

IZDAJA DRUŠTVO MATEMATIKOV, FIZIKOV IN ASTRONOMOV SLOVENIJE

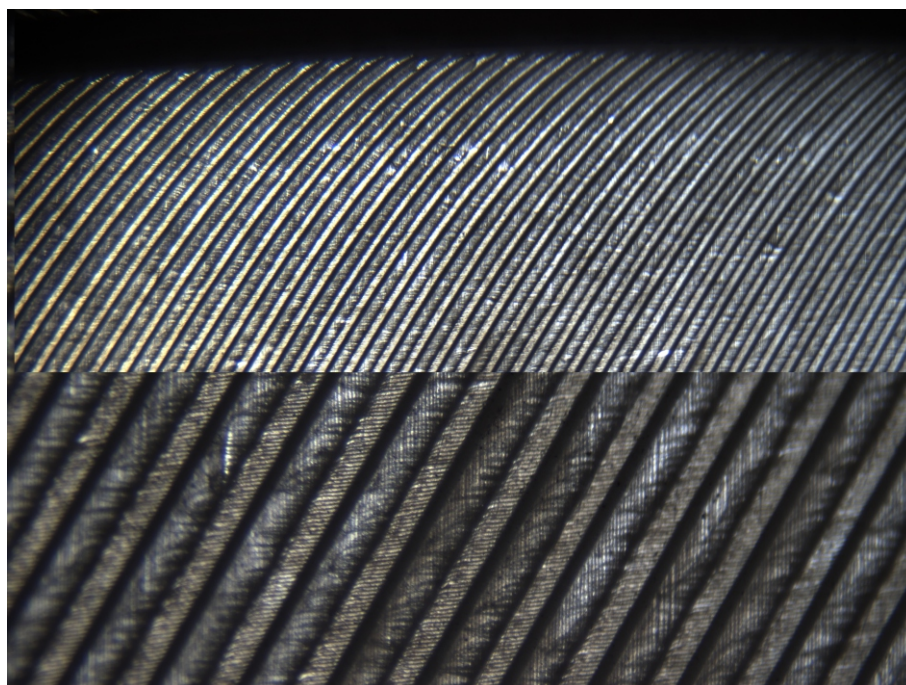
ISSN 0473-7466

2022

Letnik 69

2

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO



OBZORNIK MAT. FIZ. • LJUBLJANA • LETNIK 69 • ŠT. 2 • STR 41-88 • JUNIJ 2022

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

Glasilo Društva matematikov, fizikov in astronomov Slovenije
Ljubljana, JUNIJ 2022, letnik 69, številka 2, strani 41–88

Naslov uredništva: DMFA–založništvo, Jadranska ulica 19, p. p. 2964, 1001 Ljubljana
Telefon: (01) 4766 633, 4232 460 **Telefaks:** (01) 4232 460, 2517 281 **Elektronska pošta:** info@dmfa-zaloznistvo.si **Internet:** <http://www.obzornik.si/> **Transakcijski račun:** 03100–1000018787 **Mednarodna nakazila:** SKB banka d.d., Ajdovščina 4, 1513 Ljubljana **SWIFT (BIC):** SKBAS12X **IBAN:** SI56 0310 0100 0018 787

Uredniški odbor: Peter Legiša (glavni urednik), Sašo Strle (urednik za matematiko in odgovorni urednik), Aleš Mohorič (urednik za fiziko), Mirko Dobovišek, Irena Drevenšek Olenik, Damjan Kobal, Petar Pavešič, Marko Petkovšek, Marko Razpet, Nada Razpet, Peter Šemrl, Matjaž Zaveršnik (tehnični urednik).

Jezikovno pregledal Grega Rihtar.

Računalniško stavila in oblikovala Tadeja Šekoranja.

Natisnila tiskarna COLLEGIUM GRAPHICUM v nakladi 1100 izvodov.

Člani društva prejema Obzornik brezplačno. Celoletna članarina znaša 24 EUR, za druge družinske člane in študente pa 12 EUR. Naročnina za ustanove je 30 EUR, za tujino 35 EUR. Posamezna številka za člane stane 6,00 EUR, stare številke 3,00 EUR.

DMFA je včlanjeno v Evropsko matematično društvo (EMS), v Mednarodno matematično unijo (IMU), v Evropsko fizikalno društvo (EPS) in v Mednarodno združenje za čisto in uporabno fiziko (IUPAP). DMFA ima pogodbo o recipročnosti z Ameriškim matematičnim društvom (AMS).

Revija izhaja praviloma vsak tretji mesec. Sofinancira jo Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz sredstev državnega proračuna iz naslova razpisa za sofinanciranje domačih znanstvenih periodičnih publikacij.

© 2022 DMFA Slovenije – 2153

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana

NAVODILA SODELAVCEM OBZORNIKA ZA ODDAJO PRISPEVKOV

Revija Obzornik za matematiko in fiziko objavlja izvirne znanstvene in strokovne članke iz matematike, fizike in astronomije, včasih tudi kak prevod. Poleg člankov objavlja prikaze novih knjig s teh področij, poročila o dejavnosti Društva matematikov, fizikov in astronomov Slovenije ter vesti o drugih pomembnih dogodkih v okviru omenjenih znanstvenih ved. Prispevki naj bodo zanimivi in razumljivi širšemu krogu bralcev, diplomantov iz omenjenih strok.

Članek naj vsebuje naslov, ime avtorja (oz. avtorjev), sedež institucije, kjer avtor(ji) dela(jo), izvleček v slovenskem jeziku, naslov in izvleček v angleškem jeziku, klasifikacijo (MSC oziroma PACS) in citirano literaturo. Slike in tabele, ki naj bodo oštevilčene, morajo imeti dovolj izčrpen opis, da jih lahko večinoma razumemo tudi ločeno od besedila. Avtorji člankov, ki želijo objaviti slike iz drugih virov, si morajo za to sami priskrbeti dovoljenje (copyright). Prispevki so lahko oddani v računalniški datoteki PDF ali pa natisnjeni enostransko na belem papirju formata A4. Zaželen velikost črk je 12 pt, razmik med vrsticami pa vsaj 18 pt.

Prispevke pošljite odgovornemu uredniku ali uredniku za matematiko oziroma fiziko na zgoraj napisani naslov uredništva. Vsak članek se praviloma pošlje dvema anonimnima recenzentoma, ki morata predvsem natančno oceniti, kako je obravnavana tema predstavljena, manj pomembna pa je originalnost (in pri matematičnih člankih splošnost) rezultatov. Če je prispevek sprejet v objavo, potem urednik prosi avtorja še za izvirne računalniške datoteke. Le-te naj bodo praviloma napisane v eni od standardnih različic urejevalnikov \TeX oziroma \LaTeX , kar bo olajšalo uredniški postopek.

Avtor se z oddajo članka strinja tudi z njegovo kasnejšo objavo v elektronski obliki na internetu.

MEHKA ROBOTIKA

LARA ERZIN

Fakulteta za matematiko in fiziko

Univerza v Ljubljani

Ključne besede: mehka robotika, mehki materiali, mehki aktuatorji, senzorji

Mehki roboti so narejeni iz mehkih, elastičnih materialov in omogočajo edinstvene možnosti uporabe na področjih, kjer klasična, neprožna robotika ne pride v poštev, na primer za neinvazivne operacije, protetiko in umetne organe. Pristopi za oblikovanje in delovanje izhajajo iz narave in kompleksnega gibanja živih bitij. Zaradi svoje mehke zgradbe, ki lahko spreminja obliko, se lahko mehki roboti prilagajajo nepredvidljivim okoljem in varno interagirajo z ljudmi. Novo nastajajoče področje mehke robotike združuje različna področja, kot so fizika materialov, biomedicinsko inženirstvo in področje inteligentnih sistemov.

SOFT ROBOTICS

Soft robots are composed of compliant, elastic materials and offer unique applications in the fields where conventional rigid robotics cannot be applied, for instance noninvasive surgeries, prosthetics and artificial organs. Their design and operation draw heavily from nature, often mimicking the complex motion of living creatures. Due to their soft structure with the capability to change shape, soft robots are able to adapt to unpredictable environments and can safely interact with humans. The newly emerging field of soft robotics is highly multi-disciplinary, combining areas such as material physics, biomedical engineering and intelligent systems.

Uvod

Naprave v našem vsakdanjem življenju so večinoma narejene iz togih komponent, ki se odlikujejo v ponavljajočih se nalogah v predvidljivih ter strukturiranih okoljih. Na drugi strani pa so živi organizmi v milijonih let evolucije razvili najrazličnejše sisteme, v katerih pretežno najdemo mehke materiale, ki omogočajo boljše prilagajanje okolju [14]. Prav to razhajanje z naravo je eden od globokih navdihov za iskanje drugačnih rešitev za robotske sisteme, ki se danes začneta prepoznavati kot novo področje, imenovano mehka robotika [12].

Mehka robotika je področje robotike, ki se ukvarja z ustvarjanjem robotov iz materialov, ki so mehki, upogljivi in elastični, torej podobni tistim v živih organizmih [22]. Običajne robote po navadi poganjajo elektromotorji ali črpalke, pri čemer take naprave lahko zmorejo velike sile, visoke hitrosti in veliko natančnost, vendar pa praviloma niso zmožne prilagajanja okolju

in varnega delovanja v bližnjem stiku z ljudmi [21]. Zato je vedno bolj zaželen lastnost robotskih sistemov, še posebej tistih, ki morajo interagirati z ljudmi [15], da uporabljajo mehke materiale, ki na primer lahko učinkovito razpršijo energijo ob udarcih, zadušijo nihanja in omogočajo bolj gladke ter neprekinjene gibe. Roboti, narejeni iz mehkih materialov, se tudi praviloma lažje odzivajo na spremembe v okolju in so bolj robustni [21].

Mehka robotika odpira možnosti za nove tehnologije v biomedicinskih napravah, industrijski avtomatizaciji in celo v raziskovanju vesolja. Zanimivi nastajajoči izumi na področju mehke robotike so na primer črpalka brez ventilov, ki posnema delovanje srca vretenčarjev, lahke in fleksibilne sončne celice, umetni organi in pametna protetika [19]. Mehki roboti lahko spreminjajo obliko ali celo rastejo [18]. Ker se je razvoj področja mehke robotike začel dokaj nedavno, je danes veliko raziskav usmerjenih v iskanje ustreznih materialov in njihovo vključevanje v robotske sisteme. Povsem mehki roboti trenutno še nimajo prave uporabne vrednosti in so namenjeni predvsem demonstraciji zmožnosti mehkih materialov. Mehki roboti, ki pa so že v uporabi, se po navadi zanašajo na zunanje napajanje in vključujejo trde komponente [12].

V nadaljevanju je predstavljen model gibanja izbranega podvodnega mehkega robota, kot prikaz prednosti mehkih robotov, opisane so nekatere metode izdelave, predstavljene so vrste senzorjev in aktuatorjev, v zadnjem poglavju pa je opisano delovanje prvega povsem mehkega avtonomnega robota.

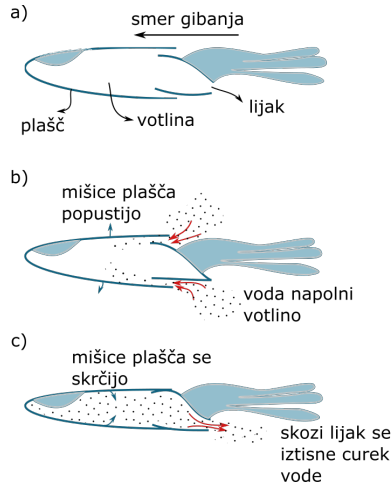
Gibanje modelskega podvodnega mehkega robota

Veliko vodnih organizmov se pri svojem gibanju zanaša na periodične oscilacije dela telesa (plavuti, rep) ali pa kar celega telesa, kar zahteva aktivacijo sklepov in usklajeno gibanje okončin, in je kot tako relativno zapleteno in posledično s stališča robotike manj uporabno. Zato se v mehki robotiki razvija načine gibanja, ki temeljijo na spreminjanju oblike telesa ali spreminjanju volumna telesa. Tako gibanje je v naravi značilno predvsem za enocelične organizme ter nekatere plaščarje in glavonožce [9]. Glavonožci se poganjajo s pomočjo omišičene plaščeve votline – ko mišice plašča popustijo, votlino napolni voda, ko pa se skrčijo, skozi lijak iztisnejo vodni curek in s tem odrinejo žival v drugo smer [2]. Shema gibanja je prikazana na sliki 1. Nedavno pa so pri hitrih manevrih glavonožcev opazili nepričakovano velike pospeške in večje hitrosti, kot bi jih lahko le zaradi curka izločene vode, kar se razloži z učinkom t. i. hidrodinamske mase (*»added-mass recovery«*) [26].

Hidrodinamska masa

Pri pospešenem gibanju telesa – npr. organizma ali robota – v tekočini se mora poleg telesa premikati tudi okoliška tekočina, ki se pretaka iz območja

Mehka robotika



Slika 1. Shema gibanja glavonožca: a) Glavni gibalni elementi glavonožca. b) Mišice plašča popustijo in votlino napolni voda. c) Mišice se skrčijo, s čimer iztisnejo curek vode, kar odrine žival v nasprotno smer.

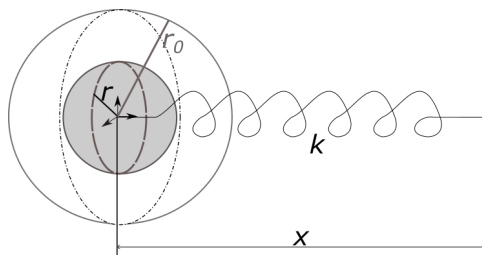
pred telesom v prostor za njim. Pri tem telo na tekočino deluje s silo in tako vpliva na hitrostno polje tekočine in pospešek. Seveda tekočina deluje nazaj na telo z nasprotno enako silo in ta sila predstavlja učinek t. i. hidrodinamske mase. Gre torej za efektivno silo, ki je posledica tega, da gibajoče telo s seboj vleče (ali zaustavlja) del volumna okoliške tekočine, kar pa ima na telo podoben učinek, kot da bi imelo dodatno maso. Kvocijent hidrodinamske mase je definiran kot razmerje med maso tekočine, ki jo telo pospeši, in maso izpodrinjene tekočine [13].

Hidrodinamska masa je pomembno odvisna od razmerja med gostoto tekočine in gostoto telesa. Če obravnavamo gibanje teles z veliko gostoto v tekočini s precej manjšo gostoto, lahko njene učinke zato velikokrat zanemarimo. Številni biološki organizmi – kot prikazani glavonožec –, enako pa tudi mehki roboti, sestojijo iz materialov z nižjo gostoto in zato učinek hidrodinamske mase lahko postane pomemben.

Krogelno nihalo v tekočini

Za ponazoritev vpliva hidrodinamske mase na gibanje telesa obravnavamo nihalo na vzmet potopljeno v tekočino. Izkaže se, da ko takemu nihalu periodično spreminjamo volumen – a ohranjamo njegovo maso – nekaj energije, ki jo je oddalo tekočini, pridobi od tekočine nazaj. V modelu zaradi enostavnosti obravnavamo krogelno nihalo, vendar je izpeljava ustrezna tudi za druga telesa, ki se jim volumen spreminja izotropno. Rezultati pa se lahko posplošijo tudi na nekatere bolj anizotropne spremembe volumna, kot jih na

primer opazimo pri glavonožcih [8, 9]. To telo se giba le levo-desno in ni model plavalca, ki dejansko lahko plava v neki smeri. Vzmet v našem modelu pa v kontekstu glavonožcev ustreza elastičnemu tkivu plašča, ki pomembno sodeluje pri njihovem gibanju [10].



Slika 2. Shema modelskega podvodnega robota s spreminjajočim se volumnom, kjer r označuje polmer oscilatorja ob času t , r_0 pa je povprečen polmer oscilatorja.

Obravnavamo torej enodimenzionalni oscilator (shema prikazana na sliki 2) z maso m , volumnom V ter s konstanto vzmeti k . Nihalo niha v smeri x in lahko spreminja svoj volumen, pri čemer pa ohranja svojo maso.

Ko tako nihalo-robota potopimo v tekočino z gostoto ρ (za katero privzamemo, da je konstantna), deluje nanj t. i. Morisonova sila. Morisonova sila je semiempiričen zapis dveh osrednjih sil, ki vplivata na oscilirajoče telo v tekočini: prvi inercialni člen predstavlja spremembo vztrajnosti zaradi hidrodinamske mase, drugi člen pa predstavlja upor v tekočini. Dinamično enačbo (2. Newtonov zakon) za oscilirajoče telo zapišemo kot

$$m\ddot{x} + kx = F = -\frac{\partial}{\partial t} [C_{11}\rho V\dot{x}] - \frac{1}{2}C_D\rho A\dot{x}|\dot{x}|, \quad (1)$$

kjer sta na desni strani člena Morisonove sile in je A prečni presek telesa, C_D koeficient upora telesa, C_{11} koeficient hidrodinamske mase, \dot{x} hitrost nihala, \ddot{x} pa njegov pospešek [8]. Prvi člen na desni strani zgornje enačbe si lahko poenostavljeno razložimo tako, da si predstavljamo, da se s telesom giba tekočina z maso $C_{11}\rho V$. To povzroči silo sorazmerno s časovnim odvodom zmnožka dodatne mase tekočine in hitrosti telesa. Bolj natančna izpeljava tega člena je dostopna v literaturi [3].

Če enačbo (1) preuredimo, dobimo

$$(m + C_{11}\rho V)\ddot{x} + \left(\frac{1}{2}C_D A|\dot{x}| + C_{11}\dot{V}\right)\rho\dot{x} + kx = 0, \quad (2)$$

kar nakaže, da je smiselno uvesti efektivno maso m_e in časovno odvisen

efektivni koeficient dušenja C_e kot

$$m_e = m + C_{11}\rho V \quad (3)$$

$$C_e(t) = \frac{1}{2}C_D\rho A |\dot{x}| + C_{11}\rho\dot{V}, \quad (4)$$

kar omogoči, da enačbo (2) zapišemo kot efektivno enačbo dušenega nihanja

$$m_e\ddot{x} + C_e(t)\dot{x} + kx = 0,$$

ki pa ima časovno odvisen koeficient dušenja. Za doseganje optimalnega gibanja takega robota pa se praviloma poskuša doseči režim gibanja, ko je $C_e(t) = 0$, kar se res lahko doseže v primeru negativne spremembe volumna $\dot{V} < 0$. Ko je efektivni koeficient dušenja enak nič, se efektivno izniči učinek upora tekočine in dobimo nedušeno nihanje. Za doseg takega efektivno nedušene gibanja je potrebno spreminjanje volumna, pri katerem se telo počasi skrči, nato pa se hitro napihne nazaj na prvotno velikost [9]. Za tako efektivno nedušeno gibanje položaja telesa x velja

$$x = X \cos \omega t, \quad (5)$$

kjer je X amplituda odmika nihala, za fazo nihanja pa privzamemo, da je enaka nič.

Posebej zanimiv režim gibanja – ko je sistem efektivno nedušen – dobimo, ko je $C_e = 0$, kar da zvezo:

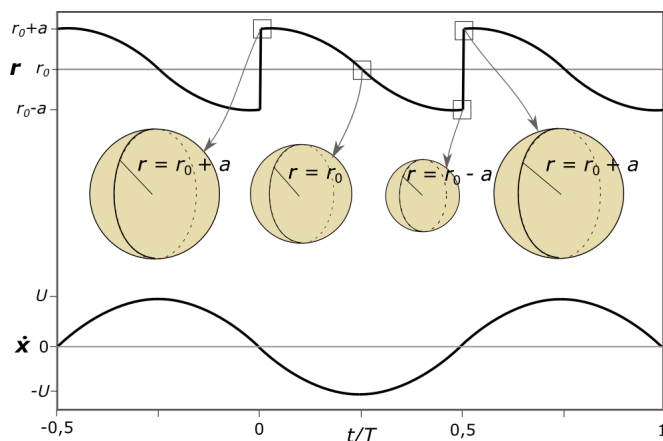
$$\dot{V} = -\frac{1}{2} \frac{C_D A |\dot{x}|}{C_{11}}. \quad (6)$$

Če je nihajoče telo v obliki krogle, je njegov prečni presek enak $A = \pi r^2$, volumen je $V = \frac{4\pi r^3}{3}$, sprememba volumna pa $\dot{V} = 4\pi r^2 \dot{r}$, kar enačbo (6) prepíše v

$$\dot{r} = -\frac{1}{8} \frac{C_D}{C_{11}} |\dot{x}|. \quad (7)$$

Iz te zveze opazimo, da bi se moral polmer telesa r ves čas spreminjati v času, če naj ima telo konstantno hitrost, saj sta koeficienta C_D in C_{11} pozitivna. Da to omejitev zaobidemo v realnem gibanju, se volumen telesanihala poveča vsakič, ko to pride v skrajno lego, kjer je njegova hitrost enaka nič, kot nakazuje slika 3.

