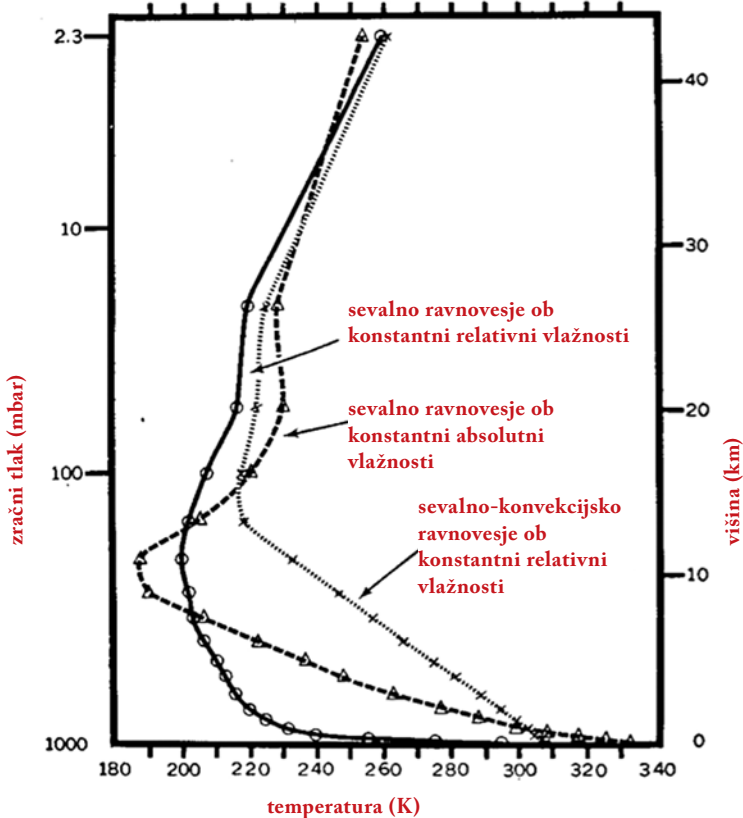
»Eden od zapletenih sistemov, ki so ključnega pomena za človeštvo, je podnebje Zemlje. Syukuro Manabe je pokazal, kako povečane ravni ogljikovega dioksida v ozračju vodijo do povišanja temperatur na površini

Zemlje. V šestdesetih letih prejšnjega stoletja je vodil razvoj fizikalnih modelov podnebja in bil prvi, ki je raziskal medsebojni vpliv med sevalnim ravnovesjem in vertikalnim transportom zračnih mas, to je konvekcijo. Njegovo delo je postavilo temelje za razvoj sedanjih podnebnih modelov.«

Syukuro Manabe je do nekaj svojih ugotovitev o podnebnju Zemlje prišel s povsem preprostimi modeli podobnega tipa, kot je omenjen v uvodu (ki daje na primer za tem-

peraturo rezultat $T = 1/\sigma \sqrt{(1-a)_0/4}$), ter z enodimensionalnimi modeli podnebja – torej takimi, ki preučujejo potek podnebnih spremenljivk v enem atmosferskem stolpcu navzgor skozi ozračje od tal proti vesolju, pa tudi s tridimensionalnim modelom ozračja, v katerem se lastnosti ozračja spreminjajo tudi s časom – torej z modelom splošnega kroženja ozračja. Da ne bi samo z besedami opisovali, kaj vse je Manabe ugotovil, bomo

Slika 2 iz članka Manabe in Wetherald (1967) kaže potek temperature z višino, če v ozračju približno linearno upada absolutna vlažnost (črtasta črta s trikotnički) ali pa linearno upada relativna vlažnost (polna črta s krogi). Pri prvem gre za linearni upad dejanske količine vodne pare v zraku, pri relativni vlažnosti pa gre tudi za vpliv temperature: neka količina vodne pare na primer v toplem zraku pri tleh lahko pomeni nizko relativno vlažnost, v mrzlem zraku tam zgoraj pa ta ista količina vodne pare pomeni visoko relativno vlažnost (ali celo prenasičenje in tvorbo oblakov). Tretji potek (pikčasta črta s križci) pa pove tudi – kar sta ugotovila že Manabe in Strickler –, da mešanje zraka po vertikali, kar močno pripomore k temu, da je pri tleh nekaj hladneje in zgoraj manj mraz v primerjavi z dogajanjem brez prenašanja toplote v višine s takim mešanjem. Ponatisnjeno z dovoljenjem Ameriškega meteorološkega združenja AMS - Published (1967) by the American Meteorological Society.

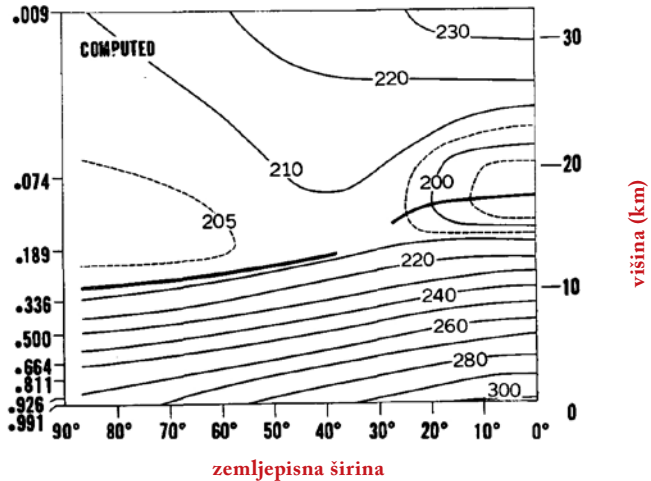


iz njegovih člankov povzeli kako sliko z rezultati. Večina zgodnejših Manabejevih izsledkov je temeljila na enodimenzionalnem modelu ozračja, s katerim sta Manabe in Strickler (1964) ozračje razdelila na osemnajst plasti. Opisala sta sevalni prenos toplote med vrhom ozračja, različnimi plastmi ozračja ter tlemi. Upoštevala sta dva najpomembnejša absorberja dolgovalovnega sevanja v ozračju – vodno paro in ogljikov dioksid – ter najpomembnejši absorber kratkovalovnega Sončevega sevanja – stratosferski ozon. V modelu sta opisala tudi konvektivni

prenos toplote, pri čemer sta upadanje temperature z naraščajočo višino (vertikalni temperaturni gradient) v troposferi omejila na 6,5 kelvina na kilometer, kolikšen je tudi povprečni vertikalni temperaturni gradient. Tako sta kot prva uspela približno opisati podoben potek temperature z višino, kot so ga izmerili z radiosondnimi meritvami in kar dotlej ni uspelo njunim predhodnikom, ki so uporabljali zgolj sevalne modele. V model sta uvedla tudi oblake in sklepała, da visoki cirusni oblaki najverjetneje prispevajo k toplejšemu površju, nizki oblaki pa k hladnejšemu.

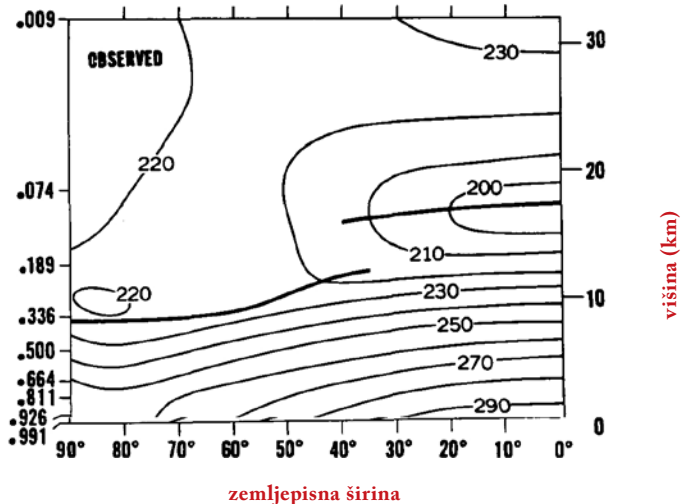
Slika 3 iz članka Manabe, Smagorinsky in Strickler (objava National Weather Service, 1965): Izračunane razporeditve temperature v ozračju od ekvatorja (desni rob) do tečaja (levi rob) ter od tal do približno 32 kilometrov višine se zelo dobro ujemajo z opazovanimi na naslednji, spodnji sliki. Ponatisnjeno z dovoljenjem Nacionalne agencije za oceane in ozračje (NOAA). Published (1965) by the National Weather Service.

zračni tlak p , normiran s tlakom p^* pri tleh

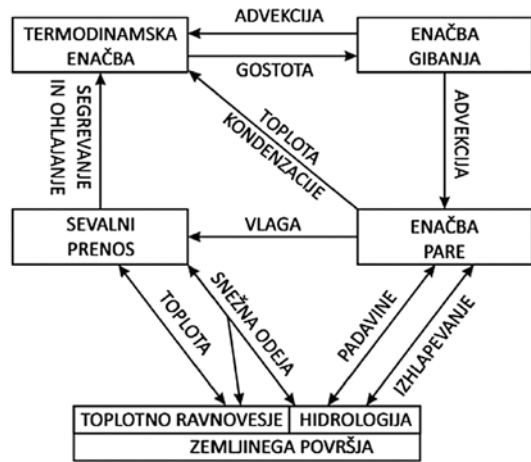


Slika 4 iz istega članka: Izmerjene razporeditve temperature na istem območju ozračja. Ponatisnjeno z dovoljenjem NOAA. Published (1965) by the National Weather Service.

zračni tlak p , normiran s tlakom p^* pri tleh



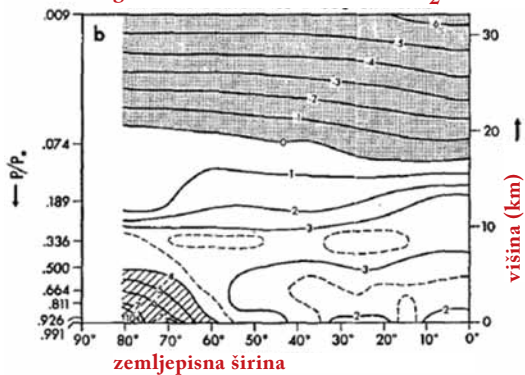
Slika 5 iz članka Manabe in Wetherald, 1975: V tridimenzionalnem modelu so upoštevali gibanje zraka, termodinamske procese, sevalne prenose energije, izhlapevanje, spremembe med različnimi oblikami vode (led, voda, para) ter dogajanja pri tleh. Published (1975) by the American Meteorological Society. Prevedana verzija slike je povzeta po Rakovec in Prosen, 2022: Nobelova nagrada 2021 za fiziko. Obzornik za matematiko in fiziko, 69 (1).



Slika 6 iz istega članka: Če bi se količina ogljikovega dioksida v ozračju podvojila, bi se pri tleh najmočnejše ogrelo blizu tečaja, celo do deset stopinj, drugod pa za dve do tri stopinje. Precej pa bi se ohladila stratosfera: na višini približno 20 kilometrov za kako stopinjo, še višje pa tudi za pet, šest stopinj. Published (1975) by the American Meteorological Society.

zračni tlak p , normiran s tlakom p^* pri tleh

Razlika temperature pri dvojni količini CO_2 glede na standardno količino CO_2



Ker je vodna para v zraku najmočnejši toplogredni plin, je Manabe z Wetheraldom (1967) preučil še, kako razporeditev tega plina v ozračju vpliva na podnebje, kar Nobelov odbor posebej poudarja.

Rekli smo že, da je Syukuro Manabe do mnogih ugotovitev prišel tudi z modeliranjem s trirazsežnim časovno odvisnim modelom za splošno kroženje ozračja. Najprej je bilo treba pripraviti model za simulacije. V skupini Smagorinskega so ga dobili tako, da so Phillipsov model za splošno kroženje ozračja predelali. Norman Phillips je namreč (1956) tak model uporabil za prvo numerično podnebno simuliranje splošnega kroženja na planetu, a ga je moral pošteno oklestiti, saj tedaj računalniki pač še niso

bili kaj prida zmogljivi. Desetletje kasneje pa so Manabe, Smagorinsky in Strickler ter Smagorinsky, Manabe in Holloway (v dveh člankih leta 1965) od poenostavljenih enačb že lahko prešli nazaj na prvotne enačbe (kaj vse upošteva ta sistem enačb, je shematično prikazano na sliki 5) in od samo dveh nivojev v ozračju na devet. V vsakem stolpcu so uporabili tudi enak model sevanja in konvekcije, kot smo ga na kratko že opisali. Procese v ozračju so simulirali na horizontalno omejenem območju med 0 in 120 stopinj zemljepisne dolžine na eni polobli z zelo poenostavljenim spodnjim robnim pogojem. Da je bil tak model vseeno uspešen, kažeta sliki 3 in 4 iz prvega od naštetih člankov.

Ko se je pokazalo, da je trirazsežni časovno odvisni model dovolj zanesljiv, je Manabe lahko nadaljeval z drugimi testiranjmi tega ali onega vpliva na podnebne razmere na Zemlji. Pokažimo samo še en rezultat: kaj bi se zgodilo, če bi se količina ogljikovega dioksida v ozračju podvojila (slika 6)? Ugotovil je, da bi se globalna povprečna temperatura zraka pri tleh pri podvojitvi koncentracije ogljikovega dioksida s 300 na 600 ppm povečala za 2,35 stopinje Celzija, kar je nekje na spodnji meji današnje najboljše ocene za ravnovesno občutljivost podnebnega sistema (angleško *equilibrium climate sensitivity*), ki znaša s 66-odstotno verjetnostjo med 2,3 in 4,7 stopinje Celzija. Ravnovesna občutljivost podnebnega sistema nam pove, za koliko bi se ozračje blizu tal ogrelo po dolgem času (dokler ne bi dosegli ravnovesja), če bi podvojili koncentracijo ogljikovega dioksida v zraku iz predindustrijskih vrednosti (270 ppm), torej na 540 ppm. Za te in še mnoge druge ugotovitve je Syukuro Manabe dobil del Nobelove nagrade za fiziko za leto 2021.

Raziskave Klause Hasselmanna

Zanj Nobelov odbor za fiziko poudarja: »Klaus Hasselmann je približno deset let za Manabejem ustvaril model, ki povezuje vreme in podnebje, s čimer je odgovoril na vprašanje, zakaj so podnebni modeli lahko zanesljivi, čeprav je vreme spremenljivo in kaotično. Razvil je tudi metode za prepoznavanje značilnih signalov, »prstnih odtisov«, ki jih tako naravni pojavi kot človekove dejavnosti vtisnejo v podnebje. Njegove metode so bile uporabljene kot dokaz, da je povišana temperatura v ozračju posledica človeških izpustov ogljikovega dioksida.«

Klaus Hasselmann je teoretično utemeljil, zakaj so podnebni modeli lahko zanesljivi kljub spremenljivemu in kaotičnemu vremenu (Hasselmann, 1976). Ugotovil je, da se robustni, počasni podnebni sistem prilagaja hitrim, dokaj neurejenim vremenskim dogodkom podobno, kot se pri Brownovem gibanju neki večji delec naključno sprehaja

sem in tja (angleško *random walk*), ker se vanj zaletava množica drobnih delcev, hitrih molekul v plinu ali kapljevini, ki se povsem neurejeno gibljejo.

Podnebje določa skupek procesov v ozračju, oceanih, kriosferi in na kopnem, ki so med seboj združeni. Ti imajo različne značilne dolžine trajanj ali ponovitev. Turbulentni vrtinci v ozračju trajajo na primer značilno le nekaj minut, nevihte ali pa obalni veter nekaj ur, orkani in tropske nevihte nekaj dni, barične tvorbe (cikloni in anticikloni) od nekaj dni do nekaj tednov. Bistveno počasnejši so procesi v oceanih, kriosferi in na kopnem. Vremenske procese so zato pri opisu podnebnega sistema pogosto povprečili. Hasselmann pa je leta 1976 (članek v *Tellusu*) uporabil povsem nov pristop k analizi spremenljivosti podnebja: vremensko spremenljivost je opisal kot naključno dogajanje (stohastični šum), ki sili podnebje, da se tem naključnim »motnjam« ves čas prilagaja. Naključno siljenje torej povzročajo hitra »vremenska« dogajanja, nanje pa se počasi odzivajo robustni deli podnebnega sistema, kot so ledene plošče, oceani ali vegetacija Zemljinega površja, ki tako delujejo kot povezovalci teh naključnih vplivov. To je podobno kot pri Brownovem gibanju, kjer se težji delci odzivajo na sile, ki jih nanje povzročajo trki veliko lažjih delcev. Težji delec pri tem napravi naključni »sprehod« in se vse bolj oddaljuje od začetnega stanja – v povprečju sorazmerno s kvadratnim korenem časa. Podnebni sistem pa vsebuje tudi negativne povratne vplive na naključne odklone zaradi vremena, ki podnebni sistem ves čas silijo nazaj proti ravnovesnemu stanju. Tako pri Hasselmannovi raziskavi ni bil cilj odkrivanje pozitivnih povratnih vplivov (ki bi podnebje oddaljevali od ravnovesnega stanja), ampak prepoznavanje procesov negativnih povratnih vplivov, ki so nujni, da kljub naključnim »vremenskim« gonilnim vplivom podnebje kljub vsemu ostane blizu ravnovesja. Izpeljal je enačbo, ki opisuje posledice naključnega premikanja, kar ga

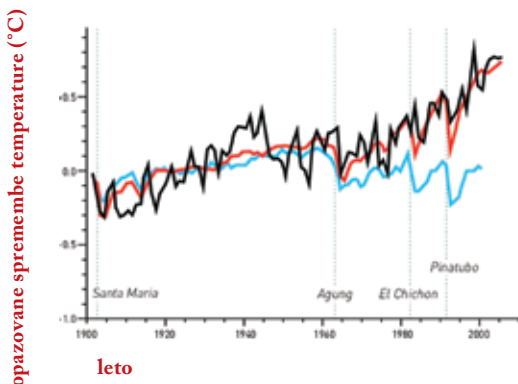
je pripeljalo do osnovne Fokker-Planckove enačbe, ki pove, kako se stohastični sistem spreminja s časom. Izpeljal je še posebne rešitve za linearne povratne vplive, kar omogoča spoznanja glede podnebne napovedljivosti. To sta potem naprej preučila Frankignoul in Hasselmann (tudi v *Tellusu*, 1977). Že ta dokaj zapleteni opis pokaže, da so Hasselmannove teoretične utemeljitve precej zahtevne – Hasselmann je v intervjuju za *Die Welt* celo sam rekel, da je njegova teoretična razlaga iz leta 1976 »neberljiva« (glej Max-Planck-Gesellschaft, 2021).

