



Silvija Gradečak-Garaj, hrvatska eksperimentalna fizičarka u području znanosti o materijalima

Od rođenja u Vukovaru, diplomskog studija u Zagrebu,
doktorskog studija u Lausanni, usavršavanja na Sveučilištu Harvard
do profesorice na MIT-u u SAD i NUS u Singapuru.

Ana Smontara

Ove školske godine obilježava se sedamdeset pet godina neprekidnog izlaženja Matematičko-fizičkog lista, a obilježit će se i kroz objavu zanimljivih razgovora sa znanstvenicima, kojima je list služio kao izvor zanimljivih priča, poticajnih zadataka i inspiracije, kako kaže naša sugovornica, svjetski priznata stručnjakinja u području znanosti o materijalima.



Silvija Gradečak-Garaj

Silvija Gradečak rođena je 30. ožujka 1975. u Vukovaru, te je završila osnovnu školu Božidara Maslarića u Borovu. Prva dva razreda gimnazije polazila je u Vukovaru, a posljednja dva u Varaždinu. Nakon gimnazije upisala je studij fizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (PMF) Sveučilišta u Zagrebu. Godine 1996. primala je stipendiju grada Zagreba, te je dobila i Rektorovu nagradu za najbolji studentski projekt Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 1995./96. Godine 1998. s kolegama sa studija, predvođenih Nikolom Biliškovim i Slavenom Garajem, sudjelovala je u organizaciji i provođenju znanstvenog projekta *International Leonid Watch Croatia* u Ulan Batoru, Mongolija. U razdoblju 1998. – 1999. pored studija

obnašala je i dužnost laborantice u Laboratoriju za strukturalna ispitivanja profesora Antuna Tonejca, na Fizičkom odsjeku (FO), PMF-a. Diplomski rad *Toplinska i strukturalna svojstva tvrdog ugljika* izradila je u Laboratoriju za mjerenje toplinske vodljivosti pod mentorstvom dr. sc. Ane Smontare na Institutu za fiziku, te u komentorstvu profesorice Anđelke Tonejc diplomirala eksperimentalnu fiziku 1999. U razdoblju od 1999. do 2003. bila je postdiplomandica na Švicarskom saveznom institutu za tehnologiju (Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)) u Lausanni. Godine 2001. dobila je stipendiju Švicarskog društva za optiku i mikroskopiju, te 2003. obranila doktorski rad *Structural and optical properties of laterally overgrown gallium nitride studied by electron microscopy* izrađen u Interdisciplinarnom centru za elektronsku mikroskopiju pod mentorstvom profesora Pierrea Stadelmanna. Godine 2004. bila je znanstvena suradnica na Institutu za kvantnu elektroniku i fotoniku EPFL-a (voditelj Marc Ilegems), a od 2004. do 2006. bila je postdoktorandica u grupi profesora Charlesa M. Liebera na Odjelu za kemiju i kemijsku biologiju Sveučilišta Harvard (Cambridge, Massachusetts). Znanstveno-nastavnu karijeru započela je 2006. na Massachusetts Institute of Technology (MIT), Odjel za materijale, znanost i inženjerstvo, a zvanje redovite profesorice stekla je 2017. Već 2019. postaje profesorica znanosti i inženjerstva materijala na National University of Singapore (NUS), gdje je osnovala Sveučilišni centar za