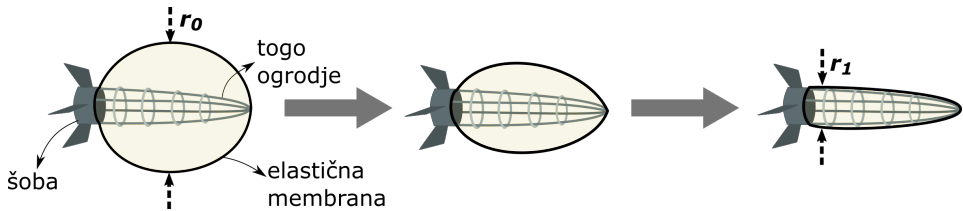
Ko je sferično telo-robot v skrajni legi, je njegova hitrost enaka nič in je efektivna elastična vzmet raztegnjena, kar ustreza stanju, ko ima telo največji volumen z radijem $r_0 + a$. Telo nato spustimo in to se zaradi sile vzmeti pospeši, volumen pa se začne zmanjševati. Po četrtini nihaja, ob času $t = 0,25 T$, se nahaja v ravnovesni legi in polmer krogle je takrat enak



Slika 3. Spreminjanje volumna in hitrost sferičnega telesa-robota v tekočini z učinkovito nič upora. Zgornji del grafa prikazuje spreminjanje polmera krogle, na spodnjem delu grafa pa je prikazana hitrosti nihanja, kjer je $U = \omega X$ amplituda hitrosti.

r_0 . Do časa $t = 0,5 T$ pa se volumen krogle zmanjša na minimalno vrednost. Takrat je nihalo v drugi skrajni legi, kjer je njegova hitrost enaka nič, in tam se telo hitro napihne (predpostavimo, kot da hipno). Kroglo povečamo, ko miruje, saj takrat nenadno povečanje hidrodinamske mase ne vpliva na pogon [9].

Podobno gibanje, kot predstavljeno v poenostavljenem modelu nihanja telesa s spreminjajočim volumnom v okoliški tekočini, so opazovali tudi v eksperimentu, kjer pa se telo res usmerjeno giba, saj pri stiskanju uporablja šobo, ki usmerja tok okoliške tekočine [24]. Posebej so tako pokazali, da telo, ki spreminja obliko, nazaj pridobi del kinetične energije, ki jo je prej predalo tekočini (kar na predstavljenem primeru nihala ustreza zagotavljanju nedušene nihanja). To so demonstrirali s podvodnim vozilom z elastično membrano napeto čez togo ogrodje, ki posnema eno pulzacijo glavonožca. Shema gibanja vozila je prikazana na sliki 4. Podobno kot pri glavonožcih se elastična membrana napolni z vodo (vozilu se močno povečata prečni presek in volumen), nato pa curek vode izločen skozi šobo vozilo požene v gibanje, membrana se prazni in vozilu se prečni presek in volumen zmanjšata na velikost togega ogrodja. Zaradi zmanjšanja polmera in volumna se zmanjša hidrodinamska masa, zaradi česar, tako kot v zgornjem modelu, vozilo zopet pridobi del kinetične energije, ki jo je prej predalo okoliški tekočini. Gibanje vozila z elastično membrano so nato primerjali z gibanjem togega vozila, ki ga poganja sila curka enaka tisti pri vozilu z membrano. Ugotovili so, da je imelo vozilo z elastično membrano v primerjavi s togim vozilom 200 % večjo hitrost in 130 % večji pospešek, kar lahko pripišemo le členu $C_{11} \dot{V} \rho \dot{x}$, ki se je v enačbi (2) pojavil kot posledica spreminjanja oblike telesa [24, 9].



Slika 4. Shema gibanja podvodnega vozila z elastično membrano, ki posnema gibanje glavonožca. Elastična membrana je napolnjena z vodo, zato ima večji volumen; njen premer je r_0 . Skozi šoba se nato izloča curek vode, kar požene vozilo in membrana se začne krčiti. Curek vode se ustavi, ko membrana doseže togo ogrodje vozila in je njen premer $r_1 < r_0$.

Pristopi in izzivi izdelave mehkih robotov

Prožnost materialov – sploh na stikih različnih elementov robota – predstavlja osrednji izziv za izdelavo mehkih robotov, saj običajne tehnike, kot sta na primer spajanje in varjenje, ne pridejo v poštev [4]. Da je napetost stikov ob spreminjanju volumna ali oblike čim manjša, morajo imeti vsi materiali robota čim bolj podobno mehansko trdnost, torej podoben prožnostni modul. Materiali, kot so kovine in trda plastika, iz katerih so narejeni običajni roboti, imajo tipične vrednosti prožnostnega modula večje od 10^9 Pa, prožnostni modul večine tkiv v živih organizmih, na primer kože in mišic, pa ima velikost med nekje 10^2 in 10^6 Pa. Prav to razhajanje je v ozadju številnih izzivov pri načrtovanju in izdelavi mehkih robotov.

Najbolj pogosto uporabljena metoda za izdelavo mehkih robotov je vlijanje v modele (»*molding*«), kjer v kalupe vlivajo tekoče materiale (npr. silikonsko gumo), ki se nato strdijo in jih lahko iz kalupa odstranijo. Pogosta težava, ki se pojavlja pri tem postopku, so zračni mehurčki, ki se ujamejo v material, kar pa lahko rešijo z vakuumskim razplinjevanjem ali s centrifugo [20].

Obstaja pa tudi več drugih pristopov za izdelavo mehkih robotov. Metoda oblikovnega odlaganja (»*shape deposition manufacturing*«) temelji na tem, da se material in podporna struktura nalagajo v plasteh in sproti oblikujejo, kar je posebej primerno za vključevanje čipov, vezij in žic v polimere [4]. Metoda izdelave pametnih mikrokompozitov (»*smart composite microstructure*«) združuje polimere okrepljene z ogljikovimi vlakni z elastičnimi polimeri, ki delujejo kot sklepi, kar se izkaže posebej uporabno predvsem za manjše robote, ki merijo nekaj mm. Tretja metoda, ki se uporablja za izdelavo mehkih robotov, pa je 3D-tiskanje, pri kateri pa se lahko uporabi več različnih materialov, s čimer dobijo strukture, ki imajo lokalno različne mehanske lastnosti [4].

Pogon mehkih robotov

Pogonski mehanizmi

Aktuator je osnovni element robota, ki omogoča njegovo premikanje ali poganjanje, pri čemer sprejme nek signal – električni, svetlobni, ... – in ga nato pretvori v mehansko spremembo kot npr. spremembo oblike dela robota. Klasični aktuatorji za svoje delovanje večinoma izkoriščajo hidravlične, pnevmatične ali električne principe, so pa praviloma zaradi svoje teže, velikosti in togosti pogosto neprimerni za uporabo v mehkih robotih [1, 14]. Aktuatorji mehkih robotov so zato narejeni praviloma iz mehkih materialov, izvajajo lahko kompleksne premike in imajo veliko tako aktivnih kot pasivnih prostostnih stopenj [27].

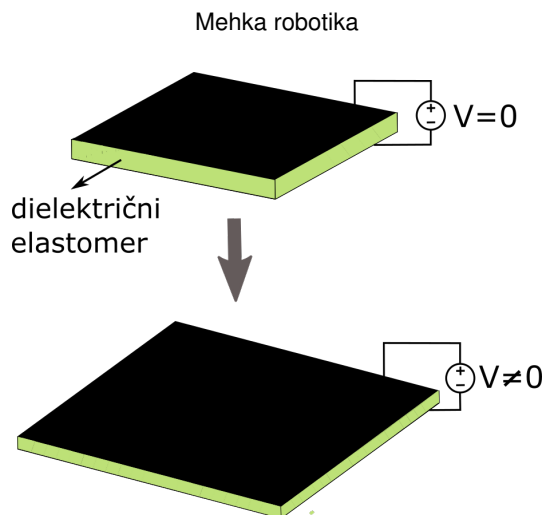
Pogonski mehanizmi, preko katerih delujejo aktuatorji, so različni [11] in vključujejo na primer svetlobne, električne ali magnetne signale, ki se lahko točno in hitro spreminjajo in hkrati delujejo na daljavo. Za biomedicinsko uporabo so toplotni signali, kot je na primer gretje z UV-svetlobo, pogosto bolj varni, a so velikokrat tudi počasnejši in manj učinkoviti. Aktuatorji, ki delujejo na tekočino pod pritiskom, lahko proizvajajo velike sile in so lahko precej lahki, a običajno zahtevajo povezavo z zunanjo črpalko. Aktuatorji, ki jih poganjajo spremembe v kemijski sestavi, vlagi ali pH, morajo delovati v tekočini v natančno kontroliranem okolju, poleg tega pa je odzivni čas po navadi daljši [11].

Materiali

Pogonski mehanizem in vzbujevalni signal, preko katerega deluje aktuator, bistveno vpliva na primernost materiala za izdelavo mehkih robotov. Najbolj pogosto uporabljeni materiali za aktuatorje v mehkih robotih so polimeri, geli, tekočine, papir in ogljik [11].

Polimeri so sestavljeni iz zelo dolgih molekul, ki pa sestojijo iz ponavljajočih se manjših strukturnih enot – monomerov. Poznamo umetno sintetizirane polimere, to sta na primer silikonska guma in poliuretan, in naravne polimere, kar so na primer DNK in različni proteini. V mehki robotiki so pogosto uporabljeni polimeri iz tekočih kristalov, polimeri z oblikovnim spominom (*»shape-memory polymers«*) in dielektrični polimeri [11]. Princip delovanja dielektričnega elastomera je prikazan na sliki 5, kjer napetost na elektrodah povzroči mehansko napetost in posledično spremembo debeline elastomera [29].

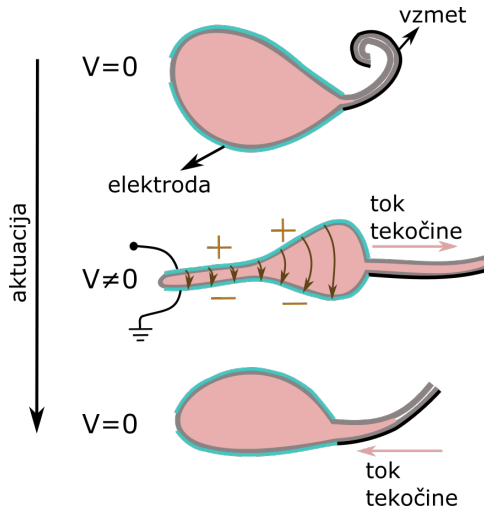
Aktuatorje, ki delujejo na osnovi tekočin, po navadi aktivira sprememba tlaka ali viskoznosti [11]. Izziv pri razvoju takih aktuatorjev je, da je tok tekočin lahko kompleksen in včasih ob stiku s površinami ali drugimi tekočinami pride do neželenega mešanja. Poleg tega so lastnosti mnogih tekočin močno pogojene z okoljskimi dejavniki. Eden od pristopov kontrole tekočine



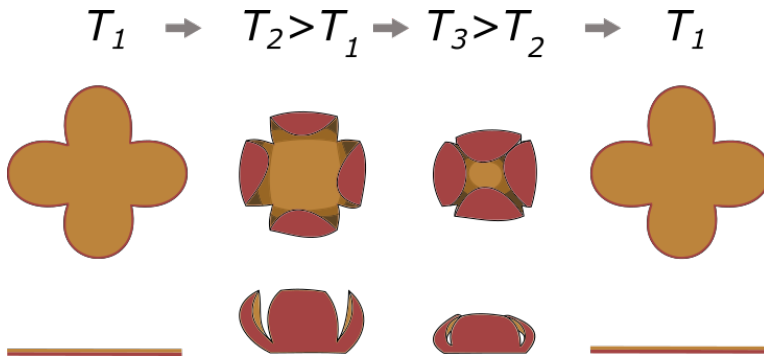
Slika 5. Princip delovanja aktuatorja iz dielektričnega elastomera. Napetost na elektrodah povzroči spremembo debeline elastomera, kar povzroči mehansko napetost v smeri širjenja elastomera.

je, da se površino tekočine prekrije s koloidnimi delci (hidrofilnimi, hidrofobnimi, ...), kar npr. lahko onemogoči stik s površinami in prepreči mešanje različnih tekočin [11]. Primer aktuatorja, ki deluje na osnovi tekočine, je prikazan na sliki 6. Znotraj polimernega ovoja, na katerega so naparjene elektrode, je dielektrična tekočina. Napetost na elektrodah povzroči stiskanje polimernega ovoja, kar tekočino potisne naprej in povzroči razteg vzmeti na koncu aktuatorja. Ko se napetost izključi, se vzmet spet skrči in tekočina steče nazaj [16].

Ogljikove nanocevke se pogosto vključijo v aktuatorje za mehke robote, čeprav imajo relativno visok elastični modul (> 1 TPa) [11]. Poleg nanocevk se v aktuatorje vključujejo tudi atomi ogljika in grafen, saj imajo vsi ti materiali visoko električno in toplotno prevodnost. Nanocevke so lahko narejene iz ene ali več plasti grafena, pri čemer je njihov premer tipičnih dimenzij ~ 1 nm, dolžina pa je lahko tudi milijonkrat večja. Lahko so prevodne ali polprevodne, odvisno od kota, pod katerim je zvita plast grafena. Čeprav je raztezek ogljikovih struktur, v primerjavi z drugimi aktuatorji v mehki robotiki, tipično manjši, pa jih ravno zaradi zanimivih električnih in toplotnih lastnosti velikokrat uporabljajo [11]. Na sliki 7 je prikazano delovanje aktuatorja v obliki rože, ki je narejen iz tanke plasti grafena. Z ustrezno obdelavo površine dosežejo, da se sredina plasti grafena drži površine. To strukturo postavijo v vodo in ob segrevanju vode se listi zložijo, sredina pa ostane na mestu. Ob ponovnem ohlajanju se listi raztegnejo v prvotno obliko [28].



Slika 6. Shema delovanja aktuatorja na osnovi dielektrične tekočine. Napetost na elektrodah povzroči stiskanje ovoja, kar tekočino potisne v lovko in vzmet se raztegne. Ko se napetost izključi, tekočina steče nazaj v ovoj in vzmet se spet zvije.

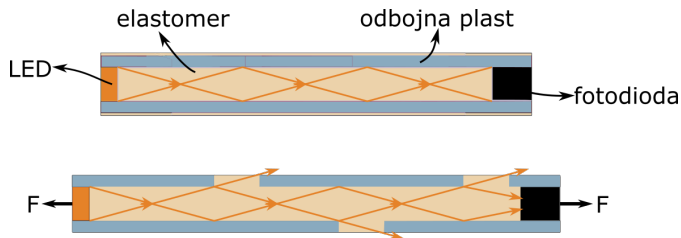


Slika 7. Prikaz delovanja aktuatorja iz grafena v obliki rože. Ob povečanju temperature T se listi zložijo, sredina plasti grafena pa ostane na mestu. Ob ponovnem ohlajanju se listi raztegnejo v prvotno obliko.

Krmiljenje mehkih robotov

Krmiljenje je ključen del delovanja vsakega robota, saj z njim določamo delo oziroma funkcije, ki jih robot lahko avtonomno ali kontrolirano opravlja. Gibanje mehkih robotov je pogosto težko predvideti ali meriti, zato je delovanje mehkih robotov pogosto omejeno na vodenje brez povratne zanke [6]. To pomeni, da robot nima povratne informacije in se giba avtonomno, tudi brez informacije o dogajanju v svoji okolici. Za vodenje s povratno zanko, pri katerem vodenje prilagajamo in stanje sistema primerjamo z referenco, pa moramo biti sposobni meriti gibanje robota [30]. Ponovno zaradi narave mehkih robotov, njihovega gibanja praviloma ne moremo meriti s tradicionalnimi senzorji (kot npr. piezoelementi, ...). Idealni senzorji v mehki robotiki bi bili gibljivi, lahki in ne bi omejevali gibanja samega robota.

Povsem mehki senzorji zato praviloma temeljijo na uporabi elastomerov, pri čemer na primer merijo upornost ali pa intenziteto prepuščene svetlobe. Primer takega mehkega senzorja je prikazan na sliki 8. Skozi elastomer prevlečen z odbojno plastjo, ki deluje kot valovni vodnik, potuje svetloba. Ko se elastomer zaradi napetosti raztegne, se v neelastični odbojni plasti pojavijo odprtine, zaradi česar del svetlobe uide iz valovoda in njena intenziteta se zmanjša [23]. Pogosta težava s takimi senzorji je, da je težko sklepati, kakšna deformacija je povzročila spremembo intenzitete.

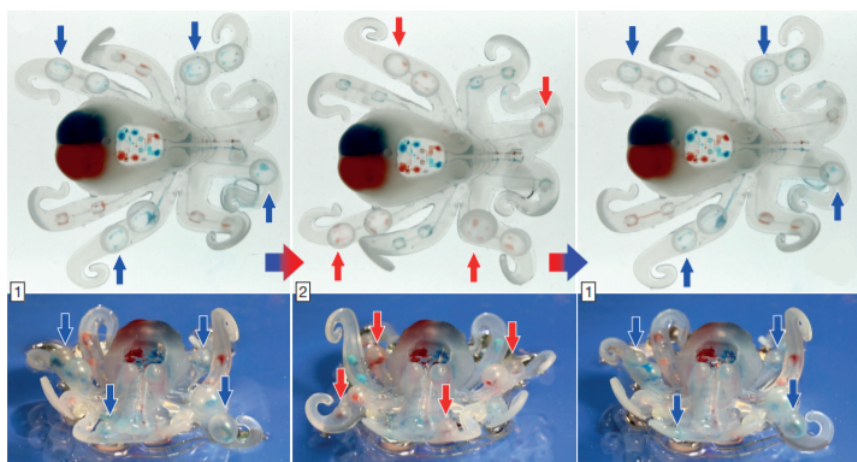


Slika 8. Princip delovanja mehkega optičnega senzorja. Svetloba potuje skozi elastomer prevlečen z odbojno plastjo. Ob raztežku elastomera zaradi sile F se v odbojni plasti pojavijo odprtine in del svetlobe uide, zaradi česar se intenziteta svetlobe na koncu valovnega vodnika zmanjša.

Pogosto se kot senzorje za krmiljenje mehkih robotov uporabljajo tudi dielektrični elastomeri, in sicer tako, da tanko plast elastomera vstavijo med dve mehki elektrodi, s čimer dobijo kondenzator. Ko se zaradi mehanske napetosti spreminja debelina elastomera, se s tem spreminja tudi kapacitivnost. Pogost izziv pri takih senzorjih predstavlja temperaturna odvisnost dielektrične konstante. Na primer pri spremembi temperature od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ v nekaterih polimerih lahko pride tudi do 30 % povečanja dielektrične konstante [6].

Prvi avtonomni mehki robot

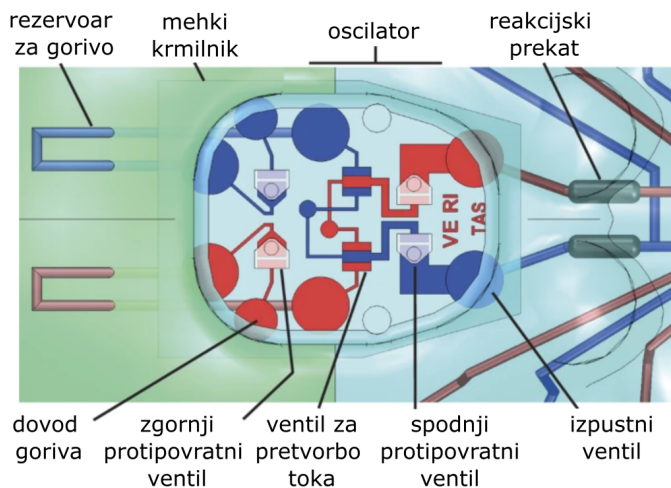
Področje mehke robotike je v relativno začetnih stopnjah razvoja, tako da velika večina razvitih mehkih robotov vključuje trde komponente, kar vodi do hibridnih sistemov. Za gibanje ponavadi potrebujejo zunanje napajanje in vodenje, pogosto prav tako v obliki togih sistemov. Ravno zato je napredek, ki ga je leta 2016 dosegla skupina na Univerzi Harvard, tako pomemben. Razvili so Octobota (glej sliko 9), prvega povsem mehkega avtonomnega robota, ki za delovanje ne potrebuje zunanjega napajanja ali vodenja. Octobot sicer nima velike uporabne vrednosti, saj zmore za zdaj le manjše premike svojega telesa.



Slika 9. Prvi avtonomni mehki robot Octobot in njegovo delovanje. Na osnovi mikrofluidnega logičnega vezja Octobot preklaplja med dvema načinoma aktuacije. 1) Najprej plin potuje v štiri izmed lovke (označene z modrimi puščicami) in povzroči njihov premik, nato pa preko ventila odteče v okolico. 2) Zatim plin steče v preostale štiri lovke (označene z rdečimi puščicami) in povzroči aktuacijo. Ta proces se ponavlja, dokler v rezervoarjih ne zmanjka goriva. Ponatisnjeno z dovoljenjem Macmillan Publishers Ltd: *Nature* (An integrated design and fabrication strategy for entirely soft, autonomous robots, Wehner, M., Truby, R., Fitzgerald, D. et al.), copyright 2016.

Octobot je povsem mehek pnevmatični robot z osmimi lovkami. Giblje se avtonomno, brez vpliva okolice. Njegovo telo je narejeno iz silikona, za izdelavo telesa so uporabili vlivanje v modele in 3D-tiskanje. Senzorjev robot nima, torej gre za vodenje brez povratne zanke, saj svojega gibanja ni zmožen prilagajati okolju. Napajanje poteka preko razpada monopropelanta, torej goriva, ki energijo sprošča preko eksotermnega kemijskega razpada ob stiku s katalizatorjem. Ob tem se sprosti plin, ki ga nato robot uporabi za aktuacijo. Napajanje vodi mikrofluidno logično vezje, ki je v grobem sestavljeno iz treh delov: rezervoarja za gorivo, oscilatorja, ki kontrolira do-

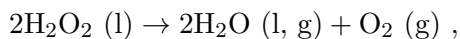
Mehka robotika



Slika 10. Shema mikrofluidnega krmilnika Octobota. Glavni trije deli so rezervoarja za gorivo, oscilator ter prekata, kjer poteče reakcija. Prilagojeno ponatisnjeno z dovoljenjem Macmillan Publishers Ltd: *Nature* (An integrated design and fabrication strategy for entirely soft, autonomous robots, Wehner, M., Truby, R., Fitzgerald, D. et al.), copyright 2016.

vajanje goriva, in prekata, kjer poteka reakcija. Njegova shema je prikazana na sliki 10. Pri izdelavi Octobota so poleg vezja s 3D tiskanjem v elastomer dodali tudi kanale z dvema vrstama črnila. Eno izmed črnil – ubežno črnilo – je namenjeno ustvarjanju kanalov, po katerih se ob delovanju pretaka plin. Izdelano je na osnovi vode in ga po tiskanju odstranijo z izhlapevanjem, da dobijo odprte kanale. Drugo črnilo pa vsebuje platino, ki deluje kot katalizator za gorivo.

