

PROTEUS

An underwater photograph featuring a large, translucent jellyfish with a reddish-brown bell and white, ribbed tentacles. The jellyfish is positioned in the center, swimming over a textured, brownish coral or rock formation. The background is a deep, clear blue-green water, with some smaller fish visible in the lower part of the frame.

januar 2015, 5/77. letnik
cena v redni prodaji 5,00 EUR
naročniki 4,20 EUR
upokojenci 3,50 EUR
dijaki in študenti 3,00 EUR
www.proteus.si



mesečnik za poljudno naravoslovje

■
Geologija

Pridobivanje zemeljskega plina
z metodo hidravličnega frakturiranja

■
Botanika

Nizka barja v Bohinju

■
Fizika

Mala zgodovina svetlobe



■ stran 199

Geologija

Pridobivanje zemeljskega plina z metodo hidravličnega frakturiranja

Kristina Verbole

Hidravlično frakturiranje oziroma mehanska obdelava slojev (tudi hidravlično lomljenje oziroma drobljenje) je metoda, ki omogoča pridobivanje nekonvencionalnega plina in je v zadnjih nekaj letih postala glavna tema v povezavi z naftno in plinsko industrijo - predvsem po zaslugi Združenih držav Amerike, ki je prav zaradi plina v skrilavcih postala največja proizvajalka zemeljskega plina na svetu. Marsikdo bi pomislil, da je frakturiranje nova iznajdba, v resnici pa je to več kot šestdeset let stara metoda, ki jo naftno-plinska industrija uporablja že vsa ta leta tako po svetu kot tudi v Sloveniji. Proizvodnja nekonvencionalnega plina poteka torej tudi v Sloveniji - še več, zaloge takšnega plina na Petišovskem polju so ocenjene na 13 milijard kubičnih metrov.



- 196 Uvodnik
Tomaž Sajovic
- 199 Geologija
Pridobivanje zemeljskega plina z metodo hidravličnega frakturiranja
Kristina Verbole
- 207 Botanika
Nizka barja v Bohinju
Špela Novak
- 214 Fizika
Mala zgodovina svetlobe
Janez Strnad
- 222 Medicina
Škiljenje – božji dar pri Inkih
Andraž Novak
- 229 Zoologija
Meduze morske cvetače
Bogdan Bricelj
- 235 Nove knjige
K posebni teoriji relativnosti
Ob izidu knjige *Teorija relativnosti* pri Založbi ZRC SAZU
Janez Strnad
- 237 Naše nebo
Sonda *Nova obzorja* prihaja na cilj
Mirko Kokole
- 239 Table of Contents



Naslovnica: *Meduza tik pod morskó gladino*. Foto: Bogdan Bricelj.

Proteus

Izbjava od leta 1933

Mesečnik za poljudno naravoslovje

Izdajatelj in založnik: Prirodoslovno društvo Slovenije

Odgovorni urednik:

prof. dr. Radovan Komel

Glavni urednik: dr. Tomaž Sajovic

Uredniški odbor:

Janja Benedik

prof. dr. Milan Brumen

dr. Igor Dakskobler

asist. dr. Andrej Godec

akad. prof. dr. Matija Gogala

dr. Matevž Novak

prof. dr. Gorazd Planinšič

prof. dr. Mihael Jožef Toman

prof. dr. Zvonka Zupanič Slavc

dr. Petra Drašković

Lektor: dr. Tomaž Sajovic

Oblikovanje: Eda Pavotič

Angleški prevod: Andreja Šalamon Verbit

Priprava slikovnega gradiva: Marjan Richter

Tisk: Trajanus d.o.o.

Svet revije Proteus:

prof. dr. Nina Gunde – Cimerman

prof. dr. Lučka Kajfež – Bogataj

prof. dr. Tamara Lah – Turnšek

prof. dr. Tomaž Pisanski

doc. dr. Peter Skoberne

prof. dr. Kazimir Tarman

Proteus izdaja Prirodoslovno društvo Slovenije. Na leto izide 10 števil, letnik ima 480 strani. Naklada: 2.500 izvodov.

Naslov izdajatelja in uredništva: Prirodoslovno društvo Slovenije, Salendrova 4, p.p. 1573, 1001 Ljubljana, telefon: (01) 252 19 14, faks (01) 421 21 21.

Cena posamezne številke v prosti prodaji je 5,00 EUR, za naročnike 4,20 EUR, za upokojence 3,50 EUR, za dijake in študente 3,00 EUR.

Celoletna naročnina je 42,00 EUR, za upokojence 35,00 EUR, za študente 30,00 EUR. 9,5 % DDV in poštnina sta vključena v ceno.

Poslovni račun: SI56 0201 0001 5830 269, davčna številka: 18379222. Proteus sofinancira: Agencija RS za raziskovalno dejavnost.

<http://www.proteus.si>

prirodoslovno.drustvo@gmail.com

© Prirodoslovno društvo Slovenije, 2014.

Vse pravice pridržane.

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

Uvodnik

23. februarja letos sem pri pregledovanju novic na spletni strani *Dela* postal pozoren na naslov prispevka: »Nočna mora sodobne znanosti – gonja za denarjem in objavami.« Končno se je nekdo spomnil na problem, ki danes, v obdobju križarskega pohoda neoliberalne ideologije, spravlja v obup zaposlene na univerzah in inštitutih, sem si dejal in nadaljeval branje. Podnaslov prispevka, ki je sledil, bi se nepoučenemu morda zdel retorično pretiravanje, tako značilno za sodobno »porumenelo« novinarstvo: »Pritiski po financiranju raziskav ustvarjajo nevezdržne razmere za vpletene in povzročajo nesluteno družbeno škodo.« Toda vtis je napačen. Na koncu prispevka namreč lahko preberemo tragični in v svojem sporočilu grozljivi primer, ki se je zgodil na elitni univerzi *Imperial College* v Londonu. Univerza je na najnovejši *Timesovi* lestvici 400 najboljših univerz na svetu (*Times Higher Education World University Rankings*) skupaj z Univerzo Yale uvrščena na deveto mesto (najboljša sta Kalifornijski

inštitut za tehnologijo *Caltech* in Univerza *Harvard*, na lestvici ni nobene slovenske univerze):

»Profesor toksikologije in eden izmed vodilnih raziskovalcev na področju raka dr. *Stefan Grimm* je lani [25. septembra, opomba je moja] preminul v okoliščinah, ki kažejo na to, da je na delovnem mestu doživljal povsem neetične pritiske. Nanje je kolege obvestil tudi z daljšim pismom, v katerem je z žalostjo ugotavljal, da njegove znanstvene objave in odličnost v raziskovanju ne zadostujejo elitni medicinski inštituciji, kjer je zaposlen. *Zabtevajo predvsem denar, ki ga je posamezni profesor 'sposoben' pridobiti prek raziskovalnih razpisov.*

Kot je zapisal pred smrtjo, katere okoliščine še preiskujejo: *'To ni več znanost, to je posel.'*

Posel je zelo objektivno v slabšem pomenu, kar je za znanost, ki naj bi bila etična, usodno. Ima en sam cilj – denar. Znanost postaja samo sredstvo. Če kdo utegne pomisliti, da je to smrtno nevarno, utegne imeti objektivno prav.«

Bojim se, da ljudje morda nismo več sposobni prav dojeti vseh razsežnosti Stefanovega samomora in vzrokov zanj. Morda smo že izgubili vsako upanje, da sodobna družba sploh še ceni kakšne višje vrednote, in nas nekje globoko v nemočni in otopeni duši ves čas gloda črv dvoma, ali ni morda tudi znanost, ki je nekoč veljala za vrhunec človekovih duhovnih moči, na koncu koncev zares »le« neki popolnoma »neosebni« posel, katerega edini cilj je samo še denar. Morda ostanke naše človečnosti potihoma in zavrtno že razžira cinična misel, da je Stefanov samomor bolj ali manj le naključno dejanje nekega »nekoliko preobčutljivega« posameznika, ki »pač« ne more dojeti »samoumevnega dejstva«, da je »denar sveta vladar«. Toda tak bivanjski cinizem je danes nekaj najbolj nevarnega. Filozof z berlinske Svobodne univerze (Freie Universität) Sami Khatib je v intervjuju za *Mladino* (6. marca 2015) zapisal svarilo, nad katerim bi se morali globoko zamisliti: »Zame je najnevarnejša utopija ravno strinjanje s tem, da postane denar merilo za vse in da je mogoče v takšnem svetu živeti še naprej. To nas bo nazadnje vse ubilo.« Stefana je »to« že ubilo – fizično.

Univerze »to« ubija duhovno, kot je leta 2004 z vso ostrino zapisala angleška univerzitetna profesorica ženskih študij Mary Evans v knjigi s presunljivim naslovom *Ubijanje mišljenja. Smrt univerz (Killing Thinking. The Death of the Universities)*. Profesorji povsod po svetu postajajo vedno bolj samo še avtomati, ki študentom »dobavljajo« in »prodajajo« »učno blago«, študenti pa ga, kot se »zvestim potrošnikom« spodobi, samo še »dvigujejo« in »plačujejo«. Mary Evans ni cinik, ampak je »politična« aktivistka, bojevica za »oživitev« »mrtvih« univerz v obdobju neoliberalizma. Kot sem zapisal že v prejšnjem uvodniku, je njen boj paradoksen. Njeno misel navajam tudi v tem uvodniku, in to popolnoma namerno. Zavedati se namreč moramo, da vsaki jezikovni izjavi »vdihnejo« pomen šele okoliščine, v katerih je izjava izrečena oziroma zapisana. In v tem uvodniku je kontekst drugačen, zato je tudi pomensko življenje navedene misli drugačno:

»Naslov knjige namiguje na možnost smrti v slonokoščinem stolpu univerze. [...] Obstaja verjetnost, da se bodo stolpi počasi začeli prazniti z ustvarjalnostjo, ko se bodo nove generacije naveličale smrtonosnih možnosti birokratizirane univerze in se odločile, da zapustijo njen svet in začnejo razvijati svojo nadarjenost kje drugje. Če se bo to zgodilo, bodo univerze, kakršne smo jih poznali do sedaj, verjetno počasi izginile. Morda se bodo univerze resnično demokratizirale šele tedaj,

ko jih bodo prihodnje generacije zapustile; morda ni več potrebno, da ideje živijo v posebej za njih namenjenih prostorih. [...] Če naj izobraževanje v liberalni demokraciji sploh kaj pomeni, potem moramo priznati, da ni nujno, da ga izenačujemo s prilagodljivostjo in poslušnostjo ter kaznovalnimi režimi ocenjevanja dosežkov. Morda bi na začetku 21. stoletja spet morali poskusiti uživati v pristni akademski svobodi.«

Neka druga bojevnik za »oživitev« »mrtvih« univerz - ameriški filozof Richard Rorty (1931–2007) in norveški antropolog Thomas Hylland Eriksen (1962) – sta akademsko svobodo razumela »dobe-sedno«. Rorty je leta 1989 v eseju *Humanistični intelektualci: Enajst tez (Filozofija in družbeno upanje, 1999)* zapisal: »Filozofi izobraževanja, dobronamer-ni odbori in vladne agencije poskušajo razumeti, opredeliti in upravljati humanistične vede. Poanta seveda je, da se humanistične vede morajo spremenjajo tako hitro, da jih ni mogoče opredeliti niti ne upravljati. Vse, kar potrebujemo za to, je dobra stara akademska svoboda.« Eriksen pa je leta 2004 v besedilu *O temeljni neuporabnosti univerz* zatrdil: »Napaka politikov je v prepričanju, da je univerze mogoče rešiti tako, da postanejo čim bolj uporabne. Vendar pa so univerze lahko uporabne le, če so neuporabne. [...] Pomen univerz je v njihovi neuporabnosti, toda zdaj je čas, da poiščemo nove načine neuporabnosti.« Oba sta v svojih izjavah slikovito opredelila, kaj je bistvo univerze (akademsko svoboda ni blago) ter kaj (politika, trg) to bistvo ogroža oziroma uničuje.

Če mislimo, da so Mary Evans, Rorty in Eriksen le neozdravljivi sanjači, ki živijo v nekem »drugem svetu«, nas je neoliberalna ideologija že »predelala« v cinične »mrtvece«, če pa nekje v nas še utripa hrepenenje po svobodi, vendar imamo obupni občutek, da nam ga neoliberalna ideologija ne dovoljuje več uresničevati, še nisimo »mrtvi«, ampak nas tare »le« depresija. Ta pa je ozdravljiva. Modernega človeka lahko globoke depresivnosti ozdravi – kot je v knjigi *Duša na delu* (v slovenskem prevodu je izšla leta 2013) zapisal italijanski marksistični in medijski teoretik ter kulturni aktivist Franco Berardi - Bifo – le »velikanska osvoboditev življenja od družbe kot tovarne«. Pričujoči uvodnik je moja osebna »terapija«, ki jo moramo razumeti kot obliko političnega boja. Morda bo njegovo branje olajšalo dušo še komu.

Tomaž Sajovic

STROKOVNE EKSURZIJE

NEAPELJSKI VULKANI IN NP GARGANO

25. aprila – 2. maja 2015

Okolica Neaplja je še vedno vulkansko zelo aktivna. Ogledali si bomo primere vulkanske aktivnosti, ki se odvijajo tukaj, zdaj in pred našimi očmi. Posledice vulkanskega delovanja so »pomagale« ohraniti trenutke preteklosti in ohraniti čudovito umetnost in vsakdanjost nekaterih antičnih mest pod Vezuvom. Naša pot ne bo klasično turistična, ampak zavita v tančico skrivnosti, ki so večini ljudi neznane, so

pa zato toliko bolj zanimive in navdušujoče, ko jih odkrijete ...



Vse to bomo popestrili s skokom preko Apeninov v Narodni park Gargano, botanično izredno zanimivo destinacijo – številne orhideje, tudi endemične, so pravi magnet za ljubitelje narave, poleg njih še posebni gozdovi, tektonski prelomi, lagune z morskimi pticami ... Na poti proti domu nas čaka še ogled umbrijskega bisera s številnimi kraškimi polji s čredami divjih konj, ki jih prijetno popestri izvrstna kulinarika prijaznih domačinov.

GRUZIJA 8.– 22. avgusta 2015

Malo drugačen program spoznavanja Gruzije: po odmaknjenih gorskih dolinah Kavkaza na severu države, kjer ti ob pogledih na vrhove štiritisočakov zastaja dih, kjer se konji prosto pasejo po pisanih travnikih in se krave mirno sprehajajo vsepovsod, ne da bi bilo komu mar za to, in kjer so vasi ohranile pridih starinskosti in te popeljejo v življenje pred nekaj stoletji. Tja ne vozijo avtobusi in elegantni avtomobili, tja zaidejo le najbolj zagnani popotniki in ljubitelji divjine. In številni rastlinski in živalski endemiti kar kličejo po raziskovanju. Pravo nasprotje je jug – ponekod že polpuščavsko območje, kjer so zatočišče nekoč našli

menihi v številnih v skale vklesanih samostanih, kjer se je odvijala burna zgodovina in kjer med vso pestrostjo kulture, zgodovine in religije lahko odkriš tudi naravo. Gruzija je tudi domovina vina in odlične hrane, ki jo z vso skrbnostjo za goste pripravljajo izredno prijazni domačini. Bogata zgodovina, močan vpliv gruzijske pravoslavne cerkve, posebna pisava in jezik, stepe, polpuščave, bogati gozdovi in vodnatost Kavkaza – neizmerno bogastvo in pisan mozaik vsega, kar ti poželi srce.



Pridobivanje zemeljskega plina z metodo hidravličnega frakturiranja

Kristina Verbole

Hidravlično frakturiranje oziroma mehanska obdelava slojev (tudi hidravlično lomljenje oziroma drobljenje) je metoda, ki omogoča pridobivanje nekonvencionalnega plina in je v zadnjih nekaj letih postala glavna tema v povezavi z naftno in plinsko industrijo - predvsem po zaslugi Združenih držav Amerike, ki je prav zaradi plina v skrilavcih (*shale gas*) postala največja proizvajalka zemeljskega plina na svetu. Marsikdo bi pomislil, da je frakturiranje nova iznajdba, v resnici pa je to več kot šestdeset let stara metoda, ki jo naftno-plinska industrija uporablja že vsa ta leta tako po svetu kot tudi v Sloveniji. Tako je, tudi v Sloveniji poteka proizvodnja nekonvencionalnega plina - še več, zaloge takšnega plina na Petišovskem polju so ocenjene na 13 milijard kubičnih metrov.

Nafta in zemeljski plin v Sloveniji

Na naftno-plinskem polju Petišovci (pri Lendavi) pridobivajo nafto in zemeljski plin nepretrgoma že od leta 1943. Na območju Murske depresije, kamor sodi tudi Petišovsko polje, je bilo do danes izvrtanih že več kot 160 vrtin. Proizvodnja v Petišovcih po-

teka še danes, a v precej manjšem obsegu kot nekoč.

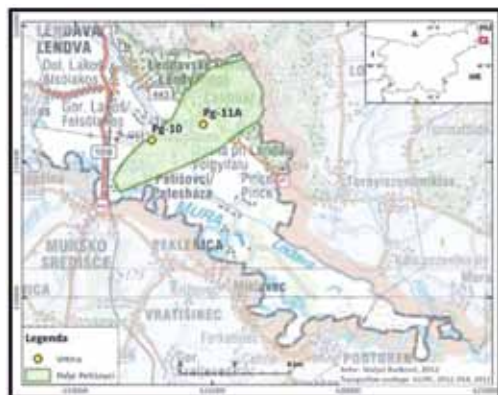
Na Petišovskem polju so do leta 1960 poznali le plitvejša (predvsem naftna) ležišča, ki segajo do globine približno 1.700 metrov. Leta 1960 pa so z raziskovalno vrtino Pg-1, ki je globoka 2.977 metrov, prvič prevrtali globoke plinonosne plasti. Danes imamo na Petišovskem polju enajst globokih plinskih vrtin, zadnji dve (Pg-10 in Pg-11A) sta bili izvrtani v letu 2011 in sta s svojimi 3.500 in 3.545 metri najgloblji vrtini na tem polju.

Iz plinskih vrtin danes pridobivajo nekonvencionalni plin, ki se nahaja v slabo prepustnih plasteh peščenjakov globoko pod zemljo. Takšen plin je možno proizvajati v ekonomsko upravičenih količinah le, če prej frakturirajo ciljne sloje v vrtini. V svetu je frakturiranje znano že od leta 1947, na Petišovskem polju pa so to metodo prvič uporabili leta 1956. Od takrat pa do danes je bilo opravljenih približno 70 frakturiranj, pri čemer niso bili evidentirani nobeni negativni učinki na okolje. Nazadnje so frakturiranje izvedli leta 2011, več o tem pa v nadaljevanju.

Proizvodnja plinskih vrtin poteka iz ležišča, imenovanega Petišovci-Globoki. Gre za ležišče v srednjemiocenskih plasteh več kot 2.200 metrov pod površjem, ki jih sestavljajo zaporedne plasti slabo prepustnih drobnozrnatih peščenjakov, nasičenih s plinom, med katerimi ležijo vmesni sloji neprepustnih glinavcev.

Prikaz območja naftno-plinskega polja Petišovci (z zeleno). Rumeni krogi označujejo položaj novih plinskih vrtin, v katerih je bilo v letu 2011 uspešno izvedeno hidravlično frakturiranje slojev.

Vir: Geološki zavod Slovenije, 2013.



Kaj je nekonvencionalni plin?

