

ICONISMUS XI



Fig. IV.

VAKUUMIST

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

56 let
DVTS

LJUBLJANA, JUNIJ 2015

ISSN 0351-9716

LETNIK 35, ŠT. 1

UDK 533.5.62:539.2:669-982

High Performance and all-round TOFMS

AccuTOF GCX

►► High performance

Reliable determination of elemental composition

The high-resolution and high mass accuracy AccuTOF GCx enables accurate elemental composition determination, which is a powerful tool for the qualitative analysis of unknown compounds and impurities.

High-speed data acquisition

The AccuTOF GCx performs high throughput analysis using Fast GC with its high-speed data acquisition capability (50 spectra/s). It also supports GCxGC for ultrahigh separation analysis.

►► All-round

A variety of ionization and sample introduction techniques

While electron ionization (EI) is effective in acquiring structural information, detection of molecular ions is critical in qualitative analysis of unknown compounds.

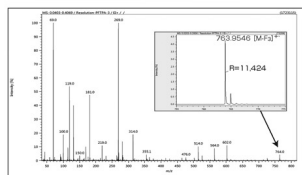
In addition to chemical ionization (CI), the AccuTOF GCx supports field ionization (FI) and field desorption (FD), which are powerful soft ionization techniques for molecular ion detection.

The system also supports direct sample inlets for analysis of high boiling point compounds and rapid analysis.



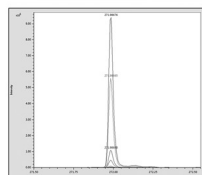
■ Elemental composition determination by accurate mass analysis

High resolution



Perfluorotriptylamine

High mass accuracy (at different concentrations, single ion)



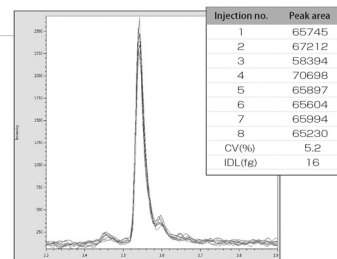
Octafluoronaphthalene

Injection volume [psl]	Error [mDa]
1: 0.1	0.26
2: 0.5	0.54
3: 1	0.34
4: 5	-0.56
5: 10	-0.04
6: 50	0.07
8: 100	0.21
9: 500	-0.02
9: 1000	0.08

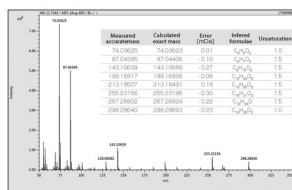
■ High sensitivity

100fg CV=5.2%, IDL=16fg

100 fg of octafluoronaphthalene (OFN) was measured continuously 8 times. From the standard deviation of the EIC peak areas of OFN molecular ions, an instrument detection limit (IDL) of 16 fg was calculated. CV: Coefficient of variation IDL: Instrument detection limit

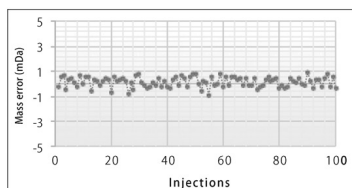


High mass accuracy (single component, multiple ions)



Methylstearate

Stable mass accuracy over time

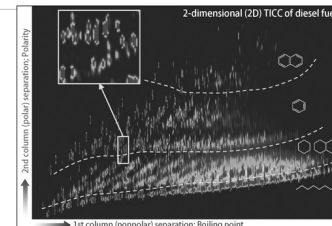


Octafluoronaphthalene

■ GCxGC analysis by ultrahigh speed data acquisition

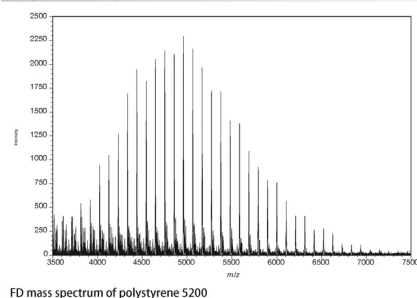
Accurate mass measurements are easily accomplished in GCxGC analysis, which requires ultrahigh speed data acquisition. This is especially effective for nontargeted qualitative analysis of trace components.

Data acquired with ZOEK GCxGC system. GCxGC chromatograms generated with 'GC Image' software (ZOEK).



■ Wide mass range

Oligomer analysis with direct MS



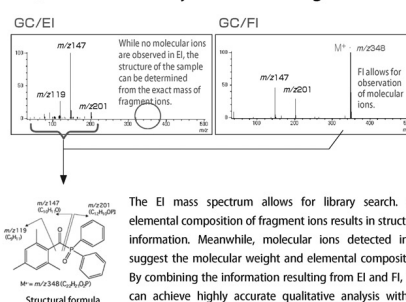
FD mass spectrum of polystyrene 5200

The AccuTOF GCx, with a wide mass range and direct inlet system, can analyze samples with large molecular weights that are difficult to handle with GC.

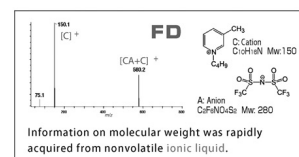
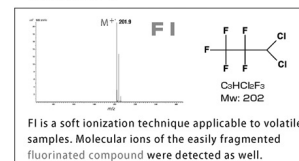
■ EI/FI/FD combination ion source (optional)

JEOL's unique ion source combining EI, FI, and FD ionization allows for GC/EI, GC/FI, and FD analysis without changing the ion source. The single ion source supports highly productive analysis without breaking the vacuum.

Qualitative analysis combining EI and FI



FI and FD



VAKUUMIST 35/1, junij 2015

VSEBINA

ČLANKI

Avtoklav za preiskave korozijskih lastnosti kovin v hladilni vodi lahkovodnega jedrskega reaktorja Bojan Zajec, Mirjam Bajt Leban, Andraž Legat	4
Akademski predniki prvega kranjskega vakuumista Janeza Vajkarda kneza Turjaškega (ob štiristoletnici njegovega rojstva v Žužemberku) Stanislav Južnič	13

DRUŠTVENE NOVICE

Dvaindvajseti mednarodni sestanek »Vakuumska znanost in tehnika«, 21. in 22. maja 2015 v Osilnici Janez Kovač	24
Tečaj Osnove vakuumске tehnike 12. in 13. januarja 2015 Janez Kovač	27
Sporočilo za javnost – Pfeiffer Vacuum predstavlja vakuumске rešitve na novi spletni strani	28

VAKUUMIST

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

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

Glavni in odgovorni urednik: doc. dr. Miha Čekada

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

Tehnični urednik: Miro Pečar

Lektor: dr. Jože Gasperič

Korektor: dr. Matjaž Finšgar

Oblikovanje naslovnice: Ignac Kofol

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

Naklada: 350 izvodov

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

Letna naročnina: 25 EUR

ISSN 0351-9716

UDK 533.5.62:539.2:669-982

Izdaja Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije

Teslova 30

1000 Ljubljana

Tel. (01) 477 66 00

E-pošta: info@dvts.si

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

Številka transakcijskega računa pri NLB: 02083-0014712647

Uredništvo Vakuumista

doc. dr. Miha Čekada

glavni in odgovorni urednik Vakuumista

Institut »Jožef Stefan«

Jamova 39

1000 Ljubljana

e-pošta: miha.cekada@ijs.si

tel.: (01) 477 38 29

faks.: (01) 251 93 85

AVTOKLAV ZA PREISKAVE KOROZIJSKIH LASTNOSTI KOVIN V HLADILNI VODI LAHKOVODNEGA JEDRSKEGA REAKTORJA

Bojan Zajec, Mirjam Bajt Leban, Andraž Legat

STROKOVNI ČLANEK

Zavod za Gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

POVZETEK

Avtoklav je tlačna posoda, v kateri so obdelovanci izpostavljeni vodi ali pari pri visokem tlaku in temperaturi. Lonec na zvišan pritisk (»ekonomlonec«) je v vsakdanjem življenju najbolj poznana oblika avtoklava. V prispevku predstavljamo delovanje in lastnosti večjih avtoklavov, ki delujejo pri višjih temperaturah in tlakih. Namenjeni so simuliranju razmer v primarnem krogu hladilne tekočine lahkovodnega jedrskega reaktorja. Le tako okolje omogoča raziskave korozije na različnih kovinah, ki sestavljajo kritične komponente primarnega hladilnega kroga. Poznanje korozijskih lastnosti in procesov v primarnem hladilnem krogu je bistveno za zagotavljanje integritete in s tem varnosti delovanja jedrskega reaktorja. V prispevku so prikazani vsi pomembni eksperimentalni vidiki preiskave korozijskih lastnosti kovin v takem okolju, predvsem pa sestava in delovanje avtoklava. Od vrst korozije je poudarek na napetostno korozijskem pokanju, ki je zelo nevarna oblika korozije. Sledi pregled merilnih tehnik, ki se dandanes največ uporabljajo za spremljanje dogajanja med samo izpostavo in za analizo vzorcev po izpostavi.

Ključne besede: avtoklav, korozija, vroča voda, napetostno korozijsko pokanje, lahkovodni jedrski reaktor, primarni hladilni krog

Autoclave for the steel corrosion research in the light water nuclear reactor cooling water

ABSTRACT

Autoclave is a pressure vessel which enables exposure of specimen to the water or steam at high temperature and pressure. The most common variant of the autoclave encountered in everyday life is a pressure cooker. This paper presents the operation and characteristics of larger autoclaves running at substantially higher pressure and temperature. They are used for the simulation of the environment in the primary cooling loop of light water nuclear reactors. It is only this environment that enables the study of corrosion processes on various types of steels and metals that comprise critical parts of the primary loop. Corrosion is the major degradation process in the primary loop hence corrosion knowledge and control is essential for nuclear reactor safety and long-term operation. Current paper deals with all experimental aspects of corrosion studies in simulated primary loop environment and gives detailed overview of autoclave characteristics and operation. Out of several types of localized corrosion the main focus is on the stress corrosion cracking since it is very difficult to detect at early stages. Modern monitoring and analytical techniques that are used for the detection of corrosion and/or cracking processes during the exposure and after it are presented together with several measurement examples.

Keywords: autoclave, corrosion, superheated water, stress corrosion cracking, light water nuclear reactor, primary cooling loop

1 UVOD

Podrobnejši pregled literature in ponudbe avtoklavov pokažejo, da se beseda avtoklav uporablja za vse vrste posod, kjer se določen proces izvaja pri povišanem tlaku in temperaturi. Ogrevni medij je lahko (nasičena) vodna para, tekoča voda, dušik, ogljikov dioksid ipd.

V industrijskem in raziskovalnem okolju se avtoklavi najpogosteje uporabljajo za sterilizacijo in delujejo pri temperaturi od 120 °C do 135 °C, kot medij pa uporabljajo predvsem nasičeno vodno paro in redkeje vodo. Po namembnosti sledijo avtoklavi za vulkanizacijo kavčuka ter za toplotno obdelavo kompozitov, kjer sta pomembna predvsem izostatski tlak in povišana temperatura. V zadnjem času se pojavljajo tudi avtoklavi, namenjeni za predelavo odpadkov, poudarek je predvsem na sterilizaciji (navadno je temperatura 160 °C) in razgradnji vlaknastih materialov [1].

V nadaljevanju se omejimo na avtoklave s tekočo vodo, v katerih simuliramo razmere v vroči hladilni vodi jedrskega reaktorja. Preiskave kovin v takih razmerah so bistvene za varno in dolgotrajno delovanje jedrskih elektrarn, saj lahko po daljšem času nastane lokalna korozija sicer korozijsko odpornih kovin (nerjavna jekla, superzlitine na osnovi niklja in cirkonijeve zlitine). V primarnem krogu so najbolj pogoste oblike korozije napetostno korozijsko pokanje (NKP), špranjska korozija in erozijska korozija. NKP je daleč najbolj nevarna oblika korozije in posledično tudi najbolj preiskovana, je eden glavnih povzročiteljev okvar, ki so privedli do izpada delovanja reaktorja [2].

Sedanje jedrske reaktorje, ki temeljijo na navadni vodi (H₂O), delimo na tlačnovodne (angl. *pressurized water reactor*) in vrelovodne (angl. *boiling water reactor*) jedrske reaktorje. Navadna prečiščena voda (H₂O) v tekočem stanju nastopa v njih kot moderator in kot hladilno sredstvo. V primarnem krogu tlačnovodnega reaktorja (TVR) je voda pod tlakom okoli 155 bar, vstopna in izstopna temperatura vode v reaktor pa je približno 290 °C oz. 325 °C. V teh razmerah voda ne vre (vrelišče je pri 345 °C) in je v tekoči fazi. V vrelovodnem reaktorju (VVR) je tlak vode približno 72 bar in temperatura okoli 288 °C, kar je tudi vrelišče pri tem tlaku, zato voda vre in se tvori para, ki direktno poganja turbino [3, str. 181].

2 FIZIKALNE IN KEMIJSKE LASTNOSTI TEKOČE VODE PRI TEMPERATURI NAD 100 °C

Nasičeni tlak vodne pare p_s je odvisen od temperature. Vrenje kapljevine se začne, ko je nasičeni tlak vodne pare višji od zunanega tlaka. Temperatura vrelišča se povečuje z naraščajočim zunanjim tlakom. Fizikalno ozadje te zveze opisuje Clausius-Clapeyro-

nova enačba, v vsakdanjem življenju pa uporabljamo njeno izpeljanko, Antoinovo enačbo:

$$p_s = p_0 \exp\left(-\frac{B}{C + T}\right) \quad (1)$$

V območju od 100 °C do 374 °C (kritična temperatura) so vrednosti konstant $p_0 = 1,841 \cdot 10^5$ bar, $B = 4170$ °C in $C = 244,5$ °C [4]. Za območje pod 100 °C se uporabljajo malenkost drugačne vrednosti navedenih konstant. Vrednosti nasičenega tlaka vodne pare in še nekaj drugih termodinamskih količin vode pri nekaj izbranih temperaturah so podane v **tabeli 1**.

Tabela 1: Nasičeni parni tlak, gostota tekoče in plinske faze ter specifična entalpija tekoče vode za nekaj izbranih temperatur

$T/^\circ\text{C}$	p_s/bar	gostota vode (kg/m^3)	gostota pare (kg/m^3)	specifična entalpija vode (kJ/kg)
20	0,0234	998,16	0,017	83,92
90	0,7018	965,30	0,423	376,97
100	1,0142	958,35	0,598	419,10
110	1,4338	950,95	0,826	461,36
150	4,761	917,01	2,547	632,25
200	15,547	864,67	7,860	852,39
250	39,759	798,89	19,96	1085,7
300	85,877	712,14	46,16	1344,8
350	165,29	574,69	113,6	1670,9

Pri tekoči vodi se z zviševanjem temperature niža tudi njena gostota, medtem ko se pri nasičeni pari njena gostota zvišuje. Pri kritični temperaturi (374 °C) sta obe gostoti enaki $0,326 \text{ g}/\text{cm}^3$ in ni več mogoče razlikovati med tekočo in plinsko fazo. Kot zanimivost velja omeniti, da je količina energije, shranjena v vroči vodi, razmeroma majhna v primerjavi z njeno izparilno toploto pri normalnem tlaku ($2260 \text{ kJ}/\text{kg}$). Pri nenadni dekompresiji avtoklava, ki vsebuje vodo pri 300 °C, bo voda nemudoma začela vreti in se s tem ohlajati. Vrela bo, dokler njena temperatura ne bo padla pod 100 °C, vendar bo pri tem povrelo le 41 % vode.

Vroča tekoča voda ima pri temperaturah krepko nad 100 °C fizikalne in kemijske lastnosti, ki so precej drugačne, kot smo jih navajeni pri vodi pod 100 °C. Glavni razlog za te spremembe je vodikova vez, ki se razcepi pri višjih temperaturah. Voda se tako ne vede več kot dobro polarno topilo, ampak pridobi značaj organskih topil, kot npr. etanol ali metanol. Posledično se zelo poveča topnost organskih spojin in plinov, pa tudi soli. Topnost kisika, ki v območju od 0 °C do približno 100 °C sicer pada, je pri 300 °C kar $277 (\mu\text{g}/\text{g})/\text{bar}$, medtem ko je pri 20 °C le $45 (\mu\text{g}/\text{g})/\text{bar}$. Prav ta lastnost se uporablja pri procesu mokre oksidacije, navadno za razgradnjo onesnažil v vodnih raztopinah. Tudi ionski produkt vode, ki je pri 22 °C

enak $K_w = 1 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$, se pri 250 °C približa $K_w \approx 10^{-11} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ [5, 6], kar pomeni približno 30-krat povečano koncentracijo oksonijevih (H_3O^+) ionov in hidroksidnih (OH^-) ionov.

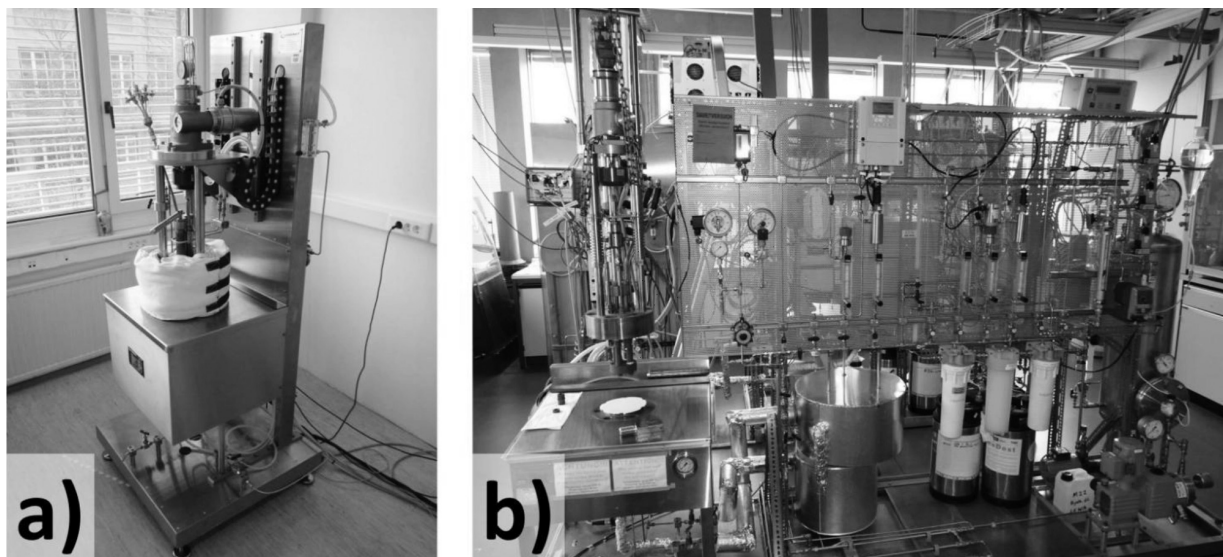
Omeniti je treba še specifično električno prevodnost k , ki je recipročna specifični električni upornosti. Povsem prečiščena tekoča voda pri 25 °C ima $k = 0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$ (pripadajoča specifična električna upornost $1,82 \text{ M}\Omega \text{ m}$), medtem ko ima taka voda pri 250 °C in nasičenem parnem tlaku prevodnost približno $k = 3,5 \mu\text{S}/\text{cm}$. Za primerjavo, vodovodna voda ima $k = 50\text{--}500 \mu\text{S}/\text{cm}$, morska pa okoli $50 \text{ mS}/\text{cm}$. Zgolj povečanje tlaka do nekaj 100 bar ima znatno šibkejši vpliv na spremembe lastnosti vode kot pa povečanje temperature. Voda ima namreč zelo nizko stisljivost in posledično je njena entalpija zelo malo odvisna od tlaka, **tabela 1**.

3 AVTOKLAV

Neposreden dostop do primarnega hladilnega kroga jedrskega reaktorja je za raziskovalne namene mogoč le izjemoma, zato se razmere simulirajo v avtoklavu. Slednji tudi omogoča vso potrebno fleksibilnost za večino raziskav.