Potek delovanja Octobota je prikazan na sliki 9. Za delovanje najprej v dva rezervoarja vbrizgajo 0,5 ml goriva (H_2O_2), od koder teče v oscilator, kjer sistem ventilov pretvori enotni tok goriva v izmenični tok. Medtem ko je tok iz enega kanala začasno prekinjen, gorivo iz drugega kanala teče v prekat, v katerega je bila že prej vbrizgana platina. Tam poteče reakcija razpada tekočega vodikovega peroksida v vodo in kisik



pri čemer nastaja torej plin kisik, zaradi česar se volumen goriva pri danem tlaku poveča za faktor 160-krat. Nastali plin nato teče v štiri lovke, ki se zaradi plina razširijo, kar povzroči premik. Nato se plin skozi ventil sprosti v okolico. Takrat se sprosti tok goriva iz drugega kanala in postopek se ponovi, le da tokrat plin napolni druge štiri lovke [25]. Ta proces se nato ponavlja, dokler ne zmanjka goriva, kar je za opisan sistem približno osem minut.

Kot omenjeno, Octobot za zdaj nima posebne uporabne vrednosti, saj nima senzorjev, ni zmožen interagirati z okolico ter zmore le manjše premike. Kljub temu pa je pomemben za nadaljnji razvoj mehke robotike, saj prikazuje možnost izdelave povsem mehkih robotov. Taki roboti bi zaradi mehкости in potencialne enostavnosti izdelave lahko v prihodnosti imeli pomembno vlogo v medicini in na nekaterih drugih področjih [5].

Zaključek

Razvoj področja mehke robotike se je začel šele nedavno, zaradi česar je za zdaj večina raziskav usmerjena v iskanje ustreznih materialov in njihovo implementacijo v robotske sisteme. Inherentne prednosti – sploh mehkost in dobra biokompatibilnost – nakazujejo nabor zanimivih možnih aplikacij od medicinskih pripomočkov do uporabe v vesolju [12]. NASA na primer razvija mehke robote, ki bi se uporabili pri raziskovanju Lune ali Marsa [17], skupina znanstvenikov v Švici pa razvija mikrorobote, velikosti le $10\ \mu\text{m}$, ki bi omogočali minimalno invazivne operacije [7]. Da pa bi povsem mehki roboti zares postali širše uporabni, je treba poiskati nove algoritme za nadziranje gibanja mehkih robotov, ki bodo upoštevali značilnosti materialov in njihovo dinamiko, poiskati hitrejša in cenejša metode izdelave ter zagotoviti enostavnost upravljanja mehkih robotov. Splošneje vsebine mehke robotike odpirajo nove vsebine na naboru znanstvenih področij od bioinženiringa in medicine do fizike materialov [14].

LITERATURA

- [1] R. Addinall, T. Ackermann in I. Kolaric, *Nanostructured Materials for Soft Robotics – Sensors and Actuators*, Soft Robotics: Transferring theory to application, 147–156 (2015), dostopno na https://doi.org/10.1007/978-3-662-44506-8_13, ogled 30. 5. 2022.
- [2] E. Anderson, W. Quinn in M. De Mont, *Hydrodynamics of locomotion in the squid *Loligo pealei**, Journal of Fluid Mechanics **436**, 249–266 (2001), dostopno na [10.1017/S0022112001004037](https://doi.org/10.1017/S0022112001004037), ogled 30. 5. 2022.
- [3] C. E. Brennen, *A review of added mass and fluid inertial forces*, Naval civil engineering laboratory, California, 1982.
- [4] K.J. Cho, J.S. Koh, S. Kim, W.S. Chu, Y. Hong in S.H. Ahn, *Review of Manufacturing Processes for Soft Biomimetic Robots*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing **10**, 171–181 (2009), dostopno na <https://doi.org/10.1007/s12541-009-0064-6>, ogled 30. 5. 2022.
- [5] N. Daly, *Octopus Inspires World's First Soft, Autonomous Robot*, National Geographic, maj 2017, dostopno na <https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/explore-octobot-soft-robot>, ogled 30. 5. 2022.

- [6] W. Felt, *Sensing Methods for Soft Robotics*, doktorsko delo, The University of Michigan, 2017.
- [7] S. Fusco, M. S. Sakar, S. Kennedy, C. Peters, R. Bottani, F. Starsich, A. Mao, G. A. Sotiropoulos, S. Pané, S. E. Pratsinis, D. Mooney in B. J. Nelson, *An integrated microrobotic platform for on-demand, targeted therapeutic interventions*, *Advanced Materials* **26**, 952–957 (2014), dostopno na <https://doi.org/10.1002/adma.201304098>, ogled 30. 5. 2022.
- [8] F. Giorgio-Serchi in G. Weymouth, *Drag cancellation by added-mass pumping*, *Journal of Fluid Mechanics* **798**, R3 (2016), dostopno na [10.1017/jfm.2016.353](https://doi.org/10.1017/jfm.2016.353), ogled 30. 5. 2022.
- [9] F. Giorgio-Serchi in G. D. Weymouth, *Underwater Soft Robotics, the Benefit of Body-Shape Variations in Aquatic Propulsion*, *Soft Robotics: Trends, Applications and Challenges, Biosystems & Biorobotics* **17**, 37–46 (2017), dostopno na https://doi.org/10.1007/978-3-319-46460-2_6, ogled 30. 5. 2022.
- [10] J. M. Gosline in R. E. Shadwick, *The role of elastic energy storage mechanisms in swimming: an analysis of mantle elasticity in escape jetting in the squid, *Loligo opalescens**, *Canadian Journal of Zoology* **61**(6), 1421–1431 (1983), dostopno na <https://doi.org/10.1139/z83-191>, ogled 30. 5. 2022.
- [11] L. Hines, K. Petersen, G. Z. Lum in M. Sitti, *Soft Actuators for Small-Scale Robotics*, *Advanced Materials* **29**, 1603483 (2017), dostopno na <https://doi.org/10.1002/adma.201603483>, ogled 30. 5. 2022.
- [12] F. Iida in C. Laschi, *Soft Robotics: Challenges and Perspectives*, *Procedia Computer Science* **7**, 99–102 (2011), dostopno na <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.12.030>, ogled 30. 5. 2022.
- [13] J. M. J. Journée in W. W. Massie, *Offshore Hydromechanics*, Delft University of Technology, Delft, Nizozemska (2001).
- [14] S. Kim, C. Laschi in B. Trimmer, *Soft robotics: a bioinspired evolution in robotics*, *Trends in Biotechnology* **31**, 287–294 (2013), dostopno na <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.03.002>, ogled 30. 5. 2022.
- [15] C. Laschi, F. Iida, J. Rossiter, M. Cianchetti in L. Margheri, *Introduction, Soft Robotics: Trends, Applications and Challenges*, *Biosystems & Biorobotics* **17**, 1–4 (2017), dostopno na https://doi.org/10.1007/978-3-319-46460-2_1, ogled 30. 5. 2022.
- [16] P.-W. Lin in C.-H. Liu, *Bio-Inspired Soft Proboscis Actuator Driven by Dielectric Elastomer Fluid Transducers*, *Polymers* **11**, 142 (2019), dostopno na <https://doi.org/10.3390/polym11010142>, ogled 30. 5. 2022.
- [17] J. Miley, *NASA Develops Soft Robots for Future Space Missions*, *Interesting Engineering*, 2019, dostopno na <https://interestingengineering.com/nasa-develops-soft-robots-for-future-space-missions>, ogled 30. 5. 2022.
- [18] S. G. Nurzaman, F. Iida, L. Margheri in C. Laschi, *Soft Robotics on the Move: Scientific Networks, Activities, and Future Challenges*, *Soft Robotics* **1**, 154–158 (2014), dostopno na <http://doi.org/10.1089/soro.2014.0012>, ogled 30. 5. 2022.

- [19] C. Pandolfi, *Foreword, Bio-inspiration for future space systems*, Acta Futura **6**, 7 (2013).
- [20] F. Schmitt, O. Piccin, L. Barbé in B. Bayle, *Soft Robots Manufacturing: A Review*, Frontiers in Robotics and AI **5**, 84 (2018), dostopno na <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00084>, ogled 30. 5. 2022.
- [21] B. Trimmer, *Soft Robots*, Current Biology **23**, R639–R641 (2013), dostopno na <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.070>., ogled 30. 5. 2022.
- [22] D. Trivedi, C. D. Rahn, W. M. Kierb in I. D. Walker, *Soft robotics: Biological inspiration, state of the art, and future research*, Applied Bionics and Biomechanics **5**, 99–117 (2008), dostopno na <https://doi.org/10.1080/11762320802557865>, ogled 30. 5. 2022.
- [23] C. To, T. L. Hellebrekers in Y. Park, *Highly Stretchable Optical Sensors for Pressure, Strain, and Curvature Measurement*, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 5898–5903 (2015), dostopno na <https://doi.org/10.1109/IROS.2015.7354215>, ogled 30. 5. 2022.
- [24] G. D. Weymouth, V. Subramaniam in M. S. Triantafyllou, *Ultra-fast escape maneuver of an octopus-inspired robot*, Bioinspiration & Biomimetics **10**, 016016 (2015), dostopno na <https://doi.org/10.1088/1748-3190/10/1/016016>, ogled 30. 5. 2022.
- [25] M. Wehner, R. L. Truby, D. J. Fitzgerald, B. Mosadegh, G. M. Whitesides, J. A. Lewis in R. J. Wood, *An integrated design and fabrication strategy for entirely soft, autonomous robots*, Nature **536**, 451–455 (2016), dostopno na <https://doi.org/10.1038/nature19100>, ogled 30. 5. 2022.
- [26] G. Weymouth in M. Triantafyllou, *Ultra-fast escape of a deformable jet-propelled body*, Journal of Fluid Mechanics **721**, 367–385 (2013), dostopno na [10.1017/jfm.2013.65](https://doi.org/10.1017/jfm.2013.65), ogled 30. 5. 2022.
- [27] S. Xie, M. Zhang in W. Meng, *Soft Robots for Healthcare Applications: Design, modelling, and control*, The Institution of Engineering and Technology, London (2017), dostopno na <https://doi.org/10.1049/PBHE014E>, ogled 30. 5. 2022.
- [28] W. Xu, Z. Qin, C.-T. Chen, H. R. Kwag, Q. Ma, A. Sarkar, M. J. Buehler in D. H. Gracias, *Ultrathin thermoresponsive self-folding 3D graphene*, Science Advances **3**, e1701084 (2017), dostopno na <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701084>, ogled 30. 5. 2022.
- [29] I. Yoo, S. Reitelshöfer, M. Landgraf in J. Franke, *Artificial Muscles, Made of Dielectric Elastomer Actuators - A Promising Solution for Inherently Compliant Future Robots*, Soft Robotics: Transferring theory to application, 33–41 (2015), dostopno na https://doi.org/10.1007/978-3-662-44506-8_4, ogled 30. 5. 2022.
- [30] B. Zupančič, *Avtomatsko vodenje sistemov*, Založba FE, Ljubljana, 2019, dostopno na: <http://msc.fe.uni-lj.si/Download/Zupancic/AVS/AVS.pdf>, ogled 30. 5. 2022.

Zahvala. Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju izr. prof. dr. Mihi Ravniku za vse popravke, nasvete in spodbudo pri pisanju članka. Lara Erzin

POGOVOR S PROFESORJEM ANTONOM SUHADOLCEM

Anton Suhadolc je bil rojen leta 1935 v družini šestih otrok mami, učiteljici Nataliji, rojeni Sartori, in očetu Antonu Suhadolcu, projektantu, gradbenemu inženirju in statiku ter dolgoletnemu sodelavcu Jožeta Plečnika. Profesorja Suhadolca so na današnji Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani spoznale številne generacije študentov kot šarmantnega predavatelja raznolikih predmetov. Večini se je v spomin zapisal kot izjemno priljubljen, razgledan, vedno dostopen in dobrovoljen Učitelj z veliko začetnico, s katerim si se lahko pogovoril o praktično vseh področjih matematike in življenja. Diplomiral je leta 1957, bil Humboldtov štipendist v Heidelbergu, gostoval v ZDA, bil je dekan Fakultete za matematiko in fiziko in se upokojil leta 1999. Profesor Suhadolc je poleg bogatega strokovnega dela kot učitelj in matematik poznan tudi kot izvrsten botanik ter zbiralec in poznavalec lesa.



Prof. Suhadolc, maturirali ste na bežigrasjski gimnaziji v začetku petdesetih let prejšnjega stoletja. Kakšna je bila Gimnazija Bežigrad takrat? Kakšni so vaši spomini na tiste čase?

Ja, maturiral sem leta 1953. Vseh osem let sem hodil na bežigrasjsko gimnazijo in imam nanjo lepe spomine. To je bila zelo dobra šola. Takrat smo imeli nekatere profesorje, ki bi danes gotovo lahko bili univerzitetni profesorji. Na primer profesor Kranjec¹ za zgodovino. Ali profesor za matematiko Molinaro², ki me je poučeval tri leta. Profesor Molinaro je bil zelo natančen in delu z mladimi iskreno predan ter tudi zahteven učitelj. Spomnim se, kako je obravnaval obseg kroga, katerega popolno razumevanje ni preprosto. Takrat sem začutil, da je to nekaj globokega, vsega pa nisem

¹Silvo Kranjec (1892–1975), na dunajski univerzi je študiral zgodovino in geografijo. Napisal je več knjig: Zgodovina Srbov, 1927; Pregled zgodovine Srbov, Hrvatov in Slovencev, 1925; in najbolj znana Kako smo se zedinili, 1928. Bil je tudi soavtor številnih šolskih učbenikov s področja geografije.

²Ivan (ali Janez) Molinaro (1903–1988), je diplomiral iz matematike in fizike na Univerzi v Ljubljani leta 1926. V letih 1931–1932 je s štipendijo francoske vlade študiral na pariški Sorboni.

razumel. Pozneje, za časa študija, sem dojel, da so bili v ozadju njegovih izpeljav obsega kroga dejansko *Dedekindovi rezi* oziroma abstraktna definicija π -ja. Kot učitelj pa je imel dober občutek, kaj je težko in tega nikoli ni spraševal. Matematiko pa je izjemno dobro razumel in nekako ni mogel, da ne bi povedal resnice, ter se obenem zavedal, kaj pomenijo različni nivoji razumevanja. S svojimi razlagami in težko razumljivimi resnicami je vabil više in više, ni pa z njimi obremenjeval. Že takrat so nekateri starši nego- dovali, da predava pretežke stvari in da ga dijaki ne razumejo. Odgovarjal je, da se izplača razlagati tudi stvari, ki jih razume le pet dijakov. Vem, da se danes starši pogosto pritožujejo, da je šola zahtevna, ampak veste, takrat je bilo zelo drugače. Takrat se ni nihče pritoževal. To je bil edini tak primer, ki se ga spomnim v osmih letih moje gimnazije. In tisto je bil zares visok nivo. Od gimnazijskih dijakov se je takrat res zelo veliko pri- čakovalo. Tudi samostojnosti. Večina staršev takrat ni vedela skoraj nič o šolanju svojih otrok, sploh pa se niso vmešavali v šolsko delo in so redko ali nikoli hodili v šolo. Moji starši niso šole nikoli obiskali. Ko sem, če se prav spomnim, po končanem šestem razredu prišel domov, sem očetu povedal, da sem dobil spričevalo. Pa me je vprašal, v kateri razred sem hodil. Od- govoril sem mu, da v šestem razredu gimnazije in na njegovo vprašanje, kako mi je šlo, sem dodal, da sem bil prav dober. Pripomnil je le, da je to še boljše, kot da bi bil odličen, in sva z najinimi šolskimi pogovori opravila za eno leto. Bila je pa skrb staršev in vzgoja za odgovornost precej drugačna, kot je danes. Namreč, če ne bi bil dober dijak, bi bil takrat moj oče gotovo ravnal zelo drugače. Nekoč, ko je imel moj brat Matija popravni izpit iz angleščine, mislim, da je bilo v peti gimnaziji, ga je oče takoj naslednji dan ob nastopu počitnic odpeljal v Šentvid h ključavničarju Briškemu, kjer je potem delal celo poletje. Komentar očeta je bil kratek: Če nisi za šolo, boš pa za *handwerk*³. Jeseni je mama s težavo očeta izprosila, da je bratu dovolil opravljanje popravnega izpita in nadaljevanje študija. Gimnazija je bila takrat na visokem nivoju v vseh pogledih. Spomnim se, ko sem bil v peti ali šesti gimnaziji, smo opazovali osmošolce. Najbrž se spomnite, na Gimnaziji Bežigrad so zelo velike avle in stopnišče in tam ob ograji so stali osmošolci in se pogovarjali kot možakarji, zrelo, odgovorno, zavzeto. Danes so to pamži⁴. Ta razlika je tako neverjetna, da človek nima besed, da bi jo opisal. Dobro se spomnim, med osmošolci, ki sem jih takrat opazoval in občudoval, je bil tudi Viljem Rupnik⁵ in seveda tudi mnogi drugi. Tudi moja sestra. Joj, kako so bili takrat mladi ljudje zreli. Gotovo je bilo to tudi zaradi težkega življenja in nedavno minule vojne.

³Handwerk: (nemško) ročno delo, obrt.

⁴Pamž, SSKJ: slabšalno otrok, zlasti nevzgojen, razvujen.

⁵Viljem Rupnik (1933), aplikativni znanstvenik, diplomiral matematiko in ekonomijo, doktoriral iz matematike in ekonomije, profesor na Ekonomski fakulteti Univerze v Lju- bljani. Kot Fordov štipendist je bil tudi na izpopolnjevanju v ZDA.

Ni mogoče pri tej razliki pomembna tudi vaša perspektiva? Takrat ste osmošolce opazovali kot zrelejše, starejše od vas. Danes so ljudje teh let za vas otroci.

Ja, nekoliko mogoče, a gre vseeno za povsem drug odnos, za druge vrednote. Takrat osmošolci niso vpili, se obnašali kot otročaji, se ceneno prerekali. Umirjeno in preudarno so se pogovarjali. Moževali so.

Po gimnaziji ste študirali matematiko in že leta 1957 diplomirali?

Ja, diplomiral sem leta 1957. Star sem bil 22 let. Pravzaprav sva diplomirala skupaj z Bohtetom⁶ v novembru 1957. Diplomiral bi še prej, če ne bi čakal Bohteta, ki je moral opraviti še izpit iz Fizike 2 pri profesorju Moljku⁷. Moljka je bilo zelo težko dobiti in si ga včasih čakal tudi več mesecev. Diplomiral sem »šele« novembra tudi zato, ker je Plemelj⁸ začel študijsko leto šele po »vseh svetih«. Sicer sva z Bohtetom hitro diplomirala. Povprečno je takrat študij trajal okrog šest let.

Kdo je bil vaš mentor?

Veste, takrat ni bilo diplomskega dela. Obstajala je le pedagoška smer in diplomski izpit. To sta bila pravzaprav dva diplomska izpita. Diplomski izpit A in diplomski izpit B. Pri diplomskem izpitu B si dobil izpitne naloge, ki si jih reševal štiri ure in nato moral še ustno zagovarjati tri od šestih predmetov, ki so bili pri študiju matematike glavni. Od teh šestih predmetov je tri predaval Plemelj in tri Vidav⁹. B-diploma je veljala za bolj uporabno, A pa za bolj teoretično. Na primer *Diferencialne enačbe* so bile pri B-diplomi, medtem ko sta bila *Algebra s teorijo števil* ali *Funkcijska teorija* pri A-diplomi. Če si opravil izpit B, si se lahko prijavil še k izpitu A. Na ustnem zagovoru sta te Plemelj in Vidav spraševala vsak po eno uro. Vidav običajno več kot eno uro. Ta sistem diplomskih izpitov je veljal vse do uvedbe smeri *Tehnična matematika*. Prva diplomanta na tej novi smeri sta bila Jože Vrabec¹⁰ in Marija Vencelj¹¹. Za njima pa že Egon Zakrajšek¹² in še nekateri drugi.

⁶Zvonimir Bohte (1935), slovenski matematik, učitelj na FMF UL.

⁷Anton Moljk (1916–1998), profesor fizike na UL od leta 1946. Od začetka je bil ugleden sodelavec današnjega Instituta Jožef Stefan. Opravljal je tudi pomembne funkcije v znanstvenih ustanovah Jugoslavije.

⁸Josip Plemelj (1873–1967), slovenski matematik, prvi rektor (1919/1920) Univerze v Ljubljani. Doktoriral je iz matematike na Dunaju leta 1898, bil je profesor v Černovicah (današnja Ukrajina) v letih 1907–1917, od ustanovitve SAZU leta 1938 je bil njen redni član in tudi dopisni član hrvaške, srbske in bavarske akademije znanosti.

⁹Ivan Vidav (1918–2015), slovenski matematik, član SAZU, glej intervju Obzornik mat. fiz. 54 (2007) 6, str. 202–226.

