

ICONISMUS XI



Fig. IV.

# VAKUUMIST

ČASOPIS ZA VAKUUMSKO ZNANOST, TEHNIKO IN TEHNOLOGIJE, VAKUUMSKO  
METALURGIJO, TANKE PLASTI, POVRŠINE IN FIZIKO PLAZME

50 let  
DVTS

Fig. II.

LJUBLJANA, SEPTEMBER 2010

ISSN 0351-9716

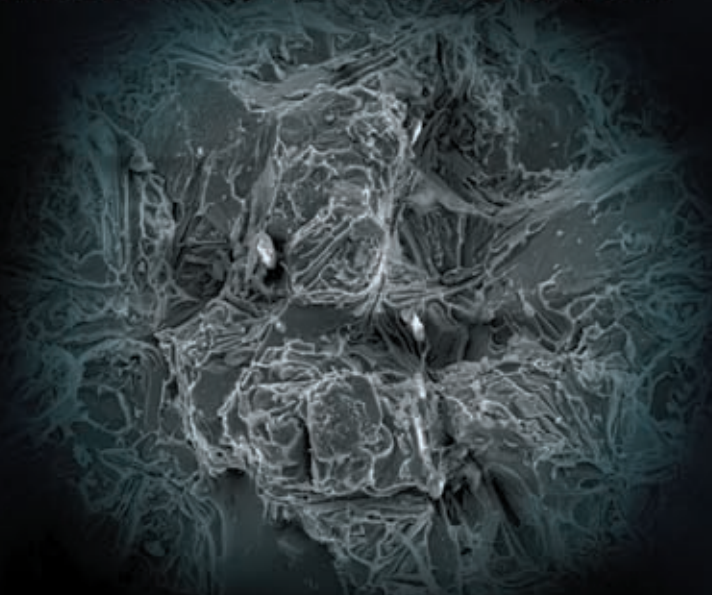
LETNIK 30, ŠT. 3

UDK 533.5.62:539.2:669-982

# JEOL Application Driven Solutions for Material Sciences

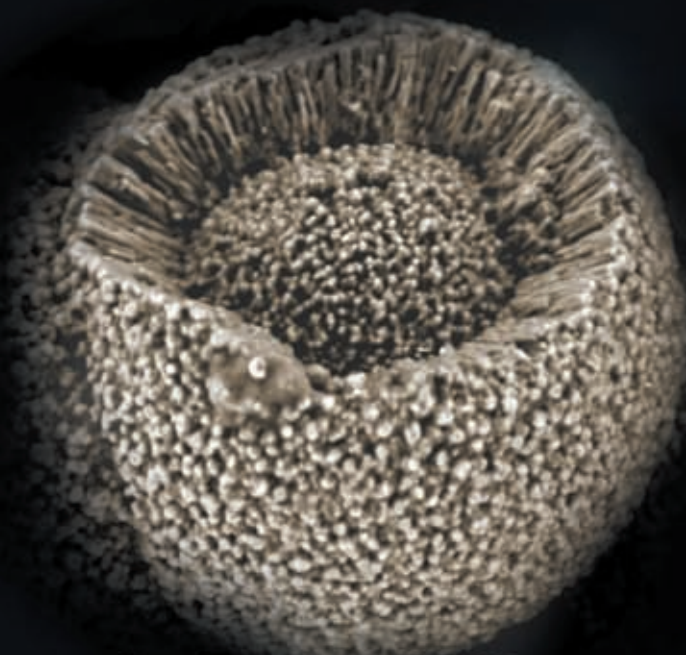


Jet Turbine

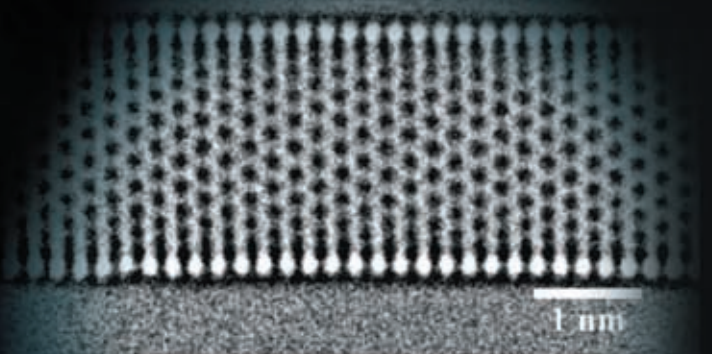


Ductile fracture taken on JSM-6610LV

Bring your samples to one of our European  
Application Centres and see for yourself



Spray Coating taken on JSM-7600F



From subatomic imaging through to large  
sample failure analysis; JEOL instruments  
lead the way in Materials development

Carbon Nanotube, taken on a double  
corrected 2200FS at 80KV

**JEOL**  
www.jeol.com  
+386 41 63 66 57  
info@scan.si

Spray coating, courtesy of SIFCO  
Ductile fracture taken for an episode of BBC's Waking the Dead  
Carbon Nanotube, courtesy of Jamie Warner, Neil Young and Angus Kirkland, Oxford University

# VAKUUMIST 30/3, september 2010

## VSEBINA

### ČLANKI

<b>Študij mehanizmov vezave molekul BTAH in BTAOH na baker z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo – XPS</b> Matjaž Finšgar, Janez Kovač, Ingrid Milošev . . . . .	4
<b>Fotobiološka varnost nekoherentnih optičnih sevanj – določila nove uredbe</b> Marta Klanjšek Gunde . . . . .	12
<b>Vakuum ljubljanskih frančiškanov</b> Stanislav Južnič . . . . .	17
<b>DRUŠTVENE NOVICE</b>	
<b>Prof. dr. Alojzij Paulin – osemdesetletnik</b> Janez Kovač, Andrej Pregelj, Eva Perman . . . . .	26
<b>Trinajsta združena vakuumska konferenca JVC-13</b> Irena Paulin . . . . .	27
<b>Poročilo o organizaciji znanstvenega srečanja – 62<sup>nd</sup> International IUVESTA Workshop on Plasma Synthesis and Modification of Nanomaterials (Bohinj, 14.–18. 6. 2010)</b> Miran Mozetič . . . . .	29
<b>Hrvaško vakuumsko društvo ima novega predsednika</b> Miran Mozetič . . . . .	31
<b>Poročilo z 18. mednarodne vakuumske konference IVC-18 v Pekingu</b> Janez Kovač . . . . .	32
<b>Kratke društvene novice . . . . .</b>	34
<b>Nova oprema na trgu – Turbomolekularna črpalka HiPace™ M . . . . .</b>	34

### VAKUUMIST

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

Izdajanje Vakuumista sofinancira Javna agencija za knjigo Republike Slovenije

**Glavni in odgovorni urednik:** doc. dr. Miha Čekada

**Uredniški odbor:** 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:** Matjaž Finšgar

**Oblikovanje naslovnice:** Ignac Kofol

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

**Naklada:** 320 izvodov

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

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](mailto: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](mailto:miha.cekada@ijs.si)

tel.: (01) 477 37 96

faks.: (01) 251 93 85

# ŠTUDIJ MEHANIZMOV VEZAVE MOLEKUL BTAH IN BTAOH NA BAKER Z RENTGENSKO FOTOELEKTRONSKO SPEKTROSKOPIJO – XPS

Matjaž Finšgar, Janez Kovač, Ingrid Milošev

ZNAJSTVENI ČLANEK

Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana

## POVZETEK

V tem delu je predstavljena analiza površin bakra z adsorbiranimi molekulami benzotriazola (BTAH) ali 1-hidroksi-benzotriazola (BTAOH) iz 3-odstotne raztopine NaCl z metodo rentgenske fotoelektronske spektroskopije. Meritve so bile izvedene pri različnih kotih ali med ionskim jedkanjem, prav tako pa smo analizirali ozadje spektra po metodi Tougaard. Posebno pozornost smo namenili analizi rentgensko vzbujenega Augerjevega vrha Cu  $L_{3}M_{4,5}M_{4,5}$ , ki omogoča preiskovanje okolja zvrsti Cu(I). Pokazali smo, da so dušikovi atomi molekul BTAH (proste oblike ali v kompleksu) usmerjeni preko triazolne skupine proti površini bakra, medtem ko ima plast Cu-BTAOH manj urejeno strukturo. Prav tako pa je plast Cu-BTAOH mnogo tanjša kot Cu-BTAH.

**Ključne besede:** benzotriazol, baker, XPS

## Study of BTAH and BTAOH adsorption mechanism on copper using X-ray photoelectron spectroscopy – XPS

### ABSTRACT

X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) was employed for the investigation of adsorbed 1-hydroxy-benzotriazole (BTAOH) and benzotriazole (BTAH) on copper from 3 % NaCl aqueous solution. XPS measurements were based on analysis at different take-off angles, detailed analysis of the XPS background spectra by the Tougaard method and XPS depth profiling performed by Ar ion sputtering. Special attention was devoted to the investigation of Cu(I) environment by the aim of X-ray induced Auger Cu  $L_{3}M_{4,5}M_{4,5}$  peak. We found that the BTAH molecules (either in the Cu(I)BTA complex or uncomplexed form) are directed towards the copper surface through their triazole nitrogen atoms, whereas Cu-BTAOH layers were less ordered. Moreover, Cu-BTAOH layer formed on the copper surface is much thinner than the Cu-BTAH structure.

**Keywords:** benzotriazole, copper, XPS

## 1 UVOD

Poznanje kemijske vezave adsorbiranih organskih molekul je zelo pomembno za razumevanje delovanja korozijskih inhibitorjev. Za tovrstne preiskave je posebno primerna metoda rentgenske fotoelektronske spektroskopije (XPS, angl. *X-ray photoelectron spectroscopy*), s katero je mogoče pridobiti informacije o kemijski vezi kovina-adsorbat.

Heterociklične organske molekule se pogosto uporabljajo kot korozijski inhibitorji za različne kovine [1]. Korozijski inhibitor je molekula, ki se adsorbira na kovinsko površino in jo zaščiti pred korozijo [2]. Benzotriazol (BTAH) je učinkovit korozijski inhibitor za baker in njegove zlitine. Poznano je, da BTAH na površini tvori polimerni kompleks Cu(I)BTA [3–6]. Po drugi strani pa prisotnost hidroksilne skupine na triazolnem dušikovem atomu

(1-hidroksi-benzotriazol, BTAOH) pomembno zmanjša inhibicijsko učinkovitost molekule BTAH v raztopini NaCl [3]. Razlog za zdaj še ni pojasnjen.

Namen tega dela je XPS-študija vezave molekul BTAH in BTAOH, ki se adsorbirajo na baker iz 3-odstotne raztopine NaCl. Nadalje, za bolj podrobno preiskavo nastalih površinskih plasti smo poleg klasične XPS-analize uporabili tudi kotno ločljivo XPS (ARXPS), XPS-profilno analizo in analizo ozadja XPS-spektrov po metodi Tougaard.

## 2 EKSPERIMENTALNI DEL

### 2.1 Priprava raztopin in elektrod

Vodna raztopina 3-odstotnega NaCl je bila pripravljena z raztapljanjem inhibitorjev BTAH in BTAOH do koncentracije 10 mM. Uporabljene kemikalije so bile naslednje: NaCl (čistost *pro analysis*, Carlo Erba), BTAH (p. s. kvalitete, Merck) in BTAOH (95-odstotna čistost, Acros Organics).

Vzorci bakra (bakrene elektrode) so bili izrezani iz bakrene folije debeline 2 mm (99,9-odstotna čistost, Goodfellow, Cambridge) v obliki kroga s premerom 15 mm. Pred potopitvijo vzorca v preiskovane raztopine je bila elektroda mehansko brušena in polirana. Brušenje je potekalo s SiC-papirjem različne zrnatosti v zaporedju 800, 1000, 1200, 2400 in 4000 z rotirajočo napravo proizvajalca Struers. Brušenju je sledilo poliranje na napravi Struers LaboPol-5 z 1,0- in 0,25-mikrometrsko diamantno pasto (Struers) v prisotnosti etanolnega maziva (DP-lubricant Blue, Struers) na polirni krpi MD-Nap Struers. Po poliranju so bili vzorci potopljeni v čisti etanol in čiščeni v ultrazvočni kopeli ter nato temeljito sprani z deionizirano vodo.

Izvedeni so bili trije načini priprave vzorca: vzorec bakra potopljen v čisto 3-odstotno raztopino NaCl, vzorec bakra potopljen v 3-odstotno raztopino NaCl z dodanim BTAH ali BTAOH pri koncentraciji 10 mM. V vseh treh primerih je bil volumen raztopine 200 mL. Po enourni izpostavitvi so bili vzorci sprani z deionizirano vodo, posušeni z argonom in hitro preneseni v spektrometer XPS.

### 2.2 XPS-analize

Analizo smo izvedli na spektrometeru PHI XPS-TFA, ki je nadgrajen iz modela PHI 5700. Uporabili smo standardni in monokromatski rentgenski

izvir z aluminijevo anodo vira. Energija rentgenske svetlobe Al  $K_{\alpha}$  je bila 1486,6 eV. Energija vzbujenih fotoelektronov je bila analizirana s krogelnim elektronskim analizatorjem (angl. *hemispherical electron analyzer*). Energija prehoda skozi analizator (angl. *pass energy*) je bila 29,0 eV in 58,7 eV za visoko ločljive spektre ter 187,7 eV za pregledne spektre prek širokega energijskega področja. Osnovni tlak v spektrometru je bil  $2 \cdot 10^{-10}$  mbar. Analizo smo izvedli pri kotu izsevanih fotoelektronov  $\theta$  glede na površino vzorca  $5^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  in  $90^{\circ}$  (angl. *take-off angle*). S povečevanjem  $\theta$  se analiza globina povečuje, zato se pri globinski nehomogenih vzorcih spektri, merjeni pri različnih  $\theta$ , razlikujejo. Analizna globina pri metodi XPS je definirana kot  $3\lambda \sin \theta$ , kjer je  $\lambda$  srednja prosta pot elektronov. Po definiciji je analiza globina področje, od koder izvira 90 % signala v XPS-spektru. Pri tej študiji je bila med 1,5 nm in 5,0 nm. Analizirana površina je imela polmer 0,4 mm.

Za umeritev energijske skale je bil uporabljen vrh C 1s adsorbiranega ogljika pri vezni energiji ( $E_v$ ) 285,0 eV. XPS-spektre smo analizirali s programsko opremo MultiPak, verzijo 8.1c. Pred analizo XPS-spektrov smo odšteli ozadje po metodi Shirleya [7], le v primeru vrha Cu 2p smo uporabili linearno metodo [8]. Natančnost vezavne energije je ocenjena na 0,2 eV. Analizirali smo vrhove Cu 2p, C 1s, O 1s, N 1s in Cl 2p ter rentgensko vzbujen Augerjev vrh  $L_{3M_{4,5}M_{4,5}}$ .

Da bi dobili informacijo o porazdelitvi elementov pod površino, smo izvedli XPS-profilno analizo, ki smo jo izvajali tako, da smo površino jedkali z ioni in pri tem snemali XPS-spektre. Jedkanje je bilo izvedeno z ionskim curkom  $Ar^+$  energije 1 keV na površini  $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ . Hitrost jedkanja je ocenjena na 1 nm/min in je bila umerjena na večplastni strukturi Ni/Cr. Med profilno analizo smo detektirali fotoelektrone pri kotu  $\theta = 45^{\circ}$ .

Z metodo XPS je možno pridobiti podatke o sestavi površine vzorca, o kemijskih vezeh na površini in globinski porazdelitvi elementov v tankih plasteh.

### 2.3 Določevanje debeline plasti inhibitorjev

Pri tej študiji smo pričakovali tvorbo zelo tankih plasti inhibitorja na bakreni površini. Debelino adsorbiranih plasti BTAH in BTAOH smo določili po metodi Tougaard. Ta metoda izhaja iz dejstva, da je ozadje spektra XPS (del področja spektra pri večjih vezavnih energijah od tistih, ki pripadajo fotoelektronskim in/ali Augerjevim vrhovom) posledica neelastičnega sipanja elektronov, ki prihajajo iz notranjosti materiala in potujejo proti površju. Z uporabo te metode [9,10] smo ocenili debeline sicer zelo tankih organskih plasti v območju 0–2 nm. Konkretno smo metodo uporabili predvsem za Augerjev vrh Cu

$L_{3L_{4,5}M_{4,5}}$  v energijskem območju med 540 eV in 910 eV vezavne energije. Uporabili smo podatek, da je srednja prosta pot elektronov (angl. *inelastic mean free path*), ki prispevajo v vrh Cu  $L_{3L_{4,5}M_{4,5}}$  pri kinetični energiji 918,4 eV in potujejo skozi organsko plast, 2,96 nm [11]. Tougaardova analiza spektrov je bila izvedena za meritve pri kotu  $\theta = 45^{\circ}$ . Pri tem smo predpostavili preprost model, da tanka organska plast prekriva bakreno podlago. S to metodo smo izračunavali in prilagajali teoretično krivuljo izmerjenemu spektru XPS tako, da smo spreminjali debelino organske plasti kot vhodni podatek, dokler ni bilo prilaganje zadovoljivo.

## 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

### 3.1 Kotno ločljiva spektroskopija XPS

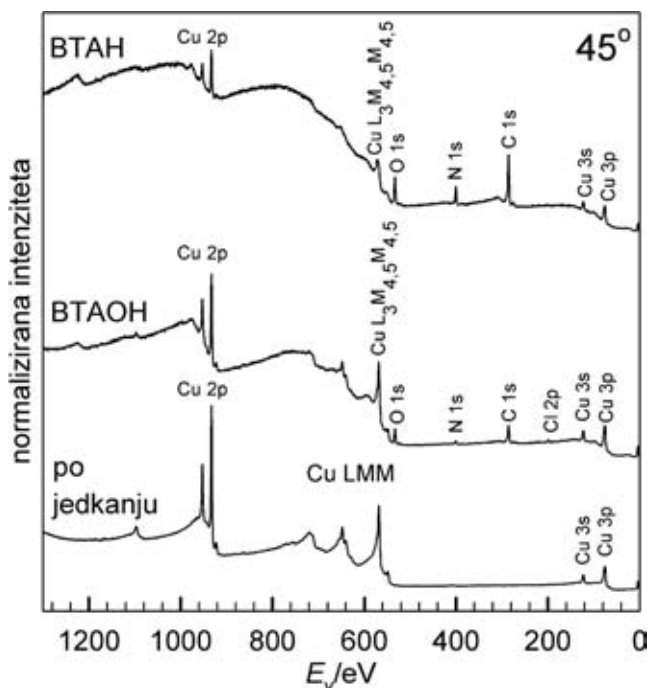
#### 3.1.1 Analiza spektrov in kemijske sestave

Meritve XPS dajo površinsko sestavo vzorcev, na katere pa se lahko adsorbirajo molekule iz atmosfere med prenosom vzorca v spektrometer, kar pomeni kontaminacijo. Na vsakem vzorcu je bila analiza izvedena pri  $\theta = (5^{\circ}, 20^{\circ}, 45^{\circ} \text{ in } 90^{\circ})$ .

Spekter, dobljen pri  $\theta = 45^{\circ}$  za vzorec, izpostavljen 1 h 3-odstotni raztopini NaCl pri koncentraciji BTAH ali BTAOH 10 mM, je prikazan na **sliki 1**. Za primerjavo je prikazan tudi spekter za čisti baker, očiščen z ionskim jedkanjem. Na spektrih so za vzorca, izpostavljena raztopinam z BTAH ali BTAOH, prikazani vrhovi elementov Cu, C, O in N. Majhen vrh za Cl 2p je opažen le v primeru BTAOH. Vrhovi C 1s in še posebej N 1s so dokaz za adsorpcijo triazolnih inhibitorjev na bakreno površino. Ta dva vrhova izgineta po jedkanju (spekter spodaj na **sliki 1**), kar kaže na popolno odstranitev triazolne plasti. Vzorec, izpostavljen raztopini BTAH, ima bolj intenzivne vrhove N 1s in C 1s kot v primeru BTAOH. Tudi druge značilnosti kažejo na razlike v površinski kemiji adsorbiranih BTAH in BTAOH. Ozadje rentgensko inducirane Augerjevega vrha Cu  $L_{3M_{4,5}M_{4,5}}$  je na energijskem področju med 570 eV in 920 eV višje za BTAH, kot je BTAOH. Zadnji dve opažanja kažeta, da je nastala plast BTAH debelejša kot pri BTAOH.

Ker smo uporabili kemikalijo BTAOH z 95-odstotno čistostjo, je bilo treba ugotoviti vpliv nečistoč. Nobenih novih vrhov ni bilo na spektrih XPS (**slika 1**) glede na spekter BTAH. Iz tega lahko sklepamo, da so intenzivni in karakteristični vrhovi N 1s in C 1s posledica adsorpcije BTAOH na bakreno površino in da se nečistoče ne adsorbirajo ter ne vplivajo na adsorpcijo BTAOH.

