

VAKUUMIST 33/2, avgust 2013

VSEBINA

ČLANKI

Vpliv termičnih napetosti na trdnost keramičnih večplastnih kompozitov Milan Ambrožič	4
Prvi Teslovi stiki z vakuumskimi tehnikami (ob 70-letnici smrti) 1. del Stanislav Južnič	10

DRUŠTVENE NOVICE

20. mednarodno znanstveno srečanje »Vakuumska znanost in tehnika« Miran Mozetič	24
Občni zbor Društva za vakuumsko tehniko Slovenije 23. maja 2013 Miha Čekada	28
Pregled konferenc v letih 2013/2014.	29

VAKUUMIST

Časopis za vakuumsko znanost, tehniko in tehnologije, vakuumsko metalurgijo, tanke plasti, površine in fiziko plazme

Izid publikacije je finančno podprla Javna agencija za knjigo Republike Slovenije iz naslova razpisa za sofinanciranje domačih znanstvenih periodičnih publikacij

Glavni in odgovorni urednik: doc. dr. Miha Čekada

Uredniški odbor: dr. Matjaž Finšgar, dr. Jože Gasperič, prof. dr. Monika Jenko, dr. Stanislav Južnič, doc. dr. Marta Klanjšek Gunde, doc. dr. Janez Kovač, prof. dr. Urška Lavrenčič Štangar, dr. Peter Panjan, mag. Andrej Pregelj, dr. Drago Resnik, doc. dr. Alenka Vesel, prof. dr. Franc Zupanič

Tehnični urednik: Miro Pečar

Lektor: dr. Jože Gasperič

Korektor: dr. Matjaž Finšgar

Oblikovanje naslovnice: Ignac Kofol

Tisk: Littera picta, d. o. o., Rožna dolina, c. IV/32–36, 1000 Ljubljana

Naklada: 350 izvodov

Vakuumist on-line: <http://www.dvts.si/arhiv>

Letna naročnina: 25 EUR

ISSN 0351-9716

UDK 533.5.62:539.2:669-982

Izdaja Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije

Teslova 30
1000 Ljubljana

Tel. (01) 477 66 00

E-pošta: info@dvts.si

Domača stran društva: <http://www.dvts.si>

Številka transakcijskega računa pri NLB: 02083-0014712647

Uredništvo Vakuumista

doc. dr. Miha Čekada
glavni in odgovorni urednik Vakuumista
Institut »Jožef Stefan«
Jamova 39
1000 Ljubljana

e-pošta: miha.cekada@ijs.si

tel.: (01) 477 37 96

faks.: (01) 251 93 85

VPLIV TERMIČNIH NAPETOSTI NA TRDNOST KERAMIČNIH VEČPLASTNIH KOMPOZITOV

Milan Ambrožič

STROKOVNI ČLANEK

Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Koroška 160, 2000 Maribor

POVZETEK

Inženirski keramični materiali v splošnem prenesejo veliko večje tlačne napetosti kot natezne. Odpornost proti mehanskim napetostim najlaže merimo s tri- ali štiritočkovnim upogibnim preizkusom, kjer gre za enoosni tip napetosti, nateznih na eni strani vzorca in tlačnih na drugi. Pri uporabi keramičnih izdelkov v različnih temperaturnih območjih se poleg mehanskih napetosti v materialu pojavijo tudi termične, bodisi zaradi temperaturnega gradienta bodisi zaradi razlik v temperaturnem razteznostnem koeficientu zaradi različnih materialov v kompozitu. Največkrat so te termične napetosti škodljive, včasih pa ravno preostale termične napetosti izkoristimo za povečanje učinkovite trdnosti keramike. Poudarek v članku bo na preostalih termičnih napetostih.

Ključne besede: večplastni keramični kompoziti, upogibna trdnost, upogibni preizkus, termična napetost, deformacijski tenzor, napetostni tenzor

Influence of thermal stress on the strength of ceramic multilayered composites

ABSTRACT

Engineering ceramic materials are generally much more resistant to compressive than to tensile stresses. Resistance to mechanical stress is most easily measured by a three- or four-point bending test where a uniaxial stress appears, which is tensile on one side and compressive on the other side of the sample. During the application of ceramic products in different temperature ranges there also exists thermal stress, besides the mechanical stresses. It results either from temperature gradient or from differences in the thermal expansion coefficient due to different materials in the composite. These thermal stresses are in most cases harmful, however, sometimes residual thermal stresses can be exploited for the increase of the effective strength of ceramics. The focus of the paper will be on residual thermal stresses.

Keywords: multilayered ceramic, composites, bend strength, bend test, thermal stress, deformation tensor, stress tensor

1 UVOD

Pri merjenju upogibne trdnosti materialov uporabljamo tri- ali štiritočkovni upogibni preizkus (na kratko 3T- ali 4T-test), vzorci, ki jih pri tem zlomimo, pa so največkrat palčke s pravokotnim ali okroglim prerezom. Značilne upogibne trdnosti inženirskih keramičnih materialov so več sto megapascalov. Upogibna napetost je enoosna in se pogosto pojavlja v praksi pri aplikaciji podolgovatih keramičnih izdelkov. Vendar so velikokrat pomembne tudi termične napetosti, ki nastanejo zaradi temperaturnih gradientov že v kemijsko homogenem materialu, pri temperaturnih spremembah v kompozitih pa tudi zaradi razlik v temperaturnem razteznostnem koeficientu.

Tudi v mnogoplastnem ravnem kompozitu so termične napetosti posledica temperaturnih razlik in raz-

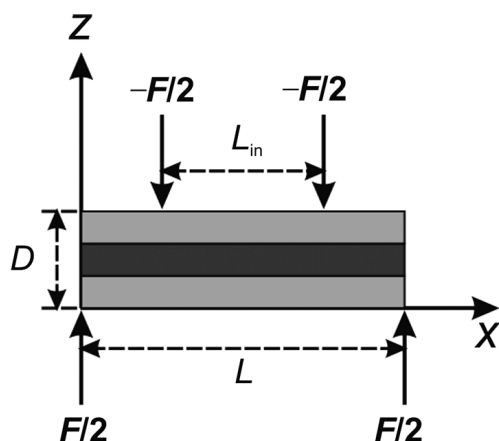
lik v linearnem temperaturnem razteznostnem koeficientu (na kratko TRK). Mednje spadajo tudi preostale termične napetosti, ki nastanejo na naslednji način. Pri temperaturi, nekaj nižji od temperature sintranja, se plasti vzorca začnejo trdneje povezovati med seboj in tedaj še ni termičnih napetosti. Ko se po sintranju vzorec ohlaja na sobno temperaturo, se krči. Vendar pa imajo plasti različne TRK; tiste z večjim TRK se bolj krčijo. V smeri pravokotno na plasti ni nobene ovire za različno krčenje različnih plasti.

Omejitev pa nastane v smereh vzdolž plasti: težnja nekaterih plasti je močnejše krčenje, vendar pa jih pri tem ovirajo plasti z manjšim TRK. Cel vzorec se namreč zaradi trdne povezanosti plasti enako skrči v vzdolžnih smereh. To sicer ni natančno res, kot so pokazali poskusi in težavne računske simulacije, a v prvem približku lahko takšne robne efekte zanemarimo, posebno če je debelina vzorca precej manjša od dolžine in širine. Kako je sedaj s preostalimi termičnimi napetostmi v posameznih plasteh? Plasti z večjim TRK se »hočejo« bolj skrčiti v vzdolžnih smereh, kot jim »pustijo« druge plasti; druge plasti jih torej učinkovito »raztezajo«. Zato sklepamo, da se v plasteh z večjim TRK pri ohlajanju pojavijo natezne preostale napetosti, v tistih z manjšim TRK pa tlačne.

S primerno razporeditvijo plasti lahko dosežemo, da imajo tiste plasti, ki so pri upogibnem preizkusu (pa tudi na splošno pri ustreznih mehanskih obremenitvah izdelkov v uporabi) izpostavljene *največji natezni napetosti*, preostale *tlačne termične napetosti*, ki delno izničijo natezne [1–3]. Zato se poveča sila, pri kateri se vzorec zlomi, ali povedano drugače, poveča se njegova učinkovita upogibna trdnost.

2 MATEMATIČNI MODEL TERMIČNIH IN PREIZKUSNIH NAPETOSTI

Pri opisu se omejimo na keramične vzorce v obliki kvadra dimenzij L (dolžina), W (širina) in D (debelina); pri meritvah trdnosti navadno velja: $L > W > D$. Izberimo kartezični koordinatni sistem tako, da leži os x v smeri dolžine kvadra, os y v smeri širine, os z pa je pravokotna na plasti (*slika 1*). Za spodnjo ploskev vzorca vzamemo $z = 0$. Zapišimo najprej nekaj enačb v splošnem, kjer se fizikalne lastnosti materiala (glede na njegovo sestavo), pa tudi temperatura, lahko spreminjajo samo v smeri osi z . To je potem lahko poleg kompozita z ravnimi plastmi tudi material, pri katerih



Slika 1: Geometrija triplastnega kompozita. Označene so tudi sile pri upogibnem preizkusu; čeprav govorimo o 4-točkovnem preizkusu, so prijemališča vseh štirih sil v resnici porazdeljena po črtah po širini vzorca W (pravokotno na ravnino slike).

se sestava in mehanske lastnosti zvezno spreminjajo po debelini.

2.1 Termična napetost

Če v materialu pri neki začetni temperaturi T_0 ni termičnih napetosti, potem opišemo pri neki drugi temperaturi T zvezo med deformacijskim tenzorjem e_{ij} in napetostnim tenzorjem σ_{ij} z naslednjo enačbo [4]:

$$e_{ij} = \frac{1}{E} [(1+\nu)\sigma_{ij} - \nu\sigma_{ll}\delta_{ij}] + \delta_{ij}\alpha\Delta T \quad (1)$$

Enačba je znana v teoriji elastičnosti trdne snovi, velja pa lokalno, saj se v splošnem komponente obeh tenzorjev (matrik 3×3) spreminjajo od točke do točke. Deformacijski tenzor je podan z relativnimi premiki delov telesa pri deformaciji in je zato brez fizikalne enote. Napetostni tenzor pa je povezan z notranjimi silami na plosčinsko enoto in praktična enota zanj je MPa. E je Youngov elastični modul, ν Poissonovo število, α pa TRK. Za lažjo obravnavo se vzame, kot da se ti parametri ne spreminjajo s temperaturo, ali pa se vzame njihovo povprečje po danem temperaturnem intervalu. Temperaturno spremembo smo označili z $\Delta T = T - T_0$, kjer je $T = T(z)$ nova lokalna temperatura.

V enačbi (1) je Kroneckerjev symbol: $\delta_{ij} = 1$ pri enakih indeksih, $i = j$, sicer pa je nič, torej je povezan z dodatnimi členi pri diagonalnih elementih matrike. Oznaka σ_{ll} pa pomeni sled, to je vsoto diagonalnih elementov napetostnega tenzorja (po Einsteinovi konvenciji lahko eksplicitni znak za vsoto po indeksu l izpustimo, saj nam že dvojni indeks ll nakazuje vsoto). Matrični indeksi so v skladu s kartezičnimi koordinatami: $1 \equiv x$, $2 \equiv y$, $3 \equiv z$. Pri naši geometriji problema sta obe matriki diagonalni. Napetostni tenzor je

dvoosen, $\sigma_{11} = \sigma_{22} \equiv \sigma$, $\sigma_{33} = 0$, medtem ko so vsi trije diagonalni elementi deformacijskega tenzorja različni od nič: $e_{11} = e_{22} \equiv e_x$, $e_{33} \equiv e_z$. Če torej upoštevamo enačbo (1) le za diagonalne elemente obeh matrik, dobimo preproste linearne zveze med njimi.

Vse neznanke lahko izračunamo z zahtevo o ravnovesju sil in navorov. V določenih plasteh vzorca so sile natezne (pozitivne), v drugih pa tlačne (negativne). Skupna vsota nateznih in tlačnih sil, s katerim deluje npr. desna polovica vzorca na levo, pa je zaradi ravnovesja enaka nič. Pri nadaljnjih računih je smiselno razdeliti termično deformacijo vzorca na dva geometrijsko različna dela, ki ju priročno poimenujemo *homogeni* in *upogibni* del: $e_x^t = e_x^h + e_x^u$, $e_z^t = e_z^h + e_z^u$. Podobno naredimo za ustrezno termično napetost: $\sigma^t = \sigma^h + \sigma^u$. Dodali smo oznako »t« k termičnima tenzorjema in ustreznim komponentam, zato da ju razlikujemo od ustreznih tenzorjev pri upogibnem preizkusu. Za večjo jasnost zapišemo oba tenzorja še v polni matrični obliki:

$$\underline{e}^t = \begin{bmatrix} e_x^t & 0 & 0 \\ 0 & e_x^t & 0 \\ 0 & 0 & e_z^t \end{bmatrix} \Rightarrow \underline{\sigma}^t = \begin{bmatrix} \sigma^t & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^t & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Pri homogenem delu termične deformacije se vzorec po celi debelini enako razširi ali skrči (odvisno od spremembe temperature) v vzdolžnih smereh x in y , ne glede na razlike v materialu in temperaturi. Torej, komponenta e_x^h ni odvisna od koordinate z , komponenta e_z^h pa v splošnem je. Upogibni del termične deformacije se lahko pojavi le v nesimetričnih vzorcih, ustrezna termična napetost pa delno izniči homogeni del napetosti. V prvem približku obravnavamo to deformacijo kot dvoosni upogib s homogenim krivinskim polmerom R_t (torej se kompozit upogne kot skledica), vedno pa je ta polmer veliko večji od debeline vzorca. Pri kvantitativni obravnavi moramo biti pozorni tudi na smer upogiba, in to povemo s predznakom R_t : pozitivni krivinski polmer vzamemo takrat, ko se na sredini vzorec upogne navzdol, to je, ko je spodnji del vzorca pod dodatno natezno napetostjo zaradi ukrivitev. Velja preprosta enačba za ustrezno komponento deformacijskega in napetostnega tenzorja:

$$e_x^u = -\frac{z - z_{0t}}{R_t} \Rightarrow \sigma^u = -\frac{E}{1-\nu} \cdot \frac{z - z_{0t}}{R_t} \quad (3)$$

Koordinata z_{0t} pri tem določa nevtralno ravnino, kjer ni upogibne termične napetosti. Nad njo je napetost tlačna (negativna), pod njo pa natezna (pozitivna). Oba neznana parametra, R_t in z_{0t} , izračunamo z zahtevo po ravnovesju sil in navorov v vzorcu.

2.2 Mehanska napetost pri upogibnem preizkusu

Vzorec mehansko obremenimo pri 3T- ali 4T-testu tako, da se njegov srednji del upogne navzdol. Razmere so podobne kot pri upogibnem delu termične deformacije, le da je zdaj deformacija enoosna, in sicer v smeri x , vzdolž dolžine vzorca. Ustrezni krivinski polmer označimo z R_a ; ta je enak po debelini in širini vzorca, po dolžini pa se spreminja. Zdaj je edina nezanemarljiva komponenta napetostnega tenzorja: $\sigma_{11} \equiv \sigma^a$. Simbol »a« pri upogibnem preizkusu je povzet iz angleške literature ($a = applied$). Morda se zdi na prvi pogled nenavadno, da čeprav so vse štiri sile (slika 1) usmerjene v smeri osi z , dobimo v vzorcu pglavitne komponente notranjih sil v smeri osi x . A to je res, razen v zelo omejenem območju prijemališča sil, kjer je porazdelitev napetosti zelo kompleksna. Nasprotno ima deformacijski tenzor v skladu z enačbo (1) od nič različne vse tri diagonalne komponente, vendar nas tu zanima samo komponenta e_{11} :

$$e_x^a = -\frac{z - z_{0a}}{R_a} \Rightarrow \sigma^a = -E \cdot \frac{z - z_{0a}}{R_a} \quad (4)$$

Enačba (4) se razlikuje od enačbe (3) po tem, da v njej ni Poissonovega razmerja pri izrazu za ustrezno napetost. Koordinata z_{0a} spet določa nevtralno ravnino, kjer ni mehanske preizkusne napetosti. Oba neznana parametra, R_a and z_{0a} , izračunamo z zahtevo po ravnovesju sil in navorov, vendar moramo tu upoštevati tudi upogibni navor zaradi zunanjih sil. Velja enačba:

$$|M(x)| = \frac{\langle EI \rangle}{R_a(x)} \quad (5)$$

kjer simbol $\langle EI \rangle$ označuje povprečno vrednost produktov med Youngovim modulom in tako imenovanim ploskovnim vztrajnostnim momentom prereza palice:

$$\langle EI \rangle = W \int_0^D E(z)(z - z_{0a})^2 dz \quad (6)$$

Za primerjavo navedimo znano enačbo za ploskovni vztrajnostni moment za palico iz homogenega materiala. Tedaj je elastični modul povsod enak, nevtralna ravnina je na polovici debeline palice, $z_{0a} = D/2$, zato dobimo z integracijo (6) posebej:

$$I = \frac{WD^3}{12} \quad (7)$$

Upogibni navor izračunamo s silami in legami njihovih prijemališč pri 3T- ali 4T-testu. Dovolj je obravnavati le 4T-test, saj je 3T-test le njegov poseben primer, ko postane razdalja med prijemališčema notranjih dveh sil po $F/2$ enaka nič, ti dve sili se torej združita pri 3T-testu v eno samo silo F , ki deluje na sredini palice. Razen tega je 4T-test primernejši, kot bomo razložili spodaj.