¹⁰Jože Vrabec (1940), slovenski matematik, učitelj na FMF UL.

¹¹Marija Vencelj (1941–2020), slovenska matematičarka, višja univerzitetna predavateljica na FMF UL.

¹²Egon Zakrajšek (1941–2002), slovenski matematik, pionir računalništva, učitelj na FMF UL.

Takoj po diplomi ste se zaposlili na takratnem Fizikalnem inštitutu Jožef Stefan¹³?

Čprav sva se na povabilo Vidava in Plemlja z Bohtetom takoj po diplomi prijavila za asistenta, sem jaz postal asistent šele dve leti in pol pozneje. Po diplomi sem se tako novembra 1957 zaposlil na Fizikalnem inštitutu Jožef Stefan. Marca naslednje leto sem moral k vojakom. In tudi po vrnitvi iz vojske sem se spet vrnil na Institut Jožef Stefan. Navkljub velikemu pomanjkanju asistentov ter učiteljev namreč moja vloga za asistenta še ni bila rešena. Takrat je bil na matematiki edini asistent Križanič¹⁴. Pa še Križanič ni bil v najboljših odnosih s Plemljem in Vidavom. Po besedah Križaniča, s katerim sva bila sicer vseskozi v dobrih odnosih, ga je Plemelj gledal »postrani« vse od študentskih let, ko je pri uri geometrije pred tablo reševal konstrukcijsko nalogo in »naredil neko neumnost«. Križaniča naj bi bili vzeli za asistenta, ker so nujno potrebovali asistenta za matematiko na drugih, bolj tehničnih smereh. Križanič takrat na matematiki ni imel nobenih vaj. Vse vaje sta imela Vidav in Plemelj sama. Križanič je kmalu po diplomi šel k Plemlju in ga vprašal, kaj naj bi študiral. Plemelj je bil takrat v eni od dveh sob v univerzitetni stavbi na današnjem Kongresnem trgu, ki sta pripadali matematiki in sta bili obenem knjižnica. Plemelj se je ob Križaničevem vprašanju ozrl naokrog in pokazal na knjige ter Križaniču odgovoril: »Glejte, koliko je knjig! Študirate lahko, karkoli se vam zahoče.« Križanič je to Plemlju zameril, misleč, da mu Plemelj noče pomagati. To je bila Križaničeva napaka, ker se ni zavedal, da mu Plemelj ni imel kaj svetovati. Plemelj je bil takrat star blizu 80 let in že 30 let ni bil več v stiku z raziskovalno matematiko. Dobro se spomnim, kako mi je Plemelj sam enkrat z resigniranostjo govoril o nekem matematičnem kongresu na Dunaju. Predavali naj bi bili o nekakšni topologiji, ki je bila njemu in nekaterim njegovim starejšim kolegom španska vas, pa so ra je sedeli v foajeju in pili kavo. Plemelj takrat ni več sledil moderni matematiki oziroma ga ta ni več zanimala. Križanič je tudi pozneje večkrat kake stvari narobe razumel. Na primer takrat, ko smo bili matematiki, kolikor se spomnim, večinsko kritični do njegovih gimnazijskih učbenikov za matematiko, je on to razumel kot zaroto in ni nikogar poslušal. Takrat je Piko¹⁵ tudi po

¹³Institut Jožef Stefan (IJS) je bil ustanovljen kot Fizikalni inštitut pri Slovenski akademiji znanosti in umetnosti leta 1946. Leta 1959 se je preimenoval v Nuklearni inštitut Jožef Stefan in v veliki meri ga je financirala Zvezna komisija za nuklearno energijo. Leta 1969 se je IJS usmeril tudi na »nejedrsko« dejavnosti in se preimenoval v Institut Jožef Stefan.

¹⁴France Križanič (1928–2002), slovenski matematik, učitelj na FMF UL, pisec poljudnih knjig, srednješolskih in visokošolskih učbenikov iz matematike.

¹⁵Piko – med kolegi prijateljski vzdevek profesorja Josipa Globevnika (1945), slovenskega matematika in člana SAZU.

posvetovanju z drugimi v Obzorniku objavil sestavek¹⁶, s katerim je izrazil kritičnost in rezerviranost do teh novih učbenikov. Sestavek je bil napisan argumentirano in kolikor je bilo mogoče strpno. Križanič se je počutil zelo napadenega in kar sam določil skupino kolegov, ki mislim, da s tem resnično niso imeli nič, in ki naj bi bili ›ubogega Pikota našuntali‹, da je napisal ta sestavek.

Pri kom je potem takrat Križanič imel podporo za izdajo tistih učbenikov?

Križanič je bil najbrž na neki način pri oblasteh dobro zapisan. Sicer ni bil član partije. Bil pa je do leta 1948 član *Komsomola*¹⁷. Sam mi je pripovedoval, kako so ga leta 1948 ob *Informbiroju* kot *komsomolca* poklicali na sestanek. Bil pa je Križanič vedno svojeglav, provokativen in je mislil s svojo glavo. Na sestanku se je uprl in rekel, da so še včeraj morali vpiti ›živel Stalin‹, danes naj bi vpili ›dol s Stalinom‹ in kaj da pa pride jutri? Takoj so ga izključili iz *Komsomola* in kot mi je pripovedoval pozneje, je bil vesel, da ga niso zaprli. Križanič tako ni imel neposrednih stikov z oblastjo, je imel pa določene poglede, ki so bili oblasti blizu in je najbrž ohranil podporo marsikje. Čeprav se je Plemelj Križaniču zameril, je ta vseeno čez nekaj časa spet šel k njemu in ga vprašal, kaj bi mu svetoval, da študira za doktorat. Takrat mu je Plemelj svetoval, da bi napisal kaj o Juriju Vegi¹⁸, o Močniku¹⁹ in o Hočevarju²⁰ in da bi to lahko bil doktorat. To mu je Križanič spet zelo zameril, češ da to sploh ni matematika, da je to kvečjemu zgodovina matematike. Križanič je predlog sprejel zelo osebno, kot žalitev in kot da ga Plemelj šteje za nesposobnega za matematiko. Križanič mi je to osebno pripovedoval in tudi o tem, kako je potem razmeroma samostojno in da bi sebi in Plemlju dokazal, da je matematično še kako sposoben, začel študij *du Bois-Reymondove leme* iz variacijskega računa in jo tudi dokazal v okvirih *Banachovega prostora*. Pri tem mu je sicer pozneje pomagal Vidav, ki je bil Križaniču tudi formalni mentor²¹. Za to nimam

¹⁶Josip Globevnik, Nekaj misli ob novem učbeniku matematike za prvi razred srednjih šol, *Obzornik mat. fiz.* **28** (1981) 3.

¹⁷*Komsomol* – okrajšava in zloženka iz ruskega naziva **K**ommunističeskij **s**ojuz **m**olodeži (Komunistična mladinska organizacija).

¹⁸Jurij Vega (1754–1802), slovenski matematik, fizik, geodet, meteorolog, plemič in topniški častnik.

¹⁹Franc Močnik (1814–1892), slovenski matematik in pedagog. Poučeval je na akademiji v Lvovu (današnja Ukrajina) in na univerzi v Olomoucu (današnja Češka). Bil je tudi šolski nadzornik za Štajersko. Pisec matematičnih učbenikov, ki so v različnih jezikih izšli v okoli 1200 izdajah.

²⁰Franc Hočevar (1853–1919), slovenski matematik. Doktoriral je na dunajski univerzi pod mentorstvom Boltzmanna. Poučeval je na avstrijskih visokih šolah in na gimnaziji v Innsbrucku. Pisec matematičnih učbenikov, ki so v različnih jezikih izšli v okoli 200 izdajah.

²¹Križanič je doktoriral leta 1955 pod mentorstvom Vidava.

dokazov, a moj občutek je, da je Križanič s svojimi vprašanji Vidava vsaj v začetku nekoliko porinil v študij *Banachovih prostorov* in da je Vidav šele tedaj začel študij *funkcionalne analize* ter potem napisal s tega področja nekaj zelo dobrih člankov. Križanič je bil zelo poseben in samosvoj človek. Že pred doktoratom je imel Križanič svoj neuradni skoraj privatni seminar, na katerega sva hodila midva z Bohtetom in tu in tam še kdo; na primer Ribarič²², pa nekateri iz Fakultete za elektrotehniko, tudi Železnikar²³ je kdaj prišel. Tu je Križanič predaval *funkcionalno analizo* po nekih romunskih skriptah, pozneje pa po neki ruski knjigi. Vsaj na neki način je bil to začetek *funkcionalne analize* v Ljubljani. Kot rečeno, Plemelj se že zelo dolgo ni več ukvarjal z matematiko, čeprav so ga zaradi njegovih sposobnosti številni kovali v zvezde še dolgo potem, ko so ga spoznali kot matematičnega genija. Znano je na primer, kako je okrog leta 1930 njegov bivši kolega in osebni prijatelj Radaković²⁴, s katerim sta skupaj službovala v Černovicah, kot dekan Univerze v Gradcu povabil Plemelja, da bi prevzel predstojništvo matematičnega oddelka. Našel sem osnutek pisma, ki ga je Plemelj v odgovor pisal Radakoviću. V arhivu²⁵ je kakih 30 osnutkov pisem, originalna pisma je seveda odposlal. V arhivu je tudi okrog 2000 originalnih pisem, ki jih je Plemelj dobil. V omenjenem osnutku pisma Plemelj piše Radakoviću nekako takole: »*Veš, še nikoli mi ni bilo tako težko napisati pisma, kot mi je napisati tega. Namreč, že zelo dolgo se ne ukvarjam več z matematiko, ampak zgolj s poučevanjem in se bojim, da ne bi bil kos nalogi, ki bi se tam od mene pričakovala.*« Tudi drugi stari Plemljevi kolegi in občudovalci, na primer Faber²⁶, so Plemelju pisali, da zakaj »gnije v nekem zabačenem selu Laibach«, ko bi mu bilo mesto na Dunaju ali v Berlinu. Plemelju je bilo zaradi tega očitno težko, saj je bil vedno znova deležen komplimentov velikih matematikov na uglednih mestih. Znano je priporočilno pismo, ki ga je Plemelj pisal svojemu prijatelju Hermannu Weylu²⁷ na Princeton, in sicer za sprejem fizika Kuščerja²⁸ na študijski obisk na *Institute for Advanced Study*. Pravzaprav je zanimiva cela korespondenca med njima. Weyl

²²Marjan Ribarič (1932), matematik in fizik, doktorat 1959, dolgoletni vodja oddelka za uporabno matematiko na IJS.

²³Anton Železnikar (1928), profesor na Fakulteti za elektrotehniko, strokovnjak za računalništvo in informatiko.

²⁴Michael Radaković (1866–1934), avstrijski fizik, služboval na univerzi v Černovicah v letih 1906–1915, od 1915 do svoje smrti pa na Univerzi v Gradcu, kjer je bil v letih 1924–25 dekan. Po Radakovićevi smrti je njegovo mesto v Gradcu prevzel Erwin Schrödinger (1887–1961).

²⁵Arhiv RS pod oznako SI AS 2012, Plemelj Josip.

²⁶Georg Faber (1877–1966), nemški matematik.

²⁷Hermann Weyl (1885–1955), nemški matematik in teoretični fizik velikega kalibra, pomemben član *Institute for Advanced Study*, Princeton.

²⁸Ivan Kuščer (1918–2000), slovenski fizik, zaslužni profesor UL, na *Institute for Advanced Study*, Princeton 1952–1953.

je namreč Plemlju odgovoril skrajno spoštljivo in oživljajoč spomine in občudovanje na Plemljevo ostrino uma. Plemelj pa mu je nazaj odgovoril v resigniranem tonu, da tudi on ohranja lepe spomine na skupne čase, da pa je on na žalost v nasprotju z Weylom, ki se je od takrat le dvigal, od takrat le nazadoval. V pisanju se čuti vidno prizadet ton, ki kot da priznava lastni propad. Plemlju je ogromno pomenilo odkritje Vidava, ki se je zgodilo precej prej, že v času pred in ob začetku druge vojne, ko se Plemelj ni več aktivno ukvarjal z matematiko. Vidav je namreč takrat hitro, briljantno in praktično povsem samostojno doktoriral. S tem je Plemelj dobil občutek, da njegova žrtev in trud, ko je zapustil matematiko in ›šel v zabačeno selo Laibach‹ ter se posvetil poučevanju, nista bila zaman. S tem, ko je našel vrednega in sposobnega naslednika, se je namreč Plemelj čutil izpolnjenega. V tem smislu je bil Vidav Plemljeva rešitev.

V letih 1961–1963 ste bili v Heidelbergu kot Humboldtov²⁹ štipendist?

Ja, takrat sem gotovo tudi zaradi priporočila, ki mi ga je napisal Plemelj, dobil štipendijo Humboldtove fundacije. Tako sem prišel v Heidelberg k profesorju Gottfriedu Kötheju³⁰, ki je bil moj formalni mentor. Bil pa je zelo zaposlen in sem komaj prišel do njega, saj je bil aktiven vsepovsod, pisal je knjigo in bil je rektor. Sicer je bil zelo ljubezniv gospod. Ker je bil Köthe tako zaposlen, so mi svetovali, naj se raje obrnem na mlajšega Heinza Gün-terja Tillmanna³¹. Takrat sem v Heidelbergu intenzivno študiral področja matematike, o katerih sem v Ljubljani komajda kaj slišal. Na primer med študijem v Ljubljani se nismo naučili ničesar o ›matrikah‹ ali ›linearnih prostorih‹. Linearne algebre v našem takratnem predmetniku ni bilo. Posredno

²⁹Humboldtove štipendije podeljuje Alexander von Humboldtova fundacija, ki jo financira Zvezna republika Nemčija. Fundacija je bila prvotno ustanovljena po smrti Friedricha Wilhelma Heinricha Alexandra von Humboldta (1769–1859), da bi nadaljevali Humboldtovo radodarno podpiranje mladih znanstvenikov. Fundacija je bankrotirala v času nemške hiperinflacije v 20. letih prejšnjega stoletja in ponovno v 2. svetovni vojni. Fundacija je oživila Zvezna republika Nemčija po drugi svetovni vojni in njene štipendije tako na področju naravoslovja kot humanistike spadajo med najprestižnejše v Nemčiji. Med bivšimi Humboldtovimi štipendisti so znanstveniki iz vsega sveta. Med njimi je tudi 50 Nobelovih nagrajencev. Alexander von Humboldt je bil nemški vsestranski znanstvenik in raziskovalec, ki si je za časa življenja pridobil izjemen ugled. V svojem času je veljal za enega najslavnejših Evropejcev. Bil je član znanstvenih združenj in akademij po vsem svetu.

³⁰Gottfried Köthe (1905–1989), avstrijski matematik, ki je začel s študijem kemije leta 1923 na Univerzi v Gradcu in se po prvem letu preusmeril na matematiko, ter že leta 1927 doktoriral. Deloval je predvsem na področjih algebre in funkcionalne analize. O njegovi matematični kakovosti nekaј pove dejstvo, da je bil vabljen predavatelj na ICM (Mednarodni kongres matematikov) leta 1928 v Bolonji, 1932 v Zürichu in 1936 v Oslu. Bil je tudi direktor Instituta za aplikativno matematiko na Univerzi v Heidelbergu in njen rektor v letih 1960–1961.

³¹Heinz Günter Tillmann (1924–2017), nemški matematik.

smo za matriko slišali pri determinantah. Tam je bila omenjena kot »shema števil«. V Heidelbergu sem se tako sam naučil veliko linearne algebre, Fourierovo analizo, Laplaceovo transformacijo, linearne topološke prostore. O splošni topologiji nisem prej slišal niti besede. O teoriji mere je Vidav pri nekem predmetu predaval nekaj ur in tudi to sem v Heidelbergu sam celovito preštudiral. Veliko sem se naučil tudi ob čitanju korektur Köthejeve knjige. Naučil sem se tudi teorijo distribucij, kar je bilo ožje področje dela Tillmanna, ki mi je predlagal, da bi poskusil dokazati zanimivo posplošitev Fourier-Laplaceove transformacije brez zapletenih pogojev pri klasični Fourier-Laplaceovi transformaciji. Šlo je za zapleteno razširitev prostora L^2 , v katerem je bil L^2 gost v obstoječi šibki topologiji in za katere razumevanje in konstrukcijo sem moral dobro preštudirati cela področja matematike, ki so mi bila prej povsem neznana. Kar dobro sem napredoval in Tillmann mi je veliko pomagal. Potem je pa šel v Ameriko in sem ostal sam. Leta 1963 sem se vrnil v Ljubljano z nekako na pol dokončanim delom. V nadaljevanju mi je z nasveti pomagal Vidav in še dve leti je trajalo, da sem dokončal disertacijo z naslovom *Posplošitev Fourier-Laplaceove transformacije* in leta 1965 doktoriral pod uradnim mentorstvom Vidava ter postal docent. Glede izkušnje bivanja v Nemčiji moram povedati še, da je bilo takrat vzdušje na univerzi zelo prijetno in da ni bilo nikjer čutiti napetosti ali celo sovraštva, ki je takrat zaradi vojne še vladalo v politiki med Jugoslavijo in Nemčijo. Mogoče je vredno posebej izpostaviti pozornost in prijaznost profesorja Kötheja, ki je bil moj uradni mentor in je takrat na univerzi opravljal najodgovornejšo funkcijo. Še več kot dvajset let pozneje, ko je profesor Köthe praznoval svojo 80-letnico, je nanoslo, da sem bil na obisku pri profesorju Veseliću³² in sva se skupaj udeležila Köthejevega praznovanja. Takrat sem Kötheja po dobrih dvajsetih letih prvič videl, a me je takoj prepoznal in prijazno nagovoril s Herr Suhadolc. Tudi prej mi je vsako leto pisal za novo leto.

Dobro desetletje pozneje ste gostovali tudi na University of Wisconsin v Madisonu in na University of Florida v Tallahasseeju v ZDA ter pozneje ponovno za krajši čas večkrat v Hagnu v Nemčiji. Kako se spominjate vaših obiskov v Združenih državah Amerike?

Ja, na University of Wisconsin v Madisonu sem bil s Fulbrightovo štipendijo. To je ogromna univerza z zelo močnim oddelkom za matematiko. Na Floridi sem bil pa na povsem drugačen način. Moja žena je takrat dobila Fulbrightovo štipendijo za študijski obisk na biokemijskem inštitutu na University of Florida v Tallahasseeju na Floridi in v istem času je neki profesor matematike iz iste univerze želel priti v Ljubljano, kjer bi sodeloval

³²Krešimir Veselić (1940), hrvaški matematik, dopisni član Hrvaške akademije znanosti, Humboldtov štipendist 1972, zaslužni profesor Univerze v Hagnu.

s profesorjem Vrabcem. Ker ni imel možnosti študijskega dopusta, je iskal zamenjavo in tako sem jaz namesto njega takrat poučeval na University of Florida. Stanovali smo v njegovi hiši, on pa je bival v mojem stanovanju na Rimski cesti v Ljubljani. University of Florida v Tallahasseeju je bila v primerjavi z Univerzo v Madisonu zelo majhna. Ljudje so bili pa tudi tam zelo prijazni. Spomnim se takratnega predstojnika, pisal se je McArthur³³, med vojno je bil pri ameriškem letalstvu in je metal bombe na Nemčijo ter o tem napisal celo knjigo³⁴. Bil je sicer zelo prijazna očetovska figura in angažiran pripadnik ene od večjih metodističnih cerkva. Tam je včasih tudi vodil pridige. Enkrat nas je povabil tudi k njihovemu cerkvenemu obredu in drugič je pripravil privatno večerjo, kamor nas je povabil, če se prav spomnim, tri tujce s soprogi. Dobro se spomnim, kako je po večerji vzel ključ, odklenil stekleno vitrino, iz nje vzel steklenico vina, vsakemu natočil pol kozarca, steklenico pospravil in kredenco nazaj zaklenil. To le kaže, kako dosledni, a hkrati spoštljivi in prijazni ljudje so to bili. Tudi na predstojnika v Madisonu, to je bil John Noel, češki Jud, imam izjemno prijetne spomine. V Madisonu sem bil celo leto in dobro se spomnim, kako mi je bilo po pol leta nekoliko dolgčas in sem si zaželel, da bi učil. Johnu sem to povedal, pa mi je rekel, da mi poučevati pa res ni treba, saj da imam štipendijo. Razložil sem mu, da bi to rad počel zato, da bi izkusil poučevanje v Ameriki in da za to ne bi pričakoval nobenega plačila. To je razumel in mi hkrati razložil, da v Ameriki delo zastoj ni mogoče. Potem sva se dogovorila, da sem neuradno namesto njega poučeval neki preprosti tečaj iz diferencialnih enačb, on mi je pa tudi neuradno in simbolično iz žepa dal mislim da okrog 300 dolarjev. Sicer se pa spomnim, da sem v Ameriki že takrat izkusil »varovanje osebnih podatkov«, ki je čez nekaj desetletij prišlo tudi k nam. V Ameriki je bilo namreč že takrat nedopustno, da bi študentje prihajali k tabli, saj bi se tako potencialno javno razkrilo njihovo neznanje. In rezultate izpitov je bilo treba v Ameriki že takrat objavljati brez imen in samo z »vpisnimi številkami«. V primerjavi s študijem danes pri nas pa očitno iz Amerike nismo uvozili vsega. Spomnim se namreč, da je bil zaključni izpit na zadnji dan pouka in kdor je izpit naredil, je opravil, kdor pa ne, je lahko prihodnji semester, če je za predmet ponovno plačal, poskusil še enkrat. Spomnim se tudi, da sem s študenti ob koncu semestra govoril in so me čudno gledali, ko sem komentiral, da je prišel čas za njihove počitnice. Veliko jih je namreč poleti intenzivno delalo, da so zaslužili za šolnino za naslednji semester. Pri nas je sedaj čisto drugače. Vsak študent pričakuje, da mu že z rojstvom pri-

³³Charles Wilson McArthur (1921–2001), je med drugo svetovno vojno kot član posadke ameriškega bombnika sodeloval pri 35 bombnih poletih nad Nemčijo. Doktoriral je s področja algebre leta 1954.