Metoda XPS omogoča, da na podlagi premika in spremembe oblike vrha razlikujemo različne tipe kemijskih vezi med atomi na površini. V primeru



**Slika 1:** XPS-spektri, izmerjeni pri  $\theta = 45^\circ$ , za bakrena vzorca, potopljena 1 h v 3-odstotno raztopino NaCl pri koncentraciji BTAH ali BTAOH 10 mM. Spekter bakra, ki je bil očiščen z ionskim jedkanjem, je prikazan spodaj za primerjavo.

bakra se za ta namen pogosto analizira vrhova  $\text{Cu } 2p_{3/2}$  in  $\text{Cu } 2p_{1/2}$ . Spekter XPS za zvrsti  $\text{Cu(II)}$  (primer  $\text{CuO}$ ) kaže večkratno cepitev in razširitev obeh vrhov  $\text{Cu } 2p_{3/2}$  in  $\text{Cu } 2p_{1/2}$ , prav tako pa intenzivne vrhove, imenovane »shake-up«-sateliti, pri približno 10 eV višjih  $E_v$ , kot je položaj glavnih vrhov  $\text{Cu } 2p_{3/2}$  in  $\text{Cu } 2p_{1/2}$ . Teh satelitov ni na XPS-spektrih za snovi  $\text{Cu(0)}$  ali  $\text{Cu(I)}$  (na primer čisti  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$  in kompleksi  $\text{Cu(I)}$ ). Značilni sateliti so povezani s paramagnetnimi zvrstmi [12,13].  $\text{Cu(II)}$  ima paramagnetno  $3d^9$ -strukturo (nezapolnjene valenčne nivoje), medtem ko ima  $\text{Cu(I)}$  polno  $3d$ -podlupino. Yin [14] navaja, da je nastanek »shake-up«-satelitov v zvrsteh  $\text{Cu(II)}$  ( $3d^9$ ) povezan s prehodom  $\text{Cu}(3d^9) \rightarrow \text{Cu}(3d^84s^1)$ . Tako analiza vrha  $\text{Cu } 2p$  omogoča razlikovanje med zvrstmi  $\text{Cu/Cu(I)}$  in  $\text{Cu(II)}$ . Po drugi strani pa je spekter  $\text{Cu } 2p$  za zvrsti  $\text{Cu(I)}$  zelo podoben spektru  $\text{Cu } 2p$  kovinskega bakra glede na  $E_v$ , širino vrhov in odsotnost satelitov. Problem razlikovanja med kovinskim bakrom in snovmi  $\text{Cu(I)}$  lahko zaobidemo tako, da analiziramo rentgensko vzbujen Augerjev vrh  $\text{Cu LMM}$  zaradi razlik relaksacijskih energij v snoveh  $\text{Cu(0)}$  in  $\text{Cu(I)}$ .

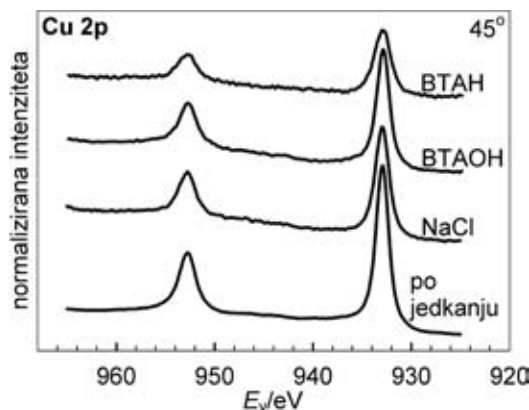
Spektre  $\text{Cu } 2p$  smo posneli na bakrenih vzorcih, ki smo jih potopili v čisto 3-odstotno raztopino NaCl ali z dodatkom koncentracije BTAH ali BTAOH 10 mM (slika 2). Za primerjavo pomeni najnižja krivulja na sliki 2 čisti baker po jedkanju z ioni  $\text{Ar}^+$ . Vse krivulje kažejo podobne oblike vrhov pri isti  $E_v$ . »Shake-up«-sateliti niso pri pričakovanih energijah 943 eV in 963

eV. Prav tako se ne opazi razširitev vrhov. Iz tega sklepamo, da se zvrsti  $\text{Cu(II)}$  na površini niso tvorile (ne  $\text{CuO}$  in ne  $\text{CuCl}_2$ ). Prav tako pa nobeden izmed inhibitorjev (adsorbiran v molekularni obliki – prost ali vezan v kompleks  $\text{Cu(I)}$ ) ne prispeva pomembnega premika vrhov  $\text{Cu } 2p$ . Znano je, da razen v primeru, ko so prisotne zelo polarne skupine, vezani ligandi na centralni atom premaknejo vrh le za nekaj desetink elektronvolta [15]. Tako je zaradi podobnosti vrhov  $\text{Cu } 2p$  razlikovanje med zvrstmi  $\text{Cu(I)}$  in čistim  $\text{Cu}$  možno le z analizo Augerjevega spektra LMM.

Najprej smo naredili analizo za bakren vzorec, potopljen v čisto 3-odstotno raztopino NaCl. Ta analiza nam je v pomoč pri površinah, na katere se inhibitor eventualno ne adsorbira (točkasta adsorpcija, angl. *patchy adsorption*). Cohen in sodelavci [16] so pokazali, da se elektrokemijsko reducirani čisti baker med prenosom vzorca v spektrometer na zraku prevleče s plastjo  $\text{Cu}_2\text{O}$  debeline 1,1 nm.

Na sliki 3 so prikazani rentgensko vzbujeni Augerjevi spektri  $\text{Cu } L_{3M_{4,5}M_{4,5}}$  po enurni izpostavitvi 3-odstotni raztopini NaCl in spiranju z deionizirano vodo. Spekter čistega bakra, ki je bil očiščen z ionskim jedkanjem, je prikazan za primerjavo. Na tem spektru so jasno vidni štiri vrhovi, označeni s številkami od 1 do 4. Vrh 2 pri  $E_v = 568,3$  eV je najbolj izrazit in značilen za čisti baker. Pozicija vrha 3 je premaknjena za 2,3 eV proti bolj pozitivnim  $E_v$  glede na vrh 2 (drugi avtorji so opazili premike za 1,6 eV [16], 2,0 eV [8], 2,1 eV [17,18] ali 2,3 eV [15]). Izrazit vrh 3 je značilen za snovi  $\text{Cu(I)}$ .

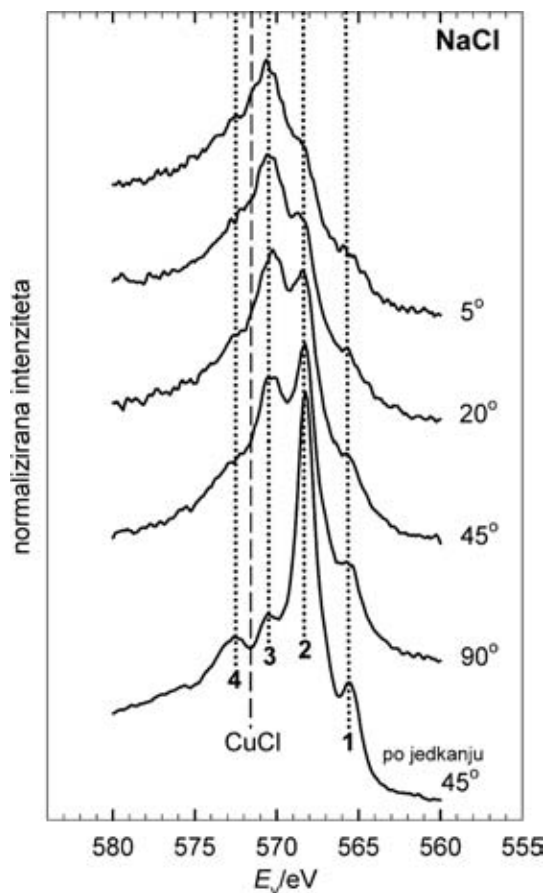
Razmerje intenzitet  $I_{\text{vrh } 2}/I_{\text{vrh } 3}$  (višina ali ploščina prilagojenih vrhov) se pogosto uporablja za oceno, ali je površina vzorca obogatena s  $\text{Cu}$  ali  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Če je to razmerje visoko, potem je  $\text{Cu}$  na površini glede na  $\text{Cu}_2\text{O}$  obogaten in nasprotno [19]. Z zmanjševanjem  $\theta$  se površinska občutljivost povečuje, kar omogoča analizo snovi, ki so na površini kovinskega vzorca. S



**Slika 2:** Spekter  $\text{Cu } 2p$  pri  $\theta = 45^\circ$  za baker, potopljen 1 h v 3-odstotno raztopino NaCl v odsotnosti in pri koncentraciji BTAH ali BTAOH 10 mM. Najnižja krivulja pomeni baker, očiščen z ionskim jedkanjem.

spreminjanjem kota  $\theta$  od  $90^\circ$  proti  $5^\circ$  se intenziteta vrha 3 glede na vrh 2 povečuje (**slika 3**). Iz tega lahko sklepamo, da je površina vzorca obogatena s  $\text{Cu}_2\text{O}$ . V primeru, da bi bil  $\text{CuCl}$  na površini, pričakujemo nov vrh na področju  $E_v$  571,3–571,7 eV (med vrhovoma 3 in 4) [8,18], vendar pa na tem področju ne opazimo nobenega nastanka ali povečanja vrha s spreminjanjem kota  $\theta$ . Iz tega lahko sklenemo, da se kloridi s spiranjem z deionizirano vodo odstranijo s površine. Tako tudi ne pričakujemo, da bi bakrovi kloridi ostali na površini v primeru izpostavitve vzorca raztopinam BTAH ali BTAOH na mestih, ki eventualno niso pokrita z inhibitorjem (točkasta adsorpcija). V primeru, da signal za klorid vendarle opazimo (npr. vrh Cl 2p), lahko sklepamo, da je vključen v kompleksne strukture površinske plasti [20] ali pa se je ujel v organsko plast pri procesu njene tvorbe [20–22].

**Slika 4** prikazuje rentgensko vzbujene Augerjeve spektre  $\text{Cu L}_{3,4,5}\text{M}_{4,5}$ , izmerjene na bakrenih vzorcih, ki so bili potopljeni v 3-odstotno raztopino  $\text{NaCl}$  pri koncentraciji BTAH ali BTAOH 10 mM. Najnižja krivulja je spekter čistega  $\text{Cu}$ , in oznake vrhov so enake kot na **sliki 3**. V primeru izpostavitve vzorca raztopini z BTAH (**slika 4a**) se z zmanjševanjem  $\theta$  (s povečevanjem površinske občutljivosti) izrazito pove-



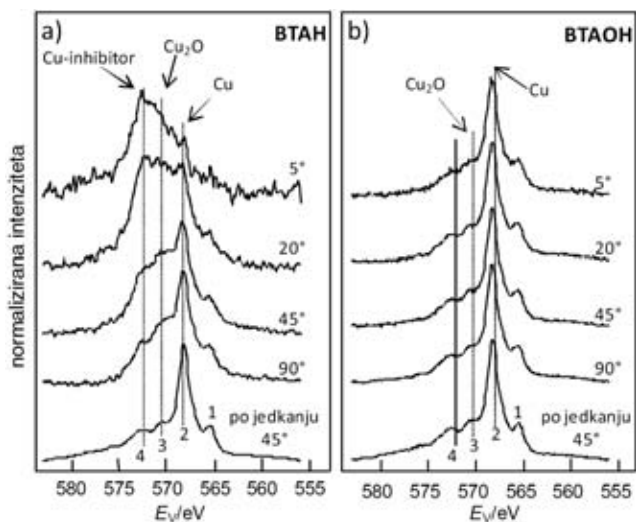
**Slika 3:** Rentgensko vzbujeni Augerjevi spektri  $\text{Cu L}_{3,4,5}\text{M}_{4,5}$ , izmerjeni pri različnih  $\theta$  za baker, potopljen 1 h v 3-odstotno raztopino  $\text{NaCl}$

čuje vrh 3 in še posebej vrh 4 glede na vrh 2. Energija vrha 4 je za 4,3 eV bolj pozitivna v primerjavi z vrhom 2 (razlika 3,8 eV so opazili Tommesani in sodelavci [17]). Pomembne spremembe vrha 1 s spreminjanjem  $\theta$  ne opazimo. Zgoraj smo pokazali, da v vseh primerih na površini vzorcev ni zvrsti  $\text{Cu(II)}$  (**slika 2**), prav tako pa na mestih, kjer se inhibitor eventualno ne adsorbira, tudi ne ostane  $\text{CuCl}$  (**slika 3**). Ker snovi  $\text{Cu(II)}$  in  $\text{CuCl}$  na površini ni, tudi ne vplivajo na obliko Augerjevega spektra, izmerjenega na vzorcu iz raztopine, ki vsebuje BTAH.

Nadalje, signal za Cl je na preglednem spektru BTAH zelo šibek ali pa ga sploh ni (**slika 1**). Čeprav je tvorba halogenskih mostovnih ligandov v kompleksih  $\text{Cu(I)}$  mogoča [23], kar sta Hashemi in Hoghart [20] tudi predlagala za tvorbo kompleksov  $\text{Cu-Cl-Cu-BTAH}$ , je nastanek teh struktur v našem primeru manj verjeten, saj razmerje atomskih koncentracij  $\text{Cl} : \text{Cu} : \text{N}$  ne ustreza razmerju 1 : 2 : 3 [20]. Povišanje vrha 3 z zmanjševanjem  $\theta$  lahko razložimo z nastankom  $\text{Cu}_2\text{O}$  pod plastjo inhibitorja ali z oksidacijo kovine na nepokritih mestih (v primeru točkaste adsorpcije). Ker smo vse druge možnosti izključili, lahko sklenemo, da je povečevanje vrha 4 z zmanjševanjem  $\theta$  povezano z nastankom  $\text{Cu(I)}$ , vezanim na BTAH. Ta struktura nastane v prvi fazi korozije bakra, kjer pride do tvorbe ionov  $\text{Cu(I)}$  [24], ki zelo hitro reagirajo z molekulami BTAH s cepljenjem vezi N–H do nastanka kompleksa  $\text{Cu(I)BTA}$  [20,25–27]. Vendar še vedno ni znano, kako se ta kompleks poveže z bakreno površino in jo zaščiti.

V primeru BTAOH (**slika 4b**) primerjava spektrov, izmerjenih pri  $\theta$  od  $5^\circ$  proti  $90^\circ$ , s spektrom čistega bakra, ki je bil očiščen z ionskim jedkanjem, pokaže, da ni pomembnih razlik. Sprememba se ne opazi niti za vrh 3 niti za vrh 4. Iz tega izhaja, da okolje  $\text{Cu(I)}$  v primeru dodatka BTAOH ostane nespremenjeno, najverjetneje zato, ker na površini sploh ni ionov  $\text{Cu(I)}$  [28–30]. Baker ni termodinamsko stabilen v atmosferskih razmerah in zato ne pričakujemo, da bi vzorec po brušenju, poliranju in spiranju oksidiral pred izpostavitvijo 3-odstotni raztopini  $\text{NaCl}$  pri koncentraciji BTAOH 10 mM. Ker se intenziteta vrha 3 v tej raztopini ne poveča glede na čisti baker, sklepamo, da inhibitor BTAOH reducira nastale okside na površini. Nadalje, kot v primeru izpostavitve čisti raztopini  $\text{NaCl}$  (**slika 3**) in pri dodatku BTAH (**slika 4a**) se  $\text{CuCl}$  ni tvoril, saj nastanka vrha na področju  $E_v$  571,3–571,7 eV ne opazimo (med vrhovoma 3 in 4) [8,18], čeprav je signal za klor opazen na preglednem spektru (**slika 1**). Predvidevamo, da je klorid ujet v plast BTAOH na način, da ne spremeni valenčnega stanja bakra (tudi brez halogenskih mostov) [20,23].

Korozijski eksperimenti kažejo, da je inhibitor BTAH mnogo bolj učinkovit kot BTAOH v 3-odstotni raztopini  $\text{NaCl}$  [3]. Predvidevamo, da je razlog v



**Slika 4:** Rentgensko vzbujeni Augerjevi spektri Cu  $L_{3,4,5}M_{4,5}$ , izmerjeni pri različnih  $\theta$  za baker, potopljen 1 h v 3-odstotno raztopino NaCl pri koncentraciji 10 mM a) BTAH ali b) BTAOH

ojačitvi bakrovih oksidov pod plastjo kompleksa Cu(I)BTA, ker tega efekta za inhibitor BTAOH ne opazimo.

### 3.1.2 Vrednotenje intenzitet vrhov v spektrih XPS

V literaturi je zelo malo podatkov o kotno ločljivi XPS-analizi na obdelanih vzorcih BTAH (angl. *angle resolved XPS*, okrajšava ARXPS) s spreminjanjem kota  $\theta$  od majhnih do velikih vrednosti (še posebej to velja za obdelavo BTAOH). Za boljši vpogled v strukturo površinske plasti na baker, ki nastane v raztopinah z BTAH ali BTAOH, smo izmerili intenzitete izbranih vrhov (Cu 2p, C 1s, O 1s, N 1s). Ozadje vrhov smo odšteli po metodi Shirleya [7], razen za vrh Cu 2p, kjer se uporabi linearno odštetje [8]. Izračunana razmerja intenzitet vrhov  $I_{C\ 1s}/I_{N\ 1s}$ ,  $I_{O\ 1s}/I_{N\ 1s}$ ,  $I_{C\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$ ,  $I_{O\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$  in  $I_{O\ 1s}/I_{C\ 1s}$  so podana na **sliki 5**.

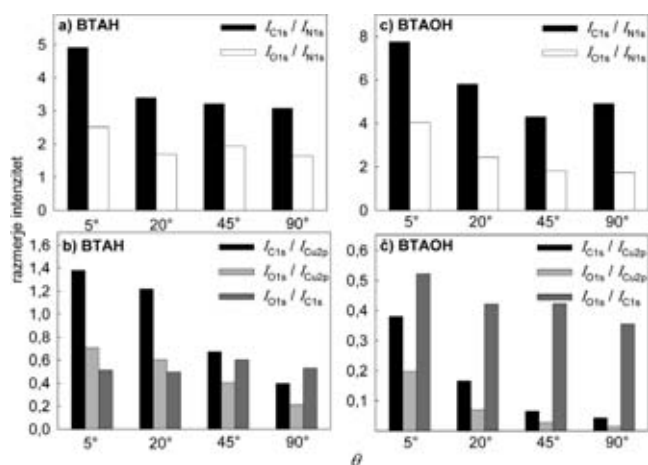
V primeru BTAH se razmerja intenzitet  $I_{C\ 1s}/I_{N\ 1s}$ ,  $I_{C\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$  in  $I_{O\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$  zmanjšujejo, medtem ko se razmerja intenzitet  $I_{O\ 1s}/I_{N\ 1s}$  in  $I_{O\ 1s}/I_{C\ 1s}$  ne spremenijo pomembno z večanjem  $\theta$  (**slika 5a** in **b**). Intenzivno zmanjšanje  $I_{C\ 1s}/I_{N\ 1s}$  se opazi od  $5^\circ$  do  $20^\circ$ . Predvidevamo, da so se v procesu prenosa vzorca iz raztopine do spektrometra adsorbirale organske snovi iz zraka (kontaminacija, ki se ji pri tem eksperimentalnem delu ne moremo izogniti), kar posledično vodi do povečanja signala C 1s glede na N 1s in je to razmerje pri  $\theta = 5^\circ$  najvišje. Pri spremembi  $\theta$  od  $20^\circ$  proti  $90^\circ$  se  $I_{C\ 1s}/I_{N\ 1s}$  le malo zmanjšuje, vendar konstantno.

Iz tega sklepamo, da so atomi ogljika v molekuli BTAH (bodisi v kompleksu Cu(I)BTA ali kot adsorbirane molekule) bližje površju vzorca in da so atomi dušika usmerjeni bolj proti notranjosti (proti podlagi). To ne pomeni, da je orientacija molekul BTAH pravo-

kotna na površino, temveč nekoliko nagnjena (zavzema položaj med ležečo in pravokotno orientacijo). Če bi molekule BTAH ležale na površini, se razmerje  $I_{C\ 1s}/I_{N\ 1s}$  s spremembo  $\theta$  ne bi spremenilo, česar pa ne opazimo v našem primeru. Pri ležečem načinu se pričakuje pomemben vpliv  $\pi$ -d-interakcij med kovino in inhibitorjem ( $\pi$ -elektroni inhibitorja in d-orbitale bakra). Tako ta način interakcije pri vezavi molekul BTAH na bakreno podlago nima pomembnega vpliva. Kot pričakovano, razmerja intenzitet  $I_{C\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$  in  $I_{O\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$  padajo s povečevanjem  $\theta$  zaradi povečevanja analize globine, ki je sorazmerna z  $3\lambda \times \sin \theta$  in se signal iz bakrene podlage veča.

Signal za O 1s je konstanten skozi vso površinsko plast: razmerja intenzitet  $I_{O\ 1s}/I_{N\ 1s}$  in  $I_{O\ 1s}/I_{C\ 1s}$  glede na  $\theta$  so konstantna ali se pomembno ne spreminjajo. Le razmerje  $I_{O\ 1s}/I_{N\ 1s}$  pri  $\theta = 5^\circ$  je malo višje kot razmerja pri drugih kotih (od  $20^\circ$  do  $90^\circ$ ). Predvidevamo, da je prišlo do oksidacije adsorbiranih organskih snovi iz zraka, zaradi česar signal za O 1s glede na N 1s pri kotu  $5^\circ$  naraste. To dokažemo s prileganjem vrhov visoko ločljivemu spektru C 1s, ki je izmerjen pri kotu  $5^\circ$ . Prilegajo se trije vrhovi (**slika 6**); alifatski ogljik (-C-C- ali -C-H pri 285,0 eV), ogljik, vezan na kisik (-C-O- pri 286,7 eV; bodisi eter ali hidroksil), in karboksilni ogljik (-COO- pri 288,8 eV) [12]. Iz tega sklepamo, da so adsorbirane organske molekule iz zraka na površini oksidirale ali pa je že na začetku prišlo do adsorpcije oksidiranih organskih snovi na površino vzorca med prenosom vzorca v instrument XPS.

