
Naslovnica

NAVODILA AVTORJEM PRI PRIPRAVI PRISPEVKOV

Tematsko Vakuumist obsega širše področje vakuumskih znanosti in tehnologij, fiziko in kemijo tankih plasti in površin, analitiko površin, fiziko plazme, vakuumsko metalurgijo ter zgodovino vakuumske znanosti. Vsebinsko objavljamo štiri skupine prispevkov:

- **znanstveni članki** o aktualnih raziskavah s področja vakuumske znanosti in sorodnih področij;
- **strokovni članki**, kot so predstavitev novosti v svetu, zgoščen pregled nekega področja, primeri uvajanja tehnologij v prakso ipd.;
- **praktični nasveti** reševanja konkretnih vakuumskih problemov v laboratoriju;
- **kratke novice** o društvenem dogajanju, organizaciji konferenc, predstavitve knjig ipd.

Znanstveni in strokovni prispevki so recenzirani. Če je članek sprejet (po recenzentovem in lektorjevem pregledu), avtor vrne popravljen članek uredniku Vakuumista. Prispevki morajo biti napisani v slovenskem jeziku.

Avtorji prispevka so v celoti odgovorni za vsebino objavljenega sestavka. Z objavo preidejo avtorske pravice na izdajatelja. Pri morebitnih kasnejših objavah mora biti periodična publikacija Vakuumist navedena kot vir.

VSEBINA ROKOPISA

Rokopis naj bo sestavljen iz naslednjih delov:

1. naslov članka (v slovenskem in angleškem jeziku)
 2. podatki o avtorjih (ime in priimek, institucija, naslov institucije)
 3. povzetek (v slovenskem in angleškem jeziku, 100–200 besed)
 4. ključne besede (v slovenskem in angleškem jeziku, 3–6 besed)
 5. besedilo članka v skladu s shemo IMRAD (uvod, eksperimentalne metode, rezultati in diskusija, sklepi)
 6. seznam literature
 7. morebitne tabele z nadnapisi
 8. podnapisi k slikam
 9. slike (risbe, fotografije), ki naj bodo priložene posebej
- Praktični nasveti in kratke novice so brez povzetka, ključnih besed in literature, vsebinska zasnova besedila pa ni strogo določena.

TEHNIČNE ZAHTEVE ZA ROKOPIS

- Tekst naj bo shranjen v formatu doc, docx ali rtf. Formata tex ali pdf za tekst nista primerna.
- V dokumentu naj bo čim manj avtomatskih indeksov, križnih povezav (linkov) in stilističnih posebnosti (različni fonti, formati, poravnave, deljenje besed). Pri oblikovanju se omejite na ukaze **mastno**, *poševno*, ^{indeks} ^{potenca} in posebni znaki. Formule oblikujte bodisi tekstovno ali z urejevalnikom (npr. equation editor), lahko pa jih vključite v tekst kot slikovni objekt.
- Tekst naj bo smiselno razdeljen na poglavja in podpoglavja (detajlnejša delitev ni zelena), naslovi pa naj bodo oštevilčeni z vrstilci, npr. »2.1 Meritve tlaka«.

- Na vse literaturne vire, tabele in slike morajo biti sklici v tekstu. Vrstni red literaturnih virov, tabel in slik naj sledi vrstnemu redu prvega sklica nanje.
- Primeri sklicevanja: na literaturne vire [1], na enačbe (1), na tabele tabela 1, na slike slika 1. Vse samostojno stoječe enačbe naj bodo ob robu označene, npr. (1). Če je slika iz več delov, naj bodo posamezni deli označeni s črkami: a), b), c), č) itd., in sicer tako na sliki kot na podnapisu.
- Literaturni viri morajo biti popolni (brez okrajšav et al., ibid ...). Izogibajte se težko dostopnih virov (prospekti, seminarske naloge, neobjavljene raziskave, osebna korespondenca). Primeri pravilnih zapisov:
 - monografija: S. Južnič, Zgodovina raziskovanja vakuuma in vakuumskih tehnik, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Ljubljana, 2004, str. 203
 - članek v periodični publikaciji: M. Finšgar, I. Milošev, *Vakuumist*, 29 (2009) 4, 4–8
 - prispevek v zbornikih posvetovanj: Novejši razvoj trdih zaščitnih PVD-prevlek za zaščito orodij in strojnih delov, Zbornik posvetovanja Orodjarstvo, Portorož, 2003, 121–124
 - dostopno na svetovnem spletu: UK ESCA Users Group Database of Auger parameters, <http://www.uksaf.org/data/table.html>, zadnjič dostopano: 11. 2. 2010
- Tabele naj bodo oblikovno enostavne. V rokopisu naj stojijo na koncu dokumenta. Za ločevanje stolpcev uporabljajte tabulatorje (ne presledkov) ali tabelarično formo urejevalnika.
- Slike naj bodo shranjene posebej v navadnih formatih (tif, png, jpg), lahko tudi združeni v en dokument (pdf, ppt). Slik ne vstavljajte v tekstualni del rokopisa! Poskrbite za ustrezno resolucijo, še posebej pri linijskih slikah. Slike naj bodo črno-bele ali v sivih tonih, ne barvne.
- Črkovne oznake na slikah naj bodo take velikosti, da je po pomanjšavi na širino enega stolpca (7,9 cm) velikost znakov najmanj 1,2 mm. Priporočljiv je oblikovno enostaven font, npr. Arial.
- Pri pisanju veličin in enot se držite načel standarda ISO-31 (veličine pišemo poševno, enote pokončno, isto pravilo velja tudi za grške črke). Osi grafov in vodilne vrstice tabel pišemo v obliki *veličina*/enota, npr. *m/kg*.

UREDNIŠTVO

Rokopise pošljite na naslov miha.cekada@ijs.si. Kontaktni podatki uredništva so:

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 38 29

faks: (01) 251 93 85

VAKUUMIST 33/3, november 2013

VSEBINA

ČLANKI

Plazemska modifikacija polimernih materialov za biomedicinske aplikacije Alenka Vesel, Nina Recek, Martina Modic	4
Pregled fotokatalitskih reaktorjev za čiščenje zraka in vode Andraž Šuligoj, Marko Kete, Urška Lavrenčič Štangar	9
Prvi Teslovi stiki z vakuumskimi tehnikami (ob 70-letnici smrti), 2. del Stanislav Južnič	18

DRUŠTVENE NOVICE

19. mednarodni vakuumski kongres IVC-19, Pariz 9.–13. september 2013 Janez Kovač	32
Generalna skupščina IUUVSTE na kongresu IVC-19, Pariz, 11. september 2013 Janez Kovač	33
Kratke društvene novice	34
Sporočilo za javnost (Pfeiffer Vacuum)	35

VAKUUMIST

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

Izid publikacije je finančno podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost 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 38 29

faks.: (01) 251 93 85

PLAZEMSKA MODIFIKACIJA POLIMERNIH MATERIALOV ZA BIOMEDICINSKE APLIKACIJE

Alenka Vesel¹, Nina Recek^{1, 2}, Martina Modic¹

ZNANSTVENI ČLANEK

¹Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Jamova 39, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Plazma se pogosto uporablja za spremembo površinskih lastnosti polimernih materialov. V prispevku prikazujemo nekaj primerov modifikacije polimernih materialov za biomedicinske aplikacije, kot so npr. sprememba protitrombogenih lastnosti površine z vezavo posebnih protitrombogenih polisaharidnih prevlek ali brez nje, imobilizacija proteinov in vezava celic ter modifikacija obližev za rane za izboljšanje njihovih sorpcijskih lastnosti in izboljšanje antibakterijskih lastnosti tkanin.

Ključne besede: polimeri v medicini, plazma, površinska modifikacija, adhezija, proteini, celice

Plasma modification of polymer materials for biomedical applications

ABSTRACT

Plasma is often used for surface modification of polymer materials. In this contribution we present some examples of plasma treatment of polymer surfaces for biomedical applications like enhancing antithrombogenic surface properties with or without applying special antithrombogenic polysaccharide coatings, immobilization of proteins, and cell adhesion and modification of wound-dressings for enhancing its sorption capacity and reducing antimicrobial activity.

Keywords: polymers in medicine, plasma, surface modification, adhesion, proteins, cells

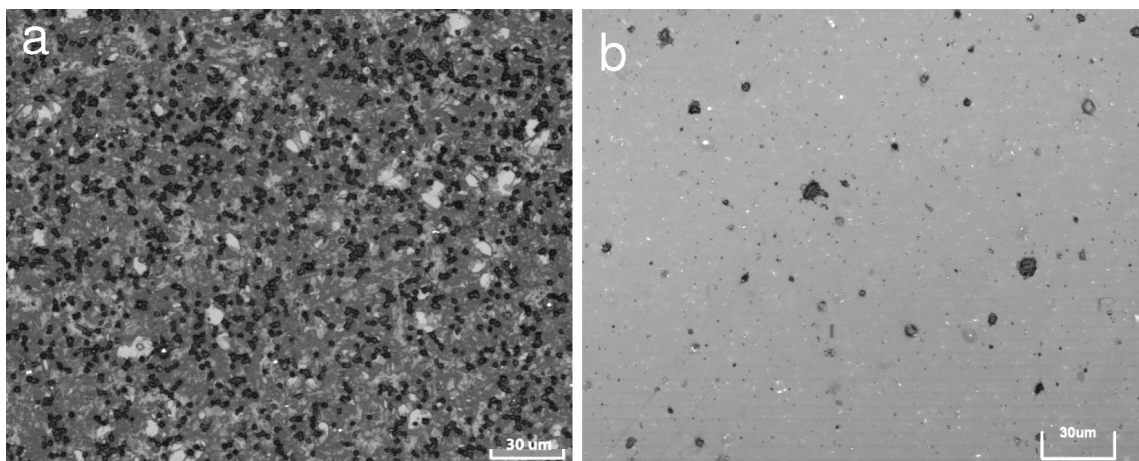
1 UVOD

Plazma (električna plinska razelektritev) se pogosto uporablja pri različnih tehnologijah, kot so čiščenje, selektivno jedkanje, sterilizacija, modifikacija površinskih lastnosti ter sinteza nanodelcev. Predvsem uporaba plazme za modifikacijo površinskih lastnosti polimernih materialov ima zelo širok spekter uporabe,

saj pri tem pride do spremembe različnih lastnosti, kot so omočljivost površine, hrapavost in funkcionalizacija. Zato se ta metoda čedalje pogosteje uporablja za izboljšanje oprijemljivosti in adhezije različnih prevlek. Primere takšne plazemske obdelave najdemo npr. v: (i) avtomobilski industriji za izboljšanje nanosa barvil ali kovinskih prevlek na polimerno podlago, (ii) v prehrabni industriji za sterilizacijo in vezavo antibakterijskih prevlek na embalažo, ki je namenjena shranjevanju živil ter (iii) v raznih biomedicinskih aplikacijah, ki bodo v nadaljevanju predstavljene bolj podrobno.

2 PLAZEMSKA OBDELAVA UMETNIH ŽIL ZA DOSEGANJE PROTITROMBOGENIH UČINKOV

Umetni implantati (kot so umetne žile, srčne zaklopke, katetri itd.) so po navadi narejeni iz polimernih materialov [1]. Najbolj pogosto uporabljeni polimer je polietilen tereftalat (PET). Vendar pa v primeru implantacije umetnih implantatov pogosto prihaja do komplikacij, zaradi postoperativnih zapletov, ki lahko vodijo k pojavu krvnih strdkov in tromboze [2]. Da bi se temu izognili, je treba spremeniti površinske lastnosti polimernih implantatov na način, da bo kar se da majhna adhezija trombocitov in stopnja njihove aktivacije. To lahko dosežemo na dva načina: (i) s plazemsko obdelavo v kisikovi plazmi ali (ii) z vezavo posebnih protitrombogenih polisaharidnih prevlek na polimerno površino, kjer plazmo



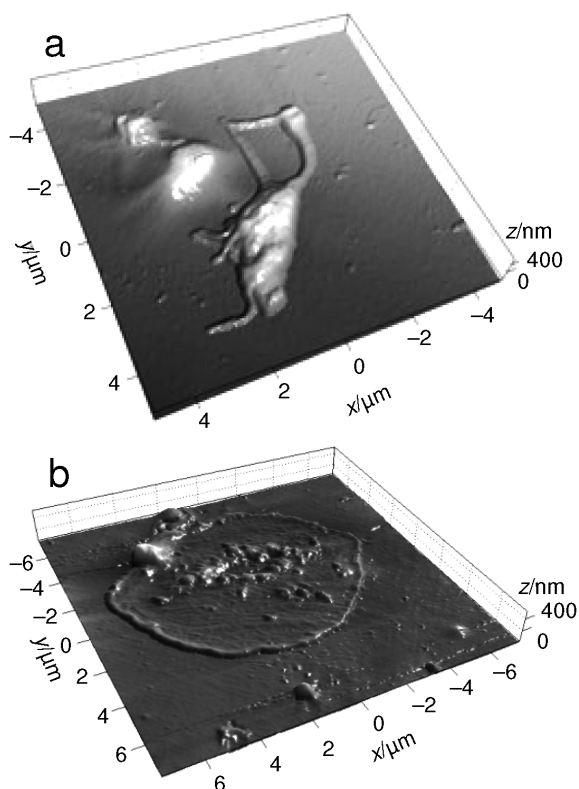
Slika 1: Adhezija trombocitov na neobdelano površino polimera PET (a) in na površino, ki je bila obdelana v kisikovi plazmi (b) [3]

uporabimo samo za predhodno aktivacijo polimerne površine za izboljšano vezavo prevleke.

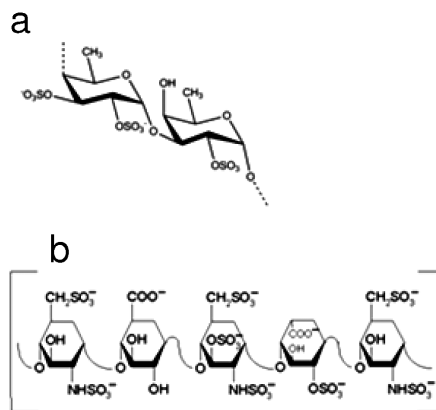
Na **sliki 1** je prikazan primer površine polimera PET, ki se uporablja za izdelavo umetnih žil. **Slika 1a** prikazuje vezavo trombocitov na površino neobdelanega polimera, ki je izjemno trombogena, saj so trombociti na gosto porazdeljeni po celi površini. Če polimer obdelamo v kisikovi plazmi, se število vezanih trombocitov drastično zmanjša (**slika 1b**), zato lahko trdimo, da taka površina deluje protitrombogeno.

Ne samo da je število vezanih trombocitov občutno manjše, tudi tisti trombociti, ki jim je le uspela vezava na površino, so ostali v neaktivni obliki, kar je razvidno iz njihove morfologije (**slika 2a**). Na neobdelani površini, ki je trombogena, so trombociti namreč močno razpotegnjeni po površini, kar nakazuje na njihov zelo dober oprijem površine (**slika 2b**). Protitrombogene lastnosti površine lahko dobimo le z obdelavo polimera v kisikovi plazmi, ne pa tudi v plazmi, ustvarjeni v dušiku.

Pomembno se je tudi zavedati, da je efekt plazemske obdelave kratkotrajen, zato bi bilo treba tak postopek izvesti isti dan, kot bi se izvajala operacija.



Slika 2: AFM-slika trombocita na polimeri površini, obdelani v kisikovi plazmi (a) in na neobdelani polimeri površini (b). Na sliki je razvidna razlika v stopnji aktivacije trombocita. Slika a prikazuje dendritično obliko trombocitov, ki je glede na stopnjo aktivacije predhodna oblika popolnoma razširjene oblike oz. najbolj aktivirane oblike, ki je prikazana na sliki b.



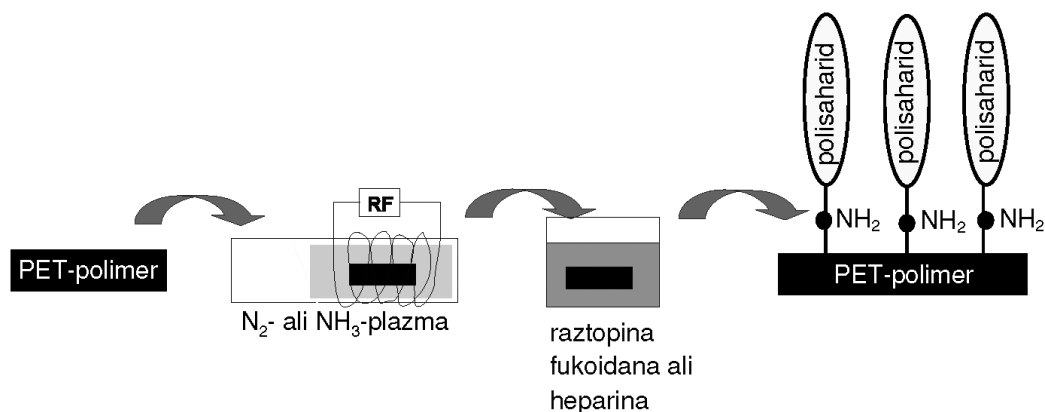
Slika 3: Kemijska strukturna formula fukoidana (a) in heparina (b)

Drugi način, kako preprečiti adhezijo trombocitov, pa je vezava posebnih protitrombogenih prevlek iz polisaharidov na površino polimera. Ta postopek vezave je kompleksnejši v primerjavi s samo plazemsko obdelavo, nimamo pa več problema s staranjem površine. Pri vezavi protitrombogenih polisaharidnih prevlek na dokaj inertno površino polimera si zopet pomagamo s plazemsko obdelavo. Pri tem s plazmo povzročimo nastanek novih funkcionalnih skupin na površini, ki delujejo kot vezavna mesta za nadaljnjo vezavo polisaharidnih prevlek. Najbolj obetajoči protitrombogeni polisaharidni prevleki sta fukoidan [4] in heparin [5], ki sta prikazana na **sliki 3**.

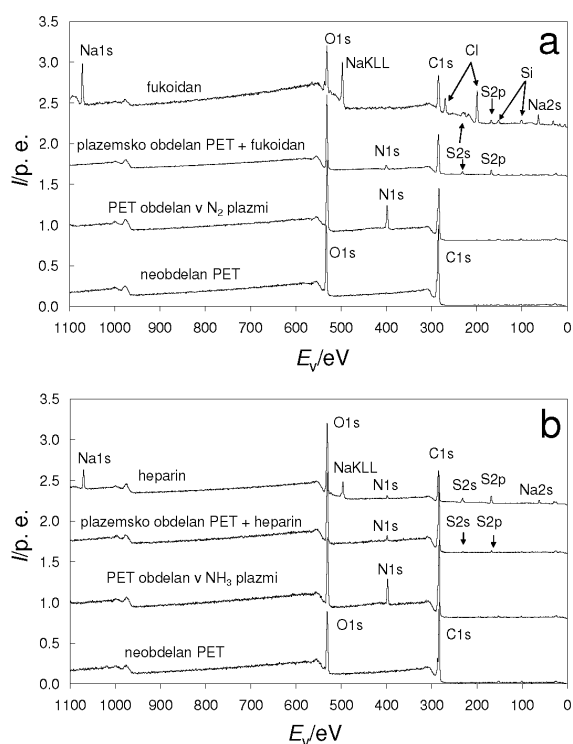
Izboljšano vezavo teh protitrombogenih substanc na polimerno površino lahko dosežemo z obdelavo bodisi v dušikovi ali amonijevi plazmi, saj je na površino potrebno vezati amino ($-\text{NH}_2$) skupine, preko katerih lahko potem vežemo molekuli fukoidana ali heparina (**slika 4**). Razlog je elektrostatski privlak, saj je heparin oz. fukoidan zelo močno negativno nabit, površina funkcionalizirana z NH_2 pa pozitivno nabit.

Uspešnost vezave smo spremljali z metodo rentgenske fotoelektronske spektroskopije (XPS). Na **sliki 5** prikazujemo pregledne XPS-spektre površine polimera PET pred plazemsko obdelavo v plazmi, vsebujoči dušik, in po njej ter po vezavi fukoidana (**slika 5a**) ali heparina (**slika 5b**). V obeh primerih je za primerjavo prikazan še spekter čistega fukoidana in heparina. Po plazemski obdelavi se na polimeri površini pojavi nov dušikov vrh N1s, kar kaže na uspešnost funkcionalizacije površine z dušikovimi funkcionalnimi skupinami, med katerimi so tudi aminoskupine. Poleg dušikovega vrha sta na plazemsko obdelanem polimeru še vrhova ogljika C1s in kisika O1s, ki sta značilna že za neobdelan polimer PET.

Ko plazemsko obdelan polimer PET inkubiramo v raztopini fukoidana ali heparina, opazimo dve pomembni razliki: (i) na površini polimera se pojavi žveplo, ki izvira iz omenjenih polisaharidov, in



Slika 4: Shematičen prikaz vezave protitrombogenih prevlek na površino plazemsko obdelanega polimera



Slika 5: Pregledni XPS-spektri polimerne površine pred plazemsko obdelavo ter po njej ter po inkubaciji v polisaharidni raztopini. Slika a prikazuje primer inkubacije polimera v fukoidanu [6], slika b pa primer inkubacije v heparinu.

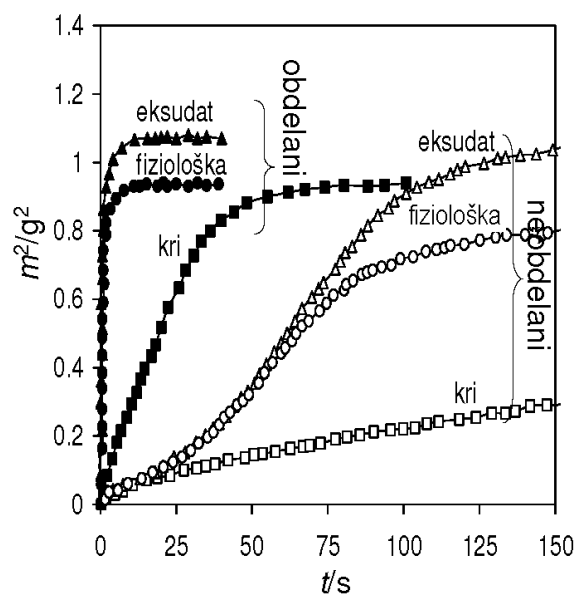
(ii) koncentracija dušika na površini polimera se zmanjša. Tu je treba omeniti, da heparin lahko že sam po sebi vsebuje nekaj dušika (v zelo majhnih koncentracijah), medtem ko le-ta v fukoidanu ni prisoten. Padec koncentracije dušika in pojav žvepla nazorno prikazuje, da je na površini tanka plast fukoidana oz. heparina.

3 PLAZEMSKA OBDELAVA MEDICINSKIH OBLIŽEV ZA RANE

Drugi primer uporabe plazme v medicinskih aplikacijah je modifikacija materialov, ki se uporabljajo za

sanitetne materiale npr. za obliže za rane. Obliži so po navadi večslojni, kar pomeni, da so sestavljeni iz več plasti, od katerih ima vsaka svojo vlogo. Začenši od plasti, ki je v stiku z rano, so sestavni deli obližev hidrofobna mrežica, hidrofilna vpojna plast in zaščitna prevleka. Lahko pa imajo obliži še bolj kompleksno sestavo. Naloga hidrofobne mrežice je, da preprečuje, da bi se obliž prilepil na rano. Naloga hidrofilne plasti pa je vpijanje čim večje količine telesnih tekočin, ki izvirajo iz rane, za njeno hitrejše celjenje. Za izboljšanje funkcionalnosti obližev, lahko plazmo uporabimo tako za izboljšanje hidrofobizacije hidrofobne mrežice – v tem primeru uporabimo plazmo, ustvarjeno v CF_4 -plazmi, kot tudi za izboljšanje hidrofilnosti vpojnega materiala – v tem primeru uporabimo plazmo, ustvarjeno v O_2 -plazmi, da bi dosegli kar se da najboljšo sposobnost vpijanja tekočin.

