

VAKUUMIST

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

LJUBLJANA, OKTOBER 97

LETNIK 17, ŠT. 3, 1997



VSEBINA

☐ Možnosti nadomeščanja galvanskih postopkov nanašanja tankih zaščitnih prevlek z ekološko neoporečnimi PVD prevlekami (I. del) (P. Panjan, B. Navinšek)

☐ Teorija črpanja posod oz. sistemov in opredelitev velikosti puščanja (V. Nemanič)

☐ Nastajanje standardov o netesnosti sistemov in naprav (A. Pregelj, J. Novak, M. Drab)

☐ Žarnica (I. del) (S. Južnič)

☐ NASVETI (J. Gasperič)

☐ DRUŠTVENE NOVICE

Slika na naslovni strani prikazuje elektronsko mikroskopski posnetek **mikrocevke MoS₂** s premerom devet mikrometrov. Debelina stene cevke je nekaj deset nanometrov, dolžina pa več milimetrov. Po strukturi je sorodna mnogo manjšim fullerenskim oblikam grafita.

Kristalne mikrocevke so redkost med anorganskimi kristali. Nastanejo zaradi plastovite kristalne strukture MoS₂, ki postavlja te kristale v družino skoraj dvodimenzionalnih snovi. Iz fizike nizko-dimenzionalnih snovi vemo, da idealno dvodimenzionalni kristali energijsko niso obstojni, kar povzroči vrsto pojavov, ki skušajo povrniti tretjo dimenzijo. Eden izmed teh pojavov je zvijanje šibko vezanih plasti MoS₂ v obliko mikrocevk.

Mikrocevke so odkrili na **Odseku za fiziko trdne snovi na Institutu "J. Stefan"**. Slika je iz članka, objavljenega v ameriški reviji Applied Physics Letters (Vol. 69, 1996, str. 351), avtorjev **M. Remškar, Z. Škraba, F. Cleton, R. Sanjines in F. Levy**.

Obvestilo

Naročnike Vakuumista prosimo, da čim prej poravnate naročnino za leto 1997.

Cena štirih števil, kolikor jih bo izšlo v letu, je 2000,00 tolarjev.

SPONZORJI VAKUUMISTA:

- **Ministrstvo za znanost in tehnologijo**
- **Ministrstvo za šolstvo in šport**
- **Balzars PFEIFFER GmbH, Dunaj**

- ☐ VAKUUMIST
- ☐ Izdaja Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije
- ☐ Glavni in odgovorni urednik: dr. Peter Panjan
- ☐ Uredniški odbor: mag. Andrej Demšar, dr. Jože Gasperič (urednik za področje vakuumске tehnike in sistemov), dr. Bojan Jenko, dr. Monika Jenko (urednica za področje vakuumске metalurgije), dr. Ingrid Milošev, mag. Miran Mozetič, dr. Vinko Nemanič, Marjan Olenik, dr. Boris Orel, mag. Andrej Pregelj, dr. Vasilij Prešern in dr. Anton Zalar
- ☐ Lektor: dr. Jože Gasperič
- ☐ Naslov: Uredništvo Vakuumista, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, 1000 Ljubljana, tel. (061)177 66 00
- ☐ Številka žiro računa: Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, 50101-678-52240
- ☐ Grafična obdelava teksta: Jana Strušnik
- ☐ Tisk: PLANPRINT, d.o.o. - Littera picta, Rožna dolina, c. IV/32-36, 1000 Ljubljana
- ☐ Naklada 400 izvodov

MOŽNOSTI NADOMEŠČANJA GALVANSKIH POSTOPKOV NANAŠANJA TANKIH ZAŠČITNIH PREVLEK Z EKOLOŠKO NEOPOREČNIMI PVD PREVLEKAMI (I del)

Peter Panjan, Boris Navinšek, Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana

The possibility of replacement of galvanic coatings with PVD ones (Part I)

ABSTRACT

Owing to great ecological problems the environmental ordinances in well developed countries have become in the last years so strict, that the production of galvanic coatings is restricted. Therefore new ecological clean procedures, which should replace conventional technique, are developed in recent years. On the base of our experience in the field of hard protective coatings we have suggested physical vapour deposition techniques (PVD) as an alternative procedure to conventional techniques. The problem of replacement of galvanic coatings is not only technical and ecological, but also economical. Galvanic coatings are in general cheaper than vacuum ones. However the price of galvanic coatings increase owing to the cost of cleaning of polluted water, so we can expect that the ratio between the cost of galvanic and PVD coatings will be dramatically changed in the near future. The development of equipments for large scale production of PVD coatings is also in progress.

POVZETEK

Zadnja leta, ko so prišla v ospredje ekološka vprašanja, in ko so v nekaterih državah že sprejeli zakonodajo, ki močno omejuje proizvodnjo zaščitnih prevlek na osnovi galvanskih postopkov, smo tudi raziskovalci v Sloveniji začeli raziskovati možnosti uporabe okolju bolj prijaznih postopkov, ki bi nadomestili konvencionalne, elektrokemijske (galvanske). Tehnološko je to v večini primerov izvedljivo. Na osnovi naših dosedanjih izkušenj na področju trdih zaščitnih prevlek smo kot alternativo predložili vakuumski (PVD) postopek nanašanja. Problem nadomeščanja galvanskih prevlek pa ni samo tehnični in ekološki, ampak tudi ekonomski. V splošnem so galvanske prevleke še vedno cenejše od vakuumskih. Ker se cene galvanskih prevlek zaradi naraščajočih stroškov čiščenja odpadnih vod povečujejo, se bo to razmerje v naslednjih nekaj letih spremenilo v prid PVD-prevlek. V teku je tudi razvoj naprav za njihovo velikoserijsko proizvodnjo, kar bo omogočilo njihovo cenejšo pripravo.

1 Uvod

Z galvansko (elektrokemijsko) zaščitnimi predmeti se v vsakdanjem življenju srečujemo na vsakem koraku. Tako je npr. v sodoben avtomobil vgrajenih kar približno 3000 sestavnih delov, ki so galvansko zaščiteni. V Evropski skupnosti je po oceni DGO (Deutsche Gesellschaft für Oberflächentechnik) vrednost proizvodnje elektrokemijskih prevlek preko 280 milijard ECU. Namen galvanskega nanosa je funkcionalen (npr. zaščita pred korozijo in obrabo, izboljšanje spajkljivosti) in/ali dekorativen. Zaradi enostavnosti in cenenosti nanosa so bili elektrokemijski postopki zaščite praktično nezamenljivi. Šele v zadnjih letih, ko je prišla v ospredje ekološka problematika, se je konkurenčnost elektrokemijskih postopkov pred drugimi, npr. vakuumskimi in plazemskimi, precej zmanjšala. Z elektrokemijskimi postopki lahko nanašamo skoraj vse kovine in njihove zlitine na najrazličnejše materiale, kot so jeklo, aluminij, plastika, keramika, barvne kovine in njihove zlitine. Klasični elektrokemijski postopki so: cinkanje (Zn), kadmiranje (Cd), nikljanje (Ni), kromiranje (Cr), zlatenje (Au), srebrenje (Ag) ter nanašanje aluminija (Al), medenine (MS) in večplastnih

prevlek (Cu-Ni-Cr). Pripravimo lahko torej prevleke žlahtnih kovin (Au, Au zlitine, Pt, Ag,...), kovin (npr. Cr, Ni, Cu) in nekaterih binarnih zlitin (npr. CuZn, CuSn). Osnovna zahteva, ki ji morajo zadostiti, je korozijska odpornost, pogosto pa zahtevamo, da so odporne tudi na razenje. Velik pomen pa imajo tudi kot dekorativne prevleke. Z nanosom galvanske prevleke se hrapavost površine zmanjša. Značilna debelina je več kot 10 μm , čeprav lahko pripravimo tudi prevleke z debelino več kot 100 μm . Hitrost nanašanja je v splošnem več kot 1 $\mu\text{m/h}$. Pri vseh postopkih elektrokemijskega nanašanja se srečujemo s problemom kvalitete prekrivanja podlog zelo različnih geometrij, s ponovljivostjo debeline in lastnosti prevleke (zaradi hitrega staranja raztopin, iz katerih nanašamo). Največje težave pa so odpadki (mulji) in onesnaženje voda s strupenimi odpadkami, ki so neizogibne pri vseh elektrokemijskih postopkih.

Osnova galvanskih postopkov so vodne raztopine kovinskih soli. Med nanosom, nastanejo odplake, ki vsebujejo **povišane koncentracije kovinskih ionov**. Le-ti so toksični že pri nizkih koncentracijah. Zahteve pristojnih inšpekcijskih služb, ki nadzorujejo tekoče izpuste iz galvanskih obratov, so čedalje strožje, zato je čiščenje odplak postalo drago. V Evropi že nekaj let veljajo zelo strogi predpisi o varstvu okolja prav za področje galvanskih prevlek, zato raziskovalci intenzivno iščejo nadomestne tehnologije, ki bi bile sprejemljive v funkcionalnem, ekonomskem, predvsem pa v ekološkem pogledu. Tudi Slovenija ima od avgusta 1996 novo zakonodajo na tem področju, ki upošteva vse norme Evropske skupnosti pri varovanju okolja. Zaradi stroškov čiščenja odplak in razgradnje strupenih odpanih snovi cene galvanskih prevlek v zadnjih letih hitro naraščajo. V razvitih evropskih državah se za razvoj alternativnih tehnologij (nove naprave in tehnološki postopek, čistilne naprave, reciklaža) namenja po več milijard ECU na leto.

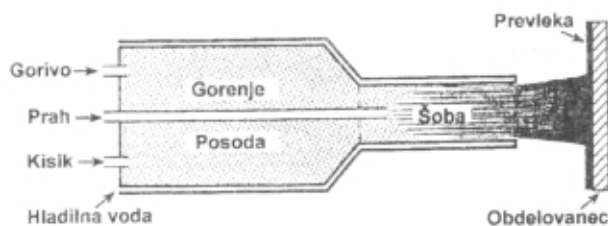
2 Opis alternativnih postopkov zaščite površin

Sama ugotovitev, da neki tehnološki postopek priprave prevleke lahko uspešno nadomestimo z novim ne zadostuje. Od alternativne tehnologije zahtevamo: a) **da je čista**, b) **tehnično učinkovita**, c) **cenovno sprejemljiva** in d) **kompatibilna z drugimi zahtevami, ki jih mora izdelek izpolnjevati**. Danes so realna alternativa ekološko spornim elektrokemijskim (galvanskim) postopkom vakuumski in plazemski postopki nanašanja (PVD in CVD) ter termične in plazemske pršilne tehnike.

2.1 Termične in plazemske pršilne tehnike

Osnova termične in plazemske pršilne tehnike je brizganje kovinskega prahu (ali žice) skozi plamen ali plazmo. Hitrost nanašanja je velika. Na tak način lahko pri nizki temperaturi (<200°C) pripravimo zelo debele

prevleke (do 1 mm) na osnovi kovin (npr. cink), zlitin, kompozitov (npr. WC-Co), ki so obrabno in korozijsko odporne. Plasti pripravimo iz prahu izbranega materiala, ki ga z veliko hitrostjo brizgamo skozi močan plamen oz. plazmo (high velocity oxygen fuel - HVOF). So zelo goste in v splošnem tudi kvalitetne. S pršilno tehniko (npr. HVOF) pa ne moremo kontrolirano pripraviti tankih, nekaj μm debelih kovinskih plasti (npr. niklja), ali pa nekaj mikrometrov debelih visokotemperaturnih keramičnih prevlek, kot je npr. CrN. Pač pa lahko pripravimo debele plasti različnih obrabno odpornih zlitin in kompozitov, kot npr. WC/Co in Cr₃C₂/NiCr, pri čemer stalimo kovinsko fazo, ne pa tudi keramičnih delcev. Površina takih prevlek je zelo groba, zato jo moramo posebej obdelati. Vendar je končna obdelava tako pripravljenih prevlek pogosto lažja in cenejša kot obdelava trdega kroma. Pršilni postopek se najpogosteje uporablja v letalski industriji za pripravo trdih oblog oz. za obnovo izrabljenih delov z dodajanjem materiala. Ker se material nanaša zelo lokalizirano, je smiselno prekrivati posamezna orodja oz. strojne dele, ne pa tudi večjo količino manjših predmetov. WC-Co-Cr zagotavlja zaščito pred abrazijsko obrabo, prevleka CrC-NiCr dobro ščiti pred korozijo, za WC-Co/NiCrMo pa je značilna odpornost proti abraziji, zagotavlja pa tudi zelo dobro adhezijo.