Konstanten signal O 1s glede na C 1s ali N 1s pri  $\theta > 20^\circ$  lahko razložimo s vključitvijo vode ali kisika v plast Cu-BTAH. Že Cotton in Scholes [5] sta leta 1967 iz elementne analize sintetiziranega kompleksa predpostavila, da struktura Cu(I)BTA lahko vsebuje



**Slika 5:** Razmerja intenzitet vrhov XPS, izmerjenih pri različnih  $\theta$ , za bakrene vzorce, potopljene v 3-odstotno raztopino NaCl pri koncentraciji BTAH 10 mM (a in b) in koncentraciji BTAOH 10 mM (c in d)

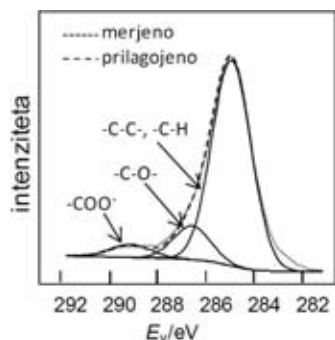


koordinirano vodo. Tommesani in sodelavci [17] so predlagali homogeno disperzirane molekule vode čez celotno plast inhibitorja. Nadalje pa tudi ne moremo izključiti delne oksidacije kompleksa Cu(I)BTA [31]. Tretji razlog za nastanek signala O 1s lahko izhaja iz točkaste adsorpcije inhibitorja in možne oksidacije nepokritih mest bakrene površine [27,32]. Chadwick in Hashemi [27,32] trdita, da je BTAH v sendvični strukturi med plastmi Cu<sub>2</sub>O. To trditev lahko za naš primer zavrzemo, saj razmerje  $I_{O\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$  konstantno pada s  $\theta$  (slika 5b).

V primeru BTAOH opazimo drugačne lastnosti (slika 5c in č). Težnja padanja  $I_{C\ 1s}/I_{N\ 1s}$  je opažena le pri spremembi  $\theta$  od 5° do 45°, vendar spet naraste pri 90°. V nasprotju z BTAH  $I_{O\ 1s}/I_{N\ 1s}$  pada z večanjem  $\theta$ . Iz tega sklepamo, da so atomi kisika orientirani proti površini in atomi dušika proti bakreni podlagi. Ker je hidroksilna skupina del molekule BTAOH, ta funkcionalna skupina verjetno ne sodeluje pri interakcijah kovina-inhibitor. Kot je v primeru BTAH, razmerja  $I_{C\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$  in  $I_{O\ 1s}/I_{Cu\ 2p}$  padajo z večanjem  $\theta$  (razlog je enak). Razmerje  $I_{O\ 1s}/I_{C\ 1s}$  pade od 5° do 20°, pri 20° in 45° je podobno, in ponovno pade pri 90°. To ponovno kaže na to, da so atomi kisika bližje površju in atomi ogljika bližje bakreni podlagi. Iz teh rezultatov teže sklepamo o orientaciji molekul BTAOH. Predvidevamo, da je razporeditev molekul BTAOH manj urejena od molekul BTAH. Pomemben prispevek  $\pi$ -d-interakcij, ki smo ga izključili za BTAH (razloženo zgoraj), v primeru BTAOH ne moremo izključiti.

### 3.2 Profilna XPS-analiza

Podatki, pridobljeni z metodo ARXPS (razloženo zgoraj), so v pomoč pri razlagi plastovitih struktur BTAH in BTAOH, nastalih na bakreni podlagi. Podobne podatke o globinski analizi elementov je mogoče pridobiti z ionskim jedkanjem tankih plasti in hkratno analizo XPS novonastalih plasti. Z namenom potrditve in možnostjo izboljšav razumevanja interakcij BTAH ali BTAOH z bakreno površino, smo uporabil iste

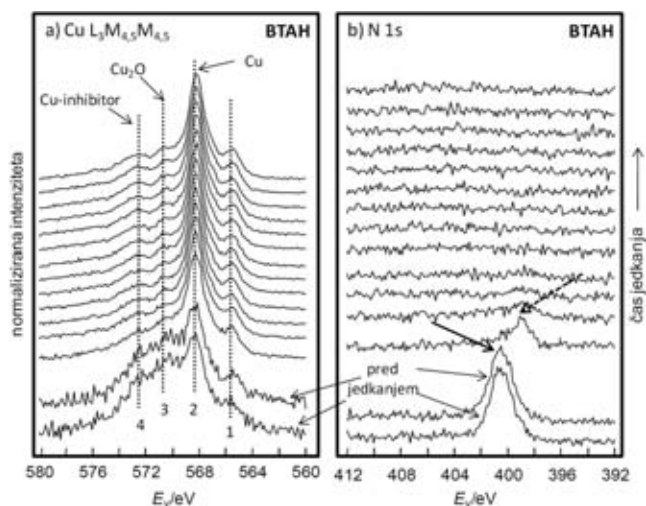


**Slika 6:** Prilaganje vrhov visoko ločljivemu spektru C 1s pri  $\theta = 5^\circ$  za bakren vzorec, potopljen 1 h v 3-odstotno raztopino NaCl pri koncentraciji BTAH 10 mM

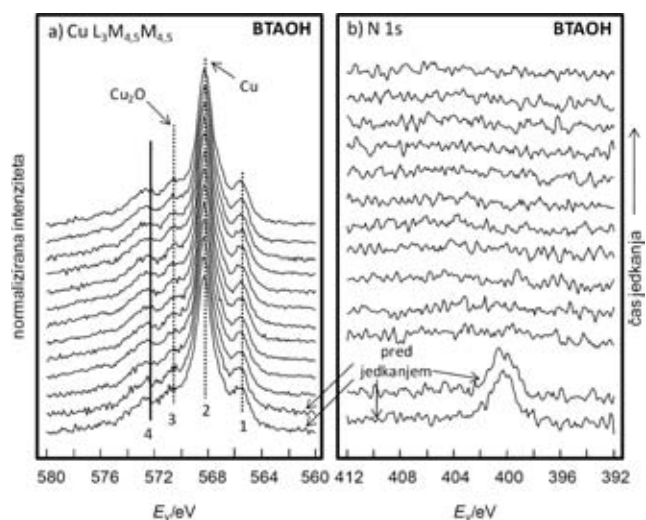
vzorke kot v primeru ARXPS (brez vmesne izpostavitve atmosferi). Treba je vedeti, da je analiza z ionskim jedkanjem destruktivna metoda, pri kateri lahko nastanejo artefakti (prednostno jedkanje določenih elementov, nastanek hrapave površine, modifikacija kemijskih vezi itd.), medtem ko je prednost te metode XPS analiza na večji globini, kot je to mogoče z metodo ARXPS. **Sliki 7 in 8** prikazujeta spektre Cu L<sub>3</sub>M<sub>4,5</sub>M<sub>4,5</sub> in N 1s med ionskim jedkanjem za bakrena vzorca, potopljena v 3-odstotno raztopino NaCl pri koncentraciji BTAH ali BTAOH 10 mM. Na obeh slikah sta prikazana prva dva spektra (najnižji krivulji), izmerjena pred ionskim jedkanjem, to je na površini, s čimer smo tudi preverili ponovljivost meritve. Vsak nadaljnji spekter prikazuje površino po jedkanju 20 s (časovni prikaz spektrov od spodaj navzgor). Hitrost jedkanja je bila izmerjena na kovinskem vzorcu Ni/Cr in je  $\approx 1$  nm/min. Ob predpostavki podobne hitrosti jedkanja se površinska plast baker-inhibitor po 20-sekundnem jedkanju odstrani za 0,3 nm.

Najnižja dva spektra na **sliki 7** prikazujeta tipičen vrh Cu L<sub>3</sub>M<sub>4,5</sub>M<sub>4,5</sub> pri  $\theta = 45^\circ$  za kompleks Cu(I)BTA (razloženo v poglavju kotno ločljive XPS, **slika 4**). Iz podobnih oblik vrhov na obeh spektrih sklepamo, da je nastala plast stabilna pod merilnimi pogoji instrumenta XPS. Tudi prisotnost vrha N 1s dokazuje tvorbo tega kompleksa. Po prvem ciklu jedkanja (tretja krivulja od spodaj navzgor) vrh Cu L<sub>3</sub>M<sub>4,5</sub>M<sub>4,5</sub> spremeni obliko (**slika 7a**) in vrh N 1s se premakne od 400,5 eV proti 398,5 eV (označeno s prekinjeno puščico na **sliki 7b**). Sprememba oblike vrha Cu L<sub>3</sub>M<sub>4,5</sub>M<sub>4,5</sub> nakazuje spremembo okolja Cu(I), ker na površini ni zvrsti Cu(II) (**slika 2**). Ker je ta spekter podoben spektru Cu L<sub>3</sub>M<sub>4,5</sub>M<sub>4,5</sub>, izmerjenemu po koncu jedkanja, za čisti baker, se verjetno kompleks Cu(I)BTA odstrani s površine po prvih 20 s jedkanja. Hkrati pa se vrh N 1s premakne k nižjim  $E_v$ , kar kaže na to, da so na površini dušikove spojine, ki imajo drugačno okolje od dušika v kompleksu Cu(I)BTA. Podoben premik vrha N 1s sta opazila tudi Hashemi in Hogarth [20] glede na čisti BTAH in kompleks Cu(I)BTA. Iz tega sklepamo, da je lahko molekulska oblika BTAH (ni vezan v kompleks) pod oborjenim kompleksom Cu(I)BTA na površini. Ta trditev tudi potrjuje delo Fanga in sodelavcev [33], da je prva kemisorbirana plast na bakreni površini pravzaprav molekulska BTAH. Nadalje, Kester in sodelavci [34] so z metodo SERS (angl. *Surface Enhanced Raman Spectroscopy*) pokazali, da prva plast na bakreni površini ni polimerizirana.

Po drugi strani pa lahko ionsko obstreljevanje privede do razpada organskih zvrsti, pri čemer nastanejo nitridi. Značilna  $E_v$  vrha N 1s za nitride ali oksinitride je približno 398,5 eV [35]. Tako ni nujno, da vrh N 1s po prvem ionskem jedkanju predstavlja



**Slika 7:** Spektri XPS a) vrha Cu  $L_{3}M_{4,5}M_{4,5}$  in b) vrha N 1s, izmerjeni med ionskim jedkanjem na bakrenem vzorcu, izpostavljenem 1 h 3-odstotni raztopini NaCl pri koncentraciji BTAH 10 mM



**Slika 8:** Spektri XPS a) vrha Cu  $L_{3}M_{4,5}M_{4,5}$  in b) vrha N 1s, izmerjeni med ionskim jedkanjem na bakrenem vzorcu, izpostavljenem 1 h 3-odstotni raztopini NaCl pri koncentraciji BTAOH 10 mM

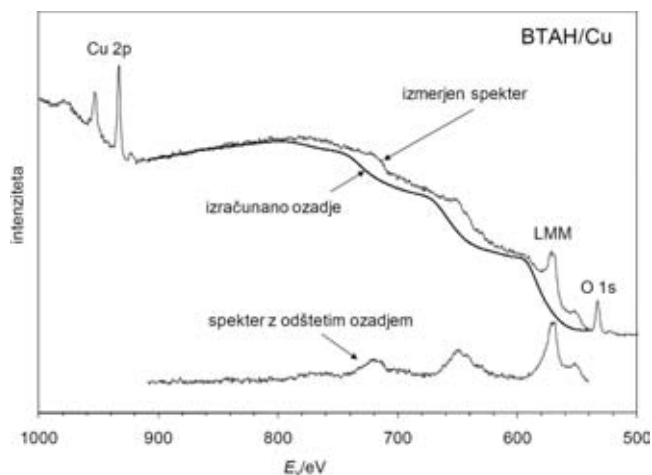
molekulo BTAH. Pravzaprav je nastanek nitridov bolj verjeten. Ker se po dveh ciklih jedkanja plast BTAH popolnoma odstrani, sklepamo, da je njena debelina okrog 0,6 nm, kar pa je manj, kot je bilo izmerjeno s Tougaardovo metodo (razloženo spodaj). Razlog je lahko v tem, da je globina analize pri  $\theta = 45^\circ$  kar velika, s tem pa se zmanjšuje površinska občutljivost in sta signala Cu  $L_{3}M_{4,5}M_{4,5}$  ter N 1s od plasti BTAH po jedkanju 40 s šibka, čeprav je ta plast še vedno na površini. Prav tako pa je referenčni vzorec za oceno hitrosti jedkanja drugačen, zaradi česar lahko tudi nastanejo razlike v hitrosti jedkanja.

Pomembnih sprememb oblike spektra Cu  $L_{3}M_{4,5}M_{4,5}$  med ionskim jedkanjem za primer BTAOH ne opazimo (**slika 8a**). Kot je že bilo prikazano na **sliki 4**, tudi pri tem načinu analize ne pride do pove-

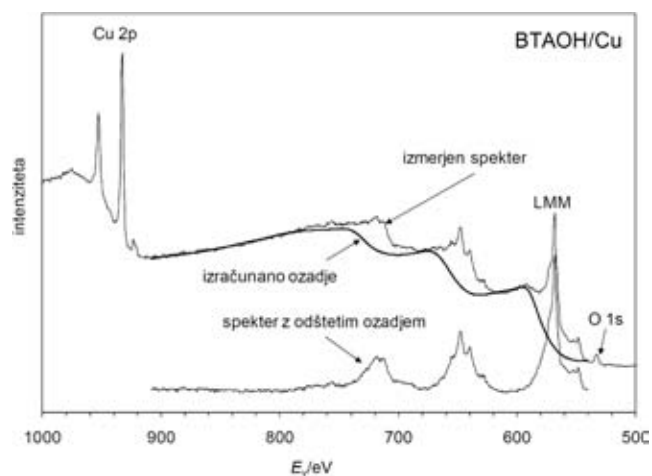
čanja vrha 3 glede na vrh 2. Iz tega sklepamo, da se  $Cu_2O$  ne tvori pod plastjo BTAOH. Prav tako ne opazimo spremembe vrha 4, ki je značilen za interakcijo BTAH s Cu (polna črta na **sliki 8a**). Vendar so molekule BTAOH na površini, ker je vrh N 1s viden pred jedkanjem (**slika 8b**). Kot omenjeno, pri BTAH sta tudi tukaj prva dva spektra (od spodaj navzgor) izmerjena pred jedkanjem. Vrh N 1s po 20 s jedkanja izgine (tretja krivulja), iz česar sklepamo, da je plast BTAOH na površini tanjša kot BTAH. To potrjujejo tudi meritve EQCM, kjer smo pokazali [3], da je sprememba mase na bakreni elektrodi po enurni izpostavitvi večja za raztopine NaCl, vsebujoče BTAH, v primerjavi z BTAOH.

### 3.3 Analiza debeline plasti po metodi Tougaard

Do sedaj še ni bila uporabljena Tougaardova metoda [9,10] za analizo debeline nastalih plasti



**Slika 9:** Analizirani spekter XPS po metodi Tougaard za bakren vzorec, izpostavljen 1 h 3-odstotni raztopini NaCl pri koncentraciji BTAH 10 mM. Ocenjena debelina površinske plasti BTAH je  $(1,5 \pm 0,3)$  nm.



**Slika 10:** Analizirani spekter XPS po metodi Tougaard za bakren vzorec, izpostavljen 1 h 3-odstotni raztopini NaCl pri koncentraciji BTAOH 10 mM. Ocenjena debelina površinske plasti BTAOH je  $(0,5 \pm 0,2)$  nm.

BTAH ali BTAOH. Takšno analizo smo izvedli na preglednih spektrih XPS za BTAH in BTAOH (**slika 1**) in je prikazana na **slikah 9** in **10**. Tougaardova krivulja ozadja se prilega izmerjenemu preglednemu spektru XPS na področju  $E_v$  med 910 eV in 540 eV. Na podlagi spremenjene krivulje ozadja se pridobi podatek o debelini plasti. Za plast BTAH ocenjujemo, da je njena debelina ( $1,5 \pm 0,3$ ) nm in za BTAOH ( $0,5 \pm 0,2$ ) nm. S tem dopolnjujemo delo Lewisa in Foga [36], ki sta debelino plasti BTAH ocenila na 1–3 nm. Prav tako pa je to nov dokaz, ki je skladen s prejšnjimi rezultati (razloženo zgoraj), da je plast BTAH po enourni izpostavitvi približno 3-krat bolj debela kot plast BTAOH.

#### 4 SKLEP

V tem delu je predstavljena analiza površine bakra z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo (XPS) na vzorcu, ki je bil potopljen 1 h v 3-odstotno raztopino NaCl ali pri koncentraciji BTAH ali BTAOH 10 mM. Na površini bakrenih vzorcev po izpostavitvi vsem trem raztopinam ni zvrsti Cu(II). Analiza rentgensko vzbujene Augerjeve strukture Cu  $L_{3,4,5}M_{4,5}$ , izmerjene pri majhnih kotih (glede na površino vzorca), pokaže povečanje značilnega vrha za kompleks Cu(I)BTA. Ta vrh se uporabi za jasno razlikovanje tega kompleksa in  $Cu_2O$ . V primeru raztopine BTAOH značilnega vrha Cu  $L_{3,4,5}M_{4,5}$  ne opazimo. Iz tega sklepamo, da se kompleksi Cu(I)-BTAOH ne tvorijo na površini. Prav tako pa na fazni meji Cu-BTAOH ni plasti  $Cu_2O$ , ki jo opazimo v primeru BTAH. Iz rezultatov kotno ločljive analize XPS lahko sklenemo, da so atomi dušika adsorbiranega BTAH (prosti BTAH ali vezan v kompleks Cu(I)BTA) usmerjeni proti bakreni površini preko triazolne skupine. Ker je signal za kisik konstanten pri vseh kotih analize, sklepamo, da sta kisik ali voda vključena v površinsko plast baker-BTAH. V nasprotju z BTAH so molekule BTAOH v površinski plasti manj urejene. Hidroksilna skupina najverjetneje ne sodeluje pri interakciji baker-inhibitor. Iz globinske analize sklepamo, da obstaja možnost kemisorbirane prve plasti molekul BTAH v prosti obliki (ne vezane v kompleks). Z Tougaardovo metodo analize debelin plasti inhibitorjev ugotavljamo, da se po enourni izpostavitvi tvori 3-krat debelejša plast BTAH ( $1,5 \pm 0,3$  nm) v primerjavi z BTAOH.

#### 5 LITERATURA

- [1] G. Schmitt, *Br. Corros. J.*, 19 (1984), 165–176
- [2] M. Finšgar, I. Milošev, *Vakuumist*, 27 (2007), 16–22
- [3] M. Finšgar, A. Lesar, A. Kokalj, I. Milošev, *Electrochim. Acta*, 53 (2008), 8287–8297
- [4] Procter and Gample, Ltd., British Patent, 652339, December 1947
- [5] J. B. Cotton, I. R. Scholes, *Brit. Corros. J.*, 2 (1967), 1–5
- [6] G. W. Poling, *Corros. Sci.*, 10 (1970), 359–370
- [7] D. A. Shirley, *Phys. Rev. B*, 5 (1972), 4709
- [8] V. K. Kaushik, *Spectrochim. Acta Part B*, 44 (1989), 581–587
- [9] S. Tougaard, *Quantification of Nano-structures by Electron Spectroscopy in Surface Analysis by Auger and X-Ray Photoelectron Spectroscopy*, ur. D. Briggs in J. T. Grant, *Surface Spectra*, IM Publications, str. 295–343, Manchester (2003)
- [10] S. Tougaard, *J. Vac. Sci. Technol.*, A14 (1996), 1415
- [11] C. J. Powell, A. Jablonski, *NIST Electron Inelastic-Mean-Free-Path Database – version 1.1*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (2000)
- [12] P. L. Larson, *J. Electron Spectrosc.*, 4 (1974), 213–218
- [13] R. M. Souto, V. Fox, M. M. Laz, M. Perez, S. Gonzalez, *J. Electroanal. Chem.*, 411 (1996), 161–165
- [14] L. Yin, I. Adler, T. Tsang, Matienzo L. J., S. O. Grim, *Chem. Phys. Lett.*, 24 (1974), 81–84
- [15] N. S. McIntyre, S. Sunder, D. W. Shoesmith, F. W. Stanchell, *J. Vac. Sci. Technol.*, 18 (1981), 714–721
- [16] S. L. Cohen, V. A. Brusica, F. B. Kaufman, G. S. Frankel, S. Motakef, B. Rush, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 8 (1990), 2417–2424
- [17] L. Tommesani, G. Brunoro, A. Frignani, C. Monticelli, M. D. Colle, *Corros. Sci.*, 39 (1997), 1221–1237
- [18] C. D. Wagner, *Faraday Discuss.*, 60 (1975), 291–300
- [19] I. Milošev, H.-H. Strehblow, *J. Electrochem. Soc.*, 150 (2003), B517–B524
- [20] T. Hashemi, C. A. Hogarth, *Electrochim. Acta*, 33 (1988), 1123–1127
- [21] M. Finšgar, S. Fassbender, F. Nicolini, I. Milošev, *Corros. Sci.*, 51 (2009), 525–533
- [22] M. Finšgar, S. Fassbender, S. Hirth, I. Milošev, *Mater. Chem. Phys.*, 116 (2009), 198–206
- [23] J. R. Clifton, J. T. Yoke, *Inorg. Chem.*, 5 (1966), 1630–1632
- [24] M. Finšgar, I. Milošev, B. Pihlar, *Acta Chim. Slov.*, 54 (2007), 591–597
- [25] A. R. Siedle, R. A. Velapoldi, N. Erickson, *Inorg. Nucl. Chem. Letters*, 15 (1979), 33–36
- [26] R. Youda, H. Nishihara, K. Aramaki, *Corros. Sci.*, 28 (1988), 87–96
- [27] D. Chadwick, T. Hashemi, *Corros. Sci.*, 18 (1978), 39–51
- [28] W. Qafsaoui, C. Blanc, N. Pebere, A. Srhiri, G. Mankowski, *J. Appl. Electrochem.*, 30 (2000), 959–966
- [29] W. Qafsaoui, C. Blanc, J. Roques, N. Pebere, A. Srhiri, C. Mijoule, *J. Appl. Electrochem.*, 31, (2001), 223–231
- [30] W. Qafsaoui, C. Blanc, N. Pebere, H. Takenuti, A. Srhiri, G. Mankowski, *Electrochim. Acta*, 47 (2002), 4339–4346
- [31] R. F. Roberts, *J. Electron. Spectrosc.*, 4 (1974), 273–291
- [32] D. Chadwick, T. Hashemi, *J. Electron. Spectrosc.*, 10 (1977), 79–83
- [33] B.-S. Fang, C. G. Olson, D. W. Lynch, *Surf. Sci.*, 176 (1986), 476–490
- [34] J. J. Kester, T. E. Furtak, A. J. Bevol, *J. Electrochem. Soc.*, 129 (1982), 1716–1719
- [35] J. F. Moulder, W. F. Stickle, P. E. Sobol, K. D. Bomben, *Handbook of X-Ray Photoelectron Spectroscopy*, Physical Electronics Inc., Eden Prairie (1995)
- [36] G. Lewis, P. G. Fox, *Corros. Sci.*, 18 (1978), 645–650

# FOTOBIOLOŠKA VARNOST NEKOHERENTNIH OPTIČNIH SEVANJ – DOLOČILA NOVE UREDBE

Marta Klanjšek Gunde

Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, 1001 Ljubljana

STROKOVNI ČLANEK

## POVZETEK

Maja 2010 je začela veljati Uredba o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti umetnim optičnim sevanjem. Ta uredba je uskladitev naše zakonodaje z evropsko (Direktiva 2006/25/EC), ki določa metodologijo za ugotavljanje stopnje ogroženosti zaradi škodljivih učinkov optičnih sevanj na delovnem mestu. Določene so najvišje dopustne vrednosti izpostavljenosti umetnim optičnim sevanjem, obveznosti delodajalca v zvezi z varovanjem zdravja zaposlenih in kazenske določbe. V tem prispevku so podrobneje opisane zahteve za nekoherentna optična sevanja. Takšna sevanja se pogosto uporabljajo pri različnih tehnoloških postopkih in raziskavah.