³⁴Charles W. McArthur: *Operations Analysis in the United States Army Eighth Air Force in World War II*, 349 st., Providence, American Mathematical Society, 1990. Vsebine knjige uvrščajo v začetke sodobnega širšega področja operacijskih raziskav.

pada zastoj šolanje, dva tedna smučanja pozimi in trije tedni morja poleti. Vse to se šteje kot državljanska pravica, v resnici pa gre za škodljivo razvajanost, ki je v Ameriki nikoli niso poznali. Seveda je življenje v nekem smislu tam bolj kruto, a hkrati tudi bolj pravično. Nobena zavarovalnina, nobena pokojnina, noben privilegij ti tam ne pripada brezpogojno. Pri vsem moraš participirati z lastnim delom in trudom in prepogosto škodljive potuhe, kot jo poznamo pri nas, v Ameriki ni. To seveda naredi sistem bolj krut, a hkrati tudi veliko bolj učinkovit. Spomnim se tudi vprašalnikov, ki smo jih v Ameriki že takrat ob koncu semestra delili študentom, in študentskih odgovorov. V odgovorih je bila skorajda absolutna korelacija med odgovori študentov, ki so napisali, da pričakujejo končno oceno A ali B in hkrati, da sem zelo dobro predaval, in po drugi strani med tistimi, ki so napisali, da pričakujejo D ali F in hkrati, da sem predaval slabo. Tega se še sedaj dobro spomnim in mislim, da veliko pove o tem, kaj podobne ankete študentov sploh povedo. Od mojega bivanja v Ameriki se tudi dobro spomnim, da ko sem bil v Madisonu, je bil tam tudi profesor Vrabec. Hodil je na podiplomska predavanja k profesorju Bingu³⁵ in eden izmed takrat tudi podiplomskih študentov pri profesorju Bingu mi je pripovedoval, kako so bili prav jezni na Vrabca, ker je znal odgovoriti na vsako Bingovo vprašanje in so se vsi drugi počutili strokovno ponižane. Vrabec je bil res izjemno sposoben in dober.

Leta 1974 sta skupaj s prof. Pahorjem³⁶ prejela Kidričevo nagrado (predhodnico današnje Zoisove nagrade) za rezultate s področja »študija Boltzmanove enačbe«. Številni se vas spomnimo kot šarmantnega profesorja, ki je predaval predmete iz mnogoterih klasičnih matematičnih področij. Redki pa vedo, da ste bili med prvimi, ki ste se ukvarjali tudi z računalniki. Skupaj z Egonom Zakrajškom, Jožetom Vrabcem, Marijo Vencelj³⁷, Zvonimirjem Bohtetom in Janezom Lesjakom ste bili med prvimi, ki ste se študijsko ukvarjali z računalniki v Sloveniji in izdelovali programe za prvi slovenski računalnik Zuse Z23³⁸. Vaši spomini in asociacije po skoraj 60 letih razvoja računalnikov?

³⁵R. H. Bing (1914–1986), ameriški matematik, član American Academy of Arts and Sciences.

³⁶Sergej Pahor (1930–2006), slovenski fizik, učitelj na FMF UL.

³⁷Marija Vencelj, Jože Vrabec in Egon Zakrajšek so leta 1964 prejeli Prešernovo nagrado za raziskovalno nalogo z naslovom »Prispevek k zbirki osnovnih podprogramov za elektronski računalnik ZUSE Z23«. Marija Vencelj, Jože Vrabec, Egon Zakrajšek Zvonimir Bohte, Janez Lesjak in Anton Suhadolc pa so sodelovali pri raziskovalnih študijah na IMFM z naslovi »Študij numeričnih metod in izdelava osnovnih programov za računalnik Z-23« (leta 1964) in »Numerično reševanje Fredholmovih integralnih enačb na računalniku Z23« (leta 1968).

³⁸15. novembra 1962 je na IMFM na Lepem potu v Ljubljani začel delovati prvi pravi računalnik v Sloveniji, Zuse Z23. IMFM (Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko) je bil ustanovljen leta 1960.

Prvič sem se z računalništvom srečal na študiju v Heidelbergu, kjer sem obiskoval tečaj programiranja v Fortranu. Takrat sem za vajo napisal program za numerično reševanje diferencialne enačbe. O numerični matematiki takrat v Ljubljani ni nihče nič vedel. Bohte je bil eno leto na Danskem in se je potem začel intenzivno ukvarjati z numerično matematiko. Enkrat je na Lepi pot, kjer je bil računalnik Zuse Z23, prišel Vadnal³⁹ in razložil »neki linearni problem«, katerega rešitev bi rad izračunal. Šlo je za danes klasičen in uporaben problem »linearnega programiranja« pri optimizaciji krmil za živino, a takrat o tem nismo vedeli nič. Zakopal sem se v knjižnico in po neki ruski in neki angleški knjigi spoznal in preštudiral »metodo simpleksov«. Potem sem to predstavil na seminarju, ki smo ga imeli prav tako na Lepem potu. Po predstavitvi sva z Zakrajškom šla k meni domov na Strossmayerjevo ulico, kjer sem takrat stanoval. Začela sva nekje ob osmih zvečer. Jaz sem mu razlagal algoritem oziroma vsebinske postopke, Zakrajšek je pa to vsebino »prepisoval v kodo«. Seveda je bilo ogromno detajlov. Ko sva zgodaj zjutraj delo končala, sem jaz šel spat, Zakrajšek pa na Lepi pot, kjer je program preizkusil na računalniku in program je delal. Podoben primer je bila Jacobijeva metoda za lastne vrednosti simetričnih matrik. Z Zakrajškom sva sestavljala kodo programa zvečer in do ranega jutra in mislim, da je naslednji dan program že deloval. Tako sem se ob teh uporabnih problemih naučil tudi veliko numerične matematike. Spomnim se, ko je Bohte za eno leto študijsko odšel v Anglijo, je bila povsem naravna izbira, da sem jaz namesto njega predaval numerične predmete. Vsebina mi je bila najbrž vseč tudi zato, ker se je uporabljalo metode in ideje klasične analize. Zanimive ideje, povezane z numerično matematiko, so prišle tudi iz teoretične fizike. Spomnim se problema, ki sva ga reševala s profesorjem Pahorjem, kjer je šlo za dileme numeričnega integriranja in dejstva, da v realnih fizikalnih problemih običajno vrednosti v točkah niso znane, ampak je treba obravnavati ustrezna povprečja. Od tod je bil oblikovan tudi problem, ki ga je potem zelo celovito rešil Matjaž Omladič⁴⁰ v svoji diplomski nalogi, za katero je leta 1973 prejel študentsko Prešernovo nagrado. Iz tega je nastal tudi članek, ki smo ga objavili skupaj Pahor, Omladič in jaz in je bil edini članek s področja numerične matematike, pri katerem sem sodeloval. S profesorjem Pahorjem sva študirala linearizirano Boltzmannovo enačbo za polravnino. Fiziki so znali izračunati lastne vrednosti ustreznega operatorja, ni se pa vedelo, ali dobljene lastne funkcije tvorijo kompletni sistem. To je bil najin prispevek, dokazala sva kompletnost sistema. Pozneje so še drugi dokazali isti izrek na drugačne načine in ob drugačnih predpostavkah. S profesorjem Pahorjem je bilo krasno sodelovati, bil je namreč izjemno sposoben tudi kot matematik.

³⁹Alojzij Vadnal (1910–1987), slovenski matematik, dolgoletni profesor za uporabno matematiko na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani.

⁴⁰Matjaž Omladič (1950), slovenski matematik, učitelj na FMF UL.

Današnji poudarek na količini pri vrednotenju znanstvenoraziskovalnega dela ima za posledico, da celo povprečni raziskovalci objavljajo veliko več kot nekoč najboljši. Takrat je bil pogled na matematiko verjetno celovitejši, kot je danes. Vi ste bili znani po širokem znanju in poznavanju matematike. Bili ste dolgoletni poročevalec in vaša poročila samo v *Mathematical Reviews* oziroma kasnejšem *MathSciNet* se štejejo v stotinah.

Ja, mislim, da jih je bilo okrog 300. Pred približno letom dni sem pa odpo-vedal sodelovanje pri pisanju teh poročil, in sicer predvsem zato, ker so mi tega dela nalagali vedno več. Tudi po tri na mesec. Včasih je bilo to bolj zmerno in sem dobil približno en pregled na dva meseca. Včasih sem bil tudi zelo dobrodošel, ker sem opravljal recenzije tudi za ruske, ukrajinske in beloruske članke. Ukrajinskih in beloruskih sicer ni bilo veliko, nekaj pa le. Bilo je pa včasih zelo veliko ruskih člankov in nekaj časa so mi v recenzije pošiljali pretežno te. Je pa to zgodovina, sedaj tudi Rusi pišejo v angleščini.

Obširno je vaše strokovno delo od predavanj doma in v tujini do sodelovanja pri Obzorniku in Preseku. Študentom ste predavali najrazličnejše predmete od linearne algebre, numeričnih predmetov, funkcionalne analize, teorije mere, diferencialnih enačb, aproksimativnih metod, analitičnih funkcij . . . , tako za študente matematike kot za študente inženirskih smeri, tako na dodiplomskem kot na podiplomskem nivoju. Ko pogledate nazaj, na kaj ste najbolj ponosni, oziroma katere profesionalne aktivnosti in sodelovanja so pustili najvrednejše spomine?

Težko o tem zanesljivo kaj rečem. Po moji vrnitvi iz Heidelberga, kjer sem se naučil veliko funkcionalne analize, sem se zavzemal, da področje funkcionalne analize dobi svoje stalno mesto v našem predmetniku. Ne vem, če ni prav tisto leto Vidav prvič predaval funkcionalno analizo. Pred tem mislim, da je le profesor Grasselli⁴¹ enkrat imel neki tečaj o teh vsebinah, pa ne vem več, v kakšnem okviru je to bilo. Glede na skromnost profesorja Grassellija pa je njegov prispevek pri razvoju funkcionalne analize šel povsem v pozabo. In kot rečeno, že v petdesetih letih se je funkcionalne analize loteval Križanič, ki pa je bil pri tem precej samosvoj in so njegova prizadevanja ostajala v bolj zaprtem krogu. Takrat v šestdesetih sem funkcionalno analizo večkrat predaval tudi jaz in spomnim se, da smo začenjali s »splošno topologijo«, pa z linearnimi prostori, linearnimi topološkimi prostori in šele potem smo šli na *Banachove* in *Hilbertove* prostore. Takrat se pač topologije pri nas sploh še ni predavalo. Mislim, da je po mojem odhodu v Ameriko funkcionalna analiza spet za nekaj časa izginila iz predmetnika. Po vrnitvi iz Amerike sem predaval diferencialne enačbe in v okviru tega predmeta sem

⁴¹ Josip Grasselli (1924–2016), slovenski matematik, učitelj na FMF UL, glej intervju *Obzornik mat. fiz.* **63** (2016) 3, 100–113.

veliko časa posvetil funkcionalni analizi. Pozneje se je funkcionalna analiza v našem predmetniku spet uveljavila. Moj skromni prispevek pri razvoju slovenske matematike je najbrž izključno na področju prenašanja znanja na mlajše rodove. Upam, da je moje poučevanje pri študentih pustilo pozitivno sled, ali vsaj da ni bilo veliko tistih, ki sem jim »grenil« življenje. Da bi pa v matematični znanosti pustil kako sled, to si ne delam utvar. Tistih nekaj člankov, ki sem jih objavil, je bilo morebiti zanimivih za eksperte, a v perspektivi znanosti ne pomenijo nič. Vesel sem, ko od bivših študentov včasih slišim, da sem pustil kaj pozitivnega v njihovem spoznavanju lepot matematike. A tudi spomini zbledijo in izginejo. Sedaj so veliko mlajši od mene in moji študenti že v pokoju, kot na primer Bojan Magajna⁴². Jaz sem dolga leta predaval diferencialne enačbe, napisal tudi nekaj gradiv za te predmete, posebej za parcialne diferencialne enačbe. A to vsakdo, ki predava, naredi nekoliko drugače. Za mano je to predaval Bojan Magajna in je tudi napisal knjigo. Seveda sem jo prečital in je krasno napisana. Bojan Magajna je bil tudi izjemno dober in natančen matematik. Škoda, da je bil tudi on s svojimi visokimi standardi preveč marginaliziran. Tudi on se ni znal ali hotel uspešno boriti v svetu bolj ambicioznih. Trudil sem se biti koristen na področju popularizacije matematike. Dolga leta sem bil urednik Obzornika in tam objavil okrog 100 prispevkov, od poročil do recenzij in člankov.

Vaša zanimanja poleg bogatega repertoarja aktivnosti, ki so tako ali drugače povezane z matematiko, segajo tudi na številna druga področja. Ste avtor zgodovinske knjige o Rihardu Zupančiču⁴³, uredili ste dnevnik svojega očeta, ki celovito opisuje pomembne segmente slovenske zgodovine, ukvarjate se z botaniko, napisali ste knjigo *Les naših dreves in grmovnic ter zbrali in pripravili razstavo več kot 900 vrst lesa, ki vključuje 160 čudovito oblikovanih krogel.*

Pisanje knjige o Zupančiču je trajalo okoli 12 let in pri tem je bilo veliko težav in nasprotovanj. Kot da Zupančič pri nekaterih ostaja *persona non grata*.

Po različnih krajih Slovenije je bilo okrog deset omenjenih razstav lesa. Obsežno zbirko različnih vrst lesa sem podaril in jo sedaj hrani *Tehniški muzej Slovenije*. Pri isti založbi, kot je izšla knjiga *Les naših dreves in grmovnic*, je v pripravi tudi izid knjige *Sadje*.

⁴²Bojan Magajna (1955), slovenski matematik, učitelj na FMF UL, Zoisov nagrajenec.

⁴³Rihard Zupančič (1878–1949) je bil do konca druge svetovne vojne poleg Plemlja osrednji predavatelj za matematiko na Univerzi v Ljubljani in tudi član SAZU. Bil je tudi (drugi) rektor Univerze v Ljubljani v letih 1920–1921. Zaradi nemških korenin in odklonilnih stališč do nove oblasti je leta 1945 odšel v Avstrijo in bil istega leta tudi izključen iz SAZU.

Lahko ob tem poveste še kaj več o vaši ljubezni do botanike, o vaših zbirkah rastlin in o vašem poznavanju in zbiranju lesa? O parketu v vaši hiši? O vašem lesenem kovčku? O posebnih lesenih izdelkih, ki se nahajajo na številnih tudi nepričakovanih mestih? Ali ni imel čudovite mize, ki ste jo vi pomagali oblikovati in izdelati, tudi nedavno tragično preminuli Marjan Jerman?

Ja, Marjan Jerman je imel res lepo mizo. V tistih časih, ko si je opremljal stanovanje, sva zelo prijateljevala. Večkrat je bil pri meni in jaz z njim tudi pri njegovem mizarju, da sva mu skupaj pojasnila, kako naj bo miza izdelana. Marjana mi je zelo žal. Bil je zelo talentiran kot človek in kot matematik. Ni se pa dobro znašel v tem agresivnem svetu, kjer so ambicije pomembnejše od sposobnosti.

Botanika me je spremljala od otroštva. Od malega sem delal in celo moral skrbeti za vrt. Potem so se mi od tam zanimanja razširila najprej na gojenje cvetic. Ko sem po strogem profesorju matematike Molinaru v šesti gimnaziji naslednje leto dobil profesorja Franca Šuštaršiča, ki je bil v primerjavi s profesorjem Molinarom zelo blag in je bila tudi njegova matematika v primerjavi z Molinarovo videti bolj ›kuharsko‹, sem bil že skoraj odločen, da študij matematike zamenjam za študij botanike. Kot srednješolec sem bil tudi na tekmovanjih iz biologije in dosegel drugo ali tretje mesto. Potem pa sem v zadnjem razredu gimnazije dobil spet novega profesorja matematike Tonina. Ta je bil strog in zahteven. Rad ga je tudi pil, a kot učitelj je bil zelo dober. In sem se tako le odločil za študij matematike. Sicer pa sem bil v gimnaziji vseskozi aktiven v krožkih za biologijo. Spomnim se, kako sem po angleških revijah, kot je *National Geographic*, pripravljaj predavanja, na primer o severnomorskih ptičih, kot je *puffin*⁴⁴, ki imajo zelo pisan kljun in v kljunu lahko držijo tudi do pet rib naenkrat. Prvič sem tega ptiča videl v živo šele pred nekaj leti na Islandiji. Pozneje, ko sem imel svoje stanovanje in hišo, sem pa začel gojiti razne rastline tako v stanovanju kot na vrtu. Po letu 1963, ko sem stanoval na Strossmayerjevi, sem naenkrat imel vsaj 40 lončkov najrazličnejših rastlin in bil sem v stiku s številnimi ljudmi, ki so mi pri tem pomagali. Na primer profesor Vrabec ima brata, ki je zdravnik in je takrat takoj po diplomi šel v Južno Afriko. Mislim, da se je s tem želel izogniti – in mu je tudi uspelo – služenju JLA (jugoslovanske vojske). Vrnil se je šele po osamosvojitvi Slovenije v devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Delal je v bolnišnici za tropske bolezni v Cape Townu v Južni Afriki, kjer so imeli ali tudi še imajo ogromen in svetovno znani botanični vrt. Na mojo željo se je tam pozanimal, če bi lahko dobil kakšna semena. Botanični vrt v Cape Townu je letno izdajal katalog semen *Index Seminum*, kjer so ponujali

⁴⁴Puffin ali mormon (*Fratercula arctica*) je morski ptič, ki gnezdi ob obalah severnega Atlantskega oceana.

po nekaj sto različnih semen drugim podobnim institucijam. Povezal sem se z *Ljubljanskim botaničnim vrtom* in sem potem preko njih dobival različna semena iz Afrike. Približno tri četrtine teh semen niti vzkliko ni, najbrž zaradi neprimerne vlage in temperature. Iz nekaterih so pa zrastle čudovite rastline. Na primer, dobro so mi uspevali *streptocarpusi*. To so nenavadne dvokaličnice, pri katerih se z rastjo eden od dveh kličnih listov preprosto večja in doseže velikost tudi več kot 50 cm. Potem iz sredine tega velikega kosmatega lista požene do deset stebel, na katerih zacvetijo čudoviti modri cvetovi. Ko sem odhajal v Ameriko, sem nekaj teh rastlin podaril Ljubljanskemu botaničnemu vrtu, a kolikor vem, niso preživele. Po vrnitvi iz Amerike teh eksotičnih rastlin nisem več imel.

Zanimivo je (smeh), da sem takrat iz botaničnega vrta v *Cape Townu* dobil celo ponudbo oziroma razpis za direktorja. Imeli so me namreč zavedenega kot sodelavca in sem najbrž tako kot drugi dobil razpis. Dobro se spomnim, da bi kot direktor dobil hišo v samem vrtu, avto s šoferjem, postal bi član senata univerze in kaj vem kaj vse bi mi še pripadalo. Seveda nisem izpolnjeval pogojev (smeh). Sodelovanje z botaničnim vrtom v *Cape Townu* je bilo res prijetno in zanimivo. Se je pa žal hitro končalo v devetdesetih letih prejšnjega stoletja ob nastopu nove oblasti. Prej enostavna komunikacija in pošiljanje semen je namreč naenkrat postalo polno birokracije in velikih računov. Glede na moj »botanični status« sem imel pa vedno tudi polno drugih zanimivih virov. Na primer Janez Lesjak, ki ste ga prej omenili in s katerim sva se zelo dobro poznala, mi je iz Egipta prinesel seme kave. Posadil sem jo in je vzklikla. Glejte, to je ta kava (pokaže na približno 3 m visok kavovec, ki raste ob oknu), stara je že čez 40 let in nekajkrat sem jo že moral obrezati, vsako leto rodi, ne veliko, a nekaj zrn ima vselej. Nekaj semen sem prinesel tudi iz Amerike. Na primer tale (pokaže na zanimivo rastlino na veliki okenski polici) »*Beaucarnea*« je iz semena, prinesenega iz Amerike, in je sedaj stara že skoraj 50 let – še čakam, da bo zacvetela (smeh). Tista (pokaže na drugo rastlino) *Bromelia* je tudi od takrat in je cvetela že vsaj dvakrat. Pa še nekaj podobnih rastlin iz tistega časa imam. Iz raznih potovanj sem pa prinašal razne cvetice in ustvarjal herbarij. Z upokojitvijo je prišlo več časa tudi za to in v mojem herbariju je čez 2000 rastlin iz vsega sveta.

Moje zanimanje za les se je pa začelo z dogodki daljnega leta 1979, ko so moji mami vzeli vrt – tam so zgradili postajo ljudske milice Bežigrad. Bila je to velika parcela kakih 1000 m². V zameno je mama dobila trikotno parcelo velikosti dobrih 600 m² ob Savi v Stožicah, na kateri stoji sedaj hiša, v kateri smo. Parcele ni dobila v last, ampak v »uporabo« s pogojem, da se v dveh letih na njej zgradi hiša, sicer pravica uporabe propade. Mama je bila že v letih in je parcelo ponudila za gradnjo nam otrokom. Vse tri moje sestre in oba brata takrat niso bili zainteresirani ali niso imeli možnosti za gradnjo.

