

# Zobje glodavcev v pomoč pri razvoju implantatov?

**Novi raziskovalni obeti** Poznavanje nanostrukture zob glodavcev bo lahko pomagalo pri razvoju novih, s človeškim telesom kompatibilnih materialov

Kaj imajo skupnega zobje glodavcev in materiali za kostne implantate? Zadnja raziskava skupine slovenskih, nemških in ameriških raziskovalcev, ki jih je vodila dr. Vesna Šrot s centra za elektronsko mikroskopijo pri inštitutu Maxa Plancka iz Stuttgarta, je razkrila, da so lahko na novo odkrite lastnosti zob (sekalcev) nutrij uporabne širše, tudi pri razvoju novih materialov.

**SIMONA FAJFAR**

»Narava je skozi evolucijo poskrbela za razvoj številnih učinkovitih in edinstvenih rešitev, ki jih lahko s pridom uporabljamo tudi ljudje.« ugotavlja dr. Vesna Šrot, prva avtorica raziskave, ki je bila konec decembra objavljena v publikaciji ACS Nano, eni vodilnih znanstvenih revij o nanotehnologiji.

V članku Pomen magnezija za stalno rast sekalcev, bogatih z železom so predstavljeni rezultati raziskave, pri kateri so poleg raziskovalcev iz Nemčije in z ameriške univerze Leigh sodelovali tudi slovenski raziskovalci z velenjskega inštituta Erico, visoke šole za varstvo okolja in gozdarskega inštituta.

V raziskavi, ki je trajala skoraj štiri leta, so s sodobnimi tehnikami elektronske mikroskopije proučevali strukturo oziroma kemijsko sestavo in fizikalne značilnosti zob glodavcev. Uporabili so vzorce zob nutrij (*Myocastor coypus*) z ljubljanskega barja, ki so jih brez težav dobili zaradi zelo dobrega sodelovanja slovenskih

raziskovalcev z lovci, v tem primeru iz lovskih družin Tomišelj in Brezovica, pojasnjuje dr. Boštjan Pokorny, dekan visoke šole za varstvo okolja in raziskovalec na inštitutu Erico in gozdarskem inštitutu.

»Pri objavah izsledkov raziskav na živalih ali z uporabo njihovih organov in tkiv je v zadnjem času zelo pomembno dokazovati tudi etičnost raziskave, kar v tem primeru ni bilo težko, saj zaradi nje niti ena nutrija ni bila ubita, temveč so bile uplenjene v okviru rednega letnega odstrela, v skladu z lovsko-upravljaljskimi načrti,« še pove.

**Uganka sekalcev – glodačev**

Čeprav so naši raziskovalci divjadi v zadnjih letih ustvarili v svetu edinstveno in največjo zbirko čeljustnic prostoživečih parkljarjev z več kot sto tisoč primerki, so v raziskavi uporabili čeljustnice oziroma zobe nutrij.

Ti glodavci, ki so v Sloveniji invazivna tujerodna vrsta in imajo negativen vpliv na okolje, so se pri nas pojavili v tridesetih letih prejšnjega stoletja, razširili pa so se s farm kožuharjev in poselili številne slovenske reke, na primer Ljubljanico, Rižano in Savo.

»Naša velika primerjalna prednost pri raziskovanju divjadi je odlično sodelovanje lovcev in raziskovalcev, kar v večini drugih držav ne velja. Zato pri tej raziskavi nismo imeli nikakršnih težav s pridobivanjem vzorcev; podobne in številne druge raziskave pa bomo lahko izvajali tudi v prihodnje,« meni dr. Pokorny.

Z raziskavo so iskali odgovor na vprašanje, kako lahko sekalci (ime-



Dr. Vesna Šrot  
FOTO OSEBNI ARHIV

nujejo se tudi glodači) glodavcev nenehno rastejo in pri tem ohranjajo stalno ostrino. Zobje nutrij so bili za raziskovanje primerni zato, ker je ta vrsta primerljiva z nekaterimi drugimi našimi glodavci – glede na prehranjevalno nišo, ki jo zasedajo, pa tudi glede na izrazito rdečo obarvanost sekalcev (podobno barvo sekalcev imata svizec in bober).