**Ključne besede:** umetna nekoherentna optična sevanja, fotobio-  
loška varnost, škodljivi učinki optičnih sevanj, funkcije tveganja, mejne vrednosti izpostavljenosti

## Photobiological safety of non-coherent optical radiation – about the new regulation

### ABSTRACT

In May 2010 entered into force the Regulation on the protection of workers from risks related to exposure to artificial optical radiation. It provides the way of determination how to assess the degree of risk to exposure to optical radiation on working places. The largest acceptable exposures to optical radiation are determined, the obligations of employers to protect the health of employees and penalties. In this paper the requirements dedicated to protect against incoherent optical radiation are described in some details. Such radiation is frequently applied in technological processes and in research.

**Keywords:** artificial non-coherent optical radiation, photobiological safety, adverse effects of optical radiation, hazards functions, exposure limits

## 1 UVOD

Evropski parlament in Svet sta 5. aprila 2006 izdala *Direktivo 2006/25/ES* o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah v zvezi z izpostavljenostjo delavcev tveganjem, ki nastanejo zaradi umetnih optičnih sevanj [1]. Gre za enega od štirih fizikalnih dejavnikov tveganja: hrup, vibracije, elektromagnetna polja in optična sevanja. Vlada Republike Slovenije je 29. aprila 2010 sprejela *Uredbo o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti umetnim optičnim sevanjem* [2]. *Uredba* določa mejne vrednosti izpostavljenosti, obveznosti delodajalca in kazenske določbe. Z njo je naša zakonodaja usklajena z direktivo Evropskega parlamenta in Sveta, kar se je zgodilo dva dni po roku, ki ga je zahtevala *Direktiva 2006/25/ES* (14. člen *Direktive*).

Umetna optična sevanja se pogosto uporabljajo pri najrazličnejših postopkih sodobnih tehnologij. Pomembne uporabe so obločni plamen, različni laserji,

svetloba v fotokopirnih strojih in ultravijolična svetloba, ki se uporablja za sterilizacijo, sušenje in utrjevanje polimerov. Pri nekaterih virih se je že do sedaj namenjala velika pozornost zaščiti delavcev pred škodljivimi vplivi premočne svetlobe. Tu gre omeniti zlasti uporabo obločnic in laserjev. Nekoherentni viri optičnih sevanj so se pri tehnoloških postopkih začeli pogosteje uporabljati predvsem v zadnjem času; med njimi razmeroma splošno poznamo le škodljive učinke ultravijolične svetlobe.

Z zaznavanjem učinkov svetlobe oz. optičnih sevanj in vplivom na žive organizme se ukvarja relativno mlada veda, fotobiologija. Med njene začetke lahko štejemo prve meritve izdatnosti eritema (pordečitve) človeške kože v odvisnosti od valovne dolžine ultravijolične svetlobe, ki so bile objavljene že leta 1931 [3]. Precej starejša je fotokemija, ki praviloma obravnava bistveno bolj enostavne kemijske sisteme, njeni izsledki pa so se že dosti pred merjenjem eritema uporabili v fotografskih postopkih. Temelje obeh je postavila fotofizika z raziskavami lastnosti elektromagnetnih sevanj in njihovimi meritvami. Raziskave na področju fotobiologije in fotofizike spadajo v širši okvir biofizike. Izsledki teh ved so skupno z medicinskimi dognanji vodili do razumevanja škodljivih učinkov optičnih sevanj in v znatni meri pomagali pri določanju najvišjih dopustnih izpostavljenosti takim sevanjem [4,5]. *Uredba* upošteva znanstveno dokazana dejstva številnih raziskav učinkov optičnih sevanj na človeško kožo in oči, ki so v strokovnih krogih že nekaj časa priznane kot standard [6].

V tem sestavku so podrobneje razložena določila *Uredbe*, ki se nanašajo na nekoherentne vire optičnih sevanj.

## 2 NEKOHERENTNA OPTIČNA SEVANJA

Optično sevanje je elektromagnetno valovanje z valovnimi dolžinami med 100 nm in 1 mm (0,1–1000  $\mu\text{m}$ ). Delimo ga na ultravijolično (UV), vidno in infrardeče (IR) sevanje. V širšem pomenu besede lahko optična sevanja imenujemo tudi svetloba. Razlog za to je veljavnost osnovnih zakonov geometrijske optike. Vsa nelaserska optična sevanja so nekoherentna.

Fotoni z manjšo valovno dolžino imajo večjo energijo, zato ima sevanje krajših valovnih dolžin lahko večje učinke na tkivo. Vendar je udorna globina valovanja s krajšo valovno dolžino manjša od tiste, do

katere lahko prodre valovanje večjih valovnih dolžin. Te razmeroma preproste zakonitosti zaplete absorpcija v snovi – če vrhnja plast absorbira sevanje, to ne more prodreti globlje ne glede na njegovo valovno dolžino.

**UV-sevanje** ima valovne dolžine med 100 nm in 400 nm. Deli se na tri območja: UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm) in UV-C (100–280 nm). Ta območja so določena glede na biološke učinke. UV-C-sevanje ima zaradi največje energije fotonov največje učinke v snovi. V naravnem okolju ni UV-C-sevanja, saj ga absorbira ozonska plast v ozračju, tako da pri normalni debelini ozonske plasti ne prodre do površja Zemlje. UV-B-sevanje je biološko aktivno, vendar ne prodre v globlje plasti kože. Odgovorno je za pordečitev in staranje človeške kože, kar pospešuje nastanek kožnega raka. UV-A-sevanje prodre v globlje plasti kože, vendar je biološko razmeroma neaktivno, saj naj ne bi povzročalo nepovratnih sprememb. Delitev na UV-C, UV-B in UV-A je razmeroma stara, vendar je splošno sprejeta [4–7]. Uvedli so jo v prvi polovici prejšnjega stoletja v skladu s takrat znanimi učinki na človeško tkivo. Kasnejše raziskave so pokazale še druge lastnosti UV-sevanja, vendar takrat že uveljavljenih meja niso več spreminjali. Največ podrobnosti se je pokazalo pri UV-A-območju. Novejša spoznanja kažejo, da je kratkovalovni del UV-A-sevanja pomemben dejavnik pri poškodbah DNA.

**Vidno sevanje** (vidna svetloba) je elektromagnetno valovanje z valovnimi dolžinami med 380 nm in 780 nm. To so valovne dolžine svetlobe, ki jo v idealnih razmerah še lahko zazna zdravo, mlado človeško oko. Navadno se uporablja ožje območje od 400 nm do 700 nm.

**IR-sevanje** ima valovne dolžine med 780 nm in 1 mm. Glede na absorpcijo v človeških tkivih se deli na tri območja, IR-A (780–1400 nm), IR-B (1400–3000 nm) in IR-C (od 3000 nm do 1 mm). Ključno vlogo pri tej delitvi ima absorpcija v roženici in leči človeškega očesa. Roženica prepušča skoraj celotno sevanje IR-A-območja, zato ta lahko pade na lečo, kjer se delno absorbira in razmeroma dobro fokusira v rumeni pegi na mrežnici. Večino IR-B-sevanja absorbira roženica, preostanek pa očesna tekočina in leča, zato ne pride do mrežnice. IR-C-sevanje se v celoti absorbira na roženici, zato ne pade na lečo. IR-A-sevanje torej lahko prodre do mrežnice, IR-B do leče, IR-C pa ne more prodreti v notranjost očesa. Taka delitev IR-sevanja pa se ne ujema s spektroskopsko delitvijo na bližnje (NIR), srednje (MIR) in daljne (FIR) IR-sevanje, kjer so upoštevani tipični mehanizmi nihanj, ki jih sproži infrardeče valovanje: nihanja funkcionalnih skupin, območje »prstnega odtisa« organskih molekul ter območje nihanja skupin s težkimi atomi in mrežnih nihanj.

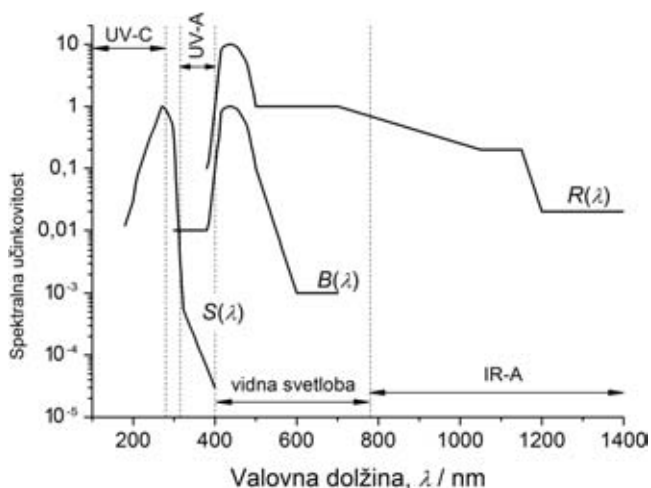
### 3 ŠKODLJIVI UČINKI OPTIČNIH SEVANJ

Večina učinkov optičnih sevanj se začne s fotokemijsko reakcijo, kjer absorbirani fotoni povzročijo kemijsko spremembo snovi. Tako nastala spremenjena snov nato sproži množico bioloških sprememb, katerih podrobnosti v večini primerov še niso podrobno raziskane. Biološke spremembe živega tkiva se le izjemoma v celoti regenerirajo – sčasoma se pokažejo nepovratne poškodbe oči in kože. Raziskave kažejo, da se škodljive posledice večkratne osvetlitve praviloma seštevajo. Poškodbe očesa z vidno svetlobo so razmeroma redke, saj se oko pred njimi dokaj učinkovito brani tako, da se zaprejo veke. Žal pa se ta obrambni mehanizem pri nevidni svetlobi (UV, IR) ne sproži. Take potrebe v naravnem okolju praktično ni, saj vsa pomembna nekoherentna sevanja v naravi vsebujejo tudi vidno svetlobo.

Funkcija ki pove, kako velika je možnost, da sevanje z valovno dolžino v določenem spektralnem intervalu sproži določeno reakcijo (poškodbo) v snovi, imenujemo akcijski spekter. Akcijski spektri za mnogo reakcij na koži in drugih tkivih so predmet številnih raziskav fotobiologov. Podatki več neodvisnih laboratorijev se za posamezne akcijske spektre med seboj razmeroma dobro ujemajo. Resnici na ljubo je večina, zlasti novjših akcijskih spektrov izmerjena pri zajcih in opicah. Podatki za človeka so redki, zato se strokovnjaki pogosto opirajo tudi na posredne epidemiološke podatke in na analogne podatke meritev pri živalih. V zadnjem času potekajo intenzivne fotobiološke raziskave tudi na tkivih drugih organizmov, zelo pogosto na rastlinah. Fotokemija preučuje akcijske spektre na neživih organskih in neorganskih snoveh. Te raziskave obetajo tudi veliko novih načinov uporabe nekoherentne svetlobe v medicini, biologiji in v tehnološke namene.

Zbiranje in urejanje eksperimentalnih podatkov o učinkih nekoherentnih optičnih sevanj je opravila CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*), mednarodna neprofitna strokovna organizacija, ki se ukvarja z različnimi vidiki svetlobe in razsvetljave, barvami in barvnimi prostori, s slikovnimi tehnologijami in z biološkimi vplivi nevidne svetlobe. Ta organizacija pripravlja tudi mednarodne standarde in tehnična priporočila. Škodljivi učinki nekoherentnih optičnih sevanj, ki jih obravnava *Uredba*, se neposredno vežejo na CIE-standard [6].

Škodljive učinke nekoherentnih optičnih sevanj opisujejo tri spektralno odvisne funkcije,  $S(\lambda)$ ,  $B(\lambda)$  in  $R(\lambda)$  (slika 1). Te podajajo tveganje, da sevanje z določeno  $\lambda$  v tkivu povzroči škodljive učinke. *Uredba* jih imenuje spektralno ponderiranje (*spectral weighting functions*).



**Slika 1:** Funkcije tveganja za nekoherentne vire optičnih sevanj: za UV-sevanje –  $S(\lambda)$ , za vidno svetlobo –  $B(\lambda)$  ter za vidno svetlobo in IR-A-sevanje –  $R(\lambda)$  [1,2,6]

$S(\lambda)$ , funkcija UV-tveganja (*actinic UV hazard function*), opisuje učinkovitost UV-sevanja za proženje poškodb oči in kože. Določena je v intervalu 180–400 nm, vrh ima pri 270 nm, pri  $\lambda \geq 321$  nm pa pade pod 0,01. Biološki učinki, ki jih zajema  $S(\lambda)$ , so fotokeratitis, UV-katarakta in eritem. Fotokeratitis je vnetje roženice, ki ga poznamo kot »snežna slepota«. Katarakta je zamotnitev leče v očesu, t. i. siva mrena. UV-katarakto povzroča UV-svetloba. Eritem je pordečitev človeške kože. Akcijski spekter za nastanek eritema človeške kože je bil eden prvih znanih akcijskih spektrov [3]. Simptomi za fotokeratitis in eritem se pojavijo od 4 h do 12 h po osvetlitvi in navadno izginejo po nekaj dneh, odvisno od razlike med izpostavljenostjo in reakcijskim pragom posameznika. Škodljivi učinki UV-sevanja, ki jih zajema  $S(\lambda)$ , se lahko pojavijo kot posledica osvetlitve z večino UV-svetilk, ki se uporabljajo za razkuževanje, z živosrebrovimi sijalkami ter s ksenonovimi obločnicami.

$B(\lambda)$  je funkcija škodljivih učinkov modre svetlobe (*blue-light hazard function*). Zajema fotokemijsko povzročene poškodbe mrežnice, ki jih v največji meri povzroča modra svetloba z valovnimi dolžinami med 400 nm in 500 nm. Med najbolj poznanimi je fotoretinitis, poškodba mrežnice, povzročena z modro svetlobo. Ta poškodba prevladuje nad termično vzbujenim mehanizmom podobne poškodbe, kadar je čas osvetlitve daljši od 10 s. Funkcija  $B(\lambda)$  je določena s spektralnim intervalom 300–700 nm in ima vrh pri 445 nm. Gre za fotokemijsko sprožene biološke reakcije, ki potekajo v epiteliju mrežnice. Nekaj sprememb tkiva se po določenem času regenerira, večina pa je nepovratnih. Močan fotoretinitis pa se zgodi, če daljnogled usmerimo v sonce. V takem primeru je naravni obrambni mehanizem prepočasen, količina sevanja, ki se pred zaprtjem vek fokusira na

mrežnico pa izdatno presega mejno vrednost za poškodbo.

$R(\lambda)$  podaja spektralno odvisnost poškodb oči zaradi termičnih vplivov, ki so posledica sevanja vidne svetlobe in IR-A-sevanja (*burn hazard function*). Določena je za valovne dolžine med 380 nm in 1400 nm in upošteva skupni učinek infrardeče katarakte, pa tudi različnih termičnih poškodb mrežnice, tudi fotoretinitisa. IR-katarakta je očesna mrena (siva mrena), ki je poznana tudi kot siva mrena industrijskih kurjačev in steklopihačev. Nastane zaradi delne absorpcije IR-A-sevanja v leči, kjer se sevanje pretvori v toploto. Možen vzrok za IR-katarakto je tudi prenos toplote s prevajanjem iz šarenice, ki absorbira večino vpadnega IR-A-sevanja. Akcijski spekter za IR-katarakto je poznan pri zajcih, za ljudi pa so znani le epidemiološki podatki. IR-katarakta se pojavi po nekaj letih izpostavljenosti močnemu IR-A-sevanju. Sevalno povzročene termične poškodbe mrežnice, ki nastanejo pri krajših osvetlitvah (manj kot 10 s) s svetlobo valovne dolžine nad 700 nm, se pojavijo praktično takoj po osvetlitvi. Te poškodbe se pojavljajo kot slepa pega na območju mrežnice, kamor se je preslikalo svetilo. Izguba vida se lahko delno povrne, vendar šele v nekaj tednih po osvetlitvi.

## 4 DOLOČILA UREDBE

*Uredba* določa minimalne standarde za preprečevanje poškodb kože in oči zaradi umetnih optičnih sevanj, mejne vrednosti izpostavljenosti tem sevanjem, obveznosti delodajalcev in kazenske določbe. Mejne vrednosti izpostavljenosti so postavljene tako, da pri večini oseb kljub ponavljajoči se izpostavljenosti ni pričakovati škodljivih učinkov na koži in v očeh. Te mere pa ne veljajo za svetlobno preobčutljive osebe in tiste, ki so pod vplivom fotosenzibilizatorjev [6]. *Uredba* ne obravnava škodljivih učinkov sončne svetlobe, zato ne omejuje dela na prostem.

### 4.1 Mejne vrednosti za nekoherentna optična sevanja

Vrednosti izpostavljenosti nekoherentnemu viru sevanja pri danih pogojih izračunamo iz dveh radiometrično izmerjenih podatkov: sevnosti vira ( $L$ ) in obsevanosti površine ( $E$ ). Tisti, ki se ukvarjajo z vidno svetlobo, najpogosteje uporabljajo fotometrijo in govorijo o svetlosti vira ( $L_v$ ) ter osvetljenosti površine ( $E_v$ ), kjer indeks »v« označuje, da gre za vidno svetlobo. V fotometriji se praviloma uporablja fiziološko merilo, ki temelji na spektralni občutljivosti očesa za vidno svetlobo. Veličine, ki so izražene v fiziološkem merilu (kandela, lux, lumen), niso uporabne za izračun mejnih izpostavljenosti škodljivim učinkom svetlobe. Za te učinke je pomembna svetloba vseh valovnih dolžin, občutljivost tkiva pa je podana s

funkcijo tveganja oz. akcijskim spektrom za konkretno reakcijo. Občutljivost očesa za vidno svetlobo je pravzaprav akcijski spekter za vidno zaznavanje v svetlobnih receptorjih v mrežnici.

Nekoherentna svetila so v večini primerov razsežna, to so netočkasta svetila. Spektralna odvisnost sevnosti takega vira ( $L_\lambda$ ) podaja spektralno gostoto toka, ki ga oddaja vir. Določena je z:

$$L_\lambda = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega \cdot d\lambda} \quad (1)$$

kjer je  $d\Phi(\lambda)$  sevalni tok v intervalu  $d\lambda$ , ki pade na ploskev  $dA$  pod vpadnim kotom  $\theta$  pri prostorskem kotu  $d\Omega$ . Spektralni sevalni tok  $\Phi$  je podan v W/nm, spektralna sevnost vira pa v W/(m<sup>2</sup> nm sr). Spektralna obsevanost ( $E_\lambda$ ) izbrane ploskve je določena s sevalnim tokom  $d\Phi(\lambda)$ , ki pade na površino  $dA$  v spektralnem intervalu  $d\lambda$ :

$$E_\lambda = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot d\lambda} \quad (2)$$

Spektralna obsevanost je podana v W/(m<sup>2</sup> nm). Ta podatek navadno izmerimo, spektralno sevnost vira ( $L_\lambda$ ) pa lahko izračunamo iz:

$$E_\lambda = L_\lambda \cdot \Omega \quad (3)$$

kjer je  $\Omega$  prostorski kot (zorni kot) merjenja.