Gre za zemeljski plin, ki se nahaja v slabo prepustnih kamninskih slojih in ga zato s konvencionalnimi metodami črpanja zaenkrat še ne moremo ekonomsko upravičeno izkoriščati. Lahko pa vire takšnega plina pridobivamo z metodo frakturiranja, to je z lomljenjem plinonosnih kamnin (peščenjakov ali skrilavcev) oziroma z umetnim ustvarjanjem razpok z visokim pritiskom vode, ki so ji dodani propant (pesek ali keramična zrna) in največ do dva odstotka kemičnih dodatkov.

V osnovi lahko nekonvencionalni plin razdelimo na dve vrsti, in sicer glede na vrsto kamnine, v kateri se takšen plin nahaja. Precej bolj znana različica je *shale gas* ali plin v skrilavcih, ki ga danes največ proizvedejo v Združenih državah Amerike. Poznamo pa tudi *tight gas* ali tesno vezani plin v peščenjakih, ki je bolj ugoden za pridobivanje in je značilen prav za proizvodnjo iz globokih plinskih vrtin na Petišovskem polju.

V zadnjih nekaj desetletjih postajata raziskovanje in pridobivanje ogljikovodikov iz nekonvencionalnih ležišč v svetu vedno pomembnejši. Ocenjujejo, da so svetovne zaloge oziroma viri nekonvencionalnega zemeljskega plina neprimerno večje oziroma večji, kot so zaloge oziroma viri konvencionalnega plina, saj je nekonvencionalni plin sicer manj koncentriran, a zajema ogromne prostornine.

Hidravlično frakturiranje v Sloveniji

V letu 2011 je potekala izgradnja dveh novih plinskih vrtin (Pg-10 in Pg-11A), v katerih so uspešno izvedli frakturiranje slojev, skupaj petkrat v globinah več kot 3.000 metrov. V času testiranja sta obe vrtini potrdili komercialno zanimive količine zemeljskega plina in s tem pokazali na še dodatna, doslej neizkoriščena ležišča zemeljskega plina. Izredno zanimiv podatek so ocenjene zaloge plina v globokih srednjemiocenskih peščenjakih, ki jih je ovrednotilo britansko

Vrtna dela na vrtini Pg-10. Vir: Ascent Resources.



ekspertno podjetje RPS Energy. S petdesetodstotno verjetnostjo je podjetje izračunalo, da je geoloških zalog plina v omenjenih plasteh približno 13 milijard kubičnih metrov. Za primerjavo naj povemo, da znaša sedanja letna poraba plina v Sloveniji slabo milijardo kubičnih metrov.

Kako poteka pridobivanje zemeljskega plina?

Frakturiranje slojev predstavlja le eno izmed številnih faz, ki se vrstijo v procesu izgradnje nove vrtine in njene priprave na proizvodnjo nekonvencionalnega plina. Za uspešno pridobivanje je tako treba najprej določiti ustrezno mesto za novo vrtino, sledita vrtnanje in opremljanje vrtine, nato pa pride na vrsto frakturiranje ciljnih slojev. Šele ko je vrtina dokončno zgrajena, nastopi proizvodnja. V nadaljevanju sledi opis pomembnejših korakov, ki si sledijo na poti k vzpostavitvi proizvodne vrtine.

Izbira mesta za novo vrtino

Določitev ustreznega mesta za novo vrtino je plod sistematičnega dela geologov in naftnih inženirjev. Po analizi ter ustrezni interpretaciji geoloških in geofizikalnih podatkov (kot na primer interpretacija seizmičnih profilov, karotažnih diagramov, litostratigrafskih značilnostih polja) določijo mesto in ciljno globino nove vrtine, na kateri se nahaja potencialno ležišče ogljikovodikov. Nato na izbranem mestu postavijo vrtalno ploščad, temu pa sledi začetek vrtalnih del. Posamezna vrtalna garnitura lahko izvrta eno vrtino, lahko pa se iz posamezne vrtine izvrta tudi po več stranskih vrtin, od katerih gre vsaka v svojo smer (tako imenovano usmerjeno ali vodoravno vrtnanje).

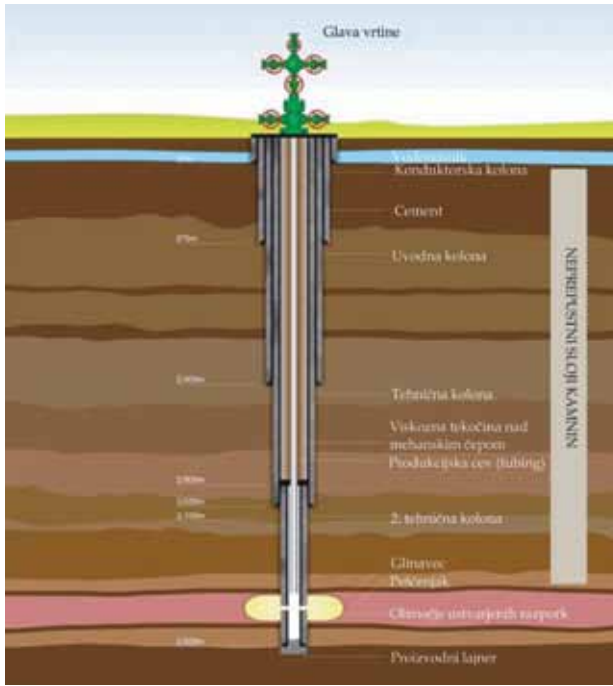
Izgradnja vrtine (vrtnanje, cevljenje, cementiranje, perforiranje)

Vrtnanje naftno-plinske vrtine izvajajo z rotacijsko vrtalno garnituro s pomočjo ustreznega vrtalnega drogova in opreme. V prvi fazi vrtnanja izvrtajo, zacevijo in zacemen-

tirajo pri površinski del vrtine, imenovan uvodna kolona (*surface casing*). V drugi fazi sledijo poglobljanje vrtine bodisi navpično ali usmerjeno in nato vgradnja ter cementacija tehnične kolone (*intermediate casing*). Nato vgradijo zaščitno cev z najmanjšim premerom, ki sega vse do dna vrtine in jo imenujemo proizvodna kolona (*production casing*). Vsaka vrtina je tako zasnovana z vsaj tremi vrstami zaščitnih cevi različnih premerov, torej z uvodno, tehnično in proizvodno kolono, ki so neprepustne za okolico in tako zagotavljajo dodatno zaščito plitvih vodonosnikov. V fazi cementacije v obročni medprostor (to je tanek pas med zunanjo steno zaščitne cevi ter obdajajočimi kamninskimi sloji) vbrizgajo cementno kašo. Vloga cementa je, da izolira vrtino od obdajajoče kamnine in zagotovi podporo zaščitni koloni cevi. Ko se cement strdi, proizvodno cev in cementno plast perforirajo na ciljnem globinskem intervalu. Perforacije so manjše luknjice v zaščitni koloni cevi in cementni oblogi, ki jih v ta namen prestrelijo s tako imenovanim perforatorjem (posebna globinska naprava za nastreljevanje intervalov) in tako omogočijo dotok zemeljskega plina v vrtino. Sledi namestitev opreme na priporovršinski del vrtine (ustje vrtine), ki je projektirana in testirana na najvišji pričakovani tlak. Glavo vrtine sestavlja skupina zaščitnih ventilov, ki so povezani z zaščitnimi cevmi v vrtini in skrbijo za nadzorovano ter varno proizvodnjo ogljikovodikov.

Hidravlično frakturiranje

Frakturiranje slojev (uporabljajo se tudi izrazi hidravlično lomljenje ali mehanska obdelava slojev) je že desetletja ustaljen postopek v industriji proizvodnje nekonvencionalnih ogljikovodikov povsod po svetu. Na ta način izboljšajo prepustnost ležišča, s čimer povečajo produktivnost vrtine. Takšna ležišča imajo namreč nizko poroznost in hkrati zelo slabo prepustnost (nizka pretočnost za tekočine in pline), kar seveda močno ovira pritok plina v vrtine. Primeri takšnih le-



Shematski prikaz zgradbe vrtine.

Vir: www.slovenski-plin.si.

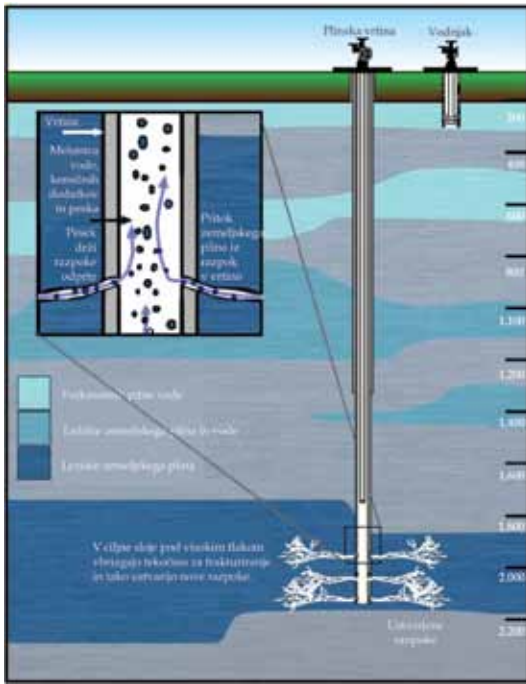
žišč so globoko ležeče plasti skrilavcev ali peščenjakov, iz katerih se zemeljskega plina brez predhodne obdelave slojev skoraj ne da izkoriščati. Zato je treba takšna ležišča frakturirati in v njih ustvariti razpoke, skozi katere lahko plin doteka v vrtino. Sodobne izboljšave tehnologije hidravličnega lomljenja omogočajo nadzorovano ustvarjanje mreže razpok v vnaprej določenih predelih plinonosnih plasti. Frakturiranje lahko izvajajo v navpičnih ali pa v vodoravnih vrtinah. Za črpanje plina so primerne predvsem zadnje, saj jih lahko usmerimo po samem plinonosnem sloju in ne le skozi njega.

Frakturiranje poteka tako, da v notranjost vrtine pod visokim tlakom vbrizgajo tekočino za frakturiranje. Ta nato vdre skozi perforirane odseke v ciljne sloje skrilavca oziroma peščenjaka in tako ustvari nove razpoke, hkrati pa razširi že obstoječi sistem razpok znotraj sloja. Tekočina za frakturiranje lahko prehaja izključno v izbrane sloje,

ostali sloji, kot na primer vodonosniki pitne ali geotermalne vode, pa so od vrtine povsem izolirani s tremi vrstami zaščitnih cevi. Največji delež tekočine za frakturiranje predstavlja voda. Dodani so ji propant (pesek ali keramična zrna), ki omogoča, da razpoke ostanejo odprte, in največ do dva odstotka kemičnih dodatkov, ki dajejo tekočini ustrezne lastnosti. Vsi uporabljeni kemični dodatki so ustrezno pregledani in opremljeni s pripadajočimi varnostnimi listi. V prvi vrsti so namenjeni izboljšanju lastnosti tekočine za frakturiranje slojev. Sestava tekočine, uporabljene pri petih primerih frakturiranja slojev v vrtinah Pg-10 in Pg-11A v letu 2011, je bila: 93,8 odstotka vode, 5,9 odstotka kalijevega klorida (sol za stabilizacijo nabreklih glin) in le 0,3 odstotka kemičnih dodatkov.

Kot propant se je uporabil inertni material, in sicer zrna sintranega boksita s podobnimi lastnostmi kot keramika. Vodna mešanica, ki se uporablja pri vrtanju in pri frakturiranju, se po končanih delih prek proizvodne cevi v vrtini vrne na površje (povratni tok). To mešanico se nato zbere v posebnih zbiralnikih in se jo odpelje na čistilno napravo.

Frakturiranje se načeloma izvaja v več fazah, pri čemer v vrtino vbrizgavajo različne različice mešanice za frakturiranje. Najprej v izbrani sloj vbrizgajo zgolj tekočino za frakturiranje brez dodatka zrn propanta, tako da se ustvarijo nove razpoke. Ko je dosežena načrtovana velikost razpok (ustrezna dolžina, širina in višina), se tekoči mešanici doda propant, ki se potem nakopiči v novonastalih razpokah in jih zato drži odprte tudi po prenehanju vtiskovanja. Sila vode tako prispeva k širitvi razpok, delci zrn pa jih ohranjajo odprte tudi po sprostitvi tlaka vtiskovanja.



Prikaz hidravličnega frakturiranja v navpični vrtini. Podobna frakturiranja so bila leta 2011 izvedena v vrtinah Pg-10 in Pg-11A. Vir: EPA, 2011.

Proizvodnja

Po izgradnji vrtine in montaži ustreznih opreme sledi težko pričakovana proizvodnja zemeljskega plina. Pri črpanju iz vrtine lahko prihajata na površje skupaj s plinom tudi kondenzat (tekoči ogljikovodiki od C₅ naprej) in slojna voda (voda, ki je naravno prisotna v porah kamnin že več milijonov let in je po sestavi podobna geotermalni vodi). Mešanica vseh treh sestavin (proizvedenih tekočin in plina) nato vstopi v gravitacijski separator - to je napravo, v kateri se posamezne sestavine zaradi različnih gostot samodejno ločijo med seboj. Na dnu separatorja se zato kopiči slojna voda, na kateri plava sloj lažjega kondenzata, v zgornjem delu separatorja pa najdemo najlažjo sestavino, torej plin. Vse tri sestavine nato ločeno zapustijo separator in prek različnih cevi nadaljujejo svojo pot do rezervoarjev.

Okoljski vidik frakturiranja

V zadnjih desetih letih je bilo opravljenih veliko število ameriških in evropskih raziskav, ki naj bi predstavile okoljske vidike frakturiranja. Glavni dve študiji o možnih vplivih frakturiranja na okolje sta v letih 2011 in 2012 opravila ameriška Agencija za zaščito okolja (EPA) ter Urad za atomsko energijo iz Velike Britanije (AEA). Zadnja je bila narejena prav za Evropsko komisijo. Raziskavi svarita predvsem pred morebitnim onesnaženjem vodonosnikov s pitno vodo, do katerega bi lahko prišlo zaradi uhanja plina ali tekočine za frakturiranje – bodisi zaradi poškodbe strukture vrtine ali pa migracije plina oziroma tekočine prek novonastalih razpok v primeru, da bi se te razširile do zgornjih vodonosnih plasti.

Geološki zavod Slovenije je pripravil poročilo o vplivih nedavno izvedenega frakturiranja v dveh novih vrtinah v Sloveniji na okolje. Zaključki tega poročila kažejo, da dosedanje pridobivanje zemeljskega plina iz vrtin Pg-10 in Pg-11A s postopkom frakturiranja nikakor ni vplivalo, ne vpliva in ne bo vplivalo na okolje. K temu je bilo dodano opozorilo, da je pri izvajanju vseh faz vrtnja in pridobivanja plina treba uporabljati najboljšo razpoložljivo tehniko. Poudarjeno pa je tudi bilo, da zaradi zelo debelega zaporedja sedimentov, ki ležijo med nekonvencionalnimi plinonosnimi plastmi ter gospodarsko pomembnimi vodonosniki geotermalne in pitne vode, ni pričakovati vpliva nekonvencionalnega plina na tovrstne vodonosnike. Vodonosnik pitne vode namreč predstavljajo holocenski prodnati sedimenti reke Mure, ki se nahajajo blizu površja na globini 20 do 30 metrov, medtem ko se dno novih plinskih vrtin nahaja na globini približno 3.500 metrov. Frakturiranje je bilo izvedeno v srednjemiocenskih peščenjakih na globinah, večjih od 3.000 metrov, kar pomeni, da je med frakturiranimi plinonosnimi plastmi in vodonosniki pitne

vode odložena več kot 2.500 metrov debela skladovnica peščenjakov in neprepustnih glinavcev, ki delujejo kot izolator in dodatno preprečujejo kakršnokoli izmenjavo tekočin med ležiščem in vodonosnikom.

Okoljski problemi, ki so jih v zadnjih letih zaznali pri postopkih hidravličnega frakturiranja, so povezani predvsem z obsežnim pridobivanjem ogljikovodikov iz skrilavcev v Združenih državah Amerike in ne peščenjakov, iz katerih pridobivajo ogljikovodike v Murski depresiji. Negativni odnos do frakturiranja povzročajo predvsem obsežne operacije v plasteh skrilavcev, iz katerih v Ameriki uspešno pridobivajo nekonvencionalni plin že od začetka devetdesetih let dvajsetega stoletja in kjer se letno opravi več kot 30.000 frakturiranj. Splošna značilnost hidravličnega frakturiranja v Sloveniji je, da so pri nas razsežnosti projektov z uporabo frakturiranja mnogo manjše kot v primeru ameriških projektov. Poleg tega so geološke okoliščine v Petišovcih popolnoma drugačne, saj je med globino izvajanja frakturiranja in vodonosniki več kot 2.500 metrov globinske razlike, kar je veliko več kot v primeru mnogih plinskih polj skrilavcev v Združenih državah Amerike.

V tabeli je podana primerjava med povprečnim ameriškim poljem, kjer proizvajajo plin iz skrilavcev, in poljem Petišovci, kjer proizvajajo tesno vezani plin iz peščenjakov. V obeh primerih gre za pridobivanje nekonvencionalnega plina, ki zahteva predhodno frakturiranje proizvodnih slojev.

V nadaljevanju bomo podali tri glavne razlike med pridobivanjem plina iz skrilavcev v Združenih državah Amerike in pridobivanjem plina iz tesnih peščenih slojev v Petišovcih. Ena od bistvenih razlik je litologija ležišča, saj sta peščenjak in skrilavec dve različni kamnini, zgrajeni iz različno velikih zrn. Skrilavec namreč tvorijo izredno majhna zrnca mineralov gline, med katerimi so pore (v katerih je plin shranjen) precej manjše in med seboj slabše povezane kot v

peščenjakih. Zaradi tega so skrilavci manj prepustni, kar pomeni, da so pri pridobivanju plina iz skrilavcev potrebni veliko agresivnejši posegi v kamnino kot pri pridobivanju plina iz tesnih peščenih slojev. Poleg tega ima vrsta kamnine velik vpliv tudi na lastnost ustvarjenih razpok. Stanja napetosti (težavnost preloma kamnine) skrilavcev in peščenjakov se močno razlikujejo. Na splošno je nadtlak, potreben za odprtje novih razpok v peščenjaku, veliko manjši kot nadtlak, potreben za odprtje novih razpok v skrilavcih, kar pomeni, da je ustvarjanje razpok v peščenjakih veliko lažje kot v skrilavcih.

Druga pomembna razlika je obseg obdelave. Ker je prepustnost skrilavcev pogosto stali celo tisočkrat manjša kot prepustnost tesnih peščenih slojev, mora biti območje ustvarjenih razpok v skrilavcih, da bi pretok plina bil komercialno dovolj zanimiv, znatno večje. Tipična dolžina razpok v skrilavcih znaša do 400 metrov, medtem ko znaša dolžina največjih razpok, ustvarjenih v novih dveh vrtinah na Petišovskem polju, zgolj 90 metrov. Za ustvarjanje tako velikih razpok v skrilavcih porabijo običajno do 20.000 kubičnih metrov tekočine za frakturiranje, medtem ko frakturiranje tesnih peščenih slojev v Petišovcih zahteva največ do 500 kubičnih metrov takšne tekočine. Iz tega sledi, da zahteva izvedba frakturiranja v peščenjakih veliko manj energije kot tudi opreme in zato pomeni precej manjšo obremenitev za okolje.