Hasselmann je kasneje (1993) tudi teoretično raziskal, kako izluščiti »prstne odtise« takih in drugačnih vplivov na podnebje. Lažje kot ta njegov teoretični članek je opisati, kar je s sodelavkami in sodelavci razložil (Hegerl, Hasselmann in sod., 1997) ali pa so sodelavci razložili sami (Hegerl in sod., 2011) na podlagi konkretnih podatkov o podnebnih spremembah. Bistvo »metode prstnih odtisov« je razločiti od človeštva povzročene spremembe od naravnih, na primer od spreminjajočega se Sončevega obseva ali pa vulkanske aktivnosti, torej kako na optimalni način izluščiti signal sistematičnih podnebnih sprememb iz močne spremenljivosti podnebja. Uporabili so zelo podroben model ozračja in oceanov in z različnimi simulacijami dobili različne razporeditve temperature na Zemlji pri tleh in spreminjanje teh razporeditev v času. Pri eni simulaciji so vključili samo toplogredne

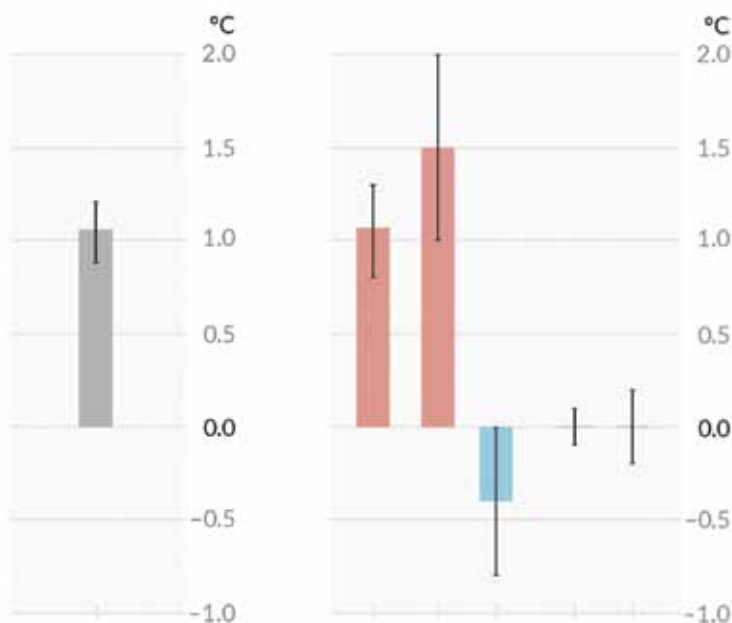
pline v ozračju, pri drugi pa so dodali še sulfatne aerosole v ozračju – porast koncentracije obojega naj bi bil posledica človekovih dejavnosti od začetka industrijske revolucije. Še druge simulacije pa so upoštevale spremenljivost Sončevega obseva – kot povsem naravni pojav. Z empiričnimi ortogonalnimi funkcijami so nato poiskali prostorske vzorce temperature, ki čim bolj opišejo izmerjene prostorske razporeditve temperature. Glede sprememb v času pa so z analizo glavnih komponent poiskali prevladujoči opis časovnih sprememb. Potem so poiskali tisti del prostorskega vzorca, ki kar najbolj predstavi razlike med vplivom samo toplogrednih plinov ter toplogrednih plinov skupaj z aerosolom. To je bi njihov poskusni »prstni odtis« toplogrednih plinov, potem pa so ga še izboljšali, tako da so (z uporabo kovariančne prostorske funkcije) upoštevali še, kako so razmere na nekem območju statistično povezane z razmerami na nekem drugem območju.

Ker so raziskave Klause Hasselmana izrazito teoretične, je v njegovih objavah res težko najti kako tako sliko, da bi bila zanimiva za široko občinstvo. So pa njegovi sodelavci objavili – skupaj z njim – tudi splošno zanimive slike (Hegerl in sod., 1997; Bruckner in sod., 2003, oba članka sta dostopna na svetovnem spletu) ali pa so njegova spoznanja povzeta na slikah, kot sta sliki 7 in 8.

Pri sliki 7 naraščanje v zadnjih desetletjih



Slika 7, povzeta iz obrazložitve Nobelovega odbora za fiziko, kaže naraščanje temperature v obdobju od leta 1960 dalje glede na povprečje obdobja od leta 1901 do leta 1950 (črna črta), izračunane naravne in človekove prispevke k temu naraščanju (rdeča črta) in posebej naravne prispevke (modra črta). Ponatisnjeno z dovoljenjem Kraljeve švedske akademije znanosti. ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences.



Slika 8, izrez iz prikaza IPCC 2021 deležev k ogretju ozračja v desetletju 2010–2019 glede na predindustrijsko obdobje: Od leve proti desni: opazovano ogretje (sivo), vsi človekovi vplivi in vplivi toplogrednih plinov (oboje rdeče), drugi človekovi vplivi, predusem žvepleni aerosol (modro), vplivi osonečenja in vulkanov ter na koncu notranja spremenljivost podnebne/klimatskega sistema. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf, Prosto dostopno po licenci CC BY 4.0.

lahko pripišemo človekovemu vplivu (rdeča črta), kajti naravni vzroki (modra črta) vzdržujejo temperaturo na približno isti ravni. Glavne naravne fluktuacije naj bi povzročili močni vulkanski izbruhi. Po sliki 8 pa naj bi človekovi vplivi prispevali k ogrevanju ozračja zaradi izpustov toplogrednih plinov, pa tudi zavirali to ohlajanje zaradi svetlega, skoraj belega žveplovega aerosola, ki odbija Sončevo svetlobo.

Giorgio Parisi je v zelo naključnih dogajanjih kljub vsemu našel nekaj reda

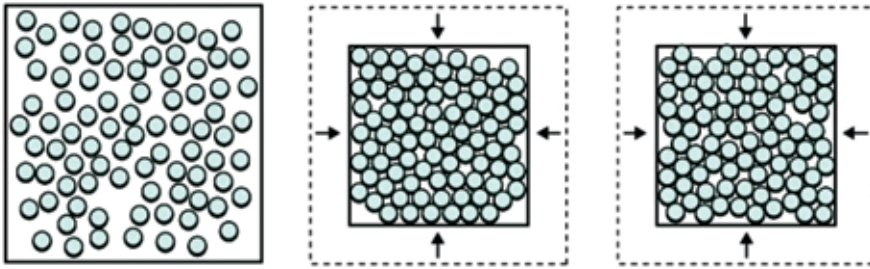
O Giorgiu Parisiju je Nobelov odbor za fiziko med drugim zapisal:

»Okoli leta 1980 je Giorgio Parisi odkril skrite vzorce v neurejenih kompleksnih materialih. Njegova odkritja so med najpomembnejšimi prispevki k teoriji kompleksnih sistemov. Omogočajo razumevanje in opis številnih različnih in na videz povsem naključnih pojavov in neurejenih sistemov, ne le v fiziki, ampak tudi na drugih, zelo različnih področjih, kot so matematika, biologija, nevroznanost in strojno učenje.«

Teoretični fizik Giorgio Parisi se je veliko

ukvarjal z na videz povsem neurejenimi, stohastičnimi in zelo kompleksnimi pojavi, pa vendar je približno leta 1980 odkril nekaj splošnih lastnosti kompleksnih sistemov, ki usmerjajo taka dogajanja. Preprosti primer, ki ga na svoji spletni strani navaja tudi Nobelov odbor za fiziko, je množica kroglic, ki ponazarja molekule plina (slika 9). Če se plin počasi ohlaja, se plin najprej utekočini, potem pa vedno uredi v urejeni kristal trdne snovi. Če pa se vse skupaj zgodi hitro, lahko nastane ne povsem urejena trdna snov, in to vsakič malce drugačna. To je model za obnašanje steklastih snovi. Posebej zanimivo je to, da se ob sicer povsem enako hitrih ohlajanjih molekule zgostijo na nekoliko drugačne načine – torej je zgoščevanje ob hitrem ohlajanju stohastični pojav.

Parisi je sicer obravnaval malo drugačen sistem: spinsko steklo. Primer zanj je na primer zlitina, pri kateri so v kristal železa sem in tja vključeni posamezni atomi bakra. Ti dodatki povzročijo, da so magnetne lastnosti takega kristala drugačne od kristala čistega železa in precej nenavadne. Pri obravnavi takih snovi je Giorgio Parisi



Slika 9 s spletne strani Nobelovega odbora za fiziko. *Molekule se pri hitrem ohlajanju lahko zgoščujejo na različne načine, vsakič malce drugače.* Ponatisnjeno z dovoljenjem Kraljeve švedske akademije znanosti, ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences.

si odkril, da se navidezno naključni pojavi podrejajo nekaterim pravilom, ki jih do tedaj niso poznali. Ta pravila so mnogi fiziki tedaj iskali z matematično metodo, imenovano »trik replik«, pri kateri hkrati obravnavajo množico identičnih kopij sistema, a vsi so prišli do fizikalno napačnih rezultatov svojih izračunov. Parisi pa je odkril, da se pri mnogih različnih kopijah (replikah) simetrija med ponovljenimi kopijami spontano zlomi, in to objavil v dveh člankih (Parisi, 1979a in 1979b). Spontani zlom simetrije lahko razumemo takole: kljub temu, da je problem povsem simetričen glede na zamenjavo replik, pa se v rešitvi, ki minimizira prosto energijo sistema replik, te med seboj razlikujejo. V replikah je Parisi odkril skrito strukturo in našel matematično smiselni (in pravilni) način, kako z opisom faznega prehoda zloma simetrije n replik korektno izvesti limito, ko gre n proti 0 , kar na koncu omogoča konkretni izračun proste energije in drugih termodinamskih količin sistema². Morda ni presenetljivo, da so bili mnogi do Parisijeve rešitve in razlage zelo skeptični, in kar dolgo je trajalo, da so ju tudi drugi spoznali za pravilni. Šele četrto stoletja ka-

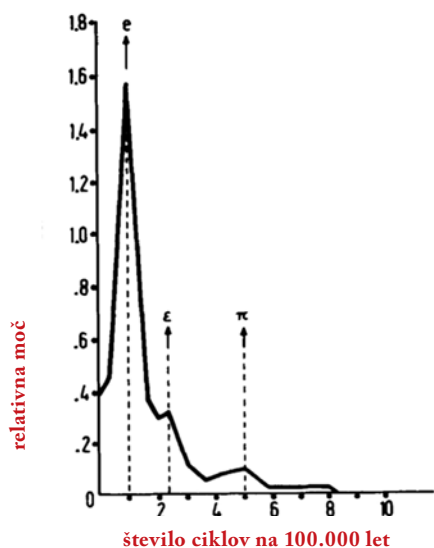
sneje je Tallagrand (2006) v članku, objavljenem v najprestižnejši matematični reviji *Annals of Mathematics*, Parisijevo rešitev tudi formalno dokazal in jo razglasil za »temeljni izrek matematične analize«. In danes se je pravilnost pokazala tudi pri nekaterih primerih praktične uporabe, na primer pri neurejenih laserjih (Ghofraniha in sod., 2015). Na povsem teoretičnem področju velja omeniti vsaj še eno Parisijevo odkritje – kako na univerzalni način rastejo neurejene površine na mejah med različnimi snovmi, kar opisuje Kardar-Parisi-Zhangova stohastična parcialna diferencialna enačba. Zanj so zadnje čase našli kar nekaj primerov uporabe na najrazličnejših področjih – od že omenjene rasti površin ob naključnem nalaganju snovi preko modeliranja prometa na avtocestah do nenavadnega prenosa snovi, učinkovitejšega od difuzije, ter do v Ljubljani odkrite povsem nepričakovane veljavnosti Kardar-Parisi-Zhangove enačbe v kvantnem magnetizmu v modelih z neobičajnimi simetrijami (Ljubotina in sod., 2019).

Poleg omenjenih je treba spomniti na številne druge temeljne Parisijeve prispevke v statistični fiziki, ki danes navdihujejo tisoče raziskovalcev. Parisijevi prispevki k razumevanju dinamičnih procesov v kompleksnih sistemih in dinamičnih sistemov na splošno ga tematsko približajo tudi delu meteorologov Manabeja in Hasselmanna. Za

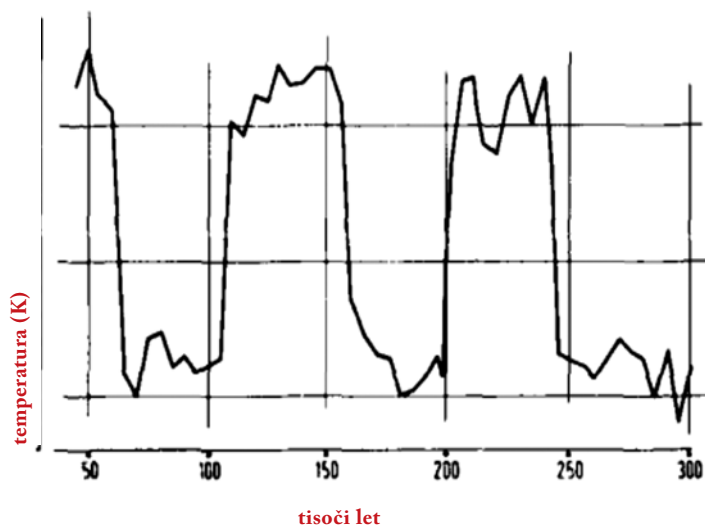
2 Ideja te nenavadne limite pride iz računa termodinamskega povprečja logaritma neke količine, na primer Z , ki ga lahko zapišemo kot $\ln Z = \lim_{n \rightarrow 0} (Z^n - 1)/n$. Pokaže se, da je za izračun limite običajno dovolj poznati funkcijo na desni strani enačbe za vsa naravna števila n .

potrditev te teze samo omenimo članek o stohastični resonanci v klimatologiji. Tu je Parisi sodeloval z italijanskim teoretičnim fizikom Benzijem in še dvema sodelavcema (Benzi in sod., 1982). Skušali so razložiti periodične prehode med ledenimi dobami in medledenimi toplimi obdobji. Že skoraj stoletje vemo, da je glavna perioda ledenih dob približno 100.000 let in da se ta ujema s periodo ekscentričnosti Zemljine eliptične orbite okrog Sonca, kar je izračunal srbski geofizik in astronom Milanković že okrog leta 1920, objavil najprej leta 1930 v berlinskem *Handbuchu der Klimatologie*, razširjeno pa kot monografijo med drugo svetovno vojno (Milanković, 1941). Poleg glavnega vpliva ekscentričnosti sta še manjša astronomska vpliva pri periodah približno 41.000 let zaradi spreminjanja nagiba Zemljine osi glede na ravnino ekliptike in 20.000 let zaradi precesije (opletanja) smeri Zemljine osi (glej sliko 10). Orbitalni cikli torej določajo glavno periodiko sprememb temperature. Vendar pa po ugotovitvah Benzija in sodelavcev spremembe energije sevanja Sonca, ki jo prejme Zemlja, zaradi sprememb ekscentričnosti lahko razložijo zgolj spreminjanje

globalne povprečne temperature okrog 0,2 stopinj Celzija oziroma do največ 1 stopinje Celzija, če vključimo še povratno zanko zaradi albeda ledenih površin (višja temperatura, manj ledu, manj odbitega sevanja, še višja temperatura in tako naprej). Nikaikor pa spremembe ekscentričnosti same ne morejo razložiti temperaturne razlike 10 stopinj Celzija med ledeno dobo in toplim obdobjem. Avtorji so se zato naslonili na delo Hasselmanna (1976) in v preprost konceptualni model energijske bilance Zemlje, kakršnega smo opisali že v uvodu članka, uvedli dve predpostavki. Predpostavili so dva, za 10 stopinj različna stabilna temperaturna režima ter kot drugo predpostavko uvedli še šibek naključni (stohastični) šum z varianco (povprečje kvadratov odklonov posameznih vrednosti od povprečja $0,15 \text{ K}^2$, ki predstavlja majhne naključne spremembe globalne povprečne letne temperature od enega leta do drugega). Da takšen šum v resnici obstaja, so vedeli iz podnebnih modelov. Z uvedbo šuma so končno lahko simulirali preskoke temperature velikosti 10 stopinj Celzija med ledeno dobo in toplim obdobjem (kot je prikazano na sliki 11).



Slika 10 iz članka Benzi in sod., 1982: Spektralna gostota moči časovne vrste (časovna vrsta je zaporedje podatkov, ki si drug za drugim sledijo v času – ponavadi v enakih časovnih intervalih), ki opisuje razmerje koncentracij kisikovih izotopov ^{18}O in ^{16}O v sedimentih fosilnega planktona iz globokomorske vrtnice v ekvatorialnem Tibeem oceanu. Najmočnejši je vpliv enega cikla na sto let (e), manj pomembna pa sta cikla na 41 tisoč (ϵ) in na 20 tisoč let (π). Mera je značilna za temperaturo morja. Več kot je izotopa ^{18}O v sedimentih, hladnejše je podnebje. Za več o tem glej na primer v članku Rakovca v Proteusu iz oktobra leta 2009. Prosto dostopno, ponatisnjeno v okviru licence CC BY-NC 4.0.



Slika 11 iz istega članka: *Simulacija periodičnih prehodov med ledeno dobo in toplim obdobjem s periodo približno 100.000 let, ki so jih spodbudile variacije ekscentričnosti. Prosto dostopno, ponatisnjeno v okviru licence CC BY-NC 4.0.*

Verjetnost za takšen skok iz ledene dobe v medledeno dobo, ki ga vzbudi naključen proces, se namreč drastično poveča v primeru zunanje siljenja, torej na primer zaradi sprememb ekscentričnosti. Benzi, Parisi, Suter in Vulpiani so torej potrdili stohastično resonanco, pojav, kjer šum (majhne naključne spremembe temperature) v kombinaciji z zunanjim siljenjem (ekscentričnost Zemljine orbite) lahko povzroči prehode dinamičnega sistema iz enega stabilnega stanja v drugo stabilno stanje. Njihovo odkritje je razložilo tudi prehode med drugačnimi ravnovesnimi stanji, na primer v bioloških in drugih dinamičnih sistemih.