Na **sliki 6** prikazujemo sorpcijske lastnosti celulozne tkanine iz Tosame pred obdelavo v kisikovi



Slika 6: Primerjava kapilarnih hitrosti treh različnih tekočin (fiziološka raztopina, eksudat in sintetična kri) pred obdelavo celulozne tkanine v kisikovi plazmi in po njej

plazmi in po njej. Njene sorpcijske lastnosti smo ugotavljali z merjenjem kapilarne hitrosti za tri različne telesne tekočine: za fiziološko raztopino, eksudat in kri. S **slike 6** je jasno razvidno, da se hitrost absorpcije tekočine po plazemski obdelavi drastično poveča [7].

Pri oskrbi rane z obliži pa se srečujemo še z enim problemom – to je z vnetjem kot posledico okužbe z bakterijami. Temu se lahko izognemo z uporabo snovi s protimikrobnimi lastnostmi. Taka površina zavira razvoj bakterij. Za doseganje protimikrobnosti se pogosto uporabljajo srebrovi nanodelci ali pa derivati iz citozana, ki vsebujejo aminoskupine, ki delujejo protimikrobno. Tudi tukaj lahko uporabimo amonijevo NH_3 -plazmo in namesto citozana nanjo vežemo aminoskupine. Naši prvi rezultati so že pokazali obetajoče možnosti, saj se je razvoj bakterij na takšni površini zmanjšal.

Poskusili pa smo tudi drugo možnost – to je vezavo srebrovih nanodelcev. Pri tem smo tkanino obdelali v vodni plazmi, da bi izboljšali adhezijo srebrovih nanodelcev na plazemsko obdelano površino. Vsebnost srebra v plazemsko obdelani tkanini se je tako povečala za več kot 50 % v primerjavi z neobdelano tkanino [8].

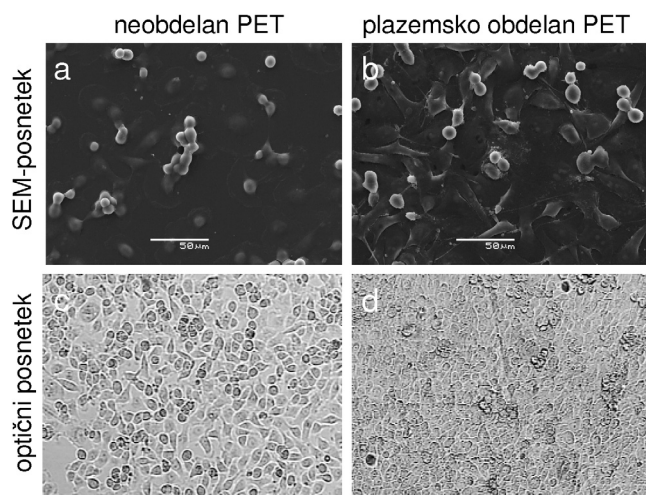
4 PLAZEMSKA OBDELAVA POLIMERNIH MATERIALOV ZA IZBOLJŠANO PROLIFERACIJO CELIC

V prvem primeru (poglavje 2) smo se dotaknili problema trombogenosti umetnih implantatov, kot so umetne žile. To pa ni edini problem polimernih vsadkov. V zvezi z materiali, ki se uporabljajo za implantate pogosto govorimo o njihovi biokompatibilnosti,

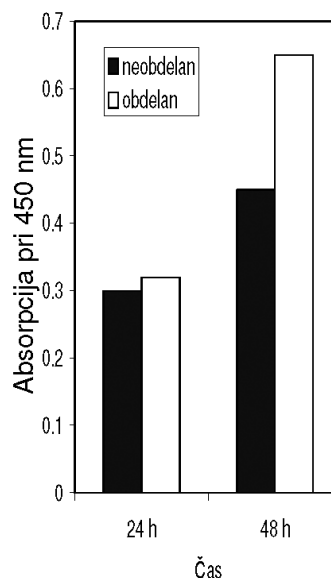
kar pomeni sposobnost materiala, da ne izzove imunološkega odziva gostitelja in da reagira s celicami in obdajajočimi telesnimi tekočinami na podoben način kot pravo telesno tkivo [9]. Eden izmed pomembnih dejavnikov je dobra endotelizacija (vezava endotelijskih celic) umetnega implantata. Vezavo endotelijskih celic lahko močno izboljšamo z obdelavo polimernih materialov v plazmi. Drugi primer plazemske aplikacije so tudi površine, ki jih uporabljamo kot gojišča celic za gojenje umetnih tkiv ali umetnih organov. V zadnjem primeru uporabljamo 3D-porozno strukturo (angl. *scaffold*) iz biorazgradljivega polimera, ki se uporablja kot ogrodje umetnega organa.

Primer uporabe plazme (kisikove) za izboljšanje proliferacije endotelijskih celic HMEC (angl. *human microvascular endothelial cells*) je prikazan na **sliki 7**. **Sliki 7a** in **c** prikazujeta celice na neobdelani polimeri površini, **sliki 7b** in **d** pa na plazemsko obdelani. Poleg slik, ki smo jih posneli z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM, **sliki 7a** in **b**), so prikazani tudi posnetki, narejeni z optičnim mikroskopom (**sliki 7c** in **d**). S slik je razvidno, da so celice na plazemsko obdelani površini gostejše in bolj razpotegnjene po površini, kar je jasen znak, da je površina ugodna za njihovo razraščanje. Opazimo lahko tudi celice, ki so v mitozni oziroma so se že delile na dva dela. V primeru neobdelanega polimera pa je celic manj in so bolj okrogle oblike, kar kaže na neudobno okolje.

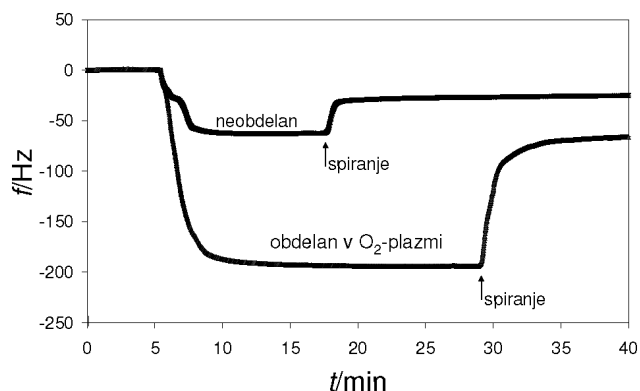
Da dobimo na plazemsko obdelani površini več celic, je razvidno tudi s **slike 8**, kjer z biološkim preizkusom (t. i. MTT-test) preko kolorimetrične reakcije merimo metabolično aktivnost celic. Na površini z več celicami (to je na plazemsko obdelani površini) zaznamo večjo metabolično aktivnost.



Slika 7: SEM- (povečava 500-kratna) in optični posnetki HMEC-celic na neobdelani površini polimera PET in v kisikovi plazmi obdelani površini polimera PET. Slike SEM so bile posnete po 4 h, optične pa po enem dnevu.



Slika 8: MTT-meritve metabolične aktivnosti celic



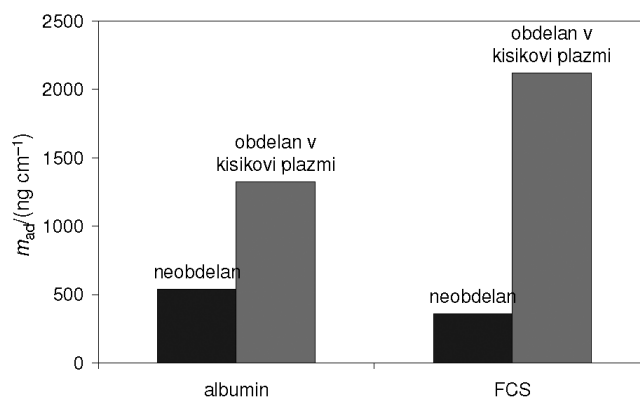
Slika 9: Meritve adsorpcije proteina albumina s kremenovo mikrotehtnico (QCM). Večja masa adsorbiranega proteina pomeni večjo spremembo frekvence.

5 PLAZEMSKA OBDELAVA POLIMERNIH MATERIALOV ZA IMOBILIZACIJO PROTEINOV

Poleg vezave celic imajo pomembno vlogo pri zagotavljanju biokompatibilnosti materiala tudi proteini. Če smo bolj natančni, so ravno proteini tisti, ki se najprej vežejo na površino, saj je adhezija in razraščanje celic počasen in dolgotrajen proces. Vezava proteinov na površino polimernih implantatov pa ni edini primer. Proteini igrajo čedalje pomembnejšo vlogo tudi pri razvoju novih načinov zdravljenja raznih bolezni z uporabo nanodelcev, ki so oplašeni s proteini in raznimi zdravilnimi substancami (angl. *drug delivery*) [10].

Kot v vseh prejšnjih primerih si lahko tudi tukaj pomagamo s plazemsko obdelavo. **Slika 9** prikazuje meritve adsorpcije proteina albumina na površino polimera PET, ki smo ga nanegli na površino kremenovega kristala. Maso adsorbiranega proteina, ki je sorazmerna s spremembo frekvence kristala, smo merili s kremenovo mikrotehtnico (QCM). Prva krivulja prikazuje adsorpcijo proteina albumina na neobdelanem polimeru PET, druga pa na polimeru obdelanemu v kisikovi plazmi. Opazimo lahko, da je sprememba frekvence kristala v primeru obdelave polimera v kisikovi plazmi bistveno večja kot pri neobdelanem polimeru, kar pomeni večjo maso adsorbiranega proteina na plazemsko obdelani površini.

Ta razlika je še večja v primeru adsorpcije telečjega seruma FCS (angl. *fetal calf serum*) (**slika 10**). FCS je mešanica različnih proteinov (med katerimi je najpomembnejši albumin). Na **sliki 10** torej prikazujemo primerjavo mase adsorbiranih proteinov iz čistega albumina in mešanice FCS na neobdelanem in plazemsko obdelanem polimeru.



Slika 10: Primerjava mase adsorbiranih proteinov albumina in FCS na neobdelanem in plazemsko obdelanem polimeru PET. Masa adsorbiranega proteina je bila izračunana iz QCM-meritev.

6 SKLEP

Prikazali smo nekaj primerov uporabe plazme za površinsko modifikacijo polimernih materialov v biomedicinskih aplikacijah. S primerno plazemsko obdelavo lahko vplivamo na adhezijske lastnosti površine (kot je npr. vezava trombocitov, celic, proteinov ali bioaktivnih prevlek) ali pa na njene sorpcijske lastnosti (kot v primeru obližev za rane). Do njene praktične uporabe v bolnišnicah pa je najbrž še daleč, verjetno predvsem zaradi zamudnih in dolgotrajnih preizkusov.

ZAHVALA

Za rezultate, prikazane na sliki 6, se zahvaljujemo dr. Zdenki Peršin (projekt Večplastni medicinski materiali, Polimat, Center odličnosti). Zahvaljujemo se tudi Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

7 LITERATURA

- [1] J. Jagur-Grodzinski, *Polym. Advanc. Technol.*, 17 (2006), 395–418
- [2] B. T. Allen, R. E. Sparks, M. J. Welch, N. S. Mason, C. J. Mathias, R. E. Clark, *J. Surg. Res.*, 36 (1984), 80–88
- [3] M. Modic, I. Junkar, A. Vesel, M. Mozetič, *Surf. Coat. Technol.*, 213 (2012), 98–104
- [4] B. Li, F. Lu, X. Wei, R. Zhao, *Molecules*, 13 (2008), 1671–1695
- [5] S. T. Olson, Y. J. Chuang, *Trends Cardiovasc. Med.*, 12 (2002), 331–338
- [6] A. Vesel, M. Mozetic, S. Strnad, *Vacuum*, 85 (2011), 1083–1086
- [7] Z. Peršin, M. Devetak, I. Drevenšek, A. Vesel, M. Mozetič, K. Stana-Kleinschek, *Carbohydrate Polym.*, 97 (2013), 143–151
- [8] M. Gorjanc, V. Bukošek, M. Gorenšek, A. Vesel, *Tex. Res. J.*, 80 (2010), 557–567
- [9] B. Kasemo, *Surf. Sci.*, 500 (2002), 656–677
- [10] J. Chomoucka, J. Drbohlavova, D. Huska, V. Adam, R. Kizek, J. Hubalek, *Pharmacological Res.*, 62 (2010), 144–149

PREGLED FOTOKATALITSKIH REAKTORJEV ZA ČIŠČENJE ZRAKA IN VODE

Andraž Šuligoj, Marko Kete, Urška Lavrenčič Štangar

STROKOVNI ČLANEK

Univerza v Novi Gorici, Laboratorij za raziskave v okolju, Vipavska 13, 5000 Nova Gorica

POVZETEK

Čiščenje vode in zraka s heterogeno fotokatalizo spada med t. i. napredne oksidacijske procese, ki so predmet številnih raziskav. Kot polprevodniški fotokatalizator se največkrat uporablja nanostrukturirani TiO_2 , zato so v tem preglednem članku predstavljeni reaktorji, ki temeljijo predvsem na TiO_2 -fotokatalizi. Obravnavani so tudi reaktorski sistemi, ki smo jih razvili v našem laboratoriju s poudarkom na uporabi pritrjenega (imobiliziranega) katalizatorja. Treba pa je še poudariti, da sama TiO_2 -fotokataliza večkrat ni dovolj učinkovit proces, še posebno pri čiščenju vode, zato je za večjo učinkovitost potrebna kombinacija z drugimi, tradicionalnimi metodami čiščenja.

Ključne besede: fotokataliza, fotoreaktorji, TiO_2 na nosilcu

Photocatalytic reactors for water and air treatment

ABSTRACT

Water cleaning and air treatment with heterogenous photocatalysis belong to the so-called advanced oxidation processes, which are the subject of numerous studies. Nanostructured TiO_2 is the most commonly used semiconductor photocatalyst and therefore this paper presents an overview of the reactors that are designed for TiO_2 photocatalysis. The reactor systems that were developed in our laboratory with the emphasis on using supported (immobilized) catalyst are also exposed. However, it should be noted that TiO_2 photocatalysis alone is often not efficient enough, especially in water treatment. Combination with other, traditional treatment methods can be used to improve the cleaning efficiency.

Keywords: photocatalysis, photoreactors, supported TiO_2

1 UVOD

Pri procesu fotokatalize delec polprevodnika absorbira foton primerne energije, za titanov dioksid v kristalinični obliki anatasa je to 3,2 eV oziroma 388 nm. Pri tem pride do prehoda elektrona iz valenčnega v prevodni pas. Nastane pozitivna vrzel, ki je močan oksidant, elektron pa odigra vlogo reducenta. Glede na naravo organske snovi, ki je adsorbirana na površini delca, lahko pride posredno ali neposredno do njene oksidacije zaradi reakcije s pozitivnimi vrzelmi oziroma redukcije zaradi sprejema elektrona.

Zaradi svojih fotokatalitskih lastnosti ima nano TiO_2 v kristalinični strukturi anatasa oz. anatas/rutil več potencialnih področij uporabe: (i) proizvodnja samočistilnih površin na osnovi fotoinduciranega pojava superhidrofilnosti [1 in vsebujoče reference], (ii) razgradnja hlapnih organskih/anorganskih onesnaževal v zraku [2–4], (iii) čiščenje odpadnih vod [5–6] ali dezinfekcija in predpriprava pitne vode [7–10] in (iv) fotokatalitska sinteza zelenih goriv iz CO_2 [11 in vsebujoče reference].

Za razgradnjo hlapnih organskih/anorganskih onesnaževal v zraku in čiščenje odpadnih vod ali predpripravo pitne vode je bilo do sedaj razvitih več vrst reaktorjev različnih geometrij in z različnimi lastnostmi, ki jih v grobem delimo na reaktorje z imobiliziranim/pritrjenim fotokatalizatorjem in suspendiranim fotokatalizatorjem. V nadaljevanju bo predstavljen pregled različnih reaktorjev z omenjenih področij uporabe fotokatalize.

2 FOTOKATALITSKI REAKTORJI ZA ČIŠČENJE VODE

Fotokatalitske reaktorje za čiščenje vode na splošno delimo na dve glavni skupini: (1) reaktorje s suspendiranimi nanodelci fotokatalizatorja in (2) reaktorje z imobiliziranim fotokatalizatorjem na kemijsko inertno podlago. Glavna razlika med tema dvema izvedbama reaktorjev je, da prva zahteva dodatno ločevanje oz. filtracijo nanodelcev fotokatalizatorja, medtem ko drugi tip reaktorjev omogoča neprekinjeno delovanje, a je fotokatalitska učinkovitost praviloma manjša. V primeru obeh izvedb obstajajo različni tipi oz. modeli reaktorjev, ki se lahko uporabljajo za fotokatalitsko čiščenje vode na laboratorijski ali industrijski ravni [12 in vsebujoče reference].

Pri načrtovanju fotokatalitskega reaktorja je treba paziti na nekatere pomembne dejavnike, ki odločilno vplivajo na učinkovitost le-tega. Porazdelitev svetlobe v reaktorju in dobra osvetljenost fotokatalizatorja ter površina fotokatalizatorja na enoto prostornine reaktorja sta dva med najpomembnejšimi dejavniki. Pri fotoreaktorjih s suspendiranim fotokatalizatorjem je razmerje med površino in prostornino veliko, medtem ko imajo fotoreaktorji z imobiliziranim fotokatalizatorjem to razmerje manjše, kar lahko negativno vpliva na fotokatalitično učinkovitost.

V obeh tipih reaktorjev je neposredna absorpcija fotonov in posledično neposredna aktivacija fotokatalizatorja najboljša izbira, ker uporaba kakršnih koli paraboličnih ogledal poveča kompleksnost in zmanjša izkoristek svetlobnega sevanja. Za doseganje enakomerne porazdelitve fotonskega toka v reaktorju je pravilen položaj vira svetlobe bistvenega pomena, ker se s tem zagotovi maksimalna in simetrična distribucija svetlobnega sevanja in s tem enakomerna osvetlitev fotokatalizatorja [12].

2.1 Reaktorji s suspendiranim TiO_2 -fotokatalizatorjem

Večinoma se za obdelavo vode največ uporabljajo reaktorji s suspenzijo TiO_2 , ki izkazujejo višjo fotokatalitsko učinkovitost v primerjavi z reaktorji z imobiliziranim TiO_2 . Po končanem postopku fotokatalize je treba mikrometrške in podmikrometrške delce TiO_2 odstraniti iz obdelane vode. Proces separacije tako zaplete in podraži proces fotokatalitske razgradnje. Za postopek separacije je mogoča uporaba različnih tehnik in pripravkov: ultracentrifugiranje, usedanje delcev čez noč, ultrafiltracija in koagulacija z uporabo železovega sulfata ali bazičnega aluminijevega klorida [13].

Krožni suspenzijski reaktor (SAR)

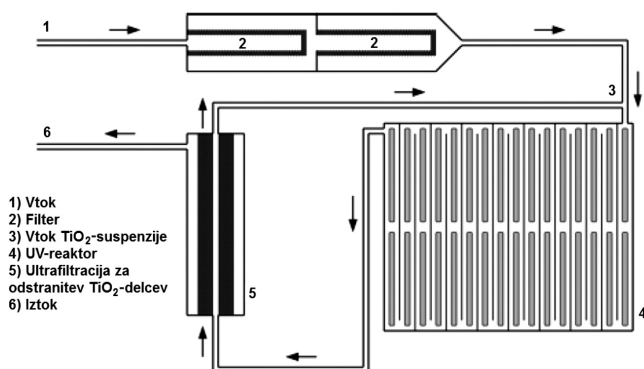
Krožni suspenzijski reaktor sestavljata dve koncentrično postavljeni cevi. V notranji je postavljen svetlobni vir, zato je ta prosojna, medtem ko TiO_2 -suspenzija kroži v krožnem kanalu med obema cevema. Najpomembnejša prednost te oblike reaktorja je zagotovitev simetrične osvetlitve fotokatalizatorja [14, 15].

Reaktor z odprtim tokom (OUR)

Pri tem tipu reaktorja je več svetlobnih virov (luči) potopljenih in postavljenih pravokotno na smer vodnega toka, kar je vzrok za nesimetrično obsevanje celotne prostornine reaktorja [16]. Tak tip reaktorja je težje modelirati ter zahteva večji reaktorski volumen za doseganje enakega učinka v primerjavi s krožnim suspenzijskim reaktorjem (SAR).

Hibridni membranski fotokatalitski reaktor

Hibridni membranski fotokatalitski reaktorski sistemi so na splošno znani kot fotokatalitski membranski reaktorji (angl. *photocatalytic membrane reactors* – PMR) [17]. Poimenovanje je posledica sestave reaktorjev, saj je membranska filtracijska



Slika 1: Splošna shema hibridnega membranskega fotokatalitskega reaktorja [17]

enota lahko na različne načine postavljena v fotokatalitskem reaktorju. Med glavnimi vidiki oz. problemov je transmembranski pritisk, ki določa stopnjo filtracije in s tem posledično obratovalne stroške. Znano je, da se ti stroški z uporabo koloidnih ali nanodelcev povečajo, ker lahko v obeh primerih, mikrofiltracije ali ultrafiltracije, zmanjšajo membransko prepustnost.

Hibridni Foto CatTM reaktor (slika 1, Purifics Inc., Ontario, London) je izmed vseh PMR najobetavnejši za praktično uporabo. V tem tipu reaktorja se ob pritoku obdelovana voda prefiltrira skozi pritočna filtra in se nato pomeša z pritokom suspendiranih nanodelcev TiO_2 . Suspenzija nato potuje skozi reaktor z UV-sijalkami, ki so zaradi različne onesnaženosti vode lahko posamično nadzorovane. Za filtracijo delcev TiO_2 se uporablja keramična membrana, ki se nahaja v »hibridni« enoti ob iztoku iz reaktorja, hkrati pa del suspenzije vodi k pritoku v reaktor, kjer se koncentrat nanodelcev TiO_2 ponovno pomeša z vstopno vodo, ki prihaja v reaktorski sistem [17].

Reaktor z vrtničnim tokom (SFR)

Pri reaktorju z vrtničnim tokom se vodna suspenzija TiO_2 tangencialno vbrizga v valjast reaktor. Zaradi tangencialnega pritoka se v reaktorju ustvarja vrtnec, kar povzroči dobro mešanje suspenzije TiO_2 , iztok pa je postavljen v centru zgornje ploskve [18–20]. Fiziikalne značilnosti tega tipa reaktorja potencialno vplivajo na neenotno obsevanje celotne prostornine reaktorja in posledično na njegovo kompleksnejše načrtovanje in vrednotenje.

Taylorjev vrtnični reaktor (TVR)

TVR je sestavljen iz dveh koaksialnih valjev, med katerima v obtočnem kanalu kroži suspenzija fotokatalizatorja, vir svetlobe pa je nameščen v notranjem valju. Vrtnec povzroča vrtenje notranjega valja. Zaradi dobrega mešanja je fotokatalizator dobro obsevan, saj vrtnčenje delce katalizatorja izmenično približa obsevanemu delu reaktorja. Optimalne razmere za ta tip reaktorja so: 300 r/min in masna koncentracija fotokatalizatorja 10 g L^{-1} . V optimalnih razmerah je učinkovitost tega tipa reaktorja trikrat večja od navadnega suspenzijskega reaktorja. Slabost te konfiguracije je dodana kompleksnost zaradi premikajočih se delov (notranji valj) [21, 22].