Kot tretjo pa navajamo še eno bistveno razliko, ki pravzaprav odgovarja na eno izmed prej omenjenih okoljskih vprašanj glede hidravličnega frakturiranja, in sicer - ali se lahko razpoka potencialno razširi do nahajališča pitne vode in jo s tem onesaži. Možnosti za kaj takega v primeru miocenskega ležišča v Petišovcih ni, saj je tamkajšnja geološka sestava ugodna za razvoj tako imenovanih omejenih razpok in je zato inženirjem v pomoč pri nadzoru in ohranjanju razpok znotraj ciljnega sloja. Ko se namreč v pe-

Značilnosti ležišča	ZDA	Petišovci
Tip ležišča	Skrilavec	Peščenjak
Število vrtin na eno plinsko polje	3.000-10.000	15-20
Število frakturiranj na vrtino	30-50	4-6
Tekočina za frakturiranje – količina za eno frakturiranje	5.000-20.000 m ³	100-500 m ³
Dolžina ustvarjenih razpok	300-500 m	70-100 m
Globina plinonosnih slojev	150-2.500 m	2.200-3.500 m
Globina vodonosnika s pitno vodo	150-400 m	~20 m
Globina vodonosnika s toplo (geotermalno) vodo		<1.200 m
Debelina neprepustnih glinavcev nad plinonosnimi peščenjaki Petišovci-Globoki		80-200 m

Tabela: Povzetek razlik med aktivnostmi izkoriščanja plina iz skrilavcev v ZDA in aktivnostmi izkoriščanja plina iz tesnih peščenih slojev v Petišovcih. Vir: EPA (2011), arhiv Ascent.

ščenjaku ustvarjena razpoka širi navzgor in doseže krovne glinavce, naleti na oviro, saj je prelom glinavcev veliko težji. Razpoka se nato prične namesto nadaljnega širjenja navzgor širiti vzdolž sloja peščenjaka in s tem ustvari omejeno razpoko. To pomeni, da ustvarjene razpoke (in tekočina za frakturiranje) ostanejo v sloju, v katerem so to načrtovali inženirji, in da njihova migracija v krovne glinavce in potencialno v plitvejšje sloje ni mogoča. Drugačen je položaj v Združenih državah Amerike, kjer lahko razpoka, ki je ustvarjena v sloju velike napetosti (skrilavci), doseže krovni peščenjak nizkega napetostnega stanja in se razširi zunaj območja (običajno navzgor v smeri nižje odpornosti) in postane potencialno neobvladljiva, saj je lom peščenjaka lažji.

Ob koncu tega prispevka ne gre pozabiti na nedavno študijo, ki je bila septembra leta 2014 objavljena v uradni reviji ameriške akademije za znanost. Ekipa znanstvenikov

iz petih priznanih ameriških univerz je raziskala primere, kjer naj bi vsebnost metana v pitni vodi nekaterih območij zaradi izkoriščanja plina v bližnjih poljih skrilavcev postala nevarno visoka. Omenjeni vodonosniki se nahajajo nad obsežnimi nahajališči nekonvencionalnega plina v Pensilvaniji in Texasu (tako imenovani skrilavci Marcellus in Barnett), kjer se zadnjih nekaj let izvajajo obsežna frakturiranja. V javnosti je bilo zato pogosto zaslediti prepričanja, da naj bi ta metan uhajal iz frakturiranih skrilavcev in nato prek umetno povzročenih razpok prešel do zgornjih, plitvo ležečih vodonosnih plasti. Izsledki študije so pokazali, da gre vzroke iskati povsem drugje. Rezultati namreč razkrivajo, da je prisotnost metana v tistih vodonosnikih pitne vode, ki pred frakturiranjem niso vsebovali plinske sestavine (kajti poznamo tudi vodonosnike, v katerih je metan zaradi naravnih geoloških danosti že od nekdaj prisoten), posledica slabe izgra-

dnje vrtine in ne hidravličnega frakturiranja skrilavcev niti usmerjenega vodoravnega vrtanja. Študija tako poudarja, da so glavni razlogi za pobeg zemeljskega plina nepravilnosti znotraj cementne obloge in zaščitnih cevi. To kaže, da pridobivanje plina z uporabo hidravličnega frakturiranja za okolje ni nič bolj nevarno kot katere koli druge aktivnosti vrtanja za izkoriščanje nafte, plina ali geotermalnih virov, saj je predvsem zgradba vrtine tista, ki mora biti dovršena in mora zagotavljati popolno izolacijo od obdajajočih slojev.

Aktualno stanje v Petišovcih

Novi vrtini Pg-10 in Pg-11A kljub izrazitemu potencialu še vedno nista vključeni v redno proizvodnjo zemeljskega plina na Petišovskem polju. Glavni razlog za to je, da obstoječa centralna plinska postaja (v kateri se plin iz ostalih vrtin zbira in ločuje od slojne vode ter kondenzata) ne omogoča čiščenja plina in ga lahko kot takšnega - surovega z vsemi primesmi vred - odda le industrijskim porabnikom v bližini, ki prav takega potrebujejo za svoje proizvodne procese. Ob tem se seveda pojavi vprašanje, zakaj petišovski plin ni vključen v slovensko državno plinsko omrežje, saj bi z njim lahko oskrbovali več tisoč gospodinjstev. Za kaj takšnega bo treba počakati na izgradnjo nove centralne plinske postaje, ki bo surovemu zemeljskemu plinu (gre za mešanico metana, etana in višjih ogljikovodikov, vsebuje pa tudi kisle sestavine, kot sta na primer ogljikov dioksid in vodikov sulfid) odstranila kisle primesi in tako pripravila plin takšne kakovosti, ki bo ustrezal merilom za vstop v slovensko plinsko omrežje. Tovrstne centralne plinske postaje so namreč standardni obrati v evropski in svetovni plinski industriji, saj predstavljajo obvezni povezovalni člen med proizvodnimi vrtinami in nacionalnimi omrežji zemeljskega plina. Izgradnja nove centralne plinske postaje v Petišovcih, ki je trenutno v postopku pridobivanja ustreznega okoljevarstvenega do-

voljenja, bi Sloveniji lahko omogočila, da bi se po državnem plinskem omrežju prvič v zgodovini pretakal tudi »domači« slovenski plin.

Za vsebino prispevka je izključno odgovorna avtorica in ne predstavlja stališč podjetja, v katerem je ta zaposlena.

Viri in literatura:

- AEA (UK Atomic Energy Authority), 2012: Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe. Report for European Commission DG Environment, Issue Number 17c.*
- Darrab, T. H., Vengosh, A., Jackson, R. B., Warner, N. R., Poreda, R. J., 2014: Noble gases identify the mechanisms of fugitive gas contamination in drinking-water wells overlying the Marcellus and Barnett Shales. Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America, DOI:10.1073/pnas.1322107111.*
- EPA (U. S. Environmental Protection Agency), 2011: Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. EPA/600/R-11/122.*
- Geološki zavod Slovenije, 2013: Poročilo o vplivih na okolje pri pridobivanju ogljikovodikov z uporabo hidravličnega lomljenja (frakturiranja) globokih plinonosnih kamnin na Petišovsko-Dolinskem polju. Ljubljana: GeoZS. 130 str.*
- Kansas Geological Survey, 2011: Hydraulic Fracturing of Oil and Gas Wells in Kansas. Public Information Circular, 32: 6 str.*
- Markič, M., 2013: Zakaj nastopata zemeljski plin in nafta ravno na območju Lendave. Bilten Mineralne surovine v letu 2013. Ljubljana: GeoZS. 122-138.*
- Ohio State University, 2014: Fracking: Gas leaks from faulty wells linked to contamination in some groundwater. ScienceDaily. Dostopno na: <http://www.sciencedaily.com/releases/2014/09/140915095851.htm>.*
- Perič, M., 2007: Englesko-hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina. Zagreb: INA Industrija nafte d.d. 1039 str.*
- Spletna stran Ascent Resources, 2014: Dostopno na: <http://www.slovenski-plin.si/>.*



Kristina Verbole je v začetku leta 2014 diplomirala na Oddelku za geologijo na Naravoslovnotehniški fakulteti v Ljubljani. V svoji diplomski nalogi, ki nosi naslov Interpretacija in korelacija geofizikalnih karotažnih meritev na območju naftno-plinskega polja Petišovci, se je posvetila naftni geologiji, še posebej geofizikalnim meritvam v vrтинah. Po zaključku študija se je pridružila podjetju Ascent Resources d. o. o., ki se ukvarja z dejavnostmi, povezanimi s pridobivanjem nafte in plina na Petišovskem polju, kot geologinja pa se trenutno ukvarja z ugotavljanjem primernih vrтин za vračanje slojne vode nazaj v proizvodna ležišča nafte. Vbrizgavanje slojne vode je namreč že desetletja ustaljena praksa, ki jo v naftni industriji uporabljajo predvsem zaradi večjega izčrpk iz starejših naftnih ležišč.

Nizka barja v Bohinju • Botanika

Nizka barja v Bohinju

Špela Novak

2. februarja praznujemo svetovni dan mokrišč. Na ta dan je bila leta 1971 sprejeta *Ramsarska konvencija* oziroma *Konvencija o mokriščih*. Gre za mednarodno pogodbo, s katero so se podpisnice zavezale k ohranjanju in smotrni rabi mokrišč. Mokrišča so zibelka biotske raznovrstnosti, zagotavljajo vodo in primarno produkcijo, od česar je odvisno preživetje številnih vrst rastlin in živali. So zadrževalniki vode, hranilnih snovi in usedlin, omilijo posledice neviht in učinke poplav, so pomembna za praznjenje in obnavljanje podtalnice kot tudi za ustalitev krajevnega podnebja. Med mokrišča sodijo tudi nizka barja.

Že ljudski rek pravi: »V Bohinju ima dež ta mlade,« in ob deževju se res hitro napolnijo številni hudourniki, ki tečejo po strmih pobočjih v jezero. Teren v bližini Ribčevega Laza je bolj položen in tam lahko najdemo tudi nekaj izvirov. Prevladujejo reokreni izviri, kjer voda takoj, ko pride na dan, začne odtekat v obliki potoka. V bukovem gozdu, ki je na nekaterih zemljevidih označen kot Mlake (pod planino Zagradec, na osonnih pobočjih južno od Bohinjskega jezera), je precej helokrenih izvirov, kjer voda mezi iz tal in se počasi pretaka po površju. Tla so precej plitva. Razmere za rast dreves so

tam neugodne in zato se razvije posebna združba rastlin, med katerimi prevladujejo mahovi, šaši in druge močvirske ter barjanske rastline. Tako rastišče imenujemo nizko barje. Verjetno vsem bolj poznana so visoka barja. Ta imena niso dobila po tem, da ležijo na višji nadmorski višini. Na visokih barjih prevladujejo šotni mahovi, ki v zgornjem delu rastejo, v spodnjih plasteh pa oglenijo - tvori se šota. Tako zgornje plasti izgubijo stik s talno vodo in jih napaja samo padavinska voda, ki je revna z mineralnimi snovmi. V prečnem prerezu imajo takšna barja lečasto obliko. Najdemo jih na primer na Pokljuki, Jelovici in na Pohorju. Nizka barja so pri nas bolj pogosta in se raztreseno pojavljajo po skoraj vsej Sloveniji (izjema sta subpanonsko in submediteransko fitogeografsko območje). Ne napaja jih samo deževnica, ampak imajo stalni stik s talno vodo. Zato so tla nekoliko bolj bogata z



Zgornje jase niso videti nič posebnega, če pa dobro pogledamo, bomo opazili šaše, munce, številne kukavičevke in drobne rosike. Na slikah so barja na Mlakah v bližini Bobinjskega jezera.

Foto: Špela Novak.

mineralnimi snovmi kot tla visokih barj in glede na to se na različnem tipu barja razvijajo različne združbe rastlin. Na nizkih barjih ne najdemo šotnih mahov, prevladujejo druge vrste mahov. Geološka podlaga je navadno bazična: apnenčasta ali dolomitna. Kjer se kopiči organska snov, je podlaga rahlo zakisana. Tam najdemo bolj kisloljubne rastline, kot je na primer brusnica (*Vaccinium vitis-idaea*).

Na Mlakah nad Bohinjskim jezerom najdemo vsaj tri ločene površine nizkih barj, ki jih obdajajo bukovi ali smrekovi gozdovi. Na njih prevladujeta vrsti, značilni za bazična nizka barja: srhki (*Carex davalliana*) in Hostov šaš (*C. hostiana*), pogosti pa so tudi proseni (*C. panicea*), luskoplodni (*C. lepidocarpa*), črnkasti (*C. nigra*) in rumenkasti šaš (*C. flava*). Medtem ko so si šaši za nepoznavalce verjetno precej podobni, bomo hitro opazili »vataste« plodove širokolistnega in ozkolistnega munca (*Eriophorum latifolium* in *E. angustifolium*). Težje opazimo nizko ostričevko malocvetno sito (*Eleocharis quinqueflora*), ki

uspeva v plitvih občasnih lužah in na peščenih ali kamnitih tleh z mezečo vodo. Na teh barjih uspevajo tudi vrste, značilne za vlažne travnike, kot so na primer trava modra stožka (*Molinia caerulea* subsp. *caerulea*), močvirska preslica (*Equisetum palustre*), močvirski in mehki osat (*Cirsium palustre*, *C. oleraceum*) ter dolgolistna meta (*Mentha longifolia*). Rob barj se zarašča z rušjem (*Pinus mugo*) in smreko (*Picea abies*), pogoste lesne vrste so tudi navadna krhlika (*Frangula alnus*), navadni brin (*Juniperus communis*) in siva vrba (*Salix eleagnos*). Ker tla vsebujejo malo dušikovih spojin, uspevajo tudi nekatere mesojede rastline. Bolj opazni so beli



Alpska mastnica (Pinguicula alpina) in dolgolistna rosika (Drosera anglica) sta mesojedi rastlini.

Foto: Špela Novak.



Navadna močvirnica (Epipactis palustris), dvodomna špajka (Valeriana dioica) in srbki šas (Carex davalliana) so pogoste rastline na nizkih barjih.

Foto: Špela Novak.



cvetovi alpske mastnice (*Pinguicula alpina*), ki kljub imenu ne uspeva samo v visokogorju. Rastlina na površini listov izloča snovi, s katerimi privablja žuželke, navadno mušice. Te se na liste prilepijo, rastlina pa z izločki poskrbi za njihovo prebavo.

Če pozorno pogledamo, bomo med mahovi opazili še eno mesojedo rastlino. Dolgolistna rosika (*Drosera anglica*) žuželke privablja z rdečimi listnimi dlačicami, ki imajo na konci kapljico lepljivih snovi. Ko se žuželka usede na list, se prilepi, dlačice se upognejo proti njej in list se zvije skupaj, žuželka pa ujeta čaka svoj konec. Nahajališče dolgolistne rosike na Mlakah je do zdaj edino znano nahajališče te vrste v Bohinju.

Med bolj opaznimi vrstami so tudi kuka-
vičevke (*Orchidaceae*). Navadna močvirnica
(*Epipactis palustris*) ima velike belo-rožnate
cvetove, uspevajo pa tudi dvolistni vime-
njak (*Platanthera bifolia*), navadni in deh-
teči kukovičnik (*Gymnadenia conopsea* in *G.*
odoratissima), Fuchsova prstasta kukavica
(*Dactyloctenium aegyptium* subsp. *fuchsii*) pa se
pojavi ob robu barja. Na barjih je pogosta
dvodomna špajka (*Valeriana dioica*). Že ime
vrste pove, da je rastlina dvodomna – na eni
rastlini se razvijejo samo moški cvetovi s
prašniki, na drugi pa samo ženski cvetovi s
pestiči. Pogoste so nekatere rastline, ki jih
lahko opazimo tudi v višjih legah: marjeti-
časta nebina (*Aster bellidifolium*), navadna
žiljka (*Tofieldia calyculata*), močvirska sa-
moperka (*Parnassia palustris*) in velecvetna
črnoglavka (*Prunella grandiflora*). Navadna
mračica (*Globularia punctata*) se po podlagi
razrašča kot polegel grmiček, za razliko od
ostalih naših mračic je njeno steblo olistano.
Cvetovi s štirimi rumenimi venčnimi listi
pripadajo srčni moči (*Potentilla erecta*). Za
vlažna rastišča je značilen močvirski dimek
(*Crepis paludosa*), čigar stebelni listi s srča-
stim dnom objemajo steblo.

V Bohinju je še več krajev, kjer nam oster
pogled tudi sredi mezotrofnega (zmerno
gnojena in košenega) travnika razkrije ši-
rokolistne munce (*Eriophorum latifolium*), ki
štrlijo nad ostalimi rastlinami. In če se jim
približamo, bomo kmalu stali v vodi, ki iz-
vira nekje v bližini. V družbi muncev lahko
zasledimo še eno vrsto iz družine ostričevk.
Tudi črnkasti sitovec (*Schoenus nigricans*) je
značilen za nizka barja, predvsem pa za po-
virja na dolomitni podlagi. Kot ranljiva vr-
sta je uvrščen na *Rdeči seznam*. Na povirjih
v okolici Bohinjske Bistrice lahko opazimo
Loeslovo grezovko (*Liparis loeselii*), pri nas
redko kukavičevko, ki je evropsko varstveno
pomembna vrsta (*Natura 2000*), na *Rdečem*
seznamu pa je navedena kot prizadeta vrsta
(E).

Nizka barja so bolj pogosta do nadmor-
ske višine 1.000 metrov, višje se razvijejo
predvsem na obrobjih visokih barij. Pose-
ben tip nizkih barij lahko opazimo še višje
od visokih barij. V bližini Zasavske koče
na Prehodavcih (2.071 metrov) se nahaja
nizka barja s Scheuchzerjevim muncem
(*Eriophorum scheuchzeri*). Prav tako se je

Širokolistni munc (Eriophorum latifolium) in črnkasti sitovec (Schoenus nigricans) med travniki ob kolesarski stezi Savica-Stara Fužina. Foto: Špela Novak.





Loeslovo grezovko (Liparis loeselii) zaradi majhnosti in zelenkaste barve težko opazimo.

Foto: Špela Novak.

uspevajo plahčice (*Alchemilla* spp.), gorski drobnjak (*Allium schoenoprasum* subsp. *alpinum*), previsna bekica (*Luzula spicata*), živorodna dresen (*Polygonum viviparum*), snežna kislica (*Rumex nivalis*) in kostanjevorjava detelja (*Trifolium badium*). Če pozorno pogledamo in smo večji ločevanja šašev, lahko opazimo tudi nizek šaš modrikaste barve.

Dvobarvni šaš (*Carex bicolor*) je ena najbolj redkih rastlin pri nas, saj za zdaj poznamo le to in nahajališče pri bližnjem Zelenem jezeru. Čeprav v slovenski *Mali flori* piše, da gre pri tej vrsti za dvomljivo navedbo, je bilo njeno uspevanje potrjeno v letih 2010 in 2012. Podobne rastlinske združbe s Scheuchzerjevim muncem najdemo še ponekod v Julijskih Alpah.

Nizka barja ogrožata predvsem izsuševanje in kanaliziranje vode za pridobivanje boljših kmetijskih zemljišč. Nanje močno vplivajo spremembe vodnega režima, gradnja kolo-

razvilo ob izviru, kjer voda počasi mezi iz tal, ker pa gre za kotanjo, se tam dlje zadrži tudi snežna odeja. Tam najdemo vrste, ki so prilagojene na gorsko podnebje, torej drugačno združbo kot na barjih v nižjih legah. V družbi Scheuchzerjevega munca

Nizko barje s Scheuchzerjevim muncem (Eriophorum scheuchzeri) na Prebodačic in dvobarvni šaš (Carex bicolor). Foto: Špela Novak.