Kljub vsemu pa moramo bralce opozoriti, da to ni edina razlaga, kako pride do prehoda iz enega stabilnega podnebne stanja v drugega. Pomemben vpliv imajo namreč tudi biogeokemični procesi na Zemljini površini, na primer ogljikov cikel. Pri višji temperaturi namreč biosfera v ozračje izpusti nekaj nakopičenega ogljikovega dioksida in poveča toplogredni učinek, kar vodi v še višje temperature in tako naprej. Ogljikov dioksid torej v tem primeru učinkuje kot ojačevalec orbitalnih sprememb. A kot že rečeno, trenutno so spremembe temperature

in koncentracije ogljikovega dioksida v zraku prehitre, da bi jih lahko pripisali naravnim dejavnikom.

Za konec

Nobelova nagrada za fiziko za leto 2021 je prvič podeljena za preučevanje dogajanj, ki določajo vreme in podnebje, in za preučevanje neurejenih, stohastičnih sistemov. Za raziskave o ozračju je sicer dobil nagrado leta 1947 Edward Victor Appleton, in sicer za odkritje ionosfere visoko v ozračju, kar pa ni neposredno povezano s podnebjem. Tudi za raziskavo stohastičnih pojavov nagrade še ni bilo. Pojav turbulentnosti, ki je eden od zadnjih nerešenih problemov klasične fizike, še ni rešen – če bi ta oreh kdo morda strl, bi skoraj zagotovo dobil Nobelovo nagrado. Blizu pojavom stohastičnosti – čeprav je v resnici obravnaval deterministično dogajanje – je bil morda Edward Lorenz s svojim odkritjem determinističnega kaosa v makrosvetu. A njemu je Kraljeva švedska akademija podelila Crafoordovo nagrado, ki jo podeljujejo za matematiko in astronomijo, geoznanosti in biologijo – torej za področja, ki jih Nobelova nagrada ne pokriva. Že desetletja je intenzivno področje raziskovanja

tudi kvantni kaos – za pomemben preboj na tem področju pa utegne biti kdaj podeljena tudi fizikalna Nobelova nagrada.

Viri:

- Benzi, R., Parisi, G., Sutera, A., Vulpiani, A., 1982: *Stochastic resonance in climatic change*. *Tellus*, 34: 1, 10-15. DOI: 10.3402/tellusa.v34i1.10782. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3402/tellusa.v34i1.10782>. Dostop 17. februarja 2022.
- Bruckner, Th., Hooss, G., Füssel, H.-M., Hasselmann, K., 2003: *Climate system modeling in the framework of the tolerable windows approach: the ICLIPS climate model*. *Climatic Change*, 56: 119-137. DOI: 10.1023/A:1021300924356. https://www.researchgate.net/publication/226524566_Climate_System_Modeling_in_the_Framework_of_the_Tolerable_Windows_Approach_The_ICLIPS_Climate_Model. Dostop 17. februarja 2022.
- Frankignoul, C., Hasselmann, K., 1977: *Stochastic climate models. Part II, Application to sea-surface temperature anomalies and thermocline variability*. *Tellus*, 29 (4): 289-305. DOI: 10.3402/tellusa.v29i4.11362, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3402/tellusa.v29i4.11362>. Dostop 17. februarja 2022.
- Friedrich, T., Timmermann, A., Tigchellar, M., Timm, O., Ganopolski, A., 2016: *Nonlinear climate sensitivity and its implications for future greenhouse warming*. *Science Advances*, 2 (11). DOI: 10.1126/sciadv.1501923. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1501923>. Dostop 17. februarja 2022.
- Ghofraniha, N., Viola, I., Di Maria, F., Barbarella, G., Gigli, G., Leuzzi, L., Conti, C., 2015: *Experimental evidence of replica symmetry breaking in random lasers*. *Nature Communications*, 6: 6058. <https://www.nature.com/articles/ncomms7058>. Dostop 17. februarja 2022.
- Haerberli, M., Baggenstos, D., Schmitt, J., Grimmer, M., Michel, A., Kellerbals, Th., Fischer, H., 2021: *Snapshots of mean ocean temperature over the last 700 000 years using noble gases in the EPICA Dome C ice core*. *Climate of the Past*, 17 (2): 843. DOI: 10.5194/cp-17-843-2021. <https://www.researchgate.net/publication/344689911>. Dostop 17. februarja 2022.
- Hasselmann, K., 1976: *Stochastic climate models. Part I, Theory*. *Tellus*, 28: 473-485. DOI: 10.3402/tellusa.v28i6.11316. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v28i6.11316>. Dostop 17. februarja 2022.
- Hasselmann, K., 1993: *Optimal Fingerprints for the Detection of Time-dependent Climate Change*. *Journal of Climate*, 6 (10): 1957-1971. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<1957:OFFTDO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1957:OFFTDO>2.0.CO;2). Dostop 17. februarja 2022.
- Hegerl, G. C., Hasselmann, K., Cubasch, U., Mitchell, J. F. B., Roeckner, E., Voss, R., Waszkewitz, J., 1997: *Multi-fingerprint detection and attribution analysis of greenhouse gas, greenhouse gas-plus-aerosol and solar forced climate change*. *Climate Dynamics*, 13 (9): 613-634. <https://link.springer.com/article/10.1007/s003820050186>. Dostop 17. februarja 2022.
- Hegerl, G., Zwiers, F., Tebaldi, C., 2011: *Patterns of change: whose fingerprint is seen in global warming?* *Environmental Research Letters*, 6 (4): 044025. Doi:10.1088/1748-9326/6/4/044025. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/6/4/044025>. Dostop 17. februarja 2022.
- IPCC 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 31 str. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Dostop 1. februarja 2021.
- Kopp, G., Lean, J. L., 2011: *A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance*. *Geophysical Research Letters*, 38 (1): L01706. Doi:10.1029/2010GL045777. <https://www.researchgate.net/publication/251438362>. Dostop 17. februarja 2022.
- Ljubotina, M., Žnidarič, M., Prosen, T., 2019: *Kardar-Parisi-Zhang physics in the quantum Heisenberg magnet*. *Physical Review Letters*, 122: 210602. <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.122.210602>. Dostop 17. februarja 2022.
- Manabe, S., Strickler, R., 1964: *Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Convective Adjustment*. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 21 (4): 361-385, (ametsoc.org). Dostop 17. februarja 2022.
- Manabe, S., Smagorinsky, J., Strickler, R. F., 1965: *Simulated Climatology of General Circulation with a Hydrologic Cycle*. *Monthly Weather Review*, 93 (12): 769-798, (ametsoc.org). Dostop 17. februarja 2022.
- Manabe, S., Wetherald, R., 1967: *Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity*. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 24 (3): 241-259. https://journals.ametsoc.org/view/journals/at/24/3/1520-0469_1967_024_0241_teotaw_2_0_co_2.xml. Dostop 17. februarja 2022.
- Manabe, S., Wetherald, R. T., 1975: *The Effects of Doubling the CO₂ Concentration on the climate of a General Circulation Model*. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 32 (1): 3-5. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1975\)032<0003:TEODTC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1975)032<0003:TEODTC>2.0.CO;2). Dostop 17. februarja 2022.
- Max-Planck-Gesellschaft, 2021: <https://www.mpg.de/17673145/klaus-hasselmann-nobel-prize-physics-2021-background>.
- Milanković, M., 1941: *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*. *Königlich Serbische Akademie, Belgrad*, 633 str. Dostop 17.

februarja 2022.

Nobelov odbor, 2021: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/>. Dostop 17. februarja 2022.

Parisi, G., 1979a: *Toward a Mean Field Theory for Spin Glasses*. *Physics Letters A*, 73 (3): 203–205.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0375960179907084>. Dostop 17. februarja 2022.

Parisi, G., 1979b: *Infinite number of order parameters for spin-glasses*. *Physical Review Letters*, 43, 1754.

<https://journals.aps.org/prl/issues/43/23>. Dostop 17. februarja 2022.

Phillips, N. A., 1956: *The general circulation of the atmosphere: A numerical experiment*.

Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 82 (352): 123–164. <https://doi.org/10.1002/qj.49708235202>. Dostop 17. februarja 2022.

Rakovec, J., 2009: *Metode paleoklimatologije*. *Proteus*, 72 (2): 54–64. <http://www.proteus.si/wp-content/uploads/2016/11/proteus-oktober-09-low.pdf>. Dostop 17. februarja 2022.

Smagorinsky, J., Manabe, S., Holloway, J. L.,

1965: *Numerical Results from a Nine-Level General Circulation Model of the Atmosphere*. *Monthly Weather Review*, 93 (12): 727–768. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1965\)093<0727:NRFANL>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1965)093<0727:NRFANL>2.3.CO;2). Dostop 17. februarja 2022.

Stephens, G. L., O'Brien, D., Webster, P. J.,

Pilewski, P., Kato, S., Li, J., 2015: *The albedo of Earth*. *Reviews of Geophysics*, 53 (1): 141–163. doi: [10.1002/2014RG000449](https://doi.org/10.1002/2014RG000449). <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014RG000449>. Dostop 17. februarja 2022.

Talagrand, M., 2006: *The Parisi Formula*. *Annals of Mathematics*, 163: 221–263. <http://annals.math.princeton.edu/wp-content/uploads/annals-v163-n1-p04.pdf>. Dostop 17. februarja 2022.

Dostop 17. februarja 2022.

Dostop 17. februarja 2022.

Dostop 17. februarja 2022.

Dostop 17. februarja 2022.

Hidrogeli kot sistemi za ciljno dostavo zdravilnih učinkovin na tarčno mesto • Medicina in farmacija

Hidrogeli kot sistemi za ciljno dostavo zdravilnih učinkovin na tarčno mesto

Tilen Kopač, Aleš Ručigaj, Matjaž Krajnc

Ciljna dostava zdravilnih učinkovin v želenih koncentracijah na tarčno mesto delovanja v človeškem telesu je eno izmed najpomembnejših raziskovalnih področij v medicini in farmaciji. Danes poznamo mnogo učinkovin za zdravljenje najrazličnejših bolezni, vendar pa je glavni problem dostava učinkovin na zeleno mesto delovanja (Chai in sod., 2017). Različne bolezni najpogosteje zdravimo z zdravili v obliki tablet, kar pomeni, da se tablete začnejo raztapljati že v ustih. Željeno mesto učinkovina zato doseže v bistveno nižji koncentraciji. Da bi se temu izognili, povečujejo začetno koncentracijo zdravilne učinkovine, kar pa ima lahko številne nezaželene stranske učinke, saj učinkovina med transportom (potovanjem) skozi požiralno votlino vpliva na zdrava

tkiva. Ob previsoki začetni koncentraciji zdravilne učinkovine v tableti lahko pride do negativnega delovanja na zdrave dele v človeškem telesu, kar zdravstveno stanje le še poslabša. Natančno odmerjanje je še posebej težavno ali nemogoče pri zelo močnih zdravilih. Vnašanje zdravil v telesne votline (rektalno, vaginalno) je pogosto nepraktično ali neizvedljivo, saj se učinkovine na mestu delovanja lahko razgradijo (na primer zaradi nizkega pH v želodcu) in povzročijo lokalno draženje ali poškodbe, zlasti ko je koncentracija zdravila visoka (Vashist in sod., 2013). Zaradi navedenih negativnih lastnosti klasičnih načinov apliciranja (vnašanja) zdravil je ključnega pomena, da zdravilno učinkovino dostavimo izključno na mesto delovanja. Pri tem zaščitimo učinkovino

pred razkrojevalnimi dejavniki v človeškem telesu in onemogočimo negativno delovanje učinkovine na neželenih mestih med prenosom. Po drugi strani na takšen način zmanjšamo koncentracijo zdravila (niso potrebne presežne koncentracije zaradi morebitnih izgub med prenosom) in tako znižamo obremenitev zdravljenja na bolnika.

Poleg tarčne dostave zdravilnih učinkovin na želeno mesto je ključnega pomena hitrost sproščanja učinkovine na tem mestu, ki je odvisna od vrste in koncentracije učinkovine, uporabe (aplikacije), vrste bolezni in faze zdravljenja. Glede na stanje bolezni in učinkovine lahko načrtujemo hidrogel, iz katerega se učinkovina sprošča z nadzorovano hitrostjo. Tarčna dostava zdravilnih učinkovin in nadzorovana hitrost sproščanja na ciljnim mestu tako znižata obremenitev bolnika, povišata učinkovitost zdravljenja, zmanjšata negativne stranske učinke zdravljenja in tudi znižata ceno zdravljenja. Razvoj dostavnih sistemov učinkovin z nadzorovanim sproščanjem je zato eno izmed najbolj raziskovanih področij v medicini in farmaciji. Med dostavnimi sistemi so najbolj razširjeni hidrogeli (Hoare, Kohane, 2008). Uporabljajo se za oralno, očesno, povrhnjično, rektalno in podkožno aplikacijo. Pogosto so uporabljeni v klinični praksi in eksperimentalni medicini za široko paleto aplikacij. Poleg uporabe v dostavnih sistemih učinkovin se hidrogeli uporabljajo v tkivnem inženirstvu in regenerativni medicini (zaradi visoke vsebnosti vode, poroznosti in mehke strukture so bolj kot kateri koli drugi sintetični biomateriali podobni naravnim tkivom, zato jih uporabljajo v proizvodnji kontaktnih leč, higienskih izdelkov, matric v tkivnem inženirstvu, v sistemih dostave zdravil in tudi za oskrbo ran), diagnostiki, celični imobilizaciji, za ločevanje biomolekul ali celic in kot pregradni materiali za uravnavanje bioloških adhezij (Chai in sod., 2017; Hoare, Kohane, 2008).

Hidrogeli

V literaturi navajajo več različnih definicij hidrogelov. Najpogosteje omenjajo, da je hidrogel zamrežena polimerna mreža, ki nabrekne v vodi. Pogosto hidrogel definirajo tudi kot polimerni material, ki ima sposobnost, da nabrekne in v svoji strukturi zadrži pomemben delež vode, vendar se v vodi ne raztopi (Ahmed, 2015). Če povzamemo, hidrogeli so lahko izdelani iz skoraj katerega koli vodotopnega polimera, ki ima sposobnost povezovanja polimernih verig z različnimi interakcijami v trirazsežno polimerno mrežo. Ta proces imenujemo zamreževanje. Polimerna mreža mora biti hidrofilna, kar ji omogoča sposobnost absorpcije velike količine vode ali drugih bioloških tekočin. Ta proces imenujemo nabrekanje. Nabrekanje lahko ponazorimo kot polnjenje mreže z vodo, podobno kot na primer polnjenje vodnega balona. Pri nabrekanju se polimerna mreža razširi in pri tem spremeni mehanske lastnosti. Sposobnost hidrogelov, da absorbirajo vodo (nabrekajo), izvira iz hidrofilnih funkcionalnih skupin, ki so pritrjene na površini polimerov (najpogosteje gre za hidroksilne funkcionalne skupine –OH). Hidrofilne skupine v polimerni mreži postanejo v vodnih medijih hidrirane (spojene z vodo) in tako tvorijo hidrogelno strukturo. Na drugi strani pa zamrežitev med polimernimi verigami povzroči hidrofobnost mreže, kar povzroči odpornost proti raztapljanju. V tem trenutku material dobi hidrogelne lastnosti. Edinstvene fizikalne lastnosti, kot so visoka vsebnost vode, mehkooba, fleksibilnost (spremenljivost) in biokompatibilnost (biološka združljivost) so razlog, da so hidrogeli postali zelo priljubljeni v zdravstvenih raziskavah. Njihovo visoko porozno strukturo lahko enostavno nadzorujemo z nadziranjem gostote zamreženja in z afiniteto hidrogelov do vodnega okolja, v katerem so nabrekli. Njihova poroznost prav tako dovoljuje naganje zdravil v hidrogelno mrežo in jih kasneje sprosti s hitrostjo, odvisno od difuzijskega koeficienta majhne molekule oziro-

ma makromolekule učinkovine, skozi gelsko mrežo. Biološko združljivost spodbujamo z visoko vsebnostjo vode v hidrogelu, biorazgradljivost in sprememba lastnosti hidrogelne mreže, ki povzroči sproščanje učinkovine, pa sta posledica okoljskih dejavnikov (na primer spremembe v temperaturi, pH, električnem polju). Biorazgradljiva narava hidrogelov je prednost pri sistemih za dostavo zdravil, saj prvotna trirazsežna struktura razpade v netoksične snovi. Hidrogelom lahko enostavno prilagajamo obliko, tako da se prilagodijo kateri koli obliki površine, na kateri se uporabljajo. To lastnost imenujemo deformabilnost. Kljub številnim prednostim pa imajo hidrogeli tudi številne omejitve. Visoka vsebnost vode in velik premer por lahko povzročita prehitro in nenadzorovano sproščanje, kar pa je lahko tudi posledica prešibkih povezav v hidrogelni mreži. Pogosto sta težavi visoka koncentracija in nehomogena razporeditev učinkovine po hidrogelu, kar je značilno predvsem za hidrofobne molekule. Nizka natezna trdnost številnih hidrogelov pa omejuje njihovo uporabo v nosilnih aplikacijah, kjer lahko pride do prehitrega raztapljanja ali nabrekanja od ciljnega mesta. Problematična je lahko tudi enostavnost uporabe. Kljub temu so nekateri hidrogeli dovolj deformabilni, da jih lahko vbrizgamo (injiciramo), ostale, bolj toge hidrokele pa je treba vstaviti kirurško. Takšne moramo kirurško vstaviti. Vsaka od omenjenih težav omejuje praktično uporabo hidrogelov za dostavo zdravil v zdravilne namene (Adepu in sod., 2021).

Hidrokele lahko razdelimo v več kategorij. Spodaj so naštet tiste, ki so ključne pri načrtovanju hidrogelov kot dostavnih sistemov učinkovin.