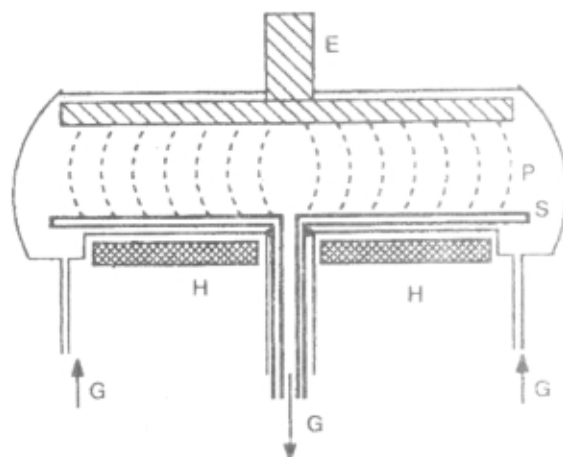
Slika 1. Shema naprave za termični pršilni nanos zaščitnih prevlek (HVOF)

2.2 Kemijski nanos iz parne faze ob prisotnosti plazme (PCVD)

Bistvo postopkov kemijskega nanašanja iz parne faze (PCVD) je kemijska reakcija med izbranimi plini na vročih podlagah in v plazmi. Reakcija je lahko termični razkroj (piroliza), substitucija ali dvojna substitucija. Klasičen zgled dvojne substitucije je nanašanje trde prevleke TiN na podlage po shemi:



Težavo pri PCVD-postopkih nanašanja prevlek predstavljajo stranski produkti (npr. HCl), ker poškodujejo podlago in ker so ekološko sporni. Kot izhodne snovi nam v večini primerov rabijo halogenidi prehodnih elementov, ki so hlapljive spojine, zelo občutljive na vlago in delo z njimi zahteva posebne varnostne ukrepe. Nevarne halogenide lahko nadomestimo s kovino-organskimi spojinami (govorimo o postopku "Metal Organic Chemical Vapour Deposition - MOCVD"). Kovino-organske spojine lahko pripravimo skoraj za vse kovinske elemente, vendar je njihova cena visoka.

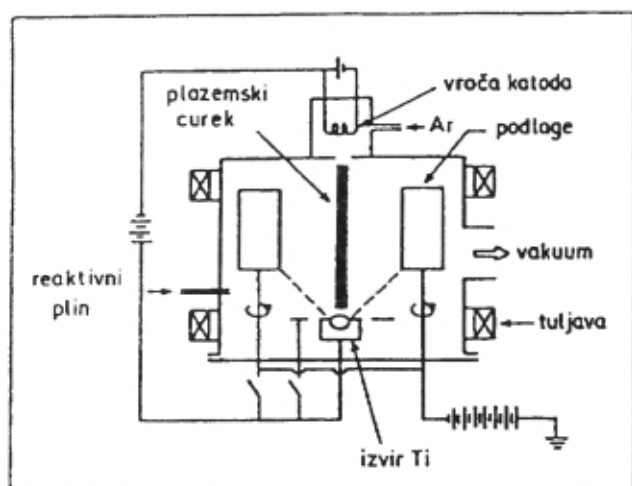


Slika 2. Shema naprave za pripravo zaščitnih prevlek s kemijskim nanašanjem iz parne faze ob prisotnosti plazme (PACVD) (S-podlage, P-plazma, H-grelnik, G-delovni plini)

Ob prisotnosti plazme je temperatura, pri kateri steče kemijska reakcija, bistveno nižja - tako lahko npr. prevleke TiN in TiCN nanašamo pri temperaturi približno 300°C. Razelektritev v reaktorju dosežemo, če tlak plinske mešanice znižamo na nekaj mbar, vzbudimo pa jo lahko na več načinov: (a) z negativno elektrodo, ki se nahaja v posodi nasproti podlagam, (b) z indukcijsko tuljavo, ki jo vzbujamo z visoko frekvenco, (c) s kapacitivnim vzbujanjem in (d) z mikrovalovnim vzbujanjem. Za razliko od konvencionalnih naprav za nanos zaščitnih prevlek CVD, ki so poceni (vendar zaradi visoke temperature nanašanja neprimerne za nanos zaščitnih prevlek na podlage iz večine tehnološko zanimivih materialov), so PCVD naprave cenovno primerljive s tistimi za PVD nanašanje, vendar je njihova uporaba omejena z relativno visoko temperaturo nanašanja.

2.3 Fizikalni-vakuumski nanos iz parne faze (PVD)

Osnova vseh postopkov nanašanja zaščitnih prevlek PVD sta (reaktivno) naparevanje in naprševanje ob prisotnosti plazme, s katero aktiviramo (disociiramo, vzbudimo ali ioniziramo) atome tarče, reaktivnega oz. inertnega plina. Govorimo o aktiviranem reaktivnem nanašanju (Activated Reactive Physical Vapour Deposition - ARPVD). Če so podlage električno prevodne, priključimo nanje negativno električno napetost (do 200V) in na tak način pospešimo nastale ione na površino rastoče plasti. Tak postopek nanašanja tankih plasti se imenuje ionsko prekrivanje (Ion Plating - IP). Ioni z veliko energijo povečajo površinsko difuzijo, kar ima odločilen vpliv na mikrostrukturo plasti in posledično na njene mehanske lastnosti, adhezijo, korozijske in druge lastnosti. Z vakuumskimi postopki nanašanja lahko v principu pripravimo plasti skoraj poljubne kemijske sestave na skoraj poljubno podlago. Tako lahko pripravimo ne le kovinske prevleke in njihove zlitine, ampak tudi keramične prevleke, večkomponentne in večplastne prevleke. Temperatura nanašanja je med 100 in 500°C.



Slika 3. Shema naprave za nanos PVD prevlek s pomočjo nizkonapetostnega plazemskega loka loka (BAI 730)

Hrapavost zaščitnih prevlek PVD je navadno primerljiva s hrapavostjo podlage. Korozijska obstojnost pa je zaradi ti. "pin-hol" defektov nekoliko slabša; na mestih, kjer se pojavijo defekti te vrste, pride korozijski medij v direkten kontakt s podlago. Njihova obrabna odpornost pa je odlična. Zato lahko 250 μm debelo plast trdega kroma nadomestimo s 1-5 μm debelo prevleko CrN. Hitrost nanašanja je 1-5 $\mu\text{m}/\text{h}$. Ekološko so PVD prevleke neoporečne.

2.4 Kombinacija galvanskih in PVD-prevlek

V veliko primerih lahko kombiniramo galvanske in vakuumске postopke nanašanja tankih plasti. Tak primer je npr. zaščita orodij za brizganje plastike: na površino orodja z elektrokemijskim postopkom nanesemo najprej plast Ni-P, ki rabi za korozijsko zaščito; nanjo pa z vakuumskim postopkom nanesemo trdo zaščitno prevleko (npr. TiN). Oba postopka kombiniramo tudi v primerih, ko je podlaga iz materiala, ki se ga ne da neposredno prekriti z galvanskimi postopki. Zgled za to so titan in njegove zlitine, ki jih zaradi zelo močne pasivizacije površine ne moremo zaščititi z elektrokemijskimi postopki. Zato na podlago najprej naprismo tanko plast npr. zlata, ki pa jo nato "ojačimo" z ustrezno galvansko prevleko. Sicer pa lahko podlage iz titana (in tudi nerjavečega jekla) zaščitimo s PVD-prevleko direktno, brez vmesne plasti. Tanko plast galvanskega zlata pogosto nanesemo na dekorativno prevleko PVD-TiN, da prilagodimo barvo oz. da privlačujemo zlato. Ker je keramična prevleka TiN relativno dober električni prevodnik, je tak postopek praktično izvedljiv. Enak postopek zaščite oz. dekoracije uporabimo tudi v primeru, ko je podlaga iz električno neprevodnega materiala (plastika, keramika) - na podlago najprej naparimo ali naprismo tanko plast iz električno prevodnega materiala, na to plast pa z galvanskim postopkom nanesemo ustrezno zaščitno oz. dekorativno prevleko.

Trde prevleke PVD (npr. TiN, ZrN, CrN, TiAlN, TiCN, TiC) se zaradi visoke mikrotvrde in lepe barve uporabljajo tudi v dekorativne namene. Pri reaktivnem postopku nanašanja lahko s spreminjanjem sestave spreminjamo barvo v širokem področju: od sive, zlate, rjave, do temno modre, antracitne in črne. Zgledi za uporabo so: ohišja ur, okvirji očal, kopalniška kovinska oprema, jedilni pribor, modni dodatki itd. Čeprav so trde zaščitne prevleke kemijsko zelo obstojne, pa so v kombinaciji s podlago pogosto korozijsko neobstoje, zlasti kadar je podlaga iz nežlahtnega materiala. Še posebej težavno je prekrivanje predmetov iz zlitin, kot so medenina, novo srebro in cinkove litine. Korozijo osnovnega materiala povzročajo drobne pore ("pin-holi") v tanki PVD-prevleki. Problem lahko rešimo tako, da najprej z galvanskim postopkom nanesemo tanko vmesno plast npr. niklja (5-7 μm) ali zlitine Pd-Ni (z 20 mas% Pd). Zaščita z galvanskimi prevlekami je boljša, ker so le-te v splošnem bolj kompaktne (goste). Ker povzroča alergije poskušajo nikljeve oz. NiPd-prevleke nadomestiti s plastjo CuSn + CuSn(Zn). Tudi sicer je pri vmesni plasti pogosto potrebna prilagoditev prevlek.

Primer kombinacije PVD in galvanskih prevlek je tudi zaščita oz. nanos dekorativne prevleke na podlage iz korozijsko neobstoje materiala, npr. medenine in aluminijevih zlitin. Galvanska prevleka v takih primerih rabi predvsem kot korozijsko obstojna vmesna plast. Približno 0,4 m debela PVD-prevleka pa zagotavlja visoko odpornost na razenje in ustrezno barvo.

Trde zaščitne prevleke, ki jih pripravimo z vakuumskimi postopki nanašanja, prinašajo še eno pomembno prednost. Relativno trde materiale, iz katerih so narejeni mnogi tehnični izdelki, lahko nadomestimo z mehkejšimi, ki jih je lažje in zato ceneje obdelovati (npr. medenina), njihove mehanske karakteristike pa izboljšamo s trdimi zaščitnimi prevlekami.

		PVD - plast
PVD-Au		gal. Ni
PVD-TiN	PVD-TiN	gal. Cu
gal. Ni-Pd	gal. Ni	gal. Ni
gal. Ni	gal. Cu	kem. Ni
podlaga: medenina	podlaga: cinkova lit.	podlaga: polimer

Slika 4. Nekaj značilnih primerov zaščite nekaterih podlag s kombinacijo galvanske in PVD prevleke

gal. Au	gal. nanesena kovina
PVD-TiN	PVD - kovina
Podlaga: jeklo, titan	podlaga: polimer

Slika 5. Primeri zaščite in dekoracije različnih podlag s kombinacijo PVD in galvanske prevleke

Tabela 1. Primerjava različnih metod nanosa zaščitnih prevlek

	Kem. nanos iz parne faze (PCVD)	Vakuumski nanos iz parne faze (PVD)	Elektro-kemijski nanos (EKP)	Ter. pršilna teh. (HOVF)
Uporabnost	zelo omejena	univerzalna	omejena	zelo omejena
Debelina (μm)	5-20	0,5-5	0,5-1000	do 1 mm
Temp. podlag ($^{\circ}\text{C}$)	700-1000	<500	<90	
Tlak (mbar)	>0,1	10^{-2} - 10^{-3}	nanos iz elektrolita	<200 $^{\circ}\text{C}$
Hitr. nanašanja	10-50 nm/min	10-100 nm/min	>1 $\mu\text{m}/\text{h}$	
Enakomernost prekritja	dobra	zadovoljiva	kem. nanos: zelo dobra; galv. nanos: omejena	zelo slaba
Velikost podlag	velika	omejena	poljubno velika	ni omejitve
Velikost polnitve	velika	omejena (velika pri "in-line" napravah)	velika	
Cena naprave	visoka	visoka	majhna	majhna
Kontrola procesa	enostavna	enostavna	enostavna	zahtevna
Cena nanosa	visoka	visoka	nizka	nizka
Mikrostruktura	večinoma kristalinična	amorfna, kristalinična	amorfna, kristalinična	
Napetosti v plasti	termične	velike notr. nap.	majhne notr. nap.	majhne
Poroznost, razpoke	možne	goste plasti ("pin hol" defekt)	v splošnem goste plasti, razpoke	
Oprijemljivost	zelo dobra	dobra	dobra	dobra
Čiščenje podlag	ni pomembno	zelo pomembno	zelo pomembno	ni pomembno
Nanos zlitin in spojin	možno	enostavno	možno	možno
Nanos keramičnih prevlek (MeN, MeC)	možno	možno	ni možno	ni možno
Nanos večplastnih struktur	možno	enostavno	možno	ni možno

2.5 Primerjava elektrokemijskih postopkov priprave prevlek z alternativnimi

Postopki nanašanja prevlek, ki bi lahko bili alternativa ekološko oporečnim, torej obstajajo in so v določenih primerih tudi že ekonomsko sprejemljivi. Vendar pa zamenjava ni enostavna. Postopek je treba prilagoditi zelo konkretnim razmeram, ki jih zahteva uporabnik. Medtem ko so vakuumski in plazemski postopki nanašanja zaščitnih in trdih prevlek relativno zahtevni in jih je nekoliko težje vključiti v proizvodni proces, so termični pršilni postopki enostavnejši, vendar manj ponovljivi, pa tudi kontrola kvalitete je zahtevna in draga. Postopek je tudi neprimeren za nanos zaščitnih prevlek na veliko število majhnih podlag, ker se material nanaša na relativno majhno površino.