Pri upogibnem 4T-testu sta dve sili, vsaka po $F/2$, z medsebojno razdaljo L_{in} postavljeni simetrično glede na sredino palice, delujeta pa navzdol (slika 1). Drugi dve sili, spet po $F/2$, pa delujeta na koncih palice navzgor, tako da imamo ravnovesje sil. V resnici zunanji sili nikoli ne prijemljeta točno na koncih palice, ampak nekoliko znotraj od koncev. Vendar pa nimata tista dela palice, ki »štrlita« ven od prijemališč zunanjega para sil, nobenega vpliva na meritev. Zato je z dolžino vzorca L mišljena v bistvu razdalja med zunanjsima silama (slika 1). Izberimo referenčno točko v vmesnem območju med notranjsima silama:

$$(L - L_{in})/2 < x < (L + L_{in})/2$$

Ko računamo upogibni navor $M(x)$, povezan z enačbo (5), gledamo samo navora obeh sil desno od izbrane točke, torej za eno notranjo in eno zunanjo silo (slika 2). Zato dobimo:

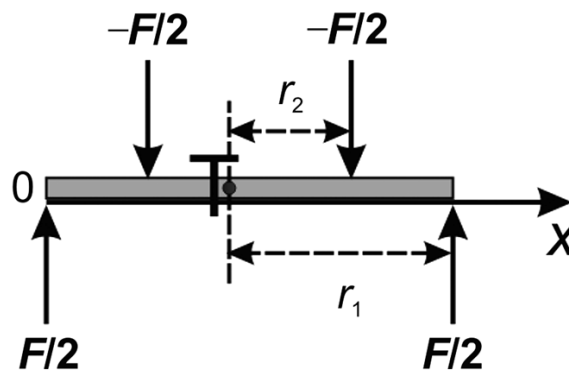
$$\begin{aligned} |M(x)| &= \frac{F}{2} \cdot (L - x) - \frac{F}{2} \cdot \left(\frac{L + L_{in}}{2} - x \right) = \\ &= \frac{F(L + L_{in})}{4} \end{aligned} \quad (8)$$

V enačbi (8) smo upoštevali, da hoče ena sila zavrteti vzorec glede na izbrano točko T v eno smer, druga sila pa v nasprotno. Ročica skrajno desne sile glede na točko T je pri tem $r_1 = L - x$, ročica tretje sile po vrsti na sliki pa je $r_2 = (L + L_{in})/2 - x$.

Če sedaj kombiniramo med seboj enačbe (4), (5) in (8), dobimo končni izraz za porazdelitev mehanskih napetosti pri 4T-testu za notranji del palice. Napetost je odvisna le od koordinate z , ne pa od x , čeprav smo predvidevali tudi x -odvisnost:

$$\sigma^a(z) = \frac{F \cdot E(z)}{4 \langle EI \rangle} \cdot (L - L_{in}) \cdot (z - z_{0a}) \quad (9)$$

Vendar pa se da s podobnim računom hitro pokazati, da napetost linearno raste s koordinato x (pri isti



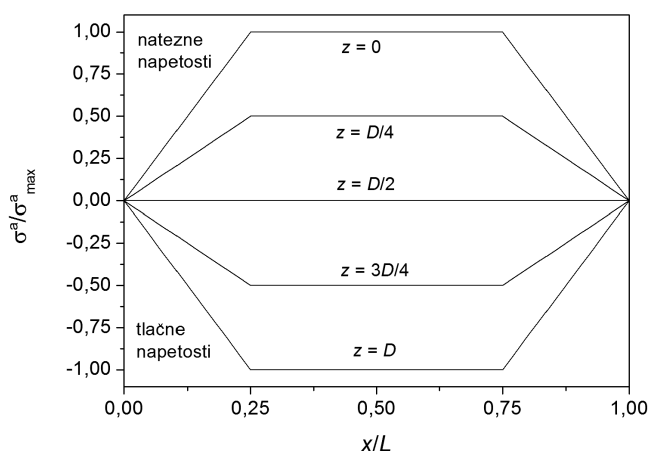
Slika 2: Račun zunanjih navorov glede na referenčno točko T s koordinato x . Tu nas debelina vzorca in koordinata z ne zanimata, zato vzorec prikažemo kar kot zožen pravokotnik. Prikazani sta ročici obeh sil desno od točke T, ki jo ponazarja majhen krožec.

koordinati z), če gremo postopno od prijemališča leve zunanje sile pri $x = 0$ do prijemališča leve zunanje sile pri $x = (L - L_{in})/2$. Podobno velja zaradi simetrije na desni strani palice. V smeri z pa se napetost pri vsakem x linearno spreminja. Za ponazoritev vzemimo homogeno palico, za katero je $z_{0a} = D/2$. Največja natezna napetost je na spodnji ploskvi vzorca v vmesnem območju med notranjima silama, kjer je $z = 0$, $(L - L_{in})/2 < x < (L + L_{in})/2$. Tam je:

$$\sigma_{\max}^a = \frac{Fd}{8I} \cdot (L - L_{in}) \quad (10)$$

Za ploskovni vztrajnostni moment I pa vzamemo enačbo (7). Graf na **sliki 3** prikazuje napetost, normalizirano na največjo napetost (10), pri različnih koordinatah x in z . 4T-test je navadno primernejši od 3T-testa, pri katerem je namesto celega območja na spodnji ploskvi med notranjima silama največji natezni napetosti izpostavljena ena sama točka v pre-rezu ravnine (x, z), to je točka pod notranjo silo F . Zato je pri velikem številu zlomljenih vzorcev statistika izmerjenih trdnosti pri 3T- in 4T-testu nekoliko drugačna. To je tudi razlog, zakaj je treba pri navedbi rezultatov meritev v znanstvenih člankih povedati geometrijske parametre upogibnega preizkusa. Pri kompozitih z različnimi elastičnimi moduli so grafi drugačni, saj nosijo glede na enačbo (9) deli vzorca z večjim Youngovim modulom večje deleže napetosti.

Obravnavajmo sedaj kompozite z N ravnimi homogenimi, a različnimi plastmi. Od spodnje do zgornje plasti jih oštevilčimo od 1 do N . Elastični modul, Poissonovo razmerje in temperaturni razteznostni koeficient (TRK) v vsaki plasti označimo z E_i , ν_i in α_i . V splošnem se da izračunati termične napetosti v kompozitu za poljubno odvisnost temperature od koordinate z (v smeri debeline kompozita). A tu se omejimo le na homogeno temperaturo T v celotnem



Slika 3: Odvisnost napetosti v homogeni palici od koordinat x in z pri upogibnem 4T-testu. Napetosti so normalizirane glede na največjo natezno napetost σ_{\max}^a po enačbi (10). V tem primeru smo vzeli $L_{in} = L/2$, kar je navadno pri 4T-testu.

vzorcju. Razlika temperatur $\Delta T = T - T_0$ je negativna, ker je T sobna temperatura, T_0 pa temperatura malo pod temperaturo sintranja keramike. Pri računih se seštejeta tenzorja termične in dodatne 4T-napetosti, da dobimo celotno napetost v preizkusnem vzorcju.

Tu nas zanima samo komponenta $\sigma_{11} = \sigma^a + \sigma^t$ skupnega napetostnega tenzorja, saj je ta neposredno povezana z zlomom vzorca. Vzorec se zlomi takrat, ko popusti na najbolj kritičnem mestu, to je tam, kjer lokalna natezna napetost preseže lokalno upogibno trdnost vzorca. Ko pa se razpoka na enem mestu začne, se takoj razširi čez vso debelino vzorca, pa čeprav so pred tem posamezni deli vzdržali lokalno napetost. Pri nesimetričnih kompozitih moramo biti pozorni tudi na to, da legi nevtralnih ravnin (podani s koordinatama z_{0t} in z_{0a}) in krivinska polmera R_t in R_a za termični in 4T-upogib niso enaki.

3 IZRAČUN ZA VEČPLASTNE A/Z-KOMPOZITE

Preučimo kompozite iz dveh značilnih inženirskih keramičnih materialov: aluminijevega oksida Al_2O_3 (oznaka A) in cirkonijevega oksida ZrO_2 (oznaka Z). Aluminijev oksid ali korundna keramika ima večjo trdoto, a manjšo upogibo trdnost kot cirkonijev oksid, ima pa tudi manjši TRK. Zato je ugodno, če sta zunanji plasti kompozita iz čistega Al_2O_3 , notranje plasti pa so delčni kompoziti obeh materialov (oznaka AZ), tako da prostorninski delež ZrO_2 narašča proti notranjosti vzorca. Že v homogenem delčnem kompozitu iz obeh materialov se lahko močno povečata tako trdnost kot lomna žilavost [5–7], dodatne termične napetosti v večplastnih kompozitih pa lahko učinkovito trdnost še bolj povečajo.

Tabela 1 prikazuje materialne parametre iz literature za A in AZ delčne kompozite pri nekaj različnih masnih deležih Al_2O_3 . Z njimi si pomagamo pri izračunih preostalih termičnih napetosti, pa tudi pri oceni, kolikšno preizkusno silo pri 4T-testu še vzdrži vzorec danih dimenzij, če seštejemo termično in dodatno mehansko napetost. Poudariti velja, da račun parametrov, na primer Youngovega modula E , za kompozite, če poznamo njihove vrednosti za Al_2O_3 in ZrO_2 , v odvisnosti od masnega deleža ϕ_m (ali pa od prostorninskega deleža) ZrO_2 še zdaleč ni preprost. Navadno ne velja linearna zveza med vrednostmi teh parametrov in masnim deležem cirkonijevega oksida. Zato največkrat te parametre pri različnih kompozitih kar izmerijo in poiščejo modelne zveze, npr. $E(\phi_m)$, na osnovi preprostih funkcij. Omenimo še, da se posebno izmerjene upogibne trdnosti σ_u v različnih laboratorijih zelo razlikujejo med seboj, saj so odvisne od kvalitete začetnih keramičnih prahov in od pogojev priprave (kot so lastnosti suspenzij, pogoji sintranja, kasnejša termična in mehanska obdelava itd.). V

tabeli 1 smo zato za trdnosti uporabili referenco [5], kjer so izmerjene trdnosti najvišje.

Tabela 1: Materialne lastnosti Al_2O_3 in kompozitov AZ: v prvem stolpcu je masni delež ZrO_2 . Elastični modul E , Poissonovo razmerje ν , linearni TRK α (v bistvu njegovo povprečje na temperaturnem intervalu 1300 K med sobno temperaturo in temperaturo malo pod temperaturo sintranja) so vzeti (in primerjani) iz virov [3, 5, 7], upogibna trdnost σ_u pa le iz [5].

$\phi_m/\%$	Oznaka	E/GPa	ν	$\alpha/(10^{-6}/\text{K})$	σ_u/MPa
0	A	390	0,238	8,84	600
10	AZ10	375	0,245	9,00	678
20	AZ20	359	0,253	9,18	761
30	AZ30	342	0,262	9,37	851
40	AZ40	324	0,271	9,58	947

S podatki iz **tabele 1** lahko potem izračunamo napetosti v različnih večplastnih AZ-kompozitih. Grafi na **slikah 4** in **5** prikazujejo dva značilna zgleda za napetosti po debelini vzorca na sredini njegove dolžine (oziroma v območju koordinate x kjer koli med notranjima silama). Številke od 1 do 3 na **sliki 4** oz. od 1 do 4 na **sliki 5** označujejo plasti od spodaj navzgor.

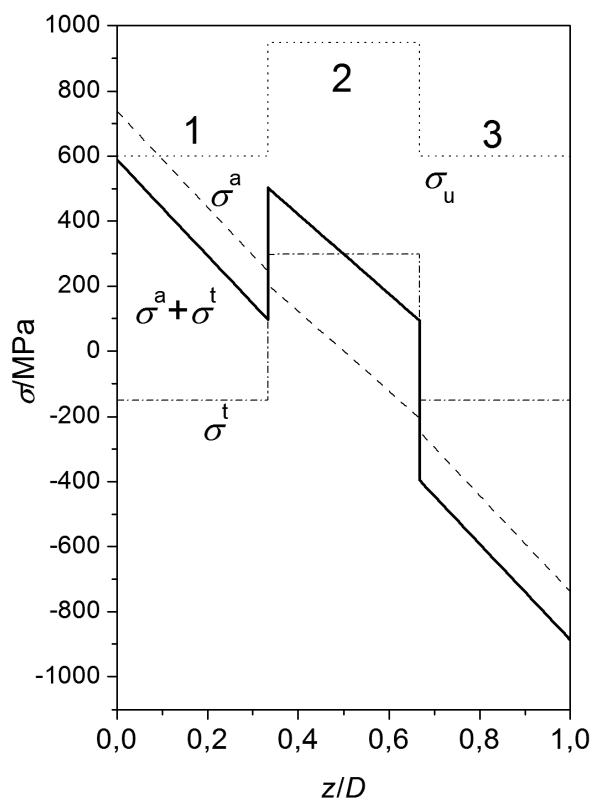
Na **sliki 4** so prikazani grafi za homogeno termično napetost, napetost upogibnega 4T-testa in skupno napetost pri simetričnem triplastnem kompozitu A/AZ40/A (srednja plast je iz kompozita AZ40). Za primerjavo je dodan še graf upogibnih trdnosti po plasteh. Če skupna napetost nikjer ne preseže upogibne trdnosti, potem vzorec ustrezno silo pri 4T-testu vzdrži in se zlomi šele pri večji sili. Debeline vseh treh plasti so zaradi nazornosti enake, seveda pa bi jih lahko optimizirali glede na vnaprej določeno skupno debelino tako, da bi vzorec vzdržal čim večjo silo pri upogibnem preizkusu [8]. Za padec temperature po sintranju smo vzeli značilno vrednost $\Delta T = -1300$ K.

Najprej ugotovimo, da je referenčna zlomna sila za podano geometrijo enaka $F_0 = 360$ N: pri tej sili bi se zlomil enako velik vzorec iz čistega aluminijevega oksida. Morda nekoliko presenetljivo je, da bi se brez upoštevanja termične napetosti kompozit A/AZ40/A zlomil celo pri nekoliko manjši sili, okrog 257,8 N, čeprav ima AZ40 po **tabeli 1** precej višjo trdnost kot Al_2O_3 . Vendar pa v tem primeru ta trdnost, 947 MPa, nima nobenega pomena, saj se zlomi spodnja A-plast. Zmanjšana zlomna sila 257,8 N v primerjavi s 360 N je posledica različnih Youngovih modulov E za A in AZ40: ker ima A nekaj večji Youngov modul, prevzame glede na enačbo (9) večji delež mehanske napetosti.

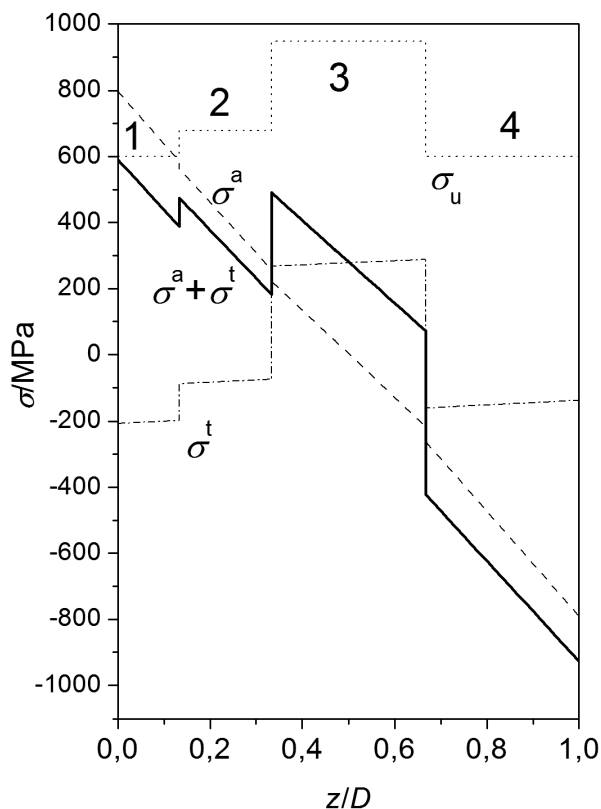
Vendar pa dodane termične napetosti popolnoma spremenijo razmere. Prikazane so napetosti za preizkusno silo 440 N, ki jo vzorec še vzdrži, pri malo večji sili pa se zlomi. Na **sliki 4** je lepo razvidno, da v spod-

njem delu prve (spodnje) A-plasti mehanska napetost σ^a preseže trdnost plasti, skupna napetost pa ne. Efektivna trdnost vzorca se je v primerjavi z vzorcem iz Al_2O_3 precej povečala. Z optimizacijo pri simetrični kombinaciji še večjega števila plasti, npr. $N = 7$, lahko dosežemo okrog 100-odstotno povečanje zlomne sile [8].