Avtoklav je tlačna posoda z debelimi stenami iz korozijsko visokoodpornega jekla, navadno je to nerjavno jeklo, titan ali kakšna od superzlitin na osnovi niklja (npr. Hastelloy®), prav tako so iz teh materialov tudi notranji sklopi, ki so izpostavljeni velikim napetostim. Izkaže se, da obstaja relativno malo nekovinskih materialov, ki so obstojni v tekoči vodi pri temperaturah nad 200 °C in bi jih lahko uporabili v avtoklavih. Mnogo materialov, ki so v agresivnih raztopinah pri sobnih razmerah izjemno obstojni, je povsem neuporabnih. Tako je od organskih materialov uporaben le politetrafluoretilen (PTFE), bolj poznan pod komercialnim imenom Teflon®, pa še ta le do približno 300 °C. Njegova trdnost se pri temperaturah nad 150 °C hitro znižuje. V avtoklavih se uporablja predvsem za električno izolacijo. Večina stekel in keramik prav tako ni uporabnih, saj se npr. najpogosteje uporabljano silikatno steklo korodira in tvori silikate, podobno tudi glinica tvori aluminat [7]. Edina obstojna in uporabna keramika je cirkonijev oksid, stabiliziran z itrijem (angl. *yttria stabilized zirconia* – YSZ), odlikuje ga visoka trdnost in žilavost. Za izdelavo okna sta uporabna še diamant ali safir [8], vendar je cena takega okna zelo visoka.

Notranja oprema avtoklavov se razlikuje glede na namembnost: lahko imajo le statične nosilce za vzorce, naprednejše izvedbe pa imajo integriran natezni stroj, ki omogoča, da je vzorec (preizkušane) izpostavljen različnim vrstam natezne obremenitve (konstantna obremenitev, naraščajoča, ciklična ipd.). Po-



Slika 1: a) Avtoklav na Zavodu za gradbeništvo (ZAG). Najvišji dopustni tlak je 170 bar, najvišja temperatura pa 300 °C. Ima integriran natezni stroj (maks. 30 kN) in praskalo. Posoda avtoklava je iz titana, volumen 3 L, b) avtoklav – odprt (levo) s pripadajočim obtočnim sistemom na Paul Scherrer Inst. (Švica).

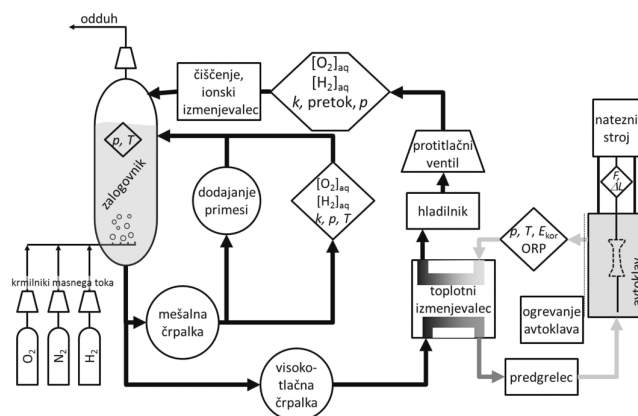
gonski del stroja (vreteno s koračnim motorjem ali hidravlika) in merilna celica za silo se nahajata zunaj tlačne posode in sta z drogom povezana z vpenjalnim sistemom v notranjosti. Tesnjenje droga je tehnološko izjemno zahtevno, saj mora zagotoviti izjemno majhno puščanje pri tlačni razliki nekaj 100 bar in temperaturi okoli 300 °C ali celo več. Hkrati pa ne sme izvajati prevelikega trenja na drog, saj bi to pri premikanju povzročalo dodatno, od napetosti preizkušanca neodvisno silo. Navadno gre za tesnilo na osnovi grafita (Grafoil®).

Na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG) imamo avtoklav, ki ima poleg integriranega nateznega stroja tudi dodatni vrtiljiv manipulator s praskalom za razenje preizkušanca, s čimer se v danih okoljskih razmerah odstrani pasivna tanka plast ali kompaktnější visokotemperaturni oksid s površine, **slika 1a**. Za spremljanje elektrokemijskih količin so avtoklavi navadno opremljeni z nekaj električnimi prevodnicami, ki morajo podobno kot vakuumske izvedbe zadoščati zahtevam po tesnosti in električni izolativnosti (teflonska in keramična izolacija). Po obliki so avtoklavi cilindrične geometrije, glavni pokrov je na vrhu in omogoča menjave vzorcev in druge posege v notranjost tlačne posode. Na pokrov je pritrjen natezni stroj, prav tako gre večina električnih prevodnic skozi pokrov.

Voda v avtoklavu po določenem času izpostave ni več enaka kot na začetku, saj so v njej korozijski in drugi neželeni produkti (kovinski kationi, raztopljeni plini ipd). Da poteka eksperiment pri nadzorovani in znani kemijski sestavi vode (kemija vode), imajo avtoklavi dovršen obtočni sistem (**slika 1b**), v katerem se meri in vzdržuje želena kemijska sestava vode. Navad-

no se kontrolirajo naslednji parametri: koncentracija raztopljenega kisika, vodika in dušika (ali kakšnega drugega inertnega plina), sledijo prevodnost in pH. V skladu z želeno kemijsko sestavo se vodi dodajajo tudi druge ustrezne primesi. Te se lahko dodaja vseskozi med eksperimentom, ker jih ionski izmenjevalec sproti odvzema iz obtoka, lahko pa se ionski izmenjevalec vnaprej namenoma prednasiti in jih ne odvzema iz obtoka, tako da jih dodamo v celotno vodo zgolj enkrat, tj. pred začetkom eksperimenta (to velja npr. za bor in litij).

Obtočni sistem sestavlja nizkotlačni del, ki ima temperaturo blizu sobni, in pa visokotlačni del, kjer je temperatura enaka ali blizu delovni temperaturi vode, **slika 2**. Opis obtočnega sistema začnimo pri zalogovniku, v katerem je nekaj 10 litrov vode pri sobni temperaturi. Skozi to vodo se vodi zmes vodika, kisika in dušika v ustreznem razmerju, ki na podlagi izračunov



Slika 2: Shema obtočnega sistema s prikazom merjenih količin

topnosti zagotavlja želeno koncentracijo vodika in kisika v vodi. Na vrhu zalogovnika je nekaj prostora za zadrževanje dovajane plinske zmesi, njen tlak pa se z nastavljivim ventilom zadržuje pri pribl. 0,5 bar nad atmosferskim tlakom. Parcialni tlaki te atmosfere (razmerje parcialnih tlakov je enako razmerju pretokov, ki jih določajo krmilniki masnega toka na jeklenkah) določajo koncentracije raztopljenih plinov.

Mešalna črpalka poganja vodo iz zalogovnika skozi senzorje za koncentracijo vodika in kisika, prav tako se meri prevodnost in seveda tlak ter temperatura. Vzoredno z meritvami poteka nadzorovano (na podlagi meritev prevodnosti) dodajanje morebitnih primesi. Voda se vrača v zalogovnik. Pripravljen vodo iz zalogovnika pa odvzema tudi batna visokotlačna črpalka, ki potiska vodo v visokotlačni del sistema. Pretok je majhen, navadno je nekaj izmenjav prostornine avtoklava na uro, vsekakor pa dovolj majhen, da ne povzroča erozijske korozije. Sunke tlaka zaradi gibanja bata črpalke (okoli 100/min) je treba zadostno ublažiti s tlačnim kompenzatorjem, sicer povzročajo dodatne sunke sile na natezni preizkušanelec. Vzrok leži v nekaj kvadratnih centimetров velikem prerezu droga, ki ga tlak vode skuša izriniti iz avtoklava. Periodična obremenitev bi namreč lahko privedla do utrujanja preizkušanca.

V visokotlačnem delu je višina tlaka določena z nastavitvijo protitlačnega ventila, ki samodejno regulira iztok v nizkotlačni del in zagotavlja konstanten tlak. Iz visokotlačne črpalke voda nadaljuje pot v toplotni izmenjevalnik, kjer prejme nekaj toplote od izhodne vode, vseeno pa jo je treba še dodatno predogreti. Primerno ogreta voda vstopa v avtoklav, seveda je treba zaradi toplotnih izgub nadzorovano ogrevati tudi tega.

V samem avtoklavu je vzorec (ali več njih), zato se tam merijo vse bistvene količine. Te so navadno korozijski potencial E_{kor} kovinskega vzorca, oksidacijsko-redukcijski potencial (ORP) vode, tlak in temperatura. Vzorec je popolnoma zalit z vodo, morebitni ujeti zrak v zračnih žepih se sčasoma raztopi v vodi. Če na vzorcu (preizkušancu) izvajamo mehanske obremenitve, se seveda nadzirajo in spremljajo tudi vsi pripadajoči parametri, kot so sila (F), raztezek (l) in hitrost raztezanja (v). Voda iz avtoklava teče skozi toplotni izmenjevalnik in skozi hladilnik do protitlačnega ventila, ki razmejuje visokotlačni in nizkotlačni del sistema. Pri sobni temperaturi se potem izmerijo izhodne karakteristike vode (koncentracija kisika in vodika, prevodnost itd.), saj jih ni mogoče meriti v avtoklavu. Sledi filtriranje vode z ionskimi izmenjevalci in filtri, nato se voda vrne v zalogovnik.

4 DEJANSKA KEMIJSKA SESTAVA VODE V VVR IN TVR

Kot je bilo v prejšnjem razdelku pojasnjeno, skušamo v avtoklavu držati nespremenjeno kemijsko sestavo vode med celotno izpostavo. Ta želen sestava pa navadno ni enaka čisti vodi, temveč ima nekatere primesi, ki so karakteristične za vsak tip lahkovodnega reaktorja in bodo predstavljene v nadaljevanju.

Hladilna voda v lahkovodnih jedrskih reaktorjih je tudi moderator, kar pomeni, da je izpostavljena močnemu ionizirajočemu obsevanju z nevtroni, alfa delci in gama delci. Posledično molekule vode disociirajo in nastane množica različnih radikalov in molekul, proces imenujemo radioliza. Nastanejo oksidirajoči (HO_2 , O_2 , $OH^\cdot$, O^{2-}) in reduktivni (H_2 , $H^\cdot$, e^-_{aq}) produkti, ki imajo različno rekombinacijsko dobo [9, str. 33]. Skupni učinek je prevladujoč oksidativni značaj vode (predvsem zaradi stabilnega H_2O_2 in O_2 [10, str. 2–9]), ki pospešuje korozijo. Prav ta značilnost hladilne vode je botrovala ogromno primerom napetostnokorozijskega pokanja v nerjavnem jeklu in drugim vrstam korozije (npr. korozija cirkonijevih srajčk) v prvih desetletjih vrelovodnih reaktorjev (VVR).

Primarni namen dodatkov hladilni vodi je preprečevanje korozije, kar pa je vedno neka kompromisna odločitev. Kovine v primarnem krogu imajo namreč različne korozijske lastnosti, prav tako se razlikuje tudi okolje (kemija vode, sevanje, temperatura, hitrost pretoka), zato ne obstaja optimalna koncentracija dodatkov, ki bi vsepovsod popolnoma preprečevala korozijo. K temu je treba dodati še omejitve glede sevanja (transmutacije dodanih snovi, povečana radioaktivnost hladilne tekočine) in tudi upoštevanje izkoristka in izrabljanja jedrskega goriva. V nadaljevanju sledi kratek opis primesi in koncentracij (angl. *water chemistry*), ki se sedaj dodajajo vrelovodnim in tlačno-vodnim reaktorjem.

V hladilni vodi v vrelovodnem reaktorju še dodatno prevladujejo oksidativni produkti radiolize, ker H_2 delno prehaja v plinasto fazo. Tako imenovana normalna vodna kemija (angl. *normal water chemistry* – NWC) v VVR ima koncentracijo raztopljenega kisika $[O_2]_{aq}$ okoli 200 ng/g in vodika $[H_2]_{aq}$ le približno 25 ng/g [11]. Z dodajanjem raztopljenega vodika (angl. *hydrogen water chemistry* – HWC) v hladilno vodo se pospeši rekombinacija kisika in vodika v molekule vode in s tem zmanjša oksidativni značaj vode. Tako nastane bolj reduktivno okolje. Že pri koncentracijah H_2 nad 500 ng/g (5,6 cm³/kg) [9, str. 159] je nastajanje oksidativnih snovi zaradi radiolize tako rekoč preprečeno. V VVR se dosejajo koncentracije v rangi 1,0–1,5 µg/g, dejanska vrednost pa je odvisna od posamezne elektrarne. Te koncentracije so zaradi izha-

janja vodika v parno fazo nižje kot v tlačnovodnem reaktorju.

S stališča NKP je glavni namen dodajanja vodika za zniževanje korozijskega potenciala E_{kor} , saj se le-ta zniža zaradi spremenjene koncentracije katodnih reaktantov. Meritve so pokazale [9, str. 570], da NKP ni zaznati, če je $E_{kor} < -230$ mV vs. SHE (standardna vodikova elektroda, angl. *Standard Hydrogen Electrode*) za nerjavno jeklo AISI 304. V zadnjem času se preizkuša dodajanje fino dispergiranih plemenitih kovin (npr. Pt, Rh, Os, Ir, Pd) [12, 13], ki delujejo kot katalizatorji za rekombinacijo O_2 in H_2O_2 s H_2 v H_2O in tako znižujejo potrebno koncentracijo H_2 .

Pri TVR je značilno, da je v hladilno vodo dodana še borova kislina (≈ 2 mg/g), ki dobro absorbira nevtrone in tako omogoča dodatni nadzor moči reaktorja. Za optimalno preprečevanje korozije v različnih delih (različni materiali) primarnega kroga je navadno zelena vrednost $pH_{300\text{ }^\circ\text{C}}$ okoli 7,2 [9, str. 59], [14]. V hladilno vodo se zato dodaja še LiOH (nad 2,2 ng/g). Iz enakih razlogov kot pri VVR se dodaja vodik, ki pa tu ne more prehajati v plinsko fazo, saj hladilna tekočina ne vre. Posledično se dodaja vodik v višjih koncentracijah, 2,2–4,5 $\mu\text{g/g}$. Cink (5–40 ng/g) [9, str. 515] se dodaja predvsem zaradi zaščite pred korozijo, hkrati pa se vgrajuje v oksidno plast namesto aktiviranih atomov niklja, železa in kobalta (tudi pri VVR). Tako se zmanjša radioaktivno sevanje delov primarnega kroga hladilne vode in posledično doza, ki jo prejmejo vzdrževalci.

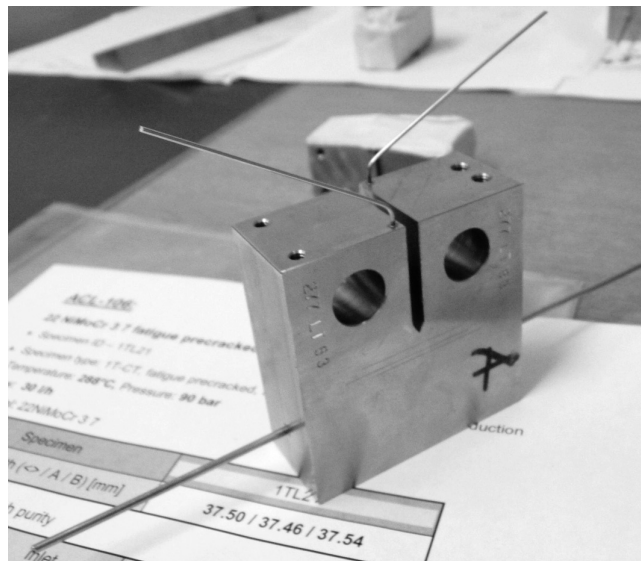
Pri obeh vrstah reaktorjev je potreben skrben nadzor nad prevodnostjo hladilne vode. Ta je dober pokazatelj prisotnosti ionskih primesi, tako želenih kot neželenih. Posebno kloridni in sulfatni ioni že v zelo nizkih koncentracijah povzročajo NKP, zato se skuša njihova koncentracija čim bolj znižati. Prevodnost hladilne vode igra pomembno vlogo še posebno v VVR, kjer je razmeroma malo dodanih primesi in je vsako povečanje zelo pogosto posledica sulfatnih in kloridnih ionov. Prevodnost hladilne vode je bila tako pred desetletji spoznana kot ključna v boju proti napetostnokorozijskem pokanju, kar je izraženo tudi v regulativah. Povprečna prevodnost tako že od začetka 80. let pada, sedaj je okoli 0,1 $\mu\text{S/cm}$ pri 25 $^\circ\text{C}$ [9, str. 571].

5 MERILNE TEHNIKE ZA NAPETOSTNOKOROZIJSKO POKANJE

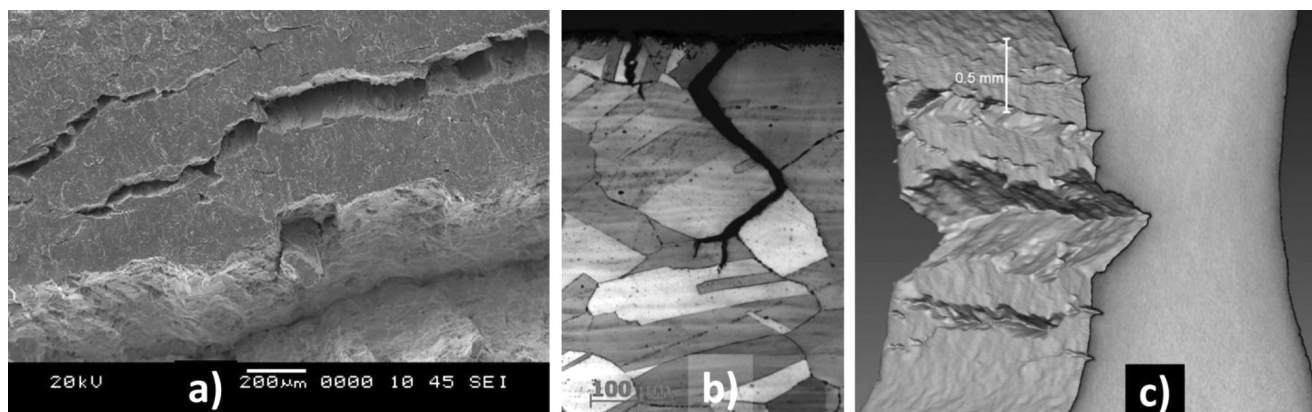
Napetostnokorozijsko pokanje (NKP) je kompleks pojavov, pri katerem sinergija elektrokemijskih in mehanskih procesov povzroči nastanek in rast razpoke v materialu. Za NKP je torej potrebna prava kombinacija mehanske obremenitve, kovinskega materiala in pa elektrolita [15, 16]. Degradacija kovinskih mate-

rialov zaradi NKP je še posebej aktualna v nuklearni tehniki in je primarni razlog za okvare obremenjenih kovinskih delov, ki so v stiku s hladilno vodo. Vroča voda (nad 250 $^\circ\text{C}$) z raztopljenim kisikom in/ali kloridnimi in sulfatnimi ioni lahko privede do nastanka NKP. To je zelo nevarna oblika korozije, saj je lokalne narave, rast razpok pa ima zelo dolgo inkubacijsko dobo, navadno se elementi prelomijo zaradi te oblike korozijskega delovanja brez predhodnih zunanjih vidnih znakov. V splošnem potekajo raziskave NKP v avtoklavih zelo dolgo, vsaj nekaj tednov pa vse do več mesecev in celo enega leta. Pogosto se skuša inkubacijska doba skrajšati ali preskočiti s predobremenitvami (npr. ciklično utrujanje pri sobnih razmerah), ki privedejo do inicialne razpoke, šele potem pa se preizkušanec izpostavi obremenitvi, ki je podobna siceršnji delovni obremenitvi.