3 Ekonomska analiza alternativnih tehnologij

Na ceno nanosa vpliva veliko parametrov, ki jih moramo ustrezno ovrednotiti. Odvisna je od cene same naprave za nanos, od njenega delovnega volumna in od hitrosti nanašanja (ki določa čas, potreben za nanos prevleke in s tem število nanosov na dan). Glavna stroška sta investicija v samo napravo in stroški operaterjev. Stroški za tarčo oz. material za nanos prevlek so zanemarljivi v primerjavi s prejšnjima. Polovico delovnega časa operaterjev je vezanega na polnitev oz. praznjenje naprave z deli, ki jih želimo prekriti, in na pripravo le-teh (čiščenje, poliranje) ter črpanje vakuum-ske posode do visokega vakuumu.

Čas nanašanja ni odvisen samo od postopka nanašanja, ampak tudi od zahtevane debeline prevleke. Le-ta mora biti pogosto večja od hrapavosti podlage, ki je lahko tudi nekaj μm . Prevleke, ki jih pripravimo z metodami, ki zagotavljajo velike hitrosti nanašanja, kot sta npr. napajanje s katodnim lokom ali termična pršilna tehnika, imajo pogosto veliko število defektov in slabo oprijemljivost (adhezijo). Število defektov v prevleki v večini primerov narašča z naraščajočo hitrostjo nanašanja.

Splošno prepričanje strokovnjakov v industriji je, da so vakuumski postopki nanašanja zaščitnih prevlek veliko dražji od galvanskih. Delno je to res, vendar je predvsem posledica majhnega delovnega volumna obstoječih naprav za nanos. Če pa primerjamo ceno cm^2 prevleke oz. ceno na enoto volumna (vključno s ceno končne obdelave), potem lahko ugotovimo, da je pri novih metodah zaščite površin pogosto konkurenca ali pa celo nižja od cene galvanskih prevlek.

Nove metode prinašajo v splošnem določene spremembe tehnološkega postopka priprave podlag (npr. dodatna toplotna obdelava, brušenje, poliranje in čiščenje površine po nanosu prevleke). Tako moramo npr. prevleke, ki smo jih pripravili s termično pršilno metodo (npr. HVOF), naknadno obdelati zaradi grobe površine in neenakomerne debeline. Pred nanosom relativno tanke PVD-prevleke moramo površino podlage skrbno obdelati (hrapavost podlage ne sme biti večja od debeline prevleke). Ker ima le-ta bistveno manjšo trdoto kot prevleka, je ta delovna operacija cenejša od obdelave površine po nanosu prevleke.

Za določeno vrsto uporabe (v letalski industriji, vojaška industrija), in kadar je zamenjava nekega strojnega dela zelo zahtevna in dolgotrajna, ima nova tehnologija zaščite absolutno prednost, če le poveča trajnost izdelka.

Na ceno in uporabnost novih tehnologij vpliva tudi geometrija izdelka. Na podlage s komplicirano obliko je namreč veliko težje in zato tudi dražje nanesti enakomerno prevleko kot na tiste z enostavno obliko.

Podrobnejša analiza pokaže, da so PVD-prevleke debeline do $6\ \mu\text{m}$ cenejše od galvanskih. Debelejše PVD-plasti pa so dražje od galvanskih, vendar lahko pričakujemo, da se bo s tehnološkimi izboljšavami

PVD-postopkov in zaradi povečevanja stroškov galvanskih postopkov nanašanja (zaradi večjih stroškov čiščenja odpadnih vod) konkurenčnost prvih v primerjavi z drugimi še izboljšala.

4 Sklepi

PVD-prevleke so realna alternativa ekološko spornih galvanskim oz. elektrokemijskim prevlekam, vendar so zaradi dragih naprav za nanos in majhne velikosti polnitve le-teh v splošnem dražje od galvanskih. Če pa primerjamo ceno cm^2 prevleke oz. ceno na enoto volumna, ugotovimo, da je cena PVD-prevlek že danes nižja od tiste za galvansko. Ker stroški čiščenja odpadnih vod, ki nastanejo pri nanašanju galvanskih prevlek, naraščajo, pričakujemo v bližnji prihodnosti povečanje cenovne konkurenčnosti PVD-prevlek. Njihovo konkurenčnost bodo povečale tudi naprave za velikoserijsko proizvodnjo, ki so še v razvojni fazi.

7 Literatura

- /1/ K.O.Lwegg, M. Graham, P. Chang, F. Rastagar, A. Gonzales, B. Sartwell
The replacement of electroplating
Surface and Coatings Technology, 81, 1996, 99-105
- /2/ H. A. Jehn
Alternative Beschichtungsverfahren - Konkurrenz oder Ergänzung
V zborniku simpozija "Galvanische Schichten", Technische Akademie Esslingen, 1996
- /3/ K. Feldmann, G. Beitingner
PVD versus Galvanik
Metallüberfläche, 50, 1996, 5, 400-402
- /4/ K. O. Legg
Economically Viable Hard Chromium Alternatives
Plating&Surface Finishing, July 1996, 12-14
- /5/ H. Schack, U. Kopacz
Kombination von Galvanik und PVD-Beschichtung
Metallüberfläche, 48, 1994, 6, 400-403
- /6/ H. Erhart
Kombination von Galvano- und PVD- Technik
Metallüberfläche, 44, 1990, 2, 59-62
- /7/ Regina Aul
Galvanik und PVD
Metallüberfläche, 50, 1996, 6, 806-808

TEORIJA ČRPANJA POSOD OZ. SISTEMOV IN OPREDELITEV VELIKOSTI PUŠČANJA

Vincenc Nemanič, Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana

Theory of pumping of vessels or vacuum systems and leakage rate measuring

ABSTRACT

High vacuum and ultra high vacuum technology depends crucially on tightness of vessels and components. The most sensitive methods developed to control and measure leakage were so called vacuum methods, where leakage is measured in evacuated vessel. Nowadays, high demands for tightness, comparable to those in high vacuum technique, are met in several other fields. In the paper, basic quantities and relations, necessary to describe pump-down process are described. Physical units for measuring leakage rates, which are closely related to difficulty range of particular application, are also introduced.

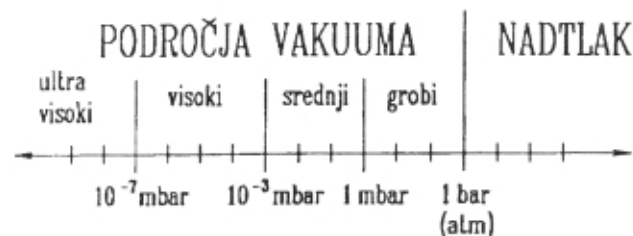
POVZETEK

Priprava visokega vakuumu je od vsega začetka zahtevala izredno dobro tesnost vseh elementov, zato so bile razvite tudi izredno občutljive metode preizkušanja in merjenja netesnosti. Danes srečamo enako visoke zahteve za tesnost še v mnogih drugih vejah tehnike, zato se vakuumske metode ob primernih prilagoditvah uporabljajo tudi tam. V prispevku so podane osnovne definicije količin in zveze, ki jih potrebujemo za opis črpanja in spremljajočih pojavov. Vpeljane so enote za merjenje netesnosti, kar je osnova za razvrstitev na območja zahtevnosti.

1 Območja tlaka - definicija vakuumu

Ohlapna definicija: Vakuum je vsako razredčenje plina pod 1 bar; boljši izraz je podtlak. Skala se razteza med 0 in 1; pogosto srečamo skalo, ki seže celo v negativno smer, med 0 (=atmosferski tlak) in -1 bar (vakuum).

Precizna definicija: Vakuum je razredčenje plina do poljubne stopnje, ko lahko plinu pripišemo in izmerimo spremenjene toplotne, električne in kinetične lastnosti. Primerna je logaritemska skala, ki označuje velikost razredčenja plina od začetnega tlaka pri 1 bar in na kateri ne moremo nikoli doseči vrednosti 0.



Slika 1: Skala z nazivi območij tlaka

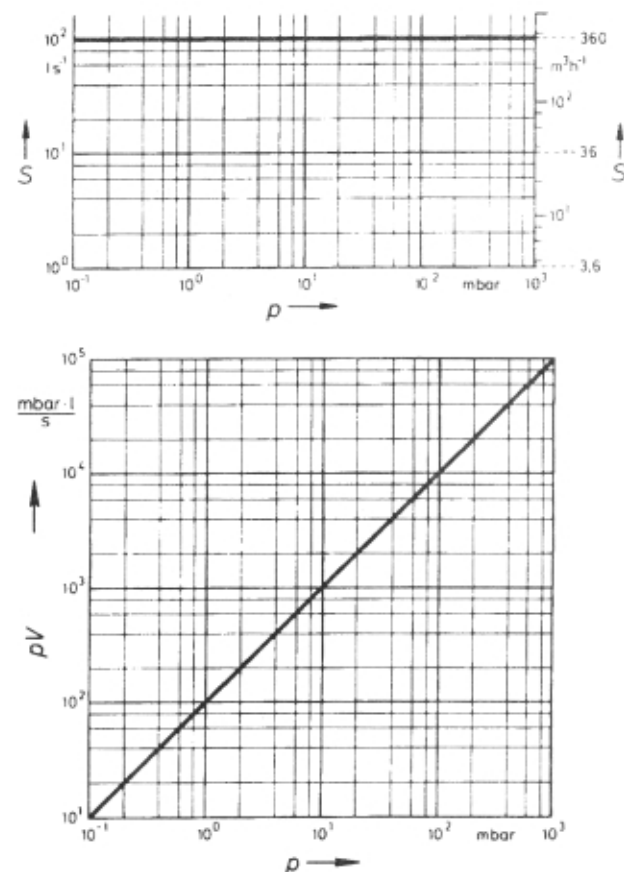
2 Črpalke

Za evakuiranje posode s prostornino V do želenega tlaka se uporabljajo primerne vakuumske črpalke. Razdelimo jih glede na: fizikalni princip delovanja, območje tlakov, črpalno hitrost itd. Njihove osnovne lastnosti so podane v splošnih učbenikih vakuumske

tehnike, [1,2]. Vse današnje črpalke delujejo žal le v razmeroma ozkem območju tlakov. Za visoki vakuum potrebujemo zato še najmanj dve črpalki, za UVV pa lahko tri, od tega vsaj dve vezane zaporedno. Zmogljivost črpalke podajamo vedno z vsaj dvema podatkom:

- črpalno hitrost S v enotah (l/s) pri specifičnem tlaku
- z območjem tlaka, kjer je dani S dejansko enak nazivnemu.

Idealna črpalka ima črpalno hitrost S neodvisno od tlaka, slika 2 (zgoraj). Pri danem vstopnem tlaku p preteče na enoto časa količina plina, ki je enaka $p \cdot S$, slika 2 (spodaj).

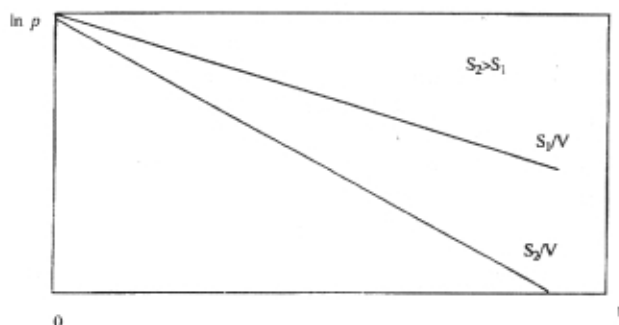


Slika 2: Črpalna hitrost idealne črpalke S (zgoraj) in pretok $Q=p \cdot S$ (spodaj) v odvisnosti od tlaka.