Sprednji zobje glodavcev, ki so rdečerjave barve in vseskozi rastejo, tako da jih žival krajša z grizenjem, so že pred časom pritegnili pozornost dr. Vesne Šrot, ki je z natančnimi elektronskimi mikroskopi doslej analizirala školjke in človeške zobe. Za analizo zob glodavcev se je odločila zaradi njihove lahke izvajalnosti v prihodnje,« meni dr. Pokorny.

Z raziskavo so iskali odgovor na vprašanje, kako lahko sekalci (ime-

Čeprav je inštitut Maxa Plancka v Stuttgartu znan po bazičnih raziskavah predvsem umetnih materialov, je zdaj dr. Šrotova pri njih ena redkih raziskovalk naravnega biološkega materiala. »Naravni materiali so zelo zapleteni, saj v njih lahko najdeš vse mogoče elemente in spojine, ali kot v šali rada pravim, polovico periodnega sistema. Zato pa zahtevajo veliko pazljivost pri analizah in veliko več meritev,« pojasnjuje sogovornica.

Analiziranje naravnih bioloških materialov je zahtevno tudi v tehničnem smislu, saj lahko z analizo dokaj hitro poškodujejo (pogosto enkratno) vzorec.

Za raziskavo so v štirih letih opravili meritve na več kot petsto mestih v sekalcih nutrij. Pokazalo se je, da so sekalci te vrste nekaj posebnega, pravi raziskovalka. »Sklenina sekalcev pri nutrijah ni samo obogatena in obarvana z železom, ampak so zobje prekriti z dodatno plastjo. Našli smo amorfnoplast, v kateri so tri železove spojine: železov oksid, železovokalcijev fosfat in kalcijevo-železov fosfat. To je z vidika biomineralizacije zelo posebno,« poudarja sogovornica.

»Doselej za dodatno plast na sekalcih nismo vedeli, tudi zato, ker je ta plast zaradi stalnega grizenja in obrabe zob pogosto delno ali popolnoma odstranjena. Ohrani pa se na delu sekalca, ki ni vseskozi izpostavljen grizenju oziroma drgnjenju zoba ob zob. Predvidevamo, da ta plast varuje sklenino pred poškodbami, ko žival grize,« pravi dr. Šrotova.

**Stalno rastoči sekalci bogati z magnezijem in železom**

Sklenina zoba ni tako zelo bogata z železom kot plast, ki ga prekriva. Ugotovili pa so še nekaj drugega: da je osrednji del zoba, imenovan zobovina, bogat z magnezijem.

»Odkrili smo, da so stalno rastoči sekalci precej bogati z magnezijem oziroma je v sekalcih veliko več tega elementa kot v drugih zobeh nutrije – predmeljaku in meljakih,« poudarja sogovornica. To so povezali s konstantno rastjo sekalcev oziroma z začetnimi fazami rasti zob.

Tretji sklop zanimivih rezultatov, ki so jih pridobili z omenjeno raziskavo, so mehanske lastnosti zob glodavcev. »Dodatna vrhnja plast, ki smo jo odkrili na sekalcih, je zelo mehka. Prav tako notranji del sklenine, ki je na meji z zobovino in ki ni bogat z železom, nima posebnih mehanskih lastnosti v smislu povečane trdnosti. Vendar pa je med njima še plast sklenine s povišanimi vsebnostmi železa. Me-

hanske lastnosti, še zlasti trdnost te plasti sklenine, so precej izboljšane, kar daje celotnemu zobu večjo funkcionalnost. Ravno zaradi izrazitih razlik v trdnosti različnih plasti so sekalci nutrij oblikovani kot nož,« razloži dr. Šrotova.