Jaz sem bil ob prvih novicah o tem v Ameriki in tudi nisem videl možnosti. Potem smo se pa na pobudo moje žene vseeno odločili in začeli z gradnjo. Gradnja je z veliko lastnega angažiranja in dela trajala deset let. Moj oče je imel v svoji nekdanji delovni sobi parket iz nenavadnih desk najrazličnejših oblik. To si je lahko privoščil, ker je bil gradbeni inženir in je poznal mnoge obrtnike, mizarje, tesarje. Ta očetova soba mi je ostala v prav posebnem spominu in tako sem že ob začetku gradnje lastne hiše začel zbirati les. Dobesedno zbirati tako, da sem na tleh, v gozdu in kjerkoli sem kaj našel, pobiral razne veje in jih nosil domov. Spomnim se na primer, bilo je okrog leta 1980, ko je pozimi zapadlo veliko snega, ki je polomil številna drevesa. Blizu *Cankarjevega doma* in prostorov takratnega *Izvršnega sveta* – to je bila takrat republiška vlada – raste velika *Sophora Japonica*, ki je na prvi pogled podobna akaciji. Sneg je odlomil veliko vejo, ki je ležala na tleh. Bila je tako velika, da je sam nisem mogel dvigniti. Blizu je bil policaj, ki je stražil pred vrati *Izvršnega sveta*. Prosil sem ga, če bi mi vejo pomagal dvigniti, da bi cesto očistil in vejo odnesel stran. Brez zadržkov mi je pomagal vejo dvigniti na ramo in sem jo odnesel proti Rimski cesti, kjer sem stanoval. V naši kuhinji sta dve deski parketa iz tiste veje. Tako sem vsepovsod zbiral razne kose lesa. Pri sorodnikih in kjerkoli sem bil. Na Javorju mi je ob naključnem srečanju kmet prijazno odstopil osem pravkar požaganih hrušk. Iz njih so narejeni miza, pult in delno omare v kuhinji. Zgodilo se je celo, da mi je lastnik deblo sam na žago pripeljal. Seveda sem vselej ponudil plačilo, a večkrat sem od prijaznih ljudi les dobil zastonj. Parket v celi hiši je iz tako pridobljenega lesa najrazličnejših vrst. Od tu se je razvilo moje zanimanje za les. Včlanil sem se v mednarodno društvo zbirateljev lesa in tako smo si izmenjevali različne zanimive vzorce lesa. Teh vzorcev nisem nikoli kupoval, šlo je izključno za zamenjave. Pa sem vseeno zbral okrog 900 vrst lesa. Kot rečeno, to zbirko, ki je v Sloveniji edinstvena in so jo radi sprejeli, sem podaril *Tehniškemu muzeju Slovenije*. Iz tega zanimanja za les je nastala tudi omenjena knjiga *Les naših dreves in grmovnic*. Tu in tam sem naletel na nekaj ljubosunja s strani gozdarjev, češ da jim skačem v zelje. Mene je pač to zanimalo in tega nisem počel iz kakih ambicij. Gozdarji, ki so službeno v stiku z lesom, bi imeli veliko več priložnosti za pisanje take knjige in ob neki priložnosti sem lahko rekel le (smeh): »*Če bik se obotavlja, se vol na kravo spravlja.*« Ko sem se upokojil, sem z zbiranjem lesa prenehal, še vedno pa me veseli botanika. Od upokojitve sva bila z ženo na številnih potovanjih in povsod nabiram cvetice ter fotografiram in zbiram podatke o rastlinah, ki si jih tudi zapisujem. Tega se je nabralo že za štiri knjige. Napisal sem tudi šest knjižic, eno na primer o žitaricah, pa o metuljnicah, o škrobnih rastlinah, o tekstilnih rastlinah. Gre za vrste rastlin, ki so zelo pomembne v svetovnem merilu.

Bili ste predstojnik takratnega Odseka za matematiko v letih 1981–1983 in 1987–1989. Pozneje, leta 1995, ste postali prvi dekan na novo ustanovljene FMF. Kako se spominjate odnosov, vodenja in upravljanja med univerzitetnimi učitelji takrat?

V letih, v katerih je bil profesor Vidav še aktiven in vpliven, so bile razmere skorajda idealne. To velja nekako za šestdeseta in sedemdeseta leta prejšnjega stoletja. Tudi še v mojem prvem mandatu v letih 1981–1983 so bile razmere zelo urejene in prijetne. Prepirov se praktično ne spomnim. Dela je bilo veliko in vsi smo bili polno zaposleni. Plača je bila, kakršna je pač bila in neodvisna od obsega ur, ki jih je posameznik učil. Pozneje, tudi z večanjem vloge inštituta IMFM, je igral vse pomembnejšo vlogo denar in v poznih osemdesetih letih prejšnjega stoletja je bilo nesoglasij že veliko. Pred tem je znotraj Odseka za matematiko veljala skoraj popolna enotnost in popolnoma vseeno je bilo, kdo je bil predstojnik. Bilo pa je sicer kar nekaj zunanjih motenj.

Na primer, ko je bil direktor Inštituta Jožef Stefan Osredkar⁴⁵, ki je bil sicer zelo agresiven človek, je IJS hotel prevzeti prvo stopnjo študija matematike in fizike. To je takrat pomenilo prvi dve leti študija. Spomnim se, da smo bili matematiki zelo enotno proti. Nekoč sem bil na sestanku pri Osredkarju. Nikoli v življenju nisem na nikogar kričal, na tistem sestanku z Osredkarjem pa sem izgubil živce in vpil nanj. S podporo tudi drugih – posebej Univerze – smo takrat uspeli ustaviti tisti proces, ki je bil po politični liniji speljan že kar daleč.

Spomnim se, nekoč veliko pozneje, najbrž nekje v zgodnjih devetdesetih letih prejšnjega stoletja, sem bil na potovanju na Kubi, ki ga je organizirala *Ars Longa*⁴⁶, in na potovanju je bil tudi Osredkar, takrat seveda upokojen. Na potovanju je bilo veliko profesorjev iz Elektro fakultete, ki so Osredkarja dobro poznali in tako zelo so se ga izogibali, prav prezirali, da se mi je to zdelo neprimerno. Ob tem slabem občutku sem takrat z njim vzpostavil

⁴⁵Milan Osredkar (1919–2003) je bil direktor Inštituta »Jožef Stefan« v letih 1963–1975. O njegovi vlogi v razvoju IJS lahko preberemo v Novicah IJS, št. 104, junij 2003, izdanih ob njegovi smrti. Prof. Osredkar je ob začetku druge vojne študiral elektrotehniko (in sočasno na Akademiji za glasbo). Med drugo vojno je bil aktivni sodelavec radia Kričič in konec vojne dočakal kot namestnik šefa odseka OZNA (Odjeljenje za zaščito naroda), ki je bila predhodnica UDBE (Uprava državne bezbjednosti). Leta 1948 je postal poverjenik SUZUP-a (Zvezne uprave za napredek proizvodnje) in deloval pri nadzoru in razvoju večjih raziskovalnih inštitutov. Leta 1950 je začel s študijem fizike, leta 1952 je bil imenovan za pomočnika direktorja IJS in leta 1954 je diplomiral pri Peterlinu. Po dvoletnem študiju (1955–1956) v ZDA je leta 1958 doktoriral prav tako pri Peterlinu. Leta 1957 je Osredkar vodil komisijo za izdelavo Predloga za perspektivno usmeritev in reorganizacijo IJS. Bil je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko, častni član IJS, častni meščan Ljubljane, član Izvršnega sveta SRS in nosilec številnih državnih odlikovanj.

⁴⁶Ars Longa – Ljubljanska ›Akademska potovalna agencija‹.

stik in se z njim precej obširno pogovarjal. Bil je zelo spodoben in kar malo zadržan. Ne vem, najbrž je bil takrat tudi že hudo bolan. Vsekakor to ni bil več isti človek, kot sem se ga spomnil od takrat, ko je bil še vpliven in blizu oblasti. Takrat je ob 50. obletnici IJS inštitut izdal knjigo⁴⁷ in njen urednik je bil Osredkar, ki je tudi napisal glavni del. Osredkar mi je takrat knjigo poslal in me vprašal za mnenje. Seveda sem knjigo natančno prebral in podal nekaj manjših opomb.

Vsebinsko pa sem se dotaknil tudi dveh kočljivejših tem iz zgodovine IJS, ki so bile v knjigi zelo mimogrede omenjene. V poznih šestdesetih letih prejšnjega stoletja smo matematiki in fiziki znotraj univerze imeli stavbo na Jadranski 19, hkrati smo pa zgradili tudi temelje na Jadranski 21. Pri gradnji na Jadranski 21 je prišlo do zastoja, ker je zmanjkalo denarja, pa tudi zato, ker se je že omenjeni profesor Kuščer, kot naš takrat odgovorni za gradnjo, zaradi oken načrtovane stavbe skregal z arhitektom. V tistem času je bil direktor IJS Osredkar, ki je bil zelo vpliven in je tudi na Univerzi uspel uveljaviti svojo voljo. Temelje na Jadranski 21 so nam dobesedno ukradli in zgradili dve nadstropji, v katerih so postavili takratni *Računski center*. To so bile zelo hude manipulacije, v katerih so nam sicer marsikaj obljubljali. Mi smo se takrat zelo jezili, sestavili in podpisali protestno pismo in že začeli sodne postopke za uveljavitev svojih interesov. Na univerzi in Osredkar na IJS so potem z raznimi obljubami, ki jih niso nikoli uresničili, uspeli Vidava prepričati, da smo odstopili od tožbe, katere pozitiven izid v tistih razmerah seveda ni bil zagotovljen. Zgrajeni nadstropji so potem privatizirali in od takrat izvira dolgoletna čudna lastniška urejenost stavbe⁴⁸ na Jadranski 21. To je bila prva tema, ki jo je Osredkar v knjigi zelo na kratko in nonšalantno opisal.

Druga zamolčana tema pa je bila postopna in leta 1959 dokončna odstranitev Peterlina iz inštituta IJS. Osredkar je bil takrat politično nastavljen Peterlinov pomočnik. Pri njem je diplomiral in tik pred Peterlinovim dokončnim odhodom iz IJS je pri njem tudi doktoriral. Osredkar ni bil pri Peterlinovi odstitvi najpomembnejši, je pa pri njej aktivno sodeloval. Glavni so bili takrat seveda politiki. V Ljubljani predvsem Kraigher⁴⁹ in Ranko-

⁴⁷Milan Osredkar, Natalija Polenc, Pripovedi o IJS: 50 let Inštituta »Jožef Stefan«, Ljubljana : Inštitut »Jožef Stefan«, 2000.

⁴⁸Po večkratni zamenjavi privatnih lastnikov je v zadnjih letih Fakulteta za matematiko in fiziko po pol stoletja prišla do lastništva na celotni stavbi na Jadranski 21 s povsem tržnim nakupom.

⁴⁹Boris Kraigher (1914–1967) je spadal med najvplivnejše slovenske in jugoslovanske politike tistega časa. V letih 1953–1962 je bil predsednik Izvršnega sveta Ljudske skupščine (slovenske vlade). Po letu 1962 pa je bil predsednik gospodarskega odbora Skupščine FLRJ in od 1963 do smrti podpredsednik Zveznega izvršnega sveta in predsednik odbora ZIS za gospodarstvo. Umrli je v prometni nesreči.

vič⁵⁰ v Beogradu. Pridobil sem kopijo dekreta, ki ga je podpisal Ranković. Takrat so po dekretu odstranili⁵¹ vodstva vseh treh nuklearnih inštitutov v Ljubljani, Zagrebu in Beogradu. Vidav je pripovedoval, kako je takrat Kraigher k sebi na sestanek poklical vplivne fizike⁵², na primer Dominka⁵³, in tudi njega kot najvplivnejšega matematika. Skupaj kakih pet ali šest ljudi, ki jih je takrat Kraigher obvestil, da partijska celica na IJS zahteva, da se Peterlina umakne. Peterlin je bil nad načinom svoje odstavitve in tudi nad odnosom nekaterih sodelavcev tako razočaran in užaljen, da niti po zadnjo plačo, ki smo jo takrat dobivali v pisarni v gotovini, nikoli ni prišel. Zapustil je Slovenijo in po obiskih v Nemčiji in v ZDA na Harvardu kmalu sprejel ugledno pozicijo na *Technische Universität München*. Od leta 1961 do svoje upokojitve leta 1990 pa je delal na prestižnih ameriških institucijah. Med drugim je bil direktor *Camille Dreyfus Laboratorija* na *Triangle Institutu* v Severni Karolini. Menda takrat Peterlin sploh ni želel v Ameriko. Prosil je kolege, naj mu svetujejo, kako bi se lahko obzirno izognil povabilu za odhod v Ameriko. Kolegi so mu rekli, da je v Ameriki zelo pomemben denar in naj preprosto zahteva dvojno plačo. Zahteval je dvojno plačo, ki pa jo je dobil in se potem odhodu ni mogel več vljudno izogniti. To mi je veliko pozneje povedala Peterlinova hčerka, s katero sva dobra prijatelja. Prav v tistih letih, potem ko je Peterlin zapustil Slovenijo, sem bil jaz v Nemčiji. Spomnim se, da sem Peterlina povsem naključno srečal na ulici med obiskom v Münchnu.

Osredkar je bil pri Peterlinovem odhodu iz IJS zelo pomembna in soodgovorna figura. In seveda v knjigi tega ni nikjer omenil. Po branju knjige sem poleg že omenjenih manjših opomb napisal tudi, da mu pri vsebini

⁵⁰Aleksandar Ranković (1909–1983), po vojni eden najvplivnejših jugoslovanskih politikov. Bil je šef UDBE in dolgo Titov namestnik v najpomembnejših državnih in partijskih organih. Leta 1966 je padel v Titovo nemilost in bil odstranjen iz vseh funkcij.

⁵¹Na Inštitutu Borisa Kidriča v Vinči pri Beogradu je bil odstranjen Pavle Savić, na inštitutu Ruder Bošković v Zagrebu Ivan Super in na inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani Anton Peterlin. Leta 1955 je Aleksandar Ranković, ki je bil takrat tudi zvezni minister za notranje zadeve, prevzel vodstvo Zvezne komisije za nuklearno energijo (ZKNE). Leta 1957 je Boris Kraigher, ki je bil tedanji predsednik slovenske vlade, od Peterlina prevzel predsedovanje Upravnemu odboru IJS. »Čistka« na treh velikih inštitutih je sledila reaktorski nesreči v Vinči 15. 10. 1958, ki je s sevanjem hudo poškodovala šest srbskih tehnikov in študentov. Po posredovanju akademika in mednarodno renomiranega fizika in kemika Pavleta Savića so se poškodovani zdravili na Institut Curie v Parizu, kjer so jih zdravili s takrat še eksperimentalno presaditvijo kostnega mozga. Eden izmed šestih je mesec dni po nesreči v Parizu umrl. Drugi so preživel.

⁵²Najbrž je šlo za sestanek, ki ga omenja tudi akademik profesor Črtomir Zupančič (primerjaj intervju *Obzornik mat. fiz.* **58** (2011) 2, 51–93).

⁵³Franjo Dominko (1903–1987), slovenski fizik in astronom. Pred vojno je delal tudi na Astronomskem observatoriju v Beogradu in bil med soustanovitelji jugoslovanskega astronomskega društva.

knjige ne očitam napačno zapisanih stvari, ampak tisto, kar je zamolčal. To je resnico o teh dveh nadvse pomembnih dogodkih. Vedel sem, da je bilo to zanj neprijetno, a ker me je vprašal za mnenje, sem se čutil dolžnega povedati mu. Odzval se je pravzaprav lepo. Zahvalil se mi je za pripombe in za odkritosrčnost in seveda je ostalo pri tem. Takrat je bil Osredkar že zelo bolan in je kmalu zatem umrl.

Kot rečeno, odnosi med matematiki so bili nekje do sedemdesetih let prejšnjega stoletja zelo prijetni. V osemdesetih pa je že bilo vedno več nesoglasij. Vedno več moči so imeli ali so si jo vzeli nekateri mlajši kolegi, vsekakor sposobni, a še bolj kot to samozavestni. Tudi za širše družbeno okolje je postajalo vse pomembneje, koliko znanstvenih objav ima kdo. Zelo razgledani in sposobni ljudje, kot je bil na primer profesor Vrabec, so začeli izgubljati vpliv. Tudi profesor Vrabec na žalost ni imel veliko člankov, kar je edino, kar danes šteje. To pa je bilo zato, ker je Vrabec tako zelo samokritičen in ne bo dal nič od sebe, če ni 100-odstotno prepričan, da je brezhibno. Pravo nasprotje današnjim standardom kakovosti. V letih, ko bi bil lahko ali moral tako bister človek, kot je bil profesor Vrabec, usmerjati mlajše matematike in dvigati nivo kakovosti, so prišli drugi časi in drugi ljudje. Ti so si pridobili mlade nadarjene kolege in jih usmerjali, kot je zahteval čas, bolj v kvantiteto. Tudi v tujini je bilo podobno, kot kaže tedanje reklo *publish or perish*. Spomnim se seje, na kateri so novi vplivni posamezniki podpirali drug drugega, kdo bo predaval na podiplomskem študiju. Vrabec in drugi smo se umikali, marginaliziran je bil tudi vpliv odličnih mlajših matematikov, kot je bil na primer Bojan Magajna.

Spomnim se, bilo je v začetku tega tisočletja, ko sem z ministrstva dobil poziv, če bi prevzel članstvo v komisiji, ki podeljuje Zoisove nagrade. Ne, ker bi to želel, niti ne zato, ker bi menil, da je moje raziskovalno delo primerljivo z delom tistih, ki so potencialni Zoisovi nagrajenci, ampak zato, ker sem menil, da delo kolegov razmeroma dobro poznam in tudi, ker se mi je zdelo, da je za to funkcijo primeren nekdo starejši, kot sem bil jaz, ki na raziskovalno delo gleda že z nekaj distance, sem funkcijo sprejel. Vrabec se je strinjal in za ministrstvo napisal mnenje in tako sem bil imenovan. Potem pa se je usul plaz obtožb, da naj bi o takem imenovanju odločali na IMFM in/oziroma na FMF. Dobro se spomnim tudi na primer, kako se je potem tudi pri delu v tej komisiji pokazalo, da vrednotenje v znanosti ni enoznačno korelirano s številom objavljenih člankov. Namreč, ko sem se kako leto pozneje zavzemal, da bi Zoisovo nagrado dobil eden izmed najglasnejših mlajših kritikov mojega imenovanja v komisijo, je bilo potrebno veliko potrpežljivosti za uspeh. Čeprav je kandidat imel za matematika razmeroma veliko število objavljenih člankov, je bilo to približno nič v primerjavi z najplodovitejšimi fiziki, da ne omenjam kakega drugega področja, kjer sta kakovost in kvantiteta v še manjši korelaciji.

Upokojili ste se leta 1999 in najbrž takrat že okusili sodobno in veliko bolj formalizirano upravljanje univerze. Ko ste vi postajali univerzitetni učitelj, je vloga za učiteljsko mesto obsegala 1 (eno) stran. Danes podobna vloga obsega tudi nekaj sto strani. Verjetno je bilo v ›vaših časih‹ manj srednješolskih profesorjev matematike, kot je danes univerzitetnih. Kako gledate na napredek in vrednotenje kakovosti nekoč in danes?

Vedno pomembnejša postaja količina objavljenih člankov. Spomnim se, ko je Peter Legiša⁵⁴ v poznih osemdesetih letih prejšnjega stoletja pripravil in objavil po mojem in ne samo mojem mnenju zbirko odličnih srednješolskih učbenikov, to ni bilo vredno nič. Njegovo napredovanje je bilo takrat zastavljeno prav zato, ker so bili vsi ti učbeniki vredni manj, kot bi bilo nekaj znanstvenih člankov, pa čeprav vprašljive kakovosti. Takih primerov je še kar nekaj, ko je na primer bogato strokovno delo ali široko in globoko poznavanje matematike, ki je zelo pomembno pri poučevanju, vredno veliko manj kot objave, ne glede na njihovo kakovost. Po mojem mnenju se še vedno točno ve, kdo so najboljši, najbolj izkušeni in oni lahko veliko bolje ocenijo, kaj je zares kakovostno delo, kot preštevanje strani objavljenih člankov in pripadajočih točk. To povzroča razvrednotenje kakovosti. Na primer danes malokdo želi (in najbrž tudi malo kdo zna) napisati zanimiv članek za Obzornik, ker to nič ne šteje, pa čeprav bi bil dober strokovni članek v Obzorniku za učitelje in za vzgojo in prihodnost (slovenske) matematike najbrž več vreden kot desetina (povprečnih in podpovprečnih) znanstvenih člankov. Danes pa vse bolj tistim, ki imajo znanje in izkušnje, ne zaupamo. Zaupamo pa točkovalnikom, ki so menda objektivni, o čemer pa smemo upravičeno dvomiti. Ni več hierarhije vrednot in znanja. Včasih je bil Plemelj ›bog i batina‹ in gotovo je delal tudi napake, ko se mu zaradi avtoritete in spoštovanja ni upal nihče nič reči. A danes, se zdi, da morda sploh ne smemo več reči, kaj je prav in kaj narobe.

V vaših aktivnih letih se je službeno in zasebno življenje veliko bolj prepletalo. Učitelji in sodelavci ste se veliko bolje poznali in se družili ali celo prijateljevali. Vi ste bili na primer asistent poznejšim sodelavcem Mariji Vencelj in Jožetu Vrabcu ter z njima razvili tudi trajne osebne odnose. Bili ste poročna priča Jožetu Vrabcu. Skupaj ste hodili v hribe. Glede na natančne zapisnike Topobavškega seminarja⁵⁵ ste se nazadnje udeležili

⁵⁴Peter Legiša (1950), slovenski matematik, učitelj na FMF UL, pisec srednješolskih učbenikov iz matematike.