elektronsku mikroskopiju i Laboratorij za karakterizaciju materijala. Od 2019. do 2020. bila je ravnateljica Ureda zamjenice predsjednika za istraživanje i tehnologiju na NUS-u. Od 2020. vodeća je istraživačica i dodirektorica u Applied Materials-NUS Advanced Materials Corporate Laboratory. Glavna je istraživačica unutar Low Energy Electronics Interdisciplinarnog istraživačkog programa u okviru Singapore-MIT Alliance for Research and Technology (SMART) centra Campus for Research Excellence and Technological Enterprise Singapore (CREATE). Vođena vizijom unapređenja nanoznanosti i mijenjanja načina na koji svijet razmišlja o materijalima, sa svojim suradnicima posvetila se rješavanju ključnih materijalnih izazova kombiniranjem sinteze nanoobjekata i njihovog sklapanja u funkcionalne uređaje za nanoelektroniku, nanofotoniku te prikupljanje i pretvorbu energije. Grupa koristi i razvija nove eksperimentalne tehnike za uspostavljanje korelacije 'obrada-struktura-svojstva' prema istinski determinističkoj nanoznanosti. U autorstvu/koautorstvu objavila je veliki broj znanstvenih radova u najprestižnijim znanstvenim časopisima koji su u literaturi spominjani više od deset tisuća puta. Za svoj rad, između ostalih, dobila je brojna priznanja/nagrade: CAREER, 3M Innovation Award, inaugural 2012 Nano Letters Young Investigator Lectureship i MIT Graduate Materials Council Outstanding Teaching Award.

Rodeni ste u Vukovaru, gdje ste polazili osnovnu i prva dva razreda srednje škole, da biste zadnja dva razreda, zbog rata, završili u Varaždinu. Opišite neka Vaša lijepa sjećanja iz mladenačkog doba.

Osnovnu školu sam pohađala u školi Božidara Maslarića u Borovu. Tog doba se sjećam s radošću i veseljem jer mi je djetinjstvo doista bilo lijepo i ispunjeno igrom, druženjem s prijateljima i učenjem. U osnovnoj školi sam pohađala natjecanja iz dramskih umjetnosti, te sam dosegla regionalne nivoe natjecanja i nastupe na većim manifestacijama. Mislim da su mi ta iskustva kasnije pomogla da se oslobodim straha od nastupa pred publikom, jer po prirodi nisam okrenuta prema vanjskom svijetu. Isto tako, već kao dijete sam shvatila da me puno više zanimaju matematika i praktične stvari. Roditelji su sestru i mene učili vrijednostima rada i kod kuće smo uvijek imali puno različitog materijala za modeliranje i rukotvorine pa su me posebno veselile aktivnosti koje su iziskivale kreativnost. Samo da se prisjetimo, tada nije bilo puno igračkaka kao danas pa smo ih često puta sami izrađivali!

Rano je počeo Vaš interes za prirodne znanosti, točnije astronomiju, a potom i fiziku.

Nakon završetka osnovne škole, bilo mi je prirodno krenuti u Gimnaziju jer su me matematika i prirodne znanosti posebno zanimala i veselile. U Vukovaru je postojao dobar gimnazijski program i tamo sam doista počela osjećati veliku ljubav prema astronomiji koja budi maštu, a istovremeno je bazirana na prirodnim zakonima – uspješna kombinacija! Posljednja dva razreda sam završila u gimnaziji u Varaždinu, gdje sam naučila vrijednosti marljivog učenja te se pripremila za kasniji studij na fakultetu u Zagrebu. Ljubav prema astronomiji i astrofizici se produbila tijekom tog perioda te sam igrom slučaja saznala za Ljetnu školu iz astronomije u Višnjaju. Sudjelovanje u njoj je bila jedna od najbitnijih prekretnica u mom životu. Korado Korlević (voditelj škole) s ekipom iz Višnjaja je napravio nevjerojatan program koji je mladim ljudima približio znanost kroz veseo i interesantan pristup, ali istovremeno ispunjen znanstvenom težinom i ozbiljnošću. Tamo sam naučila osnove znanstvenog pristupa, postavljanje hipoteze, analize rezultata te vrijednosti odličnog tima i rada u grupi.

Kada i kako ste se susreli s Matematičko-fizičkim listom (MFL) i koliko Vam je on značio tijekom školovanja?

S MFL-om sam se prvi put upoznala još u osnovnoj školi i svaki sam broj čekala s nesrpljenjem. U vrijeme bez interneta i pristupa znanstvene literature mladima, list je služio kao izvor zanimljivih priča, poticajnih zadataka i inspiracije. Uz časopis Galaksija, MFL je služio kao rijedak poticajni primjer za djecu i mlade koji vole znanost. Uvijek sam se

radovala zanimljivim zadacima koji su zahtijevali malo više kreativnosti i rada od onoga što smo mogli naučiti u školi.