Vožnja čez območja nizkih barj povzroči spremembe vodnega režima in mehanske poškodbe rastlin. Foto: Špela Novak.

vozov, poti in cest, gnojenje, zasipavanje in odlaganje materiala. Na teh rastiščih najdemo majhno število vrst, te pa so (predvsem zaradi prej naštetih vplivov) redke in ogrožene ter zato uvrščene na *Rdeči seznam* ali zavarovane z *Uredbo o zavarovanih prsto živečih rastlinskih vrstah*. Vrste so tesno povezane s svojim življenjskim okoljem in če jih hočemo ohraniti, moramo zavarovati njihova rastišča in združbe, v katerih rastejo. Zato bazična nizka barja sodijo med habitatne tipe *Nature 2000*, kar pomeni, da so še posebej pomembna za varovanje.

Tako za visoka kot nizka barja velja, da po njih ne hodimo, saj s tem vnašamo snovi, na katere rastline niso prilagojene. Povečan vnos fosfatov in nitratov lahko povzroči propad rastlin, ki so prilagojene na tla z majhno vsebnostjo omenjenih spojin. Izpodrinejo jih lahko rastline, katerim ustrezajo večje količine hranil v tleh. S hojo po barjih tudi mehansko poškodujemo rastline in povzročamo erozijo.

Literatura in nadaljnje branje:

- Anderle, B., Leban, V., 2014: *Novosti v flori Gorenjske (severozahodna Slovenija) 2. Hladnikia*, 34: 3–26.
- Anonymous, 2002: *Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam (Uradni list RS 82/2002)*: 5–20.
- Boljši, R., 1999: *Več o Ramsarski konvenciji. V: Sovinc, A., urednik: Ramsarska konvencija in slovenska mokrišča. Nacionalni odbor RS za Ramsarsko konvencijo pri Ministrstvu za okolje in prostor, Ljubljana*: 19–34.
- Jogan, N., Kaligarič, M., Leskovar, I., Seliškar, A. in Dobravec, J., 2004: *Habitatni tipi Slovenije HTS 2004. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje*. 64 str.
- Kocjan, J. M., Anderle, B., Dakskobler, I., Seliškar, A. in Vreš, B., 2013: *Prispevek k poznavanju razširjenosti rastlinskih vrst povirij in barj v Sloveniji 2. Folia biologica et geologica (Ex Razprave IV. razreda SAZU)*, 54 (2): 123–175.
- Martinčič, A., 2004: *Bazična nizka barja. V: Jogan, N., Kotarac, M. in Lešnik, A., uredniki: Opredelitev območij evropsko pomembnih negozdnih habitatnih tipov s pomočjo razširjenosti značilnih rastlinskih vrst (končno poročilo). Miklavž na Dravskem polju: Center za kartografijo favne in flore*. 305–313.
- Martinčič, A., Wraber, T., Jogan, N., Turk, B., Podobnik, A., Vreš, B., Ravnik, V., Frajman, B., Strgulc Krajšek, S., Trčak, B., Bačič, T., Fischer, M. A., Eler, K. in Surina, B., 2007: *Mala flora Slovenije. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije*. 967 str.
- Novak, Š., 2010: *Notulae ad floram Sloveniae Carex bicolor All. Hladnikia*, 26: 59–61.
- Tarman, K., 1992: *Osnove ekologije in ekologija živali. Ljubljana: Državna založba Slovenije*. 547 str.



Špela Novak je univerzitetna diplomirana biologinja. Zanima jo predvsem alpska flora, tako je leta 2012 diplomirala iz florističnega pregleda slovenske strani Košute v Karavankah. Kot študentka in projektna sodelavka je v Triglavskem narodnem parku popisovala habitatne tipe in rastlinske vrste ter se pri tem srečala s številnimi varstveno pomembnimi življenjskimi okolji. Trenutno je kot botaničarka zaposlena v Prirodoslovnem muzeju Slovenije, kjer ureja stare herbarijske zbirke in skrbi za delovanje Alpskega botaničnega vrta Juliana. V prostem času rada teče, pleza in hodi v hribe. Foto: Tanja Menegalija.

Fizika • Mala zgodovina svetlobe

Mala zgodovina svetlobe

Janez Strnad

Zaradi pozornosti, ki bo v *Mednarodnem letu svetlobe 2015* namenjena svetlobi in njeni uporabi, je smiselno na kratko pregledati, kako se je v fiziki spreminjal pogled na svetlobo.

Svetloba je za ljudi zelo pomembna. Na Zemljo prinaša energijo s Sonca. Brez svetlobe ne bi bilo vida. S svetlobo prenašamo sporočila na daljavo. Fizika je preko nje prišla do kvantne teorije in teorije relativnosti.



**INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015**

Znak Mednarodnega leta svetlobe 2015.

Vir: Wikipedia. Vir: www.light2015.org.

Za svetlobo so se ljudje zanimali od nekdaj. Če začnemo v stari Grčiji, to ne pomeni, da drugod, na primer v Indiji, niso imeli zanimivih misli o svetlobi. V 5. stoletju pred našim štetjem so Grki mislili, da vidijo, ker izvira iz oči nekakšen tok. To misel je na začetku 3. stoletja pred našim štetjem Evklid spravil v geometrijski ovir. Oko je vrh stožca in predmet, ki ga vidimo, njegova osnovna ploskev. Žarki so premi. Za velikost predmeta je pomemben kot, pod katerim ga vidimo. Poznal je odbojni zakon, da je odbojni kot enak vpadnemu. Arhimed je v 2. stoletju pred našim štetjem obravnaval odboj na krogelnih zrcalih. Zgodbo, da so z množico zrcal zažgali rimske ladje, pa so si izmislili pozneje.

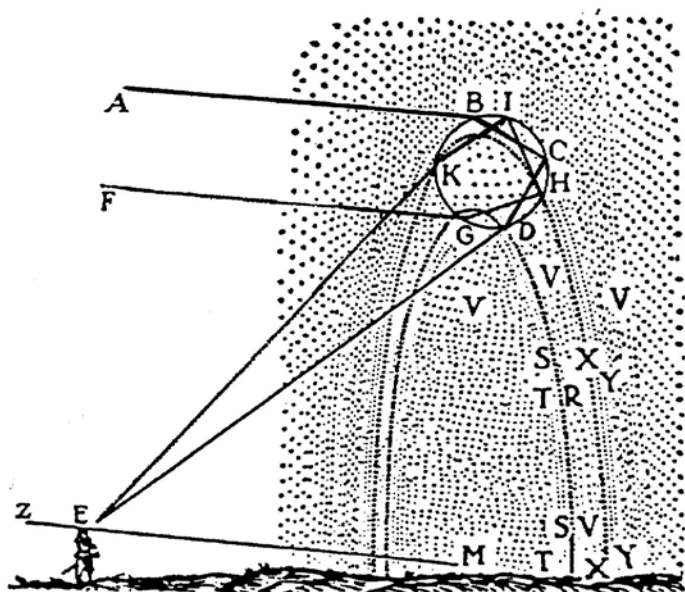
Klavdij Ptolemaj je okoli leta 150 zbral tedanje znanje o svetlobi v knjigi, ki se ni ohranila v celoti. Vztrajal je pri toku iz oči. Obdelal je pogoje, ki morajo biti izpolnjeni, da kaj vidimo. Z odbojnim zakonom je obravnaval ravna ter vdrtta in izbočena krogelna zrcala.

Abu Ali al-Hasan Ibn al-Hajtam, Alhazen, je delal poskuse, kar tedaj ni bilo v navadi. V *Knjigi o svetlobi* je okoli leta 1015 ovrgel zamisel o toku iz oči. Razločeval je svetlobo, ki jo sevajo telesa, in svetlobo, ki se na telesih odbije. Nekatera telesa ne prepuščajo svetlobe, druga pa jo, na primer zrak in voda. A tudi v teh se svetloba s potovanjem oslabi. Opisal je *mavrico* in *camero obscuro*. Privzel je, da iz vsake točke predmeta izhajajo premi žarki na vse strani. Vid in oko je ločil od ostalega dela optike. Misлил je, da oko od vseh žarkov zazna tistega, ki je pravokoten na oko in ki se ne lomi. Svetlobo naj bi v očesu zaznavala »kristalna tekočina«, leča. Čeprav so se posamezne njegove zamisli precej razlikovale od današnjih, ga imajo nekateri za »očeta optike«.

Tudi Roger Bacon je v 13. stoletju delal poskuse. Prišel je do podobnih spoznanj kot Alhazen. Starejšim ljudem je za izboljšanje vida priporočal odseke steklenih krogel. Umetniške slike kažejo, da so v 14. in 15. stoletju v naočnikih daljnovidni uporabljali zbiralne leče. Razpršilne leče so za kratkovidne začeli uporabljati v 16. stoletju. Na začetku 17. stoletja so imeli pomembno vlogo izdelovalci leč za naočnike.

Galileo Galilei je leta 1609 izvedel za nizozemski izum *daljnogleda* iz zbiralne in razpršilne leče. Izpopolnil ga je in z njim začel sistematično opazovati nebo. Tudi *mikroskop* je nizozemski izum, a dobre leče zanj je bilo težje izdelati.

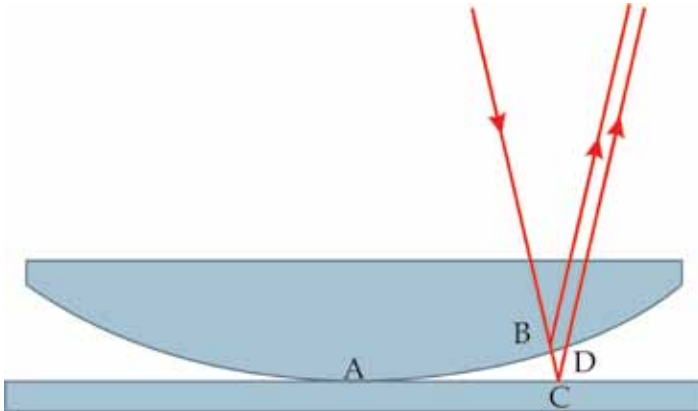
Johannes Kepler je s knjigo *Optični del astronomije* leta 1604 pomembno prispeval k razvoju optike. Nekateri sodijo, da se s to knjigo začne sodobna optika. Ugotovil je, da izvira šop vzporednih žarkov iz zelo oddaljene točke predmeta. Leča zajame del žarkov in jih zbere v točki slike. Vpeljal je pojem *gorišča*. Odkril je *totalni odboj*. Pri prehodu iz stekla v zrak se svetloba lomi od vpadne pravokotnice in je lomni kot večji



Risba mavrice iz Dioptrike Renéja Descartesa leta 1637. Opazovalec ima Sonce za hrbtom in dežne kapljice pred seboj. Glavna mavrica nastane po dveh lomih in odboju na kapljici. Vidimo jo pod kotom med $40,6^\circ$ in $42,4^\circ$ glede na točko, v kateri bi bila senca opazovalčeve glave. Za kot 42° so vedeli že prej.

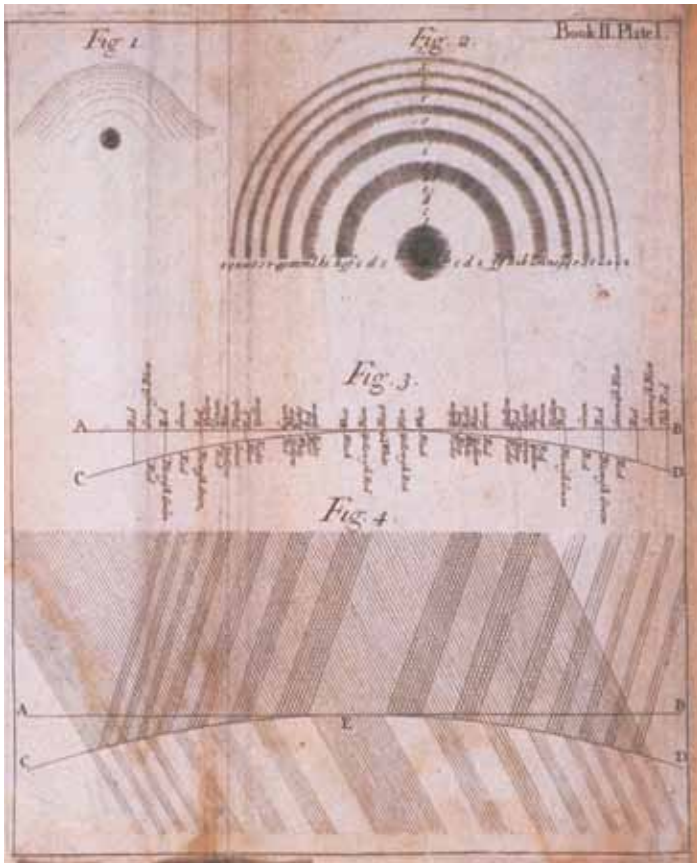
od vpadnega. Ko bi postal lomni kot enak pravemu kotu, se svetloba v celoti odbije po odbojnem zakonu. Spoznal je, da svetlobo zaznava mrežnica, na kateri očesna leča na-

redi obrnjeno sliko predmeta. Podrobno je pojasnil delovanje naočnikov. V *Dioptriki* je leta 1611 opisal delovanje daljnogleda in omenil možnost, da ga sestavljata dve zbiralni leči.



Lomnega zakona Kepler ni poznal. Ugotovil pa je, da je pri majhnem vpadnem kotu lomni kot sorazmeren z vpadnim kotom. V geometrijski obliki je Ibn Sahl že leta 984 v rokopisu *O napravah za netenje ognja* navedel lomni zakon, ki pa je ostal neopažen. Zakon je odkril Thomas Harriot leta 1602, a ga ni objavil. Willebrord Snel je leta 1621 poznal zakon, a ga tudi ni objavil. Objavil ga je René Descartes leta 1637, a je zmotno mislil, da je hitrost svetlobe v steklu večja kot v zraku. Že Alhazen je trdil drugače. Lomni količnik snovi vpeljemo kot razmerje med hitrostjo svetlobe v praznem prostoru in hitrostjo svetlobe v snovi.

Nekdaj so večinoma privzeli, da se svetloba razširi v trenutku. Le redki so domnevali, da potuje z



Newtonovi kolobarji nastanejo, ko osvetlimo plankonvexsko lečo na ravni šipi. Risba kolobarjev iz Newtonove knjige Optika iz leta 1704.

Vir: <http://www.sil.si.edu/Exhibitions/Voyages/explaining-the-heavens.htm>.

zelo veliko, a končno hitrostjo. Galilei je razmišljal o poskusu, da bi izmeril hitrost, a je spoznal, da to z razpoložljivimi sredstvi ni izvedljivo.

Francesco Maria Grimaldi je leta 1660 opazil, da šibka svetloba uide v geometrijsko senco. Pojav, da se svetloba širi »okoli ogla«, je dobil ime *difrakcija, uklon*.

Pierre de Fermat je leta 1662 uvidel, da svetloba pri odboju in lomu ubere pot, za katero porabi najkrajši čas.

Rasmus Bartholin je leta 1669 skozi kristal islandskega dvolomca, kalcijevega karbonata, videl dvojno sliko predmetov. To je bil *dvojni lom*.

Isaac Newton je v letih od 1669 do 1671 sončno svetlobo poslal skozi stekleno tristrano prizmo in dobil mavrico, *spekter*. Tako je odkril *dispertzijo, razklon*, in ugotovil, da belo svetlobo sestavljajo *spektralne barve*. Izdelal je daljnogled s paraboloidnim zrcalom. V knjigi *Optika* je leta 1704 pojasnil barve mavrice. Geometrijsko so mavrico pojasnili že prej. Pri poskusih je opazoval barvo tankih plasti, na primer pri tanki plasti olja na vodni gladini. Raziskal je temne in svetle *Newtonove kolobarje*, ko je osvetlil plankonveksno lečo z ukrivljeno stranjo na stekleni šipi. Te pojave je pripisal »muhavostim« svetlobe. Svetlobo je imel za gibanje zelo hitrih delcev. Kot Descartes je mislil, da steklo delce svetlobe privlači s silo, pravokotno na mejo. Zato se ti v steklu gibljejo hitreje kot v zraku. Newtonovo stališče o naravi svetlobe je bilo dokaj spravlivo. Njegovi pristaši pa so vztrajali pri delčni sliki in se pri tem sklicevali na Newtonov ugled. To je zavrlo razmišljanje o drugačnih razlagah.

Ole Rømer je leta 1676 ugotovil, da časovni razmik med zaporednima mrkoma Jupitrove lune za Jupitrom narašča, ko se Zemlja oddaljuje od Jupitra, in pojema, ko se mu približuje. Po tem je spoznal, da je hitrost svetlobe končna. S tem se je zadovoljil. James Bradley je opazoval *zvezdno aberacijo*. Zvezde v smeri pravokotno na ravnino gi-

banja Zemlje okoli Sonca v letu dni opišejo krožec s polmerom 20,2 kotne sekunde. Leta 1729 je to pojasnil z razmerjem med hitrostjo Zemlje pri gibanju okoli Sonca in hitrostjo svetlobe v pravokotni smeri. Za hitrost svetlobe je dobil 306 tisoč kilometrov na sekundo.

Christiaan Huygens je leta 1678 poročal francoski akademiji in leta 1690 v *Razpravi o svetlobi* objavil svoja dognanja. Svetlobo je obravnaval s potovanjem *valovnih čel*. Po Huygensovem načelu je vsaka točka valovnega čela izvir elementarnih valovnih čel. Novo valovno čelo dobimo kot ovojnico elementarnih valovnih čel. S tem načelom je pojasnil premo potovanje svetlobe ter odboj in lom. Ker je prevladala Newtonova delčna slika, se Huygensova zamisel, ki je vodila k valovanju, tedaj ni uveljavila.

Spoznanje, da je svetloba valovanje *etra*, se je razširilo po zaslugi Thomasa Younga. Eter so imeli za zelo rahlo sredstvo z nemerljivo majhno gostoto, ki prenaša svetlobo, kot zrak prenaša zvok. Zvok je longitudinalno valovanje, zgoščine in razredčine nastanejo, ko deli zraka nihajo v smeri potovanja valovanja. Tudi v svetlobi naj bi deli etra nihali v smeri potovanja valovanja. Young si je predstavljal, da eter prežema snovi in se giblje skozi »kot veter skozi sadovnjak«. Ni si bilo namreč mogoče misliti, da ima Zemlja poseben položaj in v etru miruje. Pri gibanju po etru ni čutiti upora. Young je leta 1802 pojasnil Newtonove kolobarje z *interferenco*. Do ojačenja pride, če je razlika poti za delni valovanji, ki se odbijeta na spodnji ploskvi leče in na zgornji ploskvi šipe, večkratnik *valovne dolžine*, oslabitev pa, če je razlika poti lih večkratnik polovične valovne dolžine. Podobno je pojasnil barve tankih plasti. Leta 1807 je pri *Youngovem poskusu* drobno svetilo preslikal na zaslon skozi dve drobni odprtini. Na zaslonu so se pokazali interferenčni kolobarji, ki so nastali z interferenco delnih valovanj iz obeh odprtin. Za valovno dolžino modre svetlobe je navedel 4 desettisočine milime-

tra in za valovno dolžino rdeče svetlobe 7 desettisočin milimetra.