Zaradi enostavnosti ocenjevanja stopnje škodljivih učinkov sevanja na izbranem mestu izmerimo le

največjo spektralno obsevanost in predpostavimo, da se s časom ne menja. Tako dobimo zgornjo mejo največjih možnih učinkov sevanja.

Izpostavljenost sevanju ( $H$ ) je določena z integralom spektralne obsevanosti po trajanju obsevanja in po valovni dolžini v intervalu, ki velja za izbrani škodljivi učinek sevanja:

$$H_{\lambda_1\lambda_2} = \int_0^t dt \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda(\lambda, t) \cdot d\lambda \quad (4)$$

Efektivna izpostavljenost sevanju upošteva tudi funkcijo tveganja za izbrani škodljivi učinek, oz. za t. i. spektralno ponderiranje, ki opisuje pripadajoči zdravstveni vpliv. Tako je efektivna izpostavljenost UV-sevanju:

$$H_{\text{eff,UV}} = \int_0^t dt \cdot \int_{180}^{400} E_\lambda(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \quad (5)$$

kjer je uporabljena funkcija tveganja za UV-sevanje. Efektivna izpostavljenost sevanju je podana v J/m<sup>2</sup>.

Uredba določa tudi največje efektivne sevnosti in obsevanosti, ki jih sme povzročati biološko varen sevalni vir. Te izračunamo tako, da spektralno sevnost vira in spektralno obsevanost, ki jo povzroča, utežimo z ustrežno funkcijo in integriramo v izbranem spektralnem intervalu. Efektivno sevnost vira za modro svetlobo izračunamo s funkcijo  $B(\lambda)$ :

$$L_B = \int_{300}^{700} L_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (6)$$

**Tabela 1:** Mejne vrednosti izpostavljenosti, sevnosti in obsevanosti sevalnemu viru za različne dele spektra, kot jih določa Uredba [1,2]

opis	izračun	mejna vrednost	opomba
efektivna izpostavljenost UV-sevanju	$H_{\text{eff}} = \int_0^{8\text{h}} dt \cdot \int_{180}^{400} E_\lambda(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda$	30 J/m <sup>2</sup>	največja dopustna dnevna vrednost
izpostavljenost UV-A-sevanju	$H_{\text{UV-A}} = \int_0^{8\text{h}} dt \cdot \int_{315}^{400} E_\lambda(\lambda, t) \cdot d\lambda$	10 <sup>4</sup> J/m <sup>2</sup>	največja dopustna dnevna vrednost
efektivna sevnost za modro svetlobo	$L_B = \int_{300}^{700} L_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	10 <sup>6</sup> /t W/(m <sup>2</sup> sr); (t ≤ 10 000 s) 100 W/(m <sup>2</sup> sr); (t > 10 000 s)	pri zornem kotu α ≥ 11 mrad
efektivna obsevanost za modro svetlobo	$E_B = \int_{300}^{700} E_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	100/t W/m <sup>2</sup> ; (t ≤ 10 000 s) 0,01 W/m <sup>2</sup> ; (t > 10 000 s)	pri zornem kotu α ≥ 11 mrad; za primer oftalmoloških opazovanj ali stabiliziranega očesa med anestezijo
efektivna sevnost za vidno svetlobo in IR-A-sevanje	$L_R = \int_{380}^{1400} L_\lambda(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$	2,8 · 10 <sup>7</sup> /C <sub>α</sub> W/(m <sup>2</sup> sr); (t > 10 s) 5 · 10 <sup>7</sup> /C <sub>α</sub> · t <sup>0,25</sup> W/(m <sup>2</sup> sr); (10 μs < t < 10 s) 8,89 · 10 <sup>8</sup> /C <sub>α</sub> W/(m <sup>2</sup> sr); (t < 10 μs)	$C_\alpha = \begin{cases} 1,7 \Leftrightarrow \alpha \leq 1,7\text{mrad} \\ \alpha \Leftrightarrow 1,7 \leq \alpha \leq 100\text{mrad} \\ 100 \Leftrightarrow \alpha > 100\text{mrad} \end{cases}$
efektivna sevnost za IR-A-sevanje	$L_R = \int_{780}^{1400} L_\lambda(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$	6 · 10 <sup>6</sup> /C <sub>α</sub> W/(m <sup>2</sup> sr); (t > 10 s) 5 · 10 <sup>7</sup> /C <sub>α</sub> · t <sup>0,25</sup> W/(m <sup>2</sup> sr); (10 μs < t < 10 s) 8,89 · 10 <sup>8</sup> /C <sub>α</sub> W/(m <sup>2</sup> sr); (t < 10 μs)	$C_\alpha = \begin{cases} 11 \Leftrightarrow \alpha \leq 11\text{mrad} \\ \alpha \Leftrightarrow 11 \leq \alpha \leq 100\text{mrad} \\ 100 \Leftrightarrow \alpha > 100\text{mrad} \end{cases}$
celotna obsevanost za IR-A- in IR-B-sevanje	$E_{\text{IR}} = \int_{780}^{3000} E_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda$	18 000/t <sup>0,75</sup> W/m <sup>2</sup> ; (t ≤ 1000 s) 100 W/m <sup>2</sup> ; (t > 1000 s)	
izpostavljenost kože za vidno, IR-A- in IR-B-sevanje v času t	$H_{\text{koža}} = \int_0^t dt \cdot \int_{380}^{3000} E_\lambda(\lambda, t) \cdot d\lambda$	20 000 · t <sup>0,25</sup> J/m <sup>2</sup> ; (t < 10 s)	

efektivno obsevanost za modro svetlobo pa:

$$E_B = \int_{300}^{700} E_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (7)$$

Mejne vrednosti izpostavljenosti, sevnosti in obsevanosti, kot jih določa *Uredba*, so podane v **tabeli 1**.

#### 4.2 Obveznosti delodajalcev

Delodajalec mora ugotoviti izpostavljenost delavcev optičnim sevanjem in oceniti tveganje za njihovo zdravje pri delu. Za to je treba izmeriti in izračunati ravni izpostavljenosti umetnim optičnim sevanjem. Če so te previsoke, je treba izvesti ustrezne ukrepe za zmanjšanje izpostavljenosti.

Delodajalec mora izdelati oceno tveganj v skladu z določili *Uredbe*. Pri tem je treba paziti tudi na posebno občutljive skupine delavcev, pri čemer se upošteva strokovna ocena pooblaščenega zdravnika. Pozorno je treba ovrednotiti tudi medsebojne učinke optičnih sevanj in za svetlobo občutljivih kemikalij na delovnem mestu, posredne vplive optičnih sevanj ter možnost sočasne izpostavljenosti več sevalnim virom.

Delodajalec mora zagotoviti zmanjšanje tveganj zaradi umetnih optičnih sevanj na najnižjo možno raven pri samem viru sevanja. Če obstaja možnost, da bi bile mejne vrednosti presežene, je treba uporabiti druge delovne postopke, izbrati drugačno delovno opremo, uporabiti ustrezna zaščitna sredstva ali omejiti trajanje izpostavljenosti, tako da se izpostavljenost ustrezno zmanjša. Delovna mesta, kjer bi bili delavci lahko izpostavljeni optičnim sevanjem, ki presegajo mejne vrednosti, je treba ustrezno označiti in omejiti dostop do njih.

Delodajalec mora delavce, ki so pri delu lahko izpostavljeni tveganjem zaradi umetnih optičnih sevanj, ustrezno usposobiti za delo v takih razmerah. Takim delavcem je treba zagotoviti ustrezne zdravstvene preglede. Posebni postopki so predvideni tudi za primer ugotovljenega škodljivega vpliva optičnih sevanj na zdravje.

#### 4.3 Kazenske določbe

*Uredba* določa tudi globe za kršenja njenih določil. Za odgovorno osebo delodajalca je predvidena globa od 800 € do 4000 €, za delodajalca pa od 2000 € do 40 000 €.

## 5 SKLEP

*Uredba* zapolnjuje pomembno vrzel na področju varovanja zdravja pri delu. Verjetno je najpomembnejše, da uvaja natančno določena merila za ugotavljanje stopnje ogroženosti, ta pa temeljijo na številnih raziskavah, o njih pa je bil dosežen širok mednarodni konsenz.

*Uredba* velja za delo v zaprtih prostorih in ne obravnava učinka naravnih optičnih sevanj (sončne svetlobe). Vendar je izračun dopustnih nivojev obsevanosti ustrezen tudi za sevanje v naravnem okolju. Tako lahko ocenimo, kako velikemu tveganju smo izpostavljeni na prostem in kako se moramo zavarovati pred morebitnimi škodljivimi učinki.

*Uredba* je začela veljati 15. maja 2010 in je usklajena z zahtevami Direktive 2006/25/EC Evropskega parlamenta in Sveta. Roki za pridobitev podatkov o ravneh izpostavljenosti umetnim optičnim sevanjem na posameznih delovnih mestih in za izdelavo pripadajoče ocene tveganj niso določeni.

Direktiva 2006/25/EC tudi določa, da je mogoče za oceno izpostavljenosti uporabiti podatke proizvajalca opreme, če ti ustrezajo določilom Direktive. Podatke o količini sevanja so začeli proizvajalci podajati šele v zadnjem času. Zato je upravičeno pričakovati, da bo treba sevanje vseh sedanjih aparatov, ki sevajo v prostor, kjer so delavci, ustrezno izmeriti, oceniti nivo ogroženosti in pripraviti oceno tveganj.

## 6 LITERATURA

- [1] Direktiva 2006/25/EC Evropskega parlamenta in Sveta z dne 5. aprila 2006 o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah v zvezi z izpostavljenostjo delavcev tveganjem, ki nastanejo zaradi fizikalnih dejavnikov (umetnih optičnih sevanj) (19. posebna direktiva v smislu člena 16(1) Direktive 89/391/EGS), Uradni list Evropske Unije L 114/38, 27. 4. 2006
- [2] Uredba o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti umetnim optičnim sevanjem, Uradni list Republike Slovenije št. 34/2101 z dne 30. 4. 2010, str. 4892
- [3] W. W. Coblenz, R. Stair, J. M. Hogue, *Proc. Nat. Acad. Sci. U. S.*, 17 (1931), June, 401–403
- [4] CIE collection in photobiology and photochemistry, ASBN 3 900 7434 94 1. CIE 134:1999, Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage, 1999
- [5] Erythema reference action spectrum and standard erythema dose, CIE standard CIE S 007/E-1998, ISO 17166:1999(E). Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage
- [6] Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems, CIE S 009/E:2002/IEC 62471:2006, Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage, 2002
- [7] M. Klanjšek Gunde, *Naravoslovna solnica*, 12 (2008) 2, 6–10



# VAKUUM LJUBLJANSKIH FRANČIŠKANOV

Stanislav Južnič

Univerza v Oklahomi, Oddelek za zgodovino znanosti, Norman, Oklahoma, ZDA

ZNANSTVENI ČLANEK

## POVZETEK

Opisane so knjige in rokopisi o vakuumskih tehnikah, ki jih hranijo ljubljanski frančiškani. Povzeti so zgodnji dvomi o obstoju vakuuma pri Aristotelu naklonjenih zagovornikov frančiškana Skota. Posebna pozornost je namenjena frančiškanskim skicam vakuumskih poskusov, še posebej tistim, namenjenim dijakom zunaj frančiškanskega reda, ki so obiskovali novomeške frančiškanske višje študije.

**Ključne besede:** Teofil Zinsmeister, zgodovina vakuumskih tehnik, ljubljanski in novomeški frančiškani

## Vacuum of Ljubljana Franciscans

### ABSTRACT

The books and manuscripts on vacuum techniques kept in the Ljubljana Franciscan seminary were put in the limelight. The Franciscans' early doubts in real existence of vacuum inside Aristotelian and the Franciscan Scot's doctrines were put forward. A special concern was put on Franciscan own drawing of the vacuum experiments used in pedagogical process with Franciscans' high school lay students in Novo mesto.

**Keywords:** Teofil Zinsmeister, history of vacuum techniques, Ljubljana and Novo mesto Franciscans.

## 1 UVOD

Ljubljanski frančiškani so že domala osem stoletij značilnost mesta; najprej na prostorih sedaj močno prekopane tržnice, že več kot dvesto let pa onstran Ljubljanice na trgu sv. Marije, ki jo je v novejšem času nadomestil Prešeren. Piscu pričujočih vrstic se je po dolgoletnih prizadevanjih vendarle posrečilo pregledati tamkajšnje knjižne zaklade in tako prodreti v duha nekdanjega frančiškanskega snovanja. Kakšno je bilo frančiškansko mnenje o zgodnjih vakuumskih tehnikah glede na to, da je prvi kranjski vakuumist knez Janez Vajkard Turjaški pokopan prav na prostorih nekdanjega frančiškanskega samostana na Vodnikovem trgu in bodo njegove kosti kmalu služile za okras novim ljubljanskim garažam?

## 2 BAVAREC ZINSMEISTER POUČUJE LJUBLJANČANE IN NOVOMEŠČANE O VAKUUMSKIH POSKUSIH

Žiga Škerpin je močno pomnožil frančiškanske knjižne zaklade, mimo tega pa je na Trsatu nad hrvaško Reko sestavil učbenik Aristotelove fizike z opisi vakuuma, ki ga danes hranijo v Ljubljani.

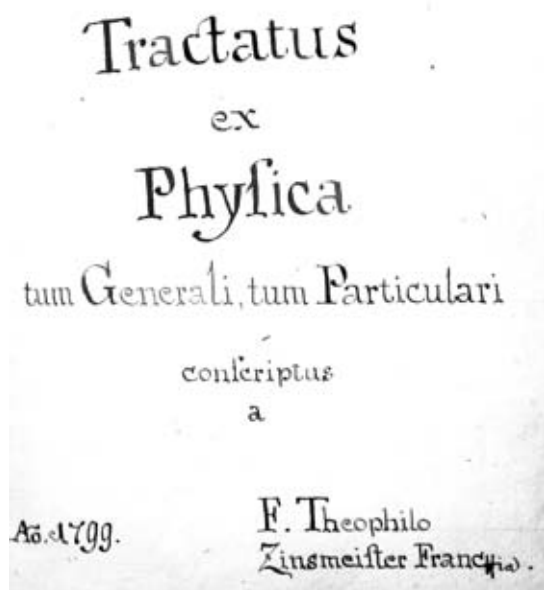
Nekoč so študentje kar radi uporabljali profesorjeva skripta ob pripravah za izpit. Seveda v 18. stoletju profesorji svojih umotvorov nadobudnim študentom še niso pošiljali kot prilonke k elektronskim sporočilom,



Slika 1: Naslovna stran Škerpinovih opomb k prvi Aristotelovi knjigi fizike (Škerpin, 1714, 1)



Slika 2: Sedma stran Škerpinovih opomb k prvi Aristotelovi knjigi fizike (Škerpin, 1714, 1)



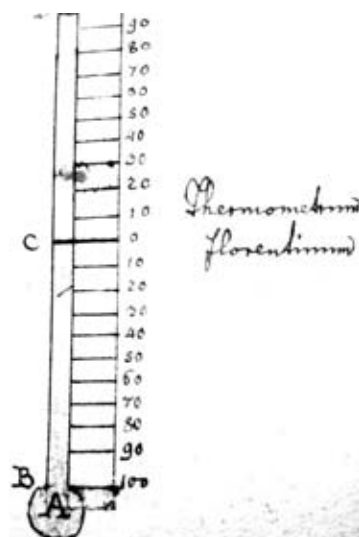
Slika 3: Naslovna stran Zinsmeisterjevega učbenika (Zinsmeister, 1799)

saj s svetovnim spletom še niso ubijali mladih glav; dejansko ni bilo na voljo niti dovolj dobrih kopirnih strojev. Komaj verjetno, vendar je res: najraje so uporabljali kar profesorjeve rokopise; najlepše v ljubljanski frančiškanski zbirki je leta 1799 sestavil Bavarec Teofil Zinsmeister, ki je pozneje med letoma 1803–1816 poučeval matematiko in grščino na novo-meških višjih študijih.

Zinsmeisterjev ljubljanski rokopis obsega 169 strani posebne fizike (*physica particularis*) in za njo še 173 strani splošne fizike (*physica generalis*), čeprav je bil nasprotni vrstni red veliko običajnejši. Zelo lepe nazorne slike je Zinsmeister postavil vmes med besedilom. Začetek rokopisa ima takoj poglavje o naravi preprostega ognja (*de natura ignis elementaris*) s poskusnim prehajanjem svetlobe skozi steklo, kristale in zrak, kar je morda nekoliko nenavadno; seveda je Zinsmeister o ognju pisal še pozneje. Posebej je skiciral florentinski termometer, navedel pa je tudi dosežke Drebelli, Daniela Fahrnheita in Réaumurja.

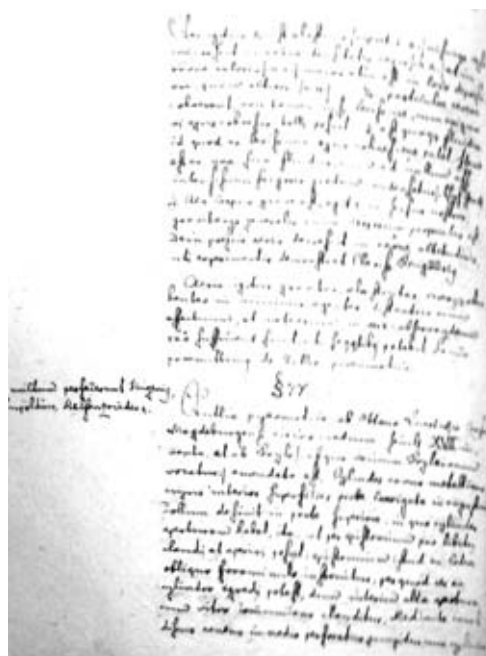
Razmeroma na kratko na 14 straneh je v dvanajstih poglavjih odpravil elektriko brez kakršnih koli skic. Zanimal ga je električni kolovrat, imenovan *machina electrica*. Opisal je električnost ognja, glede elektrike v steklu in kovinah pa je prisegal na Benjamina Franklina. Delal je poskuse z elektriko v naravi, žal pa jih ni narisal. Posebej je obravnaval strelvod tudi pod nemškimi nazivom *Wetterableiter* in navajal predvsem pisanje Xaverija Eppa o magnetizmu elektrike, prav tako pa Paul Makovo mnenje o elektriki Zemlje.<sup>1</sup> Epp in ogrski jezuit Mako sta bila naravnost priljubljena v Ljubljani, saj je Jurij Vega uporabil Makovo knjigo o

<sup>1</sup> Zinsmeister, 1799, 1: 3, 19–21, 61, 67, 71–72.



Slika 4: Zinsmeisterjeva skica termometra (Zinsmeister, 1799, 1: 19)

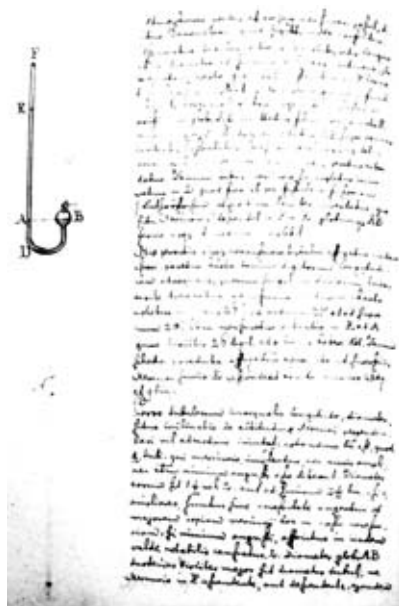
strelvodih za privez k vprašanju pri svojem končnem izpitu. Franz Xaver Epp je leta 1773 objavil šolarjem namenjeno razpravo v Münchnu, ki jo je nabavil Žiga Zois. Epp je 146 strani svoje knjige razdelil v 111 poglavij o umetni in naravni elektriki, nato pa je dodal še filozofske in metafizične izpitne teze. Na treh tablah je razvrstil 14 slik, med njimi leidensko steklenico, strelvode in nevarne poskuse z elektriko; skliceval se je predvsem na dunajske stro-



Slika 5: Zinsmeisterjev opis Boyleove antiair pneumatica in Guericke-Turjačanovih magdeburških polkrogel, ki jim je kasneje ob strani dodal še omembo pariškega akademika Nizozemca Christiaana Huygensa in drugih vakuumistov (Zinsmeister, 1799, 1: 76)



Slika 6: Zinsmeisterjeva skica barometra (Zinsmeister, 1799, 1: 77)



Slika 7: Zinsmeisterjeva skica vakuuma nad živim srebrom in v okroglem rezervoarju za živo srebro (Zinsmeister, 1799, 1: 78)

kovnjake,<sup>2</sup> ni pa omenil Imhofovega uvajanja strelododov na Bavarskem. Pri pojavih ognja v ozračju se je vseskozi skliceval na Musschenbroeka.

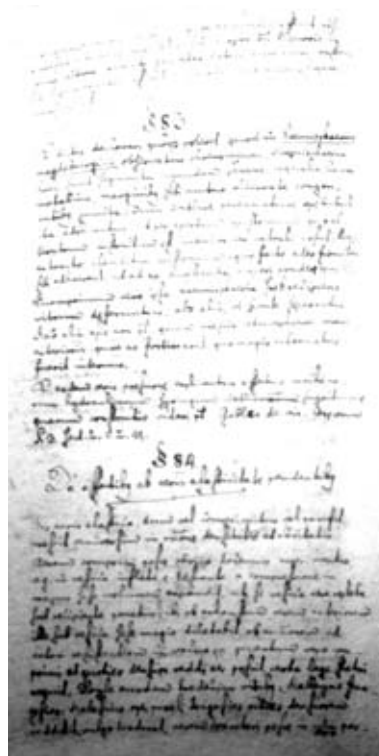
V poglavju o zraku se je opiral na Bouguerovo odkritje odvisnosti tlaka od zemljepisne širine. Navedel je Guerickejevo in Boylovo preizkušanje vakuuma s celostranskim opisom kovinskih valjev in recipientov, ob strani pa je pozneje dodal še omembo

<sup>2</sup> Epp, 1773, fig. 3, 120 (fig. 13), 136, 137 (fig. 14).