Prepričana je, da se iz narave, kjer se elementi in spojine med seboj povezujejo na nepredstavljivo močne načine, lahko veliko naučimo. To, da imata dva sloja, ki vsak zase nista nič posebnega, skupaj la- stnost, ki je presežek, je za naravo povsem običajno. »Problem pa je to sintetizirati oziroma pustvariti za zadovoljevanje koristi ljudi, saj so arhitekture, ki jih dela narava, zelo zapletene in edinstvene,« poudarja raziskovalka.

Čeprav dosedanji izsledki ponujajo več smeri za nadaljnje raziskovanje, bodo še podrobneje preverili vpliv magnezija na rast zob. »Zelo obetavno je raziskovanje v smeri materialov za kostne implantate, kjer pa trenutno še raziskujemo,



FOTO MAVRIC PIVK

hanske lastnosti, še zlasti trdnost te plasti sklenine, so precej izboljšane, kar daje celotnemu zobu večjo funkcionalnost. Ravno zaradi izrazitih razlik v trdnosti različnih plasti so sekalci nutrij oblikovani kot nož,« razloži dr. Šrotova.

Prepričana je, da se iz narave, kjer se elementi in spojine med seboj povezujejo na nepredstavljivo močne načine, lahko veliko naučimo. To, da imata dva sloja, ki vsak zase nista nič posebnega, skupaj la- stnost, ki je presežek, je za naravo povsem običajno. »Problem pa je to sintetizirati oziroma pustvariti za zadovoljevanje koristi ljudi, saj so arhitekture, ki jih dela narava, zelo zapletene in edinstvene,« poudarja raziskovalka.

Čeprav dosedanji izsledki ponujajo več smeri za nadaljnje raziskovanje, bodo še podrobneje preverili vpliv magnezija na rast zob. »Zelo obetavno je raziskovanje v smeri materialov za kostne implantate, kjer pa trenutno še raziskujemo,

kakšen je pri tem pomen magnezija. Kot kažejo naše raziskave, je pomemben pri rasti, vendar bi radi našli še mehanizem za to,« pravi Vesna Šrot.

Raziskava se nadaljuje, kajti v konzorciju so že začeli določati lastnosti zob drugih zanimivih vrst, kot so poljski zajci, vervice, svizci

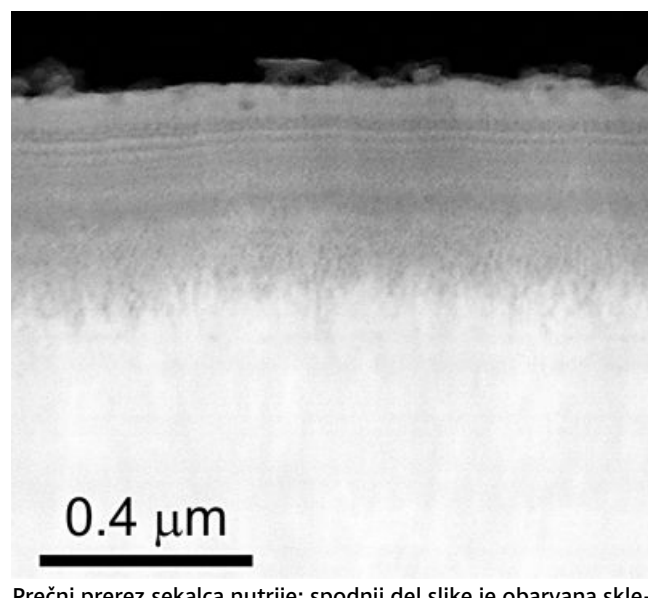
in srnjad. Po pričakovanjih bodo rezultati vsaj pri glodavcih podobni – raziskovalci pričakujejo, da bodo v sekalcih našli povišane vsebnosti magnezija oziroma močno soodvisnost med mikrostruktu- ro, kemično sestavo zob (na nanoravni) in mehanskimi lastnostmi zobnih tkiv.