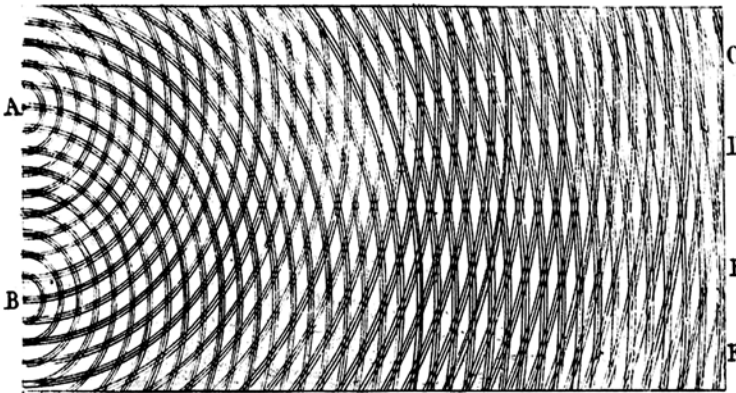
Étienne Louis Malus je leta 1808 po naključju opazoval sončno svetlobo, ki se je odbila na oknih sosednje stavbe, skozi kristal islandskega dvolomca. Izmenoma sta izginjali ena in druga slika, ko je kristal vrtil okoli smeri opazovanja. Pojav je opozoril na vlogo smeri v ravnini, pravokotni na potovanje svetlobe. Imenovali so ga *polarizacija*. Augustin Fresnel je leta 1815 francoski akademiji predložil razpravo o prednosti valovne slike pred delčno. Menil je, da svetlobe ni mogoče naravnost primerjati z zvokom. Young je ob odkritju polarizacije pomislil, da je v svetlobi longitudinalnemu valovanju primešano transverzalno valovanje, pri katerem deli etra nihajo v ravnini, pravokotni na smer potovanja. O tem je razmišljal Fresnel že prej, a se najprej misli ni oprijel, ker je bilo etru v tem primeru treba pripisati lastnosti trdnine. Plin ali tekočina namreč ne moreta prenašati transverzalnega valovanja. Potem se je Fresnel sprijaznil z mislijo, da ni čutiti upora pri gibanju po etru, čeprav ima lastnosti trdnine. Na nalogo o uklonu Akademije je Fresnel leta 1818 z dosledno uporabo Huygensovega načela in upoštevanjem pogojev na robovih izračunal uklonske slike za oviro z ravnim robom, režo, okroglo odprtino, okroglo oviro. Ocenjevalna komisija je opazila, da račun napove svetlo pego na sredini slike za okroglo oviro. Ker se je to zdelo nemogoče, je podvomila v Fresnelove račune. Fresnel pa je napoved podprl s poskusom in tako odprl pot valovni sliki.

Hyppolite Fizeau je leta 1849 izmeril hitrost svetlobe med pariškima gričema in dobil 313 tisoč kilometrov na sekundo. Leon Foucault je leta 1850 izmeril hitrost svetlobe v zraku in v vodi na poti nekaj metrov. Hitrost v vodi je merila $\frac{3}{4}$ hitrosti v zraku. To je podprlo prepričanje, da je svetloba valovanje, ki se je dotlej že uveljavilo, in ne gibanje delcev. V letih od 1902 do 1906 je hitrost svetlobe natančno meril

Albert Abraham Michelson. Zdaj je hitrost svetlobe v praznem prostoru določena z dogovorom 299.792.458 metrov na sekundo.

Več pojavov je nakazovalo, da je svetloba povezana z električnim in magnetnim poljem. Michael Faraday je, na primer, leta 1845 z magnetnim poljem vplival na polarizacijo svetlobe v steklu. James Clerk Maxwell je postopno zamislil, s katerimi je Faraday pojasnil izide poskusov, dal matematično obliko. V letih 1855 in 1856 se je skliceval na podobnost z različnimi pojavi v mehaniki in termodinamiki. V letih 1861 in 1862 je dosegel bolj urejen vtis s tem, da se je skliceval na podobnost z enim samim pojavom. Leta 1865 pa je v *Dinamični teoriji elektromagnetnega polja* zavrgel »nekoliko nerodne« podobnosti in pojasnil svetlobo s pojavi v električnem in magnetnem polju. Svetloba je transverzalno elektromagnetno valovanje, električno polje in magnetno polje sta pravokotni drugo na drugo in na smer potovanja. Heinrich Hertz in Oliver Heaviside sta uredila in poenostavila Maxwelllove enačbe in jim dala današnjo obliko. Hertz je z odkritjem radijskih valov leta 1887 pripomogel, da so sprejeli Maxwelllovo teorijo. Proti koncu 19. stoletja so se fiziki zanimali za sevanje žarečih teles. Gustav Kirchhoff je leta 1860 obravnaval *sevanje črnega telesa*. To sevanje je v votlini pri določeni temperaturi v ravnovesju s stenami, ki vse vpadlo sevanje absorbirajo. Po letu 1895 je postalo mogoče meriti s sevanjem, ki je izhajalo iz votline skozi drobno odprtino. Merili so *spektralno gostoto*, to je del gostote energijskega toka, ki odpade na ozek frekvenčni pas, deljen s širino pasu, v odvisnosti od frekvence. Najprej je kazalo, da se izidi ujemajo z enačbo, ki jo je v letih 1893 in 1896 izpeljal Wilhelm Wien. Natančna merjenja pri majhni frekvenci pa so razkrila odstopanje. Leta 1900 je Max Planck dopolnil Wienovo napoved in *spekter črnega telesa* opisal s *Planckovim zakonom*.

Ozadje zakona je Planck pojasnil z zamisljo, ki je bila za tiste čase zelo nenavadna.



Youngova risba k poskusu iz Youngovega članka iz leta 1807.

Valovanje v votlini s steno izmenjuje energijo v obročih $h\nu$, *energijskih kvantih*. v je frekvenca in h Planckova konstanta. Da ne bi prišel v nasprotje z Maxwellovo teorijo, je pojav pripisal sodelovanju med snovjo in sevanjem, ki ga še niso poznali. Leta 1918 je dobil Nobelovo nagrado »kot priznanje za prispevek k napredku fizike z odkritjem energijskih kvantov«.

Albert Einstein je leta 1905 ugotovil, da je eter nepotreben in uvedel *posebno teorijo relativnosti*. Istega leta je v članku *O hevrističnem gledišču, ki zadeva nastanek in spremembo svetlobe*, zagovarjal stališče, da kvanti potujejo po praznem prostoru, »ne da bi se delili, in jih je mogoče absorbirati ali izsevati samo kot celote«. Pri tem se ni ustrašil nasprotovanja Maxwellovi teoriji. Tako je pojasnil *fluorescenco*, *ionizacijo plinov* in *fotoefekt*. Pri fotoefektu svetloba z določeno dovolj veliko frekvenco iz kovine izbije elektrone. Kinetična energija najhitrejših izbitih elektronov je enaka energiji kvanta, zmanjšani za delo, ki ga elektron opravi ob izstopu iz kovine. Za svetlobni kvant se je uveljavilo ime *foton*. Einstein je dobil Nobelovo nagrado leta 1921 (podeljeno 1922) »za delo v teoretični fiziki in posebej za odkritje zakona za fotoelektrični pojav«.

Einstein je leta 1916 v članku *Izsevanje in absorpcija sevanja po kvantni teoriji* obravnaval sodelovanje sevanja z množico atomov.

Vzemimo stanji atoma z večjo in manjšo energijo. Samemu sebi prepuščeni atom iz stanja z večjo energijo preide v stanje z manjšo energijo s *spontanym sevanjem*. Pri tem izseva foton, ki prevzame razliko energij. Iz stanja z manjšo energijo atom preide v stanje z večjo energijo z *absorpcijo* fotona s pravo energijo. Poleg tega atom preide iz stanja z večjo energijo v stanje z manjšo energijo zaradi delovanja sevanja s *stimuliranim sevanjem*. Na začetku imamo atom v stanju z večjo energijo in foton, na koncu pa atom v stanju z manjšo energijo in dva fotona z enako energijo, enako smerjo in enako polarizacijo. Tako pojasnimo Planckov zakon. Če ne bi upoštevali stimuliranega sevanja, bi dobili le Wienovo napoved. Delež stimuliranega sevanja je pri sobni temperaturi zanemarljivo majhen. Spočetka so zato mislili, da je stimulirano sevanje le teoretična posebnost brez praktičnega pomena.

Deleža stimuliranega sevanja ni mogoče povečati v ravnovesju. To je mogoče le, če atome zbudimo od zunaj, da je v stanju z večjo energijo več atomov kot v ustreznem stanju z manjšo energijo. Poleg tega atome obsevajo z gostim sevanjem s pravo frekvenco, ki spodbuja stimulirano sevanje. To dosežejo tako, da valovanje s pravo frekvenco potuje sem in tja med zrcaloma in nastane stoječe valovanje.

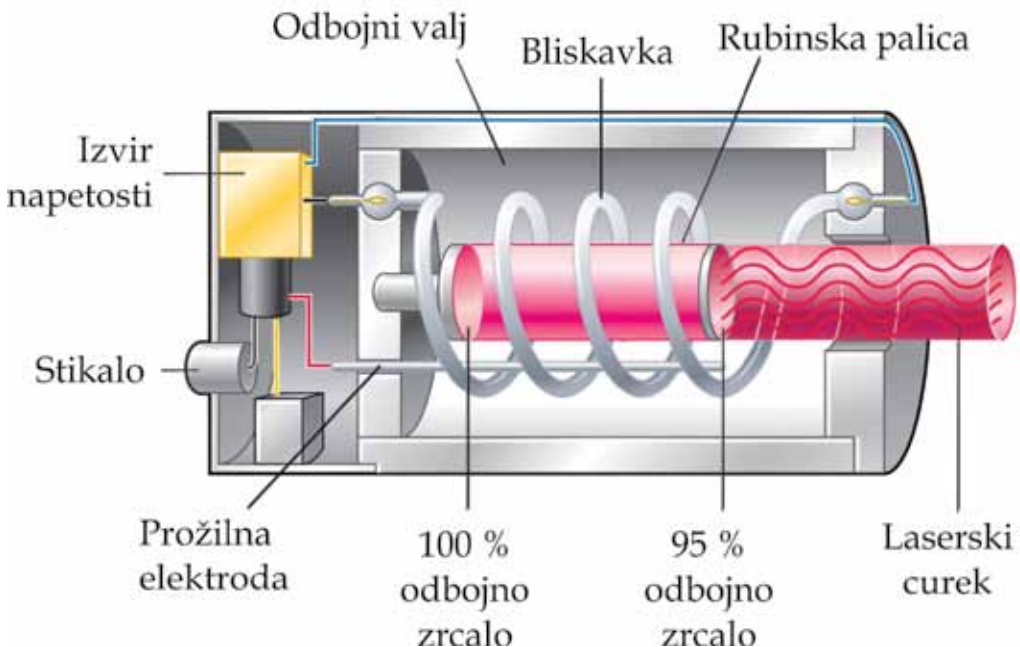
Theodore H. Maiman je pri družbi Hughes uporabil kristal rožnatega rubina, to je

aluminijevega oksida z zelo majhno primesjo kroma. Na dveh vzporednih osnovnih ploskvah je kristal zbrusil in posrebril. Kristal je obdal z vijačno ksenonovo cevjo in skozenjo izpraznil naelektreni kondenzator. Močan svetlobni blisk je povzročil, da so ioni kroma v kristalu z absorpcijo prešli v stanja z veliko energijo. Zaradi delovanja atomov v kristalu so ioni izgubljali energijo in se je v danem stanju nabralo več ionov kot v ustreznem stanju z manjšo energijo. Kak ion je spontano seval. Sevanje se je odbijalo na posrebrjenih ploskvah, tako da je v kristalu nastalo stoječe valovanje. To je povzročalo stimulirano sevanje ionov, ki se je ojačevalo. Skozi posrebrjeno mejno ploskev, ki je prepustila majhen del svetlobe, je kristal izseval kratkotrajen sunek rdeče svetlobe. Sredi maja leta 1960 je Maiman po izrazito povečani moči in dobro določeni frekvenci ugotovil, da mu je uspelo vzbuditi stimulirano sevanje. To je bil prvi *laser* (Li-

ght Amplification by Stimulated Emission of Radiation, ojačevanje svetlobe s stimuliranim sevanjem valovanja).

Člani Bellovih laboratorijev so avgusta poročali o pojavih z rubinskim laserjem, ki jih Maiman ni opisal. Nekaj časa je nad Maimanovim odkritjem ležala senca in šele čez čas so mu priznali prvenstvo. Druga raziskovalna skupina v Bellovih laboratorijih, ki jo je vodil Ali M. Javan, je za lasersko snov izbrala mešanico helija in neona. Decembra leta 1960 so po cevi z mešanico med ukrivljenima zrcaloma pognali enosmerni tok. Ob trku je atom neona prevzel energijo od vzbujenega atoma helija. Tako se je v danem stanju nabralo več neonovih atomov kot v ustreznem stanju z manjšo energijo. Stoječe valovanje s pravo smerjo in polarizacijo je povzročilo stimulirano sevanje drugih neonovih atomov in sevanje se je ojačevalo. Eno od zrcal je prepustilo majhen

Poenostavljena risba rubinskega laserja. Vir: <http://chemwiki.ucdavis.edu/>.



del svetlobe kot ozek rdeč laserski curek z zelo dobro določeno frekvenco. To je bil prvi plinski laser in prvi laser, ki je deloval neprekinjeno. Potem so kmalu izdelali še laserje drugačnih vrst. Na začetku leta 1961 je delovalo že pet vrst laserjev. Leta 1962 so izdelali prvi polprevodniški laser.

Atomi v razredčenem plinu se neurejeno gibljejo in spontano sevajo neodvisno drug od drugega kratkotrajne *valovne poteze*, v različnih smereh in z različno polarizacijo. Nastala zmešnjava valovnih potez je *nekoherentno valovanje*. Tako je tudi sevanje običajnih trdnih svetil, ker njihovi deli sevajo neodvisno drug od drugega. V stimuliranem sevanju pa imajo vse valovne poteze enako smer, enako frekvenco in enako polarizacijo. To je *koherentno valovanje*. Tako valovanje je omogočilo nove poskuse ali je močno skrajšalo trajanje prejšnjih poskusov. Nekateri optiko delijo na čas pred laserji in na čas po njihovem odkritju.

Pri osvetljenih vodometih svetloba potuje po vodnem curku in se na njegovi meji totalno odbije nazaj v curek, če ta ni preveč ukrivljen. O tem so se s poskusi prepričali sredi 19. stoletja. Pojav so izkoriščali zdravniki in zobozdravniki, da so po steklenih ali plastičnih palicah osvetljevali telesne votline.

Charles K. Kao je leta 1965 premišljeval, kako bi svetlobo speljal po tankem vlaknu iz prozorne snovi. Pojav bi lahko uporabili za prenos sporočil. Od srednjih radijskih valov s frekvenco nekaj milijonov nihajev na sekundo so prešli na ultrakratke valove s frekvenco nekaj deset milijard nihajev na sekundo, da bi izboljšali prenos sporočil. Radijske valove z veliko frekvenco zrak razmeroma slabo prepušča, zato jih vodijo po *valovnih vodnikih*. To so kovinske cevi s pravokotnim ali krožnim presekom, na notranji strani prevlečene s kovino z majhnim električnim uporom. Kao se je vprašal, ali bi bilo mogoče svetlobo uporabiti za prenos sporočil in jo voditi po tankih vlaknih iz prozorne snovi kot po valovnih

vodnikih. Leta 1966 je opisal »optični valovni vodnik«. S sodelavcem je obravnaval svetlobne vodnike iz prozornih snovi in ugotovil, da je vlakno steklaste snovi »pripraven praktičen svetlobni vodnik in pomembna možnost za novo obliko prenosa podatkov«. V primerjavi s sedanjimi vodniki »tak vodnik lahko prenese več podatkov in utegne imeti prednosti pri osnovni ceni«. Treba je le izdelati vodnik brez nečistoč, da se valovanje v njem preveč ne oslabi.

Kao je s sodelavci v letih 1968 in 1969 ugotovil, da je za svetlobne vodnike najprimernejši nekristalni kremen. Danes uporabljajo svetlobne vodnike, *optična vlakna*, iz kremenca. Vlakno ima sredico s premerom od 8 do 50 tisočin milimetra, ki jo obdaja več plasti do skupnega premera 400 tisočin milimetra. Plast ob sredici ima malo manjši lomni količnik kot sredica. To dosežejo ob vlečenju vlakna ali tako, da sredici dodajo malenkost snovi z večjim lomnim količnikom. Tako se svetloba ob sredici postopno totalno odbija v sredico. Optični kabel sestavlja več vlaken, na primer deset. V vlaknu se najmanj oslabi infrardeča svetloba z valovno dolžino 1,525 tisočin milimetra. V današnjih vlaknih se gostota energijskega toka na kilometer le še zelo malo oslabi. Kot izviri se uporabljajo drobni polprevodniški laserji. Prve optične telefone so v Angliji in Združenih državah Amerike začeli uvajati leta 1977. Leta 1982 so položili svetlobni kabel med New Yorkom in Washingtonom, štiri leta zatem čez Rokavski preliv in leta 1988 čez Atlantik. Zdaj je vse površje Zemlje prepredeno s svetlobnimi kabli. Leta 2009 je Kao dobil polovico Nobelove nagrade za »dosežke, ki zadevajo prenos svetlobe po vlaknih za optične komunikacije«.

To je bilo nekaj pomembnih korakov v razvoju pogledov na svetlobo. Nismo mogli omeniti vseh. Predvsem nismo omenili tehniških izboljšav. V zadnjem času se je razvila *kvantna optika*, v kateri uspejo poskusi s posameznimi fotoni. Razvoj je pripeljal do

naprav, brez katerih bi si danes težko predstavljali vsakdanje življenje: internet, laserski gramofoni, čitalci palične kode, telefoni vseh vrst ...

V letu 2015 bomo počastili pomembne znanstvene obletnice: delo v optiki Ibn al-Hajtama leta 1015, pojem svetlobe kot valovanja Fresnela leta 1815, elektromagnetno teorijo svetlobe Maxwella leta 1865, Einsteino teorijo fotoefekta leta 1905 in vključitev svetlobe v kozmologijo s splošno teorijo relativnosti leta 1915 ter odkritje prasevanja Penziasa in Wilsona in dosežke Charlesa Kaa pri prenosu svetlobe po vlaknih leta 1965.

Napoved Mednarodnega leta svetlobe 2015 v Wikipedii

Literatura

Bromberg, L., 1988: *The birth of the laser. Physics Today*, 41 (10): 26.

[En.wikipedia.org/wiki/History_of_optics](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_optics).

Strnad, J., 2003: *Razvoj fizike. Ljubljana: DZS*.

Medicina • Škiljenje – božji dar pri Inkib

Škiljenje – božji dar pri Inkib

Andraž Novak

Oči smo ljudje občudovali in spoštovali že od nekdaj – ne le zaradi izjemne uporabne vloge vida. Ko poslušamo druge govoriti o očeh, so opisi bolj podobni umetnosti: »Čudovite sinje modre kot brezmejni ocean.« A pri opisovanju oči se ne ustavimo pri umetnosti. Mnogi se še danes zanašajo na oči pri opazovanju in ocenjevanju sogovornika:

»Morda so (shizofreniki) vse prepogosto pod vplivom starodavnih tradicionalnih kulturnih nesmislov o očeh kot ogledalu duše ter o stvarih, ki se kažejo v njih in bi sicer ostale skrite – kar se zdi ena najbolj zgrešenih predstav, kar jih poznam.«

Sullivan, H. S., 1954: *The Psychiatric Interview (Psihiatrični pogovor)*. New York: Norton. Prevod: Andreja Šalamon Verbič.