Slika 5 prikazuje napetosti pri izrazito nesimetričnem štiriplastnem kompozitu. Pri njem se poleg homogenega dela termične napetosti pojavi tudi upogibni del. To je razvidno z grafa termične napetosti po tem, da odseki grafa niso vodoravni, temveč rahlo nagnjene linearne funkcije v skladu z enačbo (3). Pri nesimetričnem kompozitu ni vseeno, kako ga obrnemo pri upogibnem preizkusu, torej katera zunanja plast je spodaj in katera zgoraj. Zato oznake A/AZ10/AZ40/A pomenijo po vrsti plasti od spodnje do zgornje. Vzeli smo silo 470 N, ki jo vzorec še zdrži, pri nekaj večji sili pa se zlomi. Sklepanje je podobno kot pri prejšnjem simetričnem kompozitu. Nesimetričnost kompozitov pri mehanskih obremenitvah navadno ni želena, saj se lahko zlomna sila precej zmanjša, če vzorec obrnemo, v praksi pa lahko pričakujemo natezne sile enkrat na eni, drugič na drugi strani keramičnega izdelka. Če v



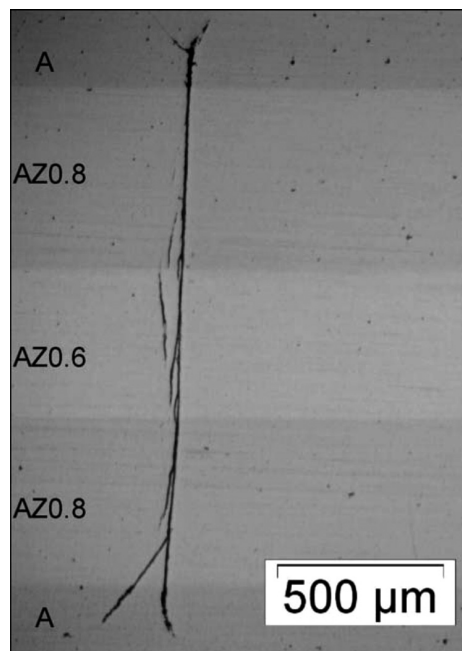
Slika 4: Grafi odvisnosti napetosti od koordinate z pri $x = L/2$ za simetrični kompozit A/AZ40/A ($N = 3$). Geometrijski parametri: $L = 20$ mm, $L_{in} = 10$ mm, $W = 4$ mm, $D = 1,5$ mm (vsaka plast je debela po 0,5 mm). Grafi: trdnost σ_u (pikčasta črta), napetosti σ^t (črtkana pikčasta črta), σ^a (črtkana črta), $\sigma^a + \sigma^t$ (debela polna črta) – enako velja za grafe na **sliki 5**.



Slika 5: Grafi odvisnosti napetosti od koordinate z pri $x = L/2$ za nesimetrični kompozit A/AZ10/AZ40/A ($N = 4$). Geometrijski parametri so enaki kot pri kompozitu na **sliki 4**, le debeline posameznih plasti so drugačne.

našem primeru obrnemo štiriplastni kompozit, se zlomi že pri sili okrog 438,2 N.

Pri pripravi večplastnih kompozitov moramo paziti, da v plasteh ni preveč napak, ki zmanjšajo njihovo efektivno trdnost. **Slika 6** prikazuje značilni ponesrečeni 5-plastni AZ-kompozit, narejen s postopnim vlivanjem suspenzij v mavčni kalup (optični mikroskop) [9]. Oznake plasti so nekoliko drugačne od tistih v **tabeli 1**: npr. oznaka AZ0.8 pomeni, da je masni delež Al_2O_3 v plasti 80 %, ZrO_2 pa 20 %. Plasti z večjim deležem ZrO_2 so svetlejše (majhne temnejše pike v plasteh so pore). Videti je dolgo tunelsko razpoko, ki se je začela v srednji plasti z masnim deležem ZrO_2 40 % in se razširila do obeh zunanjih plasti iz Al_2O_3 . Vzrok za takšne razpoke ni napetost pri upogibnem preizkusu, temveč prevelike preostale termične napetosti v notranjih plasteh.



Slika 6: Optična slika 5-plastnega kompozita A/AZ20/AZ40/AZ20/A z dolgo tunelsko razpoko zaradi preostalih termičnih napetosti

4 SKLEP

Ob zgledih smo videli, da lahko preostale termične napetosti po sintranju keramičnih kompozitov z ravnimi plastmi precej povečajo efektivno trdnost materiala pri mehanski obremenitvi, če plasti optimalno razporedimo. Pri tem lahko razen sestave optimiziramo tudi debeline posameznih plasti, npr. pri predpisani skupni debelini vzorca.

Literatura

- [1] D. J. Green, P. Z. Cai, G. L. Messing, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 19 (1999), 2511–2517
- [2] C.-H. Hsueh, *J. Appl. Phys.*, 91 (2002) 12, 9652–9656
- [3] D. D. Barnett-Ritcey, P. S. Nicholson, *J. Am. Ceram. Soc.*, 86 (2003) 1, 121–128
- [4] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, *Course of Theoretical Physics*, 7, Theory of Elasticity, (1958)
- [5] F. F. Lange, *J. Mater. Sci.*, 17 (1982), 225–262
- [6] K. Tsukuma, K. Ueda, M. Shimada, *J. Am. Ceram. Soc.*, 68 (1985) 1, C-4–5
- [7] W. Kladnik, G. Gritzner, *J. Mater. Sci. Lett.*, 6 (1987) 1235–1237
- [8] M. Ambrožič, T. Kosmač, *J. Am. Ceram. Soc.*, 90 (2007) 5, 1545–1550
- [9] S. Beranič Klopčič, M. Ambrožič, T. Kosmač, S. Novak, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 27 (2006) 2/3, 1333–1337

PRVI TESLOVI STIKI Z VAKUUMSKIMI TEHNIKAMI

(ob 70-letnici smrti)

1. del

Stanislav Južnič

ZNANSTVENI ČLANEK

Univerza v Oklahomi, Oddelek za zgodovino znanosti, Norman, Oklahoma, ZDA / Občina Kostel, 1336 Kostel

POVZETEK

Opisujemo Teslovo šolanje na področju vakuumske tehnike, vključno z njegovim nič kaj šolskim postankom v Mariboru. Po domala poldrugem stoletju ugibanj končno objavljamo dovolj sprejemljive domneve o Teslovem življenju in (ne)delu v Mariboru. Prvi povzemamo objave o vakuumski tehniki in elektrotehniki obeh Teslovih glavnih učiteljev, Martina Sekulića in Jakoba Pöschla; obregnemo pa se tudi ob blagodejne vplive njunih sodelavcev.

Ključne besede: Nikola Tesla, Rakovac, Gradec, Maribor, Praga, zgodovina vakuumske tehnike, zgodovina elektrotehnike, zgodovina šolstva

Early Tesla's contacts with vacuum equipments (On 70th anniversary of his death)

Part 1

ABSTRACT

Nikola Tesla's studies of vacuum techniques are described including his not very scholarly affair in Maribor. After almost a century and half of hypotheses a plausible scenario of Tesla's life and »work« in Maribor is provided. The vacuum and electro-technical publications of Tesla's most influential professors Martin Sekulić, Jakob Pöschl, and their collaborators are put into the limelight for the first time.

Keywords: Nikola Tesla, Rakovac, Graz, Maribor, Prague, history of electrotechnique, history of vacuum equipment, history of education.



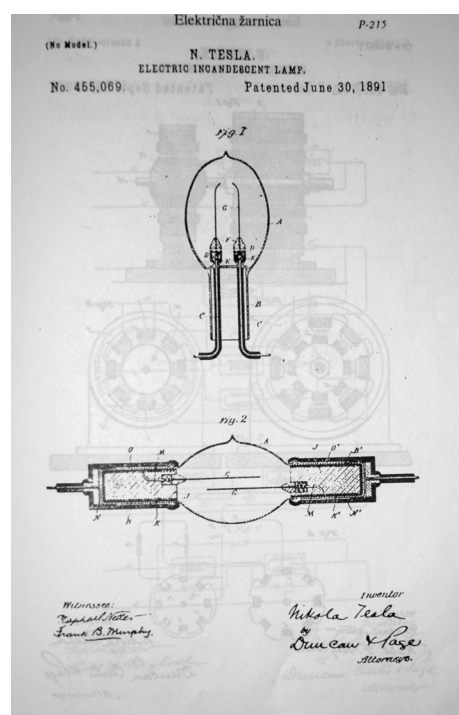
Slika 1: Jugoslovanske in ameriške znamke s Teslovim portretom iz zasebne zbirke pisca

1 UVOD

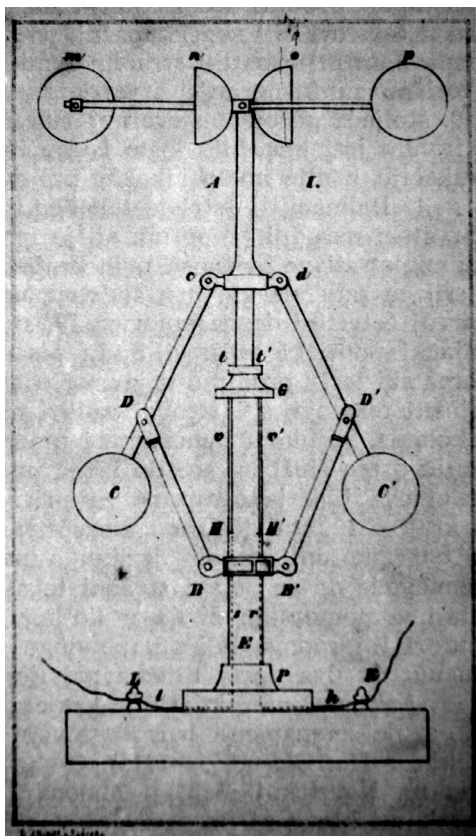
Nikola Tesla (* 1856; † 1943) se je svojega navdušenega mladostnega videnja vakuumske in elektrotehnike navzel med študijem na višji realki v Rakovcu ob Karlovcu pri Martinu Sekuliću (* 1833 Sankt Michael, danes Lovinac v Liki; † 14. 4. 1905 Zagreb) med letoma 1870/71–1873. S čim si je pridobil Teslovo spoštovanje?

2 TESLOV UČITELJ SEKULIĆ IN NJEGOVI SODELAVCI NA OGRSKEM

Martin Sekulić je bil rojen v Lovincu v južnem zaledju Velebita, ki ima danes 90 % hrvaškega prebivalstva; Sekulići so se tja bržkone priselili s področja Senja, tako da v Lovincu danes izpovedujejo katoliško vero. Prebivalci Lovinca so se stoletje pred Sekulićevim rojstvom uprli habsburškim oblastem v okviru širše vstaje v Liki; seveda so potegnili »ta kratko«, saj so maščevalni oblastniki ime Lovinca za kazen med letoma 1751–1861 spremenili v Sankt Michael po cerkvi Sv. Mihovila, sezidani leta 1704.



Slika 2: Teslov izum vakuumske žarnice, patentiran v ZDA 30. 7. 1891



Slika 3: Izum za merjenje hitrosti vetra v prid varnejši vožnji vlakov, ki naj bi se ustavili oziroma upočasnili ob grožnjah premočnih bočnih vetrov. Novost je Teslov srednješolski profesor Sekulić opisal pri Radu JAZU leta 1874 in ga po domače imenoval »burnjak«. Naprava je bila brzkone zamišljena in sestavljena že nekaj mesecev prej, potem ko je hud veter povzročil lokalno železniško nesrečo. »Burnjak« je tako nastal med Teslovim šolanjem pri Sekuliću v Rakovcu, kamor se je Tesla po počitnicah v Gospiću vozil preko Slunja v Kordunu s konjsko vprego na tako imenovanem »kirijanju«.¹

Sekulić je začel svoje šolanje v Vojni krajini, nato pa je končal pedagoški študij matematike in fizike. Leta 1859/60 je bil eden od dveh asistentov na Državni realki v Pešti;² do združitve leta 1873 je Donava ločevala Pešto na vzhodu od Bude na zahodnem bregu. Pomagal je profesorju Dionisu Pospischilu v prvem razredu nižje realke pri pouku geometrijskega načrtovanja (*Geometrisches Zeichnen*), ki ga Tesla ni maral pozneje na realki v Rakovcu. Pospischil je na

Städtische Ober-Realschule in Pest prišel leta 1855/56 iz službe asistenta taistega geometrijskega načrtovanja na *k. k. Schottenfelder Oberrealschule* v sedmem dunajskem okraju.³

Poleg državne (*Städtische*) je v Pešti delovala tudi javna (*Öffentliche*) *Oberrealschule*. Sekulićev najboljši prijatelj in sodelavec v Pešti je bil nekoliko starejši Simon Šubic (Schubitz, Subić, Subič, * 28. 10. 1830 v Brodeh številka 13 v Poljanski dolini pri Škofji Loki (Brod bei Lack); † 27. 7. 1903 Gradec). Šubic je ostal zakrknjen samec, Sekulić pa je že na Ogrskem ovdovel po rojstvu sina Rudolfa (* 1860 Pešta; † 1917); kmalu po Teslovi maturi se je leta 1877 znova poročil in dobil novega sina z dvema hčerka vred.⁴ Šubic je hitro in uspešno končal svoje študije matematike in fizike na filozofski fakulteti dunajske univerze med letoma 1852–1856; žal primerne službe zanj ni bilo ne na Dunaju ne na rodnem Kranjskem.

Odpravil se je na Ogrsko, kjer je dne 1. 10. 1856 postal pripravnik na državni katoliški gimnaziji v Budi.⁵ Predavati je začel dne 26. 10. 1856, kmalu pa si je prislužil pohvalno spričevalo. Dne 18. 9. 1857 je predsedal na višjo realko v Pešti z ukazom številka 15,783.⁶ Vrle Madžare je v Pešti poučeval kot profesor fizike od 31. 10. 1857 do poletja 1861; obenem je nadomeščal na pravkar ustanovljeni državni gimnaziji v Pešti leta 1858/59, kjer je dobil dve pohvalni spričevali za »zahtevno delo« in »temeljne pedagoško-znanstvene kvalitete«.⁷ Šubic se je med službovanjem v Pešti ukvarjal predvsem z mehaniko; leta 1860 je o njej sestavil svojo prvo fizikalno razpravo v izvestjah realke v Pešti. Pisal je o delovanju Fesselovega rotacijskega stroja, o katerem je na kratko poročal tudi Sekulić,⁸ z bolj geometrijskega stališča pa suplent na ljubljanski gimnaziji Luka Lavtar (* 1846; † 1915) leta 1872/73.⁹

Leta 1855/56 so na državni realki v Pešti za raziskovanje plinov in vakuuma nabavili aerometer francoskega kemika in farmacevta Antoina Bauméja (* 1728; † 1804), barometer, vakuumsko črpalko, Heronovo kroglo, vrtljivo zaradi raketnega pogona brizgajoče pare, sesalno natego in termometre. Za preučevanje elektromagnetizma so kupili stroj za naelektritev, Voltovo baterijo, magnet in magnetno iglo.¹⁰ Leta 1856/57 so na državni realki v Pešti za

¹ Sekulić, 1874 Burnjak, 27: 225; sporočilo Mirana Perhavca iz Maribora

² *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* 1860, 91

³ www.uni-klu.ac.at/elechner/schulmuseum/schulchroniken/gppest_1_1855.PDF, ogled 17. 1. 2012

⁴ Muljević, 1973, 335, 337

⁵ V *Shem. Gymn.* 1860, str. 139 je zapisan 25. 9. 1856 kot datum Šubićeve nastavitve (*ang.*) v Budi, čeprav je kot suprent nadomestil obolelega profesorja fizike komaj 4. 10. 1856 (www.uni-klu.ac.at/elechner/schulmuseum/schulchroniken/gofen1856.PDF).

⁶ www.uni-klu.ac.at/elechner/schulmuseum/schulchroniken/gppest1857.PDF, ogled 17. 1. 2012; Programm der städtischen Ober-Realschule in Pest für das Schuljahr 2 (1855/56)–6 (1859/60)

⁷ www.uni-klu.ac.at/elechner/schulmuseum/schulchroniken/gpest1858.PDF, ogled 20. 2. 2013, k. k. Staats-Gymnasium in Pest 1858/59; AVA Min CU 31226 ex 1902, str.15 in 16 (nepaginirano); www.uni-klu.ac.at/elechner/schulmuseum/schulchroniken/gpest1858.PDF

⁸ Sekulić, 1874, 114

⁹ Lavtar, 1873 73–74, 87

raziskovanje plinov in vakuuma nabavili kompresijsko črpalko, dodatno Heronovo kroglo in vakuumsko črpalko z dvema batoma za praznjenje obenem kupljenih magdeburških polkrogel. Pri elektromagnetnih raziskovanjih so si odtlej privoščili turmalin v prižemi, dunajsko vreteno Karla Winterja za torni naelektritev iz leta 1847¹¹ in tablo za proizvajanje bliskov, še zlasti pomembno za Sekuličeva in poznejša Teslova raziskovanja. Opremi so dodali še elektroskop in dve plošči iz smole za prikaz figur, imenovanih po Georgu Christophu Lichtenbergu (* 1742; † 1799), o katerih je desetletje pozneje objavljala Sekulič.

Šubic si je pridobil tudi elektrometer v steklenici londonskega lekarnarja Timothyja Laneja (* 1743; † 1807) za merjenje naboja leidske steklenice, izumljen v poznih 1760. letih za preprečevanje prehudih naelektritev ljudi.¹² Tesla je pozneje navduševal gledalce s spuščanjem elektrike skozi svoje telo, poznavajoč kožni pojav izmeničnega toka, ki ga je Maxwell napovedal leta 1873, Jožef Stefan pa dopolnil leta 1887 v razpravi *O spremenljivih električnih tokovih v debelih vodnikih*, s katero je efekt postal odločilen za izdelavo vakuumskih cevi, polnjenih s plini. Šubic si je seveda privoščil še leidsko steklenico, indukcijski stroj, dve bateriji benediktinskega dekana filozofske fakultete univerze v Pešti Ányosa Istvána Jedlika (* 1800; † 1895) z ogljikovima elektrodama, elektrogalvanski ojačevalnik – transformator s 400 ovoji, kondenzator površine 12 kvadratnih inčev in Morsejev telegraf,¹³ iznajden četrto stoletja prej.