Turbulentni suspenzijski reaktor (TSR)

TSR-reaktor je orebren turbulenten suspenzijski sistem s keramično membrano za ločevanje in recikliranje katalizatorja. Membrana se periodično čisti s povratnim zračnim tokom. Glavni prednosti TSR-reaktorjev sta njihova kompaktna oblika in pričakovani visok izkoristek [23, 24].

Foto-CREC-II- in Foto-CREC-III-reaktor

Reaktor tipa Foto CREC-Water II je valjaste oblike z virom svetlobe v središču reaktorja. V zgornjem pritočnem delu je distribucijski sistem, ki zagotavlja intenzivno mešanje suspenzije katalizatorja. Enota je opremljena z več kremenovimi okenci po dolžini reaktorja, kar omogoča merjenje absorpcije fotonov in kvantitativno določitev odboja z zadnje in prednje strani reaktorja. Ta tip reaktorja je še posebej pomemben za določitev energije svetlobnega sevanja in kvantne učinkovitosti v različnih fotokatalitskih reaktorjih [25, 26].

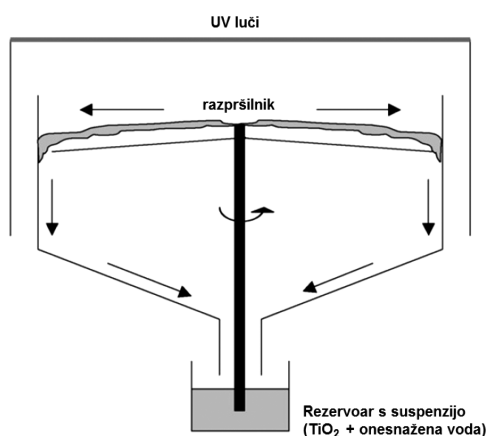
Reaktor tipa Foto CREC-Water III je prav tako valjaste oblike, vendar z zunanjim svetlobnim virom. Ta vrsta reaktorja je zasnovana za simulacijo reaktorja, obsevanega s soncem. Reaktor je od zunaj obsevan z nizom osmih UV-svetilk, ki simulirajo sončno obsevanje. Ta tip reaktorja je v mnogih pogledih podoben Foto CREC-Water II-reaktorju [25, 26].

Fotokatalitski reaktor Fontana

Pri fotokatalitskem fontanskem reaktorja (slika 2) je suspenzija fotokatalizatorja krožno razpršena in nad tako imenovano fontano je postavljen UV-izvir svetlobnega sevanja (sijalke, sonce). Za ta tip reaktorja sta značilna visok masni prenos in velika specifična površina fotokatalizatorja na prostornino obdelovane vode [27, 28].

CPC-reaktor – sestavljen parabolični zbiralnik

CPC-zbiralnik (slika 3) je sestavljen iz dveh osnovnih sestavnih delov: cevne absorberja, ki igra tudi vlogo fotoreaktorske celice, ter odsevne površine, ki sončno sevanje usmerja v reaktor. Zaradi posebne oblike odsevne površine skoraj vse UV-sevanje (ne le neposredno, ampak tudi difuzno) pade na reaktorsko cev in posledično v tekočino, ki se v njej pretaka in v kateri potekajo fotokatalitski procesi [7, 29].



Slika 2: Fotokatalitski fontanski reaktor [27]

2.2 Reaktorji z imobiliziranim TiO_2

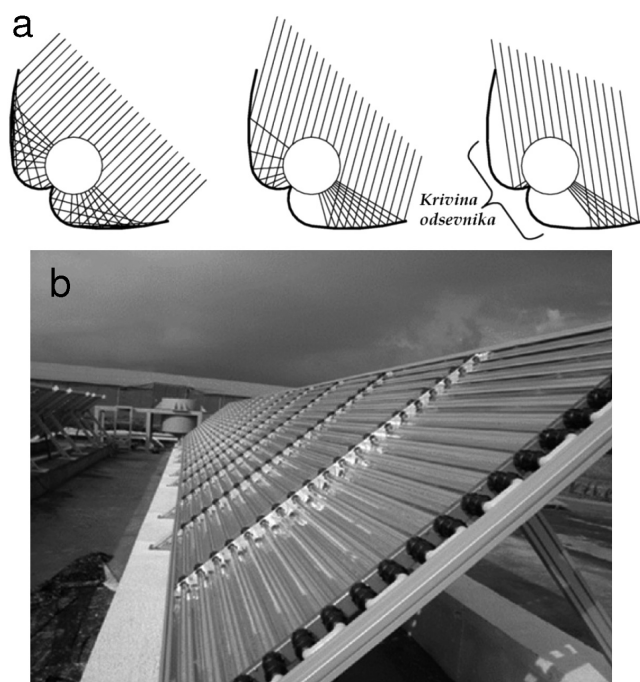
Reaktorji z imobiliziranim katalizatorjem za fotokatalitsko obdelavo vode ali zraka so si po konfiguraciji precej podobni. Bistvo teh reaktorjev je, da je TiO_2 pritrjen na nosilec s fizikalnimi silami ali kemijskimi vezmi. Nosilci za katalizator so lahko: aktivno oglje, optična vlakna, steklena vlakna, steklo, steklene kroglice, steklena volna, membrane, kremenov pesek, zeoliti, nerjaveče jeklo, teflon, papir ... [13]. Fotokatalitske reaktorje, v katerih je TiO_2 pritrjen na inertno podlago, lahko razdelimo na štiri vrste [30]:

- membranske, monolitne ali podobne površinske fotokatalitske reaktorje,
- reaktorje z optičnimi vlakni,
- reaktorje s fluidizirano podlago, na katero je imobiliziran fotokatalizator,
- reaktorje s polnilom.

2.2.1 Membranski, monolitni ali podobni površinski fotokatalitski reaktorji

Membranski reaktorji

V fotokatalitskih membranskih reaktorjih (PMR) z imobiliziranim fotokatalizatorjem membranski modul deluje kot podlaga za nanos delcev fotokatalizatorja in hkrati kot pregrada za različne organske molekule. Reakcija fotokatalitske razgradnje poteka na površini membrane ali v njenih porah, kar povečuje fotooksidacijsko učinkovitost v primerjavi s hibridnimi membransko fotokatalitskimi reaktorskimi sistemi PMR s



Slika 3: Osnovne reaktorske enote so sestavljene iz odsevne površine, ki omogoča zbiranje sončne svetlobe, in cevne absorberja – fotoreaktorske cevi (a). Iz osnovnih reaktorskih enot je mogoče sestaviti polje (b) s CPC-reaktorji [29].

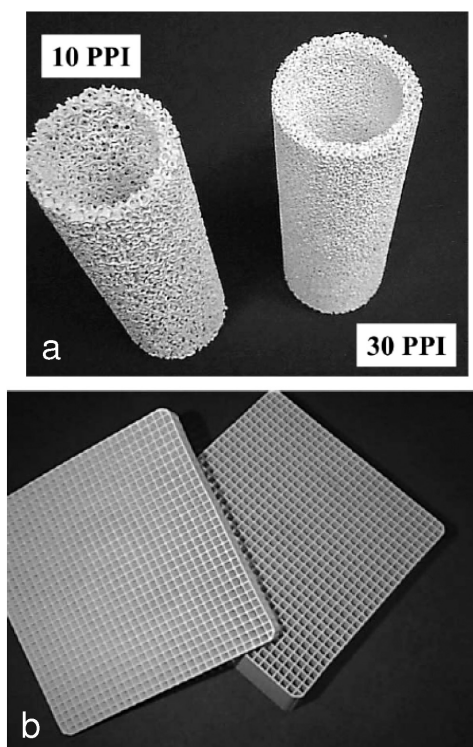
suspendiranim fotokatalizatorjem [31]. Kljub temu pa tesen stik med fotokatalizatorjem in membrano lahko negativno vpliva na mehanske lastnosti membrane, saj se ta pod vplivom UV-svetlobe in hidroksilnih radikalov razgrajuje. S tega stališča je hibridni membransko fotokatalitski reaktorski sistem PMR s suspendiranim fotokatalizatorjem bolj realna izvedba reaktorjev tega tipa.

Monolitni reaktorji

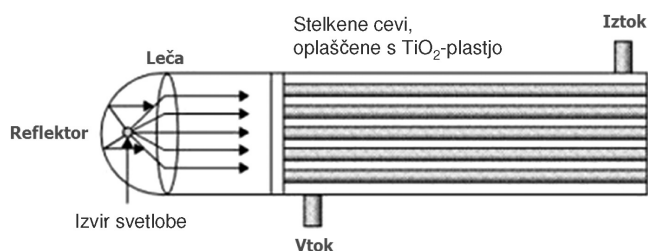
Keramične pene iz različnih materialov, kot so Al_2O_3 , SiC, kordierit ali drugi, so izdelane po različnih metodah in so zelo stabilne. Poleg tega imajo odprto tridimenzionalno strukturo z visoko poroznostjo (volumenski delež 75–95 %), veliko notranjo geometrijsko površino, nizko gostoto in so zato dobro prepustne z nizkim tlačnim padcem [32]. Fotokatalitske membrane $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (slika 4) so za vodo visoko prepustne, zaradi svoje strukture omogočajo daljši zadrževalni čas vode, ki jo čistimo, in na njih ne nastane obraščanje. Ta tip reaktorjev bi se ob nadaljnji optimizaciji lahko uporabljal za fotokatalitsko čiščenje zraka, vode in odpadnih voda ter v sistemih s ponovno uporabo vode ali zraka [33].

Večcevni reaktor (MTR)

Večcevni reaktor (slika 5) je cilindrične oblike s premerom med 5 cm in 6 cm ter vsebuje 54 kremenovih cevk s premerom 0,6 cm, prevlečenih s foto-



Slika 4: Monolita iz penjenega aluminijevega oksida, izdelana za cevni fotokatalitski reaktor (a); monolit iz kordierita, prekrit in nepokrit s TiO_2 (b) [33]



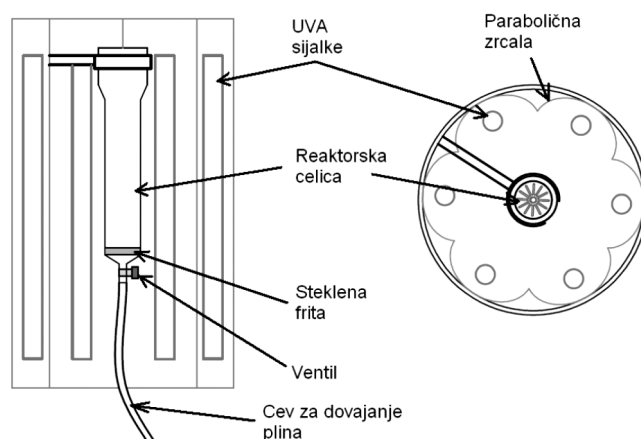
Slika 5: Shema večcevnega reaktorja [36]

katalitsko plastjo. Zaporedno s postavitvijo kremenovih cevi je postavljen svetlobni izvir, katerega sevanje je z uporabo polkrogelnega ogledala iz poliranega aluminija [34, 35] usmerjeno v notranjost cevi. Ena od pozitivnih lastnosti je dobra distribucija svetlobe v reaktorju in posledično večja površina aktiviranega fotokatalizatorja.

Reaktor tipa Carberry

Reaktor tipa Carberry, ki smo ga naredili v našem laboratoriju [36–38], je sestavljen iz reaktorske celice in vstavljenega imobiliziranega katalizatorja ter je postavljen v center oboda s sijalkami s parabolično odsevno površino iz poliranega aluminija (slika 6).

Reaktorsko celico sestavlja steklena celica iz borosilikatnega stekla z učinkovito prostornino 250 mL (240 mm, z notranjim premerom 40 mm), ki jo na spodnjem koncu zapira steklena fritna in ventil za prepihanje s plinom. Obod s šestimi sijalkami in šestimi paraboličnimi odsevnimi površinami usmerja UV-sevanje v središče reaktorja, kjer je vzporedno s sijalkami pritrjena reaktorska celica z eksperimentalno raztopino onesnaževala in katalizatorjem. Na vrhu reaktorja je pritrjen tudi poseben motorček, ki omogoča vrtenje posebej izdelanega teflonskega ali kovinskega nosilca (košare) z vpetim imobiliziranim katalizatorjem (slika 9d).



Slika 6: Skica reaktorja tipa Carberry in njegova postavitvev

2.2.2 Drugi tipi reaktorjev

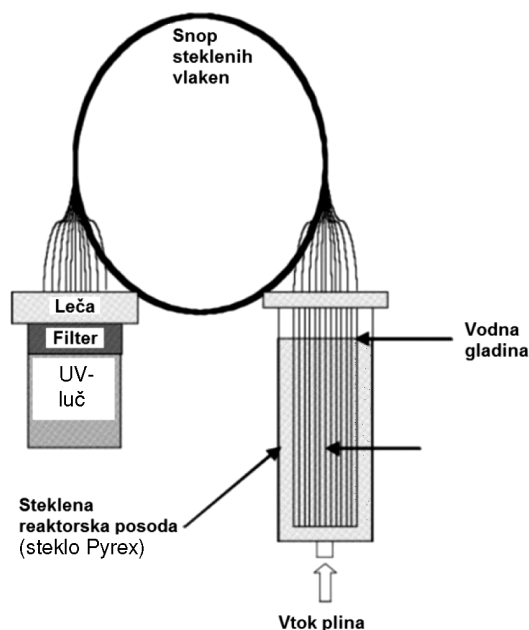
Reaktor z optičnimi vlakni

Za ta tip reaktorja je značilno, da z uporabo optičnih vlaken usmerimo svetlobo v reaktor (**slika 7**) in s tem omogočimo enakomerno osvetljevanje celotnega reaktorja z minimalnim učinkom sipanja svetlobe na delcih. Cena optičnih vlaken in energijske izgube ob fokusiranem usmerjanju svetlobe v vlakna sta dve slabosti reaktorja z optičnimi vlakni (FOCR). V tipičnem FOCR-sistemu se uporablja fotokatalizator v tanki plasti na kremenovih optičnih vlaknih in ksenonsko UV-luč kot izvir UV-sevanja (310–375 nm) [39, 40].

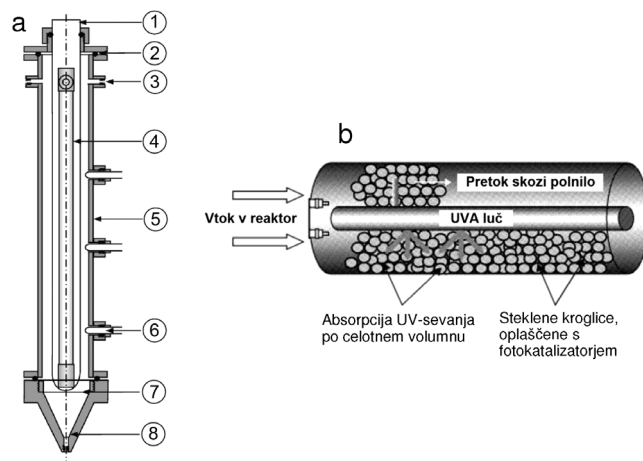
Fotokatalitski reaktorji s fluidiziranim fotokatalizatorjem (FBPR)

Pri FBPR je fotokatalizator nanesen na različne inertne 3D-podlage majhnih dimenzij, navadno nekaj milimetrov (kremenov pesek, steklene kroglice), ki jih nato uporabimo v reaktorju. Vertikalni tok navzgor omogoča suspendiranje in večje ali manjše lebdenje omenjenih delcev z imobiliziranim fotokatalizatorjem (**slika 8a**).

Glavne prednosti FBPR-reaktorjev so: dobro mešanje onesnaževal s fotokatalizatorjem in posledično večjim kontaktom z onesnaževali, uporaba večjih količin fotokatalizatorja, majhna upornost masnega prenosa, majhen padec tlaka in velika površina TiO_2 , osvetljena z UV-sevanjem. Poleg tega okrogla oblika tega reaktorja omogoča učinkovitejšo uporabo sevanja, ki ga oddajajo UV-svetilke [41]. Ena od resnih omejitev pri procesu suspendiranja in lebdenja je



Slika 7: Shematska predstavitev reaktorja z optičnimi vlakni [39]



Slika 8: (a): Reaktor z lebdečim fotokatalizatorjem: (1) kremenova cev ($\varnothing = 3,0$ cm), (2) o-tesnila, (3) iztok (4-krat), (4) U-svetilka, (5) zunanja neprosojna cev ($\varnothing = 5,0$ cm), (6) kontrolna okenca ($\varnothing = 1,5$ cm), (7) vstopni filter in (8) pritok [41];

(b): reaktor s polnilom (PBR) [42]

separacija delcev po velikosti, kar lahko povzroči odnašanje fotokatalizatorja s tokom in mašenje filtrov ali cevi, kar je treba obravnavati že pri načrtovanju reaktorja.

Reaktorji s polnilom (PBR)

PBR-reaktorji so polnjene krožne enote, ki so osvetljene s centralno postavljenno svetilko (**slika 8b**). Poznamo več variacij PBR-reaktorjev z različnimi polnili: (1) pritrjenim TiO_2 na delce stekla, (2) pritrjenim TiO_2 na stekleno volno [43] in (3) pritrjenim TiO_2 na steklene kroglice [42, 43].

Neenakomerna osvetljenost fotokatalizatorja in neenakomeren pretok preko prereza reaktorja in posledično neenakomeren zadrževalni čas so glavne pomanjkljivosti, ki lahko spremljajo ta tip reaktorja. Po drugi strani pa PBR-reaktorji ponujajo naslednje prednosti: (1) vode po fotokatalitski obdelavi ni treba filtrirati kot v primeru suspenzijskih reaktorjev; (2) omogočajo bistveno povečanje površine fotokatalizatorja z izbiro primerne podlage/polnila; (3) imobilizacija tankih plasti TiO_2 na UV transparentno podlago omogoča enakomerno porazdelitev svetlobe v reaktorju; (4) dinamika pretoka skozi reaktor omogoča boljše mešanje, kar stanjša difuzivno plast ob fotokatalizatorju in (5) reaktorji s polnilom imajo na splošno manj težav z odnašanjem delcev fotokatalizatorja kot pri reaktorjih z lebdečim fotokatalizatorjem (FBPR) [30].

3 FOTOKATALITSKO ČIŠČENJE ZRAKA

Obstajajo štiri vrste aplikacij za čiščenje zraka z uporabo fotokatalize: čiščenje notranjega zraka, čiščenje zunanega zraka, čiščenje procesnih plinov ter

čiščenje raztopljenih onesnaževal. Glede na število znanstvenih publikacij je daleč najaktivnejše področje čiščenja notranjega zraka [44], ki presega druge tudi po številu objavljenih patentov [45].

3.1 Onesnaževala notranjega zraka

V znanstveni literaturi je bilo preučeno že veliko število onesnaževal, ki so primerna za razgrajevanje z uporabo fotokatalize. Najpomembnejša skupina onesnaževal so BTEX-i (benzen, toluen, etilbenzen in ksilen) in klorirani ogljikovodiki, na primer trikloroetilen (TCE). Poleg teh skupin so preučene še druge aromatske spojine, ogljikovodiki, aldehidi, etri in alkoholi. Veliko dela je bilo narejenega tudi pri preučevanju dušikovih oksidov, ki so predvsem zanimivi za fotokatalitske sisteme, ki čistijo zunanji zrak.

3.2 Razgradni produkti

Pri procesu fotokatalize pa se pojavljajo tudi razgradni produkti, ki so neželeni in včasih tudi bolj toksični od izvirnega onesnaževala. Pri razgradnji metanola so raziskovalci zaznali sledi formaldehida [41], pri etanolu pa acetaldehida, formaldehida in pripadajočih kislin [46] ter sledi metanola [47]. Tudi pri oksidaciji toluena se pojavljajo stabilni intermediati, kot so benzaldehid, benzojska kislina, benzen [48].

3.3 Fotokatalitski reaktorji za čiščenje zraka

Zaradi številnih vrst reaktorjev je težko narediti primerjavo med njimi. Iz tega razloga se lahko naredi klasifikacija različnih vrst reaktorjev glede na en parameter. Eden od takih načinov razvrščanja reaktorjev je glede na konfiguracijo UV-svetilk z ozirom na reakcijsko območje [49, 50] ali glede na geometrijo pretoka plina [44]. Vrste reaktorjev so tako ploščati, cevni in kroglasti reaktorji [51]. Različne konfiguracije vplivajo na lastnosti reakcijske površine, prenos snovi in fotokatalitske reakcije [50].

Druga razvrstitev je odvisna od načina obratovanja. Tako sta mogoči dve skupini: šaržni reaktorji in pretočni reaktorji [44]. Večina šaržnih reaktorjev deluje v obtočnem načinu, kjer je reakcijski volumen majhen – po navadi nekaj litrov, v primerjavi s skupno prostornino (navadno rezervoar, soba, vozilo), ki je nekaj redov velikosti večja. Pretočni reaktorji se uporabljajo za ravnanje s procesnimi plini, kjer je prisoten vir onesnaževal.

Cevni reaktorji

Za to vrsto reaktorjev je značilno, da onesnažen zrak teče skozi cev, v kateri je pritrjen fotokatalizator v različnih oblikah: tanke plasti s suspendiranimi delci,

monolit ali prah, pritrjen na podlago [44]. Odlikuje jih dobra osvetljenost katalizatorja, saj je vir sevanja sijalka na sredini reaktorja, čeprav je prenos onesnaževala počasen, prav tako je površina katalizatorja majhna. Obstajajo različne vrste cevnih fotoreaktorjev: kot reaktorji s suspendiranim TiO_2 (najpogosteje Degussa P25), TiO_2 , pritrjen na porozne podlage, reaktorji z vrtljivo plastjo, plazmatski reaktorji, cevni reaktorji s katalizatorjem, pritrjenim na notranjo steno cevi, monolitni cevni reaktorji, reaktorji s prepustnimi stenami itd. [52]

Večcevni reaktor je sestavljen iz več enakih paralelnih cevi, na katerih je imobiliziran katalizator in ki skupaj tvorijo zaključeno celoto [53] (slika 9b). V raziskavi so potrdili linearno odvisnost med velikostjo reaktorja in stopnjo razgradnje, kar v reaktorjih s suspendiranimi delci ni mogoče. V nadaljevanju sta opisani dve različici – tisti, ki sta največkrat uporabljeni [49].

Krožni reaktorji

Krožni reaktorji so posebna vrsta cevnih reaktorjev in so sestavljeni iz dveh koncentričnih (navadno steklenih) valjev. Onesnažen zrak je potisnjen med ta valja. Katalizator je navadno v obliki tanke plasti, naložene na notranji steni zunanjega valja, osvetljen z UV-svetilko, postavljeno v sredino notranjega valja [54].

Postavitve krožnih reaktorjev so podobne cevnim reaktorjem in vključujejo krožne reaktorje z vrtinčasto plastjo, reaktor s katalizatorjem, nanesenim na notranjo steno zunanjega valja ali zunanji steni notranjega valja, in reaktor s prepustno plastjo [33, 55]. Posebna vrsta reaktorja s prepustno plastjo je tako imenovani foto-CREC-zračni reaktor, ki ga je razvila de Lasova skupina [56] in je omenjen že pri čiščenju vod. Reaktor je narejen iz cevi, podobne Venturijevi, ki vsebuje oglato košarico, pokrito s pleteno mrežo iz steklenih vlaken in prežeto s TiO_2 na njenih stenah [44] (slika 9f).

Reaktorji s fluidiziranim slojem

Fotoreaktorji s fluidizirano plastjo (slika 9a) so zmožni delovati pri visokih hitrostih dovodnega zraka [57, 58]. Zasnova omogoča majhen padec tlaka in dober stik med katalizatorjem in onesnaženim zrakom [59, 60].