Navadno se uporablja konstantna obremenitev ali počasi naraščajoča obremenitev. Slednja se lahko izvaja tako, da raztezek ΔL narašča linearno s časom ($dL/dt = \text{konst.}$) ali pa natezna sila narašča linearno s časom ($dF/dt = \text{konst.}$). Naraščanje mora biti zelo počasno [17], velikostnega reda $dL/L_0/dt \approx 10^{-7}/\text{s}$ ali manj, da se lahko razvije NKP. V nekaterih primerih se raziskuje tudi podvrženost in nastanek NKP pri prehodnih pojavih, ki nastopajo v jedrski elektrarni ob zagonu, ustavitvi ali spremembi obratovalnih parametrov – takrat navadno nastopijo spremembe v obremenitvi materialov. V te namene se izbere dinamična obremenitev z zelo nizko frekvenco. Glede na program izpostave (časovni potek obremenitve, celotni čas izpostave) so lahko natezni preizkušanci porušeni (pretrgani) ali pa ne.



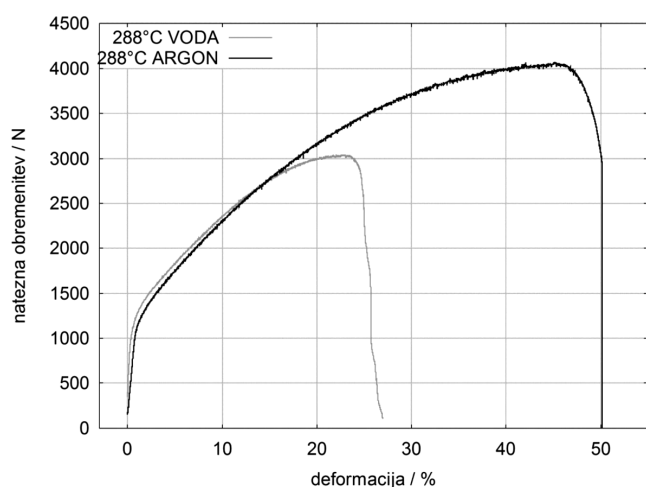
Slika 3: Standardiziran prizmatični natezni preizkušanec z lasersko privarjenimi žicami iz nerjavnega jekla za štiritočkovno merjenje upornosti. Zgornji dve žici sta namenjeni meritvi napetosti, preostali (debelejši) dve pa sta tokovna vodnika.



Slika 4: Tipični rezultati naših preiskav po izpostavi v vodi pri 288 °C in počasi naraščajočo obremenitvijo. a) SEM-slika ploščatega preizkušanca z zarezo, ki je bil pregledan pred porušitvijo. Poleg glavne, zelo globoke razpoke so prisotne še ožje, sekundarne. b) Metalografija ploščatega preizkušanca brez zareze – tudi nekaj milimetrov stran od prelomne površine lahko najdemo razpoke. Prikazana razpoka je najprej napredovala interkristalno, potem transkristalno. c) Rentgenska mikrotomografska presečna slika preizkušanca pod a).

Preizkušanci so v osnovi enaki, kot se uporabljajo za standardni natezni preizkus pri sobnih razmerah. Lahko so ploščati, valjasti ali pa standardizirani (ASTM E647-00, ISO 7539-6) prizmatični natezni preizkušanci (angl. *compact tension (CT) specimen*), **slika 3**. Pri ploščatih in valjastih preizkušancih se nastanek razpoke pogosto lokalizira s plitvo zarezo (angl. *notched specimens*), ki omogoča zanesljivejšo detekcijo procesov NKP z metodami *in-situ*. Če avtoklav nima vgrajenega nateznega stroja, lahko vnaprej pripravimo upogibne preizkušance s konstantno deformacijo ali konstantno obremenitvijo (preizkušanci v obliki C-prstanov, O-prstanov idr.), ki jo zagotavlja majhno kovinsko ogrodje [18], [19, str. 343].

Namen preiskav NKP v avtoklavu je ugotoviti, v katerih razmerah je material izpostavljen NKP. S tem

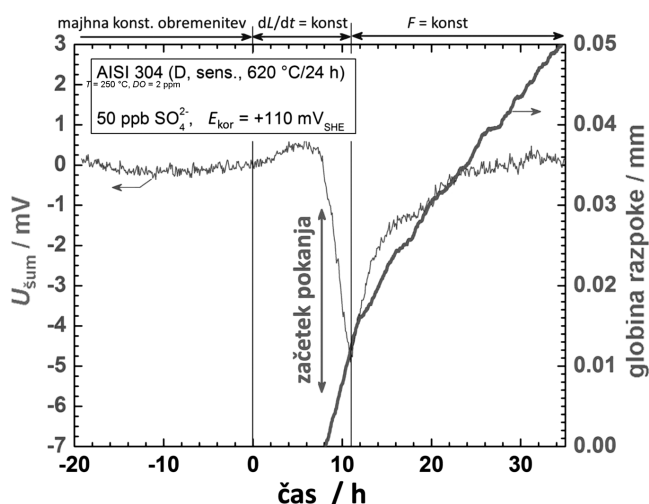


Slika 5: Napetostnodeformacijski krivulji enakega preizkušanca v avtoklavu v vodi in v suhem argonu pri 288 °C pri nateznem preizkusu s hitrostjo $dL/dt = 50 \text{ nm/s}$. Preizkušanec dolžine 25 mm je iz nerjavnega jekla AISI 304 in je namenoma toplotno obdelan, da se izločijo kromovi karbidi, kar poveča izpostavljenost za nastop NKP.

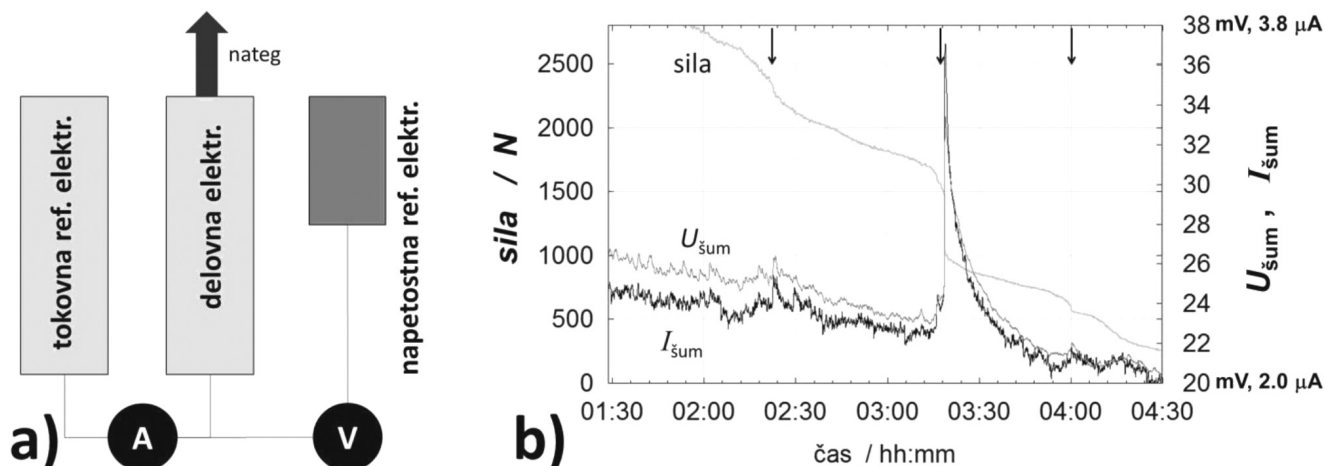
povezane merilne tehnike oz. preiskave lahko razdelimo v tri skupine:

(1) **Preiskave, narejene na preizkušancu po preteku izpostave v avtoklavu.** Sem uvrščamo vse vrste mikroskopij (optična, SEM itd.), metalografskih analiz, rentgensko mikrotomografijo ipd., **slika 4**. Če natezni preizkušanec ni porušen, ga lahko porušimo z naglim raztezanjem pri sobnih razmerah. To omogoča vpogled v prelomno površino, hkrati pa se kasneje nastala površina jasno loči, saj ni oksidirana. S temi raziskavami, ki so tudi sicer klasičen nabor preiskav pri analizi prelomov, lahko z določenimi modeli in privzetki sklepamo na širjenje razpoke med izpostavo.

(2) **Meritve obremenitve (napetosti) in raztezka preizkušanca, ki ju odčitavamo iz nateznega stroja med samim natezanjem v avtoklavu.** Potrebna je primerjava z mehanskimi lastnostmi in napetostno – deformacijsko krivuljo pri enaki temperaturi (natezni



Slika 6: Primer sočasne detekcije nastanka in rasti razpoke z napetostnim signalom elektrokemijskega šuma in merjenjem upornosti (kalibriran DCPD) [20]



Slika 7: a) Shema vezave občutljivega voltmetra in ampermetra z ničelno upornostjo (angl. zero resistance ammeter) za meritve signalov elektrokemijskega šuma, b) primer detekcije rasti razpoke z napetostnim in tokovnim signalom elektrokemijskega šuma – dogodki se skladajo z nenadnim padcem sile, kar je označeno s puščicami. Tokovni in napetostni signal nista obdelana.

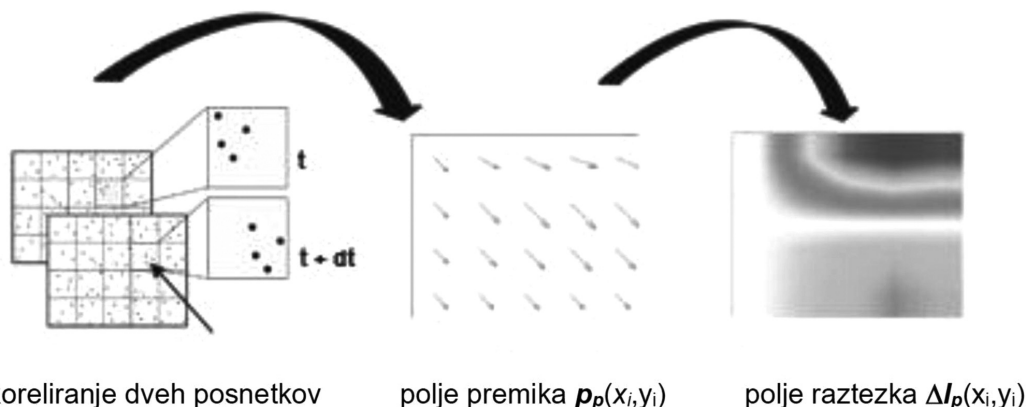
preizkus v inertni atmosferi), saj se te količine že znatno razlikujejo od sobnih, **slika 5**. Z dobrim opazovanjem raztezka pri konstantni obremenitvi lahko zaznamo, kdaj se začne intenzivnejša rast razpok, ki razmeroma hitro privede do porušitve.

(3) **Meritve in-situ.** Zaradi agresivnega okolja je na voljo le malo metod, ki omogočajo spremljanje dogajanja v preizkušancu med samo izpostavo, omogočajo pa dragocen vpogled v razvoj NKP.

Štiritočkovno merjenje električne upornosti: Skozi natezni preizkušanec, ki je vpet v električno izolirane čeljusti, vodimo konstanten električni tok I . Merimo električno napetost med točkama blizu zarezi, **slika 3**. Ta napetost U je neposredno povezana z upornostjo R , ta pa je odvisna od prereza na mestu zareze. Prerez A se zaradi rasti razpok s časom zmanjšuje. Odvisnost opisuje enačba $U = I R$. S to metodo lahko določimo povprečno globino razpok, potrebna pa je predhodna kalibracija. Za natančno spremljanje rasti razpok je treba zaznati zelo majhne spremembe napetosti (velikostnega reda μ V), **slika 6** [20]. Obstajata dve varianti

te tehnike: z enosmernim tokom (angl. *Direct Current Potential Drop* – DCPD) ali z izmeničnim tokom (ACPD). Tokovi so navadno v območju od 5 A do 50 A, odvisno od geometrije preizkušanca. Pri meritvah z enosmernim tokom je treba opraviti meritvi pri obeh polaritetah, da se izniči vpliv preostalih kontaktov in morebitnih termočlenov v celotnem vezju. Meritev z izmeničnim tokom je občutljivejša, ker pri dovolj visokih frekvencah teče tok predvsem na površini kovine (kožni pojav), kjer se pojavljajo razpoke.

Merjenje elektrokemijskega šuma: Analiza elektrokemijskega šuma in detekcija lokalnih korozijskih procesov temelji na sočasni detekciji fluktuacij toka I in napetosti U , ki se pojavljajo med delovno elektrodo (natezni preizkušanec) in referenčnima elektrodama [21, 22]. Za namen meritve torej potrebujemo tri elektrode, ki so navadno iz enakega materiala, in dve od teh enakih dimenzij. Električno napetost U merimo med delovno elektrodo – preizkušancem in eno izmed referenčnih elektrod, med delovno elektrodo in drugo referenčno elektrodo pa merimo električni tok I , **slika 7a**. Tokovne in napetostne fluktuacije, povezane z



Slika 8: Potek izračuna raztezka pri korelaciji digitalnih posnetkov

rastjo razpok, so navadno velikostnega reda 100 nA oz. 1 mV, **slika 7b**. Ker je čista voda zelo slabo prevoden elektrolit, je treba referenčni elektrodi postaviti čim bližje preizkušancu, ki ne sme biti v neposrednem električnem stiku z čeljustmi. Pri vseh elektrokemijskih meritvah v avtoklavu je treba dobro izolirati vodnike (navadno nerjavno jeklo ali nikelj), da je izpostavljen zgolj preizkušanec.

Meritve akustične emisije: Osnova analize akustične emisije je detekcija elastičnih valov, ki se od izvira širijo po snovi. V našem primeru je izvir občasno napredovanje razpok. Navadno se za detekcijo akustične emisije uporabljajo piezoelektrični senzorji, ki pretvorijo elastično valovanje, ki doseže kontaktno površino senzorja, v izhodni električni signal [16]. Pretvorbo omogoči piezoelektrični material (npr. keramika svinec-cinkonat-titanat), katerega lastnost je, da ob mehanski obremenitvi generira električni naboj. Tega z nabojnim ojačevalnikom pretvorimo v napetost. Idealno bi bilo te senzorje namestiti na sam natezni preizkušanec, vendar agresivno okolje tega ne omogoča, zato je treba namestiti senzor na drog, ki vleče čeljusti. Zaradi večkratnih sklopitev je šibek signal še dodatno oslavljen in je potrebno veliko truda, da zaznamo NKP. Prav tako je treba z obdelavo signalov izločiti vse tiste signale, ki nastanejo zaradi motenj in morebitnih drugih procesov.

Korelacija digitalnih posnetkov: Če ima avtoklav ustrezno okno, lahko napredovanje razpoke tudi dejansko opazujemo. Za uporabo korelacije digitalnih posnetkov (angl. *digital image correlation* – DIC) za detekcijo in karakterizacijo NKP je treba posneti vrsto digitalnih posnetkov pred natezanjem in med njim. Pri tem je prvi posnet pred vnosom sile ali takoj po vnosu le-te. Za detekcijo površinske interkristalne napetostno-korozijske razpoke lahko po opisanem postopku izračunamo dvodimenzionalno polje raztezka površine preizkušanca, **slika 8**. Razpoko in njeno rast lahko zaznamo na osnovi lokalno povečanega raztezka, ki je posledica nastajanja in odpiranja razpoke. Z opisanim postopkom lahko za analiziran posnetek glede na referenčni posnetek ocenimo dolžino razpoke na površini in maksimalni raztezek preko razpoke. Slednjega se lahko uporabi kot merilo za površinsko odprtost razpoke. Obe spremenljivki uporabimo za detekcijo razpoke in kvalitativen opis njene rasti [16, 8].

Elektrokemijska impedančna spektroskopija [23, 24]: Izvedba te, sicer klasične elektrokemijske metode [25], je zahteven izziv v nizkoprevodnem elektrolitu v kovinskem avtoklavu. Za visokotemperaturne in visokotlačne meritve so bile razvite posebne referenčne elektrode (Ag/AgCl, Ag/Ag₂SO₄, paladijev hidrid, Cu/Cu₂O/ZrO₂). Potrebno je zelo dobro poznanje delovanja uporabljene referenčne elektrode in njene stabilnosti pri uporabi.

Poleg navedenih tehnik, ki so namenjene izključno za detekcijo in opazovanje NKP, se v avtoklavu meri še oksidacijsko-redukcijski potencial vode. To je navadno kar korozijski potencial čiste platine, ki nam kaže tendenco vode, da v njej potekajo redukcijski ali oksidacijski procesi. Oksidacijsko-redukcijski potencial na podlagi modelov omogoča dodatno preverjanje, da je voda res v stanju (prevodnost, koncentracija kisika in vodika itd.), kot želimo. Splošno stanje kovinskega vzorca prav tako preverjamo z meritvijo njegovega korozijskega potenciala E_{kor} . Ta sicer ne more zaznati NKP, je pa zelo koristno merilo za približevanje stacionarnemu stanju (rast oksidne plasti) po začetku izpostave. Navadno je potreben vsaj en teden izpostave, da nerjavno jeklo približno doseže stalno debelino oksidne plasti, kar se pokaže v ustavitvi E_{kor} . Mehansko obremenjevanje preizkušanca praviloma sledi šele po tej pripravljalni fazi.

6 SKLEP

Kovinski materiali, ki so v stiku s hladilno vodo primarnega kroga v jedrski elektrarni so izpostavljeni visokim in dolgotrajnim obremenitvam, hkrati pa je prav od njih odvisna integriteta in s tem varnost delovanja reaktorja. Razumevanje degradacijskih procesov, predvsem lokalne korozije, je torej nujno, še zlasti pri odločitvah o podaljšanju trajnostne dobe večine sedanjih jedrskih elektrarn. Simuliranje razmer v naprednih avtoklavih omogoča raziskave teh procesov, kot tudi razvoj novih materialov in novih merilnih tehnik za tekoče spremljanje pomembnih parametrov.

Zahvala

Zahvaljujemo se Stefanu Ritterju z Instituta Paul Scherrer (Švica) za predstavitev njihovih avtoklavov in izkušenj z njimi.