Leta 1857/58 so že po Šubičevem nalogu na državni realki v Pešti za raziskovanje plinov in vakuuma nabavili napravo za aerostatični paradoks. Elektromagnetne raziskave so podprli s precej zahtevnejšimi nakupi, med katerimi so se bohotili: podkvasti magnet, kompas z dioptrijem, električno jajce v obliki katodne elektronke za večkratno praznjenje z vakuumsko črpalko, s katero je Sekulič poldrugo desetletje pozneje navdušil Tesla, elektromagnet s predvsem Ampèrovim ogrodjem in elektro-galvanski flotirajoči tok, ki ga je Auguste Arthur de la Rive (* 1801; † 1873) izumil v Ženevi leta 1820/21.

Posebno priročen je postal enopolni motor brez komutatorja v obliki kolesa Petra Barlowa (* 1776; † 1862) z magnetom, oblikovanim po črki U, sestavljenim leta 1822 na Kraljevi vojaški akademiji v Woolwichu leto dni po prvi Faradayevi izvedbi. Motor je uporabljal eno samo tuljavo za vrtenje okoli fiksne osi pri nizkih napetostih in majhnih vrtilnih momentih

zaradi odsotnosti komutatorja Hippolyta Pixija, sestavljenega leta 1832 po Ampèrovi domisljici, tako da je postal svojevrsten prednik poznejšega Teslovega elektromotorja na izmenični tok, patentiranega leta 1887/88. Šubic ni pozabil niti na dva paličasta magnetna kvadraste oblike in na 4 funtov z volno obdanih izoliranih vodnikov; kupil je tudi prednika turbine Jánosa Andrása Segnerja (Johann Andreas Zegner, * 1704 Bratislava; † 1777) iz leta 1750, skupaj s povezovalnimi cevmi.¹⁴

Leta 1858/59 so za kemijo nabavili plinomer (gazometer), medtem ko je Šubic pripeljal v fizikalni kabinet zgolj fizikalno uro in tangentni kompas galvanometer, ki ga je prvič opisal Claude Servais Mathias Pouillet (* 1791; † 1868) na Sorbonni leta 1837. Zato pa si je Šubic s Sekuličevim pomočjo omislil številne fizikalne učbenike: Piskovega objavljane tudi s slovenskimi prevodi izrazoslovja, Ganotovega v nemškem prevodu in delo študenta sodelavca Justusa Liebiga in Roberta Bunsena, Heinricha Buffa (* 1805; † 1878). Šubic je naročil še najnovejši povzetek tedanjih dosežlov elektrotehnike izpod peresa profesorja fizike na medicinski fakulteti v Parizu zdravnika Julesa Gavarreta (Louis Denis, * 1809; † 1890) v prevodu Rudolfa Arendta (* 1828; † 1902) in ob njem še tridelno *Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen Mechanik* Ludwiga Juliusa Weisbacha (* 1806; † 1871) z Rudarsko-metalurške akademije v Freiburgu.¹⁵

Leta 1859/60 si je Šubic s Sekuličevim pomočjo naročil nadvse sodobno zbirko elektrotehniških novosti: galvanski tok za sukanje premičnih teles kot svojevrsten elektromotor, več Geisslerjevih katodnih elektronk, izumljenih v Bonnu dve leti prej, električno pištolo, povzeto po Voltovem eudiometru, cevasto ogrodje stroja za razelektritve, transmisijo galvanskega impulza, most Charlesa Wheatstona (* 1802; † 1875), veliko Smeejevo baterijo, več collodiumbalonov po izumu Louis-Nicolasa Ménarda iz leta 1846 v obliki tankih lahkih votlih plasti nitroceluloze za opazovanje električnega privlaka, napravo za galvanoplastiko, veliki Schwarzov motor, elektromotor z dvojnima tuljavama in magnetoma poleg komutatorja kot si ga je Charles Grafton Page (* 1812; † 1868) zamislil v poznih 1830. letih, za gimnazijo v Kopru pa ga je profesor Niccolò Vlahović nabavil pred letom 1864.¹⁶

Šubic si je omislil tudi Gottliebovo napravo, vakuumski recipient za magnetno odklanjanje galvanske svetlobe (katodnih žarkov oziroma elektronov), napra-

¹⁰ *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* 1856, 50

¹¹ Winter, 1847, 49

¹² Lane, 1767, 451

¹³ *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* 1857, 42

¹⁴ *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* 1858, 73–74

¹⁵ *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* 1859, 17–18; Gavarret, 1869

¹⁶ Sabaz-Deranja, 1994/95

vo s tuljavami za prikaz indukcijskega zakona električnega toka, znamenito Coulombovo torzijsko tehtnico, štiri magnetne induktorje, tuljave z dvanajstimi paličastimi magneti in elektromagnetno napravo. Za poskuse s plini si je privoščil še Saussurov higrometer, psihrometer, tipalo in pripravo za Torricellijev vakuum. Kupil je tudi merilnik tlaka kapljev in iz 1830. let Charlesa Nicolasa Alexandra Haldata du Lysova (* 1770; † 1852) ter centrifugo (*Schwungmaschine, Rotationsmaschine*),¹⁷ ki sta jo leta 1852/53 sestavila nekdanji srednješolski profesor Friedrich Fessel (* 1821; † 1860) in bonski pionir vakuumskih tehnik Julius Plücker. Slednje je tri leta pozneje Šubic nabavil tudi za fizikalni kabinet v dunajskem okraju Rossau. Na gimnaziji v Ljubljani so enako napravo dobili šele leta 1866/67 proti plačilu 4,15 forintov navadne veljave, v gimnaziji v Celovcu pa šele leta 1874/75.

V izvestjah realke v Pešti se je Šubic skliceval na *Lehrbuch der reinen Mechanik* sorbonskega profesorja čiste matematike Jeana Marie Constanta Duhamela (* 1797; † 1872) v nemškem prevodu Wilhelma Wagnerja v Braunschweigu iz let 1853 in 1858;¹⁸ Šubic je v šolskem letu 1861/62 nabavil Duhamelov učbenik za knjižnico realke v dunajskem okraju Rossau. V svoji doktorski disertaciji leta 1861 Šubic ni raziskoval delovanja Fesselove centrifuge, čeprav jo je naslednje leto vključil v razširjeno inačico disertacije, objavljeno v šolskih izvestjih. Leta 1859/60 je Šubic v Pešti nabavil Foucaultovo nihalo, ki so ga na gimnaziji v Ljubljani imeli že štiri leta.

Vakuumske cevi Heinricha Geisslerja (* 1814; † 1879) je Šubic nabavil v Pešti tri leta pred gimnazijo v Ljubljani. Njemu in Sekuliću so omogočile odmevna raziskovanja vakuumske tehnike, kar je desetletje pozneje odločilno vplivalo na mladega Tesla, ne samo med šolanjem v Rakovcu, temveč tudi pri delu za telefonsko podjetje Ferenc Puskása (* 1848; † 1884)

in njegovega brata Tivadarja (* 1844; † 1893), utemeljeno v Pešti dne 1. 5. 1881. Plemiška brata sta si resda raje privoščila elitni Terezianum, Tivadar pa še dunajsko Politehniko,¹⁹ ne da bi obiskovala Sekulićev ali Šubićev pouk pred domačim nosom na realki v Pešti. Tehniško univerzo so Madžari ustanovili komaj leta 1872.²⁰

Primerjava med dvema triletnima obdobjema kaže približno dvakrat več novosti pod Šubićevo taktirko. Predvsem si je omislil mnogo več pripomočkov za merjenje zvoka, svetlobe in elektrike v skladu s Sekulićevimi in pozneje Teslovimi področji snovanja. Med službovanjem v Pešti je kustos fizikalnega kabineta Šubic prijateljeval s Sekulićem; zato so nabave instrumentov odsev njunih znanstvenih hotenj, ki so nato usmerila Teslova pota.

Šubic je nabavil naslednje naprave za preučevanje toplote pri fizikalnem kabinetu realke v Pešti: termometre z različnimi skalami, termočlen, termofon za proizvodnjo tonov z infrardečimi žarki, kroglo z obročem za opazovanje toplotnega raztezanja snovi in kriofor (*Cryophorus*), v katerem je voda zmrzovala po hitrem izparevanju tudi zaradi Joule-Thomsonovega (1852) pojava (*Throttling*) pri širjenju večine plinov v vakuum. Dogajanje je že štiri desetletja pred njima opisal William Hyde Wollaston za vodno paro²¹ po predhodnih dognanjih Slovenca Tobije Gruberja.²² Šubic je dobil razmeroma malo novih naprav za pouk o toplotnih pojavih. Za raziskovanje mehanike trdnin, plinov in meteorologije je kupoval približno toliko naprav kot njegovi predhodniki na realki v Pešti, čeprav je prav tem področjem znanja pozneje posvetil svoje raziskovalno delo. Celotno pozneje na realki v dunajskem okraju Rossau Šubic ni nabavljal veliko pripomočkov za pouk toplote v primerjavi z drugimi kustosi srednješolskih fizikalnih kabinetov. Nezanimaanje za eksperimentalno preučevanje toplotnih pojavov

Tabela 1: Nabave po panogah v letih 1855–1857 na državni realki v Pešti pred Šubićevim in Sekulićevim prihodom, primerjane z obdobjem 1857–1860, ko je kustos fizikalnega kabineta Šubic odločal o nabavah

	Mehanika trdnin	Kapljevine	Plini, meteorologija	Akustika	Elektrika, magnetizem	Optika	Toplota	Skupaj
1855–57	7	2	10	1	17	9	7	53
1857/58	6	1	2	5	11	21	2	48
1858/59	1	0	0	0	1	0	0	2
1859/60	4	2	8	5	18	14	3	54
Skupaj 1857–60	11	3	10	10	30	35	5	104

¹⁷ *Jahres-Bericht der Ober-Realschule zu Pest* 1860, 69

¹⁸ Šubic, 1860, 17; Hübl, 1869, 203

¹⁹ www.omikk.bme.hu/archivum/angol/htm/puskas_t.htm, www.rubicon.hu/magyar/nyomtathato_verzio/1893_marcus_16_puskas_tivadar_halala/, ogleda 18. 1. 2013.

²⁰ Cverava, 2006, 27

²¹ Wollaston, 1813, 71–74; www.wikipatents.com/GB-Patent-359171/improvements-in-refrigerating-apparatus, (patent z dne 22. 10. 1931, ogled 18. 1. 2013)

²² Južnič, 2010, 249–251

je oviralo poznejše Šubičeve in bržkone tudi Sekuličeve ali celo Teslove teorije.

Po padcu Bachovega absolutizma leta 1859 so se ogrske razmere korenito spremenile, skupaj z njimi pa okoliščine na Hrvaškem v okviru tedanje Ogrske. Leta 1860 so sprejeli madžarščino za uradni jezik, uradniki tujega rodu pa so morali Madžarsko zapustiti;²³ enako se je zgodilo tujerodnim profesorjem na Hrvaškem. Skupaj z drugimi »nemškimi civilizatorji« sta bila iz Pešte »izgnana« Simon Šubic in Martin Sekulič. Šubic je odšel na Dunaj, kjer se je skupaj z drugimi odstavljenimi ogrskimi profesorji realke ustanovil nižjo realko (Kommunal-Realschule) v dunajskem devetem okraju Rossau, jeseni leta 1861 pa je bil potrjen za rednega profesorja.²⁴

Med Šubičevim triletnim službovanjem 1861/62–1863/64 je imela realka Rossau le tri nižje razrede. Po Šubičevi preselitvi v Gradec je leta 1864/65 dobila še 4. in naslednje leto 5. razred. Ob ustanovitvi leta 1861/62 je imela realka v dunajskem okraju Rossau devet profesorjev; kar pet jih je prišlo z realke v Pešti. Direktor realke v Pešti in direktor v dunajskem okraju Rossau Eduard Walser je predaval geometrijo in gradbeništvo (*Baukunst*), profesor matematike dr. Dionis Pospischil je poučeval geometrijo, Stefan Stern je bil profesor nemškega jezika, član več znanstvenih in pedagoških društev zdravnik Gustav Ludwig Mayr (* 12. 10. 1830 Dunaj; † 14. 7. 1908 Dunaj) pa je učil kemijo in naravoslovje. Med letoma 1854–1855 je Mayr delal na oddelku za kolero pri dunajski *Allgemeinen Krankenhause*, med letoma 1856–1861 je poučeval naravoslovje na realki v Pešti, med letoma 1863–1892 pa na dunajski višji realni gimnaziji Rossau. Objavil je številne raziskave žuželk polkrilcev v okvirjih hemipterologije na temelju raziskav profesorja J. Sapatza iz Rakovca.²⁵

3 SEKULIČ IN TESLA V RAKOVCU

Tesla je šolanje začel na trirazredni nižji trivialki v rodnem Smiljanu, kjer je bil leta 1869/70 nižji učitelj Nikolaus Kreković, učitelj pa Mathias Sekulič,²⁶ bržkone sorodnik Martina Sekuliča. Med letoma 1867/68–1869/70 je Tesla tri leta obiskoval nižjo realko v Gospiću. Na višji (glavni) šoli v Gospiću so leta 1869/70 predavali nadučitelj Anton Knežević, učitelja Stephan Ratković in Franz Dubravčić ter nižja učitelja Paul Orešković in Elias Janić.²⁷ Na triletni

pravkar sezidani stavbi nižje realke v Gospiću so leta 1869/70 kratkohlačnika Tesla učili poznejši ravnatelj Ivan Balaško, Joseph Vitasek (Wittassek), meteorolog Johann Jamnički (Jamnicky) in Joseph Bukvič. Teslov oče je vsaj od leta 1866 honorarno učil verouk na gospiški realki tudi svojega sina in Mojo Medića, kot učitelj pa je bil uradno nastavljen komaj pozneje; od ustanovitve leta 1860 do leta 1871 je gospiško realko upravljal profesor gramatike Josip Velko (Welko, * 1825; † 1896).²⁸

Martin Sekulič je skupaj s Šubicem zapustil Pešto poleti 1861; padec Bachovega absolutizma mu je zaprl madžarska vrata, obenem pa je smel na velika vrata vstopiti v hrvaško prosveto. Šubicu je bolj trda predla, ker se slovenski pouk ni tako hitro uveljavil kot hrvaški. Od leta 1861/62 dalje je Sekulič služboval na realki v Rakovcu v Vojni krajini, ki je danes v južnem delu Karlovca zunaj trdnjave na levi obali Korane; cesar je dne 28. 1. 1863 povišal leta 1851/52 ustanovljeno nižjo realko v Rakovcu na srednješolsko stopnjo. V Teslovem času je v Karlovcu delovala še gimnazija, ki so jo do leta 1865 vodili frančiškani, podobno kot novomeški pet let dlje. V Teslovi dobi je karlovskim gimnazijcem med 1. 11. 1871 in letom 1876 predaval slovenski zgodovinar Ivan Steklasa (* 1846; † 1921), pred njim pa bolehní Valentin Mandelc (* 1837; † 1872). Realno in gimnazijo so leta 1882/83 združili v Kraljevsko veliko realno gimnazijo, da bi prihranili stroške; varčevanje je bilo že tedaj na tapeti.

Vojno ministrstvo je imenovalo devet predavateljev višje realke v Rakovcu dne 23. 8. 1863, med njimi profesorja matematike in fizike Sekuliča kot knjižničarja, profesorja strojeslovja, hrvaščine in aritmetike. Ob začetku Teslovega šolanja je postal kustos fizikalnega kabineta zadolžen za sestavljanje električnih naprav²⁹ in nadzornik šolske meteorološke postaje; zadolžitvi je obdržal še po združitvi realke z gimnazijo v Karlovcu, ki je leta 1882/83 sledila demilitarizaciji (1871) in ukinitvi Vojne krajine dne 15. 7. 1881. Med gradnjo novega poslopja rakovške realke leta 1863 so pred njim uredili botanični vrt, ob zgradbi pa so postavili naprave za Sekuličeve meteorološke meritve; drag anemometer za merjenje hitrosti vetra so nabavili v Milanu za ceno 300 fl, zato je Sekulič urno sestavil še svojega. Na streho so postavili astronomsko opazovalnico.