⁵⁵Topobavški seminar: od leta 1994 so dvakrat letno potekali pohodi v gore, ki so se jih udeleževali pretežno matematiki in družinski člani ter prijatelji. Ti pohodi so bili znani kot ›redni Topobavški seminar‹. Poleg rednih je bilo pa tudi kar nekaj izrednih ›seminarjev‹. Udeleževalo se jih je do okrog 30 pohodnikov. Topobavški seminar je vodil in organiziral profesor Jože Vrabec.

pohodov na Mrzlo goro⁵⁶ leta 1995 in na Skuto⁵⁷ leta 1996. Kakšni so vaši spomini na službene sodelavce, ki so se pogosto mešali z družinskimi prijateljski?

Ja, omenjeni pohodi so bili moji zadnji ›alpinistični podvigi‹. Ob pohodu na Skuto so pohodniki zame malo preveč hiteli. Na trenutke sem jim težko sledil. Šele pozneje sem spoznal, da so bile to srčne aritmije. Slednje so se začele pojavljati zgolj ob pretiranih naporih in sem se pač sprijaznil, da ne gre več (nasmeh) v takem tempu. Sicer so pa to lepi spomini na službena poznanstva, ki so se lepo razpletala tudi v prijateljskih odnosih. Ne vem, če to lahko povem, a na prve planinske pohode z Jožetom Vrabcem sem hodil kot ›slon‹. Gospa mama od Jane, poznejše Jožetove žene, ju namreč ni pustila, da bi šla v hribe sama. Tako sem bil jaz za njenega ›varuha‹. S pokojno Marijo Vencelj sem se poznal od njenih študentskih let. Bila je zelo sposobna in zagnana, a tudi posebna. Najprej sem se kot starejši počutil nekako odgovornega in sem ji kdaj poskušal svetovati, kakor se je zdelo prav, a ne zelo uspešno. Do Marije Vencelj sem vseskozi, do njene smrti, ohranil iskreno spoštovanje. Bila je namreč zelo sposoben matematik in dober človek. V Gameljnah sem jo pogosto obiskal. Vem, da je ohranila stik tudi z gospo Jozljevo in gospo Tieglovo. Bil sem pri njej še teden dni pred njeno smrtjo. Mene se usoda takih ljudi posebej dotakne. Kaže na krhkost in dejansko nemoč človeka. Čeprav je bila zelo srčen človek, ji usoda ni bila vedno naklonjena. Prav gotovo ji je bila sinova družina v veliko veselje. Imela je tudi umetniške talente. Lepo je risala. Mnogo let je bila steber *Preseka*.

Se vrneva še nekoliko nazaj in globlje v zgodovino? Ob koncu druge svetovne vojne ste imeli deset let, a vojna ter povojna leta so vas zelo zaznamovala. Česa se najbolj spominjate?

Predvsem tega, kako so bili starši nenehno zaskrbljeni. Bili so hudi časi. Od začetka vojne je oče denarno in tudi drugače podpiral OF. Najbrž so ga tudi zato Italijani v juniju 1942 aretirali in je že bil na živinskem vlaku na poti v taborišče Gonars, ko so pri Verdu vlak napadli partizani in ›osvobodjence‹ odpeljali v gozd. Tako je bil moj oče tri mesece prisilno pri partizanih kot delavec, potem je pa dezertiral in so ga po vrnitvi domov ›partizanske strukture‹ obdržale na piki. Po izkušnji s partizani in po tako imenovani ›osvoboditvi internirancev‹ moj oče ni hotel več imeti nobenega opravka z OF in partizani. Moja mama je bila že prej zelo kritična do partizanskega gibanja, saj je bolj brala in bolj verjela zapisom o delovanju komunistov v Sovjetski Rusiji. Težave so se potem kar vrstile. Ob koncu vojne, ko so

⁵⁶Mrzla gora, 2203 m, Kamniško-Savinjske Alpe.

⁵⁷Skuta, 2532 m, Kamniško-Savinjske Alpe.

nove oblasti prevzele vse vaje vladanja v svoje roke, je moja mama kot učiteljica takoj izgubila službo in brez nje ostala več let. Doma nas je bilo šest otrok. Jeseni leta 1945 so mojo takrat osemnajstletno sestro Natašo kot sovražnico ljudstva vrgli iz šole. Takrat petnajstletno sestro Andrejo so prav tako obtožili »sovražnosti do države«, pa je bil potem ta postopek zaustavljen. Ti postopki so zelo vplivali na nas. V šoli in na vsakem koraku nam je bilo dano vedeti, kako stvari stojijo in da spadamo med drugorazredne, škodljive, nevredne. Šikaniranja najrazličnejših vrst so bila stalna. V stanovanju nas je bilo šest otrok, mama, oče in z nami je v začetku živela tudi hišna pomočnica, pa so nam neprestano pošiljali razne ljudi, da so stanovali pri nas. Pogosto so izvajali preglede. »Iskali so zlatnino in vredne predmete«. Natančno so pregledovali pisalni stroj. Neprestano smo živeli v strahu. Oče je bil prej uspešen gradbeni inženir in je od svojega 28. leta delal kot privatnik. Neposredno je sodeloval z različnimi podjetji. Na primer z železarno Štore, s Cinkarno Celje, z Elektro podjetjem v Črnučah in drugimi. Leta 1948 je od ministra za gradnjo dobil dve zaporedni ponudbi za državno službo. Ko je v želji, da bi ostal samostojen, obe ponudbi zavrnil, je od ministra za gradnjo, ki sem ga pozneje spoznal kot sostanovalca, dobil ultimatum. Ali sprejme službo v *Slovenija Projekt* ali ga zaprejo. Hkrati so mu vsa podjetja, s katerimi je sodeloval, odpovedala pogodbe. Takrat so zlomili tudi mojega ponosnega očeta. Čeprav je bil velik strokovnjak z veliko izkušnjami in verjetno tudi med starejšimi, je bil v novi službi v *Slovenija Projektu* postavljen na »zadnje mesto« in verjetno tudi neposredno šikaniran. Od tega si ni več opomogel. Zbolel je, dobil sladkorno, leto dni je preživel na Golniku. Pozneje je za silo okrevljal. Uspel se je zaposliti na ministrstvu za sodstvo in je v glavnem obnavljal in opremljal sodniška poslopja. Mislim, da je projektiral obnove vsaj dvajsetih sodnih poslopij po vsej Sloveniji. Vodil je tudi nadzidavo Sodne palače v Ljubljani po smrti *Costaperarie*⁵⁸, ki je prenovo arhitekturno zasnoval. Moja mama je službo, potem ko jo je leta 1945 izgubila, čez nekaj let dobila nazaj. Bilo je to precej naključno, ko je nekoč srečala Josipa Ribičiča⁵⁹, očeta neslavno bolj poznane Mitje Ribičiča⁶⁰. Josip Ribičič je bil takrat šolski inšpektor in je mojo mamo dobro poznal že od prej. Nad informacijo, »da je tako dobra učiteljica brez službe«, je bil zelo začuden. Po njegovem posredovanju je takoj dobila

⁵⁸ Josip Costaperaria (1876–1951), arhitekt furlansko-hrvaško-nemškega rodu, ki je deloval predvsem v Trstu in na širšem območju Slovenije. Po drugi svetovni vojni je v Sloveniji naredil več prenov in novogradenj, najbolj znano njegovo povojno delo je prav nadzidava sodne palače v Ljubljani (1949–1953). Umrli je osamljen in v pomanjkanju v Ljubljani.

⁵⁹ Josip Ribičič (1886–1951), učitelj, dramatik, urednik, (mladinski) pisatelj. V letih neposredno po vojni je bil zaposlen na Ministrstvu za izobraževanje.

⁶⁰ Mitja Ribičič (1919–2013), vpliven slovenski in jugoslovanski povojni komunist in politik, obtožen vodilne vloge pri povojnih pobojih.

službo in potem do upokojitve še nekaj let učila. Težav pa še ni bilo konec. Dobro se spomnim opisov incidenta, ko je bila na nekem sestanku glavna tovarišica Marija Demšar. Njen sin, sicer ugleden in spoštovan zdravnik Marko Demšar, je bil kasneje kandidat za predsednika države. Na tistem sestanku je tovarišica Demšar s celim dosjajem napadla mojo mamo, kako grozna in neprimerna učiteljica da je. Pa so bili na sestanku prisotni tudi starši in preprosti ljudje, ki so mojo mamo dobro poznali in cenili. In kar ni bilo običajno, upali so si spregovoriti in so mojo mamo vzeli v bran ter celo opisovali prijaznost, skrbnost ter dobre izkušnje, ki so jih imeli z njo. Tovarišica Demšar se je ob tem tako razjezila, da je dosje jezno vrgla po mizi in glasno ter užaljeno zapustila prostor.

V zapisih vašega očeta beremo, da je med trimesečnim bivanjem v partizanih tam srečal tudi Kocbeka⁶¹ ter da se mu je prav v tem času rodil najmlajši otrok, to je vaš brat Janez, kar naj bi mu bil takrat sporočil Janez Stanovnik⁶².

Ja, tako je bilo. Moj oče je v svojih zapisih tiste dogodke zelo natančno opisal. Takrat je bil od krščanskih socialistov v partizanih tudi pozneje zelo znani profesor Cevc⁶³. On in njegova žena Anica Cevc, ki je bila tudi ravnateljica Narodne galerije, sta bila pozneje ugledna umetnostna zgodovinarja. Na istem konvoju in na isti način v partizanih je bil tudi Jarc⁶⁴. Moj oče je v svojih zapiskih precej natančno opisal njune pogovore v tistem času. Z Jarcem sta se dobro poznala tudi zato, ker je Jarc prej stanoval v naši hiši. Jarca so potem partizani hitro spravili v štab, kjer je bil zadolžen za propagando. Moj oče je bil bolj jezičen in ga je zato Jarc nekoč zelo jasno opozoril, naj ›drži gobec‹, ker bo sicer ponj prišla Matilda. Jarc je v njunih številnih pogovorih očetu tudi jasno dal vedeti, kako slabo in prestrašeno se je počutil. Kmalu zatem jeseni istega leta je Jarc med italijansko ofenzivo v čudnih in nepojasnjenih okoliščinah ›padel‹. Za sabo je pustil ženo in dve

⁶¹Edvard Kocbek (1904–1981), jezikoslovec, pesnik, pisatelj in najbolj znan pripadnik krščanskih socialistov ter tudi član najvišjih organov OF. V povojnih letih je zasedal tudi pomembne funkcije v Sloveniji in Jugoslaviji, a je kmalu za tem prišel v konflikt z oblastjo in bil leta 1952 prisilno upokojen ter nadzorovan in šikaniran do smrti.

⁶²Janez Stanovnik (1922–2020), ekonomist in politik, zadnji predsednik SR Slovenije v letih 1988–1990. V letih 2003–2013 predsednik ZZB NOB. Med vojno je v OF stopil kot član krščanskih socialistov in kot njihov predstavnik deloval tudi še po vojni, čeprav je bil tajno že od leta 1944 tudi član komunistične partije.

⁶³Emilijan Cevc (1920–2006), slovenski umetnostni zgodovinar in akademik. Med vojno tudi pripadnik krščanskih socialistov in prav tako med deportiranci na vlaku, ki so ga junija 1942 pri Verdu zajeli partizani. V letih 1962–1963 je bil s štipendijo A. Von Humboldta na študiju v Münchnu.

⁶⁴Miran Jarc (1900–1942), pesnik, pisatelj, publicist in prevajalec. Padel med roško ofenzivo le dva meseca potem, ko se je po partizanskem zajetju vlaka pri Verdu pridružil partizanom.

hčerki, s katerimi smo se dobro poznali, saj smo bili podobne starosti in smo se kot otroci skupaj igrali. Obe sta bolj žalostno končali in sta že pokojni. Ena je bila v Zagrebu in njen sin je celo študiral matematiko. Spomnim se, da sem profesorju Cesarju⁶⁵, ki je proučeval literarno zgodovino tistega časa, dal naslova obeh Jarčevih hčera, pa ga je ta, ki je živela v Zagrebu, nadrla kot psa, da kaj da jo bodo še spraševali potem, ko so ji ubili očeta. Profesor Cesar seveda ni bil nič kriv, a incident pokaže, kako globoke so ostale rane iz tistega časa.

Do prejšnjega socialističnega komunističnega sistema pa ne gojite simpatij?

(Smeh) Ja, simpatije do komunizma bi pa težko tudi igral. Komunizem je številne vrednote obrnil povsem na glavo. Marsikaj, kar je bilo najboljše, je nenadoma postalo nezaželeno.

Prej sem omenil mojega gotovo najboljšega gimnazijskega profesorja Molinara. Skupaj z dijaki je včasih šel k *šmarnicam* v cerkev sv. Cirila in Metoda, ki je tedaj še stala na današnjem Gospodarskem razstavišču. To je bilo dovolj, da ga je takratni šolski politik Gabrovšek⁶⁶, ki je bil sicer tudi matematik, poklical na zagovor in mu sporočil premestitev v Postojno, »ker je kvaril mladino«. Profesor Molinaro se je odločno uprl in mu sporočil, da bo, če ga pošljejo iz Ljubljane, podpisal odpoved in se preživljal z inštrukcijami. Gabrovšek je potem delno popustil in profesor Molinaro je bil premeščen na Gimnazijo v Mostah, kjer je poučeval do upokojitve.

Ko sva se takoj po diplomi na povabilo Plemlja in Vidava oba z Bohtetom prijavila za asistenta, je bil Bohte potrjen zelo kmalu. Moja izvolitev pa se je vlekla dve leti in pol. Seveda ni bila skrivnost, da je bil takrat Bohte še v partiji, jaz pa sem bil pri oblastnikih slabo zapisan. Savo Lapajne⁶⁷, s katerim sva se poznala tudi zato, ker sta bili najini ženi v sorodu, mi je kakih 25 let pozneje povedal, da najbrž ne bi bil nikoli potrjen za asistenta, če se ne bi bil on takrat zavzel zame. Takrat je bil namreč v univerzitetnem partijskem komiteju.

Moj brat Matija je diplomiral pri Mihevcu⁶⁸, ki je bil, kot je obče znano, nastavljen za profesorja tudi ali predvsem po politični liniji. Pridobil sem

⁶⁵Emil Cesar (1927–2020), slovenski literarni zgodovinar in urednik. Proučeval je predvsem književnost med obema vojnama in književnost med drugo vojno.

⁶⁶Ludvik Gabrovšek (1910–1988), profesor matematike in fizike, pisec šolskih učbenikov, aktiven šolski politik, od ustanovitve Sveta za šolstvo Slovenije leta 1956 njegov sekretar.

⁶⁷Savo Lapajne (1925–1997), slovenski fizikalni kemik, učitelj na UL.

⁶⁸Edo Mihevc (1911–1985), znani slovenski arhitekt. Med njegovimi deli so Metalka v Ljubljani ter hoteli Riviera, Slovenija in Metropol v Portorožu. Edo Mihevc s partizanskim imenom »Dore« je bil prvoborec, član Glavnega štaba NOV, poveljnik Gubčeve brigade in je takoj po vojni zasedal tudi pomembne upravno politične funkcije. Član Komunistične partije Slovenije je bil že leta 1932. Leta 1936 je diplomiral iz arhitekture pri Plečniku in leta 1946 postal profesor za arhitekturo na Univerzi v Ljubljani.

kopije zapisnikov Univerzitetnega komiteja partije, iz katerih je to povsem očitno. Mihevc ga je nagovoril, naj zaprosi za mesto asistenta, pa je bil zavržen. Bilo je čudno, da celo človek, kot je bil Mihevc, pri tem ni imel ali ni hotel imeti besede. Moj brat Matija je takrat imel neko prijateljico, ki mu je uspela organizirati sestanek z ustrezno politično odgovornim partijcem na univerzi. Pogovor je bil zelo kratek in v njem je brat Matija izvedel, da »človek iz cerkvene družine pač ne bo kvaril mladine«. Prepričan sem, da na matematiki in širše na univerzi meni in takim, kot je bil na primer Grasselli, nikoli ne bi dopustili postati univerzitetni učitelji, če bi le imeli izbiro. Ker »boljših« ni bilo, smo lahko učili tudi »nečisti«. Na matematiki so bili takrat v začetku zadovoljni le z Bohtetom, pa še on je potem hitro izstopil iz partije in do prihoda mlajših ni bilo nikogar, ki bi bil v partiji. S tem je bilo potem kar neka problemov. Takrat je bilo namreč za izvolitev treba preveriti troje: strokovno, znanstveno in družbenopolitično ustreznost. Pozneje je dolga leta (za mnoge nečastno) funkcijo pisanja družbenopolitičnih poročil zelo korektno in učinkovito opravljal Batagelj⁶⁹. On je bil v partiji, a je bil tudi izjemno korekten in učinkovit. Za namene obveznih družbenopolitičnih poročil je imel kar formular, v katerega se je vneslo le ime, vse drugo, kar je bilo pač »potrebno«, se je izpisalo avtomatično.

Se morebiti spominjate naslednjega dogodka, ki ga je v zvezi z vami ob tej priložnosti opisala gospa Marija Jozelj. Za mlajše bralce omeniva še, da je gospa Jozelj dolgo let vodila pisarno Odseka za matematiko. Bilo je okrog leta 1970 na takratnem Odseku za matematiko. Vi ste bili takrat mlad učitelj. Ko je profesor Bohte izstopil iz Komunistične partije (KP), je na takratnem Odseku za matematiko nastal »upravni vakuum«, kajti nikogar ni bilo, ki bi bil lahko ob potrebnih vlogah napisal »mnenje o družbenopolitični neoporečnosti« kandidatov. Na Odseku ste takrat pri iskanju rešitve najbrž v okviru neformalne funkcije očitno sodelovali tudi vi. Iskali ste namreč primerne kandidata, ki bi bil pripravljen postati član KP. Nekako ste izvedeli, da asistent Lebedinc ni imel »verskega ozadja«, oziroma tudi, da ni bil pri »birmi« in se je tako zdel potencialno primeren. Asistent Lebedinc je bil ob vaši prisotnosti povabljen v pisarno k gospe Mariji Jozelj. Ko ste mu predstavili namen vabila, je menda precej začudeno vprašal, kako ste prišli na idejo, da bi povabili ravno njega. Gospa Jozelj naj bi mu z nekoliko zadrege odgovorila, da ... ste ugibali, da bi se mu morebiti to zdelo sprejemljivo, ker da verjetno ni veren in ni bil pri »birmi«. Menda je Lebedinc tedaj prošnjo odločno zavrnil in dodal, da bo, če bo treba, raje šel k birmi. Se spomnite tega dogodka? Kako se je zagata rešila? Kdo je potem pisal poročila o »družbenopolitični neoporečnosti«?

⁶⁹Vladimir Batagelj (1948), slovenski matematik, učitelj na FMF UL.

(Smeh) Ja, Lebedinc je bil na faksu moj kolega. In bil je sin imigranta iz takratne Sovjetske zveze. Ja, res je (smeh). Tako je bilo. Ne vem pa točno, kako smo problem rešili. Nekako smo prebrodili čas do takrat, ko so prišli mlajši kolegi, ki so bili v partiji. Ne vem, ali je takrat že prišel Batagelj. Ali smo mogoče prosili kakega fizika. Tam je bilo dovolj ljudi, ki so bili v partiji. Spomnim se Lojzeta Kodreta⁷⁰, on je bil dolga leta sekretar partije na Oddelku za fiziko in z njim sva bila vedno v dobrih odnosih. Bil je zelo zanimiv sogovornik in se je bilo z njim mogoče vselej vse pogovoriti.

Drugi, še zgodnejši dogodek, ki opisuje specifičnosti tistega časa, do katerega vi gojite posebno občutljivost ter ga je tudi povezano z vami opisala gospa Jozelj, se nanaša na močne in hkrati posebne ter tudi skromne osebnosti tistega časa, kot sta bila Plemelj in Vidav. Čeprav so bile takrat posledice »nespoštovanja družbenopolitične korektnosti«⁷¹ lahko zelo hude, so nekatere takratne avtoritete znale prefinjeno inteligentno krmariti znotraj okvirov možnega. Bilo je v začetku vašega študija v petdesetih letih prejšnjega stoletja. Iz takratnega Ministrstva za prosveto oziroma od takratnega generalnega sekretarja Univerze Trampuža⁷¹ je prišla direktiva, da se za božič, ki je bil delovni dan, posebej preveri izvajanje in prisotnost na predavanjih. Gospa Jozelj, ki je takrat šele dobro začela svojo službo, je z direktivo seznanila takratno eminenco Odseka za matematiko profesorja Vidava. Vidav je tovarišu Trampužu posredoval kratko sporočilo, da bo poročilo o predavanjih na božični dan enako, kot je poročilo za običajne delovne dni. In da – ker še za noben drug delovni dan taka poročila niso bila zahtevana – tudi poročila o prisotnosti na predavanjih za božični dan ne bo posredoval. Se spominjate podobnih dogodkov?

Ja, dobro se spomnim političnih dilem in pritiskov tistega časa. Študentov nas je bilo takrat zelo malo. Le 5–10 v dveh združenih letnikih in na predavanja, tudi če bi bila, preprosto ne bi bili prišli. Takrat so bila predavanja sicer tudi še ob sobotah. In o praznikih, odpovedih pouka preprosto ni bilo govora. Vidav o tem nikoli ni nič rekel, pa smo vsi vseeno vedno vedeli, kako in kaj. Kot tisti odziv oblastnikom (smeh): »Če me za druge dni niste vprašali, me tudi za tega ni treba!« pa je bilo opravljeno.