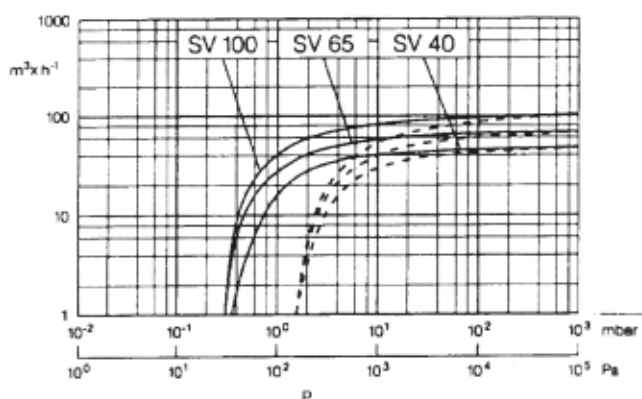
Naj bo v posodi s prostornino V (l) sprva tlak enak p_0 (bar). Splošna enačba za opis pojemanja tlaka v vakuumski posodi, ki jo črpamo s črpalno hitrostjo S , se glasi:

$$p(t) = p_0 \cdot e^{-\left(\frac{S}{V}\right)t} = p_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_v}} \quad (1)$$

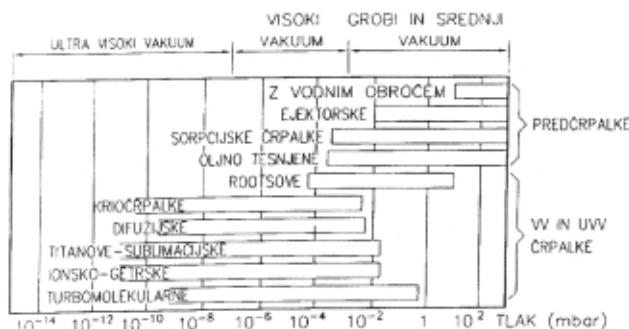
$\tau_v = S/V$ - je konstanta sistema oz. čas, ko pade začetni tlak p_0 (ob času $t=0$) na $0,37 p_0$ ($=1/e$) vrednosti. Če enačbo (1) logaritmiramo in relativni tlak merimo na y osi, ta pada linearno s časom. Strmina nagiba je ravno τ_v . Potek padanja tlaka v posodi, ki bi jo črpali z dvema različno zmogljivima črpalkama, je na sliki 3.



Slika 3: Padanje tlaka v posodi s časom. Posodo s prostornino V črpamo s konstantno črpalno hitrostjo S . Čim večja je S , tem strmejši je nagib.



Slika 4: Črpalna hitrost dvostopenjske rotacijske črpalke v odvisnosti od tlaka za različno zmogljive črpalke. Nazivna hitrost S je podana v m^3/h pri vhodnem atmosferskem tlaku. Končni tlak je pri vseh enak. Črtkano je označena hitrost pri dodajanju zraka, (črpalna deluje z "gas balastom").



Slika 5: Pregled vakuumskih črpalk glede na območje tlakov, v katerem delujejo s sprejemljivo veliko črpalno hitrostjo.

Za vsako črpalno je treba upoštevati dejansko črpalno hitrost v odvisnosti od tlaka; poznati moramo torej karakteristiko $S(p)$. Količina pretočenega plina je v območjih, ko je črpalna hitrost dosti manjša od nazivne, bistveno manjša. Zgled za črpalno hitrost v odvisnosti od tlaka je za rotacijsko črpalno prikazan na sliki 4, za ostale tipe črpalk pa so območja tlakov s sprejemljivo veliko črpalno hitrostjo podana na sliki 5 /3/.

3 Črpanje - dinamični in statični sistemi

Vakuumski sistem sestavljajo:

- posoda s povezavami
- črpalke
- merilnik (lahko pa opazujemo kak neposredni efekt, ki ga povzroča tlak).

Dinamični ali odprt vakuumski sistem je ves čas priključen na črpalke; trenutni tlak je dinamično raven, vesje med dotokom plinov v posodo in hitrostjo črpanja.

Statični sistem je pri nekem tlaku ločen od črpalke. Hitrost naraščanja tlaka je odvisna od dotoka plinov iz okolice.

Enačba (1) in slika 3 veljata žal v ozkem območju tlaka, spremembe pri realnem črpanju nastanejo, ker:

- se črpalna hitrost črpalke s tlakom spreminja; doseže lahko najnižji oz. končni tlak črpalke p_{ck} . Njena hitrost S je tedaj 0.
- je črpalna hitrost, s katero dejansko črpamo vakuumsko posodo, odvisna od prevodnosti povezave C [l/s] med njo in črpalno, kar izrazimo z efektivno črpalno hitrostjo S_{ef} .

$$S_{ef} = \frac{S \cdot C}{(S + C)} \quad (2)$$

Pri dobro konstruiranem sistemu sta S in C izbrani razumno, količini sta primerljivi, $C \approx S$. Primerna prevodnost cevi je tista, ki črpalne hitrosti ne znižuje pretirano.

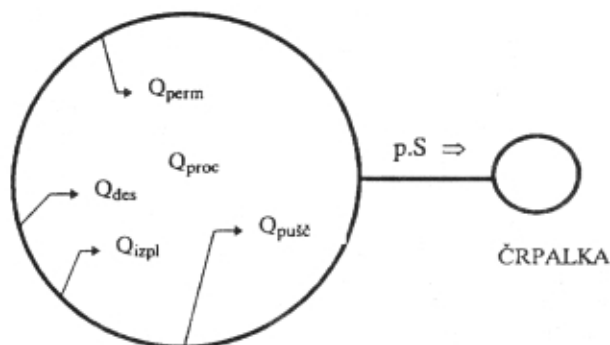
4 Postavitev zahtev za velikost puščanja v dinamičnih sistemih

Črpalni sistem je bil najverjetneje zgrajen za ustvarjanje takega tlaka p_k , pri katerem neži proces že lahko izvajamo. V realnem vakuumskem sistemu je preostanek plina, ki je bil v posodi pred črpanjem, dokaj nepomemben. Problematičen postane dotok plina kot posledica:

- razplinjevanja površine sten posode, Q_{des}
- permeacije nekaterih plinov skozi stene, Q_{perm}
- izplinjevanja samega materiala stene Q_{izpl}
- puščanja skozi lokalizirana mesta, $Q_{pušč}$
- sproščanje plinov med samim procesom Q_{proc}

Vse prispevke Q_i izrazimo v enotah (mbar l/s). Bilanco ponazorimo shematsko, slika 6. Opis pojevanja tlaka v posodi z enačbo (1) je kljub upoštevanju upornosti povezave (2) še vedno preoptimističen. Ob približevanju končnemu tlaku črpalke le-ta črpa z vse manjšo

hitrostjo. Če želimo izvajati neki postopek pri tlaku, ki leži v istem območju, kot je končni tlak črpalke, naletimo na težave. Črpalka tedaj črpa z zmanjšano hitrostjo, kar je bilo prikazano na sliki 4.



Slika 6: Vakuumska posoda s prispevki, ki vplivajo na trenutni in končni tlak.

Po daljšem času pričakujemo, da bo končni tlak v sistemu, namenjenem izvajanju nekega procesa brez neželenih prispevkov, enak:

$$p_k = Q_{proc} / S_{ef} + p_{č.k.} \quad (3)$$

Ko upoštevamo dejanski dotok plinov, ki upočasnjujejo črpanje:

$$Q = Q_{proc} + Q_{des} + Q_{perm} + Q_{izpl} + Q_{pušč}$$

končni tlak določajo ravno ti:

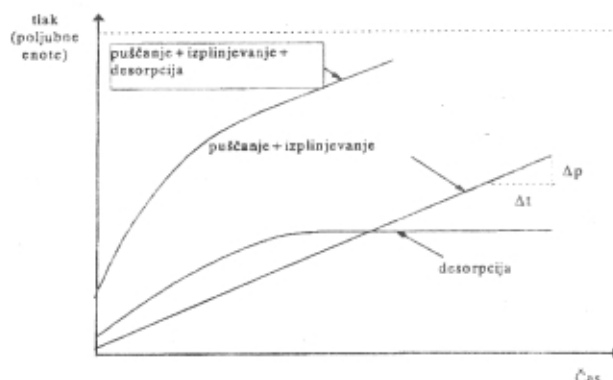
$$p_k = Q / S_{ef} + p_{č.k.} \quad (4)$$

Končni tlak je tako višji, sestava plinov pa je lahko za naš proces dosti bolj neugodna. Dobro zasnovan sistem ima druge prispevke, razen Q_{proc} , majhne že v zasnovi, kar dosežemo z izbiro primernih materialov pri konstrukciji sistema. Cilj vzdrževanja naprave je preprečiti puščanje in povečevanje Q_{des} zaradi slabega oz. napačnega delovanja črpalk itd. K zmanjšanju Q_{des} pripomore tudi skrb za čistočo v vakuum vnesenih predmetov, kar imenujemo tudi vakuumska higiena.

5 Postavitev zahtev za velikost puščanja v statičnih sistemih

Ob prenehanju črpanja lahko pričakujemo, da zaradi istih prispevkov, ki omejujejo končni tlak med črpanjem, tlak narašča tudi po tem, ko smo črpanje prekinili. Najbolj neugoden prispevek, ki se mu lahko izognemo, je puščanje. Neugoden je zato, ker je ravnovesje doseženo šele pri atmosferskem tlaku. Oglejmo si okvirno naraščanje tlaka v zaprti posodi, ki ga povzročajo zgoraj naštetih prispevki, slika 6. V zgodnji fazi predhodno slabo izplinjenega vakuumskega sistema lahko pričakujemo sprva strmo naraščanje tlaka, na katerega vplivajo tako puščanje (in per-

meacija), kot izplinjevanje in desorpcija. V tesnem sistemu se desorpcija izenači z adsorpcijo in tlak doseže pri dani temperaturi ravnovesno vrednost. V netesnem sistemu je prirastek tlaka na enoto časa ($\Delta p / \Delta t$) konstanten, kar lahko pogosto uporabimo pri enostavnih metodah ugotavljanja jakosti puščanja. Ker sestave plinov v posodi največkrat ne poznamo, lahko iz samega naklona napačno sklepamo na puščanje tudi, kadar imamo opravka le s počasno desorpcijo oz. izplinjevanjem. Čas za potrditev linearnega narastka tlaka zaradi puščanja je lahko zelo dolg, zato je uporaba občutljivejših metod ugotavljanja netesnosti skoraj vedno umestna. Na sliki 7 je prikazano samo vedenje posameznih prispevkov. Dopustna vrednost za končni tlak za predviden čas uporabnosti posode ali naprave je prikazana črtkano.



Slika 7: Naraščanje tlaka v posodi po prenehanju črpanja.

6 Razvrstitev velikosti puščanja

V dinamičnih sistemih je treba odpraviti večja netesna mesta, kar omogoča ponovljivo izvajanje procesa, za katerega je bil sistem zasnovan. Zaradi današnjih zmogljivih črpalk majhna puščanja pogosto niti niso problematična. Izjema je področje ultra visokega vakuum (UVV).

V statičnih sistemih pa je meja dopustnega puščanja zaradi dolgega časa vedno zelo nizka, lahko je celo pod detekcijsko mejo danes znanih metod.

V splošnem velja, da je dopustna jakost puščanja $Q_{pušč}$ ($= V \cdot \Delta p / \Delta t$) tem nižja:

- čim manjši je volumen posode oz. sistema
- čim nižji tlak moramo vzdrževati v predvidenem času
- čim daljši je čas uporabe

Zgledi:

1. V posodah za shranjevanje medijev lahko pomeni puščanje potencialno nevarnost, če uhaja strupen ali vnetljiv plin oz. tekočina. Vrednost izgubljenega medija pa je lahko zanemarljiva. Drugi prispevki, ki povzročajo naraščanje tlaka v sistemu, največkrat niti niso pomembni. Upoštevati jih moramo torej le med vakuumskim preizkušanjem. V hladilnih sistemih pa je izguba hladilnega medija lahko usodna, ker se z zniževanjem tlaka niža izkoristek naprave. Zaradi dolge dobe trajanja naprav je dopustno puščanje izredno nizko, primerljivo

s tistim, ki ga dopuščamo pri dinamično črpanih vakuumskih sistemih.