Z vajo lahko natančno nadziramo svojo obrazno mimiko in telesno govorico. Previdno lahko izbiramo besede in pazimo na ton in barvo našega glasu. A s še tako veliko mero vaje nas oči na koncu izdajo. Prav v njih odsevajo naši pravi nameni. Zakaj bi drugače slaba vest skoraj onemogočila pogled v oči sogovorniku? Zakaj se zaljubljeni par tako igrivo izmika s pogledi? Čemu skrivamo pogled, ko smo osramočeni?

»Obraz je odsev uma, oči brez besed razkrivajo skrivnosti srca.«

Sveti Hieronim (347–420). Franc Ksaver Lukman, 1941: *Svetega Hieronima Izbrana pisma. Celje: Mohorjeva družba*.

Oči pa niso pomembne le v medčloveških odnosih. Mačka pri napadu na tekmeča, tudi če je ta večji od nje, vedno skoči v oči. Tudi miška, ki jo končno ujamemo, s svojimi velikimi, črnimi očmi strmi prav v naše, kot da bi poskušala uganiti naše prave namene:

»Oči so okna do duše, usta so vrata. Razum in volja sta vidna v očeh; čustva, občutljivost in naklonjenost v govoric. Živali vidijo človeške namene – naj bodo dobri ali slabi – v očeh. Tudi podgana, končno ujeta, strmi v oči svojemu plenilcu.«

Hiram Powers, ameriški neoklasicistični kipar (1805–1873).

Oči so nam vedno pomenile izzivalno mešanico lepote in skrivnosti. Hibe na očesu takoj opazimo, saj nam nekako onemogočajo resnično povezavo s sočlovekom. Čeprav so napake opazili in opisali že pred našim štetjem, so se nam pravi razlogi zanje skrivali več kot dve tisočletji.

»Glej, tebi, preden okna oči zaprem, zaupam budno dušo. Večni bog, ti brani me, ko spim in bedim.«

Shakespeare, W., 1592: Kralj Richard III., 5. dejanje, 3. prizor.

Škiljenje

Strabizem (grško *strabismós*, latinsko *strabismus*, slovensko *škiljenje*) je stanje nezmožnosti poravnave obeh očes. Običajno je posledica ohromljene koordinacije med zunajočesnimi mišicami, kar prepreči poravnavo očes v normalnih okoliščinah. Eno ali obe očesi se lahko obrneta navzgor, navzdol, levo ali desno. Obrat je lahko stalen (enakomerno odstopanje ves čas) ali občasen. Pri otrocih se škiljenje ne pozdravi samo od sebe, je pa ozdravljivo, zato je zdravljenje dobro opraviti čim prej.

Evolucijsko sta nastali dve glavni obliki **binokularnega vida** (stereopsija): dve očesi ob straneh in dve očesi na sprednji strani glave. Dve očesi ob straneh omogočata večje vidno polje, ki je uporabno pri rastlinojedih živa-

lih oziroma pri plenu. Veliko periferno polje zagotavlja bolj učinkovito zaznavanje premikov v okolici, vendar zmanjšuje binokularno polje, ki je le majhno. Hitri mesojedi plenilci pa potrebujejo natančno določitev razdalje med ovirami in plenom, zato imajo obe očesi na sprednji strani. Žrtvovanje velikega dela perifernega polja omogoča obširnejšo in natančnejšo globinsko zaznavanje.

Trirazsežni ali globinski vid (stereopsija) omogoča prostorsko zaznavo prostora, saj možgani združijo dva rahlo zamaknjena pogleda, kar nam daje občutek globine oziroma tretje razsežnosti – oddaljenosti. Bližje kot je opazovani predmet, večja je razlika med pogledoma očes, zato je stereopsija najpomembnejša v območju natančne koordinacije med očesoma in roko.

Vzroki za nastanek

Škiljenje lahko prav tako opišemo **po vzroku za nastanek**. Trije možganski živci (III, IV, V), ki uravnavajo očesne gibe, so lahko oslabljeni ali paralizirani in povzročajo strabizem. Posebni vzorci imajo lahko svoja imena (na primer Brownov sindrom, Duannov sindrom).

Večina oblik strabizma je posledica motnje živčno-mišičnega nadzora očesnega gibanja. Pri živčno-mišičnem nadzoru sodelujejo tudi možgani, mehanizem pa je še vedno zelo slabo raziskan. Redkeje je škiljenje posledica okvare motoričnega mišičevja abnormalnega očesa.

Pri **otrocih** je bolj verjetna škilavost pri prizadetih zaradi možganske (cerebralne) paralize, Downovega sindroma, vodenoglavosti (hidrocefalusa) in možganskega tumorja.

Kap je glavni vzrok pojavitve strabizma pri **odraslih**. Drugi so poškodbe, nevrološke težave, Gravesova bolezen (avtoimuna bolezen; najpogosteje prizadene ščitnico, ki nabrekne na dvojno velikost) ...

Navpični in vodoravni strabizem

Ezotropija je obračanje oči navznoter (prekrižanje): tipi so prirojena ezotropija, ako-

modacijska ezotropija in paraliza VI. živca. Eksotropija pa pomeni obračanje oči navzven.

Pri navpičnem strabizmu se uporabljata pojma hipo- in hiperstrabizem. Prvi opisuje zvrčanje abnormalnega očesa navzdol, drugi pa zvrčanje navzgor.

Zdravljenje strabizma

Vse oblike zdravljenja imajo **isti cilj**: izboljšati poravnavanje očes, ki neposredno omogoča globinsko zaznavanje. Škiljenje lahko zdravimo z očali, prizmami in/ali operacijo zunajočesnih mišic. Očesne vaje so priporo-



Ezotropija (zgoraj) in eksotropija (spodaj).

Vir: webeye.ophth.uiowa.edu/eyeforum/cases-i/case129/fig2.jpg, www.santa.sg/images/users/000000196/images/squint/squint-14.png.



Očesna kirurgija se je začela v srednjem veku.

Vir: 25.media.tumblr.com/tumblr_m709zsEH791qa9t0do1_1280.jpg.

čljive tudi za ljudi, ki nimajo strabizma, saj povečujejo motorično funkcijo očesnih mišic in njihovo moč.

Operacija je priporočljiva, ko škiljenja ne moremo več popraviti s konservativnimi oblikami zdravljenja – očali, prizmami, očesnimi vajami in podobno. Kot druge očesne operacije je tudi ta izredno varna in učinkovita.

Danes vsako leto opravijo približno 1,2 milijona operacij zunajočesnih mišic, ki se tako uvrščajo na tretje mesto med najpogostejšimi očesnimi operacijami. Operacija poteka v treh korakih: popuščanje oziroma oslabitev (recesija¹, miektomija², miotomija,³ tenektomija⁴, tenetomija⁵), zategovanje oziroma okrepitev (resekcija⁶, zatikanje, napredovanje⁷), transpozicija⁸ oziroma repozicija⁹ in na koncu šivanje (zaradi boljšega rezultata lahko dolžino šiva prvi dan še prilagodijo).

Kakršnekoli probleme – slabovidnost (ambliopija), povešenost zgornje veke (ptoza), siva mrena (katarakta) –, ki so povezani s škiljenjem, je treba odpraviti pred invazivnim posegom (operacijo).

Prepoznavanje vzrokov in razvoj zdravljenja v zgodovini

- 1 Vsi izrazi se nanašajo na kirurgijo: Premik narastišča mišice z njeno transpozicijo.
- 2 Odstranitev dela mišice.
- 3 Zareza ali razdvojitvev mišice.
- 4 Izrez dela kite mišice (~ tenonektomija).
- 5 Kirurški prerez kite.
- 6 Odstranitev celega ali dela organa/mišice.
- 7 Premik očesne mišice s prvotnega mesta bolj naprej.
- 8 S transpozicijo spremenimo mehanične lastnosti mišične dejavnosti, tako da je smer premika očesa ob krčenju operirane mišice spremenjena.
- 9 Z repozicijo mišico vrnemo nazaj v prvotno (pravilno, fiziološko) lego. Poznamo tudi repozicijo na primer kosti.

Zli duhovi in napoji

Škiljenje so kot motnjo vida prepoznali že zelo zgodaj. Danes so vzroki zanj jasni, pri zdravljenju pa uporabljajo vedno bolj izpopolnjene metode. Nekoč so škiljenje pripisovali obiskovanju zlih duhov in ga imeli za nekaj neozdravljivega. Prvi zdravilci so skušali zdraviti z edinimi takrat znanimi metodami – napoji, čiščenjem duha, kasneje spremembo prehrane. Zanimivo je, da kljub trinajstim stoletjem neučinkovitosti nekateri še danes priporočajo podobne metode.

Hiba ni vedno nezaželjena

Staroameriški civilizaciji Majev se zadnja leta namenja veliko pozornosti predvsem zaradi njihovega koledarja, ki obseda ume in domišljijo vseh prepričanih o neizbežnem koncu sveta oziroma apokalipsi. Slehernik si skoraj lahko predstavlja visokega duhovnika v majevskem templju, ki vodi načrtovanje koledarja in napovedanega konca sveta. Vsa ta ljudstva, Inki, Maji, Azteki in drugi, pa

Chevalier.

Vir: [en.wikipedia.org/wiki/John_Taylor_\(oculist\)](http://en.wikipedia.org/wiki/John_Taylor_(oculist)).



so obdana z gosto meglo skrivnostnosti. O njih vemo razmeroma malo, prepričani pa smo lahko, da je v njihovem življenju religija imela ogromno vlogo. V ta namen so na različne načine oblikovali celo svoja telesa, dojenčki in otroci pri tem niso bili nobena izjema.

Ta ljudstva pa škiljenja niso pripisovala zlim duhovom, temveč bogovom – bolj natančno škilastemu sončnemu bogu Kinich Ahauu. Visoke svečenice so poskušale vsiliti škilavost dojenčkom z obešanjem kroglic na dojenčkov nos. Če je obred »uspel«, so bili posamezniki označeni v čast božanstvu. Prav tako so na dojenčkovo čelo privezali deske in ga izravnali, kar je služilo kot dolgotrajen simbol visokega sloja, odraslim bojevnikom pa so ošilili stalne zobe za bolj krvoločni videz.

Samooklicani zdravilec

Prvi v dolgi vrsti britanskih očesnih kirurgov je bil John Taylor (1703–1772). Bolj kot kirurg je bil nadarjen v samopromociji in ženskarstvu. Sam sebe je imenoval »Chevalier« in »Ophthalmiater Royal« in postal samooklicani osebni očesni kirurg kralja Jurija II., papeža in mnogih evropskih kraljevih družin. Pred vsakim posegom je imel dolg govor o svojih sposobnostih in dosežkih.

Bil je kirurg sive mrežnice, katero je razbil na koščke in nato odstranil. S svojim posegom naj bi povzročil, da je skladatelj Georg Friedrich Händel oslepel, Johann Sebastian Bach pa naj bi umrl zaradi zapletov med posegom. Danski oftalmolog R. H. Zegers¹⁰ je o Taylorju zapisal: »Nekoč je priznal, da je svojo prakso začel v Švici, kjer je oslepil stotine pacientov.«

¹⁰ Zegers, R. H., 2005: *The eyes of Johann Sebastian Bach. Archives of Ophthalmology*, 123 (10): 1427–1430.

»Neporavnane oči« je poskušal zdraviti z majhno zarezo v spojivko¹¹ in prekritjem drugega očesa. Nato je naročil pacientu, naj obdrži prevezo očesa nekaj dni. V tem času je zapustil mesto, da ni bil navzoč ob odstranitvi preveze. Največ posegov je izvedel v poslednjih dvajsetih letih svojega življenja. Umril je – ironično, popolnoma slep – leta 1772.

Konec mesarstva, začetek kirurgije

Po Chevalierju so številni kirurgi pripomogli k skupnemu znanju, kar je počasi pripeljalo do prve uspešne operacije strabizma. Leta 1816 je ortopedski kirurg zdravil podvito nogo s tenotomijo Ahilove tetive. Pri tem uporabljene metode so bile precej podobne današnjim pri zdravljenju škiljenja. Leta 1818 je Gibson poskušal zdraviti ezotropijo s tenektomijo zunajočesnih mišic, svoj poskus pa je objavil šele leta 1841. White je leta 1827 poskušal podobno, vendar še vedno brez uspeha. Stromeyer je izvedel omenjeni poseg na mrtvečevem truplu leta 1838, eno leto kasneje pa se je poseg z miotomijo končno posrečil.

Začetek moderne kirurgije

Nemški kirurg Johann Friedrich Dieffenbach je bil specialist za kožno transplantacijo in plastično kirurgijo. Njegovo delo v kirurgiji je podlaga mnogih modernih tehnik rekonstruktivne kirurgije. Njegovo delo zajema podkožno ločitev kite, odkritje krvnih skupin in raziskave na področju krvne transfuzije.

Leta 1839 je izvedel prvo uspešno miotomijo na škilavem sedemletnem dečku z ezotropijo. Prav tako je izdal več knjig, med drugim *Ueber das Schielen und die Heilung desselben durch die Operation (O škiljenju in njegovem zdravljenju z operacijo)*, v kateri je opisal operativno zdravljenje strabizma. To leto, 1839, se šteje za začetek moderne kirurgije strabizma.

Tehnološki napredek

V sledečem stoletju in pol je prišlo do mnogih sprememb in nadgradenj, a osnovna načela je ostalo enako. Ortopedska načela, ki so bila temeljna za razvoj kirurgije strabizma, še danes pomenijo osnovo zdravljenja. Znanemu so dodali še znanje o osrednjem živčnem sistemu in poznavanje psihičnih in fizičnih dejavnikov, povezanih s škiljenjem. Napredne diagnostične metode so omogočile bolj natančno določitev in s tem bolj uspešne operacije.

Slikanje z *magnetno resonanco* (pogosto se zanj uporablja kratica MRI, ki izvira iz angleškega izraza **m**agnetic **r**esonance **i**ma**g**ing) je omogočilo neinvazivno morfološko preučevanje zunajočesnih mišic. Razvoj v anestetikih, šivih in iglah, implantatih, antibiotikih, kortikosteroidih in toksinih so razširili razpon očesnih operacij. Zadnje študije o najpogostejši obliki škiljenja – prirojenem strabizmu – so omogočile njegovo zgodnje odkrivanje in učinkovito zdravljenje.

Kritično obdobje razvoja

V začetku šestdesetih let dvajsetega stoletja sta Nobelova nagrajenca za fiziologijo ali medicino za leto 1981 David Hunter Hubel in Torsten Nils Wiesel raziskala razvoj očesa. Preiskovala sta opice, ki imajo podobni stereoskopični vid kot ljudje. Sklepala sta, da obstaja »kritično obdobje« za razvoj stereoskopije. Mnoge novejšje raziskave nasprotujejo nastanku kritičnega obdobja, saj so operacije uspešne v vseh starostnih skupinah.

Metode

V zgodovini so se razvile različne metode, ki so bile čedalje bolj zapletene in so potrebovale več znanja in natančnosti. Taylor je le zarezal v spojivko, pokrtil drugo oko in zbežal. Razvile so se različne oblike podaljševanja kite brez uporabe šivov. Nekateri moderni kirurgi poročajo o pozitivnih kliničnih rezultatih tenotomije, kirurškega prereza kite, kjer ne uporabljajo šivov.

¹¹ *Tanka prosojna plast, ki poteka po površini zrkla.*

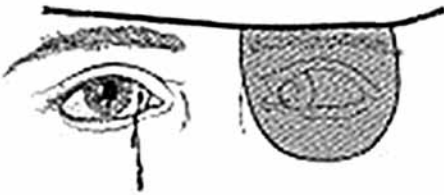


A. W. Biglan je poročal o dobrih rezultatih popravka manjših navpičnih odstopanj z nepopolnim prerezom kite očesne mišice (na ta način je kita podaljšana brez šivanja).

Metode so se razvijale naprej, vsak naslednji kirurg je dodal oziroma spremenil kakšno malenkost. Lep primer so različni načini premostitve zunanjih očesnih mišic.

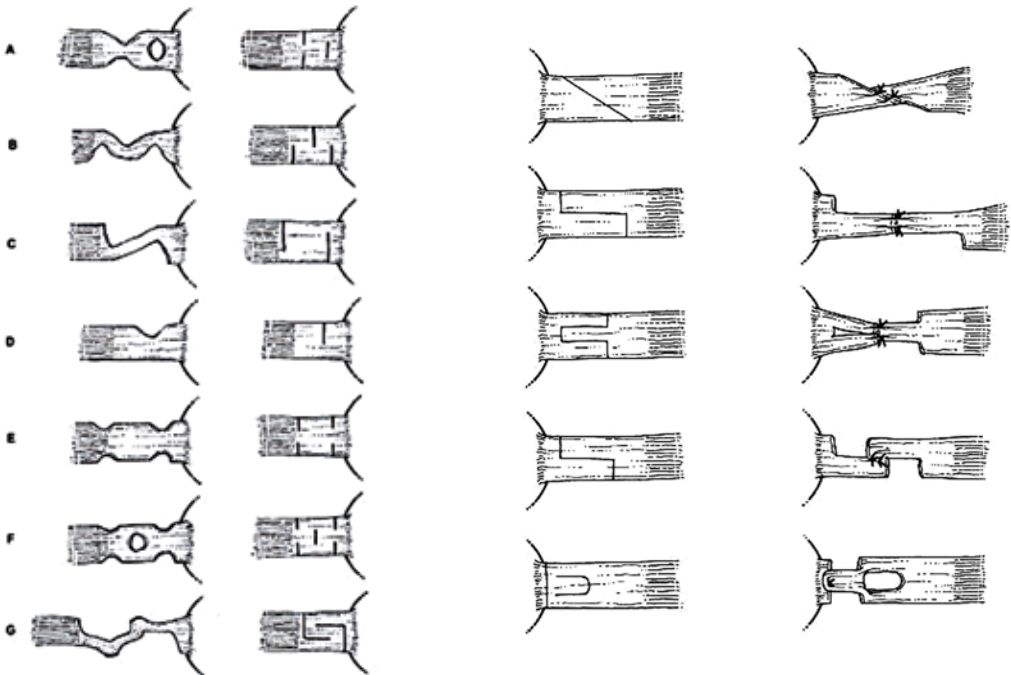
Zaključek

Prve civilizacije so škiljenje pripisovale višjim silam ter ga častile, nekatere pa so ga celo poskušale povzročati in s tem posameznika približati božanstvu. Stališča teh civilizacij se – zanimivo in žalostno – precej ujemajo z mišljenjem v srednjem veku. To je neizpodbitni dokaz, zakaj se ta doba imenuje tudi »temni« oziroma »mračni vek«. Do začetkov osemnajstega stoletja tehnologija ni prav nič napredovala, ampak je celo nazadovale. Znanja, kot je operacija sive mreže, ki



Taylorjeva metoda.

Vir: www.cybersight.org/bins/volume_page.asp?cid=1-2161-2252.