V drugem polletju 1863/64 je bil Sekulič začasni ravnatelj novoustanovljene višje realke; človekoljubni

²³ Zwitter, 1962, 126

²⁴ S. Šubičovo pismo K. Glaserju 1.7.1899, str. 2

²⁵ www.landmuseum.at/pdf_frei_remote/VZBG_SH_0535-0600.pdf, ogled 18. 1. 2012

²⁶ babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383578;seq=871;view=1up:num=867, ogled 19. 1. 2013

²⁷ babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383578;seq=875;view=1up:num=871, ogled 19. 1. 2013

²⁸ babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383578;seq=877;view=1up:num=873, www.novosti.rs/dodatni_sadržaj/clanci.119.html:280070-Nikola-nece-mantiju, www.cro-eu.com/forum/index.php?topic=35.0, ogledi 19. 1. 2013

²⁹ Šešić, 1996, 57; Muljevič, 1973, 331

matematik Ferdinand Peche (* 1820; † 1898) je bil direktor realke v Rakovcu med letoma 1864–1868. V času Teslovega šolanja je bil nekdanji reški profesor gospodarstva in naravoslovja Sigismund Šoštaric pl. Letovanički (Šišman) ravnatelj Kraljevske velike realke v Rakovcu med letoma 1868–1875.³⁰

Leta 1869/70 so na Realki v Rakovcu predavali Sekulić, doktor filozofije Christian Lechleitner, Moriz Antolić, Franz Sehr, Christian Nieper, Franz Kreminger, Emanuel Kregez, Joseph Vitanović, z Beljaka pravkar premeščeni Carl Pallasmann,³¹ Adolph Waldau, Johann Hinterwaldner, Löffler, katoliški katehet Joseph Jagunić (* 1831; † 1891) in pravoslavni katehet Nikolaus Živković (* 1839).³² Leta 1871 so na Realki v Rakovcu predavali Sekulić, Antolić, Sehr, Kreminger, Kregez, Löffler, Alois Möstl, Joseph Palm, Jagunić in Živković;³³ leta 1872 je bil profesorski zbor enak, vendar brez Antolića in Sehra,³⁴ saj je Sehr raje postal profesor na pomorski nižji realki v Puli.³⁵ Med dvanajstimi profesorji je Sekulić leta 1871/72 predaval strojništvo in aritmetiko.³⁶

Ob koncu Teslovega šolanja so leta 1871 dodali sedmi razred realke, leta 1871/72 pa so prvič uprizorili maturo; tako Tesla in drugi dijaki pozneje niso več delali sprejemnih izpitov na višjih tehniških šolah. Ob koncu šolanja je bil Tesla pohvaljen pri zgodovini, opozorjen pa zavoljo pomanjkljive matematike pri profesorju Löfflerju; le-to je kmalu popravil, saj je do težav bržkone prišlo zaradi bolehnosti. Vsekakor pa je Löfflerja v svojih spominih precej manj omenjal kot Sekulića, morda tudi zaradi Löfflerjevih vojaško naravnanih telovadnih vaj s palicami namesto pušk.³⁷

Dne 24. 7. 1873 sta se pod maturitetni izpit Tesla in sedmih sošolcev podpisala šolski nadzornik v Krajini ustanovni član JAZU zoolog Živko Vukasović (* 1829; † 1874) in ravnatelj, pod njima pa še dvanajst profesorjev: Sekulić, Löffler, Živković, predavatelj zgodovine in zemljepisa dr. Petar Tomić (* 1839 Zabok v Zagorju; † 1918),³⁸ G. Fridrih, Jagunić, zgo-

dovinar Mijo Brašnić (* 1849; † 1868) in meteorolog Johann Jamnicky.³⁹ Jamnickyjeva poročila o Sekulićevih meteoroloških meritvah je pozneje dopolnil Marko Mikšić (* 1847).⁴⁰ Tomić je naslednje leto doktoriral na graški univerzi, zaradi političnih zamer pa se je kot predčasni upokojenec za nekaj časa umaknil kar k Rusom; ne on ne drugi zgodovinar Brašnić nista bila v vojaški službi nasprotno od drugih prič Teslove mature. Zrelostni izpit Tesla in sošolcev različnih ver sta podpisala kateheta obeh krščanskih cerkev, potem ko je Tesla dobil maturitetne ocene iz vedenja, veronauka, hrvaščine, nemščine, zemljepisa z zgodovino, matematike, načrtovalne geometrije, prirodopisa, fizike, kemije in prostoročnega risanja.⁴¹

Sekulić se je rad udejstvoval zunaj šole; to je moralo po svoje vplivati na njegovega občudujočega dijaka Tesla, ki je bil resda drugačne vere in za nameček še popov sin. Sekulić je deloval v upravi *Pokupskog sokola*, ustanovljenega v Karlovcu 5. 7. 1885,⁴² ki mu je predsedoval leta 1888. Po upokojitvi se je leta 1895⁴³ lotil celo visoke politike; sekira mu je padla v med na petih zapovrstnih volitvah v Perušiću, severno od Gospića dne 19. 5. 1897. Od 60 vpisanih volivcev jih je volilo 38; vsi so bili povezani z vladnimi službami, zato so kar morali glasovati za upokojenega profesorja Martina Sekulića, kandidata madžaronske »narodne stranke«. Sekulić je bil znova izbran za poslanca v *Zemaljskom saboru kraljevine Hrvatske, Slavonije i Dalmacije* dne 9. 11. 1901 proti tekmecu iz »stranke prava« Marku Došenu, trgovcu iz Gospića. Od 62 volivcev jih je glasovalo 55, med njimi 36 za Sekulića, ki je ostal poslanec do poslednjih dni. Sekulić je zastopal Hrvate na kongresu slovanskih pedagogov v Pragi⁴⁴ in na Dunaju.⁴⁵

Na realki je v Teslovem času fiziko, matematiko in gimnastiko predaval Augustin Löffler, za prijatelje imenovan Ante. Zgodovinar Mijo Brašnić je v Rakovcu učil zgolj med letoma 1872–1874; ob tem se je kot začetnik lotil matematike in je leta 1872 v izvestjah

³⁰ Sin Josipa in oče zoologa Dragutina Ljudevita Šoštarica (* 1861 Reka; † 1890). (archive.org/stream/glasnikhrvatskog1891hrva/glasnikhrvatskog1891hrva_djvu.txt, ogled 19. 1. 2013)

³¹ *Verordnungsblatt für den Dienstbereich des K. K. Ministeriums für Kultus und Unterricht. Jahrgang 1870*. Wien: Staatsdruckerei, str. 528

³² babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383578;seq=878;view=1up:num=874, ogled 19. 1. 2013

³³ babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383560;seq=887;view=1up:num=881, ogled 19. 1. 2013 Kais. Königl. Militär-Schematismus für 1872. Wien: Stratsdruckerei, pozneje Schematismus für das kaiserliche und königliche Heer und für die kaiserliche und königliche Kriegsmarine); www.archive.org/stream/gradkarlovacopi00strogoog/gradkarlovacopi00strogoog_djvu.txt, ogled 19. 1. 2013

³⁴ www.archive.org/stream/kaiskniglmilitr01kriegoog#page/n681/mode/2up, str. 689, ogled 18. 1. 2013

³⁵ babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383552;seq=718;view=1up:num=714, ogled 19. 1. 2013

³⁶ Muljević, 1973, 332; *Siebente Jahresberichte der k. k. Ober-Realschule zu Rakovac in der k. k. Kroatisch-Slavonischen Militär-Grenze 1871/1872*

³⁷ hrcak.srce.hr/file/75578, ogled 18. 1. 2013

³⁸ rhzk.hr/vremeplov-travanj, ogled 1. 3. 2013

³⁹ Jamnicky, 1880, 25–32, 99–114

⁴⁰ Mikšić, 1883 (recall.archive.org/stream/radjugoslavensk07umjegoog/radjugoslavensk07umjegoog_djvu.txt, ogled 18. 1. 2013; www.archive.org/stream/gradkarlovacopi00strogoog/gradkarlovacopi00strogoog_djvu.txt, ogled 19. 1. 2013)

⁴¹ www.gimnazija-karlovac.hr/ucenici/nikola-tesla, ogled 19. 1. 2013

⁴² gimnastika-karlovac.com/o-klubu/povijest-kluba/, ogled 21. 1. 2013

⁴³ Dadić, 1982, 2: 253

⁴⁴ Horvat, 1941, 54; Šešić, 1996, 57

⁴⁵ Muljević, 1973, 338

rakovške realke pomagal pri objavi Löfflerjevega Novega nauka o geometriji.⁴⁶ Löffler je poleg dijaške vodil tudi telovadbo Gasilskega društva;⁴⁷ svoj sistem je povzel po češkem vzoru in je prvi objavljaj in govoril po hrvaško o telovadbi.⁴⁸ Morda je bil sin Johanna Siegfrida Löfflerja, od leta 1822 prvega ravnatelja Karlovskega Gozdnega ravnateljstva (*Karlovačko Šumsko ravnateljstvo, Gränz-Wald-Direction*) s središčem na Turnju (Thurn).⁴⁹

Mimo Sekulića je imel Tesla še številne druge koristne zglede med profesorji realke v Rakovcu. Moriz Antolić je bil bržkone sin ravnatelja normalke v Rakovcu Imbra Antolića (Mirko, * 1801 Nevinac; † 1854), absolventa bjelovarske geometrske šole.⁵⁰ Moriz je leta 1864 v izveštjah realke v Rakovcu objavil deset strani razmišljanj o diamagnetizmu;⁵¹ pojav je bil resda znan že domala celo stoletje, vendar ga je komaj Faraday leta 1845 opredelil kot splošno lastnost vseh snovi, ki ga v feromagnetnih in paramagnetnih okoljih resda zakrijejo izrazitejši pojavi.

Profesor naravoslovja Johann Max Hinterwaldner (* 1844; † 1912) je v izveštjah realke Rakovac za leta 1869/70, 1876/77, 1879/80 in 1880/81 pisal o živalih v karlovaški okolici. Najprej je bil suplent na gimnaziji v Innsbrucku; med letoma 1868–1870 je predaval v Rakovcu, nato pa znova v Innsbrucku. J. Strkljević je leta 1877 v izveštjah pisal o vztrajnosti pri trku;⁵² morda si je področje raziskovanja izbral kar zaradi pomenljivega priimka? Nikola Priča (* 1853 Korenica; † 1903 Karlovac) je o razmerju med gostoto plinov in teži njihovih molekul pripovedoval na osnovi dognanj tedanjih vakuumskih tehnik v izveštjah leta 1883.⁵³ V Rakovac je prišel po poučevanju na drugih vojaških srednjih šolah v Petrinji in Zemunu, prevedel pa je celo češko zoologijo.

Med rakovškimi dijaki je bilo že pred Teslom več nadarjenih pobov. Spis dijaka 5. razreda realke Frana Plentaja o korenjenju so dne 27. 6. 1867 prebrali kar pri Dunajski akademiji, ki je tik pred tem poslala svoja glasila v Rakovac.⁵⁴

Teslovo domišljivo je privlekla Sekulićeva urno sukajoča se vrtljiva krogla balon, ovita s staniolom in povezana z elektrostatičnim strojem;⁵⁵ ponazorila je širjenje valov skozi vakuum. Sekulić je neformalno najel navdušenega Tesla za svojega pomočnika pri eksperimentiranju⁵⁶ tudi z induktorjem Heinricha Daniela Ruhmkorffa (* 1803; † 1877) za vzburljanje svetlikanja kovinskega prahu v vakuumskih epruvetah. Z induktorjem je Sekulić preučeval spektralne razlike pri različnih ravneh izčrpanja zraka.⁵⁷ Dne 28. 2. 1863 je poznejši Teslov profesor Pöschl pred Štajerskim naravoslovnim društvom predstavil prav tedaj nabavljeni Ruhmkorffov induktor, sestavljen v Parizu leta 1851. Poslušalcem je kazal poskuse v Geisslerjevih ceveh različnih polnil, ki so kazala mnogotere barve ob ultravijoličnih in fosforescentnih pojavih.⁵⁸

Sekulić je imel v Rakovcu leta 1880/81 na skrbi 277 fizikalnih naprav in pripomočkov za pouk; radodarna vojaška uprava je omogočila višje nagrade predavateljem in dražjo oprema kot drugod v monarhiji.⁵⁹ Tesla si je v spodbudnem okolju zaželel izumljanja; previdno si je sicer izbral na učiteljsko smer realno računajoč na dosegljivi kos kruha v času demilitarizacije domače Vojne krajine z osiromašenjem rojakov, stoletja vajenih predvsem vojskovanja. Sekulićeva razlaga vzroka elektrike se je dolgo držala Tesla;⁶⁰ Ta je bil vsaj v srednji šoli spoštljiv dijak, podobno kot je Jurij Vega že v siju svoje lastne slave rad hvalil svojega ljubljanskega varuha Jožefa Maffeija. Nasprotno je Carl Friedrich Gauss že kot mladenič spoznal omejenost svojega učitelja Abrahama Gotthelma Kästnerja, podobno kot se je Teslu zgodilo na politehniku v Gradcu ali nekoliko pozneje Albertu Einsteinu v Zürichu.

Sekulić je bil dne 24. 11. 1873 uvrščen med dopisne člane matematično-naravoslovnega razreda JAZU v Zagrebu,⁶¹ podobno kot Šubic šest let pred njim.⁶² Tesla so za častnega člana JAZU izbrali leta 1896 in mu navrgli še častni doktorat Univerze v Zagrebu, kar je Sekulića gotovo navdušilo. V Radu

⁴⁶ Jahresbericht der k. k. Ober-Realschule zu Rakovac; vufind.mzk.cz/Record/MZK01-000796619, www.worldcat.org/title/novinauk-o-geometriji/oclc/761528966&referer=brief_results, ogleda 18. 1. 2012

⁴⁷ www.archive.org/stream/gradkarlovacopi00strogoog/gradkarlovacopi00strogoog_djvu.txt, str. 78, ogled 18. 1. 2013

⁴⁸ Löffler, 1874; Löffler, 1879; www.gimnazija-karlovac.hr/povijest-nase-skole/kraljevska-velika-realka, ogled 18. 1. 2013

⁴⁹ hrcak.srce.hr/file/19641, str. 187, ogled 18. 1. 2013

⁵⁰ www.muzej-koprivnica.hr/wp-content/uploads/2012/11/PZ10.pdf, ogled 18. 1. 2013

⁵¹ Antolić, 1864; Hübl, 1869, 209

⁵² Strkljević, 1876/77

⁵³ Priča, 1883; archive.org/stream/radjugoslavensk07umjegooog/radjugoslavensk07umjegooog_djvu.txt, ogled 18. 1. 2013

⁵⁴ Plentaj, 1867, 169, 107; Plentaj, 1867, 154; Plentaj, 1867, 54

⁵⁵ Pištalo, 2009, 194; Šešić, 1996, 56

⁵⁶ Pištalo, 2009, 44–45

⁵⁷ Šešić, 1996, 59

⁵⁸ Pöschl, 1863, 51–52

⁵⁹ Muljević, 1973, 336

⁶⁰ Sekulić, 1877

⁶¹ Muljević, 1973, 331, 334

⁶² S. Šubićevo pismo K. Glaserju 1. 7. 1899, str. 3 (nepaginirano); Čermelj, 1971, 713

JAZU je Sekulić objavil osem znanstvenih razprav med letoma 1872–1882; v eni je citiral prijatelja Šubica.⁶³ V razredu matematično-prirodoslovnih znanosti JAZU je bilo šest rednih in prav toliko dopisnih članov; med redne člane je bil že ob ustanovitvi Akademije maja 1866 izvoljen ljubljanski veterinar in urednik Janez Bleiweis. V istem razredu je bil v Teslovem času redni član Josip Torbar (* 1824; † 1900), profesor fizike na višji realki v Zagrebu. Bil je urednik Rada Akademije za prirodoslovne znanosti, od leta 1890 do smrti pa predsednik JAZU. Šubičev prijatelj, slovenski zoolog in pisatelj Fran Erjavec, je bil izvoljen za dopisnega člana matematično-prirodoslovnega razreda dne 23. 11. 1875. Tako so bili med dvanajstimi rednimi in dopisnimi člani matematično-prirodoslovnega razreda JAZU v drugi polovici 1870. let kar trije Kranjci; Ljubljana pač ni imela svoje Akademije, Zagrebčani pa so vsaj sprva radi tiskali v slovenščini.

Šubic je tesno sodeloval s hrvaškimi znanstvenimi krogi, predvsem pa s prijateljem Sekulićem; drug za drugim sta objavljala prve originalne fizikalne razprave v Radu. Šubic je svoje sodelovanje v Radu jezno prekinil leta 1877, ko niso več hoteli tiskati razprav v slovenskem jeziku.

3.1 Teslova teorija kapilarnosti

Šubičev prijatelj profesor eksperimentalne fizike in direktor novega instituta na graški univerzi od avgusta 1868 do 21. 7. 1876 August Toepler (* 1836; † 1912) je dne 10. 4. 1875 pred Štajerskim naravoslovnim društvom predaval o kapilarnosti. Nihanja kapljic Johanna Gottloba Leidenfrost (* 1715; † 1794), odkritih leta 1756, je močno osvetlil z razbeljenim apnencem škotskega inženirja Thomasa Drummonda (Drumond, * 1797; † 1840); sliko je s sistemom zrcal in leč projiciral na zaslon v veliko zadovoljstvo obiskovalcev. Ukrivljeno površino vode ali živega srebra je kazal z v ta namen posebej prirejene naprave Louisa Julesa Dubosqa (* 1817; † 1886). Uporabil je tudi razbeljeni apnec nove vrste za dobro osvetlitev poskusov v predavalnici s pokalnim plinom.⁶⁴

Ravno ko je ob Teslovem prihodu v Gradec dokončal novi univerzitetni fizikalni institut, je za božič leta 1875 Toepler padel z drugega nadstropja v podprtiličje in se močno poškodoval;⁶⁵ kmalu nato je odšel na Politehniko v Dresden, v Gradcu pa ga je zamenjal Boltzmann. Kakor koli že, Toeplerjevo predavanje je močno odmevalo v Gradcu, čeprav se je Tesla najbrž pripeljal prepozno, da bi ga lahko slišal v

živo. Neke januarske nedelje 1876 je Tesla po nekaj mesecih študija v Gradcu pred tamkajšnjim društvom srbskih študentov *Srbadija* predaval po Toeplerjevem vzoru »*O kapilarnim cevima*«; drugi član društva Gjuro Dimić je predaval o sodobnih teorijah nastanka in razvoja Zemlje.⁶⁶ Tesla je skupaj z Dimićem, Kulišićem in kopico sošolcev pomagal ustanoviti Društvo kot protiutež nemškimi študentom dne 19. 12. 1875. Njegovo predavanje je na osmem mestu programa v Almanahu leta 1884, objavljenega v tedanjem novosadskem središču srbske manjšine v Habsburški monarhiji.