2. V posodah, ki predstavljajo ohišje (npr. zaščito vezja, mehanizma naprave ipd.) je zahteva za čas brezhibnega delovanja nekaj let. Če je v posodi inertni plin (npr. suh zrak, dušik ali žlahtni plin), se le-ta izgubi, naprava pa se lahko pokvari. V termopanskih oknih je razmeroma majhno puščanje z leti vzrok za rosenje. Suh zrak oz. inertni plin se zamenja z zrakom, ki vsebuje vlago, okvara je predvsem estetske narave. Vzrok za izmenjavo plina je občasna razlika temperatur in nihanje atmosferskega tlaka zaradi vremenskih sprememb. Delni razlog za rosenje je lahko permeacija vode skozi sicer tesno tesnilno maso. Podoben vpliv netesnosti srečamo v relejih, kjer lahko vlaga okvari kontaktne lastnosti površin itd.

3. Usodnejše je puščanje pri posodah oz. napravah, v katerih je za pravilno delovanje potreben srednji ali visoki vakuum v vsej dobi uporabnosti, ki je pogosto nad deset let. Take posode so termovke, v katerih tlak ne sme narasti čez 10^{-4} mbar. V sodobni TV slikovni elektroniki je tlak že v UVV področju. Dopuščene netesnosti pa z nobeno od obstoječih metod ne znamo izmeriti. Pomaga nam narava, ker se izkaže, da je večina netesnih mest bodisi v območju, ki ga lahko izmerimo, ali pa jih ni. Iz naštetih zgledov je razvidno, da je določitev in merjenje jakosti puščanja izredno pomembno. Omogoča napoved časa brezhibnega delovanja naprave, predvidimo lahko izgubo medija, ugotovimo, ali je strošek za popravilo smiseln itd.

7 Enote, s katerimi podajamo velikost puščanja

Velikost puščanja je lahko podana v poljubnih enotah, ki merijo izgubo ali vdor tekočine ali plina. Celo standardi dopuščajo enote, ki niso enake tem, ki se uporabljajo v vakuumski praksi. Vakuumske enote so se uveljavile zato in predvsem tam, kjer druge metode odpovedo, so nezanesljive, nenatančne itd.

Enota, ki izraža količino plina, ki doteka v vakuumski sistem pri tlačni razliki 1 bar, je:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mbar.l(PNP)/s} &= \\ = 1 \text{ bar.cm}^3(\text{PNP})/\text{s} &= \\ = 10^{-1} \text{ Pa.m}^3(\text{PNP})/\text{s}. \end{aligned}$$

(PNP pomeni "pri normalnih pogojih", $p=1$ bar, $T=273,15\text{K} = 0^\circ\text{C}$)

Iz splošne plinske enačbe velja, da 1 mol ($6,023 \cdot 10^{23}$ = Avogadrovo število molekul oz. atomov) plina pri normalnih pogojih zaseda prostornino 22,4 l.

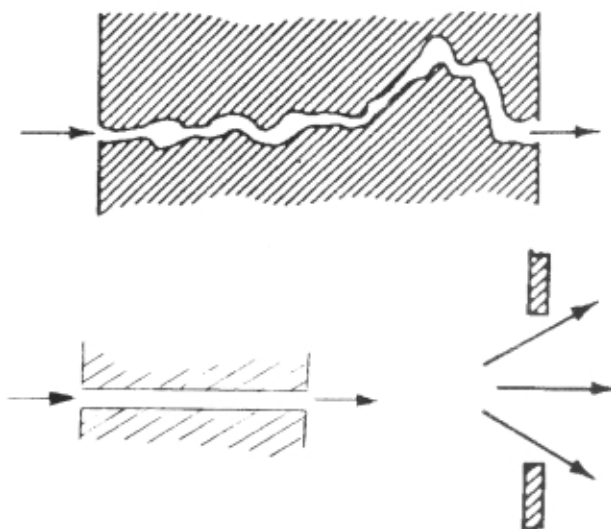
1 mbar.l plina je torej $2,68 \cdot 10^{19}$ molekul plina (ali atomov enoatomnega plina) pri normalnih pogojih.

V različnih vejah tehnike so vpeljane metode ugotavljanja netesnosti, ki slonijo na hitrosti sproščanja mehurčkov izbrane kombinacije plina in medija, izhajanja radioizotopov itd.

Fizična predstava za velikost odprtine stene, skozi katero se pri neki tlačni razliki pretoči ustrezno število plinskih molekul, največkrat odpove. Dobro je definirana le za pravilne odprtine med dvema tlakoma, ki

ležita v molekularnem območju. Mesta puščanja so v praksi nepravilnih oblik, slika 8.

Jakost oz. velikost puščanja, izmerjena v mbar l/s s helijevim detektorjem netesnosti kot najnatančnejšim merilnikom, je zato pogosto le vodilo uporabniku pri vpeljavi te metode. Ta mu omogoča hitro kontrolo, ki je v mnogih vejah proizvodnje zaradi zagotavljanja kvalitete danes že 100%. Pretvorbo v drugačne enote, ki izhajajo iz drugačne metode, **moramo opraviti s preizkušanjem**. Jakost puščanja ni nujno linearna funkcija razlike tlaka. Zaradi sile tlaka na stene posode je jakost puščanja lahko različna, glede na to, v kateri smeri nastopi tlačna razlika. Podobno nezanesljivo je napovedati "vedenje" odprtine pri povišani ali znižani temperaturi. Iz podatka za jakost puščanja helija pri 1 bar razlike je težko napovedati, koliko zraka bo dotekalo v sistem. Še težje je, kljub znani viskoznosti, izračunati količino drugačnega medija. Gibanje plina vzdolž nepravilne kapilare je sprva turbulentno, nato viskozno in preide lahko v molekularno itd. Je pa razred velikosti puščanja dobra orientacija za to, ali sodi puščanje v okvir dopustnega ali ne.



Slika 8: Odprtine, ki predstavljajo puščanje, so nepravilnih oblik. Zvezo med geometrijo in jakostjo puščanja znamo danes izraziti le za pravilne geometrijske oblike v molekularnem območju pretoka plina.

V praksi, ki omogoča široko uporabnost občutljivih vakuumskih metod, velja: **Ce je med meritvijo z vakuumsko metodo meja za netesnost postavljena pri dovolj visoki vrednosti, je izmerjena nizka vrednost zagotovilo za zadovoljivo tesnost. Prednost občutljivejše metode je hitrejša izvedba meritve. Posoda je dovolj tesna, če zadovoljuje namenu ves predviden čas uporabe.**

8 Permeacija in puščanje

Nelokaliziran vdor plina v vakuumsko posodo imenujemo permeacija. Je posledica raztapljanja plina in njegovega prodiranja skozi material z difuzijo. Poganja ga tlačni gradient oz. gradient koncentracije v steni.

Odvisen je tako od sestave stene kot od plina, ki difundira. Za permeacijo določenega plina skozi izbran material obstajajo tabele, ki podajajo permeacijsko konstanto, s katero lahko ocenimo njen pomen za konkretni primer /1,4/. Jakost permeacije v evakuirano posodo je za izbrani plin konstantna in je pri neselektivnem merjenju tlaka ne moremo ločiti od puščanja.

Zgledi: Permeacija zraka skozi večino materialov je pri sobni temperaturi nemerljivo majhna. Znano je, da skozi večino polimerov zlahka prodirata voda in helij, skozi paladij in nekatere kovine permeira vodik, skozi nekatera stekla helij ipd. V statičnih sistemih je treba biti še posebno pozoren, ker je zakasnitveni čas do stacionarnega stanja lahko razmeroma dolg in tega med meritvijo še ne opazimo. V praksi je treba biti pozoren tudi na tesnila, ki jih uporabljamo pri določevanju netesnosti s helijevim detektorjem. Permeacija helija se lahko javlja kot nesprejemljivo veliko puščanje, ki lahko preglasi šibko izražen signal prave netesnosti.

9 Sklep

Vakuumske metode ugotavljanja netesnosti so se zaradi izredne občutljivosti uveljavile povsod, kjer je zmanjšanje puščanja nujno za pravilno dolgotrajno

delovanje sistemov in naprav. Uporaba teh metod pa zahteva poznavanje spremljajočih pojavov, saj lahko pridemo v nasprotnem primeru do napačnih ugotovitev. Puščanje lahko določa končni tlak v posodi v dinamičnih sistemih. V evakuiranih statičnih sistemih se puščanje odraža z linearnim prirastkom tlaka na enoto časa. Zaradi predvidoma dolge dobe delovanja je dopustno puščanje vedno zelo majhno. Pri umeritvi velikosti puščanja, merjenega z vakuumskimi metodami, je za primerjavo z drugimi metodami (oz. za napoved delovanja naprave v drugačnih razmerah), potrebno preizkušanje. Določitev mest puščanja in opredelitev njihove okvirne velikosti je postalo v mnogih vejah tehnike ključnega pomena za zagotavljanje kakovosti izdelkov in naprav.

Literatura

- /1/ M. Wutz in sodel: Theory and Practice of Vacuum Technology, Friedr. Vieweg & Sohn, 1989
- /2/ Vakuumska tehnika, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Ljubljana, 1983
- /3/ Vakuumska tehnika za Srednješolske predavatelje, Urednik Bojan Jenko, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Ljubljana, 1993
- /4/ A. Roth: Vacuum Technology, North-Holland, 1982

NASTAJANJE STANDARDOV O NETESNOSTI SISTEMOV IN NAPRAV

Andrej Pregelj, Janez Novak, Marjan Drab, IEVT, Teslova 30, Ljubljana

Preparative standards for leak detection of systems and devices

ABSTRACT

There is an increased number of products and technologies where vacuum tightness of vessels and tubes is of main importance. Their greater or minor tightness assures good and appropriate maintenance of over or under pressure. Critical points where leak can be expected with great possibility, are usually as follows: fittings, demountable connections, gaskets, welded and soldered joints, defects in material, etc. Due to more and more pretentious requirements regarding the products quality (ISO 9000), in practice we come across with present regulations and standards which include also leak testing methods among which the main procedures are connected with vacuum technique. Regarding to relatively to scarce knowledge in this field at users and to the fact this sphere has not been treated by ISO yet, the European standard organisation (CEN) prepares in the frame of nondestructive testing also the chapters on leak tightness. The contribution represents the basics of leak detection and the actual state of the CEN drafts.

POVZETEK

Vse več je izdelkov in tehnologij, kjer hermetičnost posod in cevnih sistemov igra pomembno vlogo; njihova večja ali manjša tesnost namreč zagotavlja primerno dobro vzdrževanje nadtlaka oz. podtlaka. Nevarna mesta, kjer netesnost (leak) lahko z veliko verjetnostjo pričakujemo, so navadno: spojke, tesnila, varjeni in spajkani spoji, napake v materialu itd. Zaradi vse večjih zahtev po kakovosti proizvodov (ISO 9000) se v tehniški praksi vedno pogosteje srečujemo s predpisi o preverjanju tesnosti. Za to obstaja več različnih metod, katerih najpomembnejše so vezane na vakuumsko tehniko. Ker je tovrstno znanje med uporabniki šibko in ker ISO tega področja še nima obdelanega, pripravlja Evropski komite za standardizacijo (CEN) v okviru neporušnih metod preskušanja tudi poglavja o preverjanju tesnosti. Prispevek podaja osnovne postopke "leak-detekcije" in predstavitev standardov, ki jih pripravlja CEN.

1 UVOD

Pri proizvodnji elementov, katerih pomemben delež kvalitete je hermetičnost ovojnice in podobno pri strojih, ki morajo neprodušno ločevati posamezne medije, se vedno pogosteje srečujemo s predpisi o preverjanju tesnosti. Pri tem je treba nujno poznati naslednje postopke:

- ugotavljanje tesnosti oz. netesnosti
- določanje velikosti puščanja
- iskanje in določitev mesta puščanja

Obstaja več različnih metod za izvajanje naštetih nalog. Med njimi ni univerzalne, ampak so posamezne primerne le za določene velikosti puščanja oziroma uporabne le za določene tehnologije; tudi cene izvedbe kontrole po enem ali drugem načinu niso enake. Zato je prav, da znamo izbrati najpreprostejšo, ki pa še zadovoljuje zahteve v predpisanem preizkusu.

V slovenskem prostoru pridejo omenjeni postopki v poštev pri izdelovalcih tlačnih posod, hladilnih agregatov, posod za aerosole, prehrabnih konzerv, specialnih ventilov, hermetično zaprtih elektronskih komponent, v reaktorski tehniki, pri uporabi nekaterih analizičnih metod v raziskovalno-razvojnih laboratorijih itd.

Nevarna mesta, kjer netesnost (leak) lahko z veliko verjetnostjo pričakujemo, so navadno: spojke, tesnila, varjeni in spajkani spoji, napake v materialu (pore), vrsta materiala (permeacija skozi nekatere snovi) itd. Literatura piše tudi o takoiimenovanih navideznih puščanjih (virtualni leaki); to so notranji izviri plinov in par, npr. desorpcija z umazanih površin, izhajanje iz slabo "prezračeni" prostorčkov in razpok. Ker razen v ožjem krogu strokovnjakov, vezanih na vakuumsko znanost, postopki določanja netesnosti (leak detekcije) niso dovolj poznani, je prav, da tej problematiki posvetimo več pozornosti.