Nakon srednje škole, započeli ste studij fizike na PMF-u. Kako je tekao Vaš studij? Koji su Vam kolegiji bili najzanimljiviji i koje Vas je područje u fizici najviše zaokupilo tijekom studija?

Studij fizike sam započela s namjerom da se bavim astrofizikom. Doista, godinama sam se bavila astronomijom te sam tijekom studija s grupom dobrih prijatelja išla na česte ekspedicije astronomskih promatranja. Posebno sam ponosna na meteorsku ekspediciju u Mongoliji, koju sam organizirala s manjom grupom prijatelja i astronomskih entuzijasta. Ekspedicija je zahtijevala organizaciju puta, dizajn eksperimenta za snimanje zvukova prouzrokovanim prolaskom meteorita kroz atmosferu te prikupljanje sredstava za put. Ekspediciji se pridružio i profesionalni snimatelj te je na osnovu ekspedicije nastao i dokumentarni film. Taj neovisni studentski pothvat koji je bio plod entuzijastičnog rada grupe studenata je rezultirao vrlo značajnim člankom u znanstvenom časopisu [1] te je bio nagrađen rektorovom nagradom. Gledajući unatrag, taj zajednički pothvat koji je često izgledao kao nemoguća misija, bio još jedna od najvažnijih prekretnica i motivacijskih trenutaka mog života. Pokazalo nam se da s puno truda i grupnog rada i nemoguće misije postaju realnost.

Vjerojatno ste se već tijekom studija opredijelili za strukturalna istraživanja u području fizike čvrstog stanja. Tko Vas je usmjeravao u Vašem izboru? Već na posljednjim godinama studija započeli ste surađivati s poznatim fizičarima, kod nas i u svijetu. Možete li nam nešto reći o tome?

Tijekom studija mi se razvio interes u području eksperimentalne fizike. Iako je astrofizika još uvijek bila izvor kreativne inspiracije, u eksperimentalnoj fizici me privlačila mogućnost znanstvenog pristupa koji omogućava postavljanje hipoteze, njezino testiranje, te razvijanje novih znanja o svijetu oko nas. Mogućnost rada s rukama, što vodi opipljivim rezultatima, je bio aspekt koji sam sve više cijenila. Imala sam priliku raditi u laboratoriju elektronske mikroskopije na FO PMF-a, pod vodstvom profesorice Anđelke Tonejc. U šali znam reći da sam zamijenila teleskope s elektronskim mikroskopima te umjesto gledanja zvijezda na velikim, počela gledati atome na najmanjim skalama. Naime, priroda je fascinantna bez obzira koji problem odaberemo, sve dok mu pristupimo sa znatiželjom i interesom. Diplomski rad sam radila pod vodstvom dr. Ane Smontare na Institutu za fiziku, koja je svjetski ekspert u području fizike čvrstog stanja. Oba iskustva su me naučila kako se radi globalno kompetitivna znanost koja ovisi o kreativnosti znanstvenika, a posebno o marljivom radu. Posebno bih istaknula rad u laboratoriju dr. Smontare, koji mi je omogućio rad s međunarodnim timovima [2], pristup interesantnim materijalima pa čak i međunarodna znanstvena putovanja. Modeli uspješnih znanstvenika, koji daju priliku i pružaju pouzdanje mladim znanstvenicima, su nešto što sam naučila tijekom posljednjih godina studija te kroz svoju karijeru pokušavam to posebno prenijeti na mlade generacije.

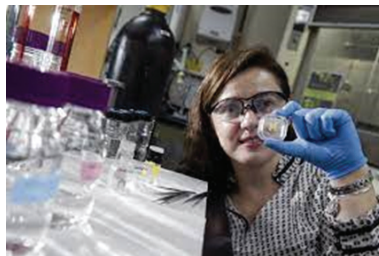
Za kratko vrijeme nakon diplomiranja ste doktorirali. Kako ste našli temu za doktorat, nakon čega Vas je čekao zaista naporan rad na Visokoj tehničkoj školi (Swiss Federal Institute of Technology Lausanne – EPFL) u Lausanni?