- **Razvrstitev glede na izvor polimera, ki je lahko naravni ali sintetični.** V medicini in farmaciji prevladuje uporaba naravnih polimerov (biopolimerov) zaradi značilnih zelenih bioloških lastnosti: obnovljivosti, biološke združljivosti,

biološke razgradljivosti in nizke toksičnosti. Najpogosteje uporabljeni naravni polimeri za pripravo hidrogelov so hitozan, alginat, agar, karagen, celuloza, želatina, heparin, hialuronska kislina, pektin, skleroglukan in ksantan. Po drugi strani pa lahko sintetičnim polimerom med sintezo lažje prilagajamo lastnosti, želene za načrtovanje hidrogelov. Zato so v zadnjih dveh desetletjih naravne hidrokele za različno uporabo postopoma nadomestili sintetični hidrogeli, ki imajo dolgo življenjsko dobo, visoko sposobnost vpijanja vode in visoko trdnost gela. Na srečo imajo sintetični polimeri običajno dobro definirane strukture, ki jih je mogoče spremeniti, da se zagotovita razgradljivost in funkcionalnost po meri. Hidrokele je mogoče sintetizirati iz čisto sintetičnih sestavin. Prav tako so stabilni v razmerah močnih nihanj temperature in pH. Najpogosteje uporabljeni sintetični polimeri za pripravo hidrogelov so poliakrilamid, poli(N-izopropilakrilamid), poliakrilna kislina, polihidroksietilmetakrilat, polietilen glikol in njegovi kopolimeri, polivinilpirolidon in polivinil alkohol.

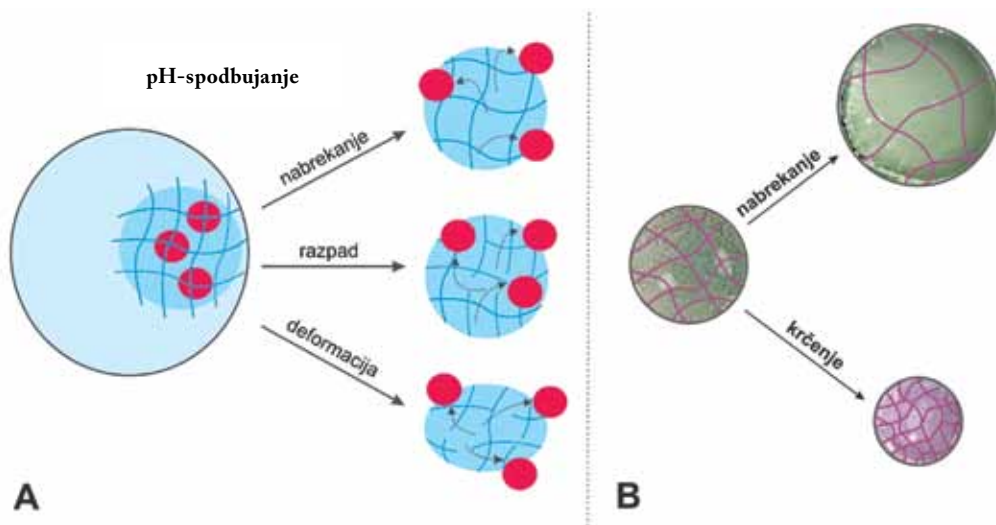
- **Razvrstitev glede na metodo priprave, ki lahko vsebuje uporabo več različnih polimerov.** Homopolimerni hidrogeli se nanašajo na polimerno mrežo, ki izvira iz ene vrste monomera, ki je osnovna strukturna enota, sestavljena iz katere koli polimerne mreže. Kopolimerni hidrogeli so sestavljeni iz dveh ali več različnih monomernih vrst z vsaj eno hidrofilno sestavino. Obstaja tudi multipolimerni hidrogel, ki je sestavljen iz dveh neodvisnih zamreženih sintetičnih in/ali naravnih polimernih sestavin, ki se nahajata v mrežni obliki. V takšnem hidrogelu je ena sestavina zamreženi polimer, druga pa nezamreženi polimer.

- **Razvrstitev glede na vrsto zamreževanja, ki je lahko fizikalno ali kemijsko.** Fizikalno zamreževanje je posledica povezovanja polimernih verig z van der Waalsovimi, hidrofobnimi, ionskimi, vodikovimi ali ostalimi elektrostatskimi vezmi. Takšno zamreževanje polimernih mrež ohranja njihovo biološko združljivost, biološko razgradljivost in netoksičnost, zato se takšni mehanizmi pogosteje uporabljajo v medicinske in farmacevtske namene. Po drugi strani pa so kemijsko zamrežene polimerne mreže praviloma močnejše in bolj odporne proti zunanjim dražljajem. Pri kemijskem zamreževanju najpogosteje nastanejo kovalentne vezi med polimernimi verigami.
- **Razvrstitev glede na obstoj ali neobstoj električnega naboja na zamreženih verigah.** Polimeri, ki tvorijo hidrogel, so lahko neionski (nevtralni), ionski (kationski ali anionski), amfolitični, ki vsebujejo tako kisle kot bazične skupine, in zwitterionski, ki vsebujejo tako anionske kot kationske skupine v vsaki struktur-

ni ponavljajoči se enoti. Poznavanje električnega naboja na površini hidrogelov je ključnega pomena za načrtovanje hidrogelov s tarčno dostavo (glede na pH v okolju) in za izbiro združljivega zamreževalnega sredstva (za fizikalno oziroma ionsko zamreževanje hidrogelov) (Ahmed, 2015).

Načrtovanje hidrogelov za ciljno dostavo učinkovin na želeno mesto delovanja

Hidrogel je, kot že omenjeno, zelo porozen material, pri čemer številne pore v hidrogelni mreži izkoristimo za nalaganje zdravilne učinkovine. Ko je velikost por v hidrogelni mreži večja od velikosti molekule učinkovine, je omogočen prenos učinkovine v hidrogelno mrežo. Nato lahko velikosti por hidrogela zmanjšamo do te mere, da postanejo manjše od velikosti učinkovine. V tem primeru je učinkovina ujeta v hidrogel in tako zaščitena pred razkrojevalnimi dejavniki v okolici ter s tem pripravljena za ciljno dostavo na tarčno mesto. Ko hidrogel pride do želenega mesta sproščanja, se pore hidrogela povečajo tako, da je omogočen prenos



Slika 1: Sprememba v strukturi hidrogelne mreže kot posledica spremembe v okolju pH (A), kar povzroči nabrekanje ali krčenje hidrogela (B). Črte predstavljajo različno velikost hidrogelne mreže, rdeči krogi pa molekulo učinkovine z določenim hidrodinamičnim radijem.

učinkovine iz hidrogela na tarčno mesto. Ta proces imenujemo sproščanje učinkovine. Načrtovanje hidrogelov za ciljno dostavo učinkovin na zeleno mesto delovanja vključuje preučevanje spremembe velikosti por na tarčnem mestu. Zato je treba natančno preučiti lastnosti tarčnega mesta in okolice za sproščanje ter ugotoviti bistveno spremembo tega okolja, ki sproži mehanizem sproščanja. Ta mehanizem temelji na spremembi vrednosti pH ter spremembi temperature, ionske jakosti in električnega ali magnetnega polja. Glede na kemijsko-biološke značilnosti človeškega telesa med mehanizmi sproščanja učinkovine prevladuje sprememba v pH (Koetting in sod., 2015). Ključni parameter pri tovrstni nadzorovani in ciljni dostavi zdravilnih učinkovin je namreč vrednost pH območja delovanja, kar pomeni potrebo po prilagoditvi lastnosti hidrogela v tolikšni meri, da sprememba vrednosti pH povzroči spremembo v njegovi strukturi (slika 1A). Kot je že bilo omenjeno, polimere za načrtovanje hidrogelov lahko delimo glede na prisotnost elektronskega naboja na površini. Sprememba okolja pH zato takšnim hidrogelom povzroči nabrekanje (širjenje polimerne mreže in povečevanje por v hidrogelni mreži) ali krčenje (zmanjševanje velikosti por v hidrogelni mreži) (slika 1B). Pri tem kot mejna vrednost velja pK_a funkcionalnih skupin z elektrostatskim nabojem. Anionski hidrogeli z negativnim nabojem na površini zaradi prisotnosti kislinskih funkcionalnih skupin ($-COOH$, $-SO_3H$) nabrekajo v bolj bazičnem okolju (oziroma natančneje, ko je pH okolja višji od pK_a funkcionalnih skupin) oziroma se skrčijo v bolj kislem okolju (pH manjši od pK_a). Prav nasprotno velja za kationske hidrogelove s pozitivnim nabojem na površini, ki so posledica bazičnih skupin ($-NH_2$) (Kocak in sod., 2016). V posebnih primerih, pri prenizki gostoti zamreženja, lahko nabrekanje poteka do popolnega razpada hidrogelne mreže in nenadzorovane sprostitve učinkovine na tarčnem mestu. Začetek sproščanja je mo-

goče doseči tudi z ostalimi spremembami lastnosti okolja. Tako kot pri spremembi vrednosti pH okolice, kjer je mejna vrednost nabrekanja oziroma krčenja pK_a funkcionalnih skupin, je pri spremembi temperature ključno določiti mejno temperaturo, pri kateri pride do spremembe v velikosti por v hidrogelni mreži. Takšne spremembe v strukturi hidrogelov lahko povzročijo tudi električni ali magnetni dražljaji (Li, Mooney, 2016).

Načrtovanje hidrogelov za nadzorovano sproščanje učinkovin na zelenem mestu delovanja

Običajni farmacevtski izdelki (tablete, kapsule, sirupi, praški, kreme in podobno) se zelo hitro izločijo iz telesa. Po zaužitju enkratnega običajnega odmerka se zdravilo presnavlja hitro, koncentracija zdravila se poveča, čemur sledi naglo zmanjšanje koncentracije učinkovine na zelenem mestu. Časovni okvir morda ne bo dovolj dolg, da bi povzročil pomemben zdravilni učinek in povzročil subterapevtski odziv (odmerek - koncentracija - zdravila, ki je nižji od tistega, ki se uporablja za zdravljenje bolezni ali doseganje optimalnega terapevtskega učinka). Zato je ohranitev koncentracije zdravila na tarčnem mestu nad minimalno učinkovito koncentracijo in pod toksično koncentracijo ključnega pomena. Dajanje več odmerkov v rednih časovnih presledkih se morda zdi alternativa enemu odmerku, vendar lahko že prvi odmerek povzroči nihanja v koncentraciji zdravila in pogosto doseže vrednosti pod učinkovitimi ali nad toksičnimi mejami. Jemanje več odmerkov v enem dnevu lahko povzroči izgubo nadzora nad količino odmerjenega zdravila, kar vodi do nevarnosti prevelikega odmerjanja. Drug pristop je aplikacija enkratnega odmerka, večjega od zahtevanega odmerka, kar vodi do neželenih učinkov. Zato je dostava učinkovin z nadzorovanim sproščanjem nujno potrebna za vzdrževanje njihove koncentracije na tarčnem mestu, kar zagotavlja zeleni zdra-

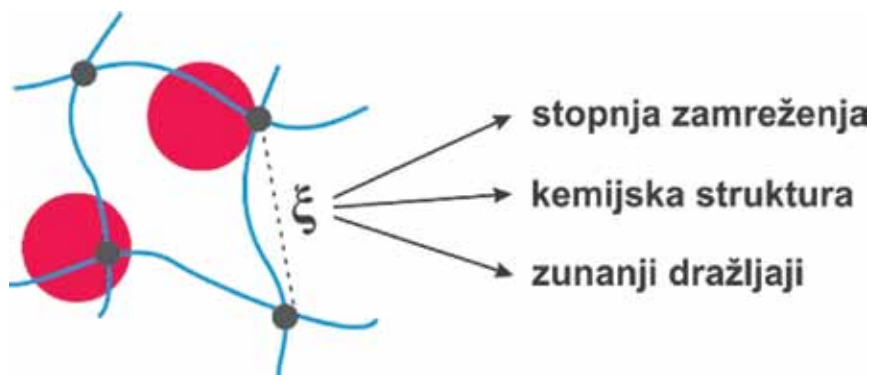
vilni učinek za daljše časovno obdobje (Li, Mooney, 2016).

Pri pripravi aplikacij z nadzorovanim sproščanjem učinkovine je bistvenega pomena velikost por v hidrogelni mreži, saj ta vpliva na možnost in hitrost sproščanja učinkovine. Velikost por je odvisna od gostote zamreženja, kemijske strukture biopolimera in zunanjih dražljajev (vrednosti pH, temperature, ionske moči) (slika 2). Nadzorovano sproščanje pomeni, da nadzorujemo natančno zahtevano koncentracijo učinkovine na ciljnem mestu. Pore v hidrogelu delujejo kot ovire za molekule učinkovine, kar pomeni, da manjše pore bolj ovirajo molekule učinkovine pri prenosu, s tem povečajo njihovo difuzijsko pot in tako znižajo hitrost sproščanja. Hidrogeli imajo pore velike v povprečju od enega do sto nanometrov. Molekulam podobne velikosti enostavno prilagajamo hitrost sproščanja. Pogosto pa imamo opravka z učinkovinami, katerih molekule so veliko manjše od najmanjšega premera por v hidrogelu, kar onemogoča ujetje učinkovine v hidrogelu in nadzor nad hitrostjo sproščanja. Visoko porozno strukturo hidrogelov lahko nadzorujemo z gostoto zamreženja v hidrogelni mreži. Višja gostota zamreženja pomeni manjšo velikost por in obratno. Gostoto zamreženja lahko dodatno povečujemo z zamreževalom (fizikalna ali kemijska

strategija zamreževanja). Povprečno velikost por v hidrogelni matriki imenujemo velikost mreže. Večina hidrogelov ima zaradi nehomogenosti (neenotnosti, neenovitosti) hidrogelne mreže in različnega števila ponavljajočih se enot polimera različno porazdelitev velikosti mreže. Na velikost mreže pa lahko vplivamo z dodatkom zamreževala ali s spremembo koncentracije polimera. Na velikost mreže vplivata tudi sprememba temperature in pH. Eno od najpomembnejših in najzahtevnejših področij pri sistemih za dostavo učinkovin je napovedovanje sproščanja učinkovine kot funkcije časa z uporabo preprostih matematičnih modelov (Kopač in sod., 2021), ki jih lahko uporabimo v fazi načrtovanja hidrogelov kot tudi pri testiranju mehanizmov sproščanja učinkovin iz hidrogelov (Kopač in sod., 2022).

Zaključek

Načrtovanje hidrogelov je ključnega pomena za razvoj primernih dostavnih sistemov, ki jim želene lastnosti narekuje vrsta aplikacije. Poznavanje lastnosti polimerov omogoča načrtovanje hidrogelov za dostavo učinkovin na želeno mesto delovanja. Vrsta zamreževanja ter nadzor nad koncentracijo polimera in zamreževala pa omogočata načrtovanje hidrogelov z nadzorovano hitrostjo, ki je primerna za zdravljenje. Hkratno upošteva-



Slika 2: Na velikost hidrogelne mreže vplivajo stopnja zamreženja, kemijska sestava in zunanji dražljaji. Črne točke na presečiščih modrih polimernih verig predstavljajo točke zamreženja, rdeče točke pa določeno velikost učinkovine, sorazmerno molekulske masi. Z grško črko eta (ϵ) je označena velikost hidrogelne mreže.

nje obeh mehanizmov omogoča oblikovanje hidrogelov z zelenimi lastnostmi. Takšni sistemi znižajo obremenitev bolnika, povečajo učinkovitost zdravljenja, zmanjšajo negativne stranske učinke zdravljenja in tudi znižujejo ceno zdravljenja.

Slovarček:

Dostavni sistemi učinkovin (angleško drug delivery systems). Tehnologija, zasnovana za ciljno dostavo in/ali nadzorovano sproščanje (zdravilnih) učinkovin.

Gostota zamreženja (angleško crosslink density). Množina verig ali segmentov, ki nastanejo pri zamreževanju. Opredeljena je na prostornino hidrogela.

Hidrofilnost (vodoljubnost). Opisuje lastnost nekaterih snovi, da so rade v stiku z vodo.

Hidrofobnost (vodomrznost) ali lipofilnost. Označuje lastnost nekaterih snovi, da odbijajo vodo.

Hidrogelna mreža (angleško hydrogel network). Trirazsežna struktura hidrogela, ki nastane kot posledica zamreževanja.

Nabrekanje (angleško swelling). Prodiranje topila (vode) v polimerno mrežo, kar povzroči nenadno spremembo volumna (prostornine).

pK_a . Negativna vrednost desetiškega logaritma vrednosti konstante disociacije kisline.

Sproščanje učinkovine (angleško drug release). Prenos učinkovine iz hidrogela v medij za sproščanje.

Sterično oviranje. Oviranje potovanja molekule iz hidrogela zaradi trirazsežne razporeditve prostorsko velikih polimernih verig.

Velikost mreže (angleško mesh size). Linearna razdalja med dvema sosednjima točkama zamrežitve.

Zamreževalo (angleško crosslinking agent). Ion ali molekula, ki omogočata zamreževanje.

Zamreževanje (angleško crosslinking). Proces tvorbe kemijskih vezi, v katerem se skupaj povežeta dve polimerni verigi.