Monolitni cevni reaktorji

»Honeycomb« ali monolitni reaktorji so bili razviti predvsem za obdelavo avtomobilskih izpuhov in so bili šele kasneje za druge namene (npr. selektivna katalitična redukcija NO_x) [33, 61, 62]. Reaktorji vsebujejo veliko vzporednih kanalov, ki imajo premer navadno reda velikosti nekaj milimetrov. Prednosti

monolitnih reaktorjev so majhen padec tlaka in visoko razmerje površina : prostornina, s čimer se izognemo omejujočemu faktorju pri cevnih reaktorjih, po drugi strani pa so v slabšem položaju zaradi nezadostne osvetlitve katalizatorja [49].

Reaktor je sestavljen iz ene ali več plasti monolitnega katalizatorja in med njimi je ena ali več UV-svetilk (slika 9c). Poseben tip monolitnih reaktorjev je tudi tako imenovani Carberryjev reaktor, pri katerem je katalizator imobiliziran na podlago, ki je vrteča in tako omogoča boljše mešanje in tudi boljši stik katalizatorja z onesnaževalom. Luči so postavljene v krožni postavitvi zunaj reaktorja, za njimi pa je poliran

aluminij za usmerjanje in enakomerno porazdelitev svetlobe [3].

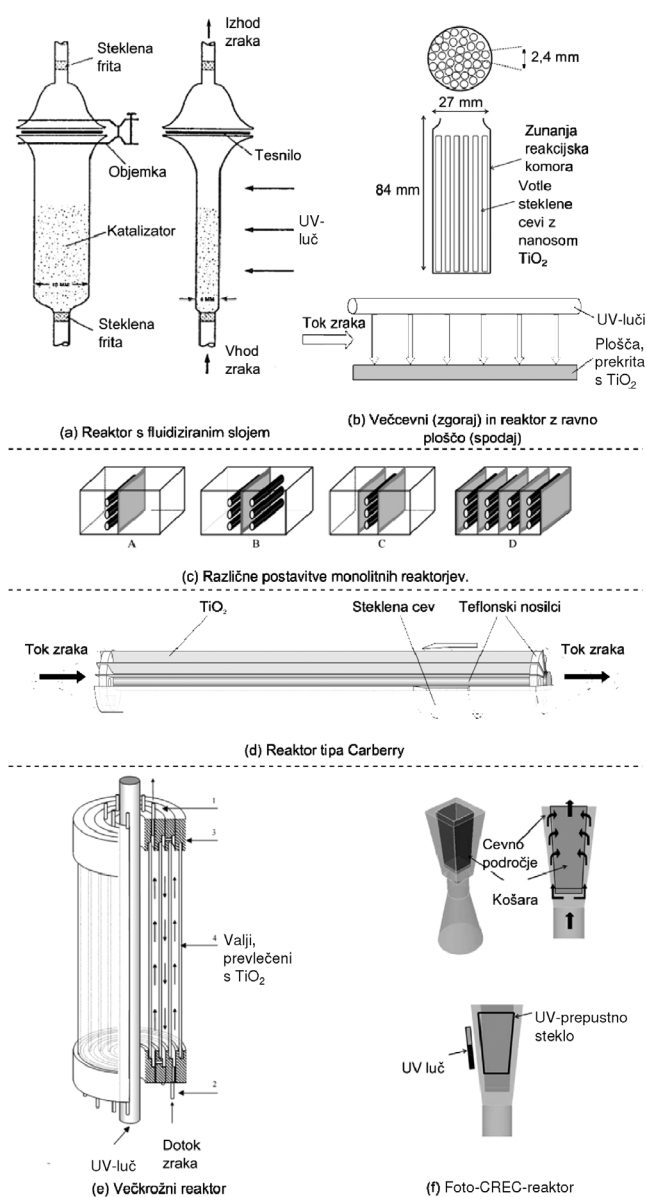
Tako kot večina omenjenih reaktorjev, je tudi ta uporaben tako za čiščenje zraka kot tudi za čiščenje vode. Odločilni parametri, ki določajo učinkovitost te vrste reaktorja, so: položaj žarnic in monolitnih plasti ter pretok zraka skozi reaktor [63].

Reaktorji z ravno ploščo

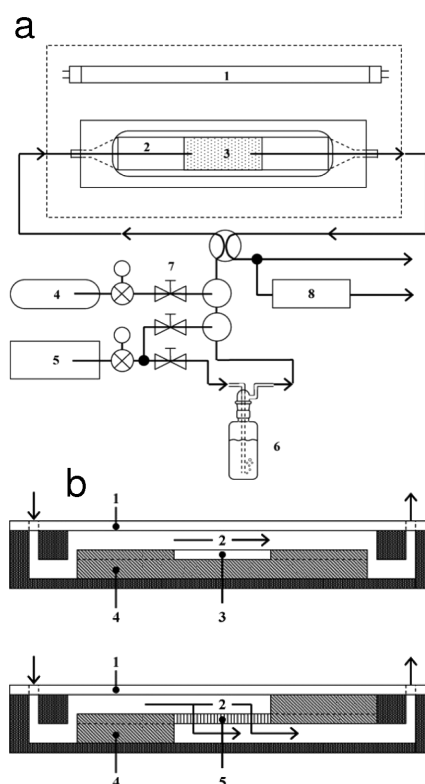
Za to obliko reaktorjev je značilna tanka plast fotokatalizatorja, ki je nanesena na ravnih in ukrivljenih («cik-cak») podlagah, navadno narejenih iz stekla ali kovine. Pretok zraka je vzporeden s ploščo katalizatorja [64]. Pri tej vrsti reaktorja je mogoč dober prenos onesnaževala do katalizatorja, vendar pa je površina le-tega omejujoč parameter (slika 9b).

3.4 ISO-standardi

Za ugotavljanje fotokatalitske aktivnosti materialov se v zadnjem času pojavlja velika potreba po standardnih preizkusih, ki bi preizkuse materialov poenotili in omogočili primerjanje rezultatov med različnimi laboratoriji, pri čemer je edini faktor vpliva na hitrost reakcije material sam, ne pa geometrija reaktorja – le-ta je namreč poenotena. Do sedaj so bili objavljene tri ISO-metode za čiščenje zraka s fotokatalizo [68], vsaka je namenjena razgrajevanju različnega



Slika 9: Sheme različnih fotokatalitskih reaktorjev za čiščenje zraka; povzeto po naslednjih virih: a [65], b [53], c [33], e [66], f [67]



Slika 10: Shema fotoreaktorskega sistema pri ISO-testih za preizkušanje fotokatalitske aktivnosti (a) [68], shema fotoreaktorja z ravno ploščo (b, zgoraj) in monolitnega reaktorja (b, spodaj) [68].

hlapnega onesnaževala. To so: dušikov oksid (NO), ISO 22197-1, acetaldehid, ISO 22197-2 in toluen, ISO 22197-3.

Sistem ISO fotoreaktorskega sistema za čiščenje zraka (slika 10a) je sestavljen iz UVA-vira svetlobe (1), ki osvetljuje borosilikatno celico (2), v kateri je vzorec fotokatalitsko aktivnega materiala (predlagane velikosti 5 cm × 10 cm, debeline 5 mm) (3), ter preizkusnega onesnaževala (4), ki je zmešan z zrakom (5) z relativno vlažnostjo 50 % (z uporabo Drechselove posode, napolnjene z vodo) (6). Pretok zraka v sistemu je reguliran s kontrolerji masnega pretoka (7), njegova analiza pa je narejena z uporabo ustreznega analitskega sistema (8). Uporabljata se dva različna fotoreaktorja: reaktor z ravno ploščo in monolitni reaktor (slika 10b). Pri prvem zrak potuje po ozki špranji (5 mm) med fotokatalizatorjem in steno celice, medtem pri drugem zrak potuje skozi vzorec.

4 SKLEPI

Fotokatalitsko čiščenje vode in zraka je naraščajoče področje raziskovanja. Kljub temu pa ostaja še veliko neraziskanega: od vplivov karakteristik fotokatalizatorjev na njihovo učinkovitost do pomembnosti vseh parametrov pri načrtu reaktorja, ki vplivajo na končno učinkovitost za čiščenje vode/zraka. Z napredkom računalništva v zadnjih desetletjih predvsem na področju čiščenja zraka veliko število raziskovalcev uporablja numerično modeliranje reaktorjev, kar prihrani veliko časa in denarja. Nekateri največji cilji za prihodnost so: razvoj fotokatalizatorja, ki bo aktiven pri vidni svetlobi, razvoj katalizatorja, kjer ne bo prihajalo do zmanjšanja aktivnosti v času, načrt reaktorja z dobro osvetljenostjo, dobrim masnim prenosom ter hkrati veliko površino.

5 LITERATURA

- [1] L. Zhang, R. Dillert, D. Bahnemann, M. Vormoor, *Energy Environ. Sci.*, 5 (2012), 7491–7507
- [2] C. Akly, P. A. Chadik, D. W. Mazyck, *Appl. Catal. B Environ.*, 99 (2010), 329–335
- [3] M. Tasbihi, M. Kete, A. M. Raichur, N. N. Tušar, U. L. Stangar, *Environ. Sci. Pollut.*, 19 (2012), 3735–3742
- [4] A. Folli, C. Pade, T. B. Hansen, T. De Marco, D. E. Macphee, *Cem. Concr. Res.*, 42 (2012), 539–548
- [5] X. Zhu, M. A. Nanny, E. C. Butler, *Water Res.*, 42 (2008), 2736–2744
- [6] M. Sanchez, M. J. Rivero, I. Ortiz, *Desalination*, 262 (2010), 141–146
- [7] S. Malato, P. Fernandez-Ibanez, M. I. Maldonado, J. Blanco, W. Gernjak, *Catal. Today*, 147 (2009), 1–59
- [8] F. Sciacca, J. A. Rengifo-Herrera, J. Wethe, C. Pulgarin, *Sol. Energy*, 85 (2011), 1399–1408
- [9] L. Rizzo, *J. Hazard. Mater.*, 165 (2009), 48–51
- [10] F. Chen, X. Yang, H. K. C. Mak, D. W. T. Chan, *Build. Environ.*, 45 (2010), 1747–1754
- [11] G. Liu, N. Hoivik, K. Wang, H. Jakobsen, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 105 (2012), 53–68
- [12] M. N. Chong, B. Jin, C. W. K. Chow, C. Saint, *Water Res.*, 44 (2010), 2997–3027
- [13] H. De Lasa, B. Serano, M. Salaiques, *Photocatalytic reaction engineering, Springer Science+Business Media*, 2005, 17–27
- [14] R. Andreozzi, V. Caprio, A. Insola, G. Longo, V. Tufano, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 75 (2000), 131–136
- [15] K. Sopajaree, S. A. Qasim, S. Basak, K. Rajeshwar, *J. Appl. Electrochem.*, 29 (1999), 533–539
- [16] R. M. Alberici, W. F. Jardim, *Water Res.*, 28 (1994), 1845–1849
- [17] M. J. Benotti, B. D. Stanford, E. C. Wert, S. A. Snyder, *Water Res.*, 43 (2009), 1513–1522
- [18] D. Chen, A. K. Ray, *Appl. Catal. B Environ.*, 23 (1999), 143–157
- [19] D. Chen, A. K. Ray, *Water Res.*, 32 (1998), 3223–3234
- [20] A. K. Ray, A. A. C. M. Beenackers, *AIChE J.*, 43 (1997), 2571–2578
- [21] N. K. VelLeitner, E. Le Bras, E. Foucault, J.-L. Bousgarbics, *Water Sci. Technol.*, 35 (1997), 215–222
- [22] J. G. Sczechowski, C. A. Koval, R. D. Noble, *Chem. Eng. Sci.*, 50 (1995), 3163–3173
- [23] B. E. Butters, A. L. Powell, Method and system for photocatalytic decontamination, U. S. patent US5462674 (1995)
- [24] R. Bonneze, P. Haugsjaa, E. Heller, A. Heller, J. Say, S. Sitkiewitz, Apparatus for photocatalytic fluid purification, U. S. patent US5790934 (1990)
- [25] M. Salaiques, B. Serrano, H. I. de Lasa, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40 (2001), 5455–5464
- [26] A. K. Ray, in *Adv. Chem. Eng. Photocatalytic Technol.* (H. I. de Lasa, B. S. Rosales, Academic Press, 2009) 36, 145–184
- [27] G. L. Puma, P. L. Yue, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40 (2001), 5162–5169
- [28] T. Van Gerven, G. Mul, J. Moulijn, A. Stankiewicz, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 46 (2007), 781–789
- [29] S. Malato, J. Blanco, D. C. Alarcón, M. I. Maldonado, P. Fernández-Ibáñez, W. Gernjak, *Catal. Today*, 122 (2007), 137–149
- [30] G. E. Imoberdorf, G. Vella, A. Sciafani, L. Rizzuti, O. M. Alfano, *AIChE J.*, 56 (2010), 1030–1044
- [31] R. Molinari, F. Pirillo, M. Falco, V. Loddo, L. Palmisano, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 43 (2004), 1103–1114
- [32] G. Plesch, M. Vargova, U. F. Vogt, M. Gorba, K. Jesenak, *Mater. Res. Bull.*, 47 (2012), 1680–1686
- [33] G. B. Raupp, A. Alexiadis, M. M. Hossain, R. Changrani, *Catal. Today*, 69 (2001), 41–49
- [34] P. S. Mukherjee, A. K. Ray, *Chem. Eng. Technol.*, 22 (1999), 253–260
- [35] A. K. Ray, A. A. C. M. Beenackers, *Catal. Today*, 40 (1998), 73–83
- [36] U. Černigoj, U. L. Štangar, P. Trebše, *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 188 (2007), 169–176
- [37] U. Černigoj, U. L. Štangar, P. Trebše, *Appl. Catal. B Environ.*, 75 (2007), 229–238
- [38] U. Černigoj, U. L. Štangar, P. Trebše, M. Sarakha, *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 201 (2009), 142–150
- [39] K. Hofstadler, R. Bauer, S. Novalic, G. Heisler, *Environ. Sci. Technol.*, 28 (1994), 670–674
- [40] N. J. Peill, M. R. Hoffmann, *Environ. Sci. Technol.*, 32 (1998), 398–404
- [41] R. J. Nelson, C. L. Flakker, D. S. Muggli, *Appl. Catal. B Environ.*, 69 (2007), 189–195
- [42] G. B. Roupp, J. A. Nico, S. Annangi, R. Changrani, R. Annapragada, *AIChE J.*, 43 (1997), 792–801
- [43] H. Al-Ekabi, N. Serpone, E. Pelizzetti, C. Minero, M. A. Fox, R. B. Draper, *Langmuir*, 5 (1989), 250–255
- [44] Y. Paz, in *Adv. Chem. Eng. Photocatalytic Technol.* (H. I. de Lasa, B. S. Rosales, Academic Press, 2009) 36, 289–336
- [45] Y. Paz, *Appl. Catal. B Environ.*, 99 (2010), 448–460
- [46] A. V. Vorontsov, V. P. Dubovitskaya, *J. Catal.*, 221 (2004), 102–109
- [47] A. Wisthaler, P. Strøm-Tejsten, L. Fang, T. J. Arnaud, A. Hansel, T. D. Märk, D. P. Wyon, *Environ. Sci. Technol.*, 41 (2007), 229–234
- [48] L. Sun, G. Li, S. Wan, T. An, *Chemosphere*, 78 (2010), 313–318
- [49] F. Jovic, V. Tomasic, *Kem. Ind.*, 60 (2011), 387–403
- [50] J. Mo, Y. Zhang, Q. Xu, J. J. Lamson, R. Zhao, *Atmos. Environ.*, 43 (2009), 2229–2246
- [51] Y. Zhang, R. Yang, R. Zhao, *Atmos. Environ.*, 37 (2003), 3395–3399

- [52] A. O. Ibadon, I. M. Arabatzis, P. Falaras, D. Tsoukleris, *Chem. Eng. J.*, 133 (2007), 317–323
- [53] M. Adams, N. Skillen, C. McCullagh, P. K. J. J. Robertson, *Appl. Catal. B Environ.* 130–131 (2013), 99–105
- [54] G. E. Imoberdorf, A. E. Cassano, H. A. Irazoqui, O. M. Alfano, *Chem. Eng. Sci.*, 64 (2007), 1138–1154
- [55] D. Clarke, *Icarus*, 147 (2000), 282–291
- [56] H. Ibrahim, H. De Lasa, *Appl. Catal. B Environ.*, 38 (2002), 201–213
- [57] T. H. Lim, S. D. Kim, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 44 (2005), 327–334
- [58] K. Sekiguchi, K. Yamamoto, K. Sakamoto, *Catal. Commun.*, 9 (2008), 281–285
- [59] O. Prieto, J. Feroso, R. Irusta, *Int. J. Photoenergy*, ID 32859 (2007), 1–8
- [60] M. Tasbihi, U. L. Štangar, U. Černigoj, J. Jirkovsky, S. Bakardjievac, N. N. Tušar, *Catal. Today*, 161 (2011), 181–188
- [61] P. Du, J. T. Carneiro, J. A. Moulijn, G. A. Mul, *Appl. Catal. A Gen.*, 334 (2008), 119–128
- [62] C. Nicoletta, M. Rovatti, *Chem. Eng. J.*, 69 (1998), 119–126
- [63] J. Taranto, D. Frochot, P. Pichat, *Catal. Today*, 122 (2007), 66–77
- [64] T. N. Obee, S. O. Hay, *Environ. Sci. Technol.*, 31 (1987), 2034–2038
- [65] J. Peral, X. Domenech, D. F. Ollis, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 70 (1997), 117–140
- [66] G. E. Imoberdorf, H. A. Irazoqui, A. E. Cassano, O. M. Alfano, Modelling of a multi-annular photoreactor for the degradation of perchloroethylene in gas phase, 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, 1–10 (2005)
- [67] S. Romero-Vargas Castrillón, H. Ibrahim, H. De Lasa, *Chem. Eng. Sci.*, 61 (2006), 3343–3361
- [68] A. Mills, C. Hill, P. K. J. Robertson, *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 237 (2012), 7–23

PRVI TESLOVI STIKI Z VAKUUMSKIMI TEHNIKAMI

(ob 70-letnici smrti)

2. del

Stanislav Južnič

ZNANSTVENI ČLANEK

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

4 TESLA V GRADCU

Sekulič in drugi profesorji v Rakovcu so Teslo tako navdušili, da si ni želel nadaljevati družinskih tradicij v vojaški ali popovski suknji, temveč je hotel tudi sam postati učitelj. Jeseni 1875 se je vpisal na pedagoško oziroma kemijsko-tehnološko smer graške Politehnike (*Technische Hochschule am Joanneum zu Graz*), ki je leto poprej dopolnila štiri fakultete: gradbeno, strojno-mehansko, kemijsko-tehnološko in gozdarsko.

Ferdinand Lippich (Lipič, * 1838 Padova; † 1913) je bil slovenskega pokolenja in sin ljubljanskega zdravnika Frana Viljema Lipiča (Lippich, * 13. junij 1799, Spišská Nová Ves zahodno od Košic na Slovaškem; † 12. december 1845, Dunaj). Žal je tik pred Teslovim vpisom odšel iz Gradca na praško univerzo; morda ga je Tesla srečal pozneje med svojim tamkajšnjim študijem. Ferdinandov ded zdravnik in fizik Ljubljančan Jožef (* 5. 2. 1761 Ljubljana) je izviral iz beneškega rodu Boke Koterske, ki se je ustalil v Kropi na Gorenjskem. Ferdinandov oče je začel študirati medicino pri 18 letih v Budimpešti; promoviral je na Dunaju 26. 5. 1823 z disertacijo *Observata de metritide septica in puerperas grassante*. Še isto leto je postal drugi mestni zdravnik v Ljubljani, leta 1832 provizorični okrajni zdravnik in naslednje leto pomočnik bolnišničnega ravnatelja. V Ljubljani je tisti čas živel tudi njegova sestra Tereza (* 1800), poročena v Benetkah z graškim in praškim psihiatrom dr. Francem Koestlom (Köstel, * 1811 Cerklje na Gorenjskem; † 1882 Gradec). Postala je nadarjena učenka slikarja Mateja Langusa.

Leta 1834 je Fran Viljem zaradi težav z ljubljanskimi menihi homeopati nastopil profesuro interne medicine v Padovi, leta 1841 pa je odšel na dunajsko univerzo kot predhodnik Jožefa Škode (* 1805; † 1881), mentorja Jožefa Stefana. Leta 1826 se je Fran Viljem poročil s štajersko siroto Alojzijo Kajetano Kahr (* 1805 Ilz). Imela sta ducat otrok, vendar jih je le pet odraslo, med njimi v Ljubljani rojena Wilhelmine (* 1831 Ljubljana; † 1885 Praga) in Friderik (* 1832 Ljubljana). Wilhelmine se je poročila z očetovim pomočnikom psihiatrom Josefom Czermakom (* 1825/26; † 1872), njun mlajši

sin Paul Czermak (* 27. 12. 1857 Brno; † 1912 Innsbruck)¹¹⁰ pa je po doktoratu pri Boltzmannu o Maxwellovi kinetični teoriji plinov postal Šubičev sodelavec na graški univerzi in naslednik Dolenjca Ignaca Klemenčiča (* 1853; † 1901) na univerzi v Innsbrucku leta 1901. Paul Czermak in Dolenjec Klemenčič sta družno raziskovala interferenco električnih valov v zraku,¹¹¹ ki je bila temeljnega pomena za Teslova raziskovanja.

Ferdinand Lippich¹¹² je študiral v Pragi kot gost svoje tete slikarke Tereze. Postal je profesor grafične statike, teoretične in uporabne mehanike na Tehniški visoki šoli v Gradcu med letoma 1865–1874. Tik pred Teslovim vpisom je postal redni profesor matematične fizike na univerzi v Pragi. V Gradcu je bil rektor od 1. 10. 1870 do 30. 8. 1871, dekan strojne šole pa od 1. 10. 1869 do 30. 9. 1870. Sprva je, tako kot njegov prijatelj Ernst Mach, zagovarjal zmagovito vejo kinetične teorije, sklicujoč se na poskuse s katodnimi elektronkami Juliusa Plückerja in Hittorfa; z natančnimi vakuumskimi poskusi je ugotavljal vpliv gibanja molekul plina na širino spektralnih črt. Na osnovi Clausius-Königove kinetične teorije je preučeval spekter kisika v Geisslerjevi elektronki,¹¹³ v istem času je podobne spektralne analize objavljala Teslov profesor Sekulič.

Lippich je vakuumske raziskave nadaljeval v Pragi deset let pozneje; pri raziskovanjih elektrostatike se je obregnil ob teorijo Franza Neumanna (1877) in poskus leipziškega profesorja astrofizike Johanna Karla Friedricha Zöllnerja (1874),¹¹⁴ ki je takoj po odkritju radiometra obiskal Crookesa z bolj duhovnimi nagibi, podobnimi kot pozneje Tesla. Lippich je bil leta 1910 upokojen, njegovo katedro v Pragi pa je prevzel Albert Einstein. Varčni Einstein in njegova nevesta iz Vojne krajine si pri tem nista hotela nabaviti novih žimnic, čeprav je na starih mrgolelo mrčesa, kar je bržkone usodno zaznamovalo njun zakon. Lippichov nekrolog je sestavil poglavitni praški zagovornik Einsteinove teorije relativnosti Antona Lampe (* 1868 Pešta; † 1938),¹¹⁵ ki je leta 1893 doktoriral pri Boltzmannu. Raziskovanje vakuumskih tehnologij, kinetične teorije in elektrike ozrača Ferdinanda Lippicha in njegovega nečaka Paula Czermaka je bilo seveda pisano na kožo Tesli.