<sup>3</sup> Zinsmeister, 1799, 1: 73–74, 76, 77 (fig. 25), 78 (fig. 25 (sic!)).

<sup>4</sup> Zinsmeister, 1799, 2: 31–32, 1: 83–86.

<sup>5</sup> Zinsmeister, 1799, 2: 14, 16 (fig. 1), 20, 23 (fig. 2), 28, 29 (fig. 3).



Slika 8: Zinsmeisterjev opis magdeburških polkrogel (Zinsmeister, 1799, 1: 83)

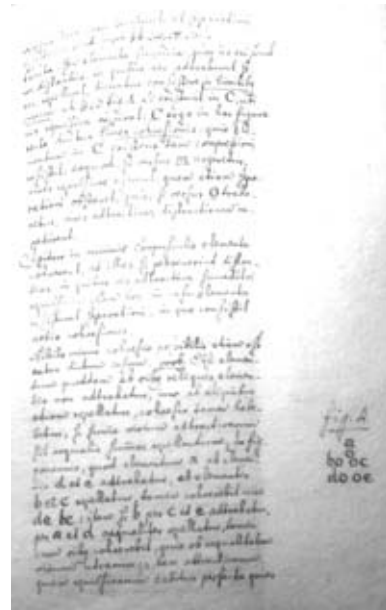
Huygensa, Nolleta in dopisnega člana berlinske akademije Jakoba Leupolda. Dodal je uporabni skici barometra,<sup>3</sup> vendar pogrešamo risbe tedaj priljubljenih vakuumskih črpalk. Ob sifonu je dodal še posebno poglavje o magdeburških polkrogel; vzporedno je obravnaval še potrese, vetrove in zvok.<sup>4</sup>

Na 173 straneh splošne fizike ga je posebno zanimala odbojna sila; skiciral je prvi nihaj v grafu odvisnosti sile od razdalje in se pri tem skliceval na Gassendija in Nolletovo subtilno materijo kot vzrok kohezije. Ob strani je narisal znamenito Boškovićevo krivuljo, kjer je s črkami označil sečišča z osjo. Glede na datacijo rokopisa v letu 1799 je Boškovićevo (jezuitska) fizika očitno še dolgo po smrti znamenitega Hrvata ostala temelj pouka celo pri manjših bratih, ki so si z jezuiti sicer pogosto v laseh, tako da jih mora miriti sam kardinal Rode. Zinsmeister je svoje mnenje sproti dopolnjeval z dopisi ob strani; posebej ga je zanimal prvi nihaj Boškovićeve sile pri najmanjših razdaljah.<sup>5</sup>

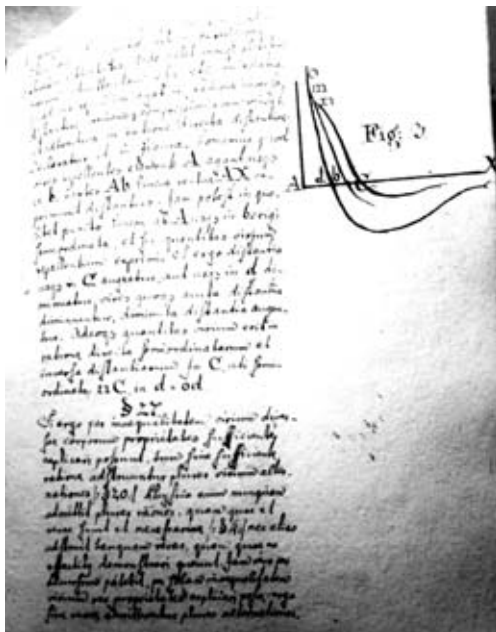
Zinsmeister je bil pod vplivom začetnika bavarskih strelododov Maximusa von Imhofa, ki ga je bržkone poslušal kot Eppovega naslednika na položaju rednega profesorja fizike, matematike in ekonomije na münchenskem liceju po letu 1790. Verjetno je prav Zinsmeister prinesel učbenik bavarskega rojaka Imhofa



Slika 9: Zinsmeisterjev opis Boškovičeve sile pri majhnih razdaljah med atomi po znameniti Boškovičevio krivulji (Zinsmeister, 1799, 2: 23)



Slika 11: Zinsmeisterjeva skica molekule (Zinsmeister, 1799, 2: 39)



Slika 10: Zinsmeisterjevo raziskovanje prvega nihaja Boškovičeve sile pri najmanjših razdaljah med delcema (Zinsmeister, 1799, 2: 29)

novomeškimi frančiškani; Imhof je med redkimi Zinsmeisterjevimi citati, čeprav zgolj v poznejšem dodatku ob strani prvotnega spisa. Občudoval je Imhofovo razlago nepredirnosti snovi in posledičnega odboja svetlobe. Imhof je obravnaval vakuumske poskuse ob upoštevanju privlačne in odbojne sile,<sup>6</sup> vendar ni navajal Boškoviča.

<sup>6</sup> Imhof, 1798, 24, 36, 174.

<sup>7</sup> Zinsmeister, 1799, 2: 24, 36, 39 (fig. 4), 43, 68, 71, 111, 147, 152–153 (fig. 34–38), 155–156, 159, 167, 169.

<sup>8</sup> Zinsmeister, 1799, 1: 169; Horvath, 1770, 477.

Zinsmeister se je lotil gibalne sile z enačbami in razmeroma zamotanimi računi. Ob strani med tekstem je opisal kohezijo z neizrazito risbo razporeditve medsebojno enakih delcev snovi ob strani med tekstem.

Pri opisu snovi je po Nizozemcu Pietru van Musschenbroeku povzel preglednico številčnih vrednosti moči kohezije med enakimi valji iz bakra, stekla, železa, črnega ali belega marmorja. Razmišljal je o vzroku težnosti glede na enako hitrost (oziroma pospešek) gibanja vseh teles v vakuumu. Matematično je bolj poglobil razpravo o centralnih silah, ki omogočajo krožno orbito gibajočih se teles. V tretjem delu splošne fizike se je lotil geostatike in mehanike. Podrobno je preučil gibanje po nagnjeni ploskvi; vezne posode je skiciral vključno z vakuumom v sifonu iz kapilar in kohezijo tekočin v posodah. Splošno fiziko je končal z bolj kemijsko obarvanimi pojavi kristalizacije in fermentacije,<sup>7</sup> ki so gotovo prišli prav dolenjskim ljubiteljem dobre kapljice.

Zinsmeister je navajal Horvatov jezuitski učbenik fizike, ki je že takoj na prvi tabli, polni pregibnih slik, ponudil skice vakuumskih naprav. Knjiga je bila leta 1771 vpisana med zakladi frančiškanske knjižnice samostana Sveta Gora nad Gorico,<sup>8</sup> kjer jo je leta 1781 uporabljal Valentin Vodnik takoj po koncu svojih ljubljanskih študijskih let. Ko je cesar Jožef leta 1786 ukinil svetogorski samostan, je v usnje vezana lepota romala v Ljubljano; tam jo je bral Zinsmeister. Gradščanski Hrvat Ivan Horvat je bil eden najpomembnejših zagovornikov Boškovičevih domnev; skupaj s starejšim Jalszinskim je predaval na univerzi v Trnavi,



Slika 12: Zinsmeisterjevo preučevanje veznih posod in vakuuma v sifonu (Zinsmeister, 1799, 2: 154)

ki so jo leta 1777 prestavili v Pešto in sedem let pozneje v Budo. Horvatov učbenik so ljubljanski frančiškani vezali v trd pergament, čigar belina je danes zamazana in zlizana od pogoste uporabe.

Seveda Zinsmeister ni bil edini frančiškan, ki so ga privlačile zagate vakuuma v času pred katodnimi elektronkami, ko je bil parni stroj edina industrijska raba praznega. Leta 1739 so naši južni frančiškanski sosedje v mestu Fojnica province Bosne Srebrene (*Argentina*) ustvarili zanimiv fizikalni rokopis o gibanju v vakuumu pod domačim gosjim peresom patra Francisca Vrsevicha.

### 3 KNJIGE O VAKUUMU PRI LJUBLJANSKIH FRANČIŠKANIH

Škerpin je nabavil posmrtno izdan učbenik frančiškana Claudia Frassena z razpravo o kondenzaciji in redčenju snovi. Frassen je ločeval med poljudnim in filozofskim vakuumom. Verjel je v resničnost vakuuma skupaj z Gassendijem, kljub kritikam Descartesa ali Rohaulta. Naštel je poskuse za preverjanje delovanja vakuuma. Zanimal ga je morebitni zrak v prostorih nad atmosfero in možnosti za letenje angelov v vakuumu; opisal je eksperimente z živim srebrom, Boylovo črpalko skupaj z recipienti in stekleno posodo. Ukvarjal se je s stiskanjem zraka, predvsem pa s skladiščenjem sadja, rož, mesa in drugih snovi v vakuumu, ki naj bi imel naravnost božanske lastnosti.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Frassen, 1726, 2: 274, 327, 328, 334, 335, 336, 342, 343, 344.

<sup>10</sup> Mastro de Meldula, Belluto Catanensi, 1644, 5: 888 (poglavje 12. 1.), 898 (poglavje 12. 1.), 901 (poglavje 12. 1.).

<sup>11</sup> Ferrari da Monza, 1754, 2: 332, 334, 335-336, 338-343.

<sup>12</sup> Merinero Matritensium, 1659, 3: 154, 157-158, 167, 171.

<sup>13</sup> Forti, 1744, 2: 636, 638, 639, 641.

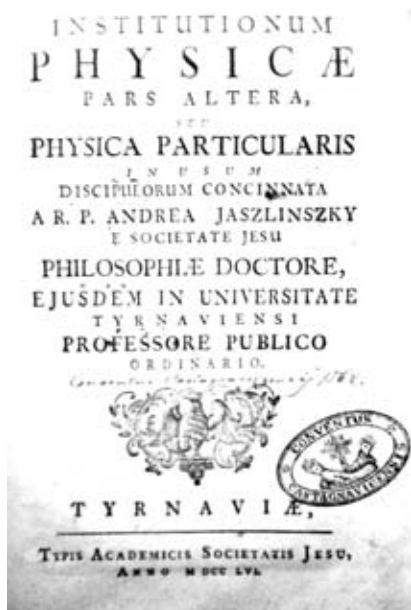
Barthol Mastro de Meldula in frančiškan s padovskega kolegija Bonaventura Belluto Catanensi sta objavila pripombe k Aristotelovim knjigam metafizike in fizike, slednje leta 1644 skupaj z nadškofom kardinalom Alojzijem Caponio. Vakuum so opisali v peti knjigi fizike med poglavji 12.1. do 12.8. Zanimalo jih je razmerje med vakuumom in polnim, predvsem pa gibanje v vakuumu; seveda še niso poznali Torricellijevega barometra, prvič opisanega v letu izdaje knjige.<sup>10</sup>

Škerpin je kupil tudi peripatetično fiziko frančiškana Jožefa Antona Ferrarija iz Monze (*de Modotia*). Skupina slik VII. na koncu knjige ima barometre na prvi sliki, prav tako pa na drugi in tretji sliki četrte skupine. Na drugi sliki skupine III. je narisal brhke mladce, ki »tehtajo« vakuom, nato pa se je lotil parnih strojev. V skupini II. si je privoščil sliko 3 z vakuumskimi črpalkami in magdeburškim poskusom s konji na sliki 5. Zastavil si je vprašanja o vakuumu in nanje odgovoril po Gassendiju, Boylu in slovitom Newtonu. Zanimalo ga je ohranjanje vakuuma, zato se je skliceval na Torricellijev atomizem, čeprav je omenjal tudi kartezijanske kritike. Poglavitni zagovornik atomov je bil seveda Rimljan Lukrecij, ki ga je Ferarri podprl s preizkušanjem magdeburških vakuumskih polkrogel.<sup>11</sup>

Ljubljanski frančiškani so brali skotistično filozofijo s fiziko madridskega frančiškanskega predavatelja bogoslovja Joanesa Merinera iz Madrida, ki ga je zanimala narava vakuuma. Po Aristotelu je nasprotno vakuumu; le-ta naj bi bil v neskladju z naravo, saj ni primeren medij za gibanje teles v okvirjih zamisli frančiškana Skota. Predvsem ga je mučilo vprašanje, ali se lahko telesa gibljejo v vakuumu; je gibanje v praznem takojšnje ali pa vendarle potrebuje čas.<sup>12</sup>

Škerpin je v Ljubljano prinesel zanimivo posmrtno izdajo »negativne« filozofije jezuita Antona Fortija, ki je med petimi knjigami tretjo in četrto posvetil fiziki. Forti je razmišljal o možnostih vakuuma v prepričanju, da se prazen prostor ohranja. Pri opisu gibanja je navajal Aristotela, prav tako pa živosrebrni barometer; v branje je priporočal dela sobrata Paula Casatija, ki so bila zelo priljubljena v Ljubljani. Tudi Fortija je seveda nadvse mučila zagata, kako vsepričujoči angeli mahajo s svojimi krilci v praznem prostoru;<sup>13</sup> žal se ni spomnil na možnost reakcijskega pogona.

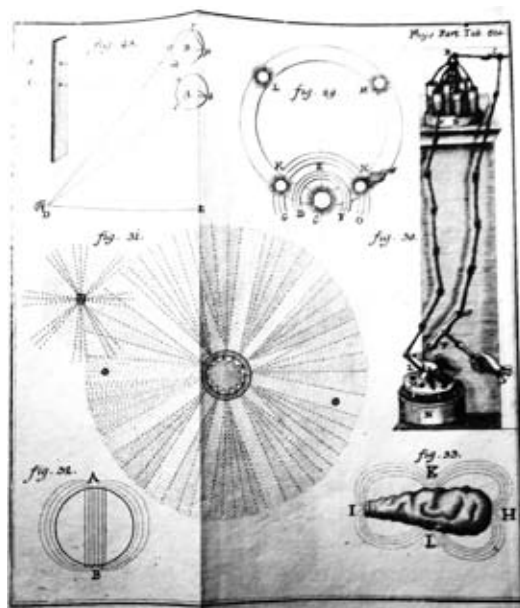
Ljubljanski frančiškani so prav tako brali drugega jezuitskega nasprotnika vakuuma, italijanskega jezuita Silvestra Maura, ki je bil profesor filozofije in občasno



Slika 13: Naslovna stran Jaszlinszkyjevega učbenika fizike v Trnavi (Jaszlinszky, 1756)

rektor na Rimskem kolegiju od leta 1653 do smrti. V letih 1654/55 in 1657/58 je poučeval fiziko.<sup>14</sup> Zastopal je ideje Tomaža Akvinskega v Suárezovi inačici. V svojih petih knjigah Filozofskih vprašanj je na zelo jasen način predstavil Aristotelova dela in razvil dognanja njegovih tolmačev iz trinajstega stoletja; branje grških zapisov je dopolnjeval z najboljšimi latinskimi prevodi svojih dni. Stiški menihi so brali zgodnjo izdajo Maurove filozofije; prvi kranjski vakuumist Janez Vajkard in njegov brat Volf Engelbert Turjaški pa sta ob poznejši izdaji kupila še Maurovo razlago Aristotela, ki so jo prav tako radi listali ljubljanski frančiškani ali loški kapucini. Mauro je zanikal vakuum kljub Demokritu, Leukipu in Anaksagori; po mnenjih pitagorejcev in platonikov je dokazoval da vakuum ni snoven, tudi če v delih telesa omogoča kondenzacijo. Priznaval je zložno gibanje v vakuumu pod vplivom sile teže, vendar je zavračal vakuum v vesolju.<sup>15</sup>

Ljubljanski frančiškani so listali dela Gruberjevega profesorja in tesnega Boškovičevega sodelavca jezuita Karla Scherfferja, ki sta ga doma brala tudi barona Erberg in Gruberjev zasebni študent Žiga Zois. Scherffer je bil leta 1749 in 1750 profesor matematike in vodja observatorija v Gradcu, nato pa profesor matematike s fiziko na Dunaju. Leta 1763 je Trnavski nadškof uradno proglasil novi Scherfferjevi knjigi o Boškovičevi fiziki za učbenika v Trnavi; tisti čas so Boškovičeve fizikalne ideje prevladale med ljubljans-



Slika 14: Jaszlinszkyjevi poskusi z elektrostatiko (Jaszlinszky, 1756, tabla 5)

skimi jezuiti. Na koncu prvega dela knjige je Scherffer objavil 155 slik v neoštevilčenih skupinah; v zadnji skupini si je privoščil prikaz zvonjenja v vakuumu. Slika 138 je kazala barometer, slika 118 sifon, slike 101–105 pa hidrostatični paradoks. V drugem delu učbenika je Scherffer skiciral vakuumske poskuse, prerez kraškega hriba in prerez puške.<sup>16</sup>

Danes ljubljanska knjiga profesorja fizike Andrása Jaszlinszkega je bila še pred poldrugim stoletjem last frančiškanov s Kostanjevice nad Gorico; po lastniških zapisih je videti, da so si delo izmenjevali nadobudni študentje v poznih najstniških letih. V izdaji iz leta 1761 je Jaszlinszky objavil 800 strani fizike s 16 tabelami; navajal je Gassendija, Boerhaaveja, Boyla, Malpighija, Linnéja, Harveyja, Loewenhoeka, Voltaira, Descartesa in Francesca Redija († 1698), ki je med letoma 1662–1675 štirikrat pisal enemu prvih raziskovalcev vakuuma, Anastasiusu Kircherju.<sup>17</sup>

V poglavju o Zemlji so Jaszlinszkega zanimali električni pojavi po zglednih poskusih akademije *del Cimento*. Posebno več v poskusih z elektriko je bil jezuitski pater Franz na cesarskem Dunaju. Jaszlinszkega je najbolj pritegnila elektrika v Boylovem vakuumu, ki so jo preizkušali Jallabert in Maximilian Höll (Hell) v Cluju v današnji Romuniji. Opisal je islandski kristal in narisal številne poskuse z elektriko, magneti, astronomijo in s podzemnim kraškim jezerom v hribu.<sup>18</sup>

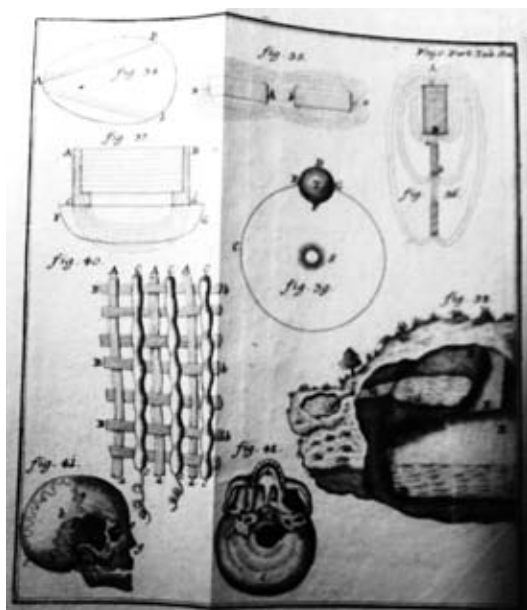
<sup>14</sup> Villoslada, 1954, 330; Blum, 2002, 375.

<sup>15</sup> Mauro, 1668, 3: 109–113, 4: 736, 6: 594.

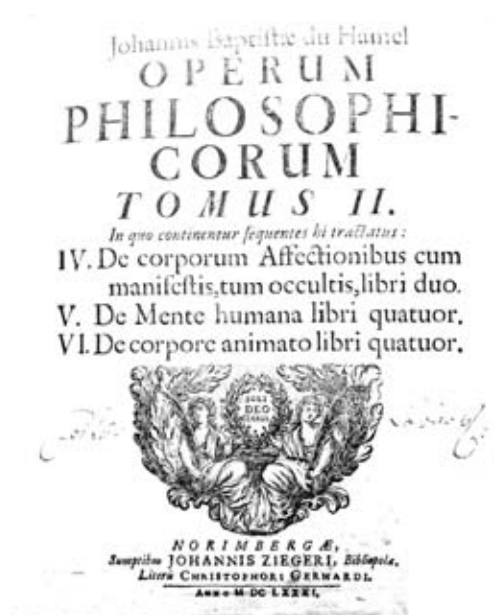
<sup>16</sup> Scherffer, 1753, slika 150; tabla XI.

<sup>17</sup> Gramatowski, Rebernik, 2001, 92.

<sup>18</sup> Jaszlinszky, 1756, 175, 176, 177, 180, 184, 189, 191, tabla 6 slika 38.