Literatura:

- Adepu, S., Ramakrishna, S., Costa-Pinto, R., Oliveira, A. L., 2021: *Controlled drug delivery systems: Current status and future directions. Molecules*, 26 (19): 5905. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26195905>.
- Abmed, E. M., 2015: *Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. Journal of Advanced Research*, 6 (2): 105–121. <https://doi.org/10.1016/J.JARE.2013.07.006>.
- Chai, Q., Jiao, Y., Yu, X., 2017: *Hydrogels for biomedical applications: Their characteristics and the mechanisms behind them. Gels*, 3 (1): 6. <https://doi.org/10.3390/GELS3010006>.
- Hoare, T. R., Kohane, D. S., 2008: *Hydrogels in drug delivery: Progress and challenges. Polymer*, 49 (8): 1993–2007. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2008.01.027>.
- Kocak, G., Tuncer, C., Bütün, V., 2016: *pH-responsive polymers. Polymer Chemistry*, 8 (1): 144–176. <https://doi.org/10.1039/C6PY01872F>.
- Koetting, M. C., Peters, J. T., Steichen, S. D., Peppas, N. A., 2015: *Stimulus-responsive hydrogels: Theory, modern advances, and applications. Materials Science and Engineering: R: Reports*, 93: 1–49. <https://doi.org/10.1016/J.MSER.2015.04.001>.
- Kopač, T., Abrami, M., Grassi, M., Ručigaj, A., Krajnc, M., 2022: *Polysaccharide-based hydrogels crosslink density equation: A rheological and LF-NMR study of polymer-polymer interactions. Carbohydrate Polymers*, 277: 118895. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118895>.
- Kopač, T., Krajnc, M., Ručigaj, A., 2021: *A mathematical model for pH-responsive ionically crosslinked TEMPO nanocellulose hydrogel design in drug delivery systems. International Journal of Biological Macromolecules*, 168: 695–707. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.11.126>.
- Li, J., Mooney, D. J., 2016: *Designing hydrogels for controlled drug delivery. Nature Reviews Materials*, 1 (12): 1–17. <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.71>.
- Vashist, A., Vashist, A., Gupta, Y. K., Ahmad, S., 2013: *Recent advances in hydrogel based drug delivery systems for the human body. Journal of Materials Chemistry B*, 2 (2): 147–166. <https://doi.org/10.1039/C3TB21016B>.

Tilen Kopač je mladi raziskovalec na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani ter doktorski študent na področju kemijskega inženirstva. Njegovo raziskovalno delo je osredotočeno na matematično modeliranje in razvoj novih hidrogelov za ciljno uporabo v biomedicinskih aplikacijah.

Aleš Ručigaj je izredni profesor za področje kemijskega inženirstva na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani. Raziskuje polimerne materiale s spominskim učinkom in transportne mehanizme sproščanja učinkovin iz hidrogelov.

Matjaž Krajnc je profesor za področje kemijskega inženirstva na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani in vodja programske skupine Kemijsko inženirstvo, ki vključuje preučevanje transportnih pojavov, trajnostnega razvoja ter načrtovanja naprednih in pametnih (biorazgradljivih) polimernih materialov.

Spanje in epilepsija

Martin Natlačén

Epilepsija je skupina živčnih motenj, ki so jo nekoč imenovali božjast, saj je prevladovalo prepričanje, da je bolnika med napadom obsedel hudič. Tudi sama beseda epilepsija izvira iz starogrškega glagola, ki pomeni *mučiti, zgrabiti* (Magiorkinis, Sidiropoulou, Diamantis, 2010). Danes vemo o vzrokih te raznolike bolezni precej več in ena od zanimivih povezav, ki smo jo odkrili, je povezava s spanjem. Spanje in epilepsija sta tesno povezana, oba sta povezana s plastičnostjo možganov. Plastičnost možganov pomeni, da se moč povezave med nevroni, ta pa je odvisna od aktivnosti, ves čas spreminja. Ta mehanizem je temelj shranjevanja informacij v možganih (Halász, Bódizs, Ujma, Fabó, Szűcs, 2019).

Epileptični napad in epilepsija

Epileptični napad je pojav prehodnih znakov in simptomov, ki so posledica prevelike ali preveč sinhronizirane dejavnosti nevronov v možganih. Kakšni so ti simptomi, je odvisno od mesta izvora prevelike nevrnske dejavnosti, smeri širjenja, razvitosti možga-

nov, morebitnih zdravil, ki jih bolnik jemlje, in številnih drugih dejavnikov. Kažejo se lahko na primer kot motnje čutne zaznave, gibanja, spomina ali tudi avtonomnih funkcij - na primer potenja ali inkontinence (nezmožnosti zadrževanja seča ali blata) (Fisher, Boas, Blume, Elger, Genton, Lee, Engel, 2005). Epileptične napade lahko razvrščamo na različne načine. Ločimo žariščne, ki se začnejo v eni možganski polovici, in splošne (generalizirane), ki se verjetno začnejo v globljih možganskih strukturah in se potem sočasno širijo v obe polovici možganov. Druga možna delitev je na preproste, kjer je zavest med napadom ohranjena, in kompleksne, kjer je zavest vsaj do neke mere motena (Lindsay, Bone, Fuller, Callander, 2010).

Ob epileptičnem napadu pride do motnje v normalnem delovanju nevronov. Ti postanejo preveč dejavni. Vzroke, zakaj do tega pride, si bomo podrobneje ogledali na primerih. Če pa pri bolniku iz različnih vzrokov pride do sprememb v nevrnski strukturi ali v njihovih fizioloških procesih, te spremem-



Elektroencefalografske (EEG) meritve med spanjem. Vir: Steady Health, 2020: Nocturnal Seizures (Seizures During Sleep): Should I Be Treated For Epilepsy? <https://www.steadyhealth.com/medical-answers/nocturnal-seizures-seizures-during-sleep-should-i-be-treated-for-epilepsy>. (20. 5. 2022.)

1. Žarišni napadi (parcialni, povezani z mestom nastanka)

Razvrstitev po mestu nastanka (čelni, senčni, temenski, zatilni reženj) in stopnji prizadetosti:

Izvor na skorji

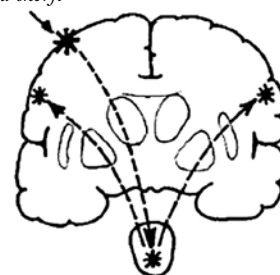


A. Preprosti žarišni napad
Zavest je ohranjena

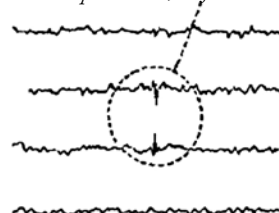
B. Kompleksni žarišni napad,
ki ga spremlja različna
stopnja izgube zavesti

C. Žarišni napadi, ki se
razvijejo v tonično/klonične
konvulzije

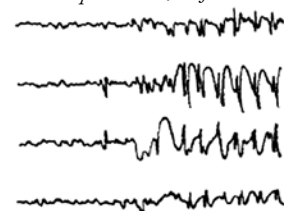
Izvor na skorji



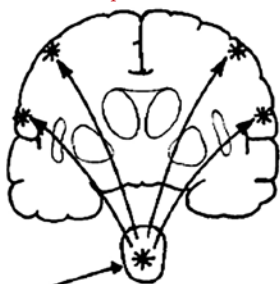
Žarišna nepravilnost, ki jo kaže EEG



Žarišna → generalizirana
nepravilnost, ki jo kaže EEG



2. Generalizirani napadi (konvulzivni ali nekonvulzivni).



Izvor pod skorjo

A. Absence (napadi s kratko izgubo zavesti)

B. Mioklonični napadi

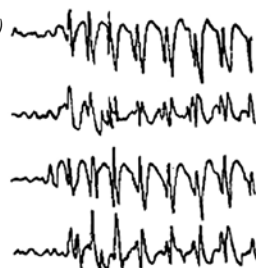
C. Klonični napadi

D. Tonični napadi

E. Tonično-klonični napadi

F. Atonični napadi

Generalizirana nepravilnost, ki jo kaže EEG



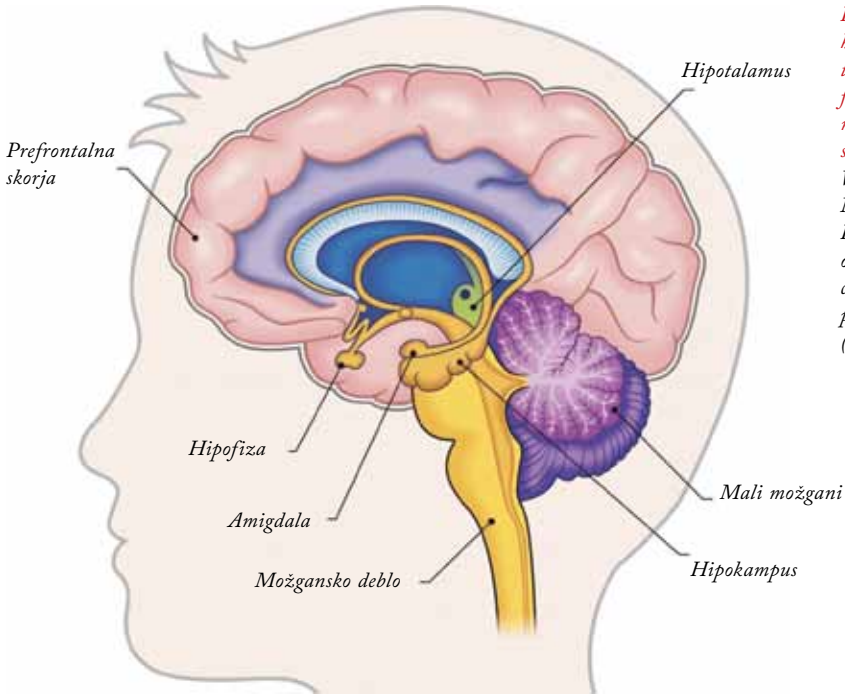
3. Nerazvrščeni napadi (včasih imamo premalo informacij za razvrščanje epileptičnih napadov).

Vrste epileptičnih napadov in njihov zapis na elektroencefalogramu (EEG). Vir: Lindsay, K., Bone, I., Fuller, G., 2010: *Neurology and neurosurgery illustrated*. Churchill Livingstone. (29. 6. 2022).

be omogočajo epileptično preoblikovanje nevronov in nastopi epilepsija. To je živčna motnja, za katero je značilno povečano tveganje za nastanek epileptičnih napadov (Fisher, Boas, Blume, Elger, Genton, Lee, Engel, 2005).

Spanje in plastičnost možganov

Spanje je zoženo stanje zavesti, iz katerega se človek lahko prebudi zaradi čutnega dražljaja (Ellenbogen, Jeffrey, Cartwright, Rosalind, Foulkes, David, Mograss, Melodee, Dang-Vu, Thien Thanh, 2022). Po tem se spanje tudi loči od kome, ki je globoko



Hipotalamus, hipokampus, amigdala ter retikularna formacija in pons v možganskem deblu sodelujejo pri spanju.

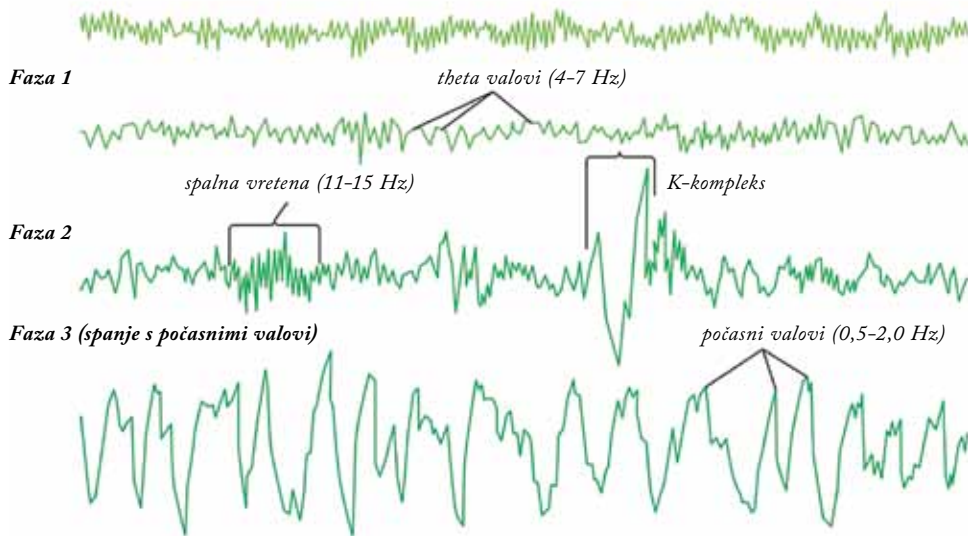
Vir: Operative Neurosurgery, 2022: Hippocampus <https://operativeneurosurgery.com/doku.php?id=hippocampus>. (29. 6. 2022.)

stanje daljše nezavesti, iz katere se oseba ne more zbuditi in v kateri se ne odziva na bolečinske, svetlobne ali zvočne dražljaje (Weyhenmyeye, Gallman, 2007). Zanimivo je, da je spanje posledica dejavnosti v delih možganov, ki so odgovorni za spanje, in ne splošnega zmanjšanja draženja možganske skorje. Če te predele dražimo, lahko izvabimo spanec, če pa so poškodovani, je spanje nemogoče (Lindsay, Bone, Fuller, Callander, 2010).

Med spanjem se ciklično menjata dve obdobji. Spanje REM (angleško *rapid eye movement*, hitro premikanje očes) zaznamujejo hitri gibi oči, trzanje mišic in nihanje temperature, pritiska in srčnega utripa. V tem obdobju tudi sanjamo. Če se zbudimo, se sanj spomnimo. Spanje REM izvira iz retikularne formacije v ponsu, ki je del možganskega debla. Drugo obdobje je spanje NREM (angleško *non-rapid eye movement*, nehitro premikanje očes). Zanj je značilna odsotnost gibov z očmi, nihanja temperature, tlaka in utripa, mišičnih krčev in sanj.

Spanje NREM izvira iz jeder raphe, ki se nahajajo v ponsu in podaljšani hrbtenjači. Razlike med spanjem REM in NREM lahko razberemo tudi iz grafoelementov na elektroencefalogramu, zapisu naprave, ki se imenuje elektroencefalograf. Napravo uporablja elektroencefalografija (kratica EEG). To je slikovna tehnika, ki meri električno dejavnost možganskih struktur skozi lasišče (skalp) z elektrodami na površju kože (Teplan, 2002). Grafoelementi so vzorci na elektroencefalogramu, ki jih lahko jasno razločimo od dejavnosti v ozadju (Kane, Acharya, Benickzy, Caboclo, Finnigan, Kaplan, Shibasaki, Pressler, van Putten, 2017).

Spanje NREM zavzema približno 75 odstotkov časa spanja in je sestavljeno iz treh faz, pri tem je vsaka faza spanca globlja. V prvi fazi na elektroencefalogramu zaznamo valove theta. Drugo fazo zaznamujejo spalna vretena in K-kompleksi (Patel, Reddy, Araujo, 2022). Spalna vretena na elektroencefalogramu so posledica kratkih, močnih proženj akcijskega potenciala v nevronih

Elektroencefalogram (EEG) prikazuje značilno možgansko valovanje med spanjem in budnostjo**Budnost (sproščeno stanje)****Različne faze spanja na elektroencefalogramu.**

Vir: *Encyclopaedia Britannica*, 2013: Sleep, <https://www.britannica.com/science/sleep>. (29. 6. 2022.)

in imajo pomembno vlogo pri utrjevanju spomina. Izvirajo iz kortiko-talamičnega sistema. To je sistem nevronov, ki povezujejo možgansko skorjo in talamus (Antony, Schönauer, Staresina, Cairney, 2019). K-kompleksi pa so visoki posamezni valovi delta, ki trajajo približno eno sekundo in so pomembni za ohranjanje spanja in tudi utrjevanje spomina (Gandhi, Emmady, 2021). Za tretjo, najglobljo fazo so značilni valovi delta, ki imajo najnižjo frekvenco in najvišjo amplitudo. Zanimivo pri tej fazi je, da je osebo v tem obdobju izjemno težko zbuditi, ko pa jo zbudimo, bo še približno pol ure občutila zmanjšano mentalno (duševno) sposobnost. V tej fazi telo obnavlja tkiva, gradi kosti in mišice ter krepi imunski sistem (Patel, Reddy, Araujo, 2022). Po treh fazah spanja NREM je na vrsti spanje REM. Na elektroencefalogramu lahko vidimo valove beta, ki so podobni tistim med budnostjo. Možgani so med to stopnjo zelo dejavni.

Spanje ima pomembno vlogo pri plastičnosti možganov. Raziskave kažejo, da je najpomembnejša naloga spanja pri tvorbi spominov v njihovem utrjevanju. To se nanaša na procesiranje spominskih sledi. Te se ponovno aktivirajo, analizirajo in vgradijo v dolgoročni spomin. Deli možganov, ki so bili bolj dejavni med učenjem, se namreč ponovno aktivirajo med spanjem, to pa omogoča krepitev povezav med nevroni in posledičnim utrjevanjem spomina. Ta proces lahko med drugim opazujemo tudi v hipokampusu. Ta je del možganov, ki ima pomembno vlogo v dolgoročnem spominu. Tudi grafoelementi, ki jih najdemo med spanjem NREM, so verjetno pomembni za plastičnost možganov. Spalna vretena in počasni valovi se namreč pojavljajo skladno z ritmičnimi vrhovi v možganski skorji in talamusu. Povezujemo jih s trajnimi spremembami vzdraženosti nevronov (Dang-Vu, Desseilles, Peigneux, Maquet, 2006).