7 LITERATURA

- [1] Waste autoclave, [en.wikipedia.org/wiki/ Waste autoclave](http://en.wikipedia.org/wiki/Waste_autoclave), zadnjič dostopano 2. 2. 2015
- [2] I. A. E. Agency, Stress Corrosion Cracking in Light Water Reactors: Good Practices and Lessons Learned, IAEA nuclear energy series, *International Atomic Energy Agency*, 2011
- [3] D. Bodansky, Nuclear Energy: Principles, Practices, and Prospects, *Springer*, 2007
- [4] NIST Chemistry WebBook, webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C7732185&Mask=4&Type=ANTOINE, zadnjič dostopano 2. 2. 2015
- [5] A. V. Bandura, S. N. Lvov, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 35 (2006) 1, 15–30
- [6] P. Kritzer, *The Journal of Supercritical Fluids*, 29 (2004) 1, 1–29
- [7] Electrochemistry in an Autoclave, www.gamry.com/application-notes/electrochemistry-in-an-autoclave/, zadnjič dostopano 2. 2. 2015
- [8] J. Duff, T. Marrow, *Corrosion Science*, 68 (2013), 34–43
- [9] D. Féron, Nuclear corrosion science and engineering, *Elsevier*, 2012

- [10] P. Millet, E. Rapport, PWR Primary Water Chemistry Guidelines, Vol. 1, Rev. 4, EPRI Technical report, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1999
- [11] D. H. Lister, v A. R. Chaplin, ur., Thermal power plants, vol. 2, 2009
- [12] R. L. Cowan, v Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems 8: Proceedings of the Conference Organized by the British Nuclear Energy Society, Thomas Telford Pub., 2000, str. 97
- [13] A. Ramar, P. V. Grundler, V. Karastoyanov, I. Günther-Leopold, S. Abolhassani-Dadras, N. Kivel, S. Ritter, *Corros. Eng. Sci. Technol.*, 47 (2012) 7, 489–497
- [14] Nuclear Engineering International, www.neimagazine.com/features/featurepwr-and-bwr-chemistry-optimization, zadnjič dostopano 2. 2. 2015
- [15] R. Jones, Stress-corrosion cracking – materials performance and evaluation, ASM International, 1992
- [16] J. Kovač, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, 2011
- [17] G. Ugiansky, J. Payer, Stress Corrosion Cracking: The Slow Strain-Rate Technique, American Society for Testing and Materials, 1979
- [18] R. Baboian, Corrosion Tests and Standards: application and interpretation, ASTM Manual Series, ASTM International, 2005
- [19] L. Vehovar, Korozija kovin in korozijsko preskušanje, *samoza.*, 1991
- [20] S. Ritter, H.-P. Seifert, *Energy Materials*, 3 (2008) 2, 72–80
- [21] J. R. Kearns, J. R. Scully, P. R. Roberge, D. L. Reichert, J. L. Dawson, Electrochemical Noise Measurement for Corrosion Applications, 1996
- [22] M. Leban, V. Doleček, A. Legat, *Corrosion*, 56 (2000) 9, 921–927
- [23] R. Bosch, D. Féron, J. Celis, Electrochemistry in Light Water Reactors: Reference Electrodes, Measurement, Corrosion and Tribocorrosion Issues, European Federation of Corrosion (EFC) Series, Woodhead publishing, 2007
- [24] J. Macák, P. Sajdl, P. Kučera, R. Novotný, J. Vošta, *Electrochim. acta*, 51 (2006) 17, 3566–3577
- [25] T. Kosec Mikić, I. Milošev, *Vakuumist*, 24 (2004) 1, 26–38

AKADEMSKI PREDNIKI PRVEGA KRANJSKEGA VAKUUMISTA JANEZA VAJKARDA KNEZA TURJAŠKEGA (ob štiristoletnici njegovega rojstva v Žužemberku)

Stanislav Južnič

ZNANSTVENI ČLANEK

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

POVZETEK

Prvi kranjski vakuumist knez Janez Vajkard Turjaški je začetek svojega uradnega šolanja opravil v Ljubljani. Kdo so bili njegovi učitelji, ki so usmerjevali njegova najstniška ljubljanska leta? Kdo so bili voditelji ljubljanske šole, ki so omogočali in podpirali delo Janezovih neposrednih učiteljev? Kateri so bili drugi pomembni Ljubljancani, ki so ob formalnih učiteljih pomagali obtesati njegova najstniška hotenja? In nazadnje, a nikakor ne najmanj važno, kdo je učil Janezove učitelje?

Petnajstletni Janez je nadaljeval študije v Nemčiji in nato v Italiji, kjer je so počasi zoreli prvi Torricellijevi vakuumski poskusi. Ob njegovih tamkajšnjih profesorjev opisujemo še dognanja in objavljena tehniška dela njegovega spovednika Ferdinanda de Montegnane, ki je prav tako študiral v Italiji.

Ključne besede: Janez Vajkard Turjaški, Athanasius Kircher, Otto Guericke, Ferdinand de Montegnana, Zgodovina vakuumske tehnike, Ljubljana

Ljubljana academic predecessors of the first Carniolan experimenter with vacuum Johan Weikhard prince Auersperg (On 400th anniversary of his birth)

ABSTRACT

According to the data about studies in Ljubljana College the first vacuum technology researcher from Carniola Johan Weikhard prince Auersperg (* 1615) passed from the lower Latin Maria congregation to the higher Latin Maria congregation in 1626 which means that he just finished the study of syntax (higher grammar) and was about to begin his studies of poetics. The supposition is that he entered the school as a beginner and finished it as the student of rhetoric. Prince Johan Weikhard Auersperg conducted a part of his formal training in Ljubljana, and continued it in Germany and Italy. Who were his teachers who guided his teenage years? Auersperg eventually finished just few years of his lower studies in Ljubljana. Who were the leaders of Ljubljana lower courses who enabled and supported the work of Auersperg's formal teachers? Who were the other important locals who helped Auersperg's formal teachers to manage his teenage aspirations? And last, but not least, who taught Auersperg's teachers?

The teenaged Johan Weikhard Auersperg conducted a part of his formal training in Ljubljana, and continued it in Germany and Italy where the stage was set for the first Torricelli's vacuum experiments. Besides professors who taught Johan also his court is discussed including his confessor Ferdinand de Montegnana who also studied in Italy and published a technical book.

Keywords: Johan Weikhard Auersperg, Otto Guericke, Athanasius Kircher, Ferdinand de Montegnana, History of Vacuum Technology, Ljubljana

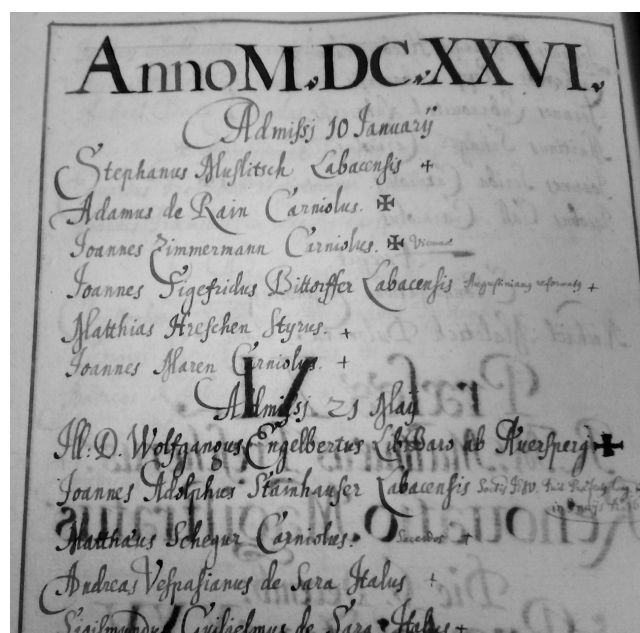
1 UVOD

Janez Vajkard Turjaški Auersperg (Johann Weikhard, * 11. 3. 1615 grad Žužemberk; † 13. 11. 1677 Ljubljana) se je rodil pred štirimi stoletji. Pred 360 leti

je postal prvi uspešen vakuumist s področja sodobne Slovenije. Bil je pomočnik in obenem bogati meceni Otta Guerickeja. Nedvomno je igral ključno vlogo pri začetkih moderne nove znanosti in še posebej vakuumske tehnike med Slovenci in njihovimi tedanjimi tujerodnimi sosedi.

Njegova pojava je prav značilno slovenska. Tako kot cela plejada poznejših voditeljev izobražencev na Slovenskem od Žige Zoisa preko Valvasorja in Frana Levstika do sodobnih let, tudi Janez pravzaprav ni imel uradne visoke izobrazbe; po drugi strani pa mu je zgodnje pečenje z diplomacijo v zrelih letih omogočilo prevzem najimenitnejših dunajskih političnih položajev in predvsem stike s pionirji vakuumske tehnike. In še naša posebnost: novodobni Slovenci zlahka prištevamo »barona« Valvasorja ali barona Žigo Zoisa med svoje rojake, večino njihovih stanovskih tovarišev in vzornikov vključno s knezom Janezom Vajkardom Turjaškim pa smo kar tja v en dan proglasili za tujce, čeprav Kranjcem ali celo njihovemu slovenskemu delu svoj čas niso bili nič bolj tuji od Zoisa ali Valvasorja. Vsi skupaj so pisali in govorili prav malo slovensko in toliko raje nemško.

Ta dvojnost meril še posebej bode v oči ob Janezovemu bratu deželnemu glavarju Volfu Engelbertu

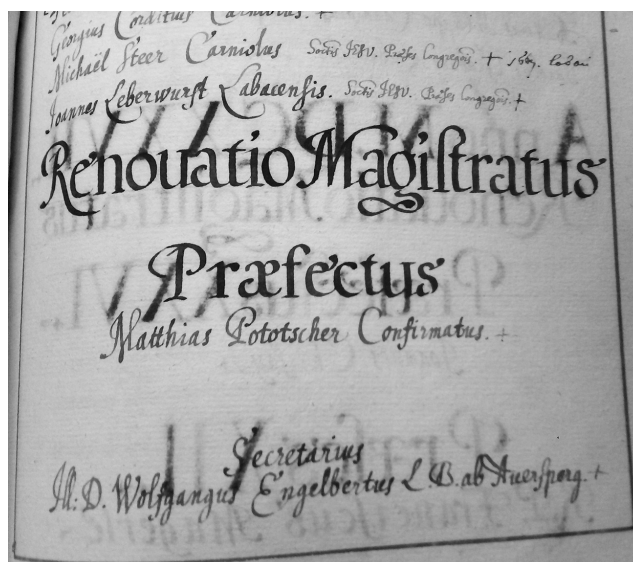


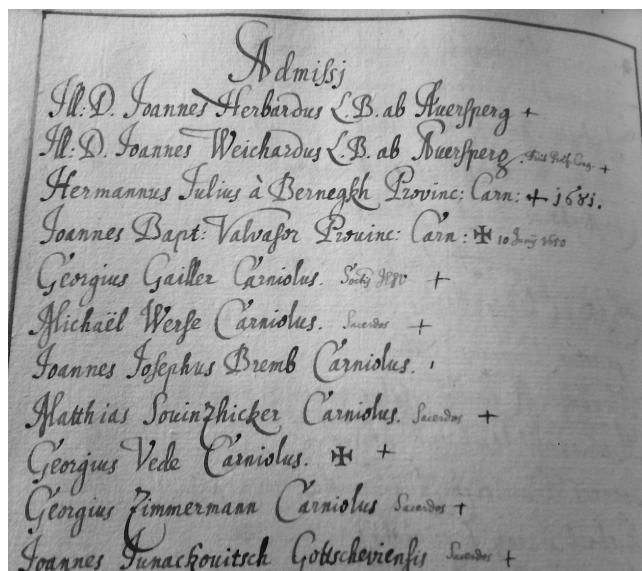
Slika 1: Vstop Volfa Egleberta v višjo latinsko Marijino družbo v Ljubljani 21. 5. 1626 (AS 1073 II/51r pagina 110)

Tabela 1: Študentska leta Janeza Vajkarda Turjaškega, njegovih bratov, očeta in stricev

Ime	Študij	Profesorji matematično-fizikalnih panog
Strica Herbard in Vajkard	Strasbourg, 1587	
Oče Ditrih	Strasbourg, 1591	
Herbard, Vajkard in Ditrih	Tübingen 26. 8. 1592 kot 469. avstrijski študent ¹	Maestlin, astronom
Ditrih	Strasbourg, 1593	
Herbard, Vajkard	Padova, 1593	Galilei, matematik, 1592–1610
Ditrih	Padova, 1595–1596 ²	Galilei
Brat Volf	Ljubljana, 1625, prešel 21. 5. 1626 kot študent sintakse iz nižje v višjo latinsko Marijino družbo kot njen tajnik leta 1626 ³	Poljak Albert Ocicky, rektor 1622–1630. Leta 1626 je latinsko Marijino kongregacijo vodil graški študent teologije Matej Prešeren, po njegovem odhodu pa Frančišek Magerle. Profesor sintakse je bil leta 1626 Goričan Nikolaj Posarel, ki je nato leta 1627 predaval poetiko.
Volf	Gradec, 9. 2. 1627 ⁴ nadaljuje v Ljubljani začeti študij poetike	Magister Stefan Keresztes (*1600 Žitný ostrov na Slovaškem) je predaval poetiko v Gradcu leta 1627, spovednik Alex Rocha je predaval fiziko, Kobav pa matematiko.
Volf	Benetke, Padova, Bologna ⁵	V tem času je Riccioli končal študij filozofije in nato predaval v Parmi.
Volf	Dunaj, 1629?	Paul Guldin, matematik 1623–1637
Volf	Siena, 15. 6. 1630– ; Višje študije, univerza ⁶	Gallaccini, matematik
Volf	Cleve(s), 1631? ⁷	
Brat Herbard	Ljubljana, 1629 vpisan v veliko latinsko Marijino kongregacijo ⁸	Predavatelj retorike Aegidius de la Rovere
Herbard	München, 1630–23. 1. 1632–	Nižje študije na jezuitskem kolegiju, nato na dvoru ⁹
Herbard	Strasbourg, 1631–21. 1. 1632 ¹⁰	Nižje šole ¹¹
Herbard	Gradec, pomlad 1633–jesen 1633 ¹²	Durand, matematik 1632–1654; Kobav, repetitor matematike
Janez	Ljubljana, 1629 predsednik velike latinske Marijine kongregacije ¹³	Vodja kongregacije Aegidius de la Roiere (Royer), predavatelj sintakse Janez Popp kot graški študent teologije
Janez	München, 1630–15. 1. 1632–	Nižje študije na jezuitskem kolegiju, nato na dvoru. Profesor Franz Schildt, doktor obojega prava, mu predava v Münchnu ali Würzburgu. ¹⁴
Janez	Strasbourg?	Nižje šole ¹⁵
Janez	Bologna, pomlad 1633–jesen 1633	Riccioli (Grimaldi) ob žoganju s sošolci v igri <i>pallone</i> ¹⁶
Janez	Siena, junij/julij 1635–1636 filozofija, pravo ali medicina ¹⁷	Gallaccini, Galileijev obisk pri sienskem nadškofu Ascaniu Piccolominiju, bratu Ottavia in Enea, od 30. 6. 1633 do konca leta
Bratranec Janez Andrej grof Turjaški (*1615; † 1664)	Ljubljana, 21. 6. 1651 ¹⁸	

Turjaškem (Auersperg), poglavitnem zunajšolskem pospeševalcu omike najstniškega Valvasorja. Oba vrla moža bi kar ne znala zapreti ust od presenečenja, če bi tako ali drugače zvedela, da imamo Valvasorja danes za pristnega Slovenca, Turjaških pa – ne! Novodobni mislec se nikakor ne zmorem izogniti občutku, da gre za prenašanje kasnejših lastnosti na nekdanje rodove: ker so bili knezi Turjaški slovenskim strankam gorki v

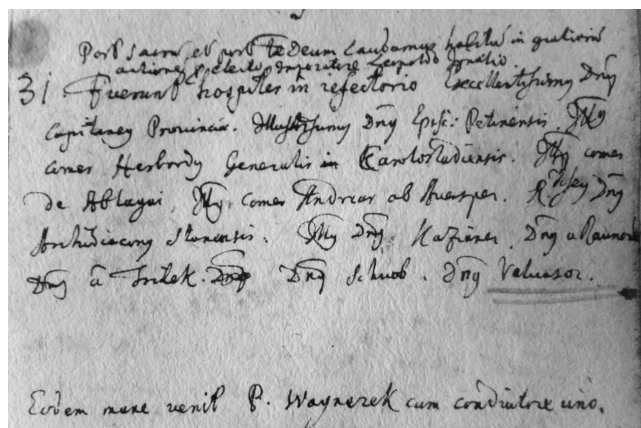
¹ Preinfalk, 2005, 99, 111; Hermelink, 1976, 1: 696; Elze, 1977, 80² Elze, 1977, 79, 80³ Radics, 1865, X; AS 1073 II./51r, pagini 110, 111; Baraga, 2003, 104⁴ Lukács, *Catalogi*, 2: 297; Andritsch, 1977, 82, št. 104⁵ Radics, 1865, X⁶ Weigle, 1962, 1: 255⁷ Radics, 1885, 36; Bircher, 1995, 286⁸ AS 1073 II./51r, s. 116 št. 1; Baraga, 2003, 107, 108, 109⁹ Sienell, 2001, 87; Mecenseffy, 1938, 299¹⁰ Radics, 1885, 34¹¹ ne omenja ga Knod, 1976¹² Radics, 1885, 36; Steklasa, 1881, 613¹³ AS 1073 II./51r, s. 116 št. 2¹⁴ Sienell, 2001, 87; Mecenseffy, 1938, 299–300¹⁵ Ne omenja ga Knod, 1976¹⁶ Žvanut, 2009, 13¹⁷ Weigle, 1962, 1: 263¹⁸ AS 1073 II./51r, s. 31**Slika 2:** Volf Eglebert Turjaški kot tajnik Marijine družbe v Ljubljani po 21. 5. 1626 (AS 1073 II./51r pagina 111)



Slika 3: Vstop Janeza Vajkarda in Herbarta Turjaškega v višjo latinsko Marijino družbo v Ljubljani leta 1629 (AS 1073 II/51r pagina 116)

19. in 20. stoletju, smo njihovo tedanjo Slovencem nasprotno politiko neupravičeno prenesli na prav nič krive štiri stoletja starejše prednike Turjaških.

Tu bi se morda kazalo pošaliti: ali ni slovenskost polihistorja Valvasorja ali Žige Zoisa morda povezana z usodo njunega rodu, zaradi katere Valvasorjev med pomladjo narodov ni bilo več v slovenskih krajih, Zoisi pa niso spadali med prvovrstne slovenskim vemožem nasprotne politike? Če stopimo še korak dlje, ali bi morebitni potomec polihistorja Valvasorja ali Zoisa, ki bi podpiral tujerodno politiko, morda omajal

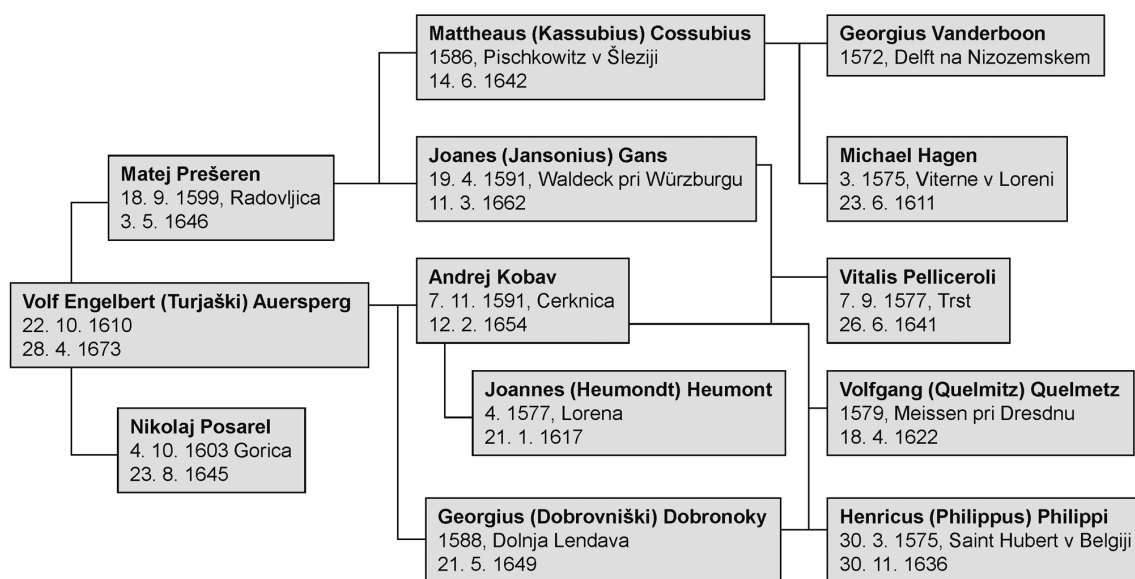


Slika 4: Zapis o bratu prvega kranjskega vakuumista karlovškem generalu Herbartu Turjaškem izpod peresa jezuitskega letopisca na novoletni dan 1. 1. 1654¹⁹

sodobno priljubljeno Valvasorjevo slovenskost? Nam je Valvasor res tako močno prirasel k srcu tudi po narodnostni plati predvsem zato, ker so njegovi sinovi odšli v samostan, potomci hčera pa so svoj košček sreče užili na tujem? Vsekakor bi si veljalo prisvojiti vsaj vakuumista Janeza Vajkarda kneza Turjaškega, saj je nedvomno bil Žužemberčan in Ljubljčan.