Iskustvo u području čvrstoga stanja i elektronskoj mikroskopiji mi je otvorilo vrata za doktorski rad na EPFL-u. Tamo sam se pridružila grupi za elektronsku mikroskopiju te se posvetila proučavanju galij nitrida, poluvodiča koji je tek tada postajao sve značajnijim. Naime, galij nitrid se sada svakodnevno koristi te je osnovni materijal u LED žaruljama koje su ekološki prihvatljiva zamjena tradicionalnih žarulja, ali je u to vrijeme bilo tek u početnim stadijima istraživanja. Tijekom doktorskog rada, imala sam pristup najmodernijim instrumentima i mogućnosti rada s vrhunskim stručnjacima. Mislim da je jedno

od ključnih iskustava bila mogućnost rada s grupama koje sintetiziraju materijale, te kombinacija višestrukih znanstvenih disciplina koje se stapaju u jednu cjelinu. Iako sam bila educirana kao fizičar, shvatila sam da je znanost o materijalima ono što me ispunjava i što će biti moj dugoročni interes.

Od švicarske vlade dobili ste stipendiju za napredne mlade istraživače, koja Vam je omogućila odabir postdoktorata bilo gdje u svijetu i izabrali ste Sveučilište Harvard. Nakon postdokorskog usavršavanja dobivate poziciju u Odjelu za znanost o materijalima MIT-a. Tamo uspostavljate vlastiti laboratorij i osnivate grupu za istraživanje nanomaterijala, te dobivate profesorsku poziciju na tom fakultetu.

Da, stipendija za napredne istraživače mi je omogućila da osiguram postdoktorsku poziciju na Harvardu. Rad u jednoj od najboljih svjetskih grupa u području nanomaterijala mi je dao mogućnost da osjetim kako je raditi na područjima koja se tek otvaraju i koja ponekad zvuče futurističkima. Ta kreativnost i hrabrost koja se mogla osjetiti na Harvardu je ostavila dubok trag u meni te me potakla da počnem razmišljati o samostalnoj karijeri. Bila sam sretna i privilegirana dobiti poziciju na MIT-u, koje je jedno specijalno mjesto prepuno kreativnih umova i izvrsnih studenata. Imati priliku rada s budućim Nobelovcima, kao Moungi Bawendi koji je dobitnik Nobelove nagrade za kemiju u 2024., je neprocjenjiva.



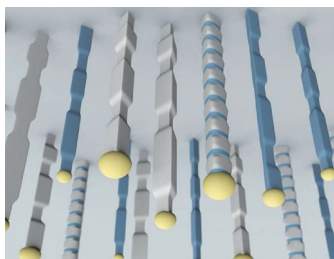
Slika 1. Silvija-nanožice i grafen: ključ jeftinih, fleksibilnih solarnih ćelija.

Nakon nekoliko godina posebno uspješnog rada na MIT-u, svoja istraživanja nastavljate u Nacionalnom sveučilištu u Singapuru (NUS) gdje se i stacionirala Vaša obitelj (suprug Slaven i sinovi Lucian i Stribor). Osnivate Sveučilišni centar za elektronsku mikroskopiju i Laboratorij za karakterizaciju materijala [3]. Sudjelujete u izobrazbi novih generacija znanstvenika, predavanjima raznih kolegija te mentorstvom specijalizanata i doktoranda.

Nakon četrnaest godina provedenih na MIT-u, pružila mi se prilika osnovati i voditi nekoliko velikih projekata na NUS-u, gdje sam od 2019. To je jako dinamično mjesto, kreativno i s puno ambicija. Posebna pažnja se posvećuje primijenjenim znanostima, koja su moja velika ljubav te mi omogućavaju rad na problemima koji mogu napraviti trenutni utjecaj. Od nedavno, preuzela sam poziciju prodekana za znanost na NUS-u, te se nadam da ću znanstvenoj zajednici moći vratiti barem djelić onoga što sam od nje primila [3]. Singapur je omogućio mom suprugu Slavenu i meni da oboje imamo karijere iz snova. Izvanredni školski sistem i činjenica da je Singapur jako siguran grad, pomoglo nam je da taj predivan grad, bez velikog razmišljanja, odaberemo kao mjesto gdje će naša cijela obitelj biti sretna, uspješna i zadovoljna.