Slika 15: Jaszlinszkyjevi poskusi z magneti (Jaszlinszky, 1756, tabla 6)



Slika 16: Naslovna stran du Hamelove fizike (du Hamel, 1681)

Magnetne pojave je povzel v poglavju o fosilih. Narisal je nekaj posrečenih skic magnetov, predvsem magnetno kamnino s silnicami in tri druge magnetne s ponazorjenimi silnicami.<sup>19</sup> Električno je opisal takoj za optiko, medtem ko je magnetizem potisnil k obravnavi fosilov oziroma trdne snovi; takšna temeljna različnost med tedanjima električno in magnetizmom je vse do

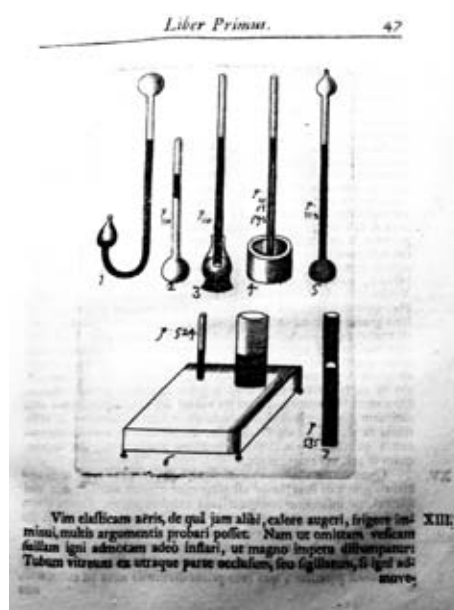
<sup>19</sup> Jaszlinszky, 1756, 208; tabla 5 slika 33; tabla 6 slike 35–37.

<sup>20</sup> Hamel, 1681, 1: 651–653, 656.

<sup>21</sup> Hamel, 1681, 2: 47, 230.

<sup>22</sup> Hamel, 1681, 2: 53–54, 232, 233, 235, 236.

<sup>23</sup> Hamel, 1681, 2: 104, 106, 118, 121.



Slika 17: Skice barometrov v du Hamelovi fiziki (du Hamel, 1681, 2: 47)

Oersteda in Faradaya domala stoletje pozneje preprečevala njuno združitev v elektromagnetizem.

Ljubljanski frančiškani so brali nürnberško fiziko Janeza Krstnika du Hamela; le-tega je nabavil tudi Gruber za svojo katedro mehanike v Ljubljani. Du Hamel je vakuumu posvetil osmo poglavje prvega dela knjige po Demokritu, kartezijancih in Gassendiju, ki je vakuum opredelil z atomi.<sup>20</sup> V drugem delu je du Hamel priobčil skice barometrov in opisal hidrostatične paradokse po jezuitu Honoratu Fabru (Fabry).<sup>21</sup>

Du Hamela je privleklo Helmontovo raziskovanje plinov, Hookova *Mikrografija*, Guerickejevi magdeburški poskusi z vakuumom in Boylova pnevmatska mašina, ki je pokopala peripatetično fiziko.

Du Hamela je zanimala teža zraka, zato je opisal Torricellijev poskus z živim srebrom, sifone in Boylovo pnevmatsko črpalko s Fabryjevo razlago, saj je Fabry poročal o poskusu Fabricija Guastaferra s cevjo polno živega srebra.<sup>22</sup> Opisal je Boylovo opazovanje (fosforescentnega) bolonjskega kamna; uporabil je Boylovo razlago barv in Hookovo *Mikrografijo*, saj Newtonovih del še ni poznal.<sup>23</sup>

Ljubljanski frančiškani so brali tudi delo trnavskih jezuitov o matematičnih vedah z opisom Heronovega vodometa, elastičnosti plinov in magdeburških polkrogel s polmeroma 100 linij in prostornino 7850 danes neznanih enot; po Galileiju je vedel, da v vakuumu lahko dvignemo vodo 32 čevljev visoko.

Določil je višino ozračja, za branje pa priporočil predvsem sobrate jezuite: Josepha Falckovo († 1737) *Mundus aspectabilis philosophice consideratus* iz leta 1740, ki so jo sedem let po natisu nabavili ljubljanski jezuiti, francoskega jezuita Milleta de Chalesa in jezuita de Lano iz Brescie. Trnavske jezuite je zanimala elastičnost zraka, stisnjene v posodi; Lana jo je opisal v drugem delu svoje znamenite knjige, ki so jo hranili tudi ljubljanski frančiškani. Naštel je naprave, primerne za določanje lastnosti zraka, med njimi Boylovo črpalko, imenovano *antilia*, Torricellijev barometer je narisal na devetnajsti sliki, na osmi sliki je predstavil sifon, položen čez hrib, na trinajsti pa hidravlično črpalko. Bralca je napotil predvsem na *Technica curuiosa*, *Magia piriotechnica* in akustiko jezuita Gasparja Schotta, ki je prvi opisal Guerickejev vakuumski poskus. Zanimiva se mu je zdela tudi de Chalesova *Hydrostatica*, Lanov izum vakuumskega balona in opis odmeva v *Misurgiji* Schottovega učitelja Anastasiusa Kircherja.<sup>24</sup>

Za konec so si trnavski jezuiti privoščili 8 tabel polnih slik; na zadnji so podprli svoje poglavje o hidrometriji in aerometriji s sliko številka 20, podobno Boylovi črpalki, na sliki 16 pa so dodali obtežene vakuumske polkrogle.

Frančiškani so radi brali o novih načinih Boerhaavejevih učencev k fiziki in medicini; na Dunaju jih je zastopal jezuit Zanchi iz reške patricijske družine. Dne 1. 11. 1725 je vstopil v noviciat na Dunaju. Poučeval je na kolegiju v Gorici in tam objavil knjigo z zgodovinsko-sholastično vsebino.<sup>25</sup> Med letoma 1741–1752 je poučeval matematiko, logiko, fiziko, metafiziko in etiko na Terezijanišču ter na dunajski univerzi. Leta 1747 je ob promociji bakalavra grofa Ivana Patačiča pl. Zajezda v latinščino prevedel Regnaultov komentar Voltairove priredbe Newtonovega dela, ki so ga Dunajčani naslednje leto ponatisnili;<sup>26</sup> kupili so jo frančiškani v Ljubljani, cistercijani v Stični, tržaški in ljubljanski jezuiti.

Zanchi še ni sprejel nove Boškovičeve dinamične filozofije in fizike. Na svoj način je obnovil Aristotelov nauk o materiji. K prvi knjigi »splošne fizike« na 380 straneh je dal privezati še drugo knjigo »posebne fizike« z lastno naslovnico in oštevilčenjem strani, vendar s skupnimi slikami na koncu. Prve med njimi so bile skice magdeburškega in drugih poskusov z vakuumom. Svojo razlago je utemeljil na Musschenbroekovi Newtonovi fiziki. Splošno fiziko je delil na splošne principe teles in pojavnost vrste teles. Opisal je vpliv vode in ognja na vremenske spremembe. Obravnaval je posebnosti severnega sija, metalurgije in

alkimije. Nato se je po vrsti lotil pojavov zunaj mehanike: ognja in mraza, elastičnosti, sil magnetov in elektrike.<sup>27</sup> Na peti skupini slik si je privoščil vakuumski poskus s konji, ki skušajo razstaviti polkrogli; ob iskrih vrancih je razvrstil Guerickejeve črpalke in vakuumske posode. Med zadnjo sedmo skupino slik je za konec narisal barometre in lom svetlobe v vodi.

#### 4 SKLEP

Ljubljanski frančiškani niso zaman dolga stoletja čuvali posmrtnih ostankov prvega kranjskega vakuumista Janeza Vajkarda Turjaškega pod zidovi svoje cerkve na današnjem Vodikovem trgu. Tako ali drugače so se tudi sami kmalu začeli zanimati za sodobne vakuumske tehnike. O njih so nabavljali sodobno literaturo; za svoje dijake so o vakuumu razpravljali v učbenikih, ki resda niso uspeli priti skozi tiskarske stroje.

#### 5 POMEMBNEJŠE OMENJANE OSEBNOSTI

- Franz Xaver Epp (\* 1733; † 1789).  
 Honorat Fabri (Faber, Fabry, \* 5. 4. 1606 ali 1607 Virieux le Grand (Ain); SJ 1626 Avignon; † 8. 3. 1688 Rim).  
 Claudio Frassen (\* 1621; OFM; † 1711).  
 Ivan Horvat (Johann Baptist Horvath, Horváth, \* julij 1732 Günz na Gradiščanskem; SJ 15. 10. 1751 Trnava; † 20. 10. 1799 Pešta).  
 Maximusa von Imhof (\* 26. 7. 1758 Rissbach na Bavarskem; avguštinec 1780–1802; † 11. 4. 1817 München).  
 András Jaszlinszky (Jaslinszky, \* 1715 Szinna pri Košicah; SJ 14. 10. 1733 Košice; † 1. 1. 1784 Rozsnyó (Rosnaviae, Rožnava) na Slovaškem).  
 Silvestra Maura (Sylvester Maurus, \* 1618 (ali 1619) Spoleto v Umbriji 100 km severno od Rima; SJ; † 1687 Rim).  
 René Antoine Ferchault de Réaumur (\* 1683; † 1757).  
 Karl Scherffer (\* 3. 11. 1716 Gmünden; SJ 27. 10. 1732; † 25. 7. 1783 Dunaj).  
 Teofil Zinsmeister (\* okoli 1775; OFM; † 1817).

#### 6 LITERATURA

##### 6.1 Rokopisi

- Škerpin, Žiga. 1714, 1718. *Commentaria in Aristotelis Stagyrtae octo libros Physicorum*. Ohranjeni prva (448 strani, 1714, 6 d 57 (2873 /29 f 16, na koncu podpis Škerpin lector Philia 1714) in druga knjiga (431 strani, Trsat 1718). *FSLJ*. (6 d 57. *Commentaria in Aristotelis 8 libros physicorum 1719*. Manuscripta).  
 Zinsmaister, Theoph. *Tractatus ex Physica*. 1799. Manuscripta (FSLJ-1 d 48).

##### 6.2 Tiskani viri

- Dadić, Žarko. 1991. The role of Karl Scherffer in the acceptance and promotion of Bošković's scientific ideas. Dadić (ur.), *Zbornik radova međunarodnog znanstvenog skupa o Ruđeru Boškoviću*. Zagreb: JAZU.  
 Epp, Franc Xaver. 1772. *Problemata Electrica*. Vienna; Ponatis: Epp. 1773. *Problemata Electrica publicae disputatione proposita a P. Franc Xav. Epp S.J. in electorali Lyceo Monacensi Professore*

<sup>24</sup> Jezuiti, 1752, 223, 230, 235–239, 244.

<sup>25</sup> Lovato, 1959, 135.

<sup>26</sup> Vanino, 1987, 183, 449.

<sup>27</sup> Zanchi, 1748, 15, 18, 22, 106, 113, 140, 318, 342, 355.



- Physices p. o. Defentibus Benedicto Knilling, Josepho Hall, Joseph Widman.* Monaci: Joannis Nep. Friz. Pars I (146 strani) pars I (83 strani) (NUK-8558, ARS, AS 1052, Žiga Zois, Posebno udejstvovanje, popis na listih, št. 23).
- Forti, Antonio S. J. 1744. *Philosophia negativa...* v 5 knjigah, 3. In 4 knjiga fizika. Venetiis: Jo Baptistae Alberti Hieron. Filiii (FGSLJ-11evo h 1-2 d 86).
- Frassen, Claudio. 1726. *Philosophiae academicae 1 logicam et metaphysicam completens 2 primam et secundam partes physicae impertarium completens 3 tertiam partem physicam completens 4 moralem scientiam completens...* recens in lucem edita correctior & enendatior... *Josephi Mariae ab Eborae...* Romae: Rocchi Bernabe (FSLJ-13 c 28-31/13 c 29 ima le en zvezek od treh!).
- Gramatowski, Wiktor; Rebernik, Marjan (ur.). 2001. *Epistolae Kircherianae.* Rim: Institutum historicum S.I.
- Du Hamel, Joannis Baptistae. 1681. *Opera philosophicorum. Tomus I astronomia physica; de meteoris et fossilibus: de consensu veteris et novae philosophiae. Pars secunda... IV. de corporis affectionibus; V. de mente humanas; VI. de corpore animato.* Norimbergae: Ziegeri (FSLJ-649 2g 28).
- Horváth, Joannis Baptistae. 1767. *Physica Generalis.* Tyrnavia; 1770. *Institutiones Physicae Particularis.* Tyrnaviae: Academici Soc. Jesu (FSLJ-10desno i 4); 1772. Augusta Vindel: Rieger; 1790. Budae (W-1511 in W-1512; FSNM).
- Imhof, Maximus. 1798. *Institutiones physicae.* Monachii: Lentner.
- Jaszlinszky (Jaszlinsky), Andrea S.J. 1756. *Institutionum physicae.* Tyrnaviae: Academicus Societatis Jesu (W-1439=NUK-8497 jezuitska; KSSKL-Loka T 4; FSLJ-6471/2 g 27 exlibris prečrtan Josephus Perger physice auditor 17 annos; exlibris neprečrtan ex libris Antonii Kersch 18 annario; ekslibris prečrtan Hic liber spectat ad me Josephum d'Harae Physices auditorum 1803; ekslibris na naslovnici Conventus Castagnevicae 1862); 1757–1758; 1761. 800 strani, 16 tabel.
- Jezuiti-anonimno. 1752. *Universae matheseos brevis institutio theoricopractica ex opribus pp. Societatis jesu collecta. Complecens hac perima parte Arithmetica, Geometria, Trigonometria, Mechanica, Statica, Hydrostatica, Hydraulicam, Aerometria.* Tyrnaviae: Academicis Societatis Jesu (FSLJ-3 h 26/ Q157prečrtano).
- de Lana, Francesco Tertio (\* 1631; SJ; † 1687). 1724. *Placita Physica de sympathia et antipathia depromta ex Franc. De Lanis S.J. Honoribus. - dicata.* Viennae: Wolfgang Schwendimann (W-1531; NUK-8297; FSLJ-20 f 53).
- Lovato, Italo. 1959, I Gesuiti a Gorizia (1615–1773). *Studi Goriziani.* Januar–Junij. 25.
- Mauro, Silvestro. 1668. *Aristotelis opera brevi paraphrasis illustrata.* 1–6. Romae: Angeli Bernabò (Turjačanova knjiga; KSSKL-Loka S 4, 5; FSLJ-11evo h 1/2 d 26).
- Merinero Matritensium, Joane. 1659. *Cursus integer philosophia juxta Doctoris Subtilis Joannis Duns Scoti...* Matriti: Matheum Fernandez typographo Regium (FSLJ-2 desno h 2-10 g 12).
- Mastro de Meldula, Barthol; Belluto Catanensi, Bonaventura. 1644. *Physicorum...* Venetiis: Ginammi (FSLJ-10levo b 1).
- Monza, Joseph Anton. 1754. *Josephi Antoni Ferrarii Philosophia peripatetica adversus veteres et recentiores: praesertim philosophos firmioribus propugnata rationibus Joannis Dunsii Scoti subtilium principis doctrinis accommodata, atque in tres tomos distributa.* Venetiis: Modest Fentius/Bettoneli (KSSKL-Loka S 11; FSLJ-2desno i 2-10 b 8).
- Scherffer, Karl. 1752–1753. *Institutionum physicae / Pars prima seu Physica generalis / Pars secunda seu Physica particularis. Conscripta in usum tironum philosophiae.* Vindobonae: Trattner (FSLJ-5399/21 (11) g 9); 1763. Vindobonae (NUK-8485).
- Škofljanec, Jože. 2000. Red manjših bratov (O.F.M.) in provinca sv. Križa. *Frančiškani v Ljubljani: samostan, cerkev in župnija Marijinega oznanjenja* (ur. Kranjc, Sivin). Ljubljana: Samostan in župnija Marijinega oznanjenja. 9–79.
- Vanino, Miroslav. 1987. *Isusovci i hrvatski narod, II.* Zagreb: Filozofsko-teološki institut družbe Isusove.
- Zanchi, Josephi. 1748. *Scientia rerum Naturalis sive Physica au usus academicos accomodata opera et studio P. Josephi Zanchi Societatis Jesu Sacerdotis... Johannes comes Patachich de Zajesda... praelectionibus... Zanchi...* Viennae: Kaliwoda (Erberg-XCVII; W-1466=NUK-8479; FSLJ-2232/II, 500 B g 40 R 2).

## DRUŠTVENE NOVICE

### PROF. DR. ALOJZIJ PAULIN – OSEMDESETLETNIK



Dne 10. 8. 2010 je prof. dr. Alojzij Paulin praznoval svoj osemdeseti rojstni dan. Prof. Paulin je dolgoletni član našega društva, saj sta ga vakuumska znanost in tehnika spremljali velik del njegove življenjske poti.

Prof. Paulin se je rodil leta 1930 v Podbrezjah na Gorenjskem. Po končani gimnaziji je leta 1948 nadaljeval študij na elektrotehniškem oddelku Tehniške fakultete v Ljubljani. Diplomiral je leta 1955 na oddelku za šibki tok Fakultete za elektrotehniko Tehniške visoke šole v Ljubljani iz teoretske elektrotehnike. Po diplomi se je zaposlil na Institutu »Jožef Stefan«. Leta 1959 je oddal doktorsko disertacijo z naslovom »O pogojih delovanja mikrotrona z dvojnimi magnetom«, ki jo je zaradi takratnih administrativnih postopkov zagovarjal šele leta 1962. Tega leta je prof. Paulin

odšel v tujino in se zaposlil najprej pri Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY) v Hamburgu, nato k Schweizerisches Institut für Nuclearforschung (pri ETH) in kasneje na Paul Scherer Institut v Švico, kjer je povsod sodeloval pri razvoju in gradnji pospeševalnikov različnih delcev. Leta 1976 se je vrnil v domovino na takrat mlado Visoko tehniško šolo (VTŠ) v Mariboru. Junija 1976 je bil izvoljen v naziv izrednega profesorja in leta 1981 za rednega profesorja. Leta 1996 se je upokojil. Leta 1998 je bil izvoljen v naziv zaslužni profesor.

Poleg rednega pedagoškega dela in pisanja učbenikov je s svojo aktivnostjo odločilno prispeval, da se je leta 1984 na Tehniški fakulteti Univerze v Mariboru vpeljal podiplomski študij »vakuumistike«. Iz tega podiplomskega programa je izšlo kar nekaj magistrorov in doktorjev, katerim je bil največkrat mentor prof. Paulin. Svoje znanstveno delo je objavil v velikem številu člankov in je avtor mnogih novosti in izboljšav na področju delovanja pospeševalnikov. Prof. Paulin je član raznih domačih in mednarodnih strokovnih organizacij.

Ob visokem življenjskem jubileju prof. Paulinu v imenu Društva za vakuumsko tehniko najtopleje čestitamo, mu želimo še veliko zdravih in aktivnih let, obilo osebnega zadovoljstva in prijetnih trenutkov ob branju našega glasila Vakuumist.

Življenjsko pot prof. Paulina smo podrobno predstavili tudi v intervjuju z njim, ki je bil leta 2003 objavljen v Vakuumistu, številka 23/4, stran 30–34.

Doc. dr. Janez Kovač,  
mag. Andrej Pregelj,  
dr. Eva Perman

## TRINAJSTA ZDRUŽENA VAKUUMSKA KONFERENCA JVC-13

Letos poleti (20.–24. junij 2010) je potekala 13. združena vakuumska konferenca (13<sup>th</sup> Joint Vacuum Conference – JVC-13), ki so jo organizirali slovaški kolegi iz Slovak Vacuum Society v hotelu Patria, Štrbské pleso, Visoke Tatre, Slovaška. Konference se je udeležila tudi 15-članska slovenska delegacija z Inštituta za kovinske materiale in tehnologije ter Inštituta »Jožef Stefan«. Skupaj je bilo 132 udeležencev konference; 39 iz Slovaške, 26 iz Češke, 23 iz Madžarske, 15 iz Slovenije, 6 iz Avstrije, 4 iz Hrvaške, po 3 iz Hong Konga in Nemčije, po 2 iz Italije, Poljske, Tajvana in Velike Britanije ter po en udeleženec iz Koreje, Rusije in Švice.

V mednarodnem znanstvenem organizacijskem odboru so sodelovali: Ivo Vávra (predsedujoči, Slovak Academy of Sciences, Bratislava), Sándor Bohátka (Institute of Nuclear Research

(ATOMKI), Debrecen), Christoph Eisenmenger - Sitter (Vienna University of Technology, Institute of Solid State Physics, Dunaj), Monika Jenko (Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana), Jaroslav Král (Czech Technical University, Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Praga), Karel Mašek (Charles University, Faculty of Mathematics and Physics, Praga), Slobodan Milošević (Institute of Physics, Zagreb), Miran Mozetič (Inštitut »Jožef Stefan«, Ljubljana), László Óvári (Reaction Kinetics RL, University of Szeged in CRC Budimpešta), Nikola Radić (Rudjer Bošković Institute, Zagreb), Christian Teichert (Institute of Physics, Montanuniversität Leoben, Leoben), Štefan Luby (Slovak Academy of Sciences, Bratislava) in Peter Lukáč (Comenius University, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Bratislava).

Na konferenci je bilo 57 predavateljev, od katerih je bilo 12 vabljenih. Med slovenskimi vabljenimi predavatelji sta bila dr. Bojan Zajec z Inštituta »Jožef Stefan« in dr. Črtomir Donik z Inštituta za kovinske materiale in tehnologije. Slednji je s svojim predavanjem *Surface characterisation of coatings used as antibiofouling coatings* na živahen način predstavil rezultate svojega dela na IMT in publiko navdušil s svojim strokovnim in sproščenim nastopom.

Predavanja so potekala v osmih sekcijah:

- Surface science and applications
- In-situ observations at low pressures



Slika 1: Patria z okolico, Štrbské pleso, Visoke Tatry, Slovaška



Slika 2: Udeleženci 13. združene vakuumske konference JVC-13



**Slika 3:** Zmagovalka posterske sekcije je bila slovenska udeleženka konferenca Irena Paulin z Inštituta za kovinske materiale in tehnologije.