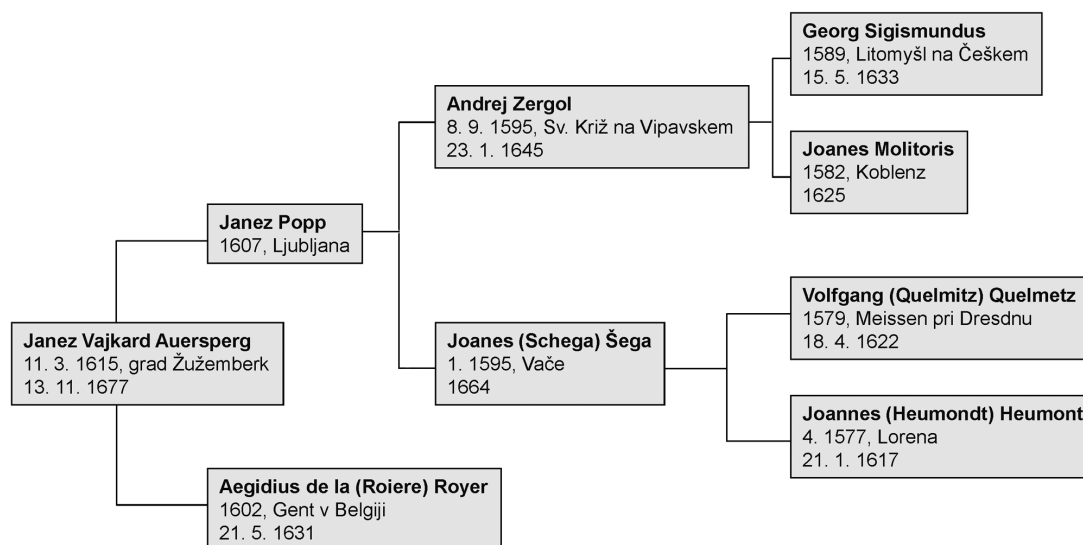
2 DOLOČITEV ČASA LJUBLJANSKIH ŠOLSKIH DNI JANEZA VAJKARDA TURJAŠKEGA

Njega dni so nižje šole imele šest letnikov: začetnico, osnove, gramatiko, sintakso, poetiko in retoriko; za nameček so ljubljanski jezuiti ponujali še visokošolski študij moralne teologije. Janez Vajkard nižjih



Slika 5: Akademski predniki vakuumistovega brata Volfa glede na njegov študij v Ljubljani. Med njimi so bili slovenskega rodu vsaj Prešeren, Posarel, Kobav in Dobronoky. Pod imenom je najprej navedeno rojstvo, nato vstop med jezuite, študij (matematike in) fizike, zaključek študijev zamaknjen v desno, delovna mesta in smrt v desnem spodnjem kotu.

¹⁹ AS 1073, I/32r, folij 64r



Slika 6: Akademski predniki prvega kranjskega vakuumista glede na njegov študij v Ljubljani

študijev ni končal pred jesenjo 1629, ko se je vključil v višjo (veliko) latinsko kongregacijo (družbo) Marijinega vnebovzetja. Vanjo je prestopil iz nižje (male) latinske kongregacije Kraljice angelov, ki pa nima ohranjenih matrik. Bodoči vakuumist je tako leta 1628/29 končal študij sintakse (višje gramatike) kot član nižje (male) kongregacije Kraljice angelov in se je zato lahko leta 1629 vpisal v latinsko višjo kongregacijo Vnebovzete kot bodoči študent poetike v šolskem letu 1629/30. Ni mogoče dokazati, da bi bil bodoči prvi slovenski vakuumist vključen v kongregacijo Kristusovega smrtnega boja, ki je kljub zgodnejšim, mestoma spornim začetkom dodobra zaživela komaj leta 1660.²⁰ Prav tako se seveda kot visoki plemič ni vključil v nemško meščansko Marijino kongregacijo.²¹

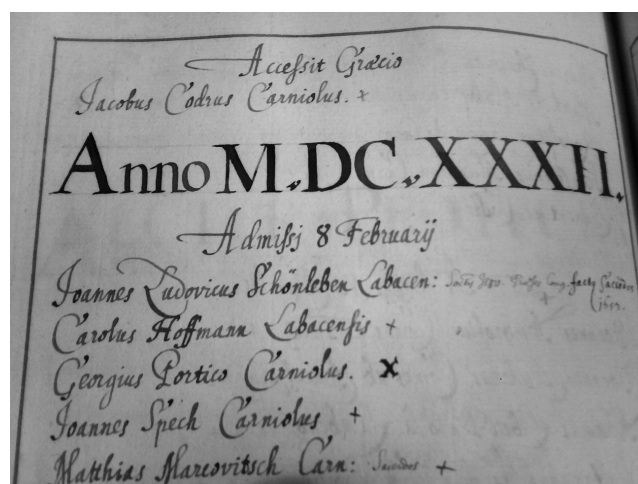
V tej razpravi bomo obravnavali vakuumistove ljubljanske šolske dni v 1620. letih.

3 VAKUUMISTOV BRAT IN NJEGOV PRIJATELJ KNJIŽNIČAR SCHÖNLEBEN

Sin ljubljanskega župana Janez Ludvik Schönleben je fiziko na univerzi v Gradcu študiral pri učencu Ch. Grienbergerjevega študenta Hermannusa Horstiusa in Andreja Zergola, ki je bil po svoji strani dijak Cerknice Andreja Kobava. Iz Kobavove dolgoletne graške šole je izšel tudi Schönlebnov in Warmuetov profesor matematike Filip Müller kot dijak Belgijca Jakoba Honorata Durandusa in predvsem Poljaka

Sigismunda Mogilnickega. Filip je cesarja učil prava in matematičnih ved, kot spovednik med letoma 1654–1676 pa ga je spremljal med cesarjevim obiskom Ljubljane 12. 9. 1660;²² visoke obiskovalce sta gostila prvi kranjski vakuumist Janez in njegov brat deželni glavar.

Prijatelj in knjižničar Volfa Engelberta Turjaškega, Schönleben, je bil prefekt ljubljanske jezuitske nižje šole leta 1650/51.²³ Ob koncu svoje prefektуре je 22. 6. 1651 Schönleben vodil ljubljansko proslavo obletnice bitke pri Sisku,²⁴ ki si jo je desetletni Valvasor gotovo ogledal. Schönleben je postavil šolsko dramo *Heresis fulminata*, s predstavami pa so mu sledili drugi patri:



Slika 7: Vstop Schönlebna v višjo latinsko Marijino družbo v Ljubljani leta 8. 2. 1632 (AS 1073 II/51r pagina 122)

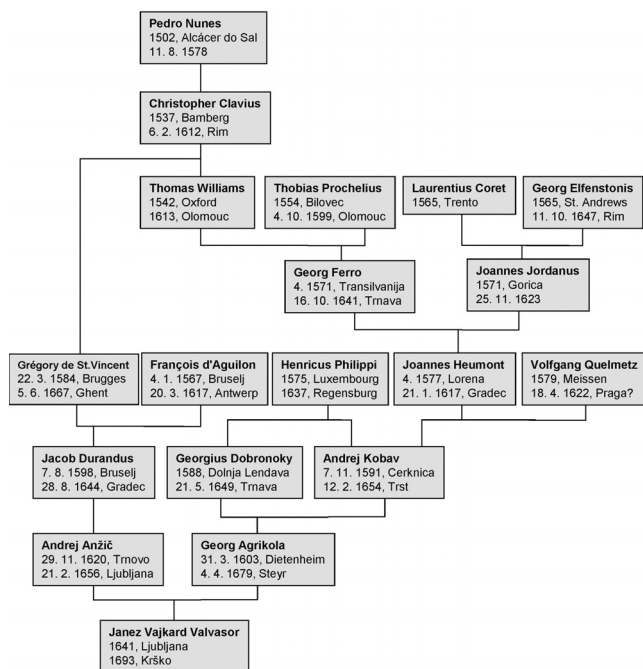
²⁰ Lavrič, 2010, 274; AS 1073 II/53r

²¹ AS 1073 II/52r; Lavrič, 2010, 263; Bizant, 1998, 147

²² Baraga, *Letopis*, str. 214; Lukács, *Catalogi*, str. 678

²³ Dolinar, 1976, 203–204; Baraga, 2003, 167

²⁴ Reisp, 1983, 77



Slika 8: Drevo akademskih prednikov prefekta ljubljanskih nižjih šol Jurija Agrikola, ki je v Ljubljani deloval v času Valvasorjevega šolanja med letoma 1653–1657; ob njih so še akademski predniki njegovega kolega Anžiča.

predavatelj sintakse Joachim Hating pod naslovom *S. Janchorus Martyr* leta 1655, predavatelj retorike Andreas Anžič (Anšič) leta 1655 s *S. Pancratiusom* in predavatelj gramatike Willibaldus Kogger z bržkone tragično predstavo *Maria Stuart, Scotiae regina* leta 1657 v času Valvasorjevega šolanja.²⁵

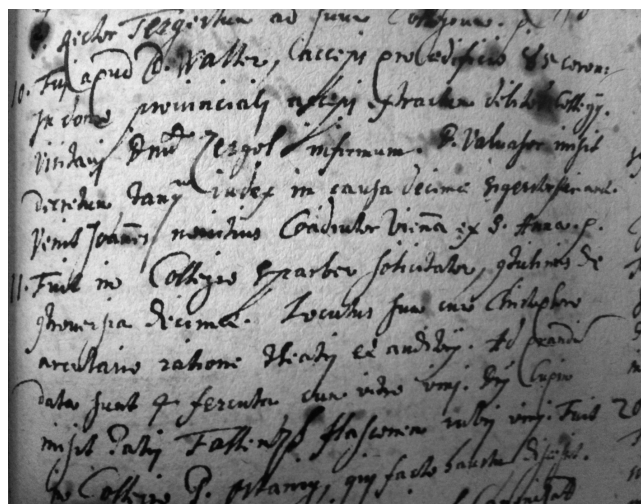
Kot ljubljanski duhovnik je Schönleben tudi po izstopu iz jezuitske družbe tesno sodeloval z jezuiti, ki ga v svojem dnevniku pogosto navajajo. Izstopil je pač le zato, da je lahko ostal na Kranjskem po domala dvajsetletnem jezuitskem stažu. Potovanja v eksotične dežele mu očitno niso preveč dišala, saj bi ga gotovo tudi ovirala pri pisanju o Kranjski. Bil je pogost gost jezuitskega kolegija, kjer je srečeval najstnika Valvasorja.

Schönleben se je kot jezuit v Ljubljani rad družil z nekdanjim trnavskim fizikom, pravkar prispelim Harrerjem; skupaj sta obiskala Bled 8. 6. 1651. Wilpenhoffer in Harrer sta družno obiskala Trst; Schönleben je med drugim obiskal ljubljanski jezuitski kolegij maja 1657, Wilpenhoffer in Harrer pa sta 6. 8. 1657 obiskala Kamnik in Kočevje dne 20. 9. 1657.²⁶

Ob dobro obloženem omizju deželnega glavarja Volfa Engelberta Turjaškega in njegovih dedičev so se pogosto sestajali mladi Valvasor, Janez Danijel baron

Erberg, brat Valvasorjevega sošolca Jurij Andrej baron Gallenfels, Franc Hohenwart, Marko Grbec (Gerbec), poznejši prošt Janez Krstnik Prešeren, predvsem pa nekoliko starejši Janez Ludvik Schönleben.²⁸ Iz plodne izmenjave mnenj se je izcimila celo marsikatera usodna povezava: M. Grbec si je tako za drugo soprogo izbral Ano Katarino Schwiz(en), nečakinjo Schönlebenovega nečaka Janeza Gregorja Dolničarja.²⁹

Volfova palača je po svoje spominjala na tedaj moderne italijanske akademije; v resnici so Volfovi mladi prijatelji postali zametek Operozov, ustanovljenih v letu Valvasorjeve smrti.³⁰ Številni Volfovi bližnji prijatelji so bili akademiki Operozi, denimo Franc Hohenwart z akademskim imenom »Innubus«; po drugi strani se je Schönleben včlanil v bolonjsko akademijo *Gelati*, podobno kot pozneje (1679) njegov nečak



Slika 9: Zapis o prijatelju prvega kranjskega vakuumista, Valvasorju, v dnevniku ljubljanskih jezuitov v času tamkajšnjega šolanja J. V. Valvasorja 10. 3. 1657. Edini zaznamek o Valvasorjih v jezuitskih dnevnikih, ki bi se morda lahko nanašal na Janeza Vajkarda, saj preostali trije iz njegovih šolskih let očitno poročajo o proslavah, ki se jih je pri ljubljanskih jezuitih udeležil Valvasor skupaj z drugimi kranjskimi plemiči in se tako očitno nanaša na enega starejših Valvasorjev. Ljubljčan Franz Zergoll pl. Zergollern, soproj Felicite in oče Franca Wilhelma s pozneje Gruberjevega gradiča Podrožnik (Mali Rožnik Rosenbüchel), je ob koncu Valvasorjevih študijev leta 1657/58 daroval ljubljanskim jezuitom 500 gld,²⁷ tako da se zapis verjetno nanaša nanj. Zapis resda poroča zgolj o 85 kronah v povezavi z dajatvami provinciala in oslabeledim gospodom Zergolom. Valvasor je naveden v povezavi z indeksom in desetino. Takoj za Valvasorjem je bil naveden Joannes kot pospeševalec pouka novincev pri jezuitski cerkvi sv. Ane na Dunaju.

²⁵ Dolinar, 1976, 61

²⁶ AS 1073, I/32r, foliji 3v, 36v, 40v, 49r

²⁷ Dolinar, 1976, 130; Baraga, 2003, 200, 206

²⁸ Kokole, 2004, 35; Simoniti, 1974, 24; Simoniti, 2007, 337; Stefan, 1907, 43

²⁹ Smolik, Terpin, 74

³⁰ Kmecl, 2005, 11

Janez Gregor Dolničar, ki se je leta 1709 vpisal celo med rimske Arkadijce.

Poglavitni čar Volfovega baročnega omizja je bila gotovo njegova bogata knjižnica. V Volfovem času sta jo uporabljala vsaj Schönleben in Valvasor, ki sta prav zato kmalu zbrala lastni bogati knjižni zbirki.³¹ Podobno je ravnal Janez Danijel Erberg, sin Turjaškega mitničarja iz Knežje Lipe na Kočevskem, ded kitajskega astronoma Hallersteina in praded enega naših najpomembnejših zbiralcev knjig in starin barona Jožefa Kalasanca Erberga; Janez Danijel je imel nad 650 knjig.³² Svojevrstno podobno vlogo je vmes med Volfom in razsvetljencem Žigo Zoisom odigral Valvasorjev Bogenšperg, čeprav tamkajšnje omizje zaradi podeželske odmaknenosti, domače tiskarne in zbirke tehničnih naprav ni temeljilo zgolj na dobrobitih domače knjižnice.

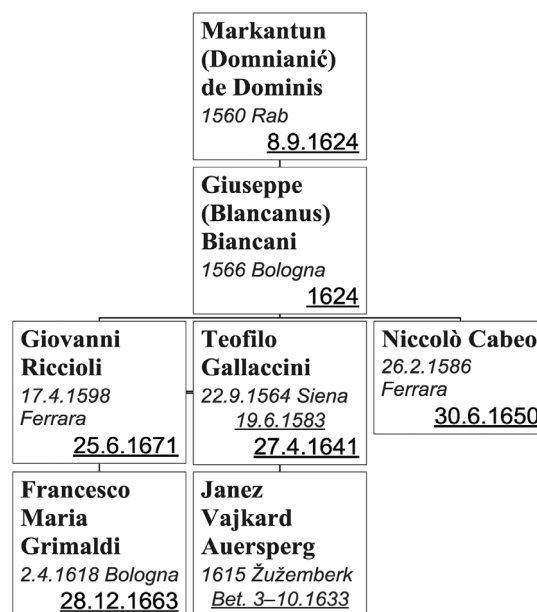
Bodoči deželni glavar Volf Engelbert Turjaški je dne 21. 5. 1626 postal član in nato sekretar višje latinske Marijine kongregacije v Ljubljani nekaj mesecev po svojem prestopu v katoliško vero.³³ V Ljubljani začeti študij poetike je 9. 2. 1627 nadaljeval v Gradcu kot 104. dijak *Wolfgangus Engelbertus L. Baron ab Auersperg Dominus in Schemberg* pri predavatelju magistru Stefanu Kerezstesu. Čeh Kerezstes je študiral filozofijo z matematiko in fiziko v Olomoucu, tako da so bili med njegovimi akademskimi predniki številni Čehi in Poljak Joanes Cadlovius. Med najpomembnejšimi akademskimi predniki Volfa Engelberta Turjaškega po veji njegovih graških študijev spada nedvomno Kraševac Janez Rafael Kobencel, katerega družina se je povzpela predvsem v diplomaciji; Turjaškim navkljub je ostala vseskozi zvesta cesarjevemu katolištvu. Leta 1627 je bil prefekt Volfovih graških nižjih študijev in dekan jezikoslovja Vincentius Amigoni (Amigoli). Leta 1657 je sin Volfovega bratranca z enakim imenom Volf Engelbert Turjaški študiral retoriko in pozneje filozofijo v Gradcu.³⁴

Volf je svoje študije nadaljeval v Benetkah, Padovi, Bologni³⁵ in na Dunaju. Šolanje je končal v Sieni pri matematiku Gallacciniju po matrikulaciji 15. 6. 1630, podobno kot njegov mlajši brat, bodoči knez Janez Vajkard Turjaški, ki je v Bologni utegnil poslušati že slovitega astronoma in raziskovalca težnosti Ricciolija in njegovega prijatelja odkritelja uklona svetlobe Grimaldija. Med Gallaccinijevimi in Ricciolijevimi sošolci je bil tudi sloviti jezuitski raziskovalec magnetov in vremena Niccolò Cabeo, katerega knjigo je kupil Valvasor.³⁶ Njihov učitelj je bil Galileijev prijatelj

Giuseppe Biancani, ki je sam študiral pri Hrvatu Markantunu de Dominisu, po Newtonovem mnenju poglavitnem razlagalcu mavrice. Dominis je pozneje izstopil iz jezuitske družbe, postal senjsko-modruški in nato splitski škof. Obenem je padel v zapleteno kolesje inkvizicije, ki ga je po smrti zaneslo pod ognjene zublje skupaj z njegovimi knjigami 21. 12. 1624, v času ko je Volf Engelbert Turjaški še obiskoval nižje študije v Ljubljani.

4 WILPENHOFFER IN KIRCHER ZA VAKUUMISTOVEGA BRATA

Nasprotno od matematikov Kobava ali praškega matematika Gottfrieda Aloisa Kinnerja z Löwenthurna je Wilpenhoffer Kircherju posredoval predvsem lokalne naravoslovne podatke, ki jih je Kircher spretno uporabil v svojih opisih Kranjske. Kircher Kranjske ni nikoli videl v živo, čeprav ni bil daleč od tega, saj bi se njegova pot iz Francije v Rim prav lahko končala na Dunaju, kjer naj bi Keplerja zamenjal kot cesarski matematik leta 1633. Wilpenhoffer je skrbel tudi za širjenje Kircherjevih del med Kranjci, predvsem v prid deželnega glavarja Volfa Engelberta Turjaškega. Nekaj mesecev po natisu *Mundus Subterranei (Structura globis terrestris, Iter Extaticum II)* je dne 24. 10. 1658 poročal Kircherju o želji »grofa, našega glavarja« po



Slika 10: Akademski predniki prvega kneza Janeza Vajkarda Turjaškega glede na njegov študij v Bologni

³¹ Kovač Artemis, 2005, 56

³² Štuhec, 2005, 120; Lubej, 2005, 51

³³ Radics, 1865, X; AS 1073 II./51r, pagini 110, 111; Baraga, 2003, 102, 104; Andritsch, 1977, 1: 82, št. 104

³⁴ Andritsch, 1977, 1: XVII, XIX, XXVII, 80, 82; 1980, 2: 103

³⁵ Radics, 1865, X, XVII

³⁶ Valvasor, 1995, 199

tej knjigi. V resnici je Volfov knjižničar Schönleben vanjo že istega leta 1658 vpisal Volfov ekslibris.