Podobno je tudi Mihajlo Pupin doktoriral iz enake teme leta 1889 v Berlinu, četrto stoletja za Teslom je Albert Einstein leta 1901 začel fizikalno pot s kapilarnostjo, leta 1906 pa se je istega pojava lotil začetnik Niels Bohr. Teslov prvi korak v fiziko kinetične teorije, vakuuma in kapilarnosti je bil neposredno povezan s predavanji njegovega profesorja Sekulića. V tretji četrtini preteklega stoletja so objavili dve razpravi o kinetični teoriji v hrvaških srednješolskih izveštjih, eno pa si je v Radu JAZU privoščil Sekulić leta 1874; v Radu 1876 in v izveštjih 1877 je Čeh Laska objavil še razpravi s podobno vsebino. Razpravo Ivana Benigarja, objavljeno med študijem na Dunaju, lahko prištevamo med slovenske, saj je bil Ivan rojen v okolici Ilirske Bistrice, čeprav je pozneje vseskozi služboval na Hrvaškem; tam so ga seveda za hec klicali za »Janeza«.

Med avstrijske raziskovalce smo prišteli tudi rojenega Avstrijca Ferdinanda Redtenbacherja (* 1809; † 1863), ki se je po študiju in treh letih dela na dunajski univerzi sicer leta 1834 preselil najprej v Švico, leta 1841 pa v Karlsruhe. Njegov vpliv na naše kraje je ostal precejšen preko bratrancev in svakov: dunajskega kemika Josefa Redtenbacherja (* 1810; † 1870) in praškega zdravnika in zoologa Ludwiga Redtenbacherja (* 1814; † 1876). Tudi Emil Herrmann (* 1840 Dognesca na Ogrskem v današnji Romuniji; † 1925) je deloval tako v habsburški monarhiji kot v Nemčiji; študiral je tehniko na Dunaju (1856–1858), v Pešti in v Banski Štiavnici (Schemnitz) na Slovaškem med letoma 1859–1863. Med letoma 1863–1867 je delal v Avstriji, pozneje pa na Nemškem.

Več raziskovalcev kinetične teorije, med njimi Šubic, doktor filozofije duhovnik Gregor Tuschar (* 6. 3. 1816 Idrija; † 12. 11. 1891 Gorica), upokojen kot goriški gimnazijski profesor,⁶⁷ Čeha Franjo Mathon in Antun Laska (* 1844; † 1908), Joseph Polák, Karl Klekler ter Julius Puluj (* 1845; † 1918) so v obrav-

⁶³ Sekulić 1874, 111

⁶⁴ Toepler, 1875, L–LI

⁶⁵ Stiller, 1989, 18, 53

⁶⁶ Mrkić, 2004, 23; Kulišić, 1936, 9, 15; Cverava, 2006, 34–36; Tesla, 1884, 1

Tabela 2: Raziskovalci kinetične teorije plinov in vakuumu, ki so raziskovali v avstrijski polovici habsburške monarhije med letoma 1856–1875 vključno. Znaka **ZA**, in **PR**oti označujeta opredelitev glede na osnovno smer kinetične teorije. Okrajšane oznake glasil, v katerih so ti raziskovalci objavljali, so: **Wien. Ber.**, **Z. Math. Phys.**, **Archiv. Math.**, **Pogg. Ann.**, **Rad.**, **Dinglers Polytechnic Journal**, **Phil. Mag.**, **Izvestje srednjih šol**, **Österreichischen Ingenieur und Architekten Vereines Zeitschrift**, **Letopis Slovenske Matice** in **Knjiga**:

rojstvo/smrt	ime in priimek	dela o KT	opredelitev ZA ali PRoti
1793–1865	Andreas von Baumgartner	1857 AM, 1860 WB, 1864 AM	PR
1804–1877	Karel Robida	1860 K, 1864 ZMF, 1865 ZMP	PR
1809–1863	Ferdinand Redtenbacher	1857, 1861 K	PR
1812–	Joseph Polák	1867 Iz	?
1821–1895	Josef Loschmidt	1865, 1866, 1867, 1869, 1870 WB	ZA
1826–1883	Gustav J. Schmidt	1857 PA 1860 WB, 1861 K+Iz, 1865 WB, 1871 DP	PR
1827–1888	Franz J. Pisko	1875 Iz	ZA
1829–1912	Karel Puschl	1869 K, 1861, 1862 Iz, 1862, 1863, 1870 (2), 1874 (3), 1875 (4) WB	PE
1830–1903	Simon Šubic	1862 K+WB, 1963 WB, 1864 Iz, 1872 PA (2), 1872, 1873, 1874 R	PR
1833–	August Schwarzer	1859 Iz	ZA
1833–1905	Martin Sekulić	1874 R	PR
1835–1883	Jožef Stefan	1858 WB, 1863 WB (2), 1863 PA, 1871 WB, 1872 WB	ZA
1836–1927	Gustav Tschermak	1860, 1861, 1862 WB, 1863 K	PR
1837–	Heinrich Schramm	1872 K, 1873 Iz	PR
1837–1915	Aloiz Handl	1865, 1872 (2), 1874, 1875 WB	PR
1838–1924	Szily, Kálmán von Nagy Szigeth	1872, 1873, 1875 PA	ZA
1838–1916	Ernst Mach	1862 WB, 1872 K	ZA+PR
1838–1913	Ferdinand Lippich	1870 PA	ZA
1838–1921	Victor E. von Lang	1871, 1871 WB	ZA
1839–1920	Leopold von Pfaundler	1869 WB, 1871 WB	ZA
1840–1925	Emil Herrmann	1871 WB, 1875 In	ZA
1842–	Karl Klekler	1869 Iz	ZA
1843–	Julius Eibel	1865 ZMF	ZA
1844–1906	Boltzmann	1866, 1867, 1868 (2), 1871 (3) WB, 1871 PM, 1871 PA, 1872 (2) WB, 1875 (2) WB	ZA
1844–1908	Antun Laska	1874 Iz	PR
1845–1920	Ivan Benigar	1870 WB	ZA
1845–1918	Julius Puluj	1874, 1875 WB	ZA
1846–	Andrej Wretschko (Vrečko)	1870 WB	ZA
1846–1916	Luka Lautar	1873 LM	PR
	Johann Plank	1873 Iz	ZA
1852–1915	Oskar Simony	1873, 1874, 1875 ZMF	PR
185?–	Wenzel Grünert	1873 Iz	ZA
	Johann Hammerschmied	1872 K	PR

navanem obdobju 1855–1875 službovali ali študirali na obeh straneh mejne reke Litve (Leite). K avstrijskim razpravam smo prištelili srednješolske izvestje iz ogrske polovice monarhije, če so tam objavljali raziskovalci iz avstrijske polovice: Prlek Josip Križan na varaždinski gimnaziji, Klekler na Višji realki v Pančevu,⁶⁸ Mathon in Puluj na Reki, Tuschar v Bratislavi in Polák na katoliški gimnaziji pijaristov v mestu Kecskemét, jugovzhodno od Budimpešte. K avstrijskim raziskavam prištevamo objave v Dunaju

neposredno podrejeni Vojni krajini (Pančevo, Varaždin, Rakovac), ne pa v zamejstvu objavljenih del madžarskih raziskovalcev, denimo odmevne ugotovitve Kálmána Szily von Nagy–Szigetha (* 1838; † 1924) v *Pogg. Ann.* ali *Phil. Mag.*

V seštevek nismo vključili Andreasa von Ettingsausena (* 1796; † 1878), fiziologa Karla Ludwiga (* 1816; † 1895) in Josepha Wilhelma Grailicha (* 1829; † 1859). Vse tri imamo sicer za pomembne organizatorje raziskovanja kinetične teorije na Dunaju

⁶⁷ Slovenec, med letoma 1840–1842 adjunkt na Liceju v Ljubljani (Ciperle, 2001, 308–309), med letoma 1850–1853 profesor zgodovine in zemljepisa na ljubljanski gimnaziji (Črnivec, 1999, 427) v Bratislavi pa med letoma 1853–1856 profesor latinskega in nemškega jezika (Hübl, 1869, 205; www.bmj.sk/2003/10401-01.pdf, str. 4–5, ogled 17. 1. 2013, www.arzenal.si/files/knjiznica/knjige/1184/pdf, str. 153, 186, ogled 2. 2. 2013)

⁶⁸ babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383578;seq=878;view=1up;num=874, babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015062383560;seq=887;view=1up;num=881, ogleda 2. 2. 2013

Tabela 3: Razprave o toploti, teoriji molekul in vakuuma v srednješolskih izveštjih habsburške monarhije med letoma 1850–1875. Tiste, ki se nanašajo (tudi) na kinetično teorijo plinov, so označene s **KT**, poleg kraja pa je zaznamovana še vrsta šole, Višja ali Nižja Realka oziroma Gimnazija.

Leto	Pisec	Vsebina	Kraj in šola	Opombe
1855	Franjo Mathon (* 1829)	toplota	Reka G.	KT
1855	Gregor Tuschar	atomizem	Bratislava kat. G.	?
1859	August Schwartzter	toplota	Praga nemška VR	KT
1860	Chrysostomus Amon	filozofija atomov	Wiener Neustadt VG	ni KT
1861, 1862	Karl Puschl	sila med molekulami	Melk samostan. G.	KT
1863	Ignatz Weiner (* 1831)	toplota	Brno NR	ni KT
1864	Simon Šubic	temperatura	Dunaj Rossau NR	KT
1867	Joseph Polák (* 1812)	toplota, meteorologija	Kecskemét G.	ni KT
1869	Karl Klekler (* 1842)	termodinamika	Pančevo VR	KT
1873	Ivan Benigar (* 1845; † 1920) ⁶⁹	prevajanje toplote	Vinkovci G.	ni KT
1873	Wenzel Grünert	toplota	Brno nemška G.	KT
1873	Heinrich Schramm	privlačna sila	Wiener-Neustadt VR	KT
1874	Dragutin Kössler (* 1842)	prevajanje toplote	Reka G.	ni KT
1874	Antun Laska (* 1844; † 1908)	molekulska teorija	Požega VG	KT
1875	Franz Joseph Pisko (* 1827; † 1888)	toplota	Dunaj Sechshaus VR	KT

in še posebej za Stefanove učitelje; med njihovimi objavami pa ni pomembnejših raziskav kinetične teorije, čeprav jim je bila zelo blizu.⁶⁹

Med letoma 1856–1875 je dvaintrideset avstrijskih raziskovalcev objavilo 48 razprav v podporo kinetični teoriji, prav toliko pa proti njej; res pa so se za novost zavzemali trije raziskovalci več. Seveda so v naslednjih letih Teslovih študijev v Gradcu in Pragi prevladali Stefanovi sodelavci, ki so razen Machove katedre v Pragi zasedli vse najpomembnejše položaje v monarhiji. Med letoma 1850–1875 je devet avstrijskih šolnikov v srednješolskih izveštjih podprlo kinetično teorijo, le štirje pa so bili proti. Srednješolski profesorji so tako nadpovprečno podpirali novost, saj so bili v njenem duhu večinoma že vzgojeni med dunajskim šolanjem pri Andreasu Ettingshausnu in njegovemu nasledniku Jožefu Stefanu.

Ni mogoče trditi, da bi bila podpora kinetični teoriji odvisna od razdalje med Dunajem in krajem, v katerem je posamezen pisec raziskoval. V dobi Teslovega šolanja pri Sekuliću v Rakovcu je bilo nasprotovanje kinetični teoriji in Boltzmannovi statistični mehaniki še mogoče, kmalu nato pa ne več; nova teorija je postala del nedvoumnega osnovnega pouka na univerzah, pozornost Tesla in drugih prihajajočih raziskovalcev pa se je dve stoletji po njenih začetkih znova usmerila v vakuumsko tehniko kot temelju novodobne elektrotehnike.

Med Teslovim obiskovanjem srednje šole v Rakovcu so med razpravami v srednješolskih izveštjih v Nemčiji in Habsburški monarhiji že močno prevladovala razglabljanja o elektromagnetizmu.⁷⁰ Tesla je v Gradcu pri Rognerju opravil izpit iz statistike in je seveda poznal Boltzmannovo teorijo entropije. Podobno kot sam Boltzmann ali Einstein, pa se zaradi klasičnega pouka pri Sekuliću ni mogel nikoli zares sprijazniti s statističnim pojmovanjem nevidnih gibanj v vakuumu, kot ga je predstavila kvantna mehanika v dobi po Teslovem srečanju z Abrahamom.

Šubic in Sekulić⁷¹ sta Redtenbacherjeve *Dynamide* raje nadomeščala s Clausiusovim kinetičnim pojmovanjem atoma, v katerem po njunem mnenju eter ni bil važen. Redtenbacherjeva *Dynamida* je tako v Evropi igrala podobno vlogo kot na Britanskih otokih Boškovičeva alternirajoča sila, oplojena z Maxwelllovo odbojno silo, ki se zmanjšuje s peto potenco razdalje.

Šubic se je dne 27. 6. 1871 Redtenbacherjevi teoriji odrekel v korist Clausiusovega kinetičnega pojmovanja toplote, ki sicer ni ponujalo kakega posebnega modela atoma.⁷² Prav podobno mnenje je pol meseca pred Teslovo maturo dne 9. 7. 1873 zastopal Šubičev prijatelj Sekulić,⁷³ ki je nasprotno od Šubica obenem tudi ostro kritiziral sam koncept etra; pri tem se je skliceval na Šubičev zgodnejši tekst iz leta 1862.⁷⁴ Šubic ni pojasnil svojega mnenja o Redtenbacherjevih *Dynamidah*, obstoj etra pa je nasprotno od Sekulića zagovarjal v svojih znanstvenih delih in v učbeniku.⁷⁵

⁶⁹ Ludwig, 1856; Ettingshausen, 1857

⁷⁰ Hübl, 1869, 208–210

⁷¹ Laska, 1877, 6–7; Šubic, 1871, 20; Sekulić, 1874, 110; Šešić, 1996, 67–68

⁷² Šubic, 1872, 20

⁷³ Sekulić, 1874, 110; Šešić, 1996, 65

⁷⁴ Sekulić, 1874, 111

⁷⁵ Šubic, Rad 1874, 1–2

⁷⁶ Hübl (1869) ga ne navaja.

O Šubičevem sprejemanju atomistične v nasprotju z dinamično teorijo pa priča tudi njegov opis kapilarne sile z molekularnimi silami, ki silijo kapljico v ovalno obliko molekule⁷⁷ in so pravzaprav sile kohezije.⁷⁸

3.2 Eter

Oster kritik uporabe etra v fiziki vakuuma je bil Sekulić leta 1874, predvsem pa seveda Ernst Mach. Fizikalna prepričanja Jožefa Stefana so se globoko razlikovala od domnev Šubica, Sekulića ali Tesla. Slednji je bil v Strasbourgu ob odprtju 3. mednarodne električne razstave na Dunaju pod tehničkim Stefanovim vodstvom dne 11. 8. 1883. Tako morda ni osebno poznal dve desetletji starejšega Stefana, razen če se nista srečala malo pred Stefanovo smrtjo, ko je Tesla obiskal Dunaj aprila 1892⁷⁹ ob poslednjih urah svoje matere. Stefan in večina drugih učencev Andreasa Ettingshausna, vključno z Boltzmannom, so si predstavljali eter sestavljen iz neprestano gibljivih molekul, podobnih (večjim) molekulam navadne snovi.

Šubic je takšen model etra odklonil že med službovanjem v Pešti.⁸⁰ V svojih zgodnjih razpravah je nasprotoval fizikalnim teorijam snovi brez teže, med katere je po prevladujočem mnenju spadal tudi eter.⁸¹ V učbeniku za višje razrede je Šubic v prvi izdaji s predgovorom, datiranim »poleti 1860« uporabil etrsko hipotezo le za razlago svetlobe.⁸² V poznejših izdajah učbenika⁸³ in razpravah je Šubic sprejel hipotezo o etru, čeprav ni igrala pomembne vloge v njegovih teoretskih modelih. Svoje mnenje o etru je Šubic očitno spremenil med letoma 1864–1867; Karl Robida je podpiral Šubičevo prvotno odklonilno stališče do etra, ko se je v komentarju Šubičeve knjige iz leta 1862 veselil »zametavanja« (*Verwerfung*) od materije različnih etrov,⁸⁴ ki naj bi ga zagrešil Šubic. Nobeden od njiju sicer ni šel tako daleč kot Sekulić, ki je eter sploh proglasil za »izmišljeno sredstvo, ... s katerim naravoslovci beže z dežja pod kap ...«, izmišljeno

sredstvo v izogib težavam.⁸⁶ Pri tem se je vsaj deloma skliceval na samega Šubica.⁸⁷

Šubic je z zadržki zavračal obstoj električne breztežne snovi. Podobno materijo je v optiki in termodinamiki odločno odklanjal.⁸⁸ Vendar to brzokone še ne pomeni, da se je Šubic kot prvi »od etera v svojih razpravah emancipirao«.⁸⁹ Sekulić namreč ni videl pomembne razlike med etrom, ki je izšel iz Fresnelove valovne teorije, in drugimi breztežnimi snovmi iz 18. stoletja in zgodnjih desetletij 19. stoletja, kot je bil kalorik. Šubic je sprva zavrnil opis etra kot snovi brez teže,⁹⁰ zdelo se mu je, da se z njim vračamo na preživele oblike teorije vakuuma. Vendar je pozneje Šubic priznal obstoj breztežnega etra za prenos svetlobnega vala,⁹¹ prav tako pa toplotnega valovanja⁹² v vakuumu. S tem je postavil Sekulićeve trditve⁹³ na laž. Med oddajo Sekulićeve razprave dne 9. 7. 1873 in oddajo Šubičeve razprave 26. 3. 1874 za tisk v istem časopisu *Rad* je poteklo le pol leta. Nasprotujoči si trditvi obeh piscev pričata, da v tem času kmalu po Teslovi maturi nista več bila v tesnejših osebnih ali pisnih znanstvenih stikih, čeprav je Sekulić svojega nekdanjega sodelavca iz Pešte Šubica imenoval prijatelja.⁹⁴

Sekulić se je nagibal k domnevi,⁹⁵ da Šubic (1862) ni bil naklonjen etru, še posebej ne v teoriji toplote; tam je bil eter morda najmanj potreben, saj je nastopal predvsem pri sevanju. To dvojnost obravnave istega pojava v različnih okoliščinah je potem omogočila Planckovo (1900) delno kvantizacijo elektromagnetnega polja, ki je pred Einsteinovim posegom leta 1905 obsegala le sevanje, ne pa absorpcije. Takšna dvojna merila so korenine sodobnega dualizma kvantne mehanike, ki povezuje lastnosti delcev in valov v snovi.