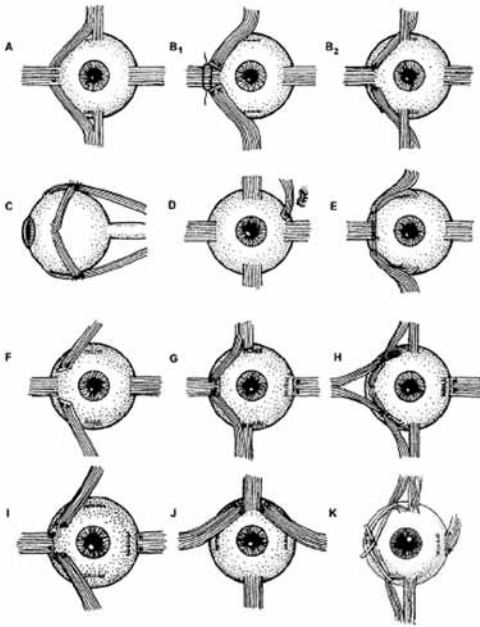


Podaljševanje kite brez šivanja.

Vir: www.cybersight.org/data/1/rec_imgs/4140_ch.%201%20fig.%204.jpg.

Podaljševanje kite s šivanjem.

Vir: www.cybersight.org/data/1/rec_imgs/4141_ch.%201%20fig.%205.jpg.



Osnovno načelo vseh metod prilagoditve zunajočesnih mišic je prilagoditev smeri vlečenja mišic (z njo popravljamo smer pogleda). Vir: www.cybersight.org/data/1/rec_imgs/4160_ch.%201%20fig.%2024.jpg



so jo Rimljani izvajali zelo uspešno, so bila pozabljena. Napake in bolezni so pripisovali božji kazni ali pa so jih poskušali zdraviti z napoji in dieto.

Žalostno je brati vire, ki opisujejo grozljive življenjske razmere v mračni dobi. Zdravilci so uporabljali metode, ki so v najboljšem primeru bile popolnoma nepomembne in neučinkovite, navadno pa so bolniku celo škodovali. Prvi samooklicani kirurgi so pobili in pohabili stotine ljudi, zato ni čudno, da so bili prvi kirurgi opisani kot klavci. Šele sredi devetnajstega stoletja so se razmere izboljšale in nešteti spodleteli poskusi so končno pripeljali do prvih uspehov.

Cena, ki so jo ljudje morali plačati, da sta znanje in tehnologija danes na takšni ravni, kot sta, je bila strašansko visoka. Marsikateri posameznik bi rekel, da je bila cena celo previsoka. A žal našo zgodovino zaznamujejo neuspehi in napake, iz katerih smo se učili. Religija je v razvoju prav tako imela ključno vlogo, ki pa vedno ni bila pozitivna.

Današnji visoki standardi nekako odtehtajo spodletele poskuse v preteklosti. Danes je operacija strabizma tretja najpogostejša očesna operacija – na leto opravijo več kot 1,2 milijona operacij. Očesne operacije veljajo za najbolj varne z najboljšimi pooperativnimi rezultati. Otrokom že pri dveh letih starosti popravijo vid in jim tako omogočijo normalno življenje.

Viri in literatura:

- Vsa literatura je bila povzeta 9. septembra leta 2014.*
 Bigan, A. W., 1995: *Strabismus associated with meningomyelocele. Journal of Pediatric Ophthalmology Strabismus*, 32: 309–314.
 Evans, L., 1982: *Convergent Strabismus. Springer Netherlands: 978-94-009-8026-6.*
 Helveston, M. E., 1993: *Surgical Management of Strabismus. Mosby-Year Book, 4. ponatis: 978-*

Hieronimus Bosch: Zdravilo za norost (operacija kamna norosti), 1475-1480. Madrid, Muzej Prado.

Vir: <http://www.ibiblio.org/wm/paint/auth/bosch/stone.jpg>

0801674570.

Noorden, von, G., 2002: *The History of Strabismology*.

Wayenborgh: 978-90-6299-456-4.

www.aapos.org/terms/conditions/100.

www.cybersight.org/bins/volume_page.asp?cid=1-2161-2252.

www.mnn.com/lifestyle/arts-culture/stories/14-things-you-didnt-know-about-the-mayans#ixzz3CiOYrbbs.

en.wikipedia.org/wiki/Strabismus.

Zahvala

Za pobudo in vso pomoč pri pisanju se iskreno zahvaljujem mentorici profesorici dr. Zvonki Zupanič Slavec, doktorici medicine. Brez nje ta članek ne bi ugledal luči sveta.

O avtorju:

Davnega leta 1994, v deževnem aprilu, se je začelo trdoglavo popotovanje **Andraža Novaka** v prestolnici Ljubljani. Že od malih nog je kazal, da si je pripravljen o popolnoma nespametnih stvareh razbijati glavo in po potrebi tudi ubrati najbolj zapleteno rešitev, ki mu tisti trenutek pade na pamet. Zahvaljujoč dedku zdravniku, ki ga je že zgodaj vpeljal v medicinsko stroko, in astrološkemu znamenju ovna se je trdoglavo prerinil do Medicinske fakultete v Ljubljani, kjer danes obiskuje drugi letnik. Ob študijskih obveznostih si rad vzame oddih – od narave do druženja s prijatelji, ki jih lahko s svojim (ne)talentiranim petjem vedno spravi v dobro voljo. Ko nastopijo problemi, je vedno pripravljen pomagati ali potolažiti žalujočega. Kljub šele začetnim korakom na zastavljeni poti pa se mu po glavi že podijo ideje o nevrologiji in kardiologiji.



Meduze morske cvetače • Zoologija

Meduze morske cvetače

Bogdan Bricelj

V Jadranskem morju živi osem vrst meduz. Ker jih srečujemo dokaj poredko, je njihovo življenje zavito v tančice skrivnosti, ki so manj poznane celo biologom. Poleti leta 2013 pa sem ob množičnem pojavu ene od vrst meduze – morske cvetače – imel priložnost pokukati v njihovo življenje.

Avgusta leta 2013 se je na zahodni obali Istre in v Slovenskem Primorju pojavilo zelo veliko število klobučnjakov, in sicer morskih cvetač (*Cotylorhiza tuberculata*). V

dolgoletnem potapljanju še nisem srečal teh krasnih bitij, podobnih vesoljskim plovilom. En teden mojega dopusta je bil namenjen spoznavanju, raziskovanju in fotografiranju življenja teh meduz

Žena Danila, ki sicer raje plava brez maske, se mi je pridružila v raziskovanju. Ni si namreč želela dotika s temi na prvi pogled sluzastimi živalmi. Še dobro, da se mi je pridružila. Kot dobra opazovalka me je prva opozorila na mnoge podrobnosti.



Morska cvetača živi v do deset metrov globoki vodi. Oblika njenega telesa spominja na vesoljsko plovilo.
Foto: Bogdan Bricej.

Kdaj in kje srečamo meduze

Ljubiteljski potapljači, ki večino enega ali dveh tednov dopusta preživimo pod vodo, se z meduzami le redkokdaj srečamo. Izjema so nekatera poletja vsakih deset do dvajset let, ko se ena vrsta meduz zares množično pojavi. V petinštiridesetletnem potapljanju na vdih in šestih letih potopov z jeklenko se spomnim samo dveh takih sezon. Leta 2006 na Hvaru skoraj nisi mogel v vodo, ne da bi dobil kakšne lažje opeklina meduz mesečink, poleti leta 2013 pa sem lahko celo raziskoval življenje meduz morske cvetače. Meduze morske cvetače tako kot drugi klobučnjaki živijo na odprtem morju. Kljub vsemu jih najdemo tudi v obalnem pasu, kamor jih priženejo morski tokovi. Živijo do globine desetih metrov, vendar sem vse srečal do globine štirih metrov.

Kakšne so meduze morske cvetače

Klobuk morske cvetače je oranžno rjave barve in ima premer tudi več kot 50 centi-

metrov. Njihov spodnji del spominja na cvetačo, po čemer so dobile tudi slovensko ime. Spodaj imajo usta obdana z daljšimi in krajšimi ustnimi priveski. Meni osebno se zdijo meduze morske cvetače sploh ene najlepših podvodnih živih bitij.

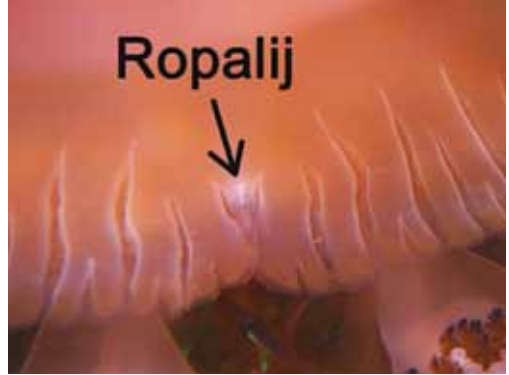
Na prvi pogled so morske cvetače videti sluzaste in nič prijetne za dotik. Na srečo pa dotiki njihovih ožigalk niso čisto nič pekoči. Hranijo se s planktonom.

Čeprav imajo meduze precej večjo gostoto od morske vode, v njej lebdijo s stalnim krčenjem klobuka. Gibljejo se v vseh smereh. V zavetju klobuka večjih morskih cvetač plavajo ribice – mladice šurov (hrvaško šnjurov). Te so varnejše pod njenim klobukom.

Pa veste, da vas meduza morska cvetača tudi vidi? Jaz si tega nikoli prej nisem mislil. Ko pa sem jo hotel s plavutkami z vodnim tokom spraviti bliže k površini, da bi jo lažje slikal, se je obrnila in začela plavati navzdol. V resnici ima na obodu klobuka osem



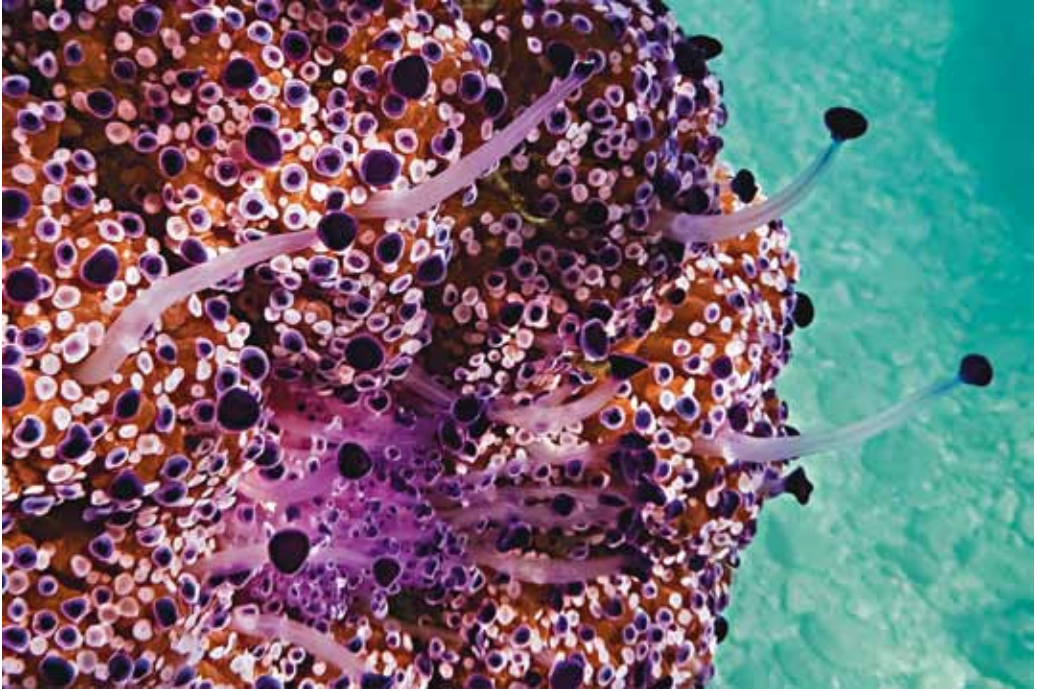
*Morska cvetača pogosto srečamo tik pod površino.
Foto: Bogdan Bricelj.*



Morska cvetača ima na obodu klobuka osem čutil za svetlobo in gravitacijo – ropalijev. Foto: Bogdan Bricelj.



Vijoličasti in beli ustni priveski so zelo lepi, če jih pogledamo od blizu. Foto: Bogdan Bricelj.



Morska cvetača dobiva brano skozi množico majhnih ustec. Foto: Bogdan Bricelj.

Ribje mladice ves čas spremljajo morsko cvetačo. Foto: Bogdan Bricelj.





Valovi lahko meduzo udarijo ob skale, kjer se poškoduje. Foto: Bogdan Bricelj.

preprostih čutil za svetlobo in gravitacijo. Morske cvetače običajno živijo manj kot eno leto. Pogosto poginejo zaradi poškodb, ko jih valovi udarijo ob skale ali celo vržejo na obalo. Meduze se lahko poškodujejo tudi zaradi trkov plovil. Nekatere take trke celo preživijo. Lahko pa poginejo tudi zaradi neugodnih sprememb temperature ali slanosti vode in podobno.

Morske cvetače, ki poginjajo, potonejo proti dnu. Barva njihovega klobuka se iz oranžno rjave spremeni v temno rjavo. Njihov klobuk se vse bolj poredko krči. Ko meduza pogine, jo kmalu najdejo ribe. Velike in male se zberejo okrog plena in trgajo posamezne koščke. V enem dnevu od morske cvetače ostane bore malo.

Za konec

Upam, da ste malo bolje spoznali nekaj podrobnosti iz življenja lepih in nenevarnih meduz morskih cvetač. Rad bi se zahvalil prof. dr. Alenki Malej z Morske biološke

postaje Piran za izčrpne informacije o meduzah in odgovore na moja številna vprašanja.

Zanimivosti:

Klobučnjaške meduze, ki živijo v Sredozemskem morju, so: uhati klobučnjak, kompanski klobučnjak, mesečinka, morski klobuk, morska cvetača in dalmatinska lasasta meduza. Poleg teh sta še pikasta meduza, ki sodi med trdoživnjake, in morsko kolesce, ki je trdoživnjaška meduza.

Prof. dr. Alenka Malej z Morske biološke postaje Piran pravi: »Dolgo je veljalo, da so meduze 'slepi konec' prehranjevalnega spleta oziroma da imajo zelo malo plenilcev. Sedaj kaže, da je pravzaprav drugače in da je organizmov, ki se z meduzami hranijo, kar nekaj.

Pri naših raziskavah uporabljamo različne metode za ocenjevanje prehrane oziroma plenjenja (od analiz želodcev različnih organizmov do primerjave razmerij stabilnih izotopov ogljika in dušika ter maščobnih kislin). Je pa res, da nam pogosto manjka dokumentacijski fotografski material.»

Literatura:

Osnovne informacije v knjigi Toma Turka Pod gladino Mediterana, ki je izšla leta 2008 v Ljubljani pri založbi Modrijan.

Slovar:

Morska cvetača (*Cotylorhiza tuberculata*). Slovensko ime te meduze izvira iz oblike spodnjega dela, ki je na pogled podoben vrtni cvetači.

Fried egg jellyfish. Angleško ime za morsko cvetačo. Tako ime je dobila, ker na kopnem najbolj spominja na ocvrto jajce.

Ropalij. Preprosto čutilo za svetlobo in gravitacijo na obodu klobuka morske cvetače. Na klobuku ima osem ropalijev.



Predstavitev avtorja:

Avtor članka **Bogdan Bricelj** se potaplja na vdih že od šolskih let. Od takrat se tudi ukvarja s fotografijo. Kot fotografa ga najbolj zanimajo narava, rastline in živali. Po prihodu dostopnejših digitalnih fotoaparatorov s podvodnimi ohišji je Bogdan Bricelj združil oba konjička – fotografiranje in potapljanje. Fotografija mu je bila tudi glavni motiv, da je končal tečaj potapljanja z jeklenko do globine dvajset metrov in pridobil naziv P1. Je član Društva za podvodne dejavnosti Bled in predsednik Fotografskega društva Jesenice. Tudi v podvodnem svetu so mu glavni motiv podvodne živali, rastline in podvodna pokrajina. Fotografira s kompaktnim fotoaparatom Panasonic TZ-3, v zadnjem času pa TZ-35. S svojimi fotografijami je pridobil nazive KMF Fotografske zveze Slovenije, EFIAP/s Mednarodne fotografske zveze in EPSA Ameriške fotografske zveze. Sodeluje na številnih slovenskih in mednarodnih fotografskih razstavah, razstavlja pa tudi samostojno. Avtorjeve fotografije so bile objavljene v številnih knjigah, revijah in drugih publikacijah: v knjigah *Monografija Jesenice*, *Veliki Atlas Slovenije* in *Slovenske gore* ter revijah *Digitalna kamera*, *Potapljač*, *PSA Journal* Ameriške fotografske zveze, različnih biltenih, koledarjih in prospektih.

K posebni teoriji relativnosti

Ob izidu knjige *Teorija relativnosti* pri Založbi ZRC SAZU

Janez Strnad

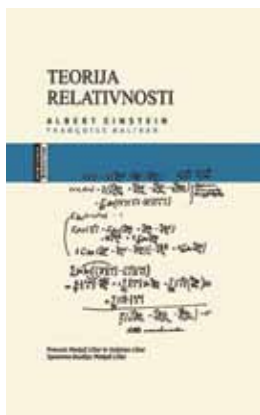
Prej

V srednjem veku so precej razpravljali o sestavljenem gibanju. Kako, denimo, opazovalec na bregu opiše gibanje kamna, če ga z vrha jambora spusti opazovalec na ladji, ki jo enakomerno nosi tok reke?

V 17. stoletju je Galileo Galilei zagotovil, da v notranjosti ladje z opazovanjem gibanja teles ni mogoče ugotoviti, ali ladja miruje ali se giblje, če se ne giblje pospešeno. V tej zvezi je Isaac Newton uporabil besedo »relativno«. Galileijevo spoznanje je izpeljal iz svojega drugega zakona in mu ni posvetil posebne pozornosti. Vse to je zadevalo pojave v mehaniki.

Razprava je oživila proti koncu 19. stoletja ob Maxwellovih enačbah, to je zakonih za električno in magnetno polje. Tedaj so stavili na *eter*, zelo rahlo sredstvo z nemerljivo majhno gostoto, ki prenaša svetlobo, kot zrak prenaša zvok. O tem je v zadnjem desetletju 19. stoletja veliko razmišljal Henri Poincaré. Galileijevo spoznanje je imenoval *načelo relativnosti*. Ena od oblik načela zagotavlja, da za vse *inercialne*, to je nepospešene opazovalce veljajo enaki fizikalni zakoni.

Poincaré je načelo razširil na elektromagnetne pojave. Mislil je, da je »nemogoče meriti absolutno gibanje otipljive snovi glede na eter; lahko opazujemo edino gibanje otipljive snovi glede na otipljivo snov«. Sodil je, »da so elektromagnetni in optični pojavi zelo verjetno odvisni samo od relativnega gibanja materialnih teles«. Podvomil je v obstoj etra in slutil, da to vodi do »popolnoma nove vrste dinamike, za katero bo značilno predvsem pravilo, da nobena hitrost ne more preseči hitrosti svetlobe«. Poincaré, Hen-



drik Antoon Lorentz in Joseph Larmor so v okviru Maxwellovih enačb izpeljali *transformacije*, ki so jih na Poincaréjev predlog imenovali po Lorentzu. Transformacija je nekakšen matematični slovar, ki podatek inercialnega opazovalca za kako količino prevede v podatek za to količino inercialnega opazovalca, ki se giblje glede na prvega.