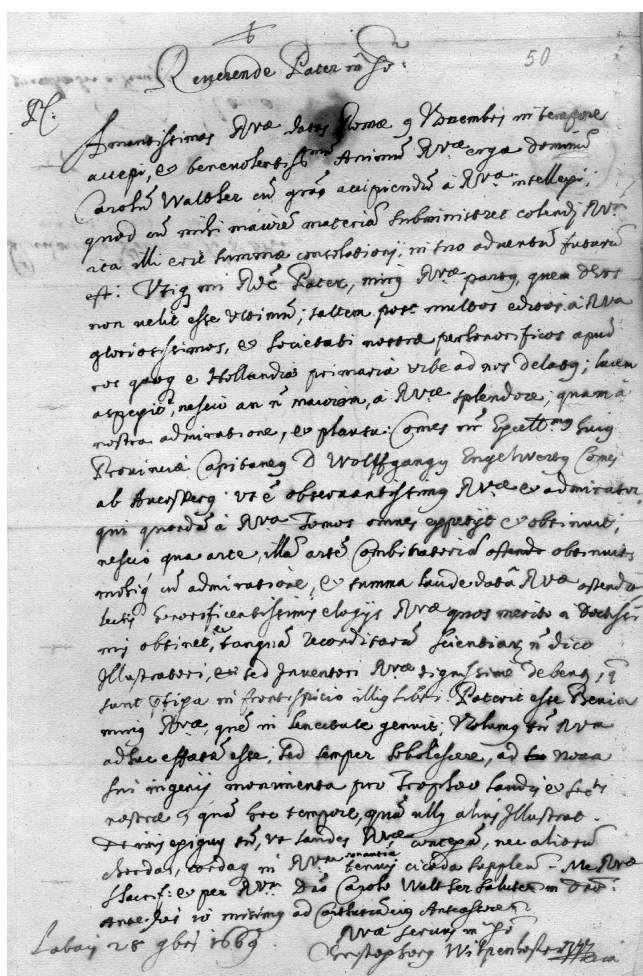
Wilpenhoffer je dopolnil Kircherjevo poznanje Kranjske. Kircher sprva ni omenil ne Idrije ne Cerkniskega jezera, čeprav je v poglavju o Alpski hidravliki poročal o vodah med Alpami ter srebru in mineralih pod njimi;³⁷ podrobneje je opisal Donavo³⁸ in lastnosti živega srebra.³⁹ Wilpenhoffer je Kircherju poročal o rudniku živega srebra, pri čemer Idrije ni imenoval; tam naj bi imeli tudi žilo »fosilnega srebra«. V zvezi z rudnikom je navedel Casatijevo knjigo *Ex Ligna*. Posebno pozornost je namenil jezeru »ob mestu, imenovanem Cerknica«, ki povsem ponikne pod zemljo in omogoča oranje s plugi po osušenem

polju, obenem pa še lov. Čez čas voda od spodaj znova stopi čez bregove in poplavi plodno polje z ribnikom, je pribil Kircher po Wilpenhofferjevih navodilih.

Enajst let pozneje je Wilpenhoffer znova pisal Kircherju iz Ljubljane v Rim (28. 11. 1669). Pismo je stisnil na eno stran tako, da je zadnjo polovico v stiski pisal z vedno manjšimi črkami, kot da nikakor ne bi smel začeti še druge strani. Najprej je žaloval za umrlim Karlom Watoserjem, bržkone skupnim jezuitskim znancom zunaj Avstrijske province, nato pa je poročal o dveh delih Kircherjeve *Ars Magna sciendi seu combinatorica* pod skrajšanim imenom *Ars combinatorica*. Tudi ta knjiga je navdušila »grofa ekscelenco deželnega glavarja« Volfa; le ta je medtem dobil pravico do naziva ekscelenca kot novi cesarski tajni svetnik. Volf je v Amsterdamu leta 1669 natisnjeno delo res dobil, Schönleben pa mu ga je popisal kar v strokovni skupini jezikoslovja. Nasprotno od drugih treh Kircherjevih knjig pa v *Mundus Subterranei* in *Ars combinatorica* Schönleben ni zapisal, da bi šlo za darilo pisca. To morda pomeni, da je oba tiska Volf vendarle moral kupiti; Wilpenhoffer je gotovo nastopal kot posrednik.

Kircher je raziskoval kranjske voda, ne da bi sam obiskal naše kraje in Cerknisko jezero;⁴¹ Kircherjev muzej v Rimu je bil pač zbirališče vsakovrstnih jezuitskih odkritij. Pred Wilpenhofferjem mu je o naših krajih, predvsem o idrijskem živorebrnem rudniku, največ poročal celovski jezuit Sigismond Siser (Siserius, Siserus, * 1. 5. 1636 Celovec; SJ 7. 10. 1653 Leoben; † 29. 12. 1693 Dunaj). Siserova pisma je Kircher ponatisnil v *Iter extaticum II. Qui et Mundi Subterranei* (1657),⁴² kar je Wilpenhofferja gotovo spodbudilo k dodatnim poročilom o Idriji in Cerknici za poznejšo izdajo Kircherjeve *Mundus Subterraneus*.⁴³ Siser se je po vstopu med jezuite leta 1653 in pred noviciatom v Leobnu 1655–1656 morda mudil med ljubljanskimi jezuiti, čeprav brez uradne funkcije. Leta 1656 je volil ljubljanskemu kolegiju 800 goldinarjev iz svoje zapuščine. Koroški deželni stanovi so v resnici iz tega naslova ljubljanskim jezuitom leta 1658 nakazali 500 goldinarjev gotovega denarja.

Siserova navezanost na ljubljanske jezuite je bila lahko tudi posledica padca s konja ljubljanskega študenta kazuistike Janeza Siserja (* 1. 7. 1608) iz Velikovca, ki je umrl v ljubljanskem kolegiju domala na dan rojstva svojega sorodnika Sigismonda Siserja.



Slika 11: Wilpenhoffer poroča Kircherju o Volfovi hvali Kircherjeve knjige *Ars combinatorica*.⁴⁰

³⁷ Kircher, 1657, 185–186

³⁸ Kircher, 1657, 162

³⁹ Kircher, 1657, 202

⁴⁰ APUG 559 folio 50^r. Za dovoljenje se zahvaljujem univerzi Stanford.

⁴¹ Kircher, 1650, 9. knjiga, 2. del, 7. poglavje; Schott, 1677 4. knjiga, 2. del, 518–533, 554–555; Habe, Kranjc, 1981, 20–21; Gruber, *Briefe*, 110; Korošec, *Beseda dve*, 12, 21

⁴² Kircher, 1650, 9. knjiga, 2. del, 7. poglavje; Siserius, *Epistola ad R.P. Kircherum, in qua hydria sive fodina argenti vivi in Carniola describitur* v Kircher, 1657, del, 173; Schott, 1677, Liber IV pars II, 518–533, 554–555

⁴³ Kircher, 1665, 9. knjiga, 2. del, 7. poglavje

Med letoma 1657–1659 je S. Siser študiral pri Kircherju v Rimu,⁴⁴ tako da mu je tja prinesel še sveže novice o kranjskih znamenitostih. Med letoma 1670 in 1673 je Siser predaval etiko in filozofijo na Dunaju.

Med 75 magistri in patri Valvasorjevih dni skupno pet profesorjev matematike (7 %) in 16 profesorjev fizike (21 %); med njimi jih je dvanajst (16 %) objavilo svoja dela (Frančišek Menegatti, Janez Rovera, Kobav, Montegnana, Souttermans, Schönleben, Preischaff, Dillherr, Söldner, Jelenčič, Lindelauf, Rainer). Le prvi štirje pa so pisali (tudi) o fiziki in matematiki, med njimi v Celje priseljeni Ljubljčan Montegnana o kvadraturi kroga in magičnih štirikotnikih in drugih zabavnih problemih v štirih poglavjih⁴⁵ v času, ko je bil spovednik odstavljenega ministra kneza Turjaškega. Valvasor ni nabavljal knjig ljubljanskih jezuitov iz svoje šolske dobe z izjemo Ljubljčanov Schönlebna in Friderika Jelenčiča, ki sta oba ljubljanski kolegij zapustila poleti 1652.⁴⁶ Poleg Hermanna, Jelenčiča, Schönlebna, Montagnane in Kobava je bil Dolar edini med Valvasorjevimi ljubljanskimi profesorji, navedenimi v Slavi z izjemo popisa rektorjev; seveda je med pisci omenil tudi nekatere druge kranjske jezuite.⁴⁷

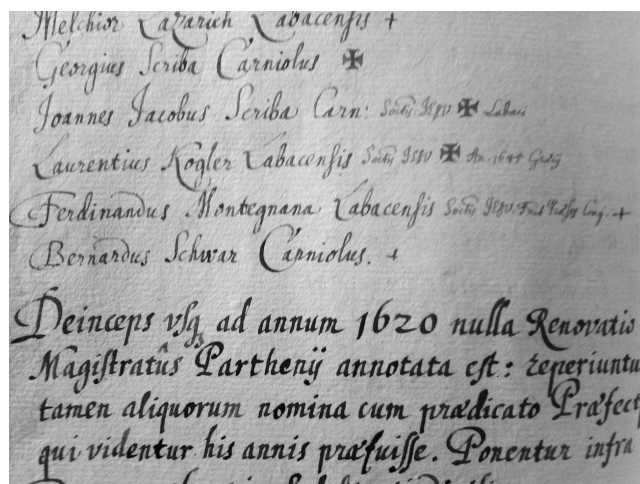
5 SPOVEDNIK PRVEGA KRANJSKEGA VAKUUMISTA PLEMIČ MONTEGNANA

Spovednik visokega plemiča je bil njega dni svojevrsten dvorjan, zaupnik in sodelavec. Med najznamenitejšimi svoje vrste je bil spovednik vakuumista Turjaškega jezuit Ferdinand de Montagnana (Montegnana), vnuk Trubarjevega sovražnika novomeškega prošta Polidorja Montagnana (†1604) in sin Hansa Severina (* okoli 1579; † pred 1602). Njegova bratranca sta bila jezuita Frančišek in Janez Jakob Harrer, sinova preddvorske graščakinje Felicite Montagnana in kranjskega mestnega sodnika Sebastijana Harrerja. Polidor je postal plemiški član kranjskih deželnih stanov dne 3. 6. 1592 v Gorici; osem let pozneje je ljubljanskim jezuitom podaril 400 goldinarjev vredne orgle in leta 1605 ustanovil štipendijo za dva študenta. Trubar je bil podložnik in prijatelj prednika prvega vakuumista Turjaškega in bi ga gotovo presenetila vakuumistova izbira spovednika, potem ko je svoj čas tako ostro zmerjal Polidorja.

Ferdinand de Montegnana je svoje ljubljanske nižje šole končal s študijem retorike leta 1615/16. S priporočilom ljubljanskega rektorja Poljaka Nikole Jagnithoviusa je bil 27. 12. 1616 sprejet na graški Ferdinandeum, kjer je 3. 1. in 3. 2. 1617 skupaj z Andrejem Zergollom na univerzi študiral logiko z matematiko,

naslednje leto 1617/18 pa bržkone fiziko. Leta 1619/20 je skupaj z Ljubljčanom Andrejem Tulijem Bernardinijem na Dunaju dodatno študiral retoriko pri Dunajčanu Ferdinandu Mengenhauserju (Mengerhauser).

Medtem ko so trije sošolci nadaljevali matematično-fizikalne študije v Gradcu, so Montegnana, Bernardinija in Gradčana Valerija Schörckela poslali v Italijo. Tako se je Montegnana med letoma 1620–1622 izobrazil na jezuitskem kolegiju v sicilski Messini, kjer je svoj čas poučeval legendarni Grk Francesco Maurolico (* 1494; † 1575), sin Carigrajanov, ki jim ni dišala tamkajšnja nova turška oblast. Benediktinec Maurolico je zaostalim Evropejcem skupaj z drugimi bizantinskimi ubežniki predstavil antično znanost s starogrškim jezikom vred in je tako tlakoval vakuumске poskuse Torricellija in njegovih dedičev. Med izdajatelji Maurolicovih del so bili rimski matematik Ch. Clavius, Giovanni Giacomo Staserio (*1565; † 1635) in Vincenzo Carnava († 1615) iz Messine. V času Montegnanovega laškega izobraževanja je Galileo s svojim kopernikanstvom začel prihajati v nasprotju z Vatikanom, potem ko je (pre)ostro okrcal jezuitskega astronoma in arhitekta Orazia (Horatio) Grassija.



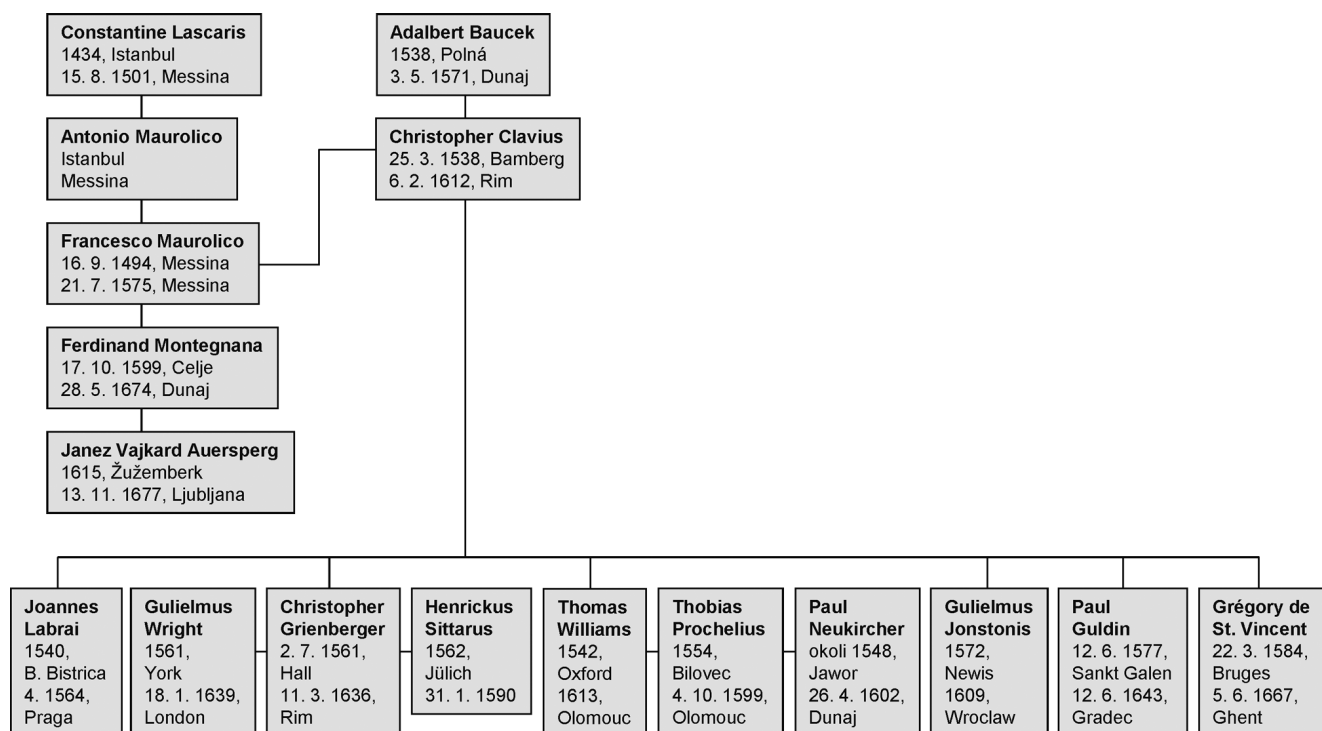
Slika 12: Zapis o vstopu bodočega spovednika prvega kranjskega vakuumista Ljubljčana Frančiška de Montegnane v visoko latinsko Marijino družbo pod predsedstvom profesorja retorike Valentina Koča (Cochio) iz Duderstadta vzhodno od Göttingena dne 8. 9. 1614 (AS 1073 II/51r str. 76, 78). Ob Montegnani sta vstopila še dve leti mlajši bodoči jezuit Ljubljčan Lovrenc Kogler in Ločan Janez Jakob Scriba. Dodana je opazka o Montegnanovem tri leta poznejšem vstopu med jezuite in o vodenju kongregacij. Valvasor ga je prav tako imel za Ljubljčana v nasprotju s poznejšimi zapisi, ki so upoštevali poznejšo preselitev družine v Celje.