Područje Vašeg znanstvenog interesa vrlo je široko. Molim Vas navedite ukratko koji su Vaši najznačajniji znanstveni rezultati?

Moja istraživanja se fokusiraju na pitanja kako se svojstva materijala mogu modulirati pomoću promjene dimenzija tog materijala (slika 2). Neka od značajnijih istraživanja su bila posvećena razvoju najmanjih lasera i svjetlećih dioda, efikasnih fleksibilnih solarnih ćelija ili na istraživanja kako se dvodimenzionalni materijali mogu modulirati pomoću twista (slika 3). Neki od nedavnih uspjeha se odnose na primjenu dvodimenzionalnih materijala u mikroelektronici za koji se nadam da će uskoro imati i praktičnu primjenu te da blisko surađujem s nekim od najvećih kompanija u svijetu mikroelektronike.



Slika 2. Twist nanožice dobivene tehnologijom razvijenoj na MIT-u kojom se može kontrolirati sastav i strukturu tih sićušnih žica dok rastu.



Slika 3. U Silvijinom Laboratoriju za karakterizaciju materijala na NUS-u.

Objavili ste u koautorstvu veliki broj izuzetno vrijednih znanstvenih radova, održali velik broj pozvanih predavanja/seminara. Koje ste prestižne nagrade dobili za svoj znanstveni rad?

Osobno, najdraža su mi priznanja studenata za najboljeg predavača na MIT-u, ali i na NUS-u. Posebno me veseli kada studenti postaju inspirirani s onim što im predajem. Znanstveno, dobila sam 3M Inovacijsku nagradu, nagradu Nacionalne agencije za znanost SAD-a, te prvu nagradu Nano Letters.



Slika 4. Silvijska – lijevo vodeća znanstvenica u istraživanju materijala na NSU; desno – dobitnica nagrade Graduate Materials Council Outstanding Teaching Award na MIT-u.

Na kraju Vam najsrdacnije zahvaljujem što ste odvojili dragocjeno vrijeme za razgovor tijekom boravka u Republici Hrvatskoj i sudjelovanja na Međunarodnoj konferenciji u Cavtatu [3], potom posjeti FO PMF-a i Institutu za fiziku. Možete li uputiti poruku mladim čitateljima koji bi se željeli posvetiti prirodnim znanostima, posebno fizici?

Hvala na prilici za ovaj razgovor. Posebno me raduje imati priliku odgovoriti na pitanja za časopis koji me inspirirao još u djetinjstvu i koji je bio jedan od glavnih izvora ljubavi prema znanosti. Poruka za mlade je da je znanost neiscrpní izvor radosti, uzbuđenja i avantura. Uz marljivi rad i malo hrabrosti, znanost može istodobno biti posao, hobi i strast, [4]. *Just go for it!*

Literatura

- [1] ŽELJKO ANDREIĆ, DEJAN VINKOVIĆ, SLAVEN GARAJ, GORAN ZGRABLIĆ, DAMIR KOVAČIĆ, SILVIJA GRADEČAK, NIKOLA BILIŠKOV, NEVEN GRBAC, *Instrumental detection of meteor-produced VLF electromagnetic radiation*, 2000.
- [2] J. C. LASAJUNIAS, M. SAINT-PAUL, ANTE BILUŠIĆ, ANA SMONTARA, SILVIJA GRADEČAK, ANDELKA TONEJC, ANTUN TONEJC, N. KITAMURA, *Acoustic and thermal transport properties of hard carbon formed from C60 fullerene*, *Physical Review B*, 66, 2002.
- [3] <https://www.physics2bio.org/>
- [4] <http://silvijska.org/>