## PROUČEVANJE MEJ MED MATERIALI

Dr. Vesna Šrot je že 12 let raziskovalka na inštitutu Maxa Plancka; ukvarja se z elektronsko mikroskopijo materialov. Po osnovni izobrazbi je geologinja, leta 2004 je doktorirala na ljubljanski naravoslovnotehniški fakulteti na temo Dvojične meje v kristalih. Po nekajletnem delu na inštitutu Jožefa Stefana je odšla v Stuttgart, na inštitut Maxa Plancka, kjer je svetovni center elektronske mikroskopije. »Tam sem začela proučevati meje med različnimi materiali, kar je pomembno področje raziskovanja, saj se zaradi zahtev tehnološkega razvoja raziskovanje seli z mikroravni na nanoraven. Lastnosti materialov pa so zelo odvisne od mej med dvema kristaloma oziroma materialoma,« pravi sogovornica, ki veliko dela z naravnimi materiali in z materiali, ki so nastali po vzoru iz narave, kajti, kot je prepričana: »Iz narave se lahko naučimo neverjetno veliko.«



Spodnji sekalcec nutrije



Prečni prerez sekalca nutrije: spodnji del slike je obarvana sklenina, prekrita z amorfnoplastjo, z železom bogato plastjo.

# Uvod v fiziko in Dopplerjev pojav

**Med knjigami** Leto po smrti prof. dr. Janeza Strnada izšli še dve njegovi knjigi – Brez goljufivih bližnjic mimo čeri, skritih v vodah klasične fizike

»Verjetno so učbeniki moj glavni prispevek k slovenskemu pisanju v fiziki. Ne morem se tudi znebiti domneve, da me bolj zanima splošni pogled kot raziskovanje podrobnosti. Za pisanje učbenikov sem porabil veliko časa na račun raziskovanja ...«

**GREGOR PUCELJ**

To je med drugim povedal prof. dr. Janez Strnad v zadnjem pogovoru za prilogo Znanost, ki je bil zaradi spleta okoliščin objavljen šele nekaj dni po njegovi smrti, 10. decembra 2015. Ta splet okoliščin se je nadaljeval tudi z njegovimi zadnjimi knjižnimi deloma – dopolnjeno izdajo »večnega« učbenika Fizika, 1. del: Mehanika, toplota in nekoliko bolj poljudno Malo zgodovino Dopplerjevega pojava. Izid dopolnjene izdaje učbenika je zamujal že od leta 2013, dokončani rokopis Male zgodovine Dopplerjevega pojava pa je prof. Strnad dobil v roke šele v zadnjih tednih življenja. Ob prehodu iz leta 2016 v 2017, torej dobro leto po avtorjevi smrti, pa sta obe knjigi zagledali beli dan v založbi DMFA – založništvo.

**V enem letu 360 strani**

Učbenik Fizika, 1. del: Mehanika, toplota ima zanimivo in kar dolgo zgodovino. Po doktoratu leta 1963 in izvolitvi v docenta je Janez Strnad, ki je že dve leti predaval

fiziko, spoznal, da mora matična ustanova poskrbeti za osnovni učbenik, zato se je lotil pisanja skript, ki so sčasoma dobivale vse lepšo obliko. »V letu dni sem napisal okoli 360 strani. Te sem v naslednjem letu dopolnil in napisal še drugi del skript. Tako so imela ročno razmnoževana skripta Uvod v fiziko konec leta 1968 dva dela s skupno več kot 900 stranmi,« se je pozneje spominjal prof. Strnad. Sledila sta dva dela Uvoda v fiziko v letih 1970 in 1971, v dveh naslednjih letih pa še dva dela Moderne fizike; oba sta v knjižni obliki izšla pri DZS v letih 1977 in 1978. Leta 1981 in 1982 sta se jima pridružila še tretji in četrti del, ki sta v elektronski obliki izšla v letih 1998 in

2000, takrat že pri DMFA – založništvo.