Epileptično preoblikovanje in vloga spanja

Povezavo med epilepsijo in spanjem sta prva opisovala že Aristotel in Hipokrat (Magiorkinis, Sidiropoulou, Diamantis, 2010). V 19. stoletju je Gowers opazil, da ima petina oseb z epilepsijo napade samo med spanjem, kasneje pa se je pokazalo, da se napadi pojavljajo večinoma med spanjem NREM (Gowers, 1885). Čeprav je epilepsija zelo raznorodna motnja, pa v zadnjem času pri skoraj vseh oblikah epilepsije opazimo podoben vzorec nastanka in razvoja bolezni. To podpira tudi odkritje visokofrekvenčnih epileptičnih oscilacij (angleško *high-frequency oscillations, HFO*) na elektroencefalogramu, ki bi lahko predstavljale splošno veljavni označevalec epilepsije (Frascher, Bartolomei, Kobayashi, Cimbalknik, van 't Klooster, Rampp, Otsubo, Höller, Wu, Asano, Engel Jr., Kahane, Jacobs, Gotman, 2017). Dolgoročna tvorba spomina in nastanek epilepsije (epileptogeneza) imata na delovanje nevronov podobne učinke. Pri tvorbi spomina ponavljajoče draženje enega nevrona povzroči dolgoročno okrepitev povezave z drugim nevronom in njegovega proženja, kar sproži nastanek engrama oziroma spominskega vtisa (Buzsáki, 1986). V epileptičnih možganih močno draženje pogosto prav tako povzroča nastanek engramov ter kasnejša spontana proženja akcijskih potencialov in epileptične napade. Na ta način epilepsija spremeni delovanje možganskih sistemov in jih pogosto tudi prizadene. V novejših študijah epileptično delovanje možganov opisujejo predvsem kot preveliko in premočno delovanje oziroma iztirjenje normalnih možganskih funkcij plastičnosti (Halász, Bódizs, Ujma, Fabó, Szűcs, 2019). Spanje NREM olajša epileptični napad. V interiktalnem obdobju, torej obdobju med epileptičnimi napadi, se pri osebah z epilepsijo na elektroencefalogramu pojavljajo značilni ostri vrhovi ali kompleksni ostri vrhovi in počasni valovi. Imenujemo jih interiktalna epileptiformna proženja (angleško *interic-*

tal epileptiform discharges, IED). Pomanjkanje spanja po drugi strani še dodatno poveča aktivacijo interiktalnih epileptiformnih proženj med obdobjem spanja, kar povzroča še večjo epileptično aktivnost. Navzočnost interiktalnih epileptiformnih proženj je največja v začetnih spalnih ciklih in se zmanjšuje med vsakim sledečim spalnim ciklom. Ti vrhovi naj bi imeli škodljiv vpliv na spoznavni razvoj posameznika z epilepsijo, saj se pojavljajo hkrati z električnimi pojavi, ki so pomembni za shranjevanje spomina in delovanje drugih spoznavnih funkcij (Halász, Bódizs, Ujma, Fabó, Szűcs, 2019).

S spanjem povezane oblike epilepsij

Nekatere oblike epilepsij so zelo tesno povezane s spanjem, predvsem s spanjem NREM. V kakšni obliki se izrazijo, je odvisno od tega, v katerem delu možganov prihaja do sprememb. Epilepsije z absencami so skupina epilepsij, za katere so značilni kratkotrajni napadi izgube zavesti s prenehanjem dejavnosti. Pojavljajo se predvsem pri otrocih, kjer se absence (kratkotrajni napadi) lahko pojavijo več kot stokrat na dan in znatno ovirajo vsakodnevne dejavnosti. Po napadu se bolnik vrne k izvajanju prejšnje aktivnosti (Crunelli, Leresche, 2002). Na elektroencefalogramu lahko pri absencah opazimo značilne strukture, imenovane vrhovi trn-val. Njihov izvor je tako kot pri spalnih vretenih v kortiko-talamičnem sistemu. To kaže, da nastanejo vrhovi trn-val zaradi spremembe impulzov za aktivacijo spalnih vreten, do tega pa pride zaradi epileptičnega iztirjenja procesov v kortiko-talamičnem sistemu (Bal, von Krosigk, McCormick, 1995). Ali se bo izrazila normalna (spalno vreteno) ali bolezenska (trn-val) oblika, je odvisno od stopnje sinhronizacije med nevroni v kortiko-talamičnem sistemu. Zaradi nizkofrekvenčnega valovanja in produkcije spalnih vreten je kortiko-talamični sistem še posebej nagnjen k preoblikovanju in tvorbi vrhov trn-val (Halász, Bódizs, Ujma, Fabó, Szűcs, 2019).

Še ena oblika epilepsije, kjer ima ključno vlogo spanje, je meziotemporalna epilepsija (angleško *mesial temporal lobe epilepsy, MTLE*). Napadi zajamejo medialne strukture senčnega (temporalnega) režnja. Najpogosteje izvirajo v hipokampusu, ki je pomemben za utrditev spomina. Bolniki imajo lahko avre (kratkotrajna subjektivna doživetja) - to so simptomi, ki se pojavljajo tik pred napadom -, deja vu ali občutek, da smo že doživeli stvari se nam dogajajo prvič, občutke panike, strahu in slabost. Pri kompleksnih napadih ima lahko bolnik zastrt pogled, se ne zaveda okolice ali je zmeden. Pogosti so kompulzivni gibi rok in tleskanje z ustnicami (Nayak, Bandyopadhyay, 2022). Za hipokampus so na elektroencefalogramu značilni ostri valovi in vretena (angleško *sharp waves and ripples, SPW-R*), ki so pomembni pri spominski funkciji (Buzsáki, 1989). So podobni epileptičnim vrhovom pri interiktalnih epileptiformnih proženjih, le da so krajši in imajo nekoliko nižjo amplitudo (Buzsáki, 2015). To kaže, zakaj je hipokampus najpogostejši izvor napadov v možganih. Poskusi na živalih kažejo, da povečano spreminjanje ostrih valov v interiktalnih epileptiformnih proženjih moti utrjevanje spomina v senčno-čelnem režnju. (Gelinas, Khodagholy, Thesen, Devinsky, Buzsáki, 2016). To je verjetno razlog za motnje v spominu in morda tudi za izgubo stika z resničnostjo med napadom pri bolnikih z meziotemporalno epilepsijo.

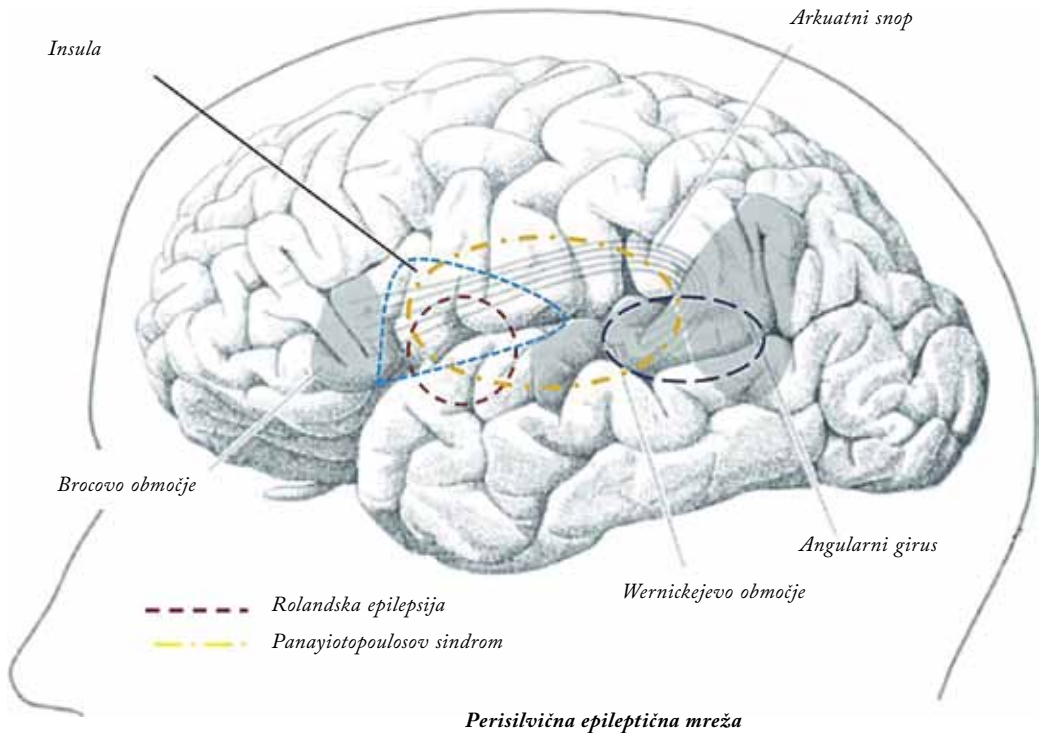
Spanje vpliva tudi na pojav epilepsij z izvorom v perisilvičnem predelu možganov, ki ima pomembno vlogo pri govoru, branju/pisanju in delavnem spominu (Catani, Jones, 2005). Zaradi svoje vloge pri človeškem sporazumevanju je ta predel kritičen pri razvojnih napakah. Epilepsije, ki izvirajo iz tega predela, sodijo v skupino epilepsij, imenovanih idiopatske fokalne otroške epilepsije. Na elektroencefalogramu pri teh stanjih pogosto najdemo značilne strukture, najpogosteje centrotemporalne vrhove (CTS), ki izvirajo iz spodnjega dela precentralne

vijuge v čelnem in temenskem režnju možganov (Halász, Kelemen, Rosdy, Rásonyi, Clemens, Szűcs, 2019).

Čeprav imajo te sindrome večinoma za benigno, pa se pojavljajo številni primeri, ko bolniki razvijejo konkretno izgubo govornih sposobnosti in splošno usihanje duševnega (mentalnega) stanja. Med spanjem NREM interiktalna epileptiformna proženja preplavijo možgansko skorjo, kar povzroči električni status epilepticus med spanjem (angleško *electrical status epilepticus in sleep, ESES*). To je oblika epilepsije, ki se kaže z različnimi tipi epileptičnih napadov, vedénjskimi motnjami in značilnim vzorcem vztrajajočih vrhov in valov na elektroencefalogramu med spanjem NREM (Brazzo, Carmela, Fasce, Papalia, Balottin, Veggiotti, 2012). Na elektroencefalogramu lahko vidimo skoraj stalno proženje kompleksov trn-val, bolnik pa doživi zastoj v duševnem razvoju in ponavljajoče, generalizirane epileptične napade (Tassinari, Rubboli, Volpi, Meletti, d'Orsi, Franca, Sabetta, Riguzzi, Gardella, Zaniboni, Michelucci, 2000).

Za razliko od prej opisanih poti nastanka epilepsije tu ne gre za bolezensko spremembo določene spalne oscilacije, pač pa so centrotemporalni vrhovi posledica specifične napake v perisilvičnem predelu možganov (Halász, Szűcs, 2020). Centrotemporalne vrhove lahko najdemo tudi pri otrocih z avtizmom (bolezenska zaprtost vaze; razvojna motnja v delovanju nekaterih sistemov osrednjega živčevja, ki se kaže s pomanjkljivo socialno odzivnostjo, zoženimi zanimanji in stereotipnimi dejavnostmi) in ADHD (angleško *attention deficit hyperactivity disorder*, motnja aktivnosti in pozornosti).

Vse bolj se zdi, da so te bolezni morda le fenotipske različice istih genskih mutacij, kar pomeni, da se kljub enakemu genskemu zapisu te mutacije različno izrazijo (Halász, Bódizs, Ujma, Fabó, Szűcs 2019). Tako je tu vzrok verjetno nepravilni razvoj mreže perisilvičnega korteksa, ki se pokaže kot centrotemporalni vrhovi. Centrotemporalni



Izvor epilepsij v perisilvičnem območju. Vir: Seizure, European Journal of Epilepsy, 2019: Perisylvian epileptic network revisited, <https://www.seizure-journal.com/article/S1059-1311%2818%2930500-4/fulltext>. (29. 6. 2022.)

vrhovi se lahko razvijejo v idiopatske fokalne otroške epilepsije, te pa lahko napredujejo naprej v difuzne encefalopatije, kot je električni status epilepticus med spanjem (Halász, Szűcs, 2020). Tako imajo zanke in oscilacije spanja NREM pomembno vlogo v epileptičnem preoblikovanju in tvorijo jasno povezavo med spanjem in epilepsijo.

Zaključek

Spanje in epilepsija sta tesno povezana, saj oba sodelujeta pri procesu plastičnosti. Spanje ta proces spodbuja, epilepsija pa ga moti. Pri epilepsijah, ki so močno povezane s spanjem, pride do epileptičnega preoblikovanja v nekaterih zankah in oscilacijah spanja NREM, ki so posebej pomembne za plastičnost spanja, posledica pa so vzorci duševne prizadetosti, ki lahko kot pri mezi-

otemporalni epilepsiji prizadenejo samo spomin, lahko pa so obširnejši, kot se to kaže pri perisilvičnih sindromih. Lahko so spoznavne funkcije tudi nedotaknjene kot pri absencah. Spanje NREM spodbuja epileptične pojave, ti pa potem motijo spanje. To sproži začarani krog, ki vsako noč povzroča spremembe v možganski funkciji, še posebej v obdobju razvoja, in v delih možganov, ki sodelujejo pri plastičnosti.

Slovarček:

Akcijski potencial. Kratkotrajni prehodni preobrat membranskega potenciala vzdružene celice. Zmožnost celice, da sproži akcijski potencial, je osnovna lastnost vzdružnih celic (živčnih in mišičnih celic), ki omogoča prenos impulza po živčnih celicah ter krčenje mišičja (Guyton 2011).

Encefalopatija. Kakršna koli možganska bolezen ali motnja, ki povzroča osebnotne motnje in nevrološke simptome (*Slovenski medicinski slovar*).

Epileptiformno proženje. Ritmični možganski valovi, ki jih povezujemo z epilepsijo (Takeoka, 2022).

Jedra raphe. Skupina možganskih jeder, ki se nahajajo v možganskem deblu in imajo med drugim pomembno vlogo pri uravnavanju spalnega cikla in bolečine (Walker, Tadi, 2022).

Retikularna formacija. Skupina nevronov v možganskem deblu, ki prenaša čutne in gibalne signale med hrbtenjačo in možgani. Sodeluje pri nadzoru avtonomnih funkcij, mišičnih refleksov in ohranjanju zavesti (Bailey, Regina 2020).

Viri:

- Antony, J. W., Schönauer, M., Staresina, B., P., Cairney, S. A., 2019: *Sleep Spindles and Memory Reprocessing. Trends Neurosciences*, 42 (1): 1–3.
- Bailey, R., 2020: *Divisions of the Brain: Forebrain, Midbrain, Hindbrain*. Dostopno na: <https://www.thoughtco.com/divisions-of-the-brain-4032899>.
- Bal, T., von Krosigk, M., McCormick, D. A., 1995: *Role of the ferret perigeniculate nucleus in the generation of synchronized oscillations in vitro. Journal of Physiology*, 483: 665–685.
- Brazzo, D., Carmela Pera, M., Fasce, M., Papalia, G., Balottin, U., Veggiotti, P., 2012: *Epileptic Encephalopathies with Status Epilepticus during Sleep: New Techniques for Understanding Pathophysiology and Therapeutic Options. Epilepsy Research and Treatment*.
- Buzsáki, G., 1986: *Hippocampal sharp waves: their origin and significance. Brain Reserach*, 398: 242–252.
- Buzsáki, G., 2015: *Hippocampal sharp wave-ripple: A cognitive biomarker for episodic memory and planning. Hippocampus*, 25 (10).
- Catani, M., Jones, D. K., Ffytche, D. H., 2005: *Perisylvian language networks of the human brain. Annales of Neurology*, 57: 8–16
- Crunelli, V., Leresche, N., 2002: *Childhood absence epilepsy: Genes, channels, neurons and networks. Nature Reviews Neuroscience*, 3: 371–382.
- Dang-Vu, T. T., Desseilles, M., Peigneux, P., Maquet, P., 2006: *A role for sleep in brain plasticity. Pediatric Rehabilitation*, 9 (2): 98–118.
- Fisher, R. S., Boas, W. v. E., Blume, W., Elger, C., Genton, P., Lee, P., Engel Jr., J., 2005: *Epileptic Seizures and Epilepsy: Definitions Proposed by the International League Against Epilepsy (ILAE) and the International Bureau for Epilepsy (IBE). Epilepsia*, 46: 470–472.
- Frauscher, B., Bartolomei, F., Kobayashi, K., Cimbalk, J., van 't Klooster, M. A., Rampp, S., Otsubo, H., Höller, Y., Wu, J. Y., Asano, E., Engel, Jr., J., Kabane, P., Jacobs, J., Gotman, J., 2017: *High-frequency oscillations: the state of clinical research. Epilepsia*, 58: 1316–1329.
- Halász, P., Bódizs, R., Ujma, P. P., Fabó, D., Szűcs, A., 2019: *Strong relationship between NREM sleep, epilepsy and plastic functions – A conceptual review on the neurophysiology background. Epilepsy research*, 150: 95–105.
- Halász, P., Szűcs, A., 2020: *Sleep and Epilepsy Link by Plasticity. Frontiers in neurology*, 11: 911.
- Hall, J. E., Guyton, A. C., 2011: *Textbook of Medical Physiology (12th ed.)*. Philadelphia, Pennsylvania: Saunders Elsevier.
- Gandhi, M. H., Emmady, P. D., 2021: *Physiology, K Complex. StatPearls [Internet]. Treasure Island, Florida: StatPearls Publishing*.
- Gelinas, J., Khodagholy, D., Theisen, T., in sod., 2016: *Interictal epileptiform discharges induce hippocampal–cortical coupling in temporal lobe epilepsy. Nature Medicine*, 22: 641–648
- Gowers, W. R., 1885: *Epilepsy and Other Chronic Convulsive Diseases. Their Causes, Symptoms and Treatment*. New York: William Wood & Company, str. 255.
- Horita, H., Uchida, E., Maekawa, K., 1991: *Circadian rhythm of regular spike-wave discharges in childhood absence epilepsy. Brain and Development*, 13: 200–202.
- Kane, N., Acharya, J., Beniczky, S., Caboclo, L., Finnigan, S., Kaplan, P. W., Shibasaki, H., Pressler, R., van Putten, M., 2017: *A revised glossary of terms most commonly used by clinical electroencephalographers and updated proposal for the report format of the EEG findings. Revision 2017. Clinical neurophysiology practice*, 2: 170–185.
- Kolektivno avtorsko delo učiteljev in sodelavcev Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani, 2014: *Slovenski medicinski slovar. Tretja izdaja. Ljubljana: Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani*.
- Lindsay, K. W., Bone, I., Fuller, G., Callander, R., 2010: *Neurology and neurosurgery illustrated. Edinburgh: Churchill Livingstone*.
- Magiorkinis, E., Sidiropoulou, K., Diamantis, A., 2010: *Hallmarks in the history of epilepsy: epilepsy in antiquity. Epilepsy & Behavior*, 17 (1): 103–108.
- Nayak, C. S., Bandyopadhyay, S., 2022: *Mesial Temporal Lobe Epilepsy. StatPearls [Internet]. Treasure Island, Florida: StatPearls Publishing*.

Patel, A. K., Reddy, V., Araujo, J. F., 2022: *Physiology, Sleep Stages*. StatPearls [Internet]. Treasure Island, Florida: StatPearls Publishing.