Povejte še kaj o vaši družini.

O mami in očetu sem nekaj že povedal. Moj oče je vsaj kakih sedem let tesno sodeloval s Plečnikom⁷². Bil je njegov nadzorni inženir in statik. Po

⁷⁰ Alojzij (Alojz) Kodre (1944), slovenski fizik in prevajalec, učitelj na FMF UL.

⁷¹ Boris Trampuž – Čož (1912–1975), diplomat, družbenopolitični in kulturni delavec, od 1945–47 je bil šef kabineta in načelnik pravno-organizacijskega odseka pri ministrstvu za notranje zadeve LRS ter praktično do smrti zasedal pomembne politično konzularne funkcije.

⁷² Jože Plečnik (1872–1957), najbolj poznani slovenski arhitekt.

kakih sedmih ali mogoče desetih letih je moj oče hotel biti bolj samostojen in je šel na svoje. Plečnika je vsestransko občudoval, je pa ta pričakoval brezpogojno predanost; znano je, da so se praktično vsi njegovi sodelavci čez nekaj let poslovili. Tako sta se z očetom mirno in sporazumno razšla, kar je oče zelo obžaloval. Sicer nas je bilo pa šest otrok. Poleg mene tri starejše sestre in dva mlajša brata. Najstarejša sestra Marjeta je bila 10 let starejša od mene. Bila je psihologinja. Imela je štiri otroke. Tadeja Krečič, ki včasih na radiju opisuje kulturne dogodke, je njena hči. Dirigent Simon Krečič iz Maribora je vnuk te moje sestre. Peter Krečič, njen najstarejši sin, je bil dolgo ravnatelj Arhitekturnega muzeja. Druga sestra Nataša je študirala arhitekturo in je bila ena zadnjih Plečnikovih študentk. Dolga leta je delala na Zavodu za spomeniško varstvo, vodila je na primer obnovo dvorca Betnava pri Mariboru, pa gradu Rihemberk – Branik, obnovo Štanjela in še številnih drugih objektov predvsem po Primorski. Sestra Nataša je imela tudi kar nekaj težav v življenju, od že omenjene izključitve iz šole takoj po vojni do smrtne nesreče njenega prvega moža, ki se je kot alpinist ubil v gorah. Skoraj sedemdeset jih je pa štela, ko je dve leti po svoji upokojitvi doktorirala na umetnostni zgodovini s proučevanjem stavbne dediščine Krasa. Tretja sestra Andreja je bila zdravnica, anesteziistka, z njo sva si bila tudi po letih najbližja, saj je bila le štiri leta starejša od mene. Umrla je za rakom že pred šestnajstimi leti. Najstarejši od bratov sem bil jaz. Le leto in pol mlajši od mene je bil Matija. Z njim sva si bila kot dvojčka in se vedno najboljše razumela. Kot sem že omenil, Matija ni bil dober dijak v gimnaziji, pozneje, pri študiju arhitekture, se je pa izkazal. Tudi diplomiral je kot prvi v letniku. Matija je arhitekt praktik. Veliko je delal za Cerkev, kot na primer pri obnovi frančiškanskega samostana⁷³ v Kopru. Nedavno je dobil *Odličje sv. Cirila in Metoda* za izjemne dosežke pri prenovah cerkvene arhitekture, ki obsegajo predvsem frančiškanske zgradbe v Ljubljani, Mariboru, Kopru, Kamniku in najbrž še kje. Matija je sodeloval pri številnih zelo lepih in modernih adaptacijah sakralnih objektov. Na primer, pri nastajanju brezjanskih svetih vrat je sodeloval s kiparjem Mirsadom Begićem. Matija je v svojem življenju naredil res ogromno stvari. Dobro poznam njegovo delo, ker mu pomagam urejati evidenco vsega, kar je naredil. Na spiskih je stotine in stotine stvari. Težko je verjeti, da je en človek lahko toliko naredil. Najmlajši brat Janez, ki je sedem let mlajši od mene, je tudi arhitekt in najbolj medijsko poznan v naši družini. Z njim sva si bila že po letih precej različna. Najbrž se je takrat tudi vzgoja nekako spremenila, saj sta bila starša že starejša in je bil tako najmlajši brat Janez v primerjavi z

⁷³Začetki gradnje cerkve in frančiškanskega samostana v Kopru segajo v leto 1493 z dograditvijo leta 1513. Današnja cerkev sv. Ane je bila dograjena leta 1627. Leta 1954 je bil samostan nacionaliziran in v nadaljevanju uporabljen kot zapor. Z denacionalizacijo je bil leta 2004 samostan vrnjen frančiškantom, zapor pa se je preselil na današnjo lokacijo na Ankaranski cesti v Kopru. Leta 2005 so se začela obsežna obnovitvena dela.

nami že malo razvajen (smeh). Ta različnost vzgoje ni najbolje vplivala na odnose med nami. Seveda se povsem dobro razumemo, a z Janezom nisva nikoli imela tako tesnih stikov kot z Matijo. Janez ni, kolikor vem, nikoli delal večjih oziroma običajnih arhitekturnih načrtov, ampak se je ukvarjal z opremo in sodobnim oblikovanjem. Sodeloval je na primer pri oblikovanju znaka Ljubljanske banke.

Kako preživljate upokojska leta? Kako vam služi zdravje? Kako preživljate epidemijo?

Če začnem z epidemijo. Z njo nimam nobenih težav. Vem, da je za mlade težko. A nekaj odrekovanja in potrpljenja bi moral biti sposoben vsakdo. Dobro se še spomnim vojnih časov. Bilo je leta 1943, ko so Nemci prišli v Ljubljano. Takrat sem obiskoval 3. razred osnovne šole v prostorih, kjer je danes OŠ Vita Kraigherja ob Vodovodni cesti za Bežigradom. Šolo je zasedla nemška vojska in šoli so pustili le dve učilnici. Dve učilnici za celo šolo. Vodstvo šole ni imelo izbire in je v ti dve učilnici razporedilo vse razrede. Tako smo imeli pouk vsaki drugi dan po dve uri in to je trajalo približno dve leti do konca vojne. Sprejeli smo, kar smo morali, in se pač vsak po svoje potrudili. Težko prenašam, ko danes poslušam jadikovanje raznih ravnateljev in drugih odgovornih v šolstvu o nevezdržnosti razmer v šoli in o trajnih škodljivih posledicah za bodoče generacije, ki naj bi jih povzročila drobna in glede na resnost trenutne epidemije povsem nujna odrekovanja šolskemu udobju. V osmi gimnaziji na bežigrajski gimnaziji nas je bilo v razredu 39, kar je bilo takrat povsem normalno število in od teh 39 jih je 7 pozneje naredilo doktorate. Torej tisti dve leti zelo pomanjkljive šole, ki smo jo imeli v vojnih časih, ni imelo kakih hudih posledic. Svet se ne bo podrl zaradi kančka manj udobja razvajenih, ampak mogoče zaradi preveč udobja in razvajenosti. Odrekovanja in omejitve, ki jih predstavlja epidemija, pač sprejemam kot nujni in neobhodni del življenja. Držim se navodil, cepil sem se takoj, ko sem se lahko. Omejil, ne pa povsem ustavil, sem stike. Pač odgovorno obnašanje, kot ga razumem. Dolgčas mi ni. Veliko čitam. Veselje imam z vrtom in svojimi rastlinami, čeprav moram upoštevati svoje telesne omejitve in sem zato precej počasen in neučinkovit. Pišem in urejam svoje botanične zapiske. Pred približno šestimi leti me je nenadoma začelo boleti koleno. Gre za klasično obrabo sklepov, ki se sicer uspešno odpravlja z operacijo, a pri meni so žal ugotovili, da imam pod koleni tudi *arterijske anevrizme*, ki verjetnost uspešnosti operacije zelo zmanjšajo, oziroma obstaja nevarnost, da se pri operaciji izgubi noga. Iz svoje radovednosti sem to še malo raziskal, ker se mi je zdelo, da če zna medicina zelo uspešno narediti srčni by-pass, bi pa verjetno lahko odpravila tudi žilne težave v kolenu. Prišel sem do posvetov z vrhunskimi žilnimi specialisti, ki so me podučili, da stvari niso tako enostavne in da (smeh) preprosta »žilna hidrodinamika« pove, da je kaj podobnega, kot bi bil by-pass na kolenu, zelo rizična zadeva.

Pozneje se je levemu kolenu pridružilo še desno. Spomnim se (smeh), da me je levo koleno takrat pred šestimi leti prvič opozorilo nase, ko sem na strehi popravljaj dimnik. Tako sedaj, ko stojim ali hodim, čutim konstantno bolečino. Na srečo bolečina ni prehuda. Hodim težko. Sto metrov lahko prehodim. Dvesto že težje. Kilometer je že zgornja meja, ki zahteva, da prej vzamem tableto proti bolečinam. Sicer se tabletam izogibam. Možnost hoje zelo pogrešam.

Kakšen je vaš pogled nazaj? Kakšen naprej? Kaj obžalujete? Če bi lahko, kaj bi iz vaše današnje perspektive prišepnili mlademu Antonu Suhadolcu iz leta 1950, 1960 ali 1970? Bi kaj svetovali tistim, ki imajo danes 20, 30 ali 40 let?

S pogledom naprej je tako, kot je Plemelj pisal Hermannu Weylu: »Kaj pa naj od prihodnosti pričakujem drugega kot žalost in bolezen?« Jaz ne bi bil tako pesimističen in bi rekel, da je bolezen neizbežna, saj brez bolezni ali nesreče še umreti ne moreš. Žalost je pa v večji meri odvisna od posameznika in je bolj povezana s tem, kaj drug drugemu povzročamo. Upam, da žalosti sebi ali svojim bližnjim ne povzročam in ne bom povzročal. Nisem tak pesimist kot Plemelj in življenje je naravna pot, ki se enkrat konča in pika. V hecu bi dodal, da ko bom odhajal, mi bo žal za hišo (smeh), ker sem se tako navezal nanjo, ker sem tako veliko naredil sam. S tem želim povedati, da bi mi bilo zelo hudo, če bi moral v dom. Seveda pa ob treznem premisleku niti tega človek ne more izključiti. Ob pogledu nazaj pa nimam posebnih obžalovanj. Gotovo nisem bil brez napak in bi seveda marsikaj lahko storil tudi drugače, a glede na razmere in okoliščine sem s tem, kar sem v življenju počel, povsem zadovoljen. Spomnim se na primer, kako je bilo, ko sem postal asistent. Takrat smo bili več ali manj prepuščeni sami sebi. To so bile povsem druge razmere, kot so danes. Plemelj je predaval svoje tri predmete bolj ali manj enako, kot na začetku svoje kariere. Glede na razvoj matematike v tistem času smo slišali zelo malo in novih področij smo se učili sami. Tri predmete, ki jih je predaval Vidav, je podedoval po Zupančiču. To so bili Elementarna in projektivna geometrija, Diferencialna geometrija in Kritični uvod v infinitezimalni račun. Pri slednjem je Vidav vnašal nekaj novih vsebin. Je celo definiral Banachov prostor, a to sta bili dve strani mojih zapiskov. Nekaj malega je bilo tudi o teoriji mere. Da ne bo pomote, oba sta čudovito predavala, a vsebin in profesorjev je bilo malo in imeli smo strašen deficit splošnega znanja v primerjavi z najboljšimi šolami po svetu. Seveda smo se naučili matematike več kot dovolj za poučevanje v šoli in dobili smo okus tega, kaj globoka matematika pomeni, a naše znanje je bilo zelo omejeno. Ko smo odhajali v tujino, smo se morali sami ogromno naučiti, da smo sploh lahko razumeli nova področja, kjer so se dogajale zanimive stvari.

Seveda je bilo v preteklosti veliko preizkušenj in ostajajo področja, kjer bi se težko štel za zelo uspešnega. Na primer vzgoja. To je zelo zahtevna tema. Poznam ljudi in tudi kolegico, ki ob vzgoji svojih otrok nikoli ni imela nobenega resnega problema. Vse je teklo zelo gladko in vsaj iz razdalje se zdi, da kar idealno. So pa tudi primeri, ki so zelo drugačni. Tudi sebe bi težko primerjal z omenjeno kolegico, prej s kom drugim. Ob teh vprašanjih se čutim zelo nemočnega. Če bi bil še enkrat v podobni situaciji, ne vem, če bi znal bolje ukrepati. Kot da včasih preprosto ni možnosti za pravo komunikacijo.

Ne vem, res ne vem, kaj bi lahko svetoval mlajšim. Vedno sem se trudil, da sem se učil, poslušal druge, spoznaval in se veselil novih izkušenj, jih skušal razumeti, ukrepati po najboljši presoji in spoznanja ali boljše opažanja deliti z drugimi. Ne vem, kaj bi bil lahko storil boljše. Reči, da bi danes kakšno reč storil drugače le zato, ker se tisto, kar sem storil, ni najbolje obneslo, bi bilo nespametno, saj se človek zaveda svoje nemoči in dejstva, da bi se marsikaj lahko izšlo tudi slabše. Danes pa je življenje tako zelo drugačno, da se ne čutim sposobnega, da bi mlajšim pamet solil. Sploh ker je danes duh časa tako zelo drugačen in imajo, tako se mi zdi, mladi vsaj v primerjavi z našimi mladimi leti občutek, da vse vedo. Občutek imam, da so danes redke izjeme med mladimi ali mogoče tudi že med starejšimi, ki so za poslušanje sploh dovzetne.

Še vaša zaključna misel?

(Zamišljen dolg predah.) Človek se mora truditi početi tisto, kar verjame, da je dobro, in v skladu s svojimi možnostmi, sposobnostmi delovati predvsem tako, da pri tem ohranja čisto vest. Mislim, da je to zelo pomembno, pa čeprav se zdi, da je dandanes vest vse manj upoštevana. Kot da vest izginja in lastno odgovornost zamenjujejo neka čudna, naivna in navidezno objektivna merila. Pri številnih dandanes opazujem, da lastna mirna vest nima nobene vrednosti. Jaz verjamem, da je to najbolj absolutno merilo, kar jih imamo in da bi človek moral tako živeti, da si mu nikoli ne bi bilo treba očitati hujših izdaj lastne vesti. Seveda vsi in vedno delamo napake, a to je drugo. Sprenevedanje ni napaka, sprenevedanje je greh. Potrebno je, kolikor je mogoče, dobrovoljno in pošteno živeti. To pomeni z vedrino in brez zagrenjenosti znati potruditi se in biti odgovoren vsaj do sebe, do svojih bližnjih in do dolžnosti. Zdi se mi, da je v današnjem času malo ljudi, ki znajo odpoved in predvsem svoje lastne in napake svojih bližnjih sprejeti kot normalni del življenja. Zelo malo je danes na primer ljudi, ki so že 62 let poročeni, ne da bi kdaj šli na urad za ločitve (smeh). Seveda je to vprašanje potrpljenja in sreče. Jaz sem v tem pogledu imel tudi srečo (smeh).

Profesor Suhadolc, iskrena hvala za pogovor.

Pogovor pripravil Damjan Kobal

Mednarodni kongres matematike ICM 2022 bo potekal preko spleta

Izvršni odbor Mednarodne matematične unije (IMU) je po začetku vojne v Ukrajini odločil, da bo letošnji kongres ICM 2022 namesto v ruskem St. Petersburgu potekal preko spleta od 6. do 14. julija 2022. Spletna udeležba na kongresu je brezplačna za vse zainteresirane, ki pa se morajo vnaprej registrirati preko povezave na spletni strani www.mathunion.org/icm/virtual-icm-2022.

Pred začetkom kongresa bo 3. in 4. julija v Helsinkih v živo potekala generalna skupščina IMU s predstavniki nacionalnih organizacij in volitvami v organe IMU, 5. julija pa bo v Helsinkih tudi slovesna podelitev nagrad IMU (Fieldsova medalja, IMU Abakus medalja, Chernova medaja, Nagrada Carla Friedricha Gaussa in Nagrada Leelavati). Podelitev bo mogoče spremljati v živo preko svetovnega spleta na naslovu <http://www.mathunion.org/icm/imu-award-ceremony-2022>.

Kongres se bo začel v sredo, 6. julija, s predavanji v tem trenutku še neznanih prejemnikov Fieldsove medalje. V naslednjih dneh bodo sledila sekcijška predavanja v 20 različnih sekcijah ter plenarna predavanja vabljivih predavateljev, katerih imena so bila objavljena že pred nekaj meseci. Okvirni urnik plenarnega dela je tako naslednji:

- Sreda, 6. 7.: štirje Fieldsovi nagrajenci in prejemnik IMU Abakus medalje
- Četrtek, 7. 7.: D. Kazhdan, M.-F. Vigneras in F. Calegari
- Petek, 8. 7.: A. Kuznetsov, M. van Den Bergh in E. Weinan
- Sobota, 9. 7.: K. Buzzard, L. Saint-Raymond, S. Sheffield in F. Pretorius
- Nedelja, 10. 7.: M. Bestvina
- Ponedeljek, 11. 7.: T. Holck Colding, I. Krichever in B. Bhatt
- Torek, 12. 7.: A. Guionnet, C. De Lellis in K. Soundararajan,
- Sreda, 13. 7.: K. Stroppel, A. Widgerson, C. Gentry in U. Vazirani
- Četrtek, 14. 7.: L. Guth, S. Jitomirskaya in prejemnik nagrade Leelavati

Ob robu kongresa bo potekalo tudi nekaj panelnih razprav: *Z najboljšimi praksami k bolj raznovrstni in inkluzivni matematični skupnosti* (petek, 8. 7.), *Ravnotežje med izobraževanjem in spletnim učenjem, Inovacije in nove oblike popularizacije matematike*, ter *Matematične znanosti naslavljajo družbene spremembe in probleme* (nedelja, 10. 7.), *Spletno sodelovanje v matematiki: izzivi in priložnosti za države v razvoju* (torek, 12. 7.).

Natančnejši urnik z naslovi in povzetki vseh (tudi sekcijških) predavanj bo predvidoma na voljo na spletni strani kongresa. Vljudno vabljeni, da si katero od predavanj ogledate tudi sami.

Boštjan Kuzman

Vabilo k vložitvi predlogov priznanj DMFA Slovenije 2022

Spoštovane članice in člani DMFA Slovenije.

Vabimo vas k vložitvi predlogov za podelitev priznanja DMFA Slovenije. Priznanje lahko prejme posameznik ali posameznica za *uspešno delo z mladimi* ali za *strokovno dejavnost*, posameznice oz. posamezniki ali ustanove pa tudi za *uspešno sodelovanje z Društvom* (veljavni pravilnik je objavljen na društveni spletni strani in v Obzorniku za matematiko in fiziko, letnik 65, št. 5).

Pisno utemeljene predloge s kontaktnimi podatki predlagatelja in predlaganega pošljite po e-pošti na naslov tajnik@dmfa.si, do 15. septembra 2022. O prispelih predlogih bo odločila Komisija za društvena priznanja. Priznanja bodo podeljena na letošnjem Občnem zboru DMFA Slovenije. Predlagatelji in prejemniki priznanj bodo o odločitvi komisije obveščeni najkasneje 14 dni pred podelitvijo.

V imenu Komisije za društvena priznanja pripravil Boštjan Kuzman

Vabilo na občni zbor DMFA Slovenije 2022

Spoštovane članice in člani DMFA Slovenije!

Obveščamo vas, da bo 14. 10. 2022 potekalo strokovno srečanje in 75. občni zbor društva. Srečanje bo po dveh letih spet organizirano v živo, načrtujemo naslednje aktivnosti:

- Srečanje fizikov v osnovnih raziskavah
- Pedagoške delavnice (Astronomija, Umetna inteligenca, Matematika)
- Znanstveni predavanja iz matematike in fizike
- Občni zbor društva z volitvami

Lokacija srečanja in ostale informacije bodo objavljene na spletni strani DMFA in poslane po elektronski pošti članom društva.

Na občnem zboru bodo potekale tudi volitve predsednika in članov Upravnega odbora DMFA Slovenije za mandatno obdobje 2023–24. Člani, ki bi želeli nominirati sebe ali druge člane in članice za katero izmed funkcij, naj na naslov tajnik@dmfa.si do 15. septembra 2022 pošljejo kratko predstavitev in pisno soglasje kandidata za nominacijo (če gre za nominacijo druge osebe).

Vljudno vabljeni!

Neža Mramor Kosta, predsednica DMFA Slovenija

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

LJUBLJANA, JUNIJ 2022

Letnik 69, številka 2

ISSN 0473-7466, UDK 51 + 52 + 53

VSEBINA

Članki	Strani
Mehka robotika (Lara Erzin)	41–56
Intervju	
Pogovor s profesorjem Antonom Suhadolcem (Damjan Kobal)	57–87
Vesti	
Mednarodni kongres matematike ICM 2022 bo potekal preko spleta (Boštjan Kuzman)	88
Vabilo k vložitvi predlogov priznanj DMFA Slovenije 2022 (Boštjan Kuzman)	VII
Vabilo na občni zbor DMFA Slovenije 2022 (Neža Mramor Kosta)	VII

CONTENTS

Articles	Pages
Soft robotics (Lara Erzin)	41–56
Interview	57–87
News	88–VII

Na naslovnici: Pero je tvorba iz roževinastega tulca s pahljačastimi izrastki, ki pticam omogoča letenje. Izrastki so dovolj majhni, da se ob uporabi zraka ne deformirajo premočno in pero obdrži svojo funkcionalnost, hkrati pa je struktura dovolj prilagodljiva, da prenese močnejše sunke ali celo manjše poškodbe. Fotografija je sestavljena iz dveh delov, spodnja polovica je štirikratna povečava zgornje. Foto: Aleš Mohorič