¹¹⁰ Ne gre ga zamenjavati z moravskim mineralogom Gustavom Tschermakom Edler von Seyseneggom (* 1836; † 1927). www.deutsche-biographie.de/sfz9124.html, www.tigis.cz/images/stories/psychiatrie/2011/04/02_cestch_psych_4-11.pdf, str. 183, 185–186, ogleda 2. 2. 2013; Čech, 2005, 124, 140

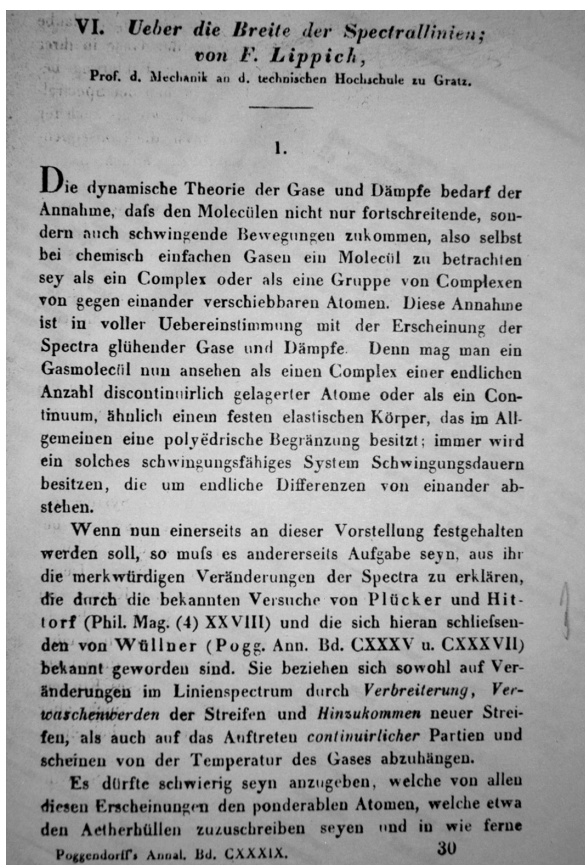
¹¹¹ Czermak, 1884; Czermak, Klemenčič, 1893

¹¹² www.landmuseum.at/pdf_frei_remote/Lotos_62_0013-0018.pdf

¹¹³ Lippich, 1870, 465, 467, 473, 477–478

¹¹⁴ Lippich, 1880

¹¹⁵ www.landmuseum.at/pdf_frei_remote/Lotos_62_0013-0018.pdf



Slika 1: Začetek Lippicheve graške razprave o katodnih elektronkah v vodilni fizikalni reviji z razlago rezultatov poskusov Plückerja in Hittorfa v Bonnu (Lippich, 1870)



Slika 2: Vakuumist slovenskega rodu Ferdinand Lippich, sin ljubljanskega zdravnika in vnuk Gorenjcev iz Kroke. Tam teče potok Kroparica do izliva v potok Lipnica, ki je morda posodil ime kranjskim Lipičem.



Slika 3: Teslov graški profesor matematike Moritz Allé.

Tesla je prvovrstno študiral prvi letnik graške Politehnike in v precejšnji meri drugega; ni pa opravil nobenih izpitov v tretjem letniku do januarja 1878. Njegova poglavitna profesorja na graški Politehniko Joanneum sta bila za teorijsko in eksperimentalno fiziko Jakob Pöschl, za višjo matematiko pa Moritz Allé (* 1837 Brno; † 1913).¹¹⁶ Johann Rogner je Teslo poučeval diferencialni in integralni račun, matematiko I., o prostorninah vrtenin in uporabno aritmetiko. Ob zahvali za podelitev častnega doktorata Tehniške in montanistične visoke šole v Gradcu se je Tesla v telegramu, poslanem dne 23. 1. 1937, rektorju s hvaležnostjo spominjal Alléja, pa tudi prijateljskega pouka Rognerja in Pöschla;¹¹⁷ zadnjega morda s figo v žepu.

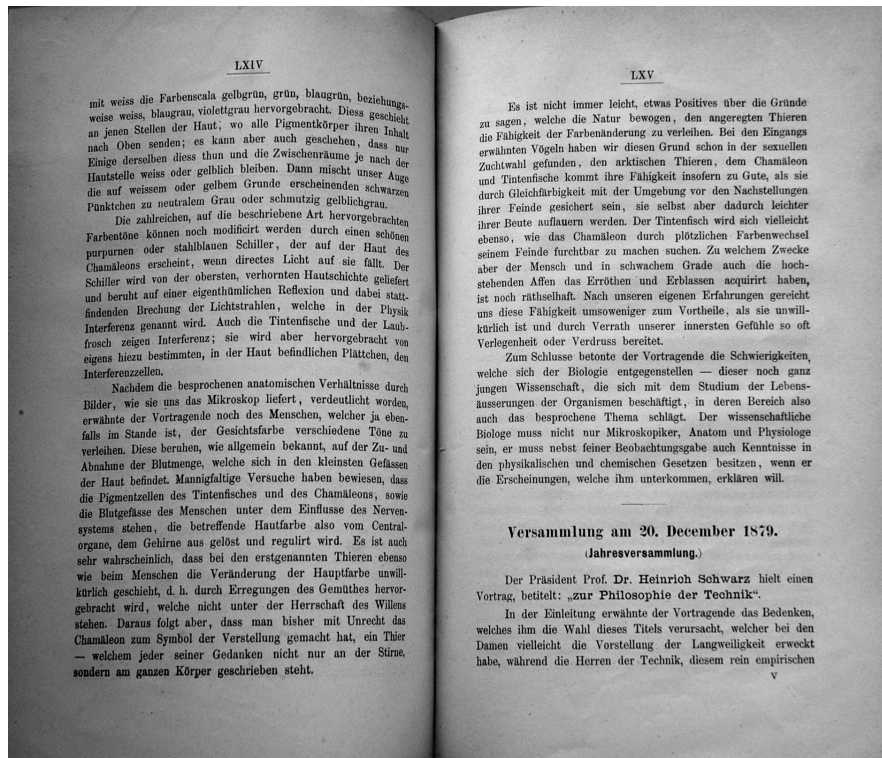
Prvo leto svojih graških študijev strojništva¹¹⁸ leta 1875/76 je Tesla opravil tudi odlična izpita pri Malyju o organski in anorganski kemiji, pri Graberju v zoologiji, pri Šubičevem sovražniku rednem profesorju botanike od leta 1869 Hubertu Leitgibu o splošni botaniki z demonstracijami in pri Josefu Bartlu o poljudnem strojništvu; blestel je tudi pri preizkusu znanja francoščine pri Plisnierju. To je bilo seveda domala dvakrat preveč. Tako ga je dekan kemijsko-tehniške fakultete (1. 10. 1874–30. 9. 1876) in rektor (1. 10. 1876–30. 9. 1877) študent Justusa Liebiga kemik Heinrich Schwarz (Karl Leonhard, * 1824; † 1890) v pismu očetu koval v zvezde po eksperimentalni, teorijski in lingvistični plati;¹¹⁹ obenem je očeta svaril pred Teslovimi prevelikimi naporji. Pri njem Tesla resda ni poslušal predavanj, zato pa je delal

¹¹⁶ Mrkić, 2004, 22; Jovanović, 2001, 48–49; Kulišić, 1936, 11; Wohinz, 2007, 172–175; Cverava, 2006, 28

¹¹⁷ Wohinz, 2007, 181–182; Cverava, 2006, 32

¹¹⁸ Marinčič, 2006, 35

¹¹⁹ Cverava, 2006, 30



Slika 4: Malo po odstranitvi Tesle s Politehnike je nekdanji graški rektor kemik Heinrich Schwarz posrečeno predaval o Filozofiji tehnike 20. 12. 1879 pred Štajerskim naravoslovnim društvom (prva stran).

izpite pri njegovem nasledniku na položaju dekana kemijsko-tehniške fakultete (1876–1878), začetniku fiziološke kemije Richardu Maly (* 1839; † 1891).

V drugem letniku je Tesla najprej hotel znova bri-ljirati, vendar so ga počitnice doma pri zaskrbljenem očetu prepričale, da je odlične izpite opravil zgolj pri Alléjevi matematiki III., Starkovi tehniški mehaniki in Pöschlovi tehniški fiziki. Starkovo analitično mehaniko je napovedal, vendar se ni oglasil na izpit,¹²¹ to bi lahko izzvalo poznejšo nejevoljo rektorja Starka. Obenem je dobro opravil izpita pri Rognerjevem skladanju števil in pri izbranih poglavjih iz politične aritmetike, kar je bil tedanji naziv za statistiko. Nameraval je spremljati tudi Pöschlove osnove teorije valov, mineralogijo in podobno Johanna Rumpfa¹²²; žal ni prišel na izpite. V tretjem študijskem letu 1877/78 je Tesla znova načrtoval številne matematične ali inženirske izpite, prav tako pa francoščino in angleščino, vendar se ni prikazal na nobenem preizkusu znanja.

Tesla je na graški univerzi verjetno srečeval prijatelja svojega srednješolskega profesorja Sekulića, izrednega profesorja meteorologije in termodinamike Simona Šubica. Morda je poznal celo Klemenčiča, ki je leta 1888 zaman skušal nadomestiti upokojenega Pöschla. Za Teslo so morale biti nadvse zanimive Klemenčičeve študentske meritve hitrosti elektromag-

Es ist nicht immer leicht, etwas Positives über die Gründe zu sagen, welche die Natur bewogen, den angeregten Thieren die Fähigkeit der Farbenänderung zu verleihen. Bei den Eingangs erwähnten Vögeln haben wir diesen Grund schon in der sexuellen Zuchtwahl gefunden, den arktischen Thieren, dem Chamäleon und Tintenfische kommt ihre Fähigkeit insofern zu Gute, als sie durch Gleichförmigkeit mit der Umgebung vor den Nachtstellungen ihrer Feinde gesichert sein, sie selbst aber dadurch leichter ihrer Beute aufzulauern werden. Der Tintenfisch wird sich vielleicht ebenso, wie das Chamäleon durch plötzlichen Farbenwechsel seinem Feinde furchtbar zu machen suchen. Zu welchem Zwecke aber der Mensch und in schwachen Grade auch die hochstehenden Affen das Erröthen und Erblässen acquirirt haben, ist noch räthselhaft. Nach unseren eigenen Erfahrungen gereicht uns diese Fähigkeit umsoweniger zum Vortheile, als sie unwillkürlich ist und durch Verrath unserer innersten Gefühle so oft Verlegenheit oder Verdruß bereitet.

Zum Schlusse betonte der Vortragende die Schwierigkeiten, welche sich der Biologie entgegenstellen — dieser noch ganz jungen Wissenschaft, die sich mit dem Studium der Lebens-ansierungen der Organismen beschäftigt, in deren Bereich also auch das besprochene Thema schlägt. Der wissenschaftliche Biologe muss nicht nur Mikroskopiker, Anatom und Physiologe sein, er muss nebst feiner Beobachtungsgabe auch Kenntnisse in den physikalischen und chemischen Gesetzen besitzen, wenn er die Erscheinungen, welche ihm unterkommen, erklären will.

Versammlung am 20. December 1879.

(Jahresversammlung.)

Der Präsident Prof. Dr. Heinrich Schwarz hielt einen Vortrag, betitelt: „zur Philosophie der Technik“.

In der Einleitung erwähnte der Vortragende das Bedenken, welches ihm die Wahl dieses Titels verursacht, welcher bei den Damen vielleicht die Vorstellung der Langweiligkeit erweckt habe, während die Herren der Technik, diesem rein empirischen

netnih valov med letoma 1871/72 in 1875/76, ki jih nadaljeval kot Boltzmannov demonstrator leta 1877/78. Ob začetku Teslovih študijev se je Ludwig Boltzmann vrnil v Gradec kot eden vodilnih evropskih strokovnjakov za novo Maxwelllovo teorijo elektromagnetizma, temeljem Teslovih izumov. Med najbolj znamenitimi prebivalci Gradca je bil v dobi Teslovih študijev leta 1871 upokojeni matematik in glavni šolski inšpektor Franc vitez Močnik. Tesla je gotovo spoznal njegov vpliv kot šolar v Liki, ne pa več kot predavatelj na nižji realki v Gospiću po pregonu iz Maribora. Graški študent Tesla je prebiral dela Williama Crookesa o sevanju v vakuumski katodni elektronki in o domnevem četrtem agregatnem stanju snovi. Tri desetletja pozneje je Tesla obiskal ostarelega Crookesa v Londonu, kjer sta se pogovarjala bolj o Williamovem odmevnem raziskovanju spiritizma kot o vakuumskih tehnikah.

Jakob Pöschl (* 1828 Dunaj; † 1907 Gradec) je bil tirolskega rodu in znan med študenti po enaki obleki, ki jo je nosil dve desetletji; podoben sloves se je prijel njegovega vrstnika z graške univerze Simona Šubica. Med letoma 1865–1867 je bil Pöschl prvi dekan strojne šole (*Maschinenbauschule*), dekan splošnih razredov 1870/71, rektor 1871/72 in dekan kemijsko-tehniške

¹²⁰ Schwarz, 1879, LXV

¹²¹ Marinčič, 2006, 36

¹²² Mitt. nat. Ver. Steier. 1882, str. XII

fakultete med letoma 1878–1888 s presledki; postal je celo cesarski svetovalec. Z izbranko Magdaleno Nömayr (* 1849) sta imela sinova: profesorja kemije in blagoznanstva ter rektorja visoke trgovske šole v Mannheimu Viktorja (* 1884; † 1948) in matematika-inženirja univerze Karlsruhe Theodora Michaela Friedricha Pöschla (* 1882; † 1955). Jakobov vnuk je bil klasični filolog Viktor Pöschl (* 1910; † 1997).¹²³

Dne 28. 2. 1870 je Pöschl predaval o »pojočem plamenu« pri Štajerskem naravoslovnem društvu. Pojav je kot »kemijsko harmoniko« opisal Bryan Higgins (* 1741; † 1818/20) leta 1777 po študiju v Leydenu pri Musschenbroekovih dedičih in pred svoji obiskom Rusije. Faraday je opazoval slojevitost plamena, ki ga je osvetljenega s sončno svetlobo projiciral kot senco na bel papir. Leta 1818 je objavil svojo prvo fizikalno razpravo »o pojočem plamenu« različnih plinov v cevki in z njo spodbudil mnoge nadaljnje raziskave. Leta 1845 je Faraday začel raziskovati »magnetne lastnosti plinov«, njegova odkritja pa je dopolnil pionir katodnih elektronk Plücker.

Diamagnetizem plamena je odkril genovski univerzitetni profesor fizike, piarist Michele Alberto Bancalari, rojen leta 1805 v Chiavariju pri Genovi. O svojem odkritju je poročal 21. 7. 1847 fizikalni skupini 9. zborovanja italijanskih naravoslovcev v razpravi o univerzalnosti magnetizma. Tri mesece pozneje je Bancalarijeve poskuse dopolnil Zantedeschi, profesor fizike in matematike na Liceju sv. Katarine v Benetkah in član tamkajšnjega inštituta. Diamagnetizem plamena je videl v Keplerjevi teoriji magnetnega Sonca, ki privlači planete, urednik nemškega prevoda Zantedeschijeve razprave Poggendorff pa ni bil za to. Zantedeschi je poslal kopijo svoje razprave Aragoju v Pariz in Faradayu v London, saj je poznal Faradayevo raziskovanje diamagnetizma. Faraday je razpravo decembra 1847 skupaj s svojimi poskusi dal v objavo Richardu Taylorju, uredniku *Phil. Mag.* Dognal je, da sta vroč zrak in plamen bolj diamagnetna od hladnega zraka in se zato od njega loči v toku proti polu magneta. Bancalarijevo odkritje je Faradaya prepričalo o temperaturni odvisnosti diamagnetizma, ki ga je opazil le pri plinih, ne pa pri trdninah in kapljevinah. Opravil je številne primerjave med diamagnetnostjo različnih plinov v odvisnosti od temperature. Faraday je po okrevanju tri leta pozneje nadaljeval raziskovanje diamagnetizma plinov pri navadnih temperaturah z meritvami v ozračju.

Plamen je privlačil tudi mladega Karla Ferdinanda Brauna, ki je med decembrom 1877 in 1878 na Univerzi v Marburgu nadaljeval Hittorfova (1869) raziskovanja

povečane prevodnosti plamena v eni smeri Geisslerjeve elektronke.

Ohranil se je Pöschlov zapis predavanj tehniške fizike iz leta 1878/79 izpod peresa njegovega asistenta elektroinženirja Josefa Schaschla († 1908/9)¹²⁴ iz slovite puškarske družine v Borovljah (Ferlach) pri Celovcu, ki je tudi sam pozneje objavljala prvovrstna dela iz elektrotehnike preplastitve kovin z uporabo galvanskega toka in še posebej o visokotlačnem dvocilindrnem parnem stroju Teslovega prijatelja Westinghousa v mesečniku hidrografskega zavoda v Puli.¹²⁵ Pomorski elektroinženir Schaschl je napravo priredil za ladje brez uporabe elektromotorjev, zato ni omenil svojega nekdanjega študenta Tesle. Julija 1888 je George Westinghouse (* 1846; † 1914) odobril in nato s pridom uporabljal Teslove ameriške patente za indukcijski motor in transformatorje. Schaschl ni bil član Štajerskega naravoslovnega društva kljub tamkajšnjim vodstvenim nalogam svojega nadrejenega Pöschla. Po Pöschlovi upokojitvi je leta 1889 delal kot asistent za elektrotehniko v Puli, 27. 10. 1890 je postal inženir drugega razreda, 1. 11. 1894 je postal inženir prvega razreda¹²⁶ in nato 1. 11. 1906 višji inženir.

Pöschl je predaval o »Uporabi elektrike« in o »Uporabi termodinamike«, ni pa mu preostalo dovolj časa za napovedano »Uporabo optike«. Bržkone je svoja raziskovanja svetlobe predstavil v predavanjih o Teoriji valov, ki jih Tesla ni obiskoval v drugem letniku.



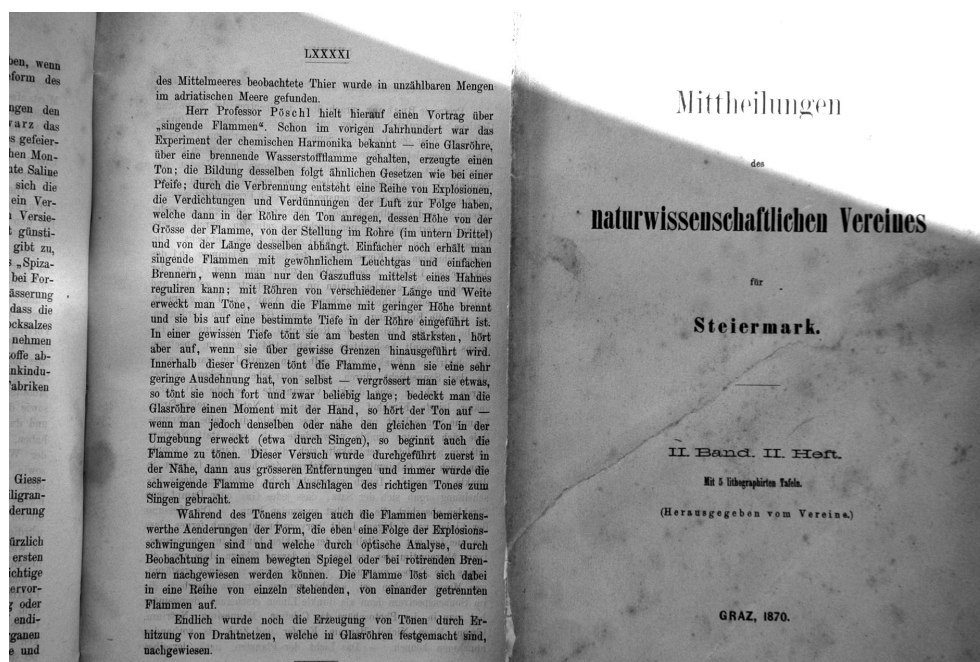
Slika 5: Portret Teslovega visokošolskega profesorja Pöschla

¹²³ www.deutsche-biographie.de/sfz96586.pdf, ogled 20. 1. 2013

¹²⁴ Pichler, 2004, 2

¹²⁵ Schaschl, 1886; Schaschl, 1893, 3

¹²⁶ *Rang- und Einteilungsliste der k. u. k. Kriegsmarine* 1892, 37, 92; *Rang- und Einteilungsliste der k. u. k. Kriegsmarine* 1908, 106



Slika 6: Pöschlova razprava o »pojočem plamenu« v zborniku Štajerskega naravoslovnega društva, katerega tajnik je Pöschl bil tisti čas

Tabela 1: Pöschlova uporaba elektrike je obsegala številna Tesli ljuba področja

Električna telegrafija
Električne ure
Elektromagnetni stroji
Galvanoplastika
Izdelava prevodnikov za strelkovce
Postopki električnega vžiganja podvodnih min

Pöschl je 25. 1. 1868 pred Štajerskim naravoslovnim društvom s poskusi ponazoril predavanje o podmorskem telegrafskem kablju na razdalji nad 2000 milj med Irsko in Newfoundlandom. Projekt Newyorčana Cyrusa Fielda se je posrečil 1. 9. 1866 s pomočjo Williama Thomsona, poznejšega lorda Kelvina z nižji-mi napetostmi od prejšnjih ponesrečenih poskusov.

Tabela 2: Sestavine Pöschlove termodinamike

Nauk o gorivih
Dinamika plinov v ceveh
Teorija tunelov in dimnikov
Štedilniki in kurišča, proizvodnja plinov
Dinamika toplote, sevanje in transmisija
Kotli in generatorji pare
Naprave za sušenje in hlajenje
Ogrevanje in zračenje hiš

Pöschl je med drugim v Teslovem razredu konec leta 1875 ali morda komaj januarja ali februarja 1877 preizkušal dokaj nov dinamo za enosmerni tok 400 A, 25 V Zénobe Grammeja in podjetnika Hippolytea

¹²⁷ Pöschl, 1870, 91

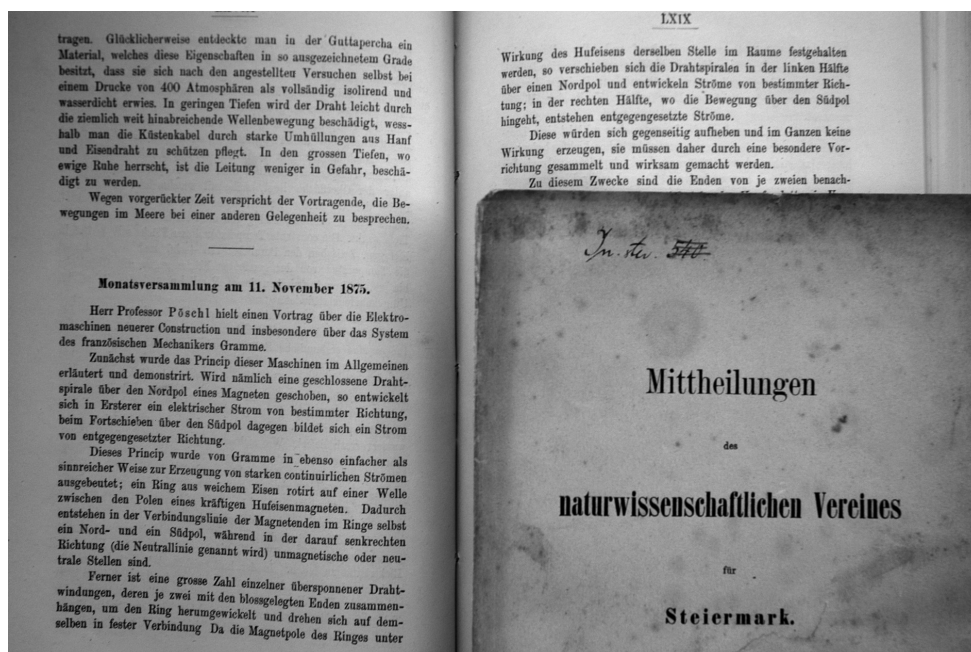
¹²⁸ Marinčič, 2006, 38; Cverava, 2006, 32; Mayer, 1996, VI/67; Mircevski, Cundev, Andonov, 2007, 20

¹²⁹ Pöschl, 1875, 70

Fontaineja (* 1833; † 1910), izumljenega leta 1873, ki so ga iz Edisonovega pariškega laboratorija poslali istega leta za razsvetlitev dunajske svetovne razstave. Pöschl je med poukom ostro zavrnil Teslove med poukom navržene novotarije o priredbi Grammejevega izuma za izmenični tok.¹²⁸ Istočasno je 11. 11. 1875 Pöschl predstavil Grammejev izum pred Štajerskim naravoslovnim društvom.