Einstein

O teh zadevah je razmišljal tudi Albert Einstein. Kot srednješolec je sestavil zapis *O raziskovanju stanja etra v magnetnem polju*. Vprašal se je, kaj bi bilo, če bi svetlobi sledil s svetlobno hitrostjo. Kot študent je načrtoval poskus, s katerim bi izmeril hitrost Zemlje v etru. Opozoril je na pomanjkljivosti obstoječe elektrodinamike gibajočih se teles. Potem je znova razmišljal o poskusu, s katerim bi ugotovil gibanje telesa glede na eter. Študiral je Lorentzevo delo *Poskus teorije električnih in optičnih pojavov v gibajočih se telesih* iz leta 1895. Razpravljal je z enim od svojih profesorjev, ki ga je spodbudil, da je pomislil na objavo.

V »čudovitem letu 1905« je napisal šest člankov, ki so pomembno vplivali na razvoj fizike. Tedaj je bil star šestindvajset let in je delal na patentnem uradu v Bernu. Sredi maja se je s prijateljem Michelangelom Bessom, ki je tudi delal na patentnem uradu, pogovarjal o teh zadevah. Besso ga je že prej opozoril na Machovo kritiko Newtonovega absolutnega časa. Einstein je bil med pogovorom zelo zamišljen. Naslednjega dne je Bessu rekel, da vse razume. Konec junija je uredništvo *Fizikalnih analov* dobilo članek *K elektrodinamiki gibajočih se teles*.

V članku se je Einstein oprl na načelo relativnosti in na *načelo o konstantnosti hitrosti svetlobe*, da svetloba v praznem prostoru »potuje z določeno hitrostjo neodvisno od tega, ali jo izseva mirujoče ali gibajoče se telo«. (Pozneje je uvidel, da drugo načelo ni potrebno, ker ga vsebuje načelo relativnosti.) Eter je odveč. V *Kinematičnem delu* je s svetlobnimi bliski umeril uri na različnih krajih. Po svoje, ne v okviru Maxwellovih enačb, je izpeljal Lorentzeve transformacije za kraj in čas. Odkril je *skrčenje dolžin* in *podaljšanje časa*. Gibajoče se telo se v smeri gibanja skrči. Gibajoča se ura teče hitreje kot mirujoča. Sprememba pa je pri hitrosti telesa v :

$$\frac{1}{1-v^2/c^2} - 1 = \frac{v^2}{2c^2} + \dots$$

Hitrost svetlobe c je zelo velika, 300.000 km/s, in sprememba je pri hitrostih, ki jih dosežemo v svetu velikih teles, pri običajni natančnosti zanemarljiva. Pri natančnih merjenjih časa, ki so jih izvedli v ta namen, in pri sistemu za določanje lege na Zemlji GPS pa je treba spremembe upoštevati. V teh primerih je treba upoštevati tudi gravitacijo.

V *Elektrodinamičnem delu* članka je izpeljal Lorentzeve transformacije za količine električnega in magnetnega polja, ki so jih že poznali. Na novo je obdelal Dopplerjev pojav in zvezdno aberacijo. Nazadnje je izpeljal novi zakon gibanja in izrek o kinetični energiji. To je bila »dinamika popolnoma nove vrste«, ki jo je slutil Poincaré. Konec septembra je Einstein dodal kratek članek *Ali je vztrajnost telesa odvisna od njegove energije?* z zvezo med maso in energijo. Einstein je omenjal le načelo relativnosti. Njegov prijatelj Paul Ehrenfest je leta 1907 za Einsteinov prijem predložil ime *teorija relativnosti*. Posebna je teorija postala po letu 1915, da so jo razločili od splošne.

Potem

Ob nastanku je Einsteinova teorija tekmovala z drugimi teorijami. Redki fiziki so takoj uvideli njene prednosti. Veliko fizikov

in drugih je teorijo odklonilo, ker se niso mogli sprijazniti z nenavadnim pogledom na prostor in posebno na čas. Zanimivo je, da se je tedaj zdelo, da vrsta merjenj s hitrimi elektroni podpira neko drugo teorijo.

Danes je posebna teorija relativnosti sprejeta fizikalna teorija na območju veljavnosti. Ne zajame nekaterih pojavov v svetu atomov in gravitacije. Enačbo posebne teorije relativnosti za Dopplerjev pojav, na primer, podpirajo merjenja na osem mest natančno. Že nekaj časa merjenj ne izvajajo več, da bi podprli teorijo, ampak da preizkusijo nove merilne načine. Tako so leta 2010 izmerili podaljšanje časa pri hitrosti 10 metrov na sekundo. Posebna teorija relativnosti je univerzalno orodje fizike. Na njej so zgrajene druge uspešne teorije: relativistična kvantna mehanika, kvantna elektrodinamika in druge kvantne teorije polja. Sicer še vedno nalletimo na nasprotovanje teoriji in Einsteinu, a to je zunaj fizike.

Einsteinu so očitali, da v članku ni citiral nobenega dela drugih fizikov. Verjetno ni poznal Lorentzevega dela iz leta 1904 in Poincaréjevega iz leta 1905.

Einstein je nerad razpravljal o zaslugah. Trdil je, da bi najbrž kmalu drugi ugotovili to, kar je ugotovil on: »Kar zadeva relativnostno teorijo, sploh ni vprašanje o revolucionarnem dejanju, ampak gre za naravni razvoj na črti, ki jo lahko zasledujemo stoletja.« Lorentz je priznal: »Glavni vzrok mojega neuspeha je bilo vztrajanje pri misli, da moramo imeti spremenljivko t za pravi čas in da ne smemo videti v mojem lokalnem [transformiranem] času t' nič drugega kot pomožno matematično količino.« Einstein pa je ugotovil, da je to čas, ki ga izmeri gibajoči se opazovalec.

Einsteinove zasluge za posebno teorijo relativnosti so neizpodbitne. Vendar ne gre pozabiti, da je fizika skupinska dejavnost. Dosežek kakega fizika je povezan z delom njegovih predhodnikov in sodobnikov.

Sonda *Nova obzorja* prihaja na cilj

Mirko Kokole

Ko je leta 1930 Clyde Tombaugh odkril takrat deveti »planet« v našem osončju, si verjetno niti v sanjah ni domišljjal, da bomo Plutona kdaj videli čisto od blizu. Gotovo bi bil neizmerno navdušen, če bi lahko videl to, kar bomo videli mi v naslednjih nekaj mesecih. Vesoljska sonda *Nova obzorja* (*New Horizons*) namreč prihaja na svoj cilj in ga bo dosegla julija letos. Sondo so proti Plutonu izstrelili leta 2006. Do sedaj je prepotovala razdaljo, ki je tridesetkrat večja od razdalje med Zemljo in Soncem. Na svoji dolgi poti do pritlikavega planeta Plutona je sonda obiskala tudi orjaški planet Jupiter, ki ji je pomagal, da bo svoj cilj dosegla še hitreje. Koristil pa ji je tudi kot imenitna generalka, da so lahko preizkusili vse manevre, ki jih bodo morali brezhিবno izvesti, ko bo sonda prišla na svoj cilj. Sonda se bo Plutonu najbolj približala 14. julija, priprave na srečanje pa so se zaradi zahtevnosti manevrov začele že januarja letos.

Ker sta pritlikavi planet Pluton in njegov sistem lun tako zelo daleč, so morali sondo proti njima poslati z izjemno veliko hitrostjo, da bo na cilj lahko prišla dovolj hitro. Ker ima sonda veliko hitrost in posledično veliko kinetično energijo, bi za to, da bi se utirila okoli Plutona, potrebovala veliko več goriva, kot bi ga lahko nosila s seboj. Tako bo sonda le švignila skozi Plutonov sistem in nadaljevala pot v Kuiperjev pas, kjer bo verjetno obiskala vsaj še enega od predstavnikov tega sistema nebesnih objektov.

Upravitelji sonde so soočeni z izjemno velikim izzivom, saj pri upravljanju s sondo ne smejo narediti niti najmanjše napake. Sonda je sedaj tudi tako daleč od nas, da potuje radijski signal od nas do sonde in nazaj kar osem ur. Torej ni nobene možnosti, da bi lahko kakršno koli napako popravili sproti. Vsa opazovanja in manevri, ki jih bo sonda

naredila, morajo biti vnaprej do potankosti določeni. Še posebej zanimivo je, da bo sonda imela do sedaj najdaljši seznam ukazov v zgodovini vesoljskih odprav. Navadno je zaporedje ukazov dolgo nekaj sto do tisoč ukazov, sonda *Nova obzorja* pa jih bo morala izvesti več deset tisoč. Tudi prenos podatkov s sonde bo trajal izjemno dolgo, saj je pretok podatkov na tako veliki razdalji le še 2 kilobajta na sekundo. Tako bodo meritve, ki jih bo sonda poslala, sprejemali vse do konca leta 2016. Ker pa smo vsi zelo neučakani, bo sonda prvih nekaj fotografij poslala v posebni obliki, kar bo omogočilo, da bodo do nas prišle razmeroma hitro. Tako lahko prve podrobne slike Plutonovega površja pričakujemo verjetno že julija letos. Prve slike, ki bodo imele večjo ločljivosti, kot jo imajo fotografije, posnete s Hubblovim vesoljskim teleskop, pa lahko pričakujemo že maja.

Kljub temu, da fotografije, ki jih sedaj sne-



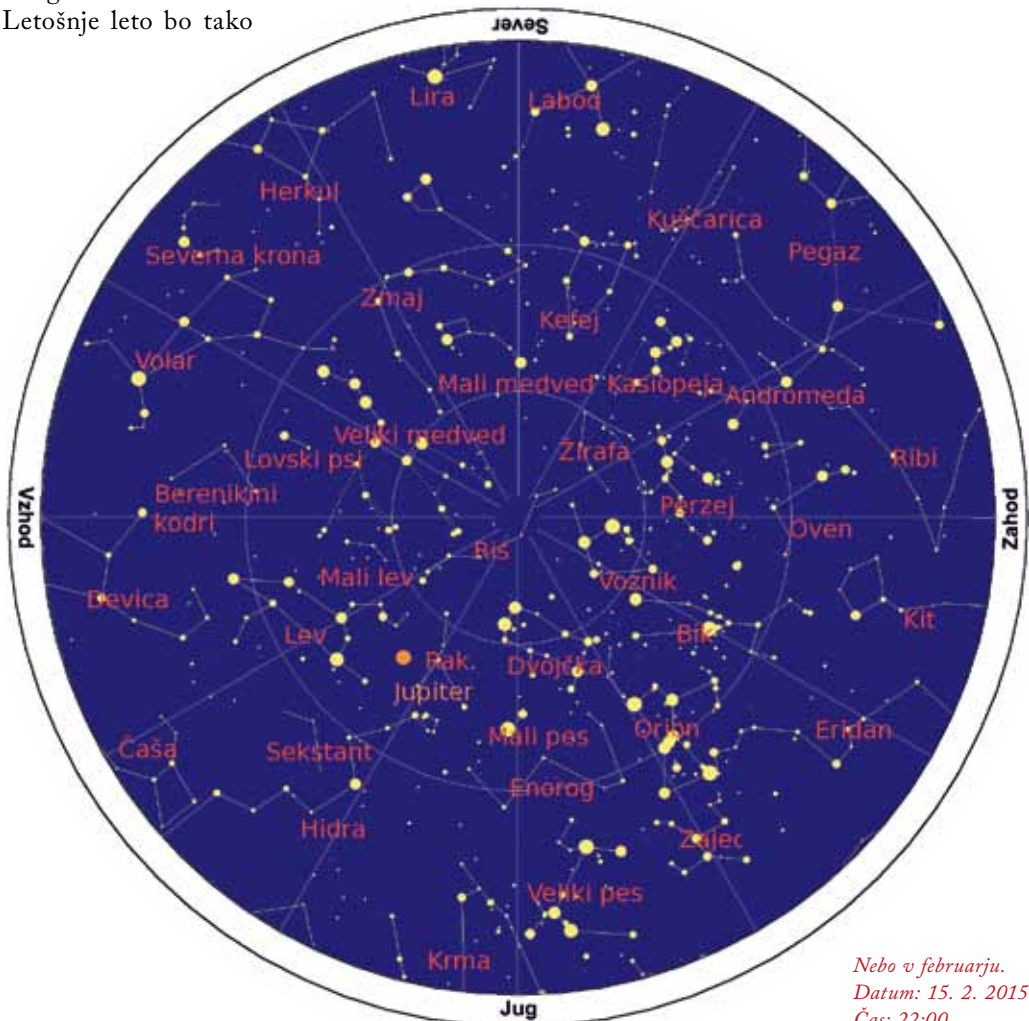
Posnetki Plutona in Harona, ki jih je naredila kamera LORRI 25. in 27. januarja letos. Sonda Nova obzorja je trenutno še preveč oddaljena od Plutona, da bi lahko na posnetkih razločili površinske značilnosti na Plutonu in Haronu. Tako so trenutna opazovanja bolj kot v znanstvene namene pomembna za navigacijo sonde, ki bo v Plutonov sistem vstopila z zelo veliko hitrostjo. Zato je natančno poznavanje gibanja vseh teles sistema izjemno pomembno. Prve slike, na katerih bo mogoče razločite površinske značilnosti na Plutonu, lahko pričakujemo v maju in juniju letos.

Foto: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute.

ma sonda, niso nič posebnega, pa sonda že opravlja pomembne znanstvene meritve. Pluton in Haron tvorita edini znani dvojni planet v našem osončju. Okoli njiju po zdaj znanih podatkih krožijo še štiri manjše lune, med katerimi se dve imenujeta Nix in Hydra. Sistem lun morajo preučiti zelo natančno, preden bo sonda vstopila vanj. O okolju, v katerem se nahaja Plutonov sistem, kakšna je gostota prašnih delcev, kakšna je tam gostota toka Sončevega vetra in njegova sestava, ne vemo skoraj nič. So pa ti podatki zelo pomembni, če bomo kasneje želeli razumeti, zakaj ima Pluton takšno površje, kot ga bomo videli.

Letošnje leto bo tako

zelo vznemirljivo in polno novih spoznanj o našem osončju, pritlikavih planetih in o tem, kako je naše osončje nastalo. Medtem ko čakamo na prve posnetke Plutona in njegovih lun, pa lahko na nebu opazujemo Jupiter, ki je sedaj v najboljši legi za opazovanje. Tudi ozvezdja zimskega šesterokotnika so sedaj najlepša. Na zimskem nebu je sedaj tudi nekaj najlepših objektov, ki jih lahko odlično vidimo tudi skozi manjši daljnogled. Na prvem mestu je prav gotovo Orionova meglica M42, sledijo ji kopici Plejade in Hijade in pa seveda kopica M44 v ozvezdju Raka.



*Nebo v februarju.
Datum: 15. 2. 2015.
Čas: 22:00.*

Editorial

Tomaz Sajovic

Geology

Hydraulic Fracturing as a Method of Natural Gas Extraction

Kristina Verbole

Hydraulic fracturing (fracking) or well stimulation is a method that allows for extraction of unconventional gas and has in the past several years become one of the most controversial topics when it comes to the oil and gas industry – mainly thanks to the United States of America, where shale gas production has rocketed recently, helping the US become the world's largest producer of natural gas. Contrary to what some believe, fracturing is not a new invention. It has been around for more than sixty years and has been used by the oil and gas industry both worldwide and in Slovenia. That's right, unconventional gas production takes place in Slovenia too; what's more, gas-in-place in Petišovci Field is estimated at 13 billion cubic metres.

Botany

Fens in Bohinj

Špela Novak

Every year on February 2nd we celebrate the World Wetlands Day when we pay particular attention to these sensitive habitats that include fens. The article presents characteristics and plants growing in fens in Bohinj. Described for the first time are the fens in Mlake that are situated on shady slopes to the south of Lake Bohinj. The author of this article spotted them there in 2008. The article also refers to less known fens with white cottongrass and localities of the rare bicoloured sedge.

Physics

A Brief History of Light

Janez Strnad

With all the attention directed at light and light-based technologies in the International Year of Light 2015 it seems only right that we make a brief overview of how the view of light in physics has changed through history. Light has always been extremely important for us. The Sun's energy travels to Earth as light. Without light there would be no sight. Light is used as a message carrier. And it was through light that physics discovered quantum theory and theory of relativity.

Medicine

Squint – Godsend for the Incas

Andraž Novak

Strabismus (Greek *strabismós*, Latin *strabismus*, Slovenian *skiljenje*) is a condition in which the eyes are not properly aligned with each other. It typically involves a lack of coordination between the extraocular mus-

cles, which in normal circumstances prevents bringing the gaze of each eye to the same point. One or both eyes may turn upwards, downwards, to the left or to the right. The turn may be constant (even deviation at all times) or intermittent. Strabismus in children will not go away by itself, but it can be treated, the sooner the better.

Zoology

Fried Egg Jellyfish

Bogdan Bricelj

The article offers fascinating photographs that reveal a number of curiosities from the life of fried egg jellyfish. In addition to describing them with fascinating details it also provides photographs depicting small fish that live under the shelter of these jellyfish. The article also discusses the destruction of jellyfish and shows the fish that feed on their remains.

New books

On the Special Theory of Relativity

Upon the Release of the *Theory of Relativity* at the ZRC Publishing, SRC SASA

Janez Strnad

Our sky

New Horizons Spacecraft to Reach Its Destination

Mirko Kokole

Table of Contents



■ Botanika

Nizka barja v Bohinju

2. februarja vsako leto praznujemo svetovni dan mokrišč, med katera sodijo tudi nizka barja. V prispevku so predstavljene značilnosti in rastline, ki uspevajo na nizkih barjih v Bohinju. Prvič so opisana barja na Mlakah, ki se nabirajo na osojnih pobočjih južno od Bohinjskega jezera, ki jih je v letu 2008 opazila avtorica članka. Omenjena so tudi manj poznana barja s Scheuchzerjevim muncem in nabajališča redkega dvoobarvnega šaša.



■ Fizika

Mala zgodovina svetlobe

Zaradi pozornosti, ki bo v Mednarodnem letu svetlobe 2015 namenjena svetlobi in njeni uporabi, je smiselno na kratko pregledati, kako se je v fiziki spreminjal pogled na svetlobo. Svetloba je za ljudi zelo pomembna. Na Zemljo prinaša energijo s Sonca. Brez svetlobe ne bi bilo vida. S svetlobo prenašamo sporočila na daljavo. Fizika je preko nje prišla do kvantne teorije in teorije relativnosti.



■ Medicina

Škiljenje – božji dar pri Inkih

Strabizem ali škiljenje je stanje nezmožnosti poravnave obeh oči. Običajno je posledica ohromljene koordinacije med zunajočesnimi mišicami, kar prepreči poravnavo oči v normalnih okoliščinah. Eno ali obe očesi se lahko obrneta navzgor, navzdol, levo ali desno. Obrat je lahko stalen ali občasen. Pri otrocih se škiljenje ne pozdravi samo od sebe, je pa ozdravljivo, zato je zdravljenje dobro opraviti čim prej.



■ Zoologija

Meduze morske cvetače

V Jadranskem morju živi osem vrst meduz. Ker jih srečujemo dokaj poredko, je njihovo življenje zavito v tančice skrivnosti, ki so manj poznane celo biologom. Poleti leta 2013 je pisec prispevka ob množičnem pojavu ene od vrst meduze – morske cvetače – imel priložnost pokukati v njihovo življenje. Morska cvetača tudi vidi. Na obodu klobuka ima namreč osem preprostih čutil za svetlobo in gravitacijo.

ISSN 0033-1805



9 770033 180000