Tassinari, C. A., Rubboli, G., Volpi, L., Meletti, S., d'Orsi, G., Franca, M., Sabetta, A. R., Riguzzi, P., Gardella, E., Zaniboni, A., Michelucci, R., 2000: *Encephalopathy with electrical status epilepticus during slow sleep or ESES syndrome including the acquired aphasia*. *Clinical neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 111, Suppl. 2: S94–S102.

Takeoka, M., 2022: *Epileptic and epileptiform encephalopathies clinical presentation: History, physical*

examination, Complications. Dostopno na: <https://emedicine.medscape.com/article/1179970-clinical>.

Teplan, M., 2002: *Fundamentals of EEG measurement*. *Measurement science review*, 2 (2): 1–11.

Walker, E. P., Tadi, P., 2022: *Neuroanatomy, Nucleus Raphe*. [Updated 2022 May 8.] In: StatPearls [Internet]. Treasure Island, Florida: StatPearls Publishing. Dostopno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544359/>.

Weybenmyeye, J. A., Gallman, E. A., 2007: *Rapid Review Neuroscience, E-Book, 1st Ed*. Philadelphia: Mosby/Elsevier, 177–179.



Martin Natlačen je študent 5. letnika Medicinske fakultete na Univerzi v Ljubljani. Poleg tega trenutno piše tudi Prešernovo nalogo o spanju in duševnem zdravju študentov medicine med študijem.

Ob zadnjem slovesu slovenskega odonatologa akademika Boštjana Kiaute • V spomin

Ob zadnjem slovesu slovenskega odonatologa akademika Boštjana Kiaute

Matija Gogala

26. marca letos je v starosti 85 let na kliniki v Utrechtu zaradi srčnega zastoja preminil profesor Boštjan (po nizozemsko Bastiaan) Kiauta. Bil je svetovno znani specialist za kačje pastirje, ki jim je namenil vse svoje življenje. In to od tistega dne leta 1952, ko sva se v mali delovni sobici Kiautovega stanovanja ob pregledovanju Kosovega vodnika po muzeju odločila, da si izbereva za zbiranje manj popularne skupine žuželk. To so bili po Boštjanovi izbiri kačji pastirji in po moji kljunate žuželke (stenice in škržadi). Temu izboru sva ostala zvesta z manj-

šimi odstopanji do danes. Bila sva namreč že od mladih let sošolca na Vadnici. Ta šola je bila na Resljevi cesti v Ljubljani. Tudi pozneje, na takratni Klasični gimnaziji, sva bila sošolca, vsaj na nižji gimnaziji, ki je takrat trajala do tretjega letnika. Pozneje pa se je Boštjan odločil za angleščino in posledično za paralelko. To je trajalo do sošolčeve izključitve iz te ustanove zaradi političnih razlogov. Kljub temu se je pozneje uspel vpisati na 2. državno gimnazijo, kjer je z enoletno zamudo maturiral. Seveda se je nato vpisal na študij biologije, ki je takrat



Boštjan z obvezno pipo in žena Marianne Kiauta leta 1997 pri kraškem kalu v Sloveniji. Foto: Matija Gogala.

spreminjal po vrsti razne krovne fakultete, ob letu vpisa na Naravoslovno fakulteto do končne Biotehniške. In na tej je sošolec Boštjan Kiauta leta 1959 diplomiral z diplomskim delom *Prispevek k poznavanju odonatne faune Slovenije*.

Od leta 1960 do leta 1961 je bil najprej zaposlen na Inštitutu za raziskovanje krasa v Postojni, kasneje pa od leta 1961 do leta 1962 tudi na Zavodu za spomeniško varstvo, kjer je uredil prvo številko publikacije *Varstvo narave*.

Leto 1952 je bil mejnik v Boštjanovi karieri, saj je takrat emigriral na Nizozemsko kot politični begunec. Tam je najprej dobil delo na inštitutu RIVON kot hidrobiolog. Od leta 1964 do upokojitve je bil nato vključen v raziskovalno delo Inštituta za genetiko Univerze v Utrechtu. V tem okviru je delal doktorat s temo *Studies of karyotypic evolution in Odonata (Raziskovanja kariotipske evolucije pri kačjih pastirjih)*, ki ga je obranil leta 1969. Na univerzi v Utrechtu je bil leta 1980 imenovan za rednega profesorja in pod njegovim mentorstvom je dozorelo približno 300 diplomskih in 35 doktorskih del.

Predaval je sistematiko protistov in citogenetiko nevretenčarjev, zlasti skupin knidarjev, mehkužcev, skakačev, trihopterov in kačjih pastirjev.

Živo ga je zanimala tudi visokogorska biologija in tako je vodil eno mednarodno in tri

nizozemske odprave v nepalsko Himalajo. Leta 1971 je bil med ustanovitelji Mednarodnega odonatološkega društva (*Societas Internationalis Odonatologica*) in je organiziral prvi evropski odonatološki simpozij. Eden od sklepov simpozija je bila ustanovitev revije *Odonatologica*, ki izhaja od leta 1972 do danes, od leta 1978 pa izhajajo tudi *Notulae odonatologicae*. Poleg tega je izdajal in urejal tudi serijo edicij *Opuscula zoologica fluminensia*, ki jo izdaja njegova založba *Ursus*. V letih od 1971 do 1990 je bil urednik ali sourednik znanstvenega časopisa *Genetica* in znanstvenih časopisov *Advances in Odonatology* iz Pariza in *Malangpo* iz Bangkoka. Skupno število strokovnih in znanstvenih člankov presega število 400. Presenetljivo je tudi število kratkih prikazov odonatoloških prispevkov tujih revij, saj je to težko predstavljenih 19.880 povzetkov. Velja pa navesti še eno visoko število, uredil je namreč več kot 1.400 rokopisov v uredniškem postopku. O delu dr. Boštjana Kiaute sta izšli dve njemu posvečeni knjigi, prva *Odonata: Biology of dragonflies (Odonata: biologija kačjih pastirjev)* leta 2007 in druga novejša *Dr. Bastian Kiauta, Odonatologist and Polymath (Dr. Boštjan Kiauta, odonatolog in Polymath)* leta 2019.

Nizozemska kraljica je profesorja Kiauto leta 2002 počastila z nazivom Vitez Oranje-Nassauskega reda. Leta 1981 je bil imenovan za častnega člana Mednarodnega odo-

natološkega društva. Nizozemsko odonatološko društvo pa mu je leta 2004 podelilo zlato odlikovanje.

Za vrsto let se je umaknil iz Slovenije, ker ni želel služiti vojakov v nekdanji komunistični domovini. Šele po osamosvojitvi Slovenije je ponovno večkrat obiskal Slovenijo. Na ožjo domovino ga vežejo poleg spominov na mlade dni zasluge za ustanovitev Slovenskega odonatološkega društva leta 1992 in kot organiziranje prvega regionalnega odonatološkega simpozija leta 1994. Leta 1997 je pomagal organizirati tudi XIV. mednarodni odonatološki simpozij v Mariboru. Seveda je bil tudi dejavni sodelavec slovenskih kačjepastirskih revij *Exuviae* in *Erjavecia*, predvsem s tehtnimi prispevki iz zgodnje zgodovine odonatologije. Za te in

druge zasluge ga je Slovensko odonatološko društvo izvolilo za častnega člana. Z Boštjanom sva bila ves čas v pisnih in osebnih stikih, zlasti po osamosvojitvi Slovenije, ko je prihajal v domovino in uporabljal svoje ljubljansko stanovanje.

Slovenska akademija znanosti in umetnosti ga je leta 2007 izvolila za člana in leta 2015 za rednega člana, torej akademika. Kljub želji, da se udeležuje sej naravoslovnega razreda, mu zadnje čase to ni bilo dano. Imel je težave s srcem in to srce ga je tudi izdalo. Vdova Marianne Kiauta je po premisleku sklenila, da bo Boštjanove posmrtno ostanke prinesla v Slovenijo, torej v njegovo staro domovino. Tako smo pokojnikovo žaro položili v grob na ljubljanskih Žalah 27. maja letos.

In sedaj še nekaj za bralce Proteusa z daljšo zgodovino branja naše revije.

Bibliografija Boštjana Kiaute v reviji *Proteus*

Letnik	Strani	Naslov prispevka	Leto
15	160-161	<i>Naši planinski metulji</i>	1953
16	52-53	<i>Nekaj o vplivu ekoloških faktorjev na barvo in velikost metuljev</i>	1953
16	220-222	<i>Odonati v ljubljanski okolici</i>	1954
17	44-46	<i>Tuji elementi med kačjimi pastirji Ljubljanskega barja</i>	1954
17	115-118	<i>Vtisi biologa iz Male Paklenice</i>	1954
17	189-191	<i>Ekološki pogoji in favna obmorskih mlak</i>	1955
18	50-51	<i>Zbirka žuželk prirodoslovnega krožka II. gimnazije v Ljubljani</i>	1955
19	228-229	<i>Z občnega zbora Planinskega društva »Univerza«</i>	1957
21	260-263	<i>O pleistocenskih reliktih kačjih pastirjev</i>	1959
22	184-185	<i>Pisatelj Ivan Tušek kot jamar</i>	1960
23	27	<i>Nova vrsta netopirjev v slovenskih jamah</i>	1960
23	45-47	<i>Nekaj o ekologiji jamskih ravnokrilcev</i>	1960
23	213-216	<i>Iz zgodovine raziskovanja jam na Moravškem in v okolici Domžal</i>	1961
23	269-270	<i>Avtobiografija Ferdinanda J. Schmidta</i>	1961
24	187	<i>Mali podkovnjak</i>	1962
24	218-219	<i>Brezna v Gabrovških lazih pri Škofji Loki</i>	1962
25	122-123	<i>Ob dvestoletnici Scopolijeve Entomologia Carniolica</i>	1963
27	196-197	<i>Kačji pastirji, žrtve prometa in moderne civilizacije</i>	1965
30	28-29	<i>Motivi kačjih pastirjev na poštnih znamkah</i>	1967

Opomba: Članki s kačjepastirsko tematiko so označeni poudarjeno.

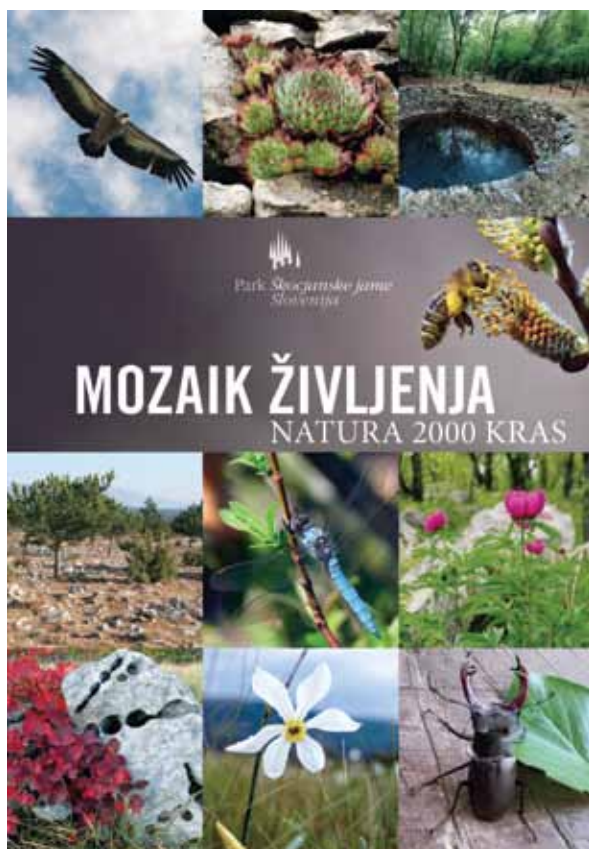
Izšla je monografija *Mozaik življenja, Natura 2000 Kras*

Miloš Bartol

Območje *Natura 2000 Kras* obsega celotno območje matičnega krasa in Čičarijo. Leži na severu Dinaridov med Alpami in Sredozemljem, kjer se mešajo vplivi sredozemskega in celinskega podnebja. Območje zaznamuje velika raznolikost rastlinskih in živalskih vrst, ki jo zagotavlja kombinacija kamninske podlage, zemljepisne lege in človekovih dejavnosti v zgodovini. Kras in Čičarija po eni strani slovita po suhih traviščih, ki so najstarejša kulturna krajina in z vrstami najbogatejši tip naravnega okolja v Evropi, po drugi strani pa po podzemlju, ki je del Dinarskega sistema, svetovne vroče točke podzemne raznovrstnosti. Evropsko pomembne vrste in habitatne tipe na območju *Natura 2000 Kras* najdemo tudi v gozdu, na skalnih ostenjih ter ob redkih vodah in v njih, ki pa so za bioraznovrstnost zelo pomembne.

Monografija *Mozaik življenja, Natura 2000 Kras* predstavlja to posebno območje s poljudno napisanimi portreti njegovih »zvezd« – torej kar petdeset vrst in tipov življenjskih prostorov, zaradi katerih to raznoliko življenjsko okolje uživa mednarodno pravno zaščito. Predstavljeni so v petih sklopih, vsak združuje tiste tipe življenjskih prostorov in vrste, ki bi jih lahko v naravi našli skupaj. Avtorji besedil so Tatjana Čelik (metulji), Igor Dakskobler (gozd), Teo Delić (jamski hrošč), Špela Ambrožič Ergaver (hrošči), Stanislav Gomboc (metulji), Andrej Kapla (hrošči), Primož Kmecl (ptice), Martina Lužnik (dvoživke),

Tomaž Mihelič (ptice), Luka Mrzelj (raki), Katja Pobiljšaj (dvoživke), Primož Presetnik (netopirji), Andrej Seliškar (travišča, skalna ostenja, rastline), Rajko Slapnik (polži), Peter Trontelj (močeril), Rudi Verovnik (metulji), Al Vrezec (hrošči), Maja Zagmajster (jame in jamski hrošč), Barbara Zakšek (metulji) in Miloš Bartol (uvodi). Avtorji so z *Natura 2000* poklicno povezani, večina je sodelovala tudi pri vzpostavljanju omrežja v Sloveniji. Njihova besedila so kratka, poljudna in dostopna najširšemu občinstvu,



hkrati pa se dotikajo sodobnih znanstvenih spoznanj in vsebujejo aktualne podatke o stanju v naravi.

Vse vrste v knjigi so predstavljene tudi z ilustracijami, večino jih je ustvaril lani preminuli Jurij Mikuletič, ob njem pa še Janja Grubar, Lena Likar in Marija Nabernik. Mikuletič je mnoge ilustracije narisal posebej za to izdajo. Zapustil nam je obsežni opus izvrstnih naravoslovnih ilustracij, nesmrtnih podob, ki v različnih publikacijah

vrste slovenskih parkov, učbenikih in drugih naravoslovnih gradivih na neposredni način predstavljajo lepoto narave najširši javnosti. Monografija je izšla v sklopu projekta ZA KRAS, ki ga financirata Evropski sklad za regionalni razvoj in proračun Republike Slovenije. Izdal jo je Park Škocjanske jame, vodilni partner projekta. Nekaj izvodov je še na voljo, če jih želite, pišite na elektronski naslov milos.bartol@psj.gov.si.

V spomin in poklon Juriju Mikuletiču (1955-2021). Risbe.



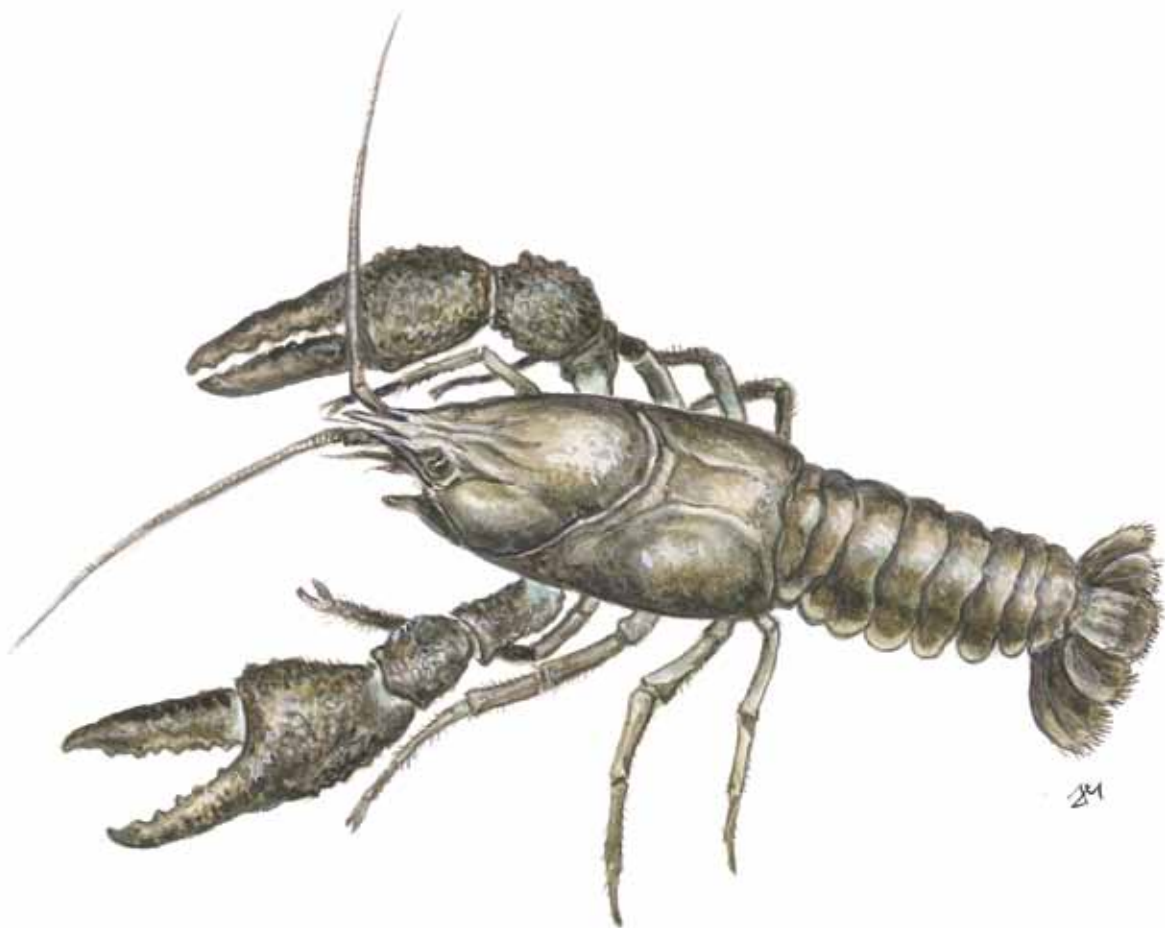
JUŽNI PODKOVN7AK
(*Rhinolophus euryale*)



BARTANJSKI OKARČEK
(*Coenonympha oedippus*)



BUKOV KOZLIČEK
(*Morimus funereus*)

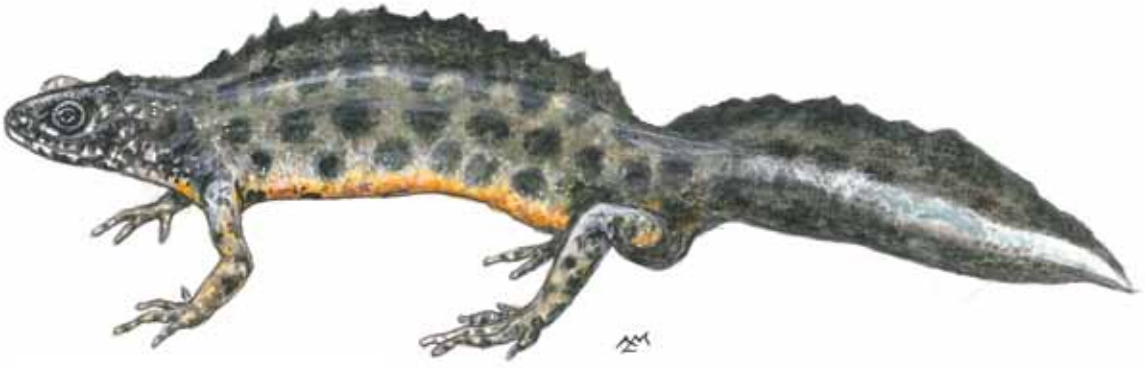


PRIMORSKI KOŠČAK
(*Astropteronotus pallipes*)

grobj. Mr. Kvaliteta
Hruša 1 (at. 46)
SI 52M 107/14



TOMMASINITEVA POPKORESA
(*Muehlenbergia tommasinii*)



VELIKI PUPEK
(*Triturus cristatus*)



VELIKI STRNAD
(*Milvina calanota*)



VELIKI SKOVİK
(Otus scops)

Poletno nočno nebo

Mirko Kokole

Poletje, čas počitnic in dopustov, je tudi odličen čas za opazovanje nočnega neba, zato si pogledjmo, kaj vse lahko vidimo na njem.