Grammejev elektromotor so preizkusili pri razsvetljavi tovarne Heilmanov v Mühlhausnu v vzhodni Frankovski na tromeji s Francijo in Švico.¹²⁹ Družinsko podjetje je razvil tekstilec Johann Heilmann (* 1771; † 1834) in nato nadaljeval njegov starejši sin (* 1796; † 1848) z izumom strojnega vezenja. Izum je prinesel denar šele Josuovemu sinu fotografu Johannu Jacquesu Heilmannu (* 1822; † 1859) in predvsem vnuku Jean-Jacquesu Heilmannu (* 1853 Mühlhausen; † 1922), francoskemu izumitelju sodobne električne lokomotive in parno-električnega avta. Pöschl je imel očitno prvovrstne mednarodne povezave ob napovedi prehoda pogonskih strojev s pare na elektromotorje. Takoj se je lotil preračunavanja prihranka glede na porabo premoga v parnem stroju, dragega vzdrževanja cink-ogljikovih galvanskih členov s kislinami ali stearinske sveče. Predvideval je pretvorbo v izmenični tok s krtačkami, ki jih je Tesla močno črtil zaradi neljubih izgub pri iskrenju.

Pöschl je napovedal distribucijo elektrike preko telegrafskih kablov, ki pa kmalu ni več pomagala. V prid Teslove poznejše Niagare je napovedal hidro-

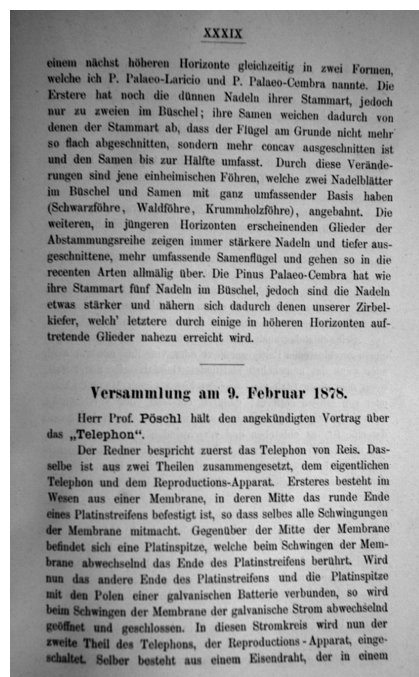


Slika 7: Pöschl o elektromotorju Grammeja, ki ga je mimogrede proglasil za Francoza.¹³³

centrale, saj se je zavedal dnevnih izgub 3000 konjskih moči ob dvigovanju zapornic v Port-à-l'Anglais pri Parizu, zgrajenih leta 1864 in popravljenih leta 1869 preko vmesnih kmetijskih porabnikov. Dvigovanje bi veliko ceneje opravili z elektromotorjem, napajanim preko tokovnega vodnika iz bližine Pariza.¹³⁰ Seveda je vedel, da je Aristilde Bergès (* 1833; † 1904) že 28. 9. 1869 postavil prvo hidrocentralo v Lanceyju 15 km severovzhodno od Grenobla za pogon papirnice.

Pöschl je v svojih predavanjih o Elektromagnetnih strojih gotovo kazal tudi Geisslerjeve ali celo Crooke-rove vakuumске elektronke. Po Pöschlovi upokojitvi in izstopu iz Štajerskega naravoslovnega društva ga je leta 1888 zamenjal dotedanji Toeplerjev in Boltzmanov asistent Andreasov nečak Albert von Ettingshausen. Očitno je bil bolj všečen kandidat od Klemenčiča, saj je Slovencem tako ali tako trda predla pri potegovanju za vodilne graške akademske položaje. Z Ettingshausnom je zapihal nov veter, tako da je ducat let za Teslo Karl Pichelmayer (* 1868; † 1914) po študiju strojništva postal Ettingshausnov asistent elektrotehnike.¹³¹ To bi seveda lahko svoj čas doletelo tudi Teslo, čeprav bi bila Evropa po svoje še manj gostoljubna do Teslovih dragih velikopoteznih nagibov. Ettingshausen je kmalu prevzel nov sodobnejši predmet Elektrotehnika, leta 1893 pa se je v nastopnem rektorskem govoru na graški Politehniku ponosno spominjal Teslovega nekdanjega šolanja v Gradcu. Ettingshausen pa je 11. 11. 1894 Štajerskemu naravo-

slovnemu društvu ob splošnem odobravanju kazal Teslove slike visokonapetostnega izmeničnega toka,¹³² kar dvakratno priča, da se je Tesla povsem uveljavil v svoji graški *Almi Mater*, žal poldrugo desetletje prepozno. Upokojeni profesor Pöschl pa nič.



Slika 8: Teslov profesor Pöschl o telefonih ob koncu Teslovih študijev pri njem 9. 2. 1879; prva stran predavanja pred Štajerskim naravoslovnim društvom.¹³⁴

¹³⁰ Langlais (Pöschl, 1875, 71)

¹³¹ Cverava, 2006, 28; Flamm, 1995, 101, 290–291

¹³² Ettingshausen, 1895, LI

¹³³ Pöschl, 1875, 68

¹³⁴ Pöschl, 1879, 39

Pöschl ni objavljala veliko, razen v Zborniku Štajerskega naravoslovnega društva, medtem ko je Moritz Allé publiciral pri Dunajski akademiji in pri Praški matematični družbi. Moritz Allé je doktoriral na univerzi v Kielu leta 1860, potem ko so mu študentska leta stekla na Dunaju leta 1854. Njegove prve službe so bile na astronomskih observatorijih: med letoma 1856–1859 na Dunaju, 1859–1862 v Krakovu in 1862/63 v Pragi. Matematično katedro na graški Politehniki je dobil leta 1867, rektor pa je postal leta 1875/76 ravno ob Teslovem vpisu. Leta 1882 je bil profesor matematike na nemški univerzi v Pragi, leta 1896 pa je predsedal na dunajsko Politehniko.

Drugi Teslov učitelj, Johann Baptist Rogner (* 1823; † 1886), je končal dunajsko Politehniko leta 1845; tam je postal asistent matematike, nato pa je poučeval na graški višji realki. Leta 1851 se mu je nasmehnila sreča kot prvemu docentu za višjo matematiko na graški Politehniki; leta 1866 se je povzpел na katedro osnov matematike, leta 1874 pa je postal profesor višje matematike, tik preden se je Tesla vpisal. Bil je tudi direktor izpitne komisije za profesorje graške realke in trgovske šole.

Leta 1869 je Rogner pri Štajerskem naravoslovnem društvu, katerega član je bil kritiziral kalkulator na zobata kolesa tovarnarja Petra Hlubeka iz Villingena v deželi Baden,¹³⁵ podobnem izumu, ki je 2. 10. 1860 dobil ameriški patent št. 30264; leta 1875 je brčkone isti P. Hlubek na Dunaju patentiral batno črpalko.¹³⁶ Rogner je objavljala veliko matematike, vključno s



Slika 9: Teslov graški profesor strojništva Josef Bartl

¹³⁵ Mitt. nat. Ver. Steier. 1882, str. XII

¹³⁶ Flamm, 1995, 301; Rogner, 1869, XLIII; rechnerlexikon.de/fr/artikel/Patent:US30264, www2.landesarchiv-bw.de/ofs21/olf/struktur.php?bestand=17506&sprungId=329261&letzttesLimit=suchen, ogleda 3. 3. 2013

¹³⁷ Mrkić, 2004, 32; Kulišić, 1936, 9; Kulišić, *Politika* 19. 7. 1931; Cverava, 2006, 34

Keplerjevo biografijo; Kepler je bil seveda graški as in Tesla je podedoval precejšen del njegovih mističnih vizij.

Josef Bartl (* 1850 Friesach severno od Celovca; † 1925, Gradec) je med letoma 1866–1870 študiral na graški Politehniki, leta 1875 pa je začel tam poučevati kot adjunkt. Habilitiral se je komaj leta 1878, ko je Tesla že zapustil Gradec. Med letoma 1886–1890 je Bartl predaval na Politehniki v Brnu, nato pa se je vrnil v Gradec in tam leta 1900 objavil *Die Berechnung der Zentrifugal-Regulatoren*.

Franz Xaver Stark von Rungberg (* 1840 Praga; † 1914) je študiral na domači praški Politehniki med letoma 1858–1862. Leta 1869/70 je bil konstruktor strojništva pri profesorju Gustavu Johannu Leopoldu Schmidtu (* 1826; † 1883), ki je v svojih razpravah o vakuumu skupaj z Ernstom Machom nasprotoval kinetični teoriji. Stark je zasedal katedro za mehaniko, strojništvo in arhitekturo na graški Politehniki med letoma 1872–1886. Bil je dekan Strojniške šole od 1. oktobra 1874 do 30. septembra 1876, nato pa rektor Politehnike v Gradcu od 1. oktobra 1877 do 30. septembra 1878. Torej je bil prav Stark tisti, ki je odstranil Teslo z graških študijev; še preden se je dobro zavedel v nebo vpijočega greha, se je leta 1886 vrnil v domačo zlato Prago na nemško Tehniško visoko šolo (Politehniko). Med Teslovim graškim študijem je Stark zaradi preobilice pisarniškega dela objavil le svoj govor pred graškim Politehničnim klubom o novem preizkušanju trdnosti in Oba Starkova nastopa si je brčkone ogledal tudi Tesla.

V Gradcu je Tesla sprva stanoval v visokem pritličju (Hochparterre) na Attemgasse št. 8 leta 1875/76 skupaj s študentom zgodovine in geografije Kosto Kulišićem, poznejšim sarajevskim gimnazijskim profesorjem. Pozneje se je Tesla zaradi gmotnih »škripcev« selil na Hans-Sach Gasse, Jahngasse 5 in na Heinrichstrasse 11; dve med njegovimi študentskimi domovanji še obstajata, drugi dve stavbi pa sta zamenjali novejši.¹³⁷

5 TESLA V MARIBORU

Mariborčan Jožef Murko je s posredovanjem študenta prava, poznejšega vojaškega duhovnika Milana Panajotovića († pred 1936), spravil Teslo v Gradcu na boben z oderuškim posojanjem denarja z obrestmi nad 9 %, kot jih je bil deležen Teslov sostanovalec Kosta Kulišić. Leta 1868 so bili namreč v Habsburškem cesarstvu odpravljeni zakoni proti oderuštvu. Jožef Murko je šival (*Schneidermeister, Kleidermacher*) na

Bischofplatz št. 2 leta 1871, v letih 1877–1886 pa je podjetje preselil na Bürgergasse št. 18 v središču Gradca. Med letoma 1882–1888 in pozneje je drugi Jakob Murko šival na Maifredygasse št. 10.¹³⁸

Tesla je praznih žepov moral zapustiti Gradec; ni imel dovolj pod palcem za nadaljevanje študija, obenem pa se je skušal izogniti vojaški obveznosti. Neljuba suknja mu je dodatno grozila zaradi prejemanja štipendije Vojne krajine po odloku z dne 22. 9. 1876, ki mu je verjetno botroval mož Teslove tete polkovnik Dane Branković, pri katerem je Tesla živel med študijem v Rakovcu. Zagotovili so mu triletno štipendiranje v zneskih po 420 forintov v polovičnih obrokih na koncu vsakega semestra po predložitvi potrjena o opravljenih izpitih; čer je bila obveznost kasnejšega osemletnega vojaškega službovanja.¹³⁹ Tesla je bil kot krajišnik tako ali tako že od zibke dalje razporejen v ustrezen polk, čeprav so dunajske oblasti tisti čas ukinjale zastarelo Vojno krajino, ki je postajala odvečno breme po vpeljavitvi splošne vojaške obveznosti in napredku vojskovanja. Seveda je izguba uniformiranih služb kmalu sprožila množično izseljevanje s trebuhom za kruhom iz Teslovih domačih krajev.

Da bi se izognil neljubi vojaščini, je Tesla dvakrat zaman zaprosil Matico Srbsko za njeno štipendijo, in sicer 14. 10. 1876 kot absolvent prvega letnika kemijsko-tehnološke fakultete in znova novembra 1878.¹⁴⁰ Prošnji sta bili brez haska, ker je štipendijo pač že imel, poleg tega pa je bil popov sin in ne kakšen siromak. Prav verjetno je Tesla nakazilo štipendije Vojne krajine za svoj tretji letnik zakartal in tako ni imel s čim plačati šolnine za tretji letnik Politehnike.

V pismu 12. 3. 1878 je rektor graške Politehnike Stark obvestil vojaške oblasti v Zagrebu, da je bil Nikola Tesla izločen iz seznama študentov. V odgovoru so 31. 3. 1878 Zagrebčani vprašali rektorja, do katerega dne je bila plačana Teslova štipendija. Ali Tesla res leži bolan v bolnišnici, kot je prekanjeno trdil Teslov oče? Rektor je 15. 4. 1878 potrdil štipendiranje Tesle do januarja 1878; ni pa verjel, da bi bil nebodigatreba v bolnici ali sploh kje okoli v Gradcu. Dne 4. 5. 1878 so vojaške oblasti v Zagrebu naročile rektorju, naj ustavi plačevanje šolnine in obvesti Teslo o tej odločitvi.¹⁴¹

Spomladi ali najpozneje konec leta 1878 je Tesla pobral šila in kopita iz Gradca. Dotacije so mu ukinili, ker ni opravil nobenih izpitov leta 1877/78; ni več imel štipendije in oče mu je prav tako nehal pošiljati

podporo. Nikakor ni mogel poplačati dolgov zoprnemu Murku. Tesla je bil potrjen in nekateri znanci so se bali, da je samomorilsko zaplaval v Muri. Iskanje Tesle so naložili Nikolovemu sorodniku, graškemu študentu prava Gjurju Banjaninu; vendar bi laže našel iglo v kupu sena. Najpozneje novembra 1878 je Tesla na skrivaj obrnil noge proti jugu; z novo železnico je pristal v urno naraščajočem drugem največjem štajerskem mestu svojih dni – Mariboru.¹⁴²

Maribor je Tesli gotovo opisal nekaj mesecev mlajši sin mariborskega regimentnega zdravnika sošolec **Ferdinand Wittenbauer** (* 18. 2. 1857; † 1922 Gradec). Zgodaj osirotelemu je stric major omogočil blesteči študij na graški realki, ki jo je končal že leta 1872. Pet let študija je kronal z diplomom na inženirskem oddelku Politehnike leta 1879. Leta 1883/1884 je obiskal Helmholtza in Kirchhoffa, leta 1886 pa je prevzel Starkovo katedro za čisto in tehniško mehaniko ter teorijo strojništva na graški Politehniki, kjer je postal začetnik grafičnih metod kinematske geometrije in rektor graške Politehnike 1911/12, obenem pa lirik in uspešen dramatik študentskega življenja s konflikti med narodnostno obarvanimi študentskimi organizacijami z razmeroma trdega nemškega nacionalnega stališča.¹⁴³ Leta 1901 je objavil raziskavo turbin in črpalk z elementi vakuumskih tehnik.

Mariborske šole Teslovih dni so znale biti privlačne za mladega Teslo, čeprav se za poučevanja v njih ni potegoval; seveda bi mu zelo prav prišli odlično opremljeni učiteljski in dijaški knjižnici mariborske realke, ki sta ob začetku prve svetovne vojne šteli domala 10 000 zvezkov, vključno z vodilnimi revijami tedanje vakuumске in elektrotehnike iz daril Essla, Jonascha in Ferlinza.

Realkina knjižnica Teslovih dni je med nad domala dvesto matematično-fizikalno-kemijskimi deli ponujala opisno geometrijo Jules-Antoine-René de la Gournerie (* 1814; † 1883), *Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht*, *Zeitschrift für analytische Chemie*, *Chemisches Centralblatt*, *Naturwissenschaftliche Wochenschrift*, *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht*, *Österreichische Chemische Zeitung* in za Teslo posebno pomemben *Zeitschrift für Elektrotechnik* ter *Internationale Elektronische Zeitschrift*; niso manjkali niti opisi uporabe elektrike, električne razsvetljave ali telegrafa. Dijakom realke so ponujali *Geschichte der Elektrizität* Edmunda Hoppeja (* 1854), ki je izšla v

¹³⁸ Pančur, 2007, 182; Pištalo, 2009, 173; Pištalo, 2012, 194; Cverava, 2006, 37; Kulišić, 1936, 15; Jovanović, 2001, 50; *Grazer Geschäfts- und Adreß-Kalender*, 1871; 1877; 1879, 124, 221; 1881, 129, 252; 1882, 132, 254; 1883, 133, 256; 1884, 138, 266; 1885, 146, 265; 1886, 147, 284; 1887, 148, 285; 1888, 146, 284

¹³⁹ Marinčić, 2006, 40; Cverava, 2006, 29; Archiv, Technische Universität Graz

¹⁴⁰ Cverava, 2006, 36–38

¹⁴¹ Pichler, 2004, 4; Richter, 2007, 338

¹⁴² Mrkić, 2004, 34–35; Jovanović, 2001, 51

¹⁴³ Hartman, 2001, 16; Wittenbauer 1903, *Filia hospitalis*; Wittenbauer, 1905, *Der Privatdozent*

Leipzigu leta 1884. Podobno, čeprav bolj humanistično opremljeni, sta bili še večji gimnazijski knjižnici z Laplaceom, Lagrangeom, Jurijem Vegom, Crellom in Duhamelom; seveda pa so šolske knjižnice ponujale svoje zaklade zgolj ljudem, povezanim z realko oziroma gimnazijo.

Strastni bralec Slovan Tesla je bržkone obiskoval (*Narodno slovensko čitalnico* z bralnico časopisja in knjižnico v Pivnici pri moki Marije Schramlove, ustanovljeno leta 1861, ki je imela leta 1881 84 članov, skrbno izbranih med lokalnimi veljaki. Tam so pozneje lahko prebirali revije *Srbski dnevnik* (*Srbski dnevnik. List za politiku, prosvetu, privredu, radinost i trgovinu*) lastnika barona Feodora Nikolića (* 1836; † 1903) in urednika Aleksandra Stojačkovića (1888), *Hrvatska vila* (Sušak/Zagreb, 1882–1885) ali *Slovan* (Ljubljana 1884–1887). Komercialna izposojevalna knjižnica mariborskih nemško usmerjenih tiskarjev Edvarda Janschitzza (* 18. 9. 1827 Maribor; † 23. 6. 1882 Maribor) in Leopolda Kralika, ki se je leta 1885 poročil z Edvardovo osirotelo hčerko Ano Janschitz, se je ponašala s 5000 zvezki; žal pa ni bila primerna za Teslov preplitvi žep. Privlačno je bilo tudi sicer nemško nastrojeno bralno in družabno društvo

Theater- und Casino-Verein. Izposojevalna knjižnica Železniške družbe je že v Teslovi mariborski dobi ponujala poldrugi tisoč knjig, žal le svojim uslužbenecem proti mesečni članarini. Gospa Dirnböck iz Gradca, ki jo je Tesla morda poznal že od tam, je v Mariboru leta 1869 odprla podružnico svoje izposojevalnice knjig. Po Teslovem odhodu sta se uveljavili knjižnici knjigararja Maxa Isslina (Islin) in podružnica graškega knjigararja Josefa Kienreicha. Tesla je verjetno sledil preprirom med nemško večino, mestnimi oblastniki in Slovenci, ki se je raznel ob odkritju spornega spomenika škofu Martinu Slomšku s slovenskim zapisom v mariborski stolnici 24. 6. 1878.¹⁴⁴

Gimnazijski profesor Vrečko se je po študentskih meritvah difuzije plinov v vakuumu ubadal predvsem z matematiko in Vegovim življenjepisom; za pomočnika si je izbral svojega dijaka gimnazijca Karla Heiderja (* 28. 4. 1856; † 1935), pozneje slovitega zoologa. Vrečkov sodelavec Šantel je pozneje postal Boltzmannov svak. Tik pred Teslovim prihodom so Teslov nekaj tednov starejši vrstnik Heider in sošolci doma navdušeno izdelovali galvanske baterije v poznem novembru 1872.¹⁴⁵ Kar dva mariborska profesorja

Tabela 3: Razmeroma ugledni fiziki in matematiki, ki so poučevali v Mariboru Teslovih dni

Andrej Vrečko (Wretschko, * 1846)	1871–1873	Gimnazija f
Anton Šantel (* 13. 1. 1845 Pesnica na Štajerskem; † 28. 4. 1920 Krško)	1869, 23. 10. 1870–1871 ¹⁴⁶	Gimnazija m, f
Josef Essl (* 1830 Berneck (Pernek); † 19. 4. 1874 Maribor)	14. 11. 1856–1870 gimnazija m , 20. 10. 1870–1874 ravnatelj realke	Realka m ¹⁴⁷
Anton Franz Reibenschuh ¹⁴⁸	20. 10. 1870/71–	Realka f
Josef Jonasch ¹⁴⁹	20. 10. 1870–1879– prej na pravoslavni višji realki v Černivcih	Realka m , geometrijsko risanje, lepomis, nemščina, knjižničar
Josef Nawratil ¹⁵⁰	1871– gimnazija m , geografija, naravoslovje; 1874 ravnatelj realke	Realka m
Robert Spiller	–1877–1892–	Realka f
Gaston vitez Britto ¹⁵¹	11. 9. 1874–31. 5. 1900	Realka m, f
Gustav Knobloch ¹⁵²	11. 9. 1874–1907	Realka m , opisna geometrija, knjižničar, ravnatelj
Josef Frank ¹⁵³	1878–1895	Realka f , ravnatelj in vodja profesorske knjižnice
Luka Lavtar	1875–1915	Učiteljsišče m
Heinrich vitez Jettmar (* 1849 Lvov)	1879–1883	Gimnazija f
Franz Horak	–1882–	Gimnazija f
Jakob Hirschler (* 1852 Bratislava) ¹⁵⁴	1880–1897	Gimnazija f, m
Karl Zahlbrucker (* 1858 Bratislava; † 7. 11. 1931 Maribor)	1897–	Gimnazija f, m

¹⁴⁴ Hartman, 2001, 500–501, 518, 523–525, 531, 539, 542, 569, 597, 647–648, 768–769, 781, 798, 800–801, 803–804, 806, 808

¹⁴⁵ Hartman, 1991, 697–698; Golob, 2012, 96

¹⁴⁶ Anton Šantel, 2006, 457

¹⁴⁷ *Marburger Zeitung*, 22. 4. 1874, 13/48: 1; Šantel, 2006, 157, 159; Vovko, 2001, 40

¹⁴⁸ *Tagesbote für Untersteiermark Organ der liberalen Partei*, 20. 10. 1870 9/159: 2

¹⁴⁹ Hartman, 2001, 800

¹⁵⁰ *Zeit. Gymn.* 1871, 22: 639

¹⁵¹ *Zeit. Gymn.* 1874, 25: 587, 637; *Slovenec*, 31. 5. 1900 28/124: 4

¹⁵² Hartman, 2001, 500–501, 518, 523–525, 531, 539, 542, 569, 597, 647–648, 768–769, 781, 798

¹⁵³ Hartman, 1985, 144; Hartman, 2001, 800; *Zeit. Gymn.* 1870, 21: 488; *Verordnungsblatt für den Dienstbereich des K. K. Ministeriums für Kultus und Unterricht. Jahrgang 1869*. Wien: Staatsdruckerei, 140, 154; www.pgmb.si/zgodovina-prve-gimnazije-maribor/, ogled 28. 2. 2013

¹⁵⁴ *Slovenski gospodar*, 17. 2. 1881 15/7, 27. 7. 1882 16/20; Bojc, 1971, 115–118

sta v času Teslovega tamkajšnjega veseljačenja objavila razmeroma odmevni razpravi o optiki in elektriki: Jettmar je v času Teslovega obiska pisal o oblikovanju valov po odboju in lomu svetlobe na ravnih ploskvah, pozneje pa je kot dunajski profesor objavljaval v vrhunskih matematičnih revijah.