Razvoj pojmovanj o etru je nadvse zapleten. Sekulić se mu je v svojih razpravah 1874 skušal povsem ogniti; pri odločujočih raziskovalcih Boltzmannovega kova do resnih dvomov v potrebnost etra ni prihajalo. Morda pa je prav dvom v atomizem in eter pri učenjakih na prelomu stoletja Boltzmannova v

⁷⁷ Šubic, 1874, 208–215

⁷⁸ Šubic, 1874, 27

⁷⁹ Mrkić, 2004, 45

⁸⁰ Sekulić, 1874, 111

⁸¹ Šubic, 1862, 1; Šubic, Z. öst. Gym. 1862, 320–321; Šubic, Z. öst. Gym. 1864, 528

⁸² Šubic, Lehrbuch 1861, 345

⁸³ Šubic v drugi izdaji iz leta 1867 na str. 17, v tretji izdaji iz leta 1874 na str. 26

⁸⁴ Robida, 1863, 463

⁸⁶ Sekulić, 1874, 110

⁸⁷ Šubičevo poročilo v Wien. Ber. napak navaja z letnico 1861 namesto 1862 (Sekulić, 1874, 111).

⁸⁸ Šubic, *Zeitschrift für die österreichischen Gymnasien (Zeit. gym.)* 1862, 321

⁸⁹ Sekulić, 1874, 111; Muljević, 1973, 334

⁹⁰ imponderabel (Šubic, 1862, 230)

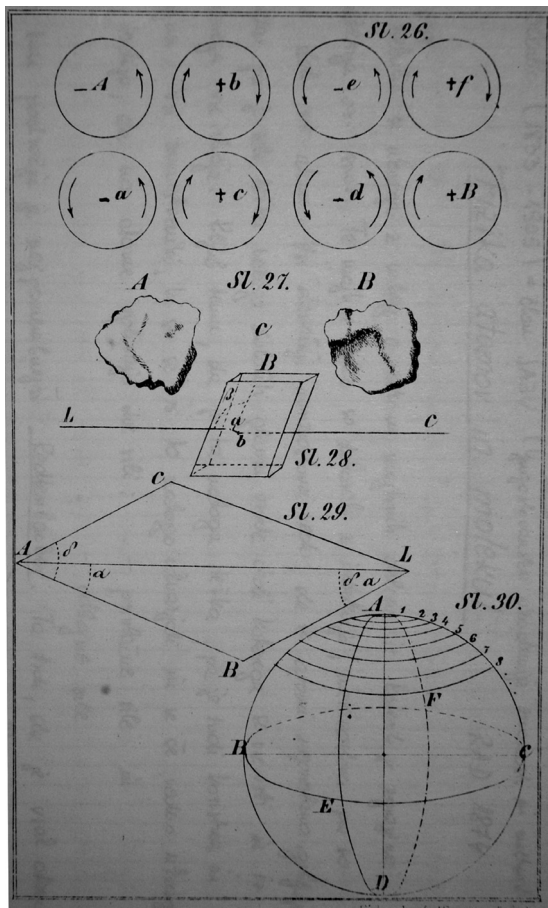
⁹¹ Šubic, Lehrbuch 1874, 26, 460, 524, 540, 541

⁹² Šubic, *Rad* 1874, 1–2

⁹³ Sekulić, 1874, 111

⁹⁴ Sekulić, 1874, 111

⁹⁵ Sekulić, 1874, 111



Slika 4: Sedma skupina slik s Sekuličevimi skicami magnetov (Sekulić, 1874).

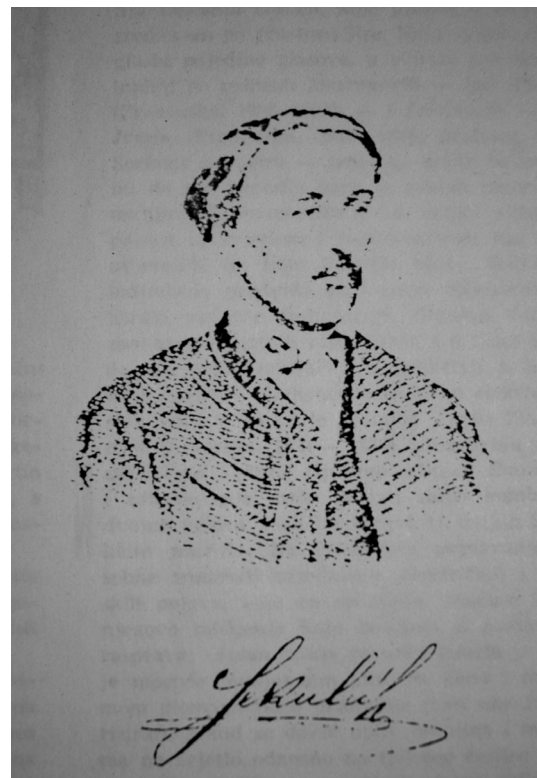
zadnjem desetletju življenja tako zelo oddaljilo od modernega razvoja fizike. V svojih dunajskih predavanjih ni omenjal ne Plancka (1900) ne Einsteina (1905) in se je tako zaprl za okope klasične fizike, ki jih je prav sam najbolj pomagal podirati! Tesla je bil blizu Boltzmannovemu mnenju, saj ni sprejel Sekuličevega mnenja, ko je leta 1891 trdil, da eter, povezan s snovjo, lahko imenujemo elektriko, čeprav ji ni naravnost enak. Tesla je električni naboj imel za stanje napetosti etra, podobno kot liverpoolski radijski pionir Oliver Lodge, ki je eno leto po Teslu dne 14. 8. 1894 uprizoril prenos radijskih valov med svojim oxfordskim predavanjem kot kronska potrditev uporabnosti novega pripomočka za sporazumevanje na daljavo. Tesla ni odobral Einsteinove izločitve etra kot odvečnega nepotrebnelega medija v relativnostni teoriji.⁹⁵

3.3 Severni sij in fluorescenca

Raziskovanje iskrenja in strel je Sekulića v Teslovih dijaških letih pripeljalo k preučevanju fluore-

scence. Stokes je domneval, da je sila v enostavnem razmerju z odmikom delca snovi od ravnovesne lege. Odvisna je od sestave etra in razdalje med molekulami snovi, amplituda nihanja pa je neskončno majhna v primerjavi z velikostjo molekul. Nihajni čas molekul je drugačen od nihajnega časa delcev etra, frekvenca fluorescirane svetlobe pa se zniža zaradi zmanjšanja amplitude.⁹⁶ Anders Jonas Ångström je leta 1853 neodvisno od Stokesa opravil podobne poskuse, vendar je prišel do nasprotnih ugotovitev. Po njem bi morali atomi etra nihati celo oktavo višje in bi imela fluorescenčna svetloba zato višjo frekvenco od absorbirane.⁹⁷

Josip Torbar (* 1824; † 1900), profesor fizike in prirodopisa na višji realki v Zagrebu, je v razpravi *Sjeverna zora* zagovarjal Olmstedovo teorijo o kozmičnem izviru severnega sija; zavračal je teorijo Augusta de la Riva o elektriki kot povzročiteljici severnega sija.⁹⁸ Naslednje leto je Teslov profesor Sekulić objavil razpravo o električni naravi severnega sija: *Polarna zora kao učinak zemaljske munjine*.⁹⁹ Sekulić je Torbarju nasprotoval in je sestavil celo lasten stroj za laboratorijsko tvorbo severnega sija in



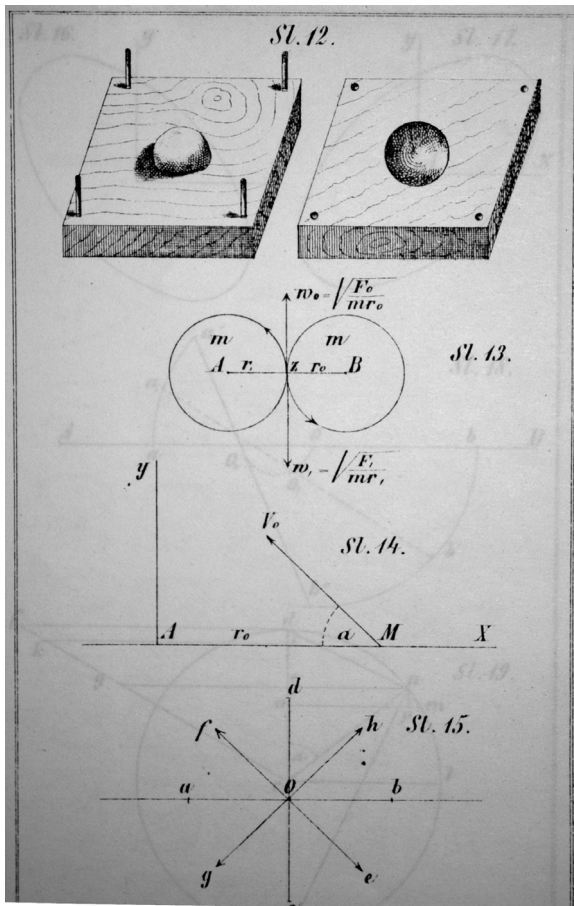
Slika 5: Portret Teslovega srednješolskega profesorja in rojaka Martina Sekulića z lastnoročnim podpisom

⁹⁵ Dadić, 1982, 2: 310–311

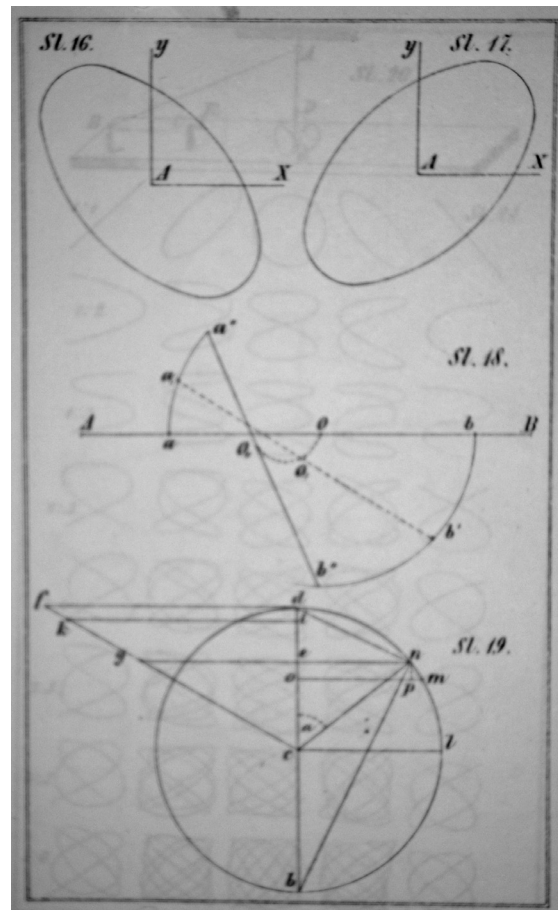
⁹⁶ Sekulić, 1871, 80; Šešić, 1996, 58

⁹⁷ Sekulić, 1871, 80; Kayser, 1908, 866

⁹⁸ Torbar, 1871



Slika 6: Tretja skupina Sekulićevih ponazoritev molekul (Sekulić, 1874)



Slika 7: Četrta skupina Sekulićevih ponazoritev molekul (Sekulić, 1874)

spektralno analizo njegove svetlobe,¹⁰⁰ ki ga je gotovo uporabljal Sekulićev neformalni asistent Tesla. Ta je domisljico pozneje mnogokratno povečal s povzročanjem strel v Colorado Springsu. Sekulić se je skliceval na zelo zgodnje domneve o električni naravi vremenskih pojavov, vključno s poročilom o rdečem dežju Edmunda Halleyja iz leta 1731 in idejami Benjamina Franklina.¹⁰¹

Po De la Rivovi in sorodnih teorijah naj bi bil severni sij podobna oblika električnega praznjenja kot blisk, kar je Sekulić (1872) dokazoval tudi z enako spektralno analizo obeh pojavov. Za Sekulićevo raziskovanje severnega sija in vijolične svetlobe Sonca se je v osebnem pismu pozanimal astrofizik, kristalograf, elektrotehnik, geolog in spektroskopist William Garrow Lettson (* 1805 Fulham; † 14. 12. 1887).¹⁰² Lettson je zaslovel že leta 1858, ko je skupaj z Gregom Robertom Philipsom (* 1826; † 1906) objavil

dobro dokumentirano odmevno zgodovino angleške geologije. Lettson je bil diplomat v Evropi in Južni Ameriki do leta 1869; nato se je upokojil. Bil je član Kraljeve astronomske družbe v Londonu od leta 1849, v času Teslovega študija pri Sekuliću pa je sredi 1870. let raziskoval predvsem minerale z njihovimi optičnimi lastnostmi vred in rep kometa, vidnega leta 1882.

Lettsonov poseg je povzel tajnik JAZU Josip Torbar na slavnostni seji JAZU kot odkritje ultravijoličnih žarkov v spektru Sonca.¹⁰³ Ob Sekulićevo iz hrvaščine prevedeno teorijo interference¹⁰⁴ se je dne 15. 8. 1873 obregnil učenec Gustava Roberta Kirchhoffa Friedrich Wilhelm Feussner (* 1843; † 1928) v tedanji najpomembnejši nemški fizikalni reviji.¹⁰⁵ Marburški univerzitetni predavatelj kinetične teorije plinov med letoma 1887–1901/1902 Feussner je zagotavljal, da je Sekulićevo interferenco že sam opazil; vendar mu ni šlo za prioriteto, temveč je

⁹⁹ Sekulić, 1872, Rad; Sekulić, 1877/78); Sekulić, Rad 1872

¹⁰⁰ Dadić, 1982, 2: 257–258; Šešić, 1996, 62

¹⁰¹ Šešić, 1996, 61, 76

¹⁰² Napačno Lettson (Dadić, 1982, 2: 258)

¹⁰³ Torbar, Izvještaj sa Svečane sjednice. RAD 25, 1873, 252; Šešić, 1996, 64; Muljević, 1973, 333

¹⁰⁴ Sekulić, 1873, 126–128

¹⁰⁵ Feussner, 1873, 561–564

predvsem dopolnil Sekulićeva opažanja.¹⁰⁶ Feussner se je zavzemal za veljavo valovne teorije svetlobe in je v njen prid pozneje navajal celo prispevek Boškovićevega učenca Karla Benvenutija (* 1716; † 1789).¹⁰⁷ Takšni mednarodni odmevi tehtnih Sekulićevih objav so nedvomno vzbujali občudovanje Tesla in sošolcev.

Robida se je obregnil ob R. Clausiusov entropijski zakon, Šubic pa je svoje najodmevnejše objave posvetil kritiki Boltzmannovega H-teorema leta 1872 v okvirjih nastajajoče statistične mehanike. Za njima je še Sekulić vstopil na majava tla teorije s trditvijo, da je elektromotorna sila oziroma energija Voltove baterije sorazmerna proizvedeni toploti. Sekulićev sklep je bil v skladu s prijateljem Hansom Petrom Jørgenom Juliusom Thomsenom (* 1826; † 1909) iz Univerze Kopenhagen, pač pa v nasprotju z nekaterimi poskusi nekdanjega direktorja Münchenske Politeh-

nike Wilhelma von Beetza (* 1822; † 1886) in dunajskega profesorja in vodjo fizikalnega inštituta Franza Serafina Exnerja (* 1849; † 1926).¹⁰⁸

Sekulićeva trditev je bila posplošitev Thomsen-Berthelotovega principa, ki ga je Thomsen postavil leta 1854, Marcellin Bertelot pa dopolnil leta 1864 s termično teorijo afinite. Tolikšno odkritje pa je bilo prevelik zalogaj za srednješolskega profesorja Sekulića; čeprav ga je smel objaviti v Zagrebu, so na Dunaju in v Leipzigu priobčili kvečjemu povzetke.¹⁰⁹ Nemudoma po Sekulićevi zagrebški objavi je namreč Hermann Helmholtz v Berlinu leta 1882 dokazal, da afinite ne določa toplota kemijske reakcije, temveč maksimalno delo pri reverzibilno izpeljani reakciji. Seveda je Sekulić odtlej znanstveno obmolknil in postal toliko glasnejši v politiki.

¹⁰⁶ Feussner, 1873, 561

¹⁰⁷ Feussner, 1877, 323

¹⁰⁸ Sekulić, 1881, 171–172; Šešić, 1996, 72

¹⁰⁹ Sekulić, 1881, 190; Sekulić, 1878 Anzeiger, 129

DRUŠTVENE NOVICE

20. MEDNARODNO ZNANSTVENO SREČANJE »VAKUUMSKA ZNANOST IN TEHNIKA«

Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije je 9. in 10. maja 2013 organiziralo jubilejno, 20. mednarodno znanstveno srečanje z nazivom »Vakuumska znanost in tehnika«. Gre za redna letna srečanja raziskovalcev in tehnologov, ki se ukvarjajo z raziskavami bazičnih procesov pri znižanem tlaku in uporabi vakuumskih tehnik in tehnologij.