⁴⁴ Baraga, 2003, 196, 294; 129; Lukács, 1988, 1554–1555

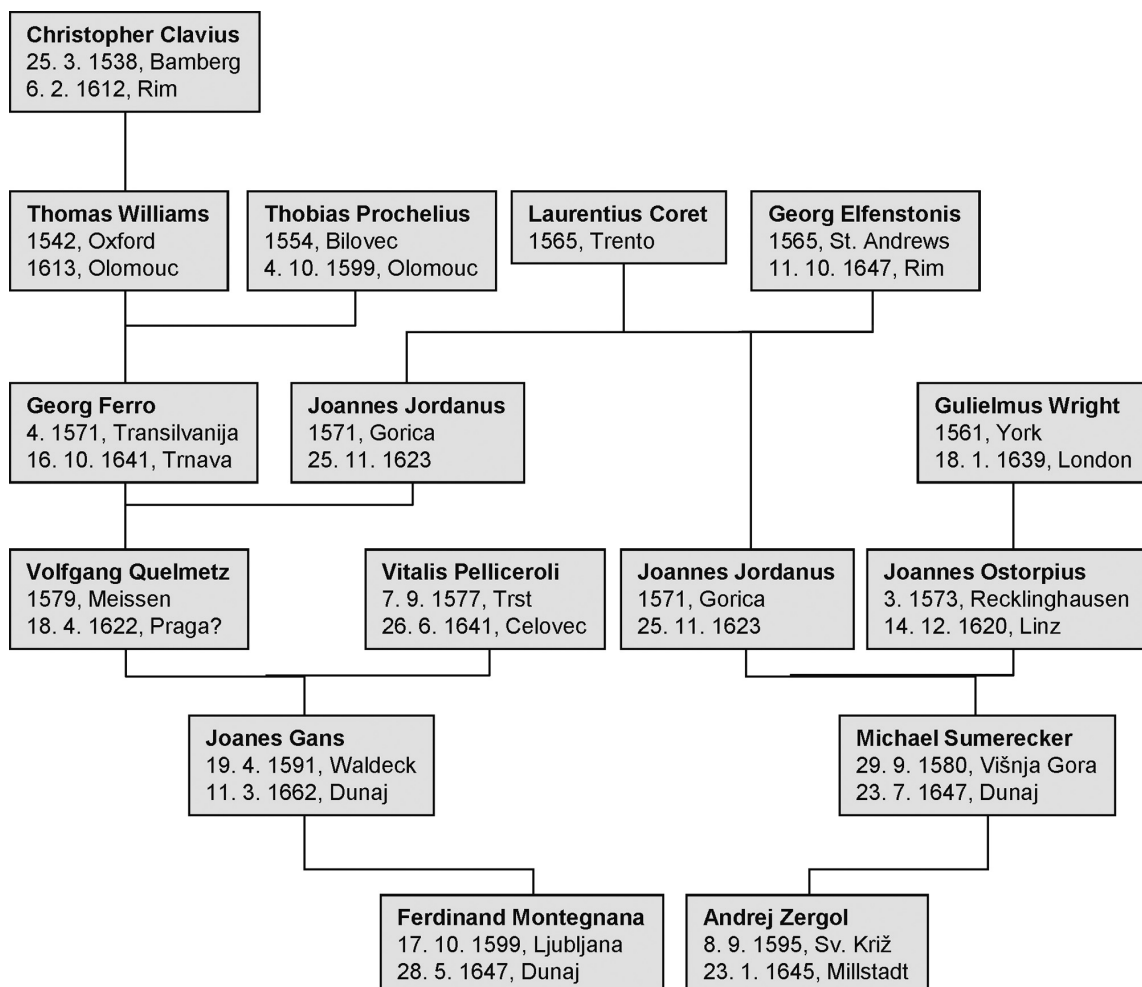
⁴⁵ Valvasor, 1689, 4/6: 353, 8: 742

⁴⁶ Valvasor, 1995, 416, 659–660; Jelenčič, 1662

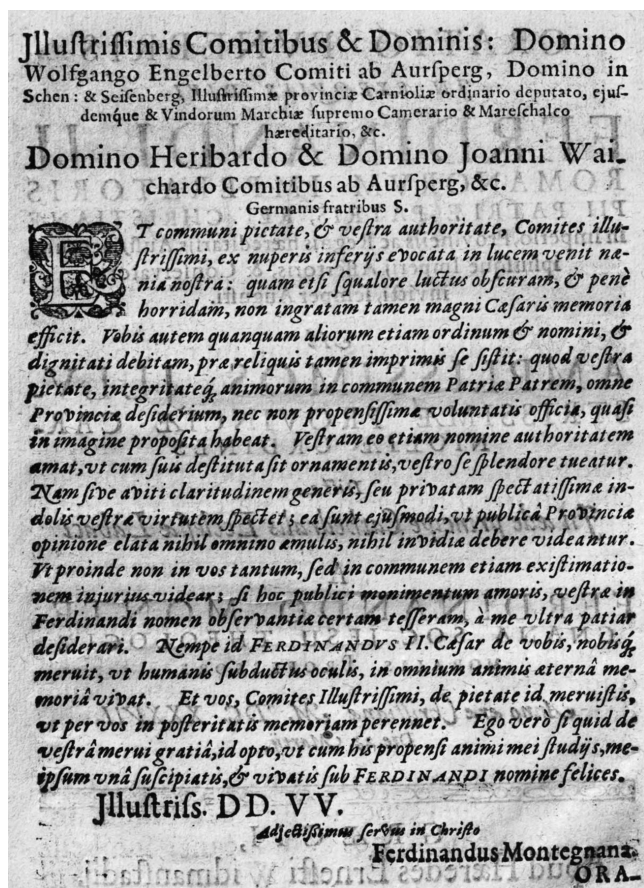
⁴⁷ Valvasor, 1689, 2/6: 353, 357, 358, 359, 365, 367, 8: 713



Slika 13: Montegnana in bizantinski akademski predniki prvega kranjskega vakuumista Janeza Vajkarda Turjaškega (Auersperg)



Slika 14: Akademski predniki Montegnana in Zergolla glede na njun graški študij logike-matematike

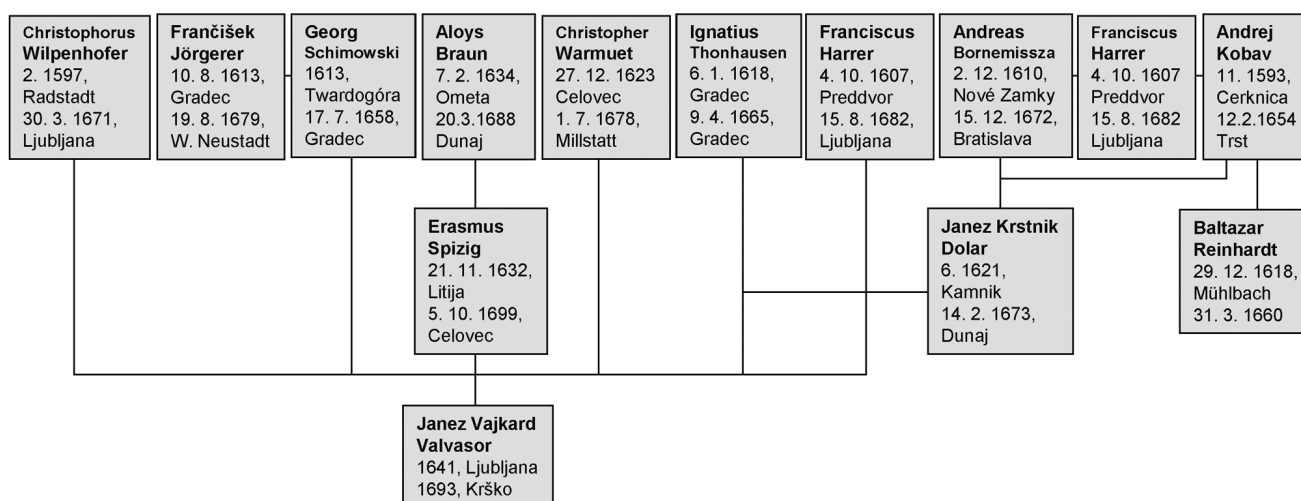


Slika 15: Montegnanovo posvetilo prvemu kranjskemu vakuumistu Janezu Vajkardu Turjaškemu in njegovima bratoma v natisu govora leta 1637, s katerim si je pridobil njihovo zaupanje.

Takoj po končanem študiju matematike-logike, fizike in metafizike se je Montegnana vrnil v Ljubljano skupaj z Istranom Leonardom Bagnijem (*1593

Pazin; † 1650 Zagreb) kot predavatelj prvih ljubljanskih razredov poln vtisov o novi italijanski znanosti, začetkih vakuumske tehnike in prepirih okoli gibanja Zemlje. Montegnanijev starejši sopotnik Bagni je študij končal v Rimu; morda je prav zato leta 1628 previdno narekoval predavanja svojemu dunajskemu študentu fizike Gradčanu Juriju Winklerju, v katerih se je držal Aristotelovih smernic tudi pri obravnavi vakuuma. Ko je Montegnana že tretjič zasedel ljubljanski predavateljski položaj, je po cesarjevi smrti 23. 3. 1637 v ljubljanski stolnici uprizoril znamenit slavnostni govor, ki ga je natisnil v Gradcu na 44 straneh in prve liste posvetil trem mladim bratom grofom Turjaškim: bodočemu deželnemu glavarju Volfu Engelbertu, bodočemu karlovškemu generalu Herbertu in bodočemu knezu vakuumistu Janezu Vajkardu pod naslovom *Oratio Funebris... Labaci ...Ferdinandi II.* Govorniško dovršen nastop mu je odprl vrata v diplomatske posle Janeza Vajkarda, ki je prav tiste dni pripravljaval teren za mir po uničujoči Tridesetletni vojni.

Tako so Montegnano leta 1642 poslali v Španijo, kamor je spremljal cesarsko poslanstvo. Leta 1661 je kot prefekt ljubljanske šole pisal poročila za provinciala.⁴⁸ Bil je prav tiste baže duhovnik, ki ga je vakuumist Janez Vajkard potreboval. Kmalu po koncu svojih poskusov z Ottom Guerickejem z vakuumsko črpalko v Regensburgu leta 1654 si je Janez zaželel Montegnanovih izkušenj z italijansko znanostjo in si ga je leta 1664 izbral za svojega osebnega spovednika. Njuno sodelovanje se je sukalo predvsem okoli znanosti, dokler ni knez vakuumist v zadnjih tednih leta 1669 padel v cesarjevo nemilost. Na vrat na nos je moral obrniti pete proti domači Kranjski, kamor



Slika 16: Ljubljanski jezuitski učitelji iz časa študija soimenjaka in sodelavca prvega kranjskega vakuumista, slovitega Janeza Vajkarda Valvasorja

⁴⁸ AS 1073 II/51r, str. 78; Baraga, 2003, 37, 90, 97, 217; Lukács, 1982, 681-683; Dolinar, 1976, 61, 124, 172, 192; Korade, 1998, 137; Andritsch, 1977, 50, 218, 240

Montegnana ni smel z njim. Kljub temu pa je Montegnana leta 1673 njuna skupna snovanja anonimno objavil v traktatu o kvadraturi kroga. Edino tedanjo znano bližnjo izdajo s podobnim naslovom dunajski knjižničarji pripisujejo češkemu grofu Bernardu Ignátzu Martinitzu (* 1603; † 1685).⁴⁹

6 SKLEP

Šole se zgolj na videz ne zde važen del človekovega bitja in žitja. V resnici ga opredeljujejo kar se da globoko, nekoč še bolj kot dandanes, ko je svetovni splet pogosto lahko prav tako dober učitelj kot tisti iz krvi in mesa.

Bodoči vakuumist Janez Vajkard Turjaški resda ni dolgo žulil ljubljanskih šolskih klopi. Po eni strani bi bilo nadaljevanje študija lahko ovira za njegovo pot v širni svet. Po drugi strani Ljubljana niti ni premogla dovolj visokih šol zanj.

Zahvala

Za pomoč in nasvete se zahvaljujem prof. dr. Borisu Golcu.

7 LITERATURA

7.1 Arhivsko gradivo

APUG – Arhiv, Pontificia Università Gregoriana, Rim. Številke kažejo folio in stran.
Arhiv republike Slovenije: Zbirka rokopisov AS 1073.

7.2 Tiskani viri

Andritsch, Johann, *Die Matrikel der Universität Graz I*, Gradec, 1977
Baraga, France, Polidor Mantagnana. *Preddvor v času in prostoru*. Preddvor: Zbornik občine. 89–103
Baraga, France (ur.), *Letopis Ljubljanskega kolegija Družbe Jezusove (1596–1691). Historia annua Collegii Societatis Jesu Labacensis*, Ljubljana: Družina, 2003
Bircher, M., *The »splendid library«, V: The German Book 1450–1750*, London, 1995
Bizant, Milan, Marijine kongregacije v ljubljanskem jezuitskem kolegiju. *Jezuitski kolegij v Ljubljani*. Ljubljana: ZRC SAZU, 1998, 137–156
Elze, T., *Die Universität Tübingen und die Studenten aus Krain*, München, 1977
Gruber, Tobiasja, *Herrn Tobias Grubers, Weltpriesters und k.k. Bau- und Navigationsdirektors im Temeswarer Banat, Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts*, Dunaj, 1781
Habe, France, Kranjc, Andrej, Delež Slovencev v speleologiji, *Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike*, 1981, 5–6: 13–93
Hermelink, H., *Die Matrikeln der Universität Tübingen*. Nendeln/Liechtenstein, 1976
Jelenič, Friderik, *Das Starcke Salomonische Wieb In Sittlicher Gleichständigkeit : In der ... Frawen Juditha Eleonora, Gräfin von*

Tattenbach/ geborner Gräfin von Forgacz, erfunden; Und Bey dero Leich-Begängnuß/ auch auffgerichten Traur-Gerüht zu schuldigen Ehren. Gradec: Widmanstetter, 11. 12. 1662
Kircher, A., *Musurgia universalis... Liber IX Magiam Consonu et Dissoni*, Romae, 1650
Kircher, A., *Iter extaticum II. Qui et Mundi Subterranei Prodromus dictur (included: Sigismond Siserius, Epistola ad R.P. Kircherum, in qua hydria sive fodina argenti vivi in Carniola describitur)*, Romae, 1657
Kircher, A., *Mundus Subterraneus*, Amsterdam, 1665
Kokole, Metoda, *Academia Philcarmonicorum Labacensium 1701–2001* (ur. Klemenčič, I.), ZRC SAZU, Ljubljana, 2004, 29–56
Kmecl, Matjaž. Kulturna podoba J. V. Valvasorja za Slovence, *Kras* 2005, 70: 8–11
Knod, G. C. *Die alten Matrikeln*, Nendeln/Liechtenstein, 1976
Korade, Mijo. Prilog o filozofiji hrvatskih isusovaca u 17. stoljeću – rukopis Fizike Leonarda Bagnija iz godine 1628. *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine*, 1998, 24/1–2 (47–48): 131–144
Korošec, Branko, Beseda dve o Steinbergovem in drugih opisih Cerknškega jezera, *Kronika*. Ljubljana, 1967, 15: 11–22
Kovač Artemis, Tita, *Kako je nastala knjiga*, Ljubljana, 2005
Lavrič, Ana, Ljubljanske baročne bratovščine in njihovo umetnostno naročništvo. *Jezuitske kongregacije. Arhivi*. 2010, 33/2: 251–286
Lubej, U., *Slikar Almanach, Almanach in slikarstvo druge polovice 17. stoletja na Kranjskem*. Ljubljana, 2005
Martinitz, Bernard grof (anonimno, v kolofonu 1675). *Quadratura circuli crypto-polygraphici*. Pragae: Dobrosławina, 1674
Mecenseff, G., *Im Dienste dreier Habsburger, Archiv für Österreichische Geschichte*, 1938
Montegnana, Ferdinand de (anonimno). *Tractatus de Quadratura circuli*. 1673
Preinfalk, M., *Auerspergi*, Ljubljana, 2005
Radics, Peter Pavel, Denner, L. A. (domnevni avtor); Hönder, Martin; Harrer, Melchior (podpisala posvetilo), *Der verirrt soldat; oder: Des Glück's Probirstein. Ein deutsches Drama des XVII. Jahrhunderts aus einer Handschrift der k.k. Studienbibliothek in Laibach*, Zagreb: Franz Suppan, 1865
Radics, Peter Pavel, Ernestes und Heiteres aus einer Cavalierbibliothek, *Bilder Oesterreichischer Vergangenheit und Gegenwart*, 1885
Reisp Branko: *Janez Vajkard Valvasor*. Ljubljana: Mladinska knjiga, 1983
Schott, G., *Magia universalis naturae et artis*, Bambergae, 1677
Sienell, S., *Die geheime Konferenz*, Frankfurt, 2001
Simoniti, Primož, Med knjigami iz stare gornjegrajske knjižnice, *Zbornik Narodne in univerzitetne knjižnice*. Ljubljana, 1974, 17–48
Simoniti, Primož, *Med humanisti in starimi knjigami*, Ljubljana: Slovenska matica, Ljubljana, 2007
Smolik, Marjan, Terpin (Trpin), Filip (geslo). *SBL*, 1980, 74
Stefan, Karl, Geschichte der Entstehung und Verwaltung der k. k. Studien-Bibliothek in Laibach, *Mitteilungen des Musealvereines für Krain*, 1907, 20/1–3: 1–100
Steklasa, I., Herbart X. Turjaški (1613–1669), *Ljubljanski Zvon*, 1881, 613
Štuhec, Marko, O kranjskem plemstvu. *Almanach in slikarstvo druge polovice 17. stoletja na Kranjskem*. Ljubljana, 2005
Valvasor, Janez Vajkard. *Die Ehre deß Hertzogthums Crain*, Wolfgang Moritz Endter, Laybach-Nürnberg 1689. 3/6
Valvasor, Janez Vajkard (Magić, Vladimir; Kukolja, Božena (ur.); Gostiša, Lojze; Šikić, Žana; Gaberščik, Boris, *Bibliotheca Valvasoriana katalog knjižnice Janeza Vajkarda Valvasorja*. Ljubljana: SAZU; Zagreb: Nacionalna i sveučilišna knjižnica, 1995
Weigle, F., *Die Matrikel der deutschen Nation in Siena, Tübingen*, 1962
Žvanut, M., *Plemiške zgodbe*, Ljubljana, 2009

⁴⁹ Valvasor, 1689, 2/6: 353. Baraga, 1999, 103 in Simoniti, 1972, 89 postavljata leto natisa 1637 v Gradec oziroma v Ljubljano.

DRUŠTVENE NOVICE

DVAINDVAJSETI MEDNARODNI SESTANEK »VAKUUMSKA ZNANOST IN TEHNIKA« 21. IN 22. MAJA 2015 V OSILNICI

V Osilnici, na skrajnem južnem delu Slovenije v doline reke Kolpe, je 21. in 22. maja 2015 potekalo 22. slovensko-hrvaško vakuumsko srečanje pod naslovom »Vakuumska znanost in tehnika«. Srečanje sta organizirali Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije in Hrvaško vakuumsko društvo. Podobno kot v zadnjih letih je bilo srečanje dvodnevno. Potekalo je v Hotelu Kovač v Osilnici.

Na srečanju so bili predstavljeni mnogi zanimivi prispevki s področij znanosti o površinah, nanoznanosti, tankih plasti, površinskih tehnologij, elektronskih materialov, znanosti o plazmi, vakuumске znanosti, bioloških aplikacij, razvoja novih tehnik ... Srečanja se je udeležilo 47 udeležencev, ki so predstavili svoje prispevke v obliki predavanj ali posterjev. Vabljeni predavatelji na srečanju iz Slovenije so bili dr. Gregor Primc, dr. Gregor Jakša, dr. Nina Recek, Aljaž Drnovšek (vsi z Instituta »Jožef Stefan«), dr. Borut Žužek z Inštituta za kovinske materiale in tehnologije, doc. dr. Gorazd Lojen s Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru ter dr. Stanislav Južnič. Predavatelji iz Hrvaške so bili dr. Branko Pivac, mag. Nikolina Nekić, Vedran Šantak, dr. Krunoslav Juračić, dr. Stjepko Fazinić, dr. Marko Kralj in dr. Mile Ivanda.

Srečanje slovenskih in hrvaških vakuumistov je tudi tokrat potekalo v zelo prijetnem in delovnem ozračju. Na njem je prišlo do izmenjave mnogih

mnenj in izkušenj. Nastale so tudi nove ideje za skupne projekte in nekatere od njih so bile takoj po srečanju prijavljene v obliki skupnih bilateralnih projektov na razpis pri slovenski in hrvaški raziskovalni agenciji. Na srečanju smo izdali tudi zbornik povzetkov. Kot sponzorja srečanja sta predstavili svoj prodajni program tudi podjetji Scan, d. o. o., in Merel, d. o. o., obe iz Slovenije. Za odlično organizacijo je poskrbel organizacijski odbor, ki ga je vodil Janez Kovač, izdatno pa je poleg drugih k organizaciji prispeval tudi Gregor Jakša.

Osilnica, kjer je potekalo srečanje, je najmanjša slovenska občina, odmaknjena, sredi gozdov in bolj malo poznana, čeprav je v njej veliko naravnih znamenitosti in priložnosti za miren počitek. Žal je bilo med srečanjem nekoliko slabo vreme, zato si udeleženci niso mogli ogledati vseh naravnih in neokrnjenih znamenitosti doline reke Kolpe. Zaradi dežja je tudi odpadlo predvideno raftanje po Kolpi. Po končanem srečanju so si udeleženci ogledali še zelo zanimiv etnološki muzej Palčava šiša v kraju Plešci na Hrvaškem, kjer nas je lastnik muzeja Marko Smole pristrčno sprejel in nam razkazal svoj enkratni muzej. Omenimo naj tudi zelo prijetno bivanje v Hotelu Kovač, kjer je bilo prvič organizirano tovrstno znanstveno srečanje. Osebe hotela se je zelo potrudilo in poskrbelo za prijetno razpoloženje.

Doc. dr. Janez Kovač, predsednik DVTS



Slika 1: Doc. dr. Janez Kovač, predsednik Društva za vakuumsko tehniko Slovenije in glavni organizator srečanja, je odprl 22. mednarodni sestanek »Vakuumska znanost in tehnika« v Osilnici 21. maja 2015.