Poznejši Nagyev naslednik na položaju predsednika mariborskega filharmoničnega društva Spiller je leta 1877 razmišljal o vplivih dognanj raziskovalcev galvanske elektrike na teorijo kemije, ducat let pozneje pa je kemijsko analiziral vire mariborske pitne vode. Spillerjev tajnik in pozneje podpredsednik filharmoničnega društva¹⁵⁵ Britto je pisal o skladnosti in mehaniki, Lavtar pa je v Mariboru objavljaval predvsem o poučevanju. Slovenskim dijakom nekoliko manj naklonjeni Žid Hirschler je prišel v Maribor takoj po Teslovem odhodu, ducat let pozneje pa je v Izvestjih objavil razpravo s seznamom eksperimentalnih metod za določevanje lastnosti molekulskih veličin na osnovah kinetične teorije. Hirschlerjeva razprava je imela seveda neprimerno jasnejšo fizikalno vsebino od Lavtarjevega zgodnjega dela, kritiziral pa je celo nekatere stare Robidove zamisli.

Hirschlerja je zamenjal starejši brat ravnatelja botaničnega oddelka dunajskega naravoslovnega muzeja Aleksandra Zahlbruckerja (* 1860; † 8. 5. 1938), ki je v prvovrstno opremljenem gimnazijskem laboratoriju dijakom kazal tudi poskuse s Teslovimi žarki,¹⁵⁶ bržkone elektromagnetnimi. Pri poskusih mu je pomagal dr. Adolf Pečovnik (* 25. 5. 1883 Sv. Lenart) ko je z doktoratom 23. 11. 1906 kronal študij matematike, fizike in filozofije na dunajski univerzi.¹⁵⁷ Pozneje je bil prosvetni inšpektor nekdanje mariborske oblasti in od 2. polletja 1939/40 ravnatelj Bežigradske gimnazije.

Mineralog-kemik Anton Franz Reibenschuh je bil pred prihodom na novo Višjo realko v Mariboru asistent na Tehniški visoki šoli v Gradcu. Leta 1875 je prevzel profesuro na Višji realki v Gradcu in delal v kemijskem laboratoriju Teslovega profesorja Richarda Malyja,¹⁵⁸ dokler ni postal direktor graške Višje realke pred letom 1896. Leta 1868 je objavil raziskavo jame Pekel pri Žalcu (*Sachsenfeld*), ki jo je primerjal kar s Postojnsko jamo.¹⁵⁹ Dne 20. 1. 1877 je pred Štajerskim naravoslovnim društvom s poskusi razložil teorijo ognja po mislih Edwarda Franklanda (* 1825; † 1899), Davyjevi varnostni svetilki in K. Knappovih (1870)

poskusih s plini, dopolnjenimi po Karlu Heumannu (* 1850; † 1894).¹⁶⁰

Tesla je po praških študijih v Budimpešti delal za lokalno telefonsko družbo in med drugim postavil prvi telefon v podjetje Ganz & Co. (*Ganz vällalatok*).¹⁶¹ Se je vrli Nikola morda tudi v Mariboru ukvarjal s telefoni leta 1878/79, ko je bila telefonija na pohodu tudi po slovenskih deželah? Maribor je dobil večjo telegrafsko postajo leta 1847 za državne in vojaške namene; javna uporaba telegrafa je bila Mariborčanom na voljo po letu 1850. Dne 10. 12. 1877 so brez večjega uspeha poskušali telefonirati med poglavitnimi telegrafskimi postajami v Gradcu, Celovcu in Mariboru,¹⁶² čeprav so poročali o prvem poskusu uporabe telefona na medkrajevni zvezi odseka Gradec–Maribor preko obstoječih telegrafskih vodov. Graško telegrafsko ravnateljstvo je telefona v Gradcu in Mariboru povežalo s telegrafsko žico. Kar koli so izgovorili ali zaigrali na eni strani, se je jasno slišalo na drugi; Mariborčani so lahko sledili celo pogovorom med Gradcem in Celovcem, ko so celovski aparat priključili na zvezo Gradec–Maribor.¹⁶³

Dne 14. 1. 1882 je ljubljanski urar in elektromehanic Josip Geba po Siemensovem sistemu s trobento napeljal telefon med požarno opazovalnico na stolpu ljubljanskega gradu in prostori ljubljanskega prostovoljnega gasilskega društva; seveda je uporabil telegrafsko žico. Ta linija naj bi se uporabljala za hitrejše in učinkovitejše ukrepanje ob požarih.

»Preteklo nedeljo dopoldne priredil je v poslopji velike realke tukajšnji urar in elektromehanic, g. Josip Geba, poskušnjo s telefonom, ki ima po zistemu Siemensovem trobento za klicanje. Poskušnji, ki se je prav dobro obnesla, so prisostvovali mnogi veščaki (direktor tehničnega društva profesor Emil Ziakovski, gimnazijski profesor fizike Andrej Senekovič) in nekaj družega občinstva. Za poskušnjo je bil narejen 35 metrov dolg vod a vanj vložen svitek s 40000 metrov dolgo izolirano žico (drat), tako da je vsa daljava znašala 40 kilometrov. Pogovarjalo se je po telefonu in brali so se časniki; vse je bilo jako dobro umevno. Potem se je poskusilo telefonovati glasben komad orgljic, kar se je tudi posrečilo popolnem. Slednjič provela se je poskušnja s Hughesovim¹⁶⁴ mikrofonom in slišalo se je s pomočjo tega aparata na daljavo 4070 metrov popolnem natanko tikanje žepne

¹⁵⁵ Jettmar, 1879, 3–26; Spiller, 1877, 3–28; Spiller, 1889, 8; Mlakar, 1998, 8–9; Hartman, 2007, 90; Hartman, 2009, 185, 193–194

¹⁵⁶ Bojc, 1971, 145

¹⁵⁷ *Narodni list: glasilo Narodne stranke za Štajersko* (Celje), 23. 11. 1906, 1/5

¹⁵⁸ Reibenschuh, 1883, 388

¹⁵⁹ Reibenschuh, 1868, 76

¹⁶⁰ Reibenschuh, 1878, XXVII, XXXVI

¹⁶¹ Kulišić, 1936, 17

¹⁶² Studen, 2010, 50–51; Rozman, 1979, 19; Leskovec, 1998, 121

¹⁶³ Sokol, 1981, 174; *Narodne novine*, Zagreb, 20. 12. 1877 številka 291

¹⁶⁴ O pišočem telegrafu Davida Edwarda Hughesa (* 1831 London; † 1900) je Pöschl dne 27. 4. 1867 poročal Štajerskemu naravoslovnemu društvu ob risanju in preizkušanju telegramov (Pöschl, 1868, XXXI; Šubic, 1875, 31–35)

ure. Želeti bi bilo, da se ta praktična iznajdba tudi v našem mestu razširi. Dozdaj je uvedena menda samo v livarnah g. Samasse na Dolenjski cesti. Albert Samassa je napeljal 140 m dolgo telefonsko linijo med svojim uradom v vili nad Karlovško cesto in tovarno. Za gasilna društva, fabrike itd. so telefonske naprave velike vrednosti. Telefoni se dobe pri imenovanem tukajšnjem urarji in elektromehaniku g. Josipu Gebi, kateri prevzame ob enem postavljanje in izvajanje telefonov. Tudi preskrbi telefonske štacijone z električnim zvoncem za klicanje, kar je posebno važno za gasilna društva, ker se mora signal daleč slišati.«¹⁶⁵

Geba je uporabil dva Siemensova telefona z zvočnima odmevnikoma: dr. Böttherjevega in Bellovega. Obenem je uporabil dva pretvornika: mikrofonski dajalnik Emila Berlinerja (* 1851; † 1929) iz Bellovega podjetja v Bostonu in slušni aparat Siemensovega telefona. Denar je služil tako, da je za 50 kr po osebi predvajal glasbo iz teatra, med drugim opero Trubadur, pariške in dunajske predstave.¹⁶⁶ Na Židovski stezi št. 3 je prijavil urarsko obrt leta 1877; bil je član ljubljanskega Sokola in tesno povezan s praškim Sokolom. V časopisnem oglasu leta 1883 se je predstavil z delavnico v Slonovi ulici številka 11, kjer je prodajal »zlate in srebrne žepne ure, stenske in nihalne ure [...] francoske in ameriške budilke [...] in švicarske igralne mehanizme«.¹⁶⁷

Vendar strokovnjaka Gebove ravni v Teslovem času bržkone še ni bilo med mariborskimi Teslovimi delodajalci. Leta 1892 je bila zgrajena najdaljša evropska telefonska zveza Dunaj–Gradec–Maribor–Celje–Ljubljana–Trst ob trasi južne železniške proge, ki je začela delo 1. 10. 1892. Povezava je bila direktna, kar je pomenilo, da niso bili vsi kraji ob trasi priključeni nanjo; med Gradcem in Trstom ni nobeno mesto dobilo telefonske zveze. Ta linija je bila v ponos avstrijski državi, saj je bila na 505 kilometrih najdaljša telefonska povezava v Evropi.¹⁶⁸

Tesla je že pri Pöschlu v Gradcu spoznal telefon Alexandra Grahama Bella. Pöschl je o telefonih ob koncu Teslovih študijev predaval pred Štajerskim naravoslovnim društvom 9. 2. 1879. Najprej je predstavil telefon Philippa Reisa (1834; † 1874) iz leta 1861, ki pa se še ni dovolj prijel, da ga Pöschl ne bi postavil v narekovaj. Nato se je lotil indukcijskega telefona Grahama Bella in ga poslušalcem predstavil z

jasnimi poskusi; predavanje je končal z zelo primernimi poskusi z dvema paroma telefonov.¹⁶⁹ Seveda si lahko mislimo, da je podobne umetelne poskuse pokazal tudi pred navdušenim Teslovim razredom, saj je leta 1875 pred Bellovim patentom Simon Šubic še krepko dvomil v prihodnost novotarije: »Telefon ne more drugega, kot ponavljati glasovni red ali ritem, ter ne more telegrafovati niti petja niti godbe.«¹⁷⁰

Maribor Teslovih dni je bil tesno povezan s Štajerskim naravoslovnim društvom *Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark*, ustanovljenim 4. 4. 1862 v Gradcu,¹⁷¹ nato je izstopil zaradi varčnosti in sovražnosti kolega kemika Leopolda von Pebala (* 1826; † 1887). Leta 1871 je imelo Društvo 509 rednih in 20 dopisnih članov. Med dopisnimi člani sta bila od leta 1870 do smrti tudi Karl Dežman in fizik Johann Prettner (* 1812; † 1875). Prettner je bil direktor tovarne v Celovcu, obenem pa raziskovalec koroškega podnebja, o katerem je pisal tudi v poročilih društva.¹⁷²

Med letoma 1867–1870 je bil Šubic redni član društva; med rednimi člani je bil po letu 1872 tudi slovenski poljudnoznanstveni pisec Vinko Borštner, profesor fizike v Celovcu in pozneje v Ljubljani Plemljevi učitelj. Med rednimi člani so bili Šubičevi sodelavci na fizikalni katedri univerze v Gradcu: Toepler od leta 1869, Boltzmann od leta 1871 s prekinitvijo med letoma 1874–1876 in Albert von Ettingshausen (* 1850; † 1932), nečak slovitega dunajskega profesorja, ki je postal član vodstva leta 1877. Dne 27. 5. 1871 je Toepler postal podpredsednik, leta 1874 pa je bil podpredsednik skupaj s Pöschlom; po odhodu iz Gradca leta 1880 je postal častni član društva. Leta 1880 so za podpredsednika društva postavili Boltzmann. Pöschl je bil najprej tajnik društva, od leta 1875 član uprave, po upokojitvi pa se je iz društva izpisal.

Delo društva so podpirali samo redni člani z letnimi prispevki po 2 fl. Sestanki društva z znanstvenimi predavanji in poskusi so bili vsak mesec s prekinitvami med poletnimi počitnicami. Izdajali so letna poročila z znanstvenimi razpravami *Mittheilungen der naturwissenschaftlichen Vereines*, ki so po letu 1874 izhajala z enoletno zamudo. Poročila so vsebovala znanstvene razprave, povzetke znanstvenih predavanj na sestankih društva, seznam članstva in revij, ki so jih

¹⁶⁵ Lazarević, 1987, 97; *Slovenski Narod*, št. 16, 20. 1. 1882; *Slovenski narod*, 1. 10. 1881, letnik 14, številka 223; *Laibacher Zeitung* 22. 9. 1881 in 16. 3. 1882; *Laibacher Wochenblatt* 28. 2. 1882; Kuret, 2001

¹⁶⁶ März 1882 zuerst die Operette *Der lustige Krieg* von Strauß sowie Rossinis *Barbier von Sevilla*

¹⁶⁷ SL_LJU, Prosti obrti, Cod. XX-, Nr. 45; *Laibacher Zeitung* 1883. št. 154. str. 1344; Bučić, 1990, 116–127

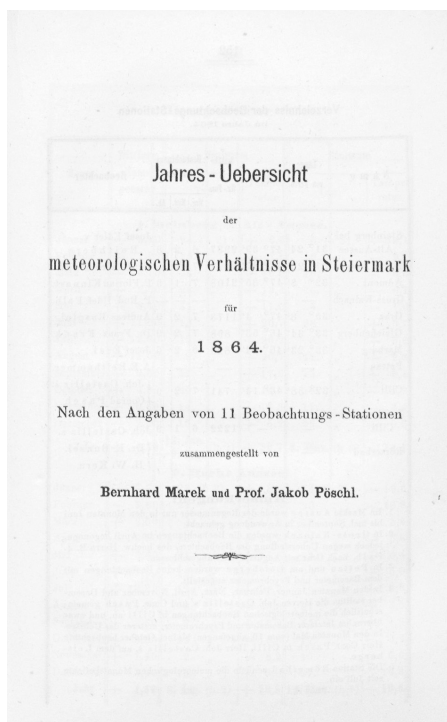
¹⁶⁸ Lazarević, 1987, 97–100; Sokol, 1981, 75, 81, 114

¹⁶⁹ Pöschl, 1879, 41

¹⁷⁰ Šubic, 1875, 36–37

¹⁷¹ O zgodovini društva je poročal Ferdinand Graf v *Mitt. nat. Ver. Steier.* 1875, str. I–XV. O utemeljitvi društva glej str. II; *Mitt. nat. Ver. Steier.* 1870, LVIII.

¹⁷² *Mitt. nat. Ver. Steier.* 1873, str. 1–15



Slika 10: Naslovna stran Marekovega in Pöschlovega poročila za leto 1864.¹⁷⁸

dobivali z zamenjavo od drugih društev. Po letu 1871 so med drugim dobivali Rad JAZU iz Zagreba, niso pa dobivali izvestij Kranjskega muzejskega društva.

Večina znanstvenih razprav, objavljenih v Izvestjah Štajerskega naravoslovnega društva, je obravnavala biologijo. Do leta 1875 so objavili tudi dve fizikalni razpravi graških univerzitetnih profesorjev Boltzmann in astrofizika Karla Friesacha (* 1821; † 1891): eno astronomsko, osem meteoroloških in devet matematičnih razprav.¹⁷³ Na koncu Izvestij so radi objavljali meteorološka poročila, podobno kot Izvestje Kranjskega muzejskega društva.

Teslov profesor Pöschl se je ukvarjal z meteorološkimi opazovanji skupaj z graškim inženirjem Marekom in je o rezultatih enajstih oziroma desetih postaj objavljaj pri Štajerskem naravoslovnemu društvu leta 1865 in 1867. Poročali so mu Jožef Essl iz Maribora od 1. 6. 1863, Anton Emil Reithammer s Ptuja, Ivan Kastelic z Lisce (Leisberg) pri Celju in iz Celja ob pomoči Konrada Pascha z barometrijskimi branji učitelja tehnike Eulogiusa Dirmhirna (* 1823 Schärding; † 1887); pri tem na Lisci in na Ptuju niso uporabljali barometra in psihrometra. Nekdanji benediktinec Dirmhirn je študiral tehniko na Dunaju, po Pomladi

¹⁷³ Mitt. nat. Ver. Steier. 1875, XV

¹⁷⁴ Deutsche Wacht 25. 8. 1887, 12/68: 4

¹⁷⁵ Mitt. nat. Ver. Steier. 1863, 5–6, 43; 1864, 27, 41, 174; 1868, 13, 16

¹⁷⁶ Reithammer, 1867, 76–80

¹⁷⁷ Marek, Pöschl, 1867, 124, 149–150

¹⁷⁸ Marek, Pöschl, 1865, 151

¹⁷⁹ Marek, Pöschl, 1867, 124

Verzeichniss der Beobachtungs-Stationen
im Jahre 1865.

Name	Länge von Ferro	Breite	Seehöhe in Wr. Fuss	Beobachtungs- stunden		Beobachter	
				Mrg.	Nacht, Ab.		
Steinberg bei Alt-Aussee	31° 24'	47° 39'	2987	8	2	8	Josef Eder von Roithberg.
Markt Aussee	31° 26'	47° 37'	2077	7	2	7	Dr. Eduard Pohl.
Admont . . .	32° 8'	47° 35'	2108	7	1	9	Clemens Vogl.
Graz	33° 8'	47° 4'	1173	7	2	10	Andreas Rospini.
Gleichenberg	33° 34'	46° 53'	898	7	2	9	Dr. Franz Frank.
Marburg . . .	33° 22'	46° 34'	829	8	2	6	J. Essl, J. Castelliz.
Pettau	33° 32'	46° 25'	672	7	2	10	E. Reithammer.
Cilli	32° 58'	46° 14'	741	7	2	9	Conrad Pasch, J. Castelliz.
Leisberg bei Cilli	32° 56'	46° 14'	1222	6	1	9	J. Castelliz.
Markt Täufer	—	—	—	—	—	—	Jos. Rathberger.

Anmerkungen.

1. Aus Steinberg bei Alt-Aussee wurden seit September 1865 keine Beobachtungen mitgetheilt.
2. In Aussee wurde der Regenmesser nur in den Monaten Mai bis incl. November in Anwendung gebracht.
3. Im Stifte Admont mussten die Beobachtungen in Folge des verheerenden Brandes Ende April 1865 abgebrochen werden; dieselben wurden jedoch mit 1. Jänner 1866 wieder aufgenommen.
4. In Pettau begannen die Beobachtungen mit dem Barometer und Psychrometer am 1. Februar 1865.
5. Auf dem Leisberg bei Cilli wurden die Beobachtungen vom Mai bis incl. October 1865 von Herrn Joh. Castelliz sen. angestellt. In den übrigen Monaten beobachtete derselbe gemeinschaftlich mit Herrn Conrad Pasch in der Station Cilli, gleichwie im verfloßenen Jahre.
6. Aus Römerbad liefen bloss die Beobachtungs-Tabellen für April und Mai 1865 ein, wesshalb diese Station in der vorliegenden Jahres-Tabelle nicht aufgenommen wurde.
7. Im Markte Täufer begannen die Beobachtungen mit 1. Juli 1865.

Slika 11: Prva stran Marekovega in Pöschlovega poročila za leto 1865 z navedbami opazovalcev s slovenskega Štajerskega.¹⁷⁹

narodov pa je bil uradnik celjskega telegrafa. Leta 1854 je opravil tehniške izpite, tako da je postal učitelj in med letoma 1870 in 1884 ravnatelj nove celjske deželne meščanske šole.¹⁷⁴

Kopališki zdravnik paleontolog dr. Emanuel Bunzel (* 1828 Praga), od leta 1881 dunajski zdravnik, in H. W. Kern sta poročala o podnebni razmerah iz Rimskih Toplic pri Laškem od julija 1864 dalje. Bunzel je leta 1866 objavil knjigo o gostih Rimskih Toplic, 30. 5. 1871 pa je zaslovel z raziskavo dela lobanje dinosavra v premogovniku pri Dunajskem Novem mestu.