2. METODE ODKRIVANJA NETESNOSTI

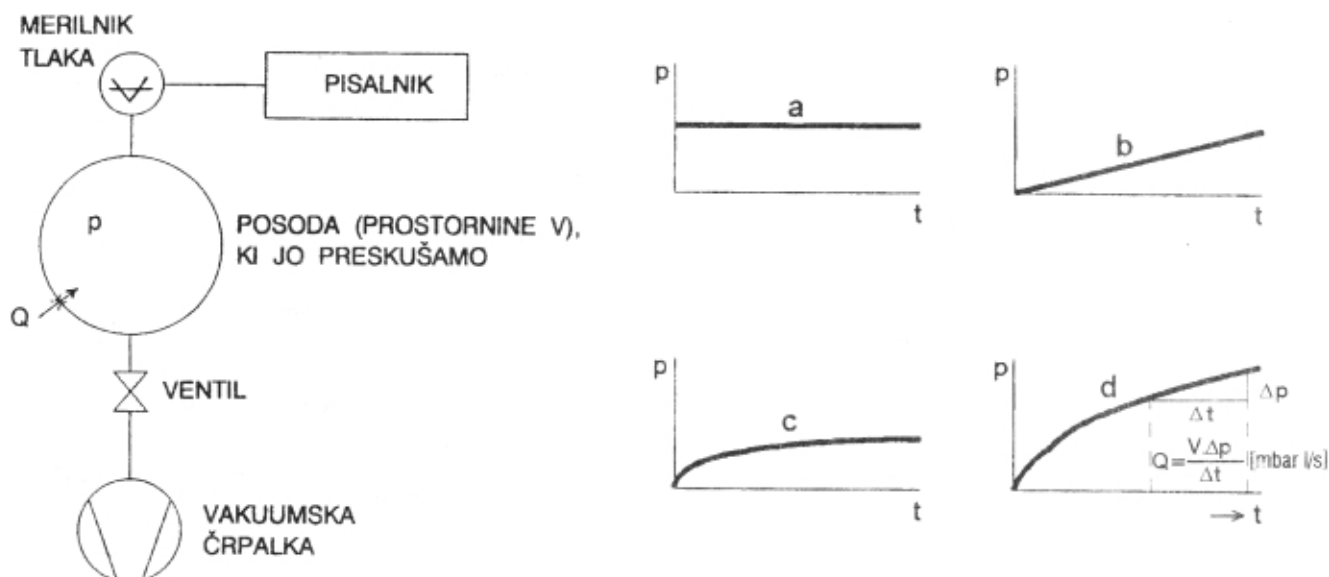
Osnovni poskus, ki razlaga netesnost zaprtih posod, poznan pod nazivom "metoda naraščanja tlaka", je prikazan na sliki 1. Posodo oz. sistem znanega volumna (V), ki ga preskušamo, je priključen na črpalko preko ventila. Po izčrpanju zapremo ventil in potem registriramo, kako se tlak (p) v posodi spreminja (Δp) v določenem časovnem intervalu (Δt). V praksi se v večini primerov pojavljajo štiri možnosti, ki jih prikazujejo narisani diagrami. Iz njihovih oblik navadno lahko sklepamo o vrsti puščanja oz. o izviru plinskega dotoka, iz podatka o naklonu krivulje pa lahko izračunamo velikost puščanja:

$$Q = \Delta p \cdot V / \Delta t \text{ (mbar l/s)}$$

Tako določeni pretok je merilo za velikost netesnosti, in to ne glede na njeno oblikovanost (špranja, razpoka, izvrtina, poroznost,...). Iz enačbe izvira tudi enota za velikost puščanja; to je "mbar l/s". Navadna puščanja imajo vrednosti med 10 in 10^{-10} mbar l/s. Seveda lahko preverjanje "tesno-netesno" izvedemo celo bolje kot z zrakom, tudi s kakim drugim plinom, npr. s helijem, ki ima majhne molekule in je zato zelo pronicljiv. Tovrstni postopki ne zahtevajo dragih naprav, vendar z njimi ne ugotovimo mesta puščanja.

Za odkrivanje mesta puščanja obstaja več metod. Možno jih je združevati po različnih značilnostih (npr. glede na uporabo tlaka oz. podtlaka, glede na fizikalni princip, na vrsto plina, na velikost puščanja itd), vendar za prakso to ni pomembno. V nadaljnjem sestavku jih na kratko predstavljamo po vrstnem redu: od preprostejših do bolj zahtevnih.

Metoda nadpritiska. Posodo, ki jo želimo preskusiti na tesnost, napolnimo s tekočino ali plinom. Kot tekočino navadno uporabimo vodo iz hišne napeljave. Mokra mesta na zunanji površini nam pokažejo groba puščanja ("velike luknje"), pa tudi manjša, tja do velikosti približno 1 mbar l/s. Pri preskušanju s plinom pa v posodo natlačimo zrak do nekaj barov (toliko, da je še varno, glede na debelino stene in vrsto materiala) ter jo potopimo v vodo. Izhajajoči mehurčki (bubble method) pokažejo netesnosti do velikosti $1 \cdot 10^{-3}$ mbar l/s. V primeru, da je posoda prevelika za potopitev, premažemo sumljiva mesta z milnico in spet opazimo me-



Slika 1. Preizkušanje posode, ki pušča, po metodi naraščanja tlaka. Rezultat so diagrami, iz katerih lahko sklepamo o stanju posode:

- a - posoda je tesna in čista (ni puščanja, ni desorpcije; $p = \text{konst.}$, $Q = 0$)
- b - ni tesna, toda je čista (idealni "leak"; $p = k \cdot t$; $Q = \text{konst.}$)
- c - je tesna, toda ni čista (pojavlja se samo razplinjanje oz. desorpcija; tlak močno narašča v začetku)
- d - kombinacija b) in c), torej nastopata netesnost in desorpcija

hurčke na netesnih mestih. Metoda omogoča odkrivanje puščanja do 10^{-5} mbar l/s in je uporabna tudi za zelo velike sisteme.

Penetracijska metoda. To je priredba tehnike, ki se uporablja za iskanje razpok v zvarih in defektov v materialih. Preskusna tekočina je zelo redka in ima dobro omočljivost. Z njo namažemo sumljiva mesta stene na eni (navadno na nadtladni) strani; v primeru prisotnosti puščanja pride do prodiranja skozi pore v materialu (penetracija) in na drugi strani zasledimo barvo preizkusne tekočine. Metoda je enostavna, poceni in pusti označbo lokacije. Omogoča zaznavanje puščanja do 10^{-6} mbar l/s.

Metoda s Teslovim preizkuševalnikom je uporabna za iskanje netesnosti na steklenih sistemih. Konica detektorja je antena visokofrekvenčnega Teslovega transformatorja, ki v svojo okolico oddaja elektromagnetno valovanje. Taka valovanja povzročajo v razredčenih plinih nastanek svetleče plazme. Pojav izkoristimo tako, da s sevajočo anteno "potujemo" ob sumljivih delih steklene posode. Ker smo posodo prej izčrpali (na grobi vakuum 1 - 0,01 mbar), se v notranjosti pojavi svetloba. Ko pa se približamo netesnosti, opazimo, da skozi njo izhaja plazma v obliki izostrenega žara (iz vakuumu v atmosfero) proti konici antene. S tem je mesto puščanja natančno pokazano.

Akustična metoda temelji na zvočni oz. ultrazvočni energiji plina, ki ekspandira skozi odprtino. Komprimiran plin izteka iz preizkušanca skozi pore, katerih položaj lahko od zunaj zaznamo z občutljivim mikrofonom (navadno frekv. 40 kHz). Postopek se precej uporablja pri visokotlačnih napeljavah. Je hiter in enostaven; ne potrebuje drage opreme, toda ne zazna puščanj, manjših od 10^{-3} mbar l/s.

Termična prevodnost plinov. Temperatura površine električno ogrevane žice se ustali pri neki ravnotežni vrednosti, ki je rezultat dotekajočih in odtekajočih energij. Na odtekanje energije seveda vpliva tudi toplotna prevodnost okoliškega plina. Plini z dobro toplotno prevodnostjo (npr. helij, vodik, oglj. dioksid, butan) žico bolj ohladijo kot zrak. Prihod takih plinov skozi netesnost v okolico senzorja torej zniža temperaturo žice. Spremembo temperature lahko zaznamo direktno s termočlenom ali pa posredno z meritvijo uporosti žice. Metoda je uporabna v območju od 10^{-3} mbar do atmosferskega tlaka, omogoča pa zaznavanje pretokov do 10^{-5} mbar l/s.

Metoda z radioizotopi je primerna za prekus hermetično zaprtih komponent. Le-te namestimo v posodo, ki je predhodno evakuirana in nato napolnjena z radioaktivnim sledilnim plinom (navadno kripton 85). Ta pronica skozi morebitne netesnosti v komponente.

Ko ga kasneje odstranimo iz njihove okolice, prične iz komponent ekspandirati nazaj v okolico, kjer ga lahko zaznamo s senzorjem za radiacijo. Tovrstni instrumenti so zelo dragi, omogočajo pa sledenje puščanja do 10^{-11} mbar l/s.

Metoda z vakuummetri. Posodo, ki jo želimo preizkusiti, opremimo s Piranijevim ali z ionizacijskim vakuummetrom in jo izčrpamo. Sumljivi del oplakujemo od zunaj s plinom, ki dobro difundira (He , H_2) v pore in razpoke, ali pa s hitro hlapljivimi tekočinami, ki imajo visok parni tlak (acetone, eter,...). Kadar se z oplakovanjem približamo netesnemu mestu, pokaže vakuummeter nenaden narast tlaka v notranjosti. Zaznamo lahko (npr. z ioniz. vakuummetrom) puščanja do 10^{-6} mbar l/s.

Halogenski efekt. Princip je opazno povečanje emisije ionov, predvsem K in Na (ki sta vedno prisotna kot nečistoča), s površine razžarjene platine (Pt), kadar nanjo zadenejo halogenski plini (F, Cl, Br, I) ali njihove spojine (npr. freoni). Stene puščajočega sistema lahko izpostavimo tlačni razliki na dva načina: ali nadtlak-atmosfera, ali atmosfera-vakuum, in sicer vedno tako, da je na nadtladni strani prisoten npr. freon. Senzor (Pt, 800°C) se nahaja na strani nižjega tlaka in je različne izvedbe za oba primera. Pri prvem načinu je izveden kot "vohljač" in z njim ročno "tipamo" po sumljivih zunanjih površinah posode, ki vsebuje komprimiran freon. Pri drugem načinu pa je senzor vgrajen v aparaturo, ki je spojena z evakuirano preskušano posodo in zazna skozi netesno mesto vanjo prodirajoči freon, s katerim na zunanji strani obpihujemo sumljiva mesta. S prvim načinom lahko izsledimo le grobe netesnosti (do 10^{-3} mbar l/s), z drugim pa tudi že bolj majhne (10^{-7} mbar l/s).

Masni spektrometri (MS) so najbolj občutljivi instrumenti za odkrivanje netesnosti v vakuumskih sistemih. To so merilniki parcialnih (delnih) tlakov ali, z drugo besedo, senzorji za ugotavljanje prisotnosti različnih plinov v residualni atmosferi. Metoda je enaka kot pri halogenskem načinu. Z detektorjem na podtladni (vakuumski) strani stene zaznamo plin, ki ga pripuščamo k poram v steni z nasprotne strani. Kot sledilni plin se v tem primeru vedno uporablja helij, ki ima več prednosti (je pronicljiv, varen, ...) pred drugimi plini (kot npr. vodik ali argon) in z njim dosežemo občutljivost od 10^{-10} do 10^{-12} mbar l/s.

Obstaja več izvedb masnih spektrometrov. Osnova njihovega delovanja je ionizacija prisotnih plinskih molekul. Nastale ione spektrometer nato ločuje in združuje po masah ter izmeri njihovo količino. To je podatek o parcialnem tlaku oz. o prisotnosti določenega plina v razredčeni plinski mešanici. MS so v splošnem zelo uporabne naprave, saj priključene na vakuumski sistem ne dajo le informacije o puščanju, ampak še o kontaminaciji, razplinjanju, reakcijah v komori, o permeaciji...itd). Helijevi MS so umerjeni samo na helij in namenjeni samo za iskanje netesnosti s helijem.