- Electronic materials and processing
- Nanotechnology
- Plasma science and techniques
- Vacuum science and technology
- Thin films and interfaces
- Surface engineering

Na konferenci je bilo 64 posterjev, ki so bili predstavljeni v dveh posterskih sekcijah v ponedeljek in sredo. Dvanajstčlanska mednarodna komisija je za najboljši poster izbrala poster slovenske predstavnice Irene Paulin z Inštituta za kovinske materiale in tehnologije z naslovom:



**Slika 4:** Mednarodna ocenjevalna komisija za oceno najboljšega posterja

*SEM and AES characterization of aluminum foam alloy AlSi7.*

Kot se za mednarodne konference spodobi, smo imeli v torek popoldan ogled starega dela mesta in na koncu večerjo. Posebnost konference je bila izdaja knjige povzetkov v dveh velikostih, zaradi česar se je predsedujoči lokalnega organizacijskega odbora Marian Veselý tudi pošalil. Konferenca je bila po besedah organizatorjev uspešna, udeleženci pa lahko potrdimo, da je bila zelo dobro organizirana in da si organizatorji zaslužijo vse čestitke.

Zbornik prispevkov bo objavljen v posebni izdaji revije Vacuum.

Naslednje srečanje JVC-14 bo organiziralo hrvaško vakuumsko društvo leta 2012.

Irena Paulin  
Inštitut za kovinske materiale  
in tehnologije, Ljubljana

## POROČILO O ORGANIZACIJI ZNANSTVENEGA SREČANJA 62<sup>nd</sup> International IUVSTA Workshop on Plasma Synthesis and Modification of Nanomaterials (Bohinj, 14.–18. 6. 2010)

Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije (DVTS) je kot aktivni član mednarodne zveze za vakuumsko znanost, tehniko in aplikacije (angl. *International Union for Vacuum Science, Technique and Applications – IUVSTA*) v tretjem tednu junija 2010 organiziralo tematsko delavnico z nazivom »62. mednarodna IUVSTA tematska delavnica o plazemski sintezi in modifikaciji nanomaterialov« (angl. *62<sup>nd</sup> International IUVSTA Workshop on Plasma Synthesis and Modification on Nanomaterials*, Bohinj, Slovenia). Namen srečanja je bil jasno začrtan že ob pripravi predloga za organizacijo: na enem mestu zbrati vrhunske svetovno uveljavljene strokovnjake, ki usmerjajo razvoj znanosti na tem hitro rastočem interdisciplinarnem področju uporabe vakuuma v tehnološke namene. Namen je bil povsem uresničen, saj se je vabilu za udeležbo odzvala večina povabljenecv iz držav članic Evropske unije, ZDA, Japonske, Kitajske, Južne Koreje, Avstralije, Hrvaške, Srbije in Singapura. Predavatelji so predstavili izvirne rešitve na področju priprave materialov z nanostrukturirano površino. Gre pretežno za enodimenzionalne materiale, ki zaradi izrazito velikega razmerja med površino in prostornino v naravi ne obstajajo ali pa so termodinamsko labilni in zelo redki. Tovrstni materiali imajo zanimive lastnosti, ki jih pogosto označimo s prislovom »super«, na primer superhidrofilno, superhidrofobno in superstrukturirano. Sinteza teh materialov v veliki meri temelji na uporabi izrazito termodinamsko neravnovesnega plina, ki omogoča selektivno (pogosto enodimenzionalno) rast nanostruktur ali pa zagotavlja tako nehomogeno jedkanje, da se na površinah tvorijo urejeni kanali ali globoki kraterji z značilno dimenzijo reda 10 nm. Navedeni materiali so perspektivni za uporabo v fotovoltaiiki, novih generacijah superproceserjev v mikroelektroniki in v biomedicini.

Poleg vabljenih predavateljev se je srečanja udeležilo več kot 20 mlajših raziskovalcev, ki so na tematski delavnici dobili prenekatero idejo, kako izboljšati inovativnost svojega dela z

uporabo zadnjih dognanj na področju plazemske nanoznanosti.

Programski odbor je vodil predsednik Društva za vakuumsko tehniko Slovenije, prof. dr. Miran Mozetič. Poleg formalnih predavanj smo zagotovili obilico časa za neformalna srečanja in diskusije, na katerih so si raziskovalci izmenjali mnenja o aktualnih raziskavah in se dogovorili o morebitnih skupnih aktivnostih. Organizirali smo tudi dve okrogli mizi, ki sta se dotaknili izredno aktualnih problemov na področju plazemske nanoznanosti. Naziv prve okrogle mize je bil »Varnost pri delu z nanomateriali« (angl. *Nano-safety*), druge pa »Plazemska nanoznanost za raziskave obnovljivih energijskih virov« (angl. *Plasma nanoscience for renewable energy exploitation*).

Strokovna komisija v sestavi prof. dr. Anthony Murphy (CSIRO, Avstralija), prof. dr. David Ruzic (University of Illinois, ZDA) in prof. dr. Miran Mozetič (IJS, Slovenija) je podelila po eno nagrado za najboljši poster mladih raziskovalcev za vsak tematski sklop. Nagradi sta prejela Zlatko Kregar, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvaška, za delo z naslovom »Characterization of oxygen plasma created in RF discharge by optical emission spectroscopy«, in Nikos Panagiotopoulos, Department of Physics, University



**Slika 1:** Prof. dr. Anthony Murphy (levo) je podelil priznanje za najboljšo predstavitev posterja mlademu raziskovalcu Nikosu Panagiotopoulou (desno)



Slika 2: Del udeležencev tematske delavnice po slovesni večerji

of Ioannina, Grčija, za delo z naslovom »Formation of microcones by oxygen plasma treatment of Zr-Cu-Ti and Zr-Cu-Ti-Si metallic glasses films deposited by magnetron sputtering«.

Srečanje je potekalo v prijetnem, delovnem, a sproščenem ozračju. Ugotavljamo, da je bil osnovni cilj srečanja v celoti dosežen. Raziskovalci iz različnih institucij so izkoristili priložnost za diskusijo o aktualnih znanstvenih problemih na področju plazemske sinteze in modifikacije nanomaterialov.

Organizacijski odbor srečanja pod vodstvom doc. dr. Uroša Cvelbarja je znanstveni sestanek vzorno organiziral. Udeleženci srečanja so soglasno ugotovili, da je organizacijski odbor pretehtal vse plati organizacije, vključno s podrobnostmi, tako da je srečanje potekalo brez najmanjšega spodrsaljaja.

Na organizacijo znanstvenega srečanja smo se začeli pripravljati že lani poleti. Pripravili smo okvirni načrt organizacije. Jeseni 2009 smo

poslali preliminarna obvestila in postavili domačo stran. Recenzija prispelih povzetkov in izbor vabljenih predavateljev sta potekali po ustaljeni praksi za organizacijo mednarodnih tematskih delavnic.

Organizacijo je finančno podprla mednarodna vakuumška zveza IUUSTA. Brez finančne podpore ne bi mogli izvesti znanstvenega srečanja v takšnem obsegu. Organizacija znanstvenih srečanj spada med temeljne aktivnosti našega društva. Uspešna organizacija srečanja nam je vlila dodatno samozavest, ki jo bomo zelo potrebovali pri organizaciji večjih konferenc, ki jih načrtujemo v naslednjih nekaj letih, na primer 14<sup>th</sup> International Vacuum Congress, ki ga bomo organizirali skupaj s francoskimi kolegi v Parizu leta 2013 in na katerem pričakujemo okoli 2000 udeležencev.

Predsednik programskega odbora  
prof. dr. Miran Mozetič

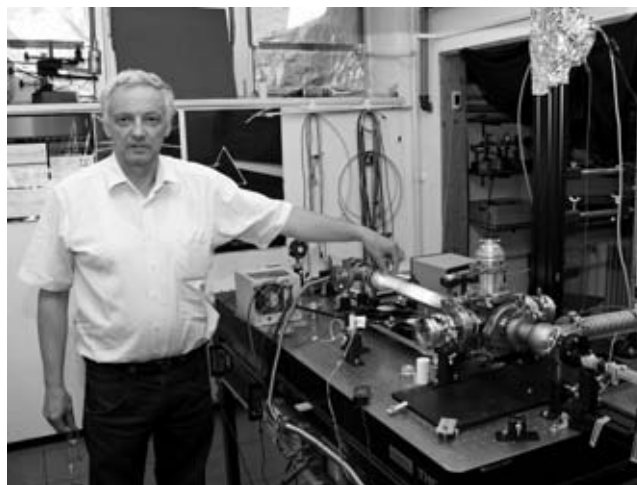
## HRVAŠKO VAKUUMSKO DRUŠTVO IMA NOVEGA PREDSEDNIKA

Na občnem zboru Hrvaškega vakuumskega društva, ki je bil 14. julija 2010 v Zagrebu, so bile na dnevnem redu tudi volitve članov izvršilnega odbora in novega predsednika društva. Občni zbor je bil sklican zaradi potrebe po uskladitvi mandatov predstavnikov hrvaškega društva z mandati predstavnikov mednarodne vakuumske zveze IUUSTA. Hrvaški predstavniki imajo tako po novem triletni mandate, kar velja tudi za funkcionarje mednarodne zveze IUUSTA. Za predsednika hrvaškega vakuumskega društva je bil izvoljen dr. Slobodan Milošević.

**Slobodan Milošević** je bil rojen leta 1958 na Reki. Po končani gimnaziji se je vpisal na študij fizike na Univerzi v Zagrebu. Leta 1981 je diplomiral in se še istega leta zaposlil na Institutu za fiziku v Zagrebu. Še istega leta je vpisal tudi doktorski študij fizike na Institutu Ruder Bošković, ki ga je uspešno končal leta 1986. Zaradi bogatih znanstvenih rezultatov je hitro napredoval. Leta 1988 je bil izvoljen v naziv znanstveni sodelavec, leta 1993 v naziv višji znanstveni sodelavec, leta 1999 v naziv znanstveni svetnik in leta 2004 v naziv znanstveni svetnik (II), kar je najvišji znanstveni naziv po aktualnih predpisih na Hrvaškem in ustreza pedagoškemu nazivu redni profesor. Del bogate znanstvene kariere je opravil v tujini. Med daljšimi gostovanji velja omeniti več kot triletno gostovanje na Max-Planck-Institut für Strömungsforschung v Göttingenu v Nemčiji in enoletni gostovanji na univerzi v Pisi v Italiji ter Niels Bohr Institute v Kopenhagnu na Danskem.

Njegovo znanstveno delo obsega atomsko in molekulsko fiziko in fiziko plazme. Dr. Milošević je ugleden svetovno uveljavljen raziskovalec na področju laserske spektroskopije in optične spektrometrije. S tega področja je objavil več kot 70 izvernih znanstvenih člankov v SCI-revijah, ki so bili citirani že več kot 700-krat. Nekatera dela je objavil v soavtorstvu s člani Društva za vakuumsko tehniko Slovenije.

Dr. Slobodan Milošević redno skrbi za popularizacijo vakuumskih znanosti in vzgojo mlajših



Slobodan Milošević ob svojem eksperimentalnem plazemskem reaktorju, ki ga je postavil v prostorih Instituta za fiziku v Zagrebu ob strokovni pomoči slovenskih kolegov

raziskovalcev. Med drugim je bil vodja multimedijskega projekta »Spektroskopija v šoli« in hrvaški koordinator aktivnosti v okviru evropskega projekta »Evropsko leto fizike 2005«. Od leta 2000 ima na Univerzi v Zagrebu redna predavanja v okviru predmeta »Atomski in molekulski curki«. Pod njegovim mentorstvom je šolanje uspešno končalo 8 diplomantov in 3 doktorandi.

Dr. Slobodan Milošević že več kot 10 let znanstveno in strokovno sodeluje z raziskovalci Društva za vakuumsko tehniko Slovenije. Redno obiskuje Institut »Jožef Stefan«, s katerim sodeluje v okviru različnih projektov. S slovenskimi raziskovalci sodeluje predvsem na področju znanosti o hladni plinski plazmi, optične emisijske spektroskopije in uporabe neravnovesne plinske plazme za obdelavo sodobnih materialov. Med drugim je tudi soavtor slovenskega patenta. Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije mu ob izvolitvi za novega predsednika hrvaškega vakuumskega društva želi obilo uspehov in še tesnejšega sodelovanja s slovenskimi kolegi.

Prof. dr. Miran Mozetič  
predsednik DVTS

## POROČILO Z 18. MEDNARODNE VAKUUMSKE KONFERENCE IVC-18 V PEKINGU

V kitajski prestolnici Peking je od 23. do 27. avgusta 2010 potekala mednarodna vakuumska konferenca IVC-18 (18<sup>th</sup> *International Vacuum Conference*), ki jo je organiziralo Kitajsko vakuumsko društvo pod pokroviteljstvom mednarodne vakuumske zveze IUVSTA. Tej konferenci so bile pridružene še tri druge konference, in sicer: *International Conference on Nanoscience and Technology* (ICN+T 2010), 14<sup>th</sup> *International Conference on Solid Surfaces* (ICSS-14) in *Vacuum and Surface Science Conference of Asia and Australia* (VASSCAA-5). Konference IVC se prirejajo vsake tri leta, zadnji dve sta bili leta 2004 v Benetkah in 2007 v Stockholmu.

Tokratne konference se je udeležilo okoli 2000 udeležencev. Glavnina udeležencev je po pričakovanju prišla iz Kitajske. Med njimi je bilo veliko kitajskih študentov, ki so podrobno spremljali vsa dogajanja na konferenci. Med udeleženci konference nas je bilo tudi sedem raziskovalcev iz Slovenije. Konferenca je potekala v enajstih vzporednih sekcijah, ki so obsegala področja znanosti o površinah, nanoznanosti, tankih plasti, površinskih tehnologij, elektronskih materialov, znanosti o plazmi, vakuumske znanosti, bioloških aplikacij, razvoja novih tehnik ... Na konferenci sta bili podeljeni tudi dve nagradi mednarodnega vakuumskega združenja IUVSTA, in sicer dr. P. Barni iz Madžarske ter prof. dr. S. Moriti iz Japonske. Eno

od uvodnih predavanj je imel prof. dr. H. Rohrer iz Švice, ki je leta 1989 prejel s sodelavcem Nobelovo nagrado za fiziko za odkritje vrstičnega tunelskega mikroskopa – STM. Na konferenci smo lahko spremljali veliko zanimivih znanstvenih predavanj ter videli mnogo posterjev z zanimivimi rezultati.

Prvi dan konference je bil organiziran sprejem, na katerem smo uživali v izbrani kitajski hrani in spremljali nastop igralcev Pekinške opere ter nekatere druge atraktivne scenske nastope. Ob konferenci je bila organizirana velika razstava proizvajalcev vakuumske opreme. Na razstavi smo lahko videli številna kitajska podjetja, ki bodisi izdelujejo vakuumsko opremo ali pa vakuum uporabljajo pri svoji proizvodnji, kot je npr. izdelava sončnih celic. Na razstavi je bilo impresivno videti, kolikšne proizvodne kapacitete imajo ta kitajska podjetja. Kljub velikosti so kitajski kolegi konferenco zelo dobro organizirali.

Konferenca je potekala v predelu Pekinga, kjer so bile 2008 olimpijske igre, in sicer v neposredni bližini olimpijskega stadiona Ptičje gnezdo in plavalnega bazena Vodna kocka. Udeleženci konference smo lahko spoznali, da je Peking ogromno (okoli 17 milijonov prebivalcev) in hitro se razvijajoče mesto. Veliko število nebotičnikov, urejena podzemna železnica, sodobno letališče, na cestah veliko avtomobilov prestižnih nemških znamk in nekoliko visoke cene kažejo na hiter razvoj kitajske prestolnice. Vendar pa smo lahko



**Slika 1:** Kitajski organizatorji konference IVC-18 v Pekingu so se zelo trudili in uspešno izpeljali konferenco z okoli 2000 udeleženci.



**Slika 2:** Posterske sekcije so bile na konferenci zelo obiskane, čeprav so potekale med kosilom.





**Slika 3:** Na razstavi proizvajalcev vakuumске opreme smo lahko videli številna kitajska podjetja. Impresivno je bilo videti, kolikšne proizvodne kapacitete imajo ta podjetja in kolikšne vakuumске črpalke izdelujejo, kot so na primer na tej na sliki.

občutili precej slab zrak in obilo smoga v mestu. Nekoliko smo pogrešali tudi boljše znanje angleščine pri domačinih, kar bi olajšalo sporazumevanje. Nekateri udeleženci smo izkoristili bivanje v Pekingu tudi za obisk pekinških znamenitosti, kot so prepovedano cesarsko mesto, trg nebeškega miru, poletna palača in kitajski zid v bližini Pekinga.

Naj omenim, da bo naslednja podobna konferenca, to je IVC-19, čez tri leta, septembra



**Slika 4:** Konferenca IVC-18 je potekala v predelu Pekinga, kjer so bile olimpijske igre leta 2008. V tem predelu, kot tudi povsod drugje po Pekingu, so v zadnjih letih zrasli številni nebotičniki in moderne stavbe, kar priča o hitrem razvoju kitajske prestolnice.

2013 v Parizu. To konferenco bo organiziralo skupaj devet nacionalnih vakuumskih društev, med njimi tudi naše.

Ob konferenci je potekala tudi skupščina in sestanki različnih odborov mednarodne zveze IUUSTA. Omenimo, da je novi predsednik IUUSTE postal prof. J. J. Pireaux iz Belgije.

Več o konferenci IVC-18 je mogoče prebrati na spletnem naslovu <http://www.ivc18.com>.

Doc. dr. Janez Kovač

## KRATKE DRUŠTVENE NOVICE

### Obvestilo o uspešni prijavi za sofinanciranje znanstvene monografije, 4. maja 2010

V prejšnji številki smo poročali, da smo v roku oddali prijavo na razpis za sofinanciranje izdajanja domačih znanstvenih monografij. Gre za rokopis »Zgodovina raziskovanja vakuuma in vakuumskih tehnik, drugi del« avtorja dr. Stanislava Južniča. Naša prijava je bila ocenjena z 81 točkami, pri čemer je bilo

minimalno zahtevanih 60 točk, največ možnih pa 100. Uvrščeni smo bili v II. kategorijo od štirih (pri čemer je IV. kategorija izločena iz sofinanciranja). S tem nam je bila dodeljena subvencija v višini 3337 evrov, ki jo bomo porabili za stroške tiska in priprave za tisk. Po pogodbi mora biti monografija natisnjena do konca letošnjega leta.

## NOVA OPREMA NA TRGU

### Turbomolekularna črpalka HiPace™ M

Asslar, Nemčija, maj 2010

Pfeiffer Vacuum je dal na trg novo serijo turbomolekularnih črpalk z magnetnimi ležaji po imenu HiPace M. Imajo črpalne hitrosti (300, 700 in 800) L/s in dosegajo visoko kompresijsko razmerje za vse pline. Te črpalke se odlikujejo po veliki fleksibilnosti pri vseh orientacijah montaže. Posebno oblikovan rotor omogoča neomejeno trajnostno dobo rotorja in zanesljivo uporabo. Dosežen razred zaščite IP 54 zagotavlja, da te črpalke lahko uporabljamo v industrijskih razmerah. Šibko dinamično magnetno polje ne vpliva niti na najbolj občutljive naprave v bližini, zato so te črpalke še posebej primerne za analitske aplikacije, kjer so zahteve zelo visoke. Širok spekter uporabe vključuje analitiko, tehnologijo prevlek in polprevodnikov, kakor tudi vrsto aplikacij tako v raziskavah in razvoju kot v industriji.

Integrirana elektronika v HiPace M zmanjša potrebo po dragi in nerodni vezavi kablov. Z uporabo inovativnih tehnologij je precej zmanjšana poraba energije – dodatni korak k energijski varčnosti. Prav tako je skrajšan zagonski čas. Funkcionalno ohišje iz aluminija precej zmanjša maso črpalke. Variantni nastavek za tesnilni plin ščiti ležaje pred prašnimi



delci in oksidativnimi plini, kar zagotavlja optimalno možnost integracije črpalke. Obratovanje je tiho z malo vibracijami, to pa postavlja nove standarde v uporabi črpalk.

Več informacij na: [www.pfeiffer-vacuum.net](http://www.pfeiffer-vacuum.net)

## 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 font, formati, poravnave, deljenje besed). Pri oblikovanju se omejite na ukaze **mastno**, *poševno*, <sup>indeks</sup> <sup>potenca</sup> 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](mailto: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](mailto:miha.cekada@ijs.si)  
tel.: (01) 477 37 96  
faks: (01) 251 93 85



## Tops!

Top quality – and top quality only – is what we deliver to our customers. It begins with the exacting demands we place upon our raw materials. We subject them to intensive scrutiny. Like measuring the hardness of the aluminum stock shown here. We enthusiastically inspect. Until everything is just right and works perfectly. As we see it: Only a product that's 100% defect free is a good product for our customers.

Pfeiffer Vacuum stands for innovative and custom vacuum solutions worldwide. For German engineering art, competent advice and reliable service. Ever since the invention of the turbopump, we've been setting standards in our industry. And this claim to leadership will continue to drive us in the future.

**Looking for the perfect vacuum solution?  
Ask us:**

**SCAN d.o.o. Preddvor**  
Phone: +386 4 2750 200 · Fax: +386 4 2750 240 · [info@scan.si](mailto:info@scan.si)

**Pfeiffer Vacuum Austria GmbH**  
Phone: +43 1 894 17 04 · Fax: +43 1 894 17 07 · [office@pfeiffer-vacuum.at](mailto:office@pfeiffer-vacuum.at)

[www.pfeiffer-vacuum.net](http://www.pfeiffer-vacuum.net)