Kastelic, Essl in Reithammer so tudi samostojno poročali Društvu o vremenskih razmerah dne 27. 12. 1862, 25. 7. 1863 in 27. 2. 1864 v okvirju poročil za Dunajski centralni urad.¹⁷⁵ Reithammer je 10. 12. 1865 pri društvu govoril o ozonu, dne 6. 9. 1866 pa je opazoval večerno kroglasto streljo pri minoritskem samostanu na Ptuju.¹⁷⁶ Leta 1865 so poročila dopolnili še z meritvami Jožefa Rathbergerja iz Laškega, končali pa so jih s primerjavo vremenskih razmer v letih 1863–1865, zaznamki o potresih in toči, ki je dne 12. 7. 1865 presenetila vinogradnike v Slovenski Bistrici.¹⁷⁷

Tabela 4: Pomembnejša predavanja in razprave profesorjev s Politehnike in s katedre za fiziko univerze v Gradcu, ki so bila v celoti ali v povzetku objavljena v Izvestjih Štajerskega naravoslovnega društva; med naštetimi le Mach ni bil član društva

Pisec	Datum in stran objave v Izvestjih	vsebina	Predavanje ali Razprava
Mach	28.10.1865 1867: XXXII–XXXIV	Plateaujeve figure težko topnih kapljev, delovanje molekularnih sil	P
Mach	23.2.1867 1868: XXXI	Helmholtzov vibracijski mikroskop	P
Schwarz	23.2.1867 1868: XXXI	Johnson & Matheyjeva londonska topilnica platine	P
Toepler	29.1.1870	Inducirana elektrika in Siemensov dinamo iz leta 1870	P
Toepler	1872 64–116	Fizikalno tolmačenje razvojov v vrsto	R
Ettingshausen	1873	Fosforescenca in fluorescenca	P
Toepler	1873	Severni sij	P
Boltzmann	1873 25–36	O Maxwellovi teoriji elektrike	R
Toepler	10.4.1875 XLIX–LI	Kapilarnost	P
Ettingshausen	1877/1878 46–51	Magnetni pojavi v Gradcu leta 1877	R
Ettingshausen	12.5.1877/1878 46–51	Elektrodinamična-elektromagnetna rotacija, Pagejev motor	P
Boltzmann	17.11.1877/1878 LI–LII	Sedanje stanje mehanske teorije toplote, poskusi Stefana in Loschmidta	P
Boltzmann	28.12.1878 XVII, LXIX–LXX	Fizikalna teorija višine tona in barve zvoka z uporabo Fourierove analize	P
Ettingshausen	1878	Električna indukcija	R

Tabela 5: S Slovenci povezani člani Štajerskega naravoslovnega društva

Ime	Letniki in strani navedb	Kraj in služba
Karl Dežman	1870 XLVI izredni član	Ljubljana, kustos
Ivan Prettnar	1870 XLVI izredni član	Celovec, tovarnar
Jožef D. Bancalari	1882 III	Maribor, lekarnar, ravnatelj mestne hranilnice, kolesar, župan 1867–1870, član <i>Schlarafia Marpurgia</i> ¹⁸⁰
Jožef Birnbacher	1882 III	Maribor, finančni svetnik
Vincent Borštner	1873; 1882 III	Celovec, gimnazijski profesor
dr. Emanuel Bunzel (Bunzl)	1870 XLVIII	Rimske Toplice, kopalniški zdravnik
Friedrich Byloff	1875, 1882 IV, 1885	Maribor, c.-kr. inženir, sin celjskega mestnega inženirja, ki je načrtoval zidani most čez Savinjo 1824–1826
Barthilomäus vitez Careneri	1882 IV	Grad Wildhaus nad Selnico ob Dravi, veleposestnik, poslanec državnega zbora
Anton Elschmig	1870 XLIX	Maribor, profesor višje realke, zoolog-botanik
Edvard Ferlinz (* 1817; † 1874)	1863 12; 1870 XLIX	Maribor, knjigarnar
Karl Fontaine pl. Felsenbrunn	1865 3	Ljubljana, višji finančni svetnik, polkovnik, pisec kranjskega davčnega priročnika 1866
Karl pl. Formacher	1882 V	Slovenska Bistrica, zemljiški posestnik
Gimnazija	1870 L	Celje
Karl Hauser	1870 LI, 1882 VI	Maribor, vodilni prokurist
Jožef Heinisch	1882 VI	Oberhaag/Osek, nadučitelj
Jožef Huber	1870 LI	Celje, duhovnik, gimnazijski profesor matematike in fizike 1860–1874, popiše premog v okolici ¹⁸¹
Heinrich Kalmann	1882 VII	Maribor, vodja vinogradniške (Sadjarsko-vinarske) šole, ustanovljene 1872
Ivan Kastelic	1870 XLVIII	Celje, sodni pristav
Ignac Klemenčič	1882 VIII	Gradec, docent
Klöpfer	1882 VIII	Eibiswald/Ivnik, praktični zdravnik
Jožef Koczbek	1870 LII	Radgona, doktor
Magister farmacije Wenzel König (Venčeslav, * 1836; † 1901)	1882 VIII	Maribor, lekarnar, na pariški svetovni razstavi leta 1877 razstavil vodilo za zrakopolov, član <i>Schlarafia Marpurgia</i> ¹⁸²
Franc Krause	1870 LII	Ptuj, železniški zdravnik
Ferdinand Lippich	1870 LIII	Gradec, profesor Politehnike
Jožef Kupferschmied	1882 VIII	Celje, lekarnar
Aleksander Mell (* 1850 Praga; † 1931 Dunaj)	1882 IX	Maribor, profesor učiteljskega in pisec, študiral naravoslovje v Gradcu, od leta 1886 vodil dunajski zavod za slepe

¹⁸⁰ Podgoršek, 2006, 365; Pertl, 1991, 580; Hartman, 2009, 166, 187; Hartman, 2001, 626¹⁸¹ Orožen, 1974, 203¹⁸² www.pokarh-mb.si/fileadmin/www.pokarh-mb.si/pdf_datoteke/vodnik2010/Redakcija_vodnik-celota_STRANI_0971-1068.pdf, str. 999–1000 ogled 4. 3. 2013; Pertl, 1991, 581; Hartman, 2009, 161

Franc Močnik	1870 LIV	Gradec, šolski svetnik
Dr. Karl Julius Potpeschnigg	1870 LV	Feldbach/Vrbna, okrožni komisar, leta 1882 v Gradcu
Julius Pfrimer	1882 XI	Maribor, vinski trgovec, blagajnik filharmoničnega društva in nemški politik ¹⁸³
Dr. Florian Puschtrauser	1882 XI	Hrastnik, obratni zdravnik
Matej Reiser	1895, 1896	Mariborski župan
Anton Emil Reithammer	1870 LV	Ptuj, lekarnar
Emanuel Riedl	1882 XII	Celje, višji rudarski komisar
Rudolf Sadnik	1882 XII	Ptuj, sanitarni asistent
Karl Schaumburg	1870 LVI	Ljubljana, gradbeni svetnik
Dr. Max Jožef Schüler	1870 LVI	Rohitsch/Rogatec, cesarski svetnik, direktor
Konrad Seidl (* 1830; † 1879)	1870 LVI	Maribor, državni poslanec mariborskega okrožja v letih 1870–1873
Dr. Janko Sernec (* 1834; † 1909)	1882 XIII	Maribor, ustanovitelj Slovanske čitalnice, dvorni in sodni odvetnik
Simon Šubic	1870 LVIII	Gradec, profesor
Sigmund Vaczulik	1870 LVIII	Windisch Landsberg/Podčetrtek, lekarnar
Gundaker grof Wurmbrand	1882 XV	Ankenstein/grad Borl, stotnik, komornik, poslanec državnega zbora

Pozimi 1878/1879 se je prevzetni Tesla znašel v Mariboru; pri delu v tehniški pisarni domnevnega industrijskega inženirja Druška naj bi ob 60 forintih mesečne plače služil še dodatke za uspešno delo, kar bi najmanj podvojilo njegove nekdanje graške prihodke in preseгло dohodke tedaj vodilnega igralca mariborskega gledališča.¹⁸⁴ Morda je Tesla med Mariborčani postal najprej strojni in šele pozneje onstran morja – elektroinženir? Zna biti, da se je mladi Nikola v svojem mariborskem času celo čezmerno vdajal igram na srečo ali drugim nečednostim; gotovo je občasno celo pregloboko pogledal v kozarec. Zato tega obdobja svojega življenja ni nikoli posebno obešal na véliki zvon.

Kdo je potemtakem bil Teslov mariborski mojster Druško, s katerim se je Tesla hvalil prijatelju Kosti? Tesla si je morebiti celo izmislil mojstra Druška, da bi navdušil oziroma naplahtal svojega nekdanjega sostanovalca Kosto, vedoč, da bo le-ta zdajci-takojci obvestil Teslove domače preko Banjanina. Po drugi strani pa bi mojster Druško lahko bil Družkovič ali Druscovich, saj so vse tri oblike priimkov še danes prisotne v Sloveniji, čeprav jih ni veliko. Tesla ni imel rad risanja že v Rakovcu, še preden je prišel v Gradec; vseeno naj bi v Mariboru delal kot tehniški risar v podjetju za izdelavo naprav (Werkzeug Werkstatt) in ulivanje (Gießerei) mojstra Druška (Drushko) s plačo 60 forintov na mesec.¹⁸⁵

Mariborski zasebnik Anton Druskowitsch verjetno ni bil obrtnik na Livadi št. 11 na levem bregu Drave zunaj tedanjega mestnega jedra tedanjega Maribora. Čevljar Josef Družkovič na Koroški cesti št. 12 iz tedanje 3. mariborske četrti na levem bregu Drave je bolj všečen kandidat, saj je bil pol desetletja po Teslovi zaposlitvi leta 1884 naveden med drugimi obrtniki.¹⁸⁶ Štirideset let prej je hiša na Koroški cesti št. 12 pripadala slikarju Vincenzu Lubizu, nekaj čevljarjev pa je delovalo v soseščini na Koroški cesti št. 7, ki jo je posedoval njegov sorodnik, neimenovani čevljar Lubiz. Na Koroški št. 1 se je bohotila čedna novogradnja v posesti čevljarja Klementsčitscha.

Nekoliko naprej so gospodovali razmeroma ugledni lastniki: okrožni kirurg Josef Förderek lastnik Koroške ceste št. 25 in tovarnar likerjev rozolija Jakob Felber, lastnik Koroške ceste št. 35 in 36 z najbolj elegantno hišo s pročeljem osmih oken. Hiša Koroška cesta št. 12 je bila od leta 1892 mestni dom gasilcev, vendar so se od Puffovih do Curkovih časov številke nekoliko spremenile in je Puffova hiša mlinarja Senekowitscha oziroma njegove vdove Jožefe na Koroški št. 20 postala Koroška št. 13 oziroma Vojašniški trg št. 7.¹⁸⁷ Josef Družkovič je bil naveden kasneje kot posestnik – lastnik hiše na Tržaški cesti 65, v času, ko je bila na Koroški cesti že gasilsko-reševalna postaja. Kaj bi se dalo še povedati o temu Josefu Družkoviču (Družkovič), predvsem o velikosti njegovega obrata in številu zaposlenih s Teslo vred?

¹⁸³ Hartman, 2009, 26, 194

¹⁸⁴ Hartman, 2009, 229

¹⁸⁵ Dan Mrkič (* 1939; † 2005), 2004, 35–36 (edini navaja Teslovo mariborsko delo v *alatničarskoj i livničkoj radionici koju je držao neki gazda Druško* in postavlja Teslovo mariborsko stanovanje na Tegetthofstrasse), 38; Kulišić, 1936, 14; Pištalo, 2012, 82

¹⁸⁶ Jurik, 1884

¹⁸⁷ Puff & Curk, 1999, 83–84, 355, 356

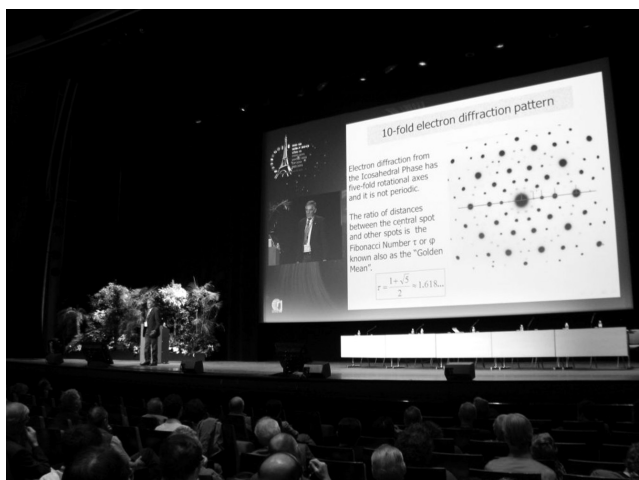
DRUŠTVENE NOVICE

19. MEDNARODNI VAKUUMSKI KONGRES IVC-19, PARIZ, 9.–13. SEPTEMBER 2013

V Parizu je od 9. do 13. septembra 2013 potekal 19. mednarodni vakuumski kongres (International Vacuum Congress, IVC-19). Kongres je skupaj organiziralo devet nacionalnih vakuumskih društev. Med njimi je bilo tudi Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije – DVTS. Seveda je pri organizaciji glavno vlogo imelo francosko vakuumsko društvo in še posebej dr. Marie-Geneviève Barthés - Labrousse, ki



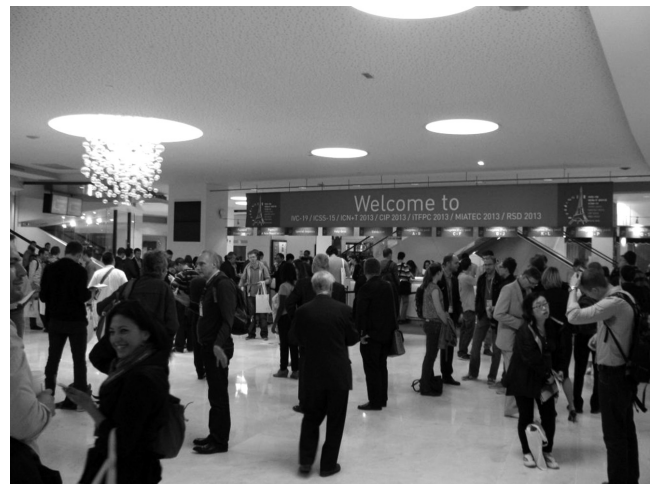
Slika 1: Odprtje kongresa IVC-19 v Parizu 9. septembra 2013. Kongres je skupaj organiziralo devet nacionalnih vakuumskih društev, med njimi tudi Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije – DVTS, katerega logo je na fotografiji desno spodaj.



Slika 2: Uvodno plenarno predavanje na kongresu IVC-19 je imel dr. Dan Shechtman iz Izraela, ki je prejel leta 2011 Nobelovo nagrado za odkritje kvazikristalov.

je bila glavna organizatorica kongresa. Prof. dr. Monika Jenko in doc. dr. Janez Kovač sta bila člana organizacijskega odbora tega kongresa.

Kongresu je bilo pridruženih še šest drugih konferenc. Naj omenim dve najpomembnejši, kot sta International Conference on Nanoscience and Technology (ICN+T 2013) in International Conference on Solid Surfaces (ICSS-15). Kongres se je odvijal v pariškem kongresnem centru in je potekal v 15 vzporednih sekcijah, ki so obsegala področja



Slika 3: Organizatorji kongresa IVC-19 v Parizu so se zelo trudili in uspešno izpeljali kongres z 2500 udeleženci iz 65 držav.

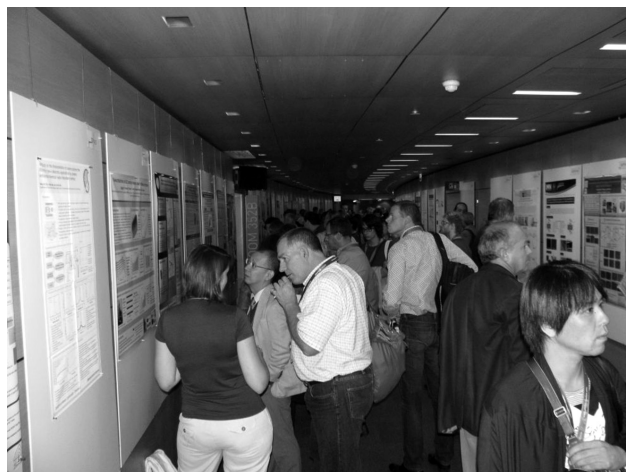


Slika 4: Sprejem za udeležence kongresa IVC-19 je bil v pariški mestni hiši »La Conciergerie«, ki je bila med francosko revolucijo 1789 tudi zapor za kraljevo družino.

znanosti o površinah, nanoznanosti, tankih plasti, površinskih tehnologij, elektronskih materialov, znanosti o plazmi, vakuumske znanosti, bioloških aplikacij, razvoja novih tehnik ...

Udeležilo se ga je okoli 2500 udeležencev iz 65 držav. Na kongresu je bilo več kot 1000 predavanj in 500 predstavitev v obliki posterjev. Med udeleženci kongresa je bilo tudi precej raziskovalcev iz Slovenije. Na kongresu sta bili podeljeni tudi dve nagradi IUVSTA, in sicer sta ju prejela dr. Lars Samuelson s Švedske in dr. John Grant iz ZDA. Uvodno plenarno predavanje je imel dr. Dan Shechtman iz Izraela, ki je prejel leta 2011 Nobelovo nagrado za odkritje kvazikristalov.

Eno od vabljenih predavanj je imel tudi dr. Janez Šetina z Inštituta za kovinske materiale in tehnologije. Na konferenci smo lahko spremljali veliko zanimivih znanstvenih predavanj ter videli mnogo posterjev z zanimivimi rezultati. Kongresi IVC se prirejajo vsake tri leta, zadnja dva sta bila leta 2007 v Stockholmu in 2010 v Pekingu, naslednji pa bo leta 2016 v Koreji.



Slika 5: Posterske sekcije so bile na kongresu IVC-19 dobro obiskane, čeprav je bilo bolj malo prostora za diskusijo.

Več o kongresu IVC-19 je mogoče prebrati na spletnem naslovu www.ivc19.com.

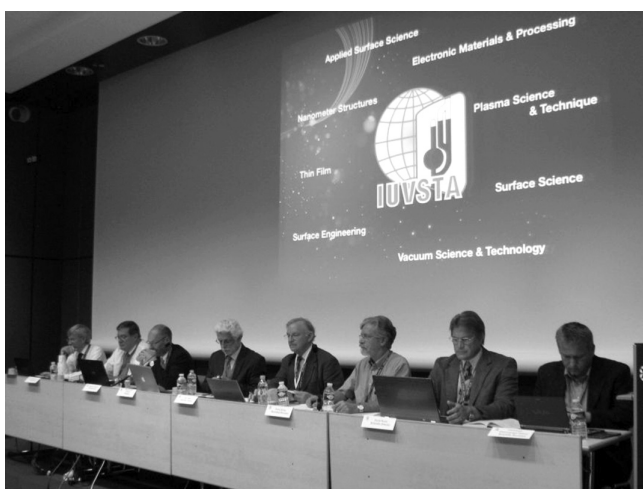
doc. dr. Janez Kovač

GENERALNA SKUPŠČINA IUVSTE NA KONGRESU IVC-19, PARIZ, 11. SEPTEMBER 2013

V okviru mednarodnega vakuumskega kongresa IVC-19 v Parizu je bila 11. septembra tudi generalna skupščina mednarodne zveze vakuumskih organizacij IUVSTA in 13. septembra 117. seja izvršnega odbora te organizacije.

Na generalni skupščini je bilo 26 delegacij. Na skupščini je bilo predstavljeno novo vodstvo za

triletno obdobje. Predsednik je postal dr. Mariano Anderle iz Italije, podpredsednika pa sta postala prof. dr. Lars Montelius s Švedske in bivši predsednik prof. dr. Jean-Jacques Pireaux iz Belgije. Znanstveni direktor je ostal prof. dr. David Ruzic iz ZDA, znanstveni tajnik je postal dr. Andrej Vince iz Slovaške, generalni tajnik je prof. dr. Christoph Eisenmenger-Sittner iz



Slika 1: Vodstvo mednarodne zveze vakuumskih organizacij IUVSTA med generalno skupščino v Parizu 11. septembra 2013



Slika 2: Delegacije na generalni skupščini IUVSTA v Parizu 11. septembra 2013

Avstrije in blagajnik prof. dr. François Reniers iz Belgije.

Dosedanji generalni tajnik dr. Ron Reid iz Velike Britanije je na skupščini podal poročilo o delu v preteklem triletnem obdobju. Med članice IUVSTA je bila na skupščini sprejeta Argentina. Potrjene so bile predlagane spremembe števila volilnih glasov za Kitajsko, Korejo in Avstralijo, ki bolj realno izražajo število članstva v teh državah. Sprejeto je bilo finančno poročilo za obdobje 2010–2013, načrt za obdobje 2013–2016, višina članarine in drugo. Imenovani so bili posamezni odbori in sekcije. Med drugim je prof. dr. Miran Mozetič iz slovenskega vakuumskega društva postal predsednik odbora za izobraževanje.

Skupščine IUVSTA smo se iz Slovenije udeležili doc. dr. Janez Kovač, prof. dr. Miran Mozetič in prof. dr. Monika Jenko.

doc. dr. Janez Kovač
predsednik DVTS



Slika 3: Udeleženci skupščine IUVSTA iz Slovenije: prof. dr. Miran Mozetič (desno), doc. dr. Janez Kovač (v sredini) in prof. dr. Monika Jenko (levo)

KRATKE DRUŠTVENE NOVICE

38. seja Izvršnega odbora DVTS, 23. avgusta 2013

To je bila prva seja izvršnega odbora DVTS v novi zasedbi, ki je bila izvoljena na zadnjem občnem zboru DVTS maja letos. Sejo je vodil novi predsednik DVTS doc. dr. Janez Kovač.

Izvršni odbor je za podpredsednika DVTS izvolil prof. dr. Mirana Mozetiča, za tajnika dr. Matjaža Panjana in za blagajnika doc. dr. Alenko Vesel. Za dodatnega podpisnika DVTS je imenoval doc. dr. Janeza Kovača.

Na Dunaju bo 15.–20. junija 2014 potekala konferenca JVC-15. Izvršni odbor je predlagal za

člana programskega odbora: doc. dr. Janez Kovača in prof. dr. Moniko Jenko, za člana organizacijskega odbora: doc. dr. Miho Čekado in dr. Barbaro Šetina Batič ter za vabljenega predavatelja: dr. Deana Cvetka in doc. dr. Alenko Vesel.

V Dubrovniku bo 13.–16. oktobra 2014 potekala konferenca ICTF-16. Izvršni odbor je predlagal za vabljenega predavatelja dr. Matjaža Panjana in dr. Tadeja Kokalja.

Miha Čekada je člane izvršnega odbora seznanil z razmerami pri izdajanju revije Vakuumist. Pozval je k pripravi znanstvenih in strokovnih člankov za to revijo in predstavil predvideni razpis za sofinanciranje Vakuumista od ARRS.

SPOROČILO ZA JAVNOST

Pfeiffer Vacuum je dobil pomembno razvojno pogodbo za fuzijski reaktor ITER

Asslar, Nemčija, oktober 2013. Pfeiffer Vacuum je dobil pomembno pogodbo za razvoj posebnih vakuumskih črpalk za fuzijski reaktor ITER. S svojo ponudbo je Pfeiffer Vacuum zmagal nad konkurenčnimi ponudniki zaradi svojih obsežnih izkušenj na področju vakuumske tehnologije. Mednarodni raziskovalni projekt ITER je pomemben korak k bodočim fuzijskim elektrarnam, ki bodo proizvajale čisto električno energijo. Cilj projekta je pokazati, da lahko proizvajamo 500 MW energije s fuzijo vodikovih atomov pri porabi 50 MW.

ITER je vrsta fuzijskega reaktorja, ki ga še nikoli niso zgradili v takšni velikosti in kompleksnosti. Jedro reaktorja je izjemno velika komora toroidne oblike, v kateri generiramo plazmo. Da bi lahko izvedli plazemsko reakcijo, moramo najprej posodo izčrpati. V plazmi poteka zlivanje vodikovih atomov pri temperaturah nekaj sto milijonov stopinj Celzija. Magnetno polje preprečuje, da bi elementi iz plazme prišli v stik z reaktorjem, kar lahko ustavi proces. Pfeiffer Vacuum razvija specializirane vakuumske rešitve prav s temi posebnimi zahtevami. Črpalke so narejene iz nerjavnega jekla in imajo izjemno visoko tesnost.

Nova tehnologija, ki je bila prvič uporabljena v vakuumskih črpalkah, tako preprečuje kontaminacijo maziv črpalke s fuzijskim gorivom in obratno. Segrevanje plazme naj bi potekalo z obstreljevanjem z visokoenergijskimi nevtralnimi delci (1 MeV) in nove vakuumske črpalke se bodo uporabljale za črpanje teh posod. Plazmo bodo ustvarjali v torusu v visokem vakuumu, medtem ko bo imela zunanja kriostatska posoda vakuumsko izolacijo in sistem za hlajenje superprevodnih tuljav za ustvarjanje magnetnega polja. V tej kompleksni konstrukciji bodo v uporabi še drugi izdelki Pfeiffer Vacuuma, kot so merilniki celotnega tlaka in detektorji netesnosti. Pred črpanjem posode je potrebna individualna meritev netesnosti vseh zvarov in prevodov. Ker so določeni zvari na težko dosegljivih mestih, bodo v uporabi premični detektorji netesnosti Pfeiffer Vacuuma.

Razvoj, gradnja in bodoča uporaba fuzijskega reaktorja poteka v raziskovalnem centru Cadarache v Franciji. ITER je skupni raziskovalni projekt sedmih enakovrednih partnerjev in vključuje Kitajsko, Evropsko unijo, Indijo, Japonsko, Rusijo, Južno Korejo in Združene države Amerike.

Več informacij na: www.pfeiffer-vacuum.com.