Nad zahodnim obzorjem se nahajajo značilna pomladanska ozvezdja Lev, Devica in Volar, ki s svojimi najsvetlejšimi zvezdami, Regulom, Spiko in Arkturjem, sestavljajo pomladanski trikotnik. Med temi ozvezdji je najbolj izstopajoč Volar, ki ga v večernem času najdemo visoko nad zahodnim obzorjem. Prepoznamo ga z lahkoto, saj njegova najsvetlejša zvezda Arktur na nebu močno izstopa. Arktur je druga najsvetlejša zvezda na nočnem nebu, takoj za Sirijem v Velikem psu. Arktur ali α Bootis ima magnitudo 0 in je zvezda spektralnega tipa K2, kar pomeni, da ima površinsko temperaturo približno 4.200 kelvina in je tako nekoliko hladnejša od našega Sonca. Od nas je oddaljena 25 svetlobnih let. Njen premer je približno dvajsetkrat večji od Sončevega. Arktur seva z močjo kar 115 Sonc. Če pogledamo od Arkturja proti nadglavišču, najdemo značilna ozvezdja poletnega neba. To so Herkul, Lira, Labod in Orel. Najsvetlejša zvezde Lire, Laboda in Orla so Vega, Deneb in Altair in tvorijo poletni trikotnik.

Vega, najsvetlejša zvezda v Liri, je tudi tretja najsvetlejša zvezda na našem nebu in se v poletnih nočeh nahaja blizu nadglavišča. Je zelo svetla modra zvezda, ki sveti kot petdeset Sonc skupaj. Od nas je oddaljena 26 svetlobnih let, kar pomeni, da je astronomsko gledano blizu. Ostale zvezde v ozvezdju Lire niso tako svetle, vendar kljub temu tvorijo lahko prepoznavni paralelogram. Ena od bolj zanimivih zvezd tega ozvezdja je ϵ Lire, ki se nahaja malo nad Vego. S prostim očesom jo vidimo kot dvojno zvezdo, pogled skozi teleskop nam

razkrije še dodatni dve zvezdi, kar pomeni, da je ϵ Lire četverozvezdje. Ozvezdje Lire v sebi skriva še eno zanimivost, planetarno meglico M57. Take meglice nastanejo ob koncu življenja manj masivnih zvezd, kot je na primer naše Sonce. Megličasti oblak je v resnici zvezdina atmosfera, ki se je močno napihnila. Meglica M57 leži na veznici med zvezdama γ in β Lire, vendar je na žalost premalo svetla, da bi jo lahko videli s prostim očesom. Vidimo jo lahko skozi srednje velik amaterski teleskop, saj ima magnitudo 8,8.

Ozvezdje Laboda, ki bi ga lahko imenovali tudi »severni križ«, je drugo ozvezdje poletnega trikotnika. Svetla zvezda magnitude 1,2 je Deneb in se nahaja v glavi Laboda. V tem ozvezdju lahko najdemo tudi razsuto zvezdno kopico M39. Ozvezdje Laboda prečka tudi Rimska cesta (to je galaksija, v kateri se nahajamo), zato nam ponuja kar nekaj lepih pogledov skozi daljnogled. Ozvezdje Laboda ima še eno zanimivost; zvezdo 61 Laboda. To je zvezda magnitude 6,0, ki so ji prvi izmerili paralakso. Paralaksa je kot, za katerega se zvezda v enem letu premakne glede na ostale zvezde, in nam pove, kako oddaljena je ta zvezda. Paralakso zvezde 61 Laboda je določil Bessel leta 1838 in znaša 0,296 kotne sekunde, kar pomeni, da je ta zvezda od nas oddaljena le 11,6 svetlobnega leta in je med dvajset nam najbližjimi zvezdami.

Tretje ozvezdje poletnega trikotnika je Orel. Njegova najsvetlejša zvezda Altair je 16,5 svetlobnega leta oddaljena od našega Sonca in sveti kot dvajset Sonc skupaj. Zanimivo je, da se zelo hitro vrti okoli svoje osi. En obrat opravi v 6,5 ure, kar je za primerjavo s Soncem, ki za obrat potrebuje 25 dni, izjemno hitro. Ozvezdje Orla po svoji obliki tudi v resnici spominja na ptico v letu.

Poleg prej omenjenih ozvezdij poletnega trikotnika na nebu vidimo še dve pomembni poletni ozvezdji. Prvo ozvezdje je Herkul z znamenito globularno zvezdno kopico M13, drugo ozvezdje pa je Kačenosec, ki prav tako vsebuje celo kopico zvezdnih kopic. Ozvezdje Kačenosca vsebuje kar 22 zvezdnih kopic, kar je precejšen delež vseh kopic Messierovega kataloga. Med najlep-

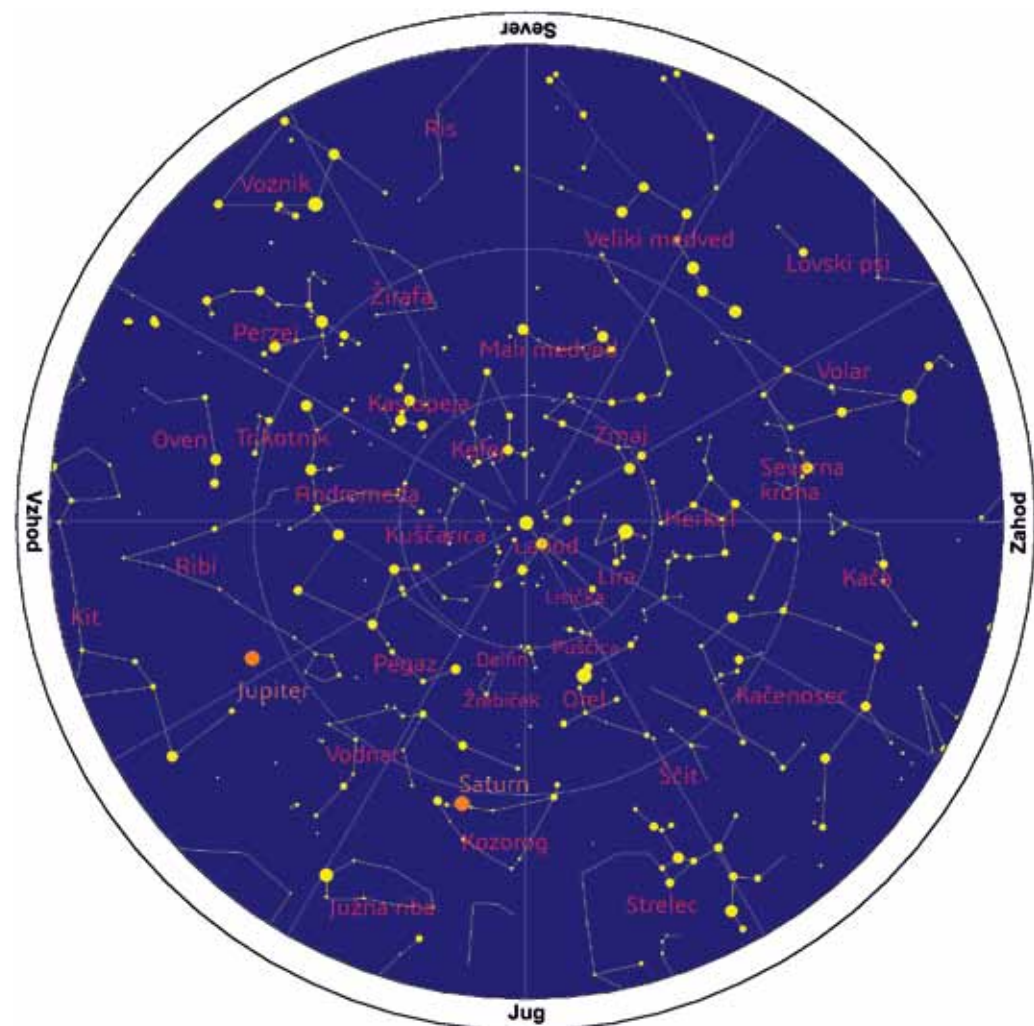
šimi sta prav gotovo kopici M10 in M12, ki imata magnitudo 6,6 ter sta veliki 15,1 in 14,5 ločne minute. Zato ju lahko vidimo že z daljnogledom velikosti 15 x 50. Obe zvezdni kopici ležita blizu skupaj, nekako v sredini Kačenoščevega trupa. Blizu sta tudi zvezdi 30 Kačenosca in 23 Kačenosca. Pri nogah Kačenosca lahko okoli zvezde θ Kačenosca najdemo celo skupino zvezdnih ko-

Nebo v avgustu.

Datum: 15. 9. 2022.

Čas: 22:00.

Kraj: Ljubljana.



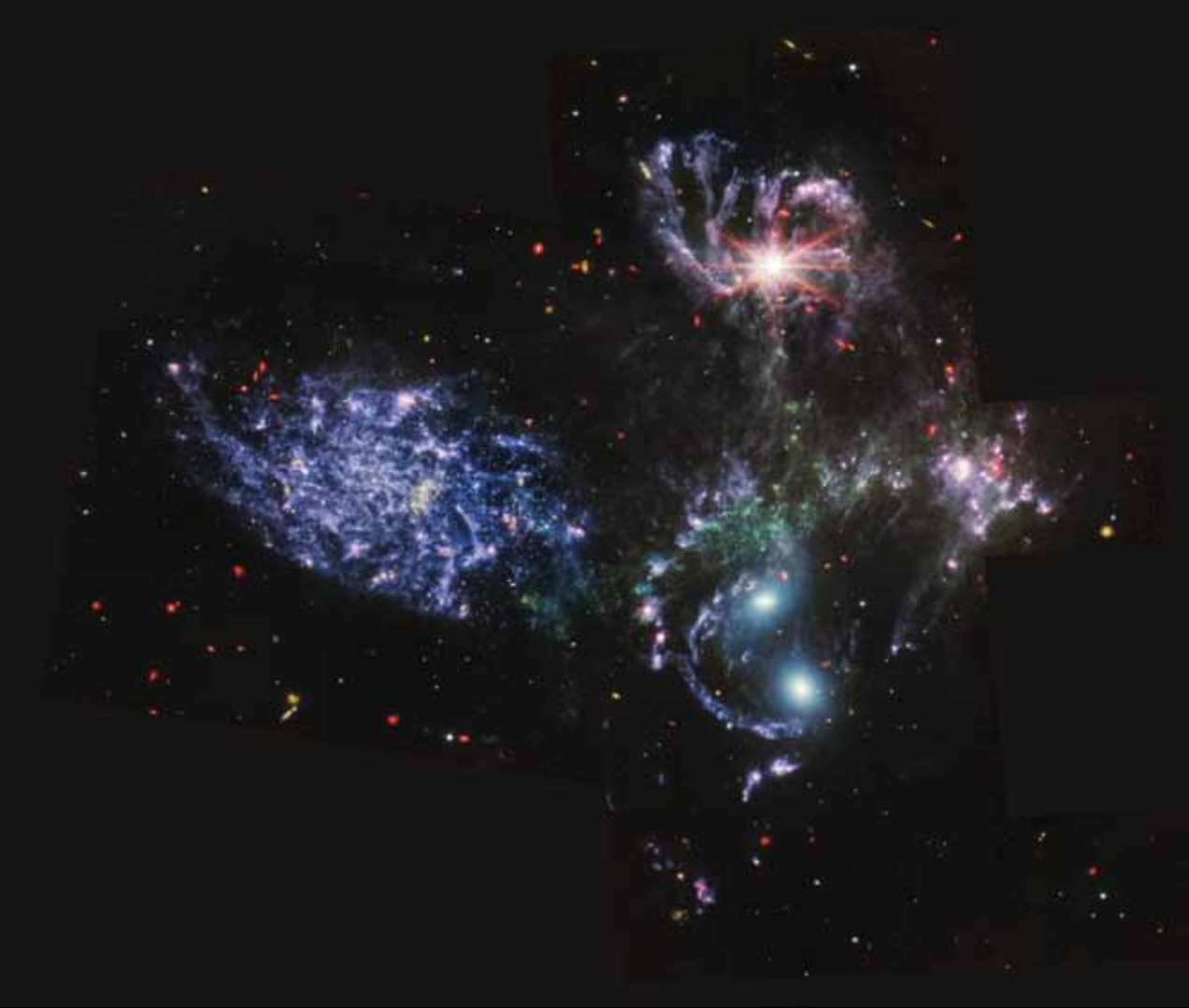
pic, med katerimi je najlepša kopica M19, ki ima magnitudo 7,2 in je velika 13,5 minute. Če pogled sedaj obrnemo še proti južnemu obzorju, najdemo tam ozvezdji Strelca in Škorpijona. Strelca najlažje prepoznamo, če si ga predstavljamo v obliki čajnika. Ko gledamo v njegovo smer, gledamo proti središču naše Galaksije, Rimske ceste. Ozvezdje Strelca je zato posejano z raznimi nebesnimi objekti. Najzanimivejša je razsuta zvezdna kopica M24, sledi ji kopica M23. Kopica M23 je prav tako razsuta zvezdna kopica in ima magnitudo 5,5 ter jo sestavlja približno sto zvezd. Raszutim zvezdnim kopicam sledi meglica Trifid z oznako M20. Meglici Trifid sledi zvezdna kopica M22, ki je ena izmed lepših zvezdnih kopic. Kopica ima skupno magnitudo 5,1, kar pomeni, da je svetlejša od kopice M13 v Herkulu. Ob zelo lepem vremenu in temni noči jo lahko vidimo tudi s prostim očesom. Najdemo jo malo proti vzhodu od zvezde λ Strelca, ki predstavlja vrh pokrovčka čajnika.

Škorpion je eno od tistih redkih ozvezdij, ki s svojo obliko resnično tudi spominja na podobo, ki naj bi jo predstavljal. Na žalost ga je iz naših krajev težko videti, ker potrebujemo neovirani pogled proti obzorju.

Najsvetlejša zvezda Škorpijona je Antares. Škorpionov rep je posejan z razsutimi zvezdnimi kopicami, najdemo pa tudi dve lepi kopici M80 in M4, ki imata magnitudi 7,2 in 5,9.

Poglejmo sedaj, kaj še lahko vidimo, če se obrnemo proti severu. Za ta del neba so značilna ozvezdja, ki ležijo okoli severnega nebesnega tečaja in zato nikdar ne zaidejo. Pravimo jim cirkumpolarna ozvezdja. Med njih sodijo Mali in Veliki medved ter Kefej in Kasiopeja, seveda ne smemo pozabiti tudi na Zmaja, ki se zvija med Malim in Velikim medvedom. Severnica ali α Malega medveda je zvezda, ki leži najbližje severnemu nebesnemu tečaju, zato se celotno nebo navidezno vrti okoli nje.

Ko govorimo o poletnem nočnem nebu, ne smemo pozabiti na dva velika planeta - Saturna in Jupitra. Saturn se nahaja v ozvezdju Kozoroga in vzide v zgodnjih večernih urah. Nekaj ur za njim vzide še Jupiter, ki se sedaj nahaja v ozvezdju Rib. 15. avgusta smo lahko videli skoraj polno Luno in Jupiter tesno skupaj. Najbližje smo ju lahko videli tik prej Jupitrovim zahodom v jutranjih urah.



*Skupina galaksij Stefanov kvintet, ki ga je posnel teleskop Jamesa Webba.
Od Zemlje je oddaljena 290 milijonov svetlobnih let.
Vir: IMAGE: NASA, ESA, CSA, STScI*

ISSN 0033-1805



9 770033 180000