3 STANDARDI, VEZANI NA PROBLEMATIKO NETESNOSTI

3.1 Splošno

Standardi, ki obravnavajo tesnost in puščanje, so vezani na eni strani na vakuumsko področje, na drugi strani pa na neporušne preizkusne metode. V okviru standardizacijske dejavnosti DVTS smo poleg doslej poznanih standardov Ameriškega vakuumskega društva (AVS) in nemških standardov DIN v letošnjem letu izvedli še za novo nastajajoče evropske standarde (EN). Le-ti pa so trenutno še v fazi priprave (draft) in imajo zato oznako "prEN". Arhivirane imamo torej naslednje standarde, ki se nanašajo na netesnost:

- standardi AVS za kalibracijo pri iskanju netesnosti:
 - poglavje 2.1: Kalibracija helijskih detektorjev netesnosti masnospektrometrijskega tipa (1963)

- poglavje 2.2: Metode za vakuumsko kalibracijo netesnosti (1968)
- poglavje 2.3: Postopek kalibracije plinskih analizatorjev MS- tipa (1972)

- standard DIN 28 411 (1976):
 - Prevzemni preskus za detektorje netesnosti MS-tipa
- Standardi EN za neporušno preskušanje (1994)
 - prEN 1330-8: Terminologija - 8. del; Izrazi, ki se uporabljajo pri preskušanju na netesnost
 - prEN 1518: Preskušanje netesnosti - karakterizacija detektorjev netesnosti MS- tipa
 - prEN 1593: Preskušanje netesnosti - preizkusna metoda z mehurčki
 - prEN 1779: Preskušanje netesnosti - napotki za izbiro metode

3.2 Opis nastajajočih EN standardov

Predložene osnutke je pripravil tehnični odbor CEN (Comite European de Normalisation) / TC 138 in jih poslal v pregled članom CEN, tj. nacionalnim organom za standardizacijo 18-ih severno- in zahodno-evropskih držav. Teksti so izdelani v angleškem, francoskem in nemškem jeziku. V naslednjih odstavkih na kratko podajamo njihovo vsebino.

3.2.1 Izrazi, ki se uporabljajo pri preskušanju na netesnost

Standard **prEN 1330-8** vsebuje 112 izrazov oz. definicij, po abecednem vrstnem redu. Nanašajo se na stanja plinov, na merilnike in meritve pretokov in tlakov ter tozadevne enote, na vrste netesnih mest, naštetih so vrste plinov, metode iskanja in detektorje netesnosti, doseganje in vzdrževanje nizkih tlakov itd. Ker veliko metod temelji na ustvarjanju podtlaka, med njimi tudi najbolj priznan postopek s He masnim spektrometrom, je več kot polovica izrazov s področja vakuumске tehnike.

3.2.2 Karakterizacija detektorjev netesnosti masnospektrometrijskega tipa (angl. okrajš.: MSLD)

Ta standard **prEN 1518** ima naslednjo vsebino:

- Uvod, ki predstavi metodo MSLD in sedanje stanje tehnike (zaznavanje puščanja do 10^{-11} mbar l/s)
- Dva glavna tipa detektorjev MSLD (direct- and counterflow) ter zgradba in delovanje MSLD
- Posebnosti: delovni pogoji, signal ozadja, občutljivost, zaznavanje in resolucija skale
- Potrebni deli za izvedbo detekcije (posoda z velikimi oz. malimi luknjami, ločilni ventil, črpalni sistem, predpriprave za preskušanje)
- Referenčni pogoji za meritev (temperatura, tlak, vlažnost)
- Postopek preskušanja s pomembnimi temami:
 - minimalni pretok, ki ga lahko zaznamo
 - minimalna koncentracija sledilnega plina, ki jo še lahko zaznamo
 - črpalna hitrost za sledilni plin

- O rezultatih:
 - minimalno zaznava puščanja
 - minimalna zaznavna koncentracija
 - vstopna črpalna hitrost
 - poročilo o preskusu

3.2.3 Metoda iskanja netesnosti z mehurčki

Tozadevni standard **prEN 1593** ima naslednjo vsebino:

- Uvod o potopni in tekočinski tehniki
- Referenčni standardi (prEN 1330-8, EN473)
- Definicije in princip
- Splošne zahteve (plini, omejitve tlaka, stabilizacijski čas, temp. površine, vizualna kontrola)
- Drugi vplivi
- Potopna tehnika (metode in tekočine)
- Tehnika z uporabo tekočine
- Zgled za določitev velikosti puščanja (tesnjenje ventilnega sedeža)

3.2.4 Napotki za izbiro metode

Standard **prEN 1779** z zg. naslovom je tudi sedaj v javni obravnavi in ima naslednjo vsebino:

- Uvodni odstavki (namen standarda, sorodni standardi, definicije in enote)
- Podajanje zahteve po tesnosti
- Določanje netesnosti, okvirne opredelitve (tabela)
 - totalna oz. integralna metoda za določitev mesta netesnosti
 - časovna odvisnost pri metodah s sledilnim plinom
 - vpliv pretočnih pogojev (tlaka, temperature, vrste plina in drugih faktorjev)
- Splošni principi za izbiro preskusa:
 - velikost puščanja
 - tip preskusa

- oblika in velikost preskušanca
- izvedba in preskusni pogoji
- varnost in okoliški faktorji

– Dodatek:

- specifične lastnosti oz. prednosti vsake metode
- metode s spremembo totalnega tlaka
- pretvorbeni faktorji za različne enote

4 SKLEP

V prispevku je poleg pregleda problematike preverjanja netesnosti posod predstavljena vsebina štirih standardov, ki se tičejo tega področja in ki jih je l.1994 pripravil tehnični odbor TC138 Evropskega komiteja za standardizacijo. Sedaj so v javni razpravi; dostavljeni so bili tudi slovenskemu teh. komiteju "Preizkušanje kovinskih gradiv (USM/TC PKG)", kjer so na razpolago za pripombe. Zaradi naraščajočih potreb po kvaliteti pri mnogih proizvodih, kjer igra hermetičnost pomembno vlogo, je prav, da se seznanjamo s tehnikami iskanja netesnosti nasploh in tudi s tozadevnimi standardi.

5 LITERATURA

- /1/ AVS standard 2.1: Helium Mass-spectrometer Leak-detector Calibration
- /2/ AVS standard 2.2: Metod for Vacuum Leak Calibration
- /3/ AVS standard 2.3: Procedure for Calibrating Gas Analyzers of the Spectrometer Type
- /4/ DIN standard 28411: Abnahmeregel für Massenspektrometer-Lecksuchgeräte
- /5/ prEN 1330-8: Terms used in testing for leak tightness
- /6/ prEN 1518: Characterization of mass spectrometer leak detectors
- /7/ prEN 1593: Bubble test method
- /8/ prEN 1779: Guide to the method selection
- /9/ M. Wutz, H. Adam, W. Wachler: Theorie und Praxis der Vakuumtechnik, F. Vieweg&Sohn Verlag GmbH, Braunschweig, 1982
- /10/ N.S. Harris: Modern Vacuum Practice, McGraw Hill, 1989
- /11/ N.G. Wilson, L.C. Beavis: Handbook of vacuum leak detection, AVS, 1977

ŽARNICA (I. del)

Staško Južnič*

Electric Light

ABSTRACT

We describe the invention of the incandescent light, mostly after Edison's experiments in vacuum. In the first part of this article we are dealing with the inventions made in USA.

POVZETEK

Razprava opisuje odkritje in razvoj žarnice, predvsem po odkritju prednosti žarenja v vakuumu. V prvem delu opisujemo predvsem raziskovanja v ZDA.

1 UVOD

Z razvojem uporabne žarnice si je Edisonov laboratorij v Menlo Parku ustvaril sloves tudi v svetu, ki ga je William Thomson, poznejši Lord Kelvin, opisal z besedami: "... no one else is Edison" (Friedel, 1986, 1988)). Seveda pa je Edisonovo delo le kronalo dolgoletna raziskovanja cele vrste znanstvenikov.

Leta 1879 je Edison začel s proizvodnjo žarnic z ogljeno nitko pri tlakah tisočinko mbar. V Evropi se je podobna proizvodnja uveljavila šele konec stoletja. Vakuumska tehnika je s tem postala temelj industrije.

2 PRVE ŽARNICE

Humphry Davy (1778-1829) je leta 1802 opazil, da oglje med elektrodama hitro zgori in ga na zraku ni mogoče žareti kot platino. Leta 1808 je z veliko baterijo pred Royal institution of London (RI) prikazal obločnico in žarnico.

Do šestdesetih let preteklega stoletja niso poznali dovolj cenjenih virov električnega toka. Kljub temu so v več deželah patentirali žarnice, predvsem pa obločnice. Osnovni težavi sta bili iskanje materiala, ki ne bi prehitro zgorel, in uravnavanje stalne razdalje med elektrodama v obločnici.

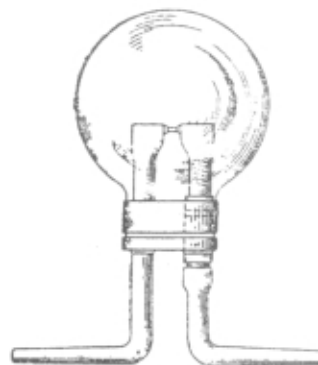
Jobard je v Bruslju že leta 1838 opisal ogljeno žarnico v vakuumu, ki jo je pozneje sestavil njegov učenec, inženir de Changy. Vendar je moral prekiniti raziskovanje, ko mu je pariška akademija odrekla podporo. Jobardovo idejo je leta 1841 patentiral Anglež de Moleyns.

Britanec William Robert Grove (1811-1896) je leta 1840 poskusil žarenje platine v zraku. Obe vrsti žarnice je patentiral Američan J.W. Starr (1821-1846), ki je po toval po Angliji in propagiral svoja odkritja. Nemški emigrant Heinrich Goebel je leta 1858 po Rosenbergu (1915, 317) l. 1855) s tokom galvanske baterije žarel žico iz platine v vakuumu živosrebrnega barometra. Z osvetljevanjem okna svoje urarske delavnice v New Yorku je privabljal kupce. Vendar so njegov izum kmalu pozabili (Siemens, 1957, I, 87; Šubic, 1997, 128-129; Friedel, 1986, 7-8, 94, 115).

Leta 1872 je Aleksander Nikolajevič Lodigin (Lodyguine, 1847-1923) opisal vakuumsko žarnico z ogljeno nitko med elektrodama iz medenine. Z njo so naslednje leto razsvetlili ulice Peterburga. V posodo je postavil še nekaj nitk, s katerimi so nadomestili prvo, ko je po približno pol ure zgorela. Novembra 1874 je dobil Lomonosovo nagrado akademije znanosti, vendar je naslednje leto zaradi finančnih težav nadaljeval raziskovanje v tujini. Januarja in februarja 1876 so tri Lodiginove svetilke osvetljevale trgovino v Peterburgu, 12 pa so jih naročili pri pariški delavnici Julesa DuBoscqa. Poleti 1873 je Edison nabavil DuBoscqove obločnice za laboratorij v Newarku (Edison, 1991, 45; Spaskij 1964).



Slika 1: Aleksander Nikolajevič Lodigin



Slika 2: Lodiginova žarnica (Spaskij, 1964, str.6 in str.7)

2.1 EDISONOVA ŽARNICA

Edison je konec januarja in v začetku februarja 1877 začel, med septembrom 1877 in januarjem 1878 pa nadaljeval raziskovanje obločnic in žarnic. V laboratoriju je imel Gassiotovo elektronko že od leta 1875. Sredi septembra 1877 je Edison naročil Charlesu Batchelorju

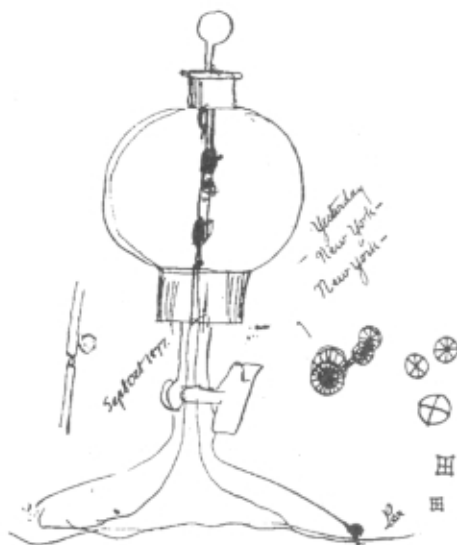
* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1980 je diplomiral iz tehnične fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

naj vanjo vtakne kos oglja. Ker je bilo težko dobiti dovolj majhne kose, so raje uporabili pooglenen papir, ki so ga uporabljali tudi pri vzporednih raziskovanjih telefona. Ko so elektronko znova zatesnili, so jo izčrpali z navadno zračno črpalko, nabavljeno marca 1875. Dobljeni vakuum je bil slab, tako da je žarjeni ogljik zgorel skoraj prav tako hitro kot na zraku. Zato so raje žareli silicij in bor. Žarnice so vezali zaporedno in tudi vzporedno, kar je pozneje peljalo k uspešnemu sistemu razsvetljave (Edison, 1994, XXXVI, 540-547).