Tokrat smo za srečanje izbrali posestvo Brenholc v Jeruzalemu v Slovenskih goricah. Na srečanju smo obravnavali novosti na področjih vakuumske znanosti in tehnologij, tehnik za analizo površin, tankih plasti in prevlek, plazemske znanosti in tehnologij, elektronskih materialov in vakuumske metalurgije. Uradni jeziki srečanja so bili angleščina, slovenščina in hrvaščina.

Mednarodnemu programskemu odboru sta predsedovala predsednika slovenskega in hrvaškega vakuumskega društva, prof. dr. Miran Mozetič (Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana) in dr. Slobodan Milošević (Institut za fiziku, Zagreb). Člani odbora pa so bili: doc. dr. Janez Kovač (Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana), prof. dr. Monika Jenko (Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana), doc. dr. Miha Čekada (Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana), dr. Marko Kralj (Institut za fiziku, Zagreb), dr. Maja Buljan (Institut Ruđer Bošković, Zagreb), prof. dr. Ante Bilušić (Prirodoslov-

no-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu) in prof. dr. Mladen Petravić (Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci).

Mednarodni programski odbor je na srečanje povabil predavatelje, ki so se v zadnjih nekaj letih izkazali s pomembnimi dosežki na prej navedenih področjih. Spisek vabljenih predavateljev in naslovi njihovih predavanj so navedeni v spodnjih vrsticah. Vodenje mednarodnega organizacijskega odbora je prevzela dolgoletna članica in blagajničarka našega društva, doc. dr. Alenka Vesel (Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana), člani pa so bili dr. Peter Panjan (Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana), dr. Darko Resnik (Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani), dr. Janez Šetina (Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana), dr. Damir Šokčević (Institut Ruđer Bošković, Zagreb), dr. Nikša Krstulović (Institut za fiziku, Zagreb), dr. Martin Lončarić (Institut Ruđer Bošković, Zagreb) in doc. dr. Željko Skoko (Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu).

Predsedovanje lokalnemu organizacijskemu odboru je prevzela Nina Recek, pri delu pa so ji pomagali naslednji člani DVTS: Gregor Primc, Gregor Filipič, dr. Ita Junkar, dr. Kristina Eleršič, dr. Martina Modic, Tatjana Filipič in Metod Kolar.



Slika 1: Udeleženci 20. mednarodnega znanstvenega srečanja »Vakuumska znanost in tehnika«

Organizacija je bila na izjemno visokem nivoju, prav tako pa tudi predavanja vabljenih predavateljev. Dne 9. 5. 2013 smo organizirali postersko sekcijo, v okviru katere so udeleženci predstavili 29 prispevkov. Srečanje je potekalo v delovnem in sproščenem ozračju. Posamezni udeleženci so ga izkoristili za sklepanje novih poznanstev in obsežne razprave o novostih na področju vakuumske znanosti, tehnike in tehnologij, kakor tudi uporabe vakuumskih tehnik za sintezo in karakterizacijo novih materialov s poudarkom na materialih nanoskopskih dimenzij in uporabi vakuumskih tehnologij v industriji, biologiji in medicini. Prihodnje srečanje te vrste bodo organizirali hrvaški kolegi predvidoma maja 2014.

Spisek vabljenih predavateljev in naslovi predavanj:

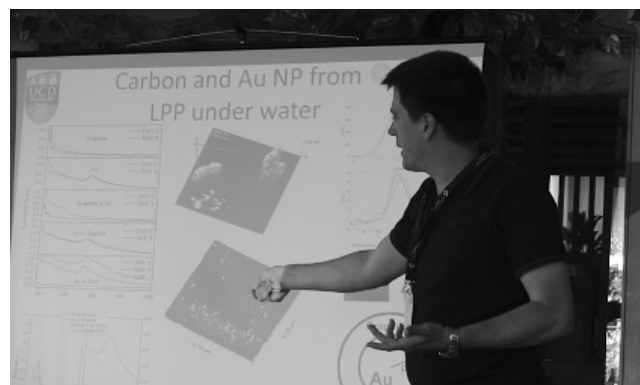
- dr. Nikša Krstulović (Institut za fiziku, Zagreb): *Underwater laser synthesis of nanoparticles*
- dr. Rok Zaplotnik (Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana): *E- and H-mode in low pressure inductively coupled plasma discharges*
- dr. Uroš Maver (Medicinska fakulteta, Univerza v Mariboru): *Advanced cellulose-based materials for efficient wound treatment*
- doc. dr. Marija Gorjanc (Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani): *Plasma modified textile surfaces*
- dr. Zdravko Siketić, *Time-of-flight secondary ion mass spectrometry with MeV heavy ion beams (MeV SIMS)*
- doc. dr. Janez Kovač (Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana): *New ToF-SIMS spectrometer at Jožef Stefan institute*
- Robert Peter (Centar za mikro i nano znanosti i tehnologije, Sveučilište u Rijeci): *Characterisation of defects in boron nitride nanotubes by high-resolution X-ray absorption spectroscopy*



Slika 2: Članica lokalnega organizacijskega odbora Tatjana Filipič (levo) in predsednica tega odbora Nina Recek (desno) za registracijsko mizo

- prof. dr. Franc Zupanič (Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru): *Performance of focused ion beam (FIB)*
- dr. Aleksander Drenik (Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana): *Formation of ammonia on glass walls in an ICP RF plasma system*
- dr. Predrag Lazić (Institut Ruđer Bošković, Zagreb): *Materials genome – search for water splitting materials*
- dr. Tadej Kokalj (Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana): *Surface structuring with laser direct imaging (LDI)*
- doc. dr. Damir Pajić (Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu), *Slow magnetic relaxation in the multiferroic $K_3Fe_5F_{15}$ and other systems*
- dr. Marjetka Conradi (Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana): *Composite coatings for steel-substrate corrosion protection*
- Marin Petrović (Institut za fiziku, Zagreb), *Understanding intercalation of epitaxial graphene*
- dr. Martin Lončarić (Institut Ruđer Bošković, Zagreb): *Plasmonics of noble metal nanoparticles*

prof. dr. Miran Mozetič



Slika 3: Dr. Nikša Krstulović z Instituta za fiziku v Zagrebu je predaval o sintezi nanodelcev v tekočinah.



Slika 4: Predsedujoči tematskega sklopa, dr. Slobodan Milošević (desno) predstavi dr. Roka Zaplotnika, ki je predaval o radiofrekvenčnih sklopitvah plazme.



Slika 5: Dr. Uroš Maver z Medicinske fakultete Univerze v Mariboru je predstavil dosežke na področju izboljšanja lastnosti materialov za kronične rane.



Slika 8: Doc. dr. Janez Kovač z Instituta »Jožef Stefan« v Ljubljani med predstavitvijo nove naprave za analize površin



Slika 6: Doc. dr. Marija Gorjanc z Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani je predavala o vakuumskih tehnikah za izboljšanje funkcionalnih lastnosti tekstilij.



Slika 9: Robert Peter s Centra za mikro- in nanoznanosti in tehnologije Univerze na Reki predava o analizi nanodelcev z rentgensko absorpcijsko spektroskopijo.



Slika 7: Dr. Zdravko Siketič z Instituta Ruđer Bošković v Zagrebu je predstavil uporabo visokoenergijskih ionov za analize sodobnih materialov.



Slika 10: Prof. dr. Franc Zupanič s Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru (levo) in predsedujoči tematskega sklopa, dr. Milorad Milun, z Instituta za fiziku v Zagrebu



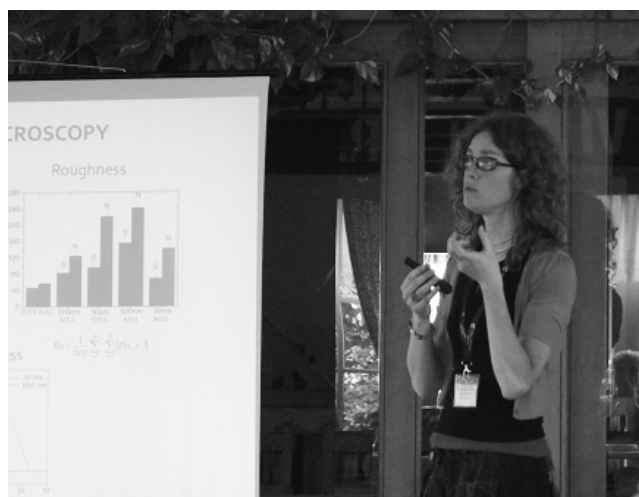
Slika 11: Dr. Aleksander Drenik z Instituta »Jožef Stefan« v Ljubljani je predstavil dosežke na interakcije plinske plazme s stenami fuzijskih reaktorjev.



Slika 14: Doc. dr. Damir Pajić z Oddelka za fiziko Univerze v Zagrebu je predaval o magnetni relaksaciji nanomaterialov.



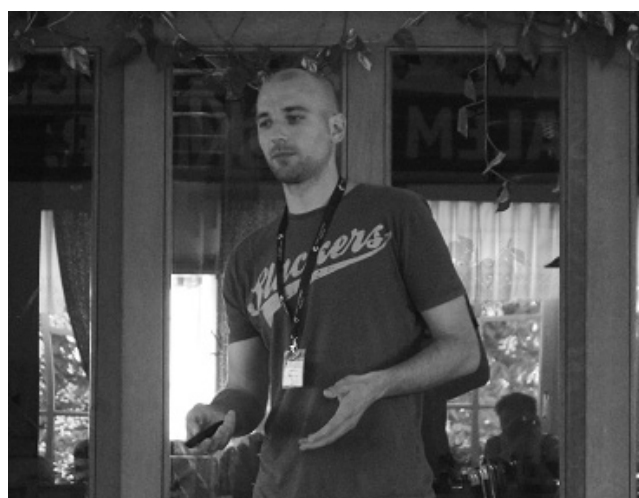
Slika 12: Dr. Predrag Lazić z Instituta Ruđer Bošković v Zagrebu je predstavil nove materiale za pridobivanje vodika z uporabo fotokemijskih postopkov.



Slika 15: Dr. Marjetka Conradi z Inštituta za kovinske materiale in tehnologije v Ljubljani je predstavila izvirno metodo za protikorozijsko zaščito kovin.



Slika 13: Dr. Tadej Kokalj z Instituta za materiale in tehnologije v Ljubljani razlaga nanostrukturiranje površin z lasersko obdelavo fotorezistov.



Slika 16: Marin Petrović z Instituta za fiziku v Zagrebu je predaval o grafenu.

OBČNI ZBOR DRUŠTVA ZA VAKUUMSKO TEHNIKO SLOVENIJE 23. MAJA 2013

Dne 23. maja je bil v prostorih Inštituta za kovinske materiale in tehnologije volilni občni zbor Društva za vakuumsko tehniko Slovenije. Udeležilo se ga je 23 članov društva.

Po začetnih formalnostih (izvolitev delovnega predsedstva, zapisnikarja in overiteljev) je dosednji predsednik, prof. dr. Miran Mozetič, predstavil razširjeno poročilo o delu društva v preteklem mandatu (2007–2013). Sledila so poročila blagajničarke in nadzornega odbora s kratko razpravo. V skladu z določbami statuta o volitvah bodočega predsednika je vodenje društva prevzel doc. dr. Janez Kovač, ki je bil v to funkcijo že izvoljen pred šestimi leti. Ta določba je bila sicer pred leti vpeljana po vzoru IUVSTE, vendar je bila večina članov izvršnega odbora mnenja, da ni najbolj primerna za naše društvo.

Zato je novi predsednik ob predstavitvenem govoru predstavil predlog sprememb statuta DVTS, po katerem bi predsednika v prihodnje volili sproti. Dodanih je bilo še nekaj določb o nadomeščanju predsednika ter manjši popravki, ki jih zahteva zakonodaja. Predlog sprememb statuta je bil sprejet soglasno.

Občni zbor je še izvolil novo vodstvo društva, ki ga odslej sestavljajo:

- doc. dr. Miha Čekada, dr. Robert Rozman, dr. Matjaž Godec, dr. Jože Gasperič, prof. dr. Franc Zupanič, dr. Bojan Jenko, prof. dr. Monika Jenko, doc. dr. Janez Kovač, prof. dr. Miran Mozetič, dr.

- Vincenc Nemanič, dr. Peter Panjan, mag. Andrej Pregelj, dr. Drago Resnik, dr. Ita Junkar, Slavko Žižek in dr. Barbara Šetina - Batič (izvršni odbor);
- dr. Igor Belič, doc. dr. Uroš Cvelbar in dr. Darinka Kek Merl (nadzorni odbor);
- doc. dr. Marta Klanjšek Gunde, Marjan Drab in mag. Melita Murko - Jezovšek (častno razsodišče).

doc. dr. Miha Čekada



Slika 1: Trije zapovrstni predsedniki (z leve proti desni): dr. Janez Šetina (predprejšnji predsednik), doc. dr. Janez Kovač (aktualni predsednik), prof. dr. Miran Mozetič (prejšnji predsednik)



Slika 2: Udeleženci občnega zbora

PREGLED KONFERENC V LETIH 2013/2014

The European corrosion congress – EUROCORR 2013

1.–5. september 2013, Estoril, Portugalska
(rok za povzetek: 12. januar 2013)
eurocorr2013.org

International conference on diamond and carbon materials 2013

2.–5. september 2013, Riva del Garda, Italija
(rok za povzetek: 1. april 2013)
www.diamond-conference.elsevier.com

15th Annual conference YUCOMAT

2.–6. september 2013, Herceg Novi, Črna gora
(rok za povzetek: 1. maj 2013)
www.mrs-serbia.org.rs

European congress and exhibition on advanced materials and processes – EUROMAT 2013

8.–13. september 2013, Sevilla, Španija
(rok za povzetek: 31. januar 2013)
euromat2013.fems.eu

64th Annual meeting of the International society of electrochemistry

8.–13. september 2013, Santiago de Queretaro, Mehika
(rok za povzetek: 21. marec 2013)
annual64.ise-online.org/general/dates.php

Nuclear energy for new Europe – NENE 2013

9.–12. september 2013, Bled, Slovenija
(rok za povzetek: 31. maj 2011)
www.nss.si/nene2013

19th International vacuum congress, IVC-19

vključuje tudi :

- International conference on nanoscience and technology – ICN+T 2013
- 5th international conference on solid surfaces – ICSS-15
- Innovations in thin films processing and characterisation – ITFPC 2013
- Magnetron, ion processing & arc technologies European conference – MIATEC 2013
- 19th international conference on plasma processes – CIP 2013
- Reactive sputter deposition – RSD 2013

9.–13. september 2013, Pariz, Francija
(rok za povzetek: 15. januar 2013)
www.ivc19.com

European materials research society fall meeting – EMRS

16.–20. september 2013, Varšava, Poljska
(rok za povzetek: 10. junij 2013)
www.emrs-strasbourg.com

49th International conference on microelectronics, devices and materials – MIDEM 2013

vključuje tudi Workshop on Digital Electronic Systems
25.–27. september 2013, Kranjska Gora, Slovenija
(rok za povzetek: 1. maj 2013)
www.midem-drustvo.si/conf2013

3rd European symposium on photocatalysis – JEP 2013

25.–27. september 2013, Portorož, Slovenija
(rok za povzetek: 14. junij 2013)
www.photocatalysis-federation.eu

15th European conference on applications of surface and interface analysis – ECASIA 2013

13.–18. oktober 2013, Cagliari, Italija
(rok za povzetek: 30. april 2013)
people.unica.it/ecasia13

16th International conference on fusion reactor materials

20.–25. oktober 2013, Peking, Kitajska
(rok za povzetek: 28. februar 2013)
icfrm16.ustb.edu.cn

21. konferenca o materialih in tehnologijah

13.–15. november 2013, Portorož, Slovenija
(rok za povzetek: 15. julij 2013)
icmt21.imt.si

OKVIRNA NAJAVA KONFERENC V LETU 2014

IUVSTA workshop: Plasma-assisted vapour deposition of oxide based thin films and coatings

6.–11. april 2014, Schloss Segau, Avstrija
rok za povzetek: 15. oktober 2013
iuvsta72.unileoben.ac.at

41th International conference on metallurgical coatings & thin films – ICMCTF 2014

28. april–2. maj 2014, San Diego, ZDA
rok za povzetek: 1. oktober 2013
www2.avs.org/conferences/icmctf

21th International conference on plasma surface interactions 2014

26.–30. maj 2014, Kanazawa, Japonska
rok za povzetek: 9. december 2013
psi2014.nifs.ac.jp

Mednarodni znanstveni sestanek Vakuumska znanost in tehnika

Hrvaško-slovensko srečanje vakuumistov
spomladi 2014, Hrvaška
rok za povzetek: (spomladi 2014)
www.cro-vacuum.hr (domača stran društva)

European materials research society spring meeting – EMRS

26.–30. maj 2014, Strasbourg, Francija
rok za povzetek: 16. januar 2014
www.emrs-strasbourg.com

3rd Austrian Symposium on Carbon Based Coatings

4.–5. junij 2014, Schloss Segau, Avstrija
rok za povzetek: 31. oktober 2013
www.asmet.at/cbc2014

15th Joint vacuum conference – JVC-15

15.–20. junij 2014, Avstrija
rok za povzetek: (začetek 2014)
www.iap.tuwien.ac.at/oegv (domača stran društva)

15th International conference on thin films

13.–16. oktober 2014, Dubrovnik, Hrvaška
rok za povzetek: (jeseni 2013)
www.ictf16.com

14th International conference on plasma surface engineering – PSE 2014

15.–19. september 2014, Garmisch-Partenkirchen, Nemčija
rok za povzetek: 31. januar 2014
www.pse-conferences.net/pse2014.html