Slika 2: Predavanje dr. Gregorja Primca o inovativnem senzorju za karakterizacijo plazme



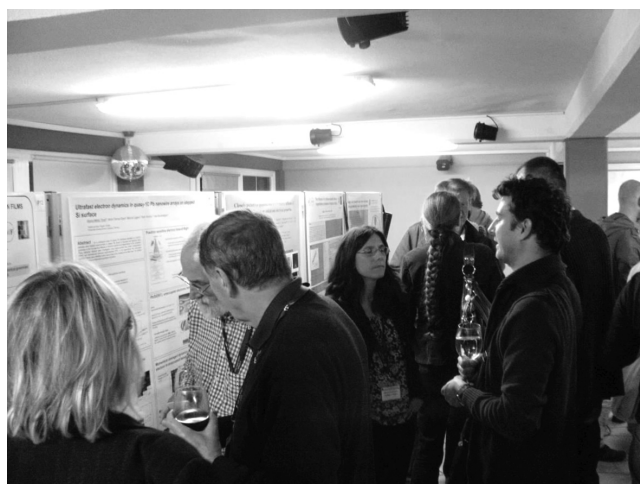
Slika 3: Udeleženci srečanja so lahko prisluhnili številnim zanimivim predavanjem.



Slika 5: Po prvem delu srečanja se je zvečer nadaljevalo prijetno druženje v hotelu, nato pa se je nadaljevala posterska sekcija.



Slika 4: Vedran Šantak, dr. dent. med., je imel zelo zanimivo predavanje o uporabi plazme v dentalni medicini.



Slika 6: Posterska sekcija v Osilnici je bila zelo živahna in je trajala pozno v noč.



Slika 7: Udeleženci 22. mednarodnega sestanka »Vakuumska znanost in tehnika« v Osilnici 21. in 22. maja 2015



Slika 8: Sponzorja srečanja sta bili podjetji Scan in Merel. Predstavnika podjetja Scan Jernej Žižek je prikazal zanimivo demonstracijo vakuumskih poskusov.



Slika 9: Po končanem srečanju so si udeleženci ogledali zelo zanimiv etnološki muzej Palčava šiša v kraju Plešci na Hrvaškem, kjer nas je lastnik muzeja Marko Smole pristrčno sprejel in razkazal svoj enkratni muzej.

TEČAJ OSNOVE VAKUUMSKE TEHNIKE 12. IN 13. JANUARJA 2015

Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije je 12. in 13. januarja organiziralo tečaj Osnove vakuumske tehnike. Potekal je na Institutu »Jožef Stefan« v Ljubljani, deloma pa tudi na Institutu za kovinske materiale in tehnologije. Obsegal je teoretični in praktični del. Tečaj je bil namenjen mladim raziskovalcem s področja naravoslovnih znanosti in tehnike ter drugim, ki se pri svojem delu srečujejo z vakuumskimi tehnologijami. Tokrat se je tečaja udeležilo presenetljivo veliko število udeležencev, in sicer 21. Od tega jih je bilo precej iz industrijskih podjetij, kjer je bilo v zadnjih letih uvedeno precej novih vakuumskih tehnologij.

Udeleženci tečaja so bili: Matic Resnik, Aljaž Drnovšek, Jernej Žižek, Aleš Stambolič, Lovro Fulanovič, Marko Vrabelj, Jaka Mikek, Luka Lazer, Jaka Pribošek, Žiga Gosar, Anže Založnik, Boštjan Jenčič, Nataša Hojnik, Maja Češarek, Urška Gabor, Katja Jazbec, Rok Bončina, Branko Zvonar, Tanja Breskvar, Klemen Šimnovec in Mihael Kolar. Prihajali so iz naslednjih institutov, ustanov in podjetij: Institut »Jožef Stefan«, Institut za kovinske materiale in tehnologije, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana ter podjetij Odelo, Elvez, Iskra-Zaščite in Scan.

Predavatelji in naslovi njihovih predavanj na tečaju so bili:

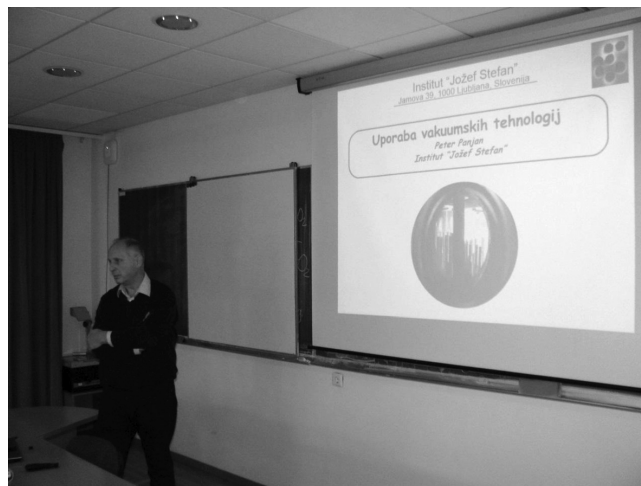
- dr. Bojan Zajec: *Fizikalne osnove vakuumske tehnike*
- dr. Peter Panjan: *Vakuumske tehnologije*
- doc. dr. Janez Kovač: *Vakuumski sistemi in Pomen in preiskave površin*



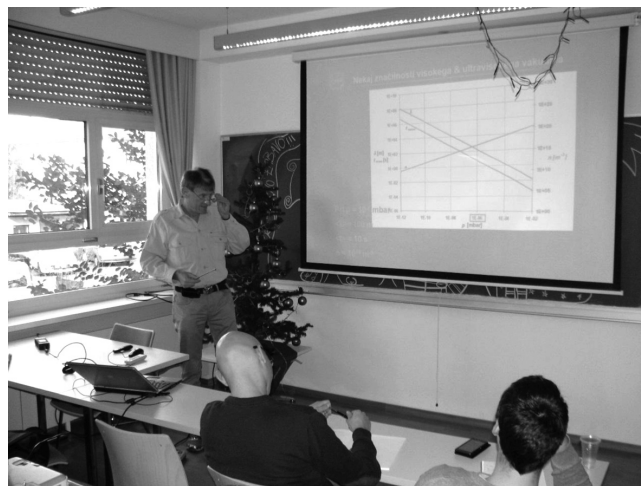
Slika 1: Tečaja Osnove vakuumske tehnike, ki je potekal 12. in 13. januarja 2015 na Institutu »Jožef Stefan«, se je udeležilo kar 21 udeležencev, kar je bila zelo spodbudna udeležba.

- mag. Andrej Pregelj: *Črpalke za grobi in srednji vakuum*
- prof. dr. Miran Mozetič: *Črpalke za visoki in ultravisoki vakuum in Vakuumski spoji in elementi*
- dr. Janez Šetina: *Meritve totalnega in parcialnega tlaka*
- Miro Pečar: *Metode iskanja netesnih mest in Vakuumski spoji in elementi*
- dr. Vincenc Nemanič: *Vakuumski materiali in njihova priprava*
- doc. dr. Miha Čekada: *Priprava tankih plasti v vakuumu*

Dr. Vincenc Nemanič, Gregor Avbelj in dr. Bojan Zajec so prikazali nekaj zanimivih vakuumskih poskusov. Udeleženci tečaja so si ogledali laboratorije na Institutu za kovinske materiale in tehnologije ter na Institutu »Jožef Stefan«: laboratorij za pripravo tankih



Slika 2: Predavatelj dr. Peter Panjan je udeležencem tečaja Osnove vakuumske tehnike predstavil uporabo različnih vakuumskih tehnologij.



Slika 3: Prof. dr. Miran Mozetič je predaval o plazemskih tehnologijah.

plasti na Odseku za tanke plasti in površine ter plazemski laboratorij in laboratorij za analizo površin in tankih plasti na Odseku za tehnologijo površin in optoelektroniko. Tečaj je deloma sponzoriralo podjetje Scan, ki je na kratko predstavilo tudi svoj prodajni

program. Po koncu tečaja so udeleženci prejeli diplome.

Udeležencem tečaja želimo veliko uspeha pri uporabi pridobljenega znanja pri svojem delu.

Doc. dr. Janez Kovač, predsednik DVTS



Slika 4: Dr. Vincenc Nemanič je ob pomoči dr. Bojana Zajca in Gregorja Avblja pripravil praktične vaje iz osnov vakuum-ske tehnike.



Slika 5: Udeleženci tečaja so ponovili slavni vakuumski po-skus, ki ga je izvedel Otto von Guericke v Magdeburgu. Po-skusili so ločiti dve polkrogli, med katerima je bil vakuum.



Slika 6: Udeleženci vakuumskega tečaja so si ogledali različne laboratorije med njimi tudi Laboratorij za preiskavo površin in tankih plasti na Odseku za tehnologijo površin in optoelektroniko Instituta »Jožef Stefan«.

SPOROČILO ZA JAVNOST

Pfeiffer Vacuum predstavlja vakuumske rešitve na novi spletni strani

Asslar, Nemčija, 5. januar 2015. Ravno pravočasno za novo leto, Pfeiffer Vacuum predstavlja svojo novo spletno stran vakuumskih rešitev. Uporabniki lahko iščejo po širokem naboru izdelkov in njihove uporabe v realnem okolju s praktičnimi rešitvami.

Poudarek je na tem, da obiskovalcu omogoči virtualni vtis o vakuumskih rešitvah. Popoln obseg izdelkov Pfeiffer Vacuuma je predstavljen s filmi, poročili o aplikacijah, 3D-animacijami in prečnimi prerezi, ki prikazujejo izdelke z notranje perspektive.

Spletna stran prikazuje svet Pfeiffer Vacuuma v sedmih kategorijah. Prostori futurističnega videza grafično poudarjajo strategijo podjetja, usmerjeno v prihodnost. Prikazujejo zgodovino podjetja, rešitve, trge, aplikacije, učinkovitost, izdelke in storitve.

S to spletno stranjo Pfeiffer Vacuum postavlja platformo, ki je edinstvena na trgu. Sofisticirani 3D-efekti omogočajo vpogled v notranje delovanje črpalk in istočasno demonstrirajo prednosti in uporabo posameznih izdelkov. Kratki filmi ponujajo sprehod po montaži črpalk, servisnih delavnicah in vzdrževanju. Gledalci se lahko udeležijo virtualnih učnih delavnic ali pa imajo možnost, da jim značilnosti črpalk razloži vodja proizvodnje.

Spletna stran je orientirana izrazito h kupcu, ki mu na inovativen način prikaže prisotnost Pfeiffer Vacuuma na spletu in omogoča dodatne praktične informacije o vakuumu. Dostopna je na domčai strani podjetja ali direktno na strani:

www.pfeiffer-vacuum-solutions.com.

PFEIFFER VACUUM

Language Contact

$q_m(t) = q_{m,inst} \cdot \left(1 - e^{-\frac{S_{eff} \cdot t}{V}}\right)$

$t_f = \frac{V}{S} \ln \frac{p_0}{p_f}$

t_f : Abkühlzeit der Vorkammer
 V : Volumen des Behälters
 S : Saugleistung des Vorpumpen
 p_0 : Anfangsdruck
 p_f : Enddruck

History Solutions Markets Applications Efficiency Products Service

The widest range of vacuum solutions...

NAVODILA AVTORJEM PRI PRIPRAVI PRISPEVKOV

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

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

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

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

VSEBINA ROKOPISA

Rokopis naj bo sestavljen iz naslednjih delov:

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

TEHNIČNE ZAHTEVE ZA ROKOPIS

- Tekst naj bo shranjen v formatu doc, docx ali rtf. Formata tex ali pdf za tekst nista primerna.
- V dokumentu naj bo čim manj avtomatskih indeksov, križnih povezav (linkov) in stilističnih posebnosti (različni fonti, formati, poravnave, deljenje besed). Pri oblikovanju se omejite na ukaze **mastno**, *poševno*, ^{indeks} ^{potenca} in posebni znaki. Formule oblikujte bodisi tekstovno ali z urejevalnikom (npr. equation editor), lahko pa jih vključite v tekst kot slikovni objekt.
- Tekst naj bo smiselno razdeljen na poglavja in podpoglavja (detajlnejša delitev ni želena), 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 vakuumu in vakuumskih tehnik, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Ljubljana, 2004, str. 203
 - članek v periodični publikaciji: M. Finšgar, I. Milošev, *Vakuumist*, 29 (2009) 4, 4–8
 - prispevek v zbornikih posvetovanj: Novejši razvoj trdih zaščitnih PVD-prevlek za zaščito orodij in strojnih delov, Zbornik posvetovanja Orodjarstvo, Portorož, 2003, 121–124
 - dostopno na svetovnem spletu: UK ESCA Users Group Database of Auger parameters, <http://www.uksaf.org/data/table.html>, zadnjič dostopano: 11. 2. 2010
- Tabele naj bodo oblikovno enostavne. V rokopisu naj stojijo na koncu dokumenta. Za ločevanje stolpcev uporabljajte tabulatorje (ne presledkov) ali tabelarično formo urejevalnika.
- Slike naj bodo shranjene posebej v navadnih formatih (tif, png, jpg), lahko tudi združeni v en dokument (pdf, ppt). Slik ne vstavljajte v tekstualni del rokopisa! Poskrbite za ustrezno resolucijo, še posebej pri linijskih slikah. Slike naj bodo črno-bele ali v sivih tonih, ne barvne.
- Črkovne oznake na slikah naj bodo take velikosti, da je po pomanjšavi na širino enega stolpca (7,9 cm) velikost znakov najmanj 1,2 mm. Priporočljiv je oblikovno enostaven font, npr. Arial.
- Pri pisanju veličin in enot se držite načel standarda ISO-31 (veličine pišemo poševno, enote pokončno, isto pravilo velja tudi za grške črke). Osi grafov in vodilne vrstice tabel pišemo v obliki *veličina*/enota, npr. *m/kg*.

UREDNIŠTVO

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

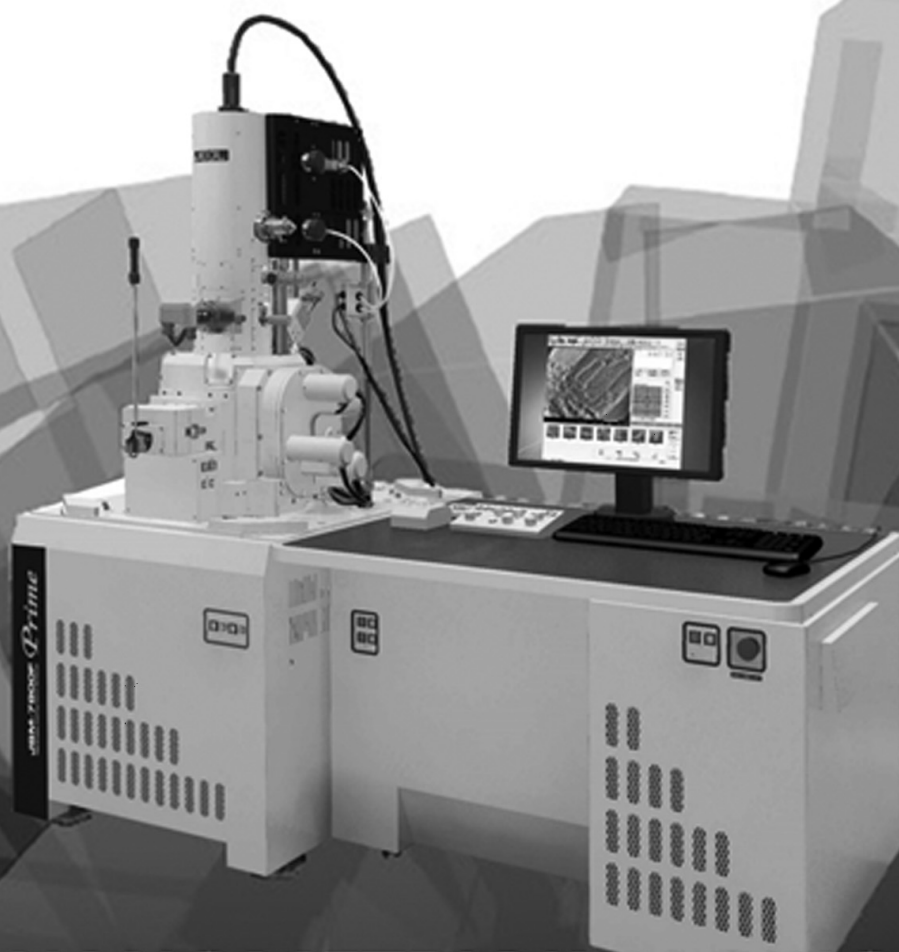
doc. dr. Miha Čekada
glavni in odgovorni urednik Vakuumista
Institut »Jožef Stefan«
Jamova 39
1000 Ljubljana

e-pošta: miha.cekada@ijs.si

tel.: (01) 477 38 29

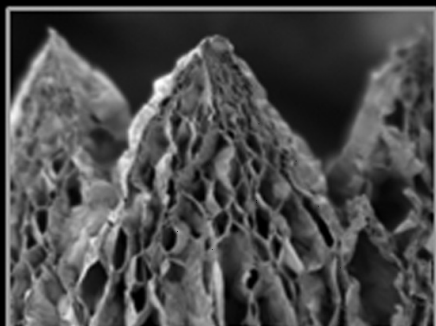
faks: (01) 251 93 85

JSM-7800F *Prime*

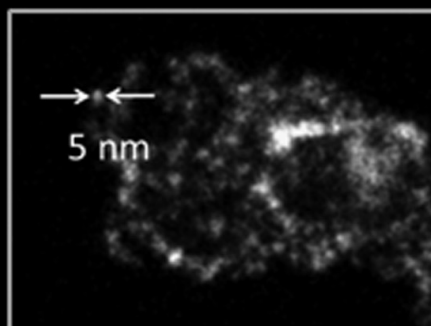
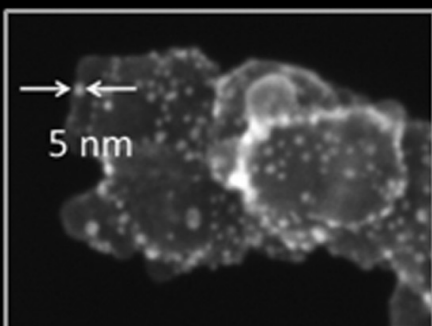


SUB-NANOMETRIC IMAGING & NANOMETRIC ANALYSIS

Resolution: 0.7nm from 30kV to 1kV



Graphene (80V)



EDS analysis of nanoparticles



SCAN d.o.o., Preddvor

Nazorjeva 3 · SI-4000 Kranj · Phone +386-4-2750200

Fax +386-4-2750420 · info@scan.si

www.jeol.com





PFEIFFER  **VACUUM**

$$q_{1/6}(t) = q_{1/6, \text{end}} \cdot [1 - e^{-\frac{S_{\text{eff}} \cdot t}{V}}]$$

$$t_f = \frac{V}{S} \ln \frac{p_0}{p_f}$$

t_f Abpumptime der Vorvakuumpumpe
 V Volumen des Behälters
 S Saugvermögen der Vorpumpe
 p_0 Anfangsdruck
 p_f Enddruck

VACUUM SOLUTIONS

A one stop source for the highest standard in vacuums

No two vacuum processes are alike since individual requirements are what matters. Together with our customers, we obtain a vacuum solution based on their specific needs. This process includes all steps in creating a perfect vacuum condition. Besides best-in-class products for vacuum generation, measurement and analysis, we also offer accessories, application training programs and worldwide service.

See for yourself what Pfeiffer Vacuum solutions are about at:

www.pfeiffer-vacuum-solutions.com



SCAN d.o.o., Preddvor
 Nazorjeva 3 · SI-4000 Kranj · Phone +386-4-2750200
 Fax +386-4-2750420 · info@scan.si