Ker so se tudi v fiziki nova spoznanja vrstila kot po tekočem traku, je prof. Strnad redno posodabljal več dopolnjenih izdaj oziroma ponatisov osnovnega fizikalnega učbenika, ki so ga nujno potrebovali študenti fizike in matematike na začetku študija. Kot pravi dr. Saša Prelovšek Komelj, izredna profesorica na ljubljanski fakulteti za matematiko in fiziko ter raziskovalka na Inštitutu Jožef Stefan: »Za uvodno strokovno opismenjevanje bodočih fizikov, pa seveda tudi astronomov, meteorologov, matematikov ter bolj vedoželjnih naravoslovcev in inženirjev, je Strnadov učbenik

takšnega pomena kot prvo berilo v materinščini za slehernega prvošolca. Še več: po Fiziki I (ter II in tudi III ter IV) segajo generacije diplomirancev ljubljanske univerze, ki si bodisi služijo kruh kot fiziki ali pa jim ta pomaga pri reševanju poklicnih problemov. Krasi jo prepoznava enkratni slog, brez odvečnega leporečja. V bralcu vzbuja zaupanje, da ga bo zanesljivo, brez goljufivih bližnjic, popeljala mimo zahrbtnih čeri, ki prežijo nanj v navidezno mirmih vodah klasične fizike. S knjigo, ki jo v slovenski fizikalni šoli lahko mirno postavimo ob bok znamenitim Feynmanovim Predavanjem iz fizike, si je prof. Strnad postavil spomenik, s katerim bo ostal nesmrten tudi za prihajajoče rodove kolegov, ki žal nimajo časti v živo prisluhniti njegovim predavanjem.«

**Dopplerjev pojav od A do Ž**

Knjigo Mala zgodovina Dopplerjevega pojava je v uvodu zgosteno predstavil že prof. Strnad sam. Gre za razmeroma preprosto razlago tega pomembnega fizikalnega pojava, s katerim se vsakodnevno srečujemo prav vsi.

»Vsakdo je že slišal avtomobil, ki je zapeljal mimo z vključeno trobljo ali sireno. Zvok bližajočega avtomobila se je zdel povišan, zvok oddaljujočega se avtomobila pa nižan. Manj vemo o odkritju tega pojava in o tem, kako so se razvijali pogledi nanj. Prvič ga je omenil leta 1842 Christian Doppler v mislih na zvok in svetlo-

bo,« avtor uvede bralca in ga nato popelje na vijugavo pot odkrivanja Dopplerjevega pojava, najprej pri zvoku in pozneje še pri svetlobi. Za manj fizikalno izobraženega bralca je zanimiva tudi uporabnost Dopplerjevega pojava, tako v številnih vejah fizike kakor tudi zunaj nje; to je avtor obdelal v tretjem delu knjižice.

Pojav med drugim uporabljajo vremenski in policijski radarji, izkriščajo ga pri ultrazvoku v medicinskih preiskavah, pa tudi pri upravljanju računalnikov s kretanjami, brez dotikanja tipkovnice ali zaslona.

Besedilo Male zgodovine Dopplerjevega pojava je prof. Strnad dobil v korekturno branje slab mesec pred smrtjo. Z njemu la- stno vztrajnostjo je svoje delo še enkrat prebral in v rokopis vnesel manjše popravke. Problem pa so bile nekatere manjkajoče slike v obeh delih.

K sreči je avtor, ki je na grobo sam oblikoval obe knjigi, pod praznimi prostori za manjkajoče slike že napisal podpise, po katerih sta nato dr. Aleš Mohorič in prof. dr. Andrej Čadež slike skicirala, vse pa je na novo narisal dr. Matjaž Zaveršnik, ki je knjigo tudi dokončno oblikoval. Nad strokovno neoporečnostjo Fizike I je bedel prof. dr. Alojz Kodre, ki je poleg tega v drugi knjigi napisal nekaj misli o Janezu Strnadu, nad Malo zgodovino Dopplerjevega pojava pa dr. Mohorič; delo je koordinirala Milena Strnad, žena pokojnega profesorja.



Prof. dr. Janez Strnad FOTO OSEBNI ARHIV