Mladi samouk **Thomas Alva Edison** (1847-1931) si je ustvaril sloves v ZDA s hitrim posredovanjem telegrafskih in časopisnih informacij med secesijsko vojno. Izkoristil je gospodarski razcvet po vojni in pozimi 1875-1876, ob podpori newyorških denarnih mogotcev in tiska, postavil prvi industrijski raziskovalni laboratorij v Menlo Parku, New Jersey, 40 km oddaljenem od New Yorka. Tu je med drugim nadaljeval z raziskovalnjem telegrafije, dopolnil Bellov telefon in utemeljil gramofon. Predvsem pa je ustvaril industrijo žarnic, s katero se je po petih letih raziskav v Menlo Parku zmagoslavno preselil v New York kot vodilni izumitelj in poslovnež.



Slika 3: Thomas Alva Edison (1847-1931)



Slika 4: Edisonova žarnica septembra 1877, narisana po spominu leto dni pozneje (Edison, 1994, 546)

Sredi leta 1878 je bil Edison močno izčrpan od intenzivnega raziskovanja telegrafa. Zato je rad sprejel vabilo vodilnih ameriških znanstvenikov, fizika Barkerja in astronoma Draperja, ki sta ga prosila, da jima priskrbi svoj tasimeter za opazovanje popolnega sončnega mrka na zahodu ZDA. Skupno potovanje je trajalo od 13.7.1878 do 26.8.1878. Spotoma so si ogledali tudi laboratorij Britanca Williama Wallaca (1825-1904) v Ansonii, Connctut. Skupaj z Mosesom G. Farmerjem sta sestavila dinamo, ki so ga proizvajali od leta 1875. V času Edisonovega obiska se je Wallace ukvarjal s konstrukcijo močnega električnega generatorja "Tele-machon" in sistema obločne razsvetljave z oglenimi ploščami (Friedel, 1986, 6-7). Prve monografije o vakuumu so izšle med leti 1906-1926.

Z njimi teorija in eksperiment v vakuumu postaneta univerzalen del temeljev fizike (Kansky, 1993, 7).

Henry Draper (1837-1882) je zaslovel po prvi fotografiji sončnega spektra. Bil je sin Johna Williama Draperja (1811-1882), ki je študiral na londonski univerzi, nato emigriral v ZDA in v New Yorku zaslovel z raziskovanjem luminiscence.

Že nekaj dni po vrnitvi v Menlo Park je Edison vedel, da je na sledi velikih izboljšav električne razsvetljave. Svoje izkušnje v razdeljevanju telegrafskih impulzov je nameraval uporabiti tudi za razdeljevanje moči električne razsvetljave za posamične uporabnike. Dotedanje električne svetilke so bile uporabne le za močne javne luči, pri posameznih uporabnikih pa je prevladovala plinska razsvetljava, katere ohišja je Edison nameraval kar prirediti za žarnice (Friedel, 1986, 13). Njegov sloves je privabil gmotne mogotce z Wall Streeta k ustanovitvi Edison Electric Light Company (EELC).

Samouku Edisonu je bilo veliko do ugleda v znanstvenih krogih, čeprav v svojem laboratoriju dolgo ni zaposloval znanstvenikov. Šele pod pritiskom J. Pierpont Morgana in drugih direktorjev EELC je moral novembra 1878 zaposliti ameriškega fizika Francisa R. Uptona, ki je končal Bowdoin College v državi Main in študiral na Princetону ter pri Helmholtzu v Berlinu. Upton je kot matematično-tehnični svetovalec Edisona leto dni zbiral tiskano literaturo o žarnici, dokler se ni posvetil vodenju proizvodnje žarnic.



Slika 5: Upton okoli leta 1882 (Friedel, 1986, str. 28)

Draper je podpiral Edisona tudi v American Association for the Advancement of Science (AAAS) ter v bolj elitni Nacionalni akademiji znanosti (NAS) skupaj z Rowlandom. Slednji je pozneje, ob prevzemu predsedništva AAAS leta 1883, v slovitim pozivu k čisti znanosti v nasprotju z večino ameriških (Barker) in britanskih (W. Thomson, Crookes) raziskovalcev objavil, da Edisonovo raziskovanje električne žarnice ni znanost, tako kot niso novi kuharski recepti kemija.

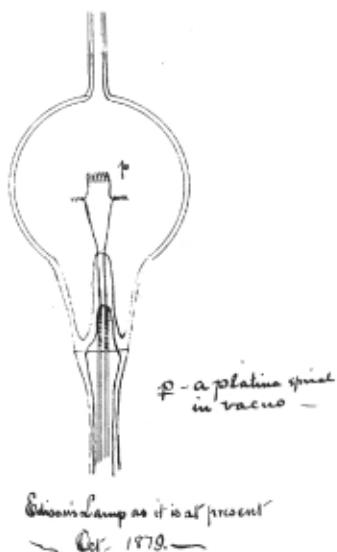
Barker je spoznal Edisona leta 1874 ob razstavi pri Franklinovem inštitutu in ga 3.11.1874 pisno povabil, naj predstavi svoje izume pri NAS. Kot pomočnik urednika Am. J. Phys. in predsednik AAAS leta 1879 je nagovoril Edisona in Uptona, da sta za srečanje AAAS v St. Louisu leta 1878 in v Saratoga Springsu leta 1879 pripravila tudi lastne referate (Edison, 1991, 329; Hounshell, 1980, 612). Pozneje je postal nanj ljubosumen, saj je bil baje prepričan, da je sam največji ameriški fizik.

Do leta 1884, ko se je posvetil predvsem trženju, je Edison najprej ustanovil Telegraph Journal, nato pa je 3.6.1880 ustanovil revijo Science in poldrugo leto gmotno podpiral njeno tiskanje. Science je poltretjo stran posvečala raziskavam elektrike, posebej pa je poročala o delu Edisonovega laboratorija. Za Edisonom je podpora Science prevzel izumitelj telefona Alexander Graham Bell (Edison, 1991, 778; Pretzer, 1989, 129, 132).

Edison je v 80-tih letih z več tisoč dolarji podpiral tudi elektrotehnične programe v šolah (Rosenberg, 1983, 50).

2.2 ŽARNICE V VAKUUMU

Prvi meseci raziskovanja žarnice v Menlo Parku so bili posvečeni iskanju primerne žarilnega materiala. Namesto volframa, oglja in iridija, ki ga je 7.10.1878 hvalil Farmer iz New Yorka, so izbrali platino. Bila je draga in je bilo treba tok skozi njo posebej uravnavati z razmeroma zapletenimi povratnimi zankami, da se ne bi stalila nad 1769°C. Zato pa se težko oksidirala in se je z njo Edison sprva izognil uporabi vakuumu.



Slika 6: Vakuumska žarnica z nitko iz platine, ki oktobra 1879 še ni delovala (Friedel, 1986, str.87)

Razpoke in mehurčke v materialih so v Edisonovem laboratoriju preučevali z mikroskopom, kar je bila novost v industrijskem raziskovanju (Friedel, 1986, 46, 49). S tehtanjem so dognali, da postane Pt po segrevanju lažja. Edison je domneval, da plini v porah Pt po segrevanju zapustijo kovino in povzročijo poškodbe. Poskuse je vodil Upton, ki je (4.2.1879) domneval, da se v Pt adsorbira predvsem vodik. Nezaželene pline so izparili s predhodnim segrevanjem Pt v vakuumu in s ponovnim črpanjem pred zatalitvijo žarnice (Friedel, 1986, 51, 53). Zato so januarja 1879 začeli raziskovati v visokem vakuumu, ki se mu zdaj niso mogli več izogniti. Za razliko od predhodnikov je imel Edison na razpolago boljšo tehnologijo, zlasti Sprengelovo živosrebrno črpalko, opisano leta 1865. Bila je sicer počasnejša od Geisslerjeve, vendar je omogočala večkratno črpanje in zato boljši končni vakuum do 0,1 Pa (Madey, 1984, 14; Friedel, 1986, 51, 53).

Hermann Johann Philipp Sprengel (1834-1906) je bil rojen v Schillerslage pri Hannoveru. Študiral je v Göttingenu od leta 1855 in doktoriral v Heidelbergu leta 1858. Naslednje leto je postal asistent Benjamina Broda na univerzi v Oxfordu. Od leta 1863 je raziskoval v Londonu kot kemik v Royal College of Chemistry in v bolnicah Guys in St Bartholomew's. V slednji mu je predavatelj kemije William Olding omogočil raziskovanje, ki ga je bržkone kronal s svojo prvo črpalko, v kateri je z večkratnim zaporednim padanjem živega srebra izčrpaval zrak iz cevi. Črpalka je takoj prišla v uporabo, saj jo je že leta 1866 Thomas Graham (1805-1869) z University College v Londonu uporabljal pri raziskovanju difuzije plinov, kmalu za njim pa tudi Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) na univerzi v Heidelbergu.

Leta 1865 je Sprenger raziskoval v londonski kemični tovarni. Od leta 1870 je živel kot zasebnik in postal 8 let pozneje Fellow of the Royal Society of London (FRS). Leta 1881 je v Londonu in New Yorku na 16 straneh velikega formata objavil razpravo o vakuumski črpalki. Umrli je v Londonu.

Sprengelovo črpalko je izboljšal Crookesov asistent Charles Gillingham, ki je namesto ene uporabil več cevi z živim srebrom. Pri poskusih z radiometrom je Crookes uporabljal vakuum 0,04 Pa (Andrade, 1984, 82; DeKosky, 1984, 85).

22.1.1879 je Edison zaman telegrafiral prijatelju Barkerju na univerzo v Philadelphiji in Mortonu v Hoboken, da naj mu pošljejo Sprengelovo črpalko. Zato je sprva črpal z mehansko črpalko, v kateri je bil tiste čase tlak pare uporabljenih olj za tesnila višji od tlaka živega srebra (Edison, 1991, 375; Hablanián, 1984, 19). Edisonov sicer izredno sposoben mehanik Kruesi namreč ni znal narediti Sprenglerjeve črpalke. 26.3.1879 je Edison dobil Geisslerjevo črpalko od stehlopihaškega podjetja Alberta Reinmanna & Williama Baetza iz New Yorka, istočasno pa drugo, podobno, vendar pokvarjeno, od nekdanjega Uptonovega profesorja Cyrusa F. Bracketta s Princetona.

Johann Heinrich Krüsi (1843-1899) je bil rojen v Heidenu, Appenzell v Švici. Kot mehanik je delal v Zürichu in Parizu. Leta 1870 je delal na Singerjevih šivalnih strojih v New Jerseyu ter prešel k Edisonu leta 1871 ali 1872. Ime si je poamerikanil v John Krusi (Kruesi). Leta 1882 je bil odgovoren za proizvodnjo v Edisonovi prvi osrednji postaji v New Yorku (Edison, 1991, 633-634)

William de la Rue in Hugo W. Muller sta leta 1878 v pariških Annalen de Chemie et de Physique objavila razpravo o kombinaciji Geisslerjeve črpalke s Sprenglerjevo in o McLeodovem vakuumskem merilnem instrumentu. Edison je leta 1878 zaposlil steklopihača Ludwiga Boehma (r.1859), ki je pred tem delal pri Geisslerju v Bonnu. Sredi avgusta 1879 so Boehmove črpalke dosegale že desetinko Pa. V dobrem letu je Boehm pri Edisonu izdelal tudi več kot 100 od skupno več kot 500 črpalk za tovarno žarnic v Menlo Parku. Sprengel-Geisslerjeva črpalka, kot so jo projektirali v Edisonovem laboratoriju, se je uporabljala do leta 1896. Dr. Otto Moses je 12.4.1880 izdelal za Edisona vakuumsko črpalko z zaprtim dnem in odprtini pri strani, da bi zmanjšal tlak živega srebra na dno. Brez segrevanja je lahko dobil dober vakuum v petih urah, kar je bilo pri črpanju žarnic precej zamudno (Friedel, 1986, 61, 62, 159, 163, 251; Hablanin, 1984, 19; Singleton, 1984, 25).

Edison je poskuse v vakuumu objavil pod svojim imenom, kar je bil eden od vzrokov za poznejšo Uptonovo zamero. Spiralna nit iz Pt premera 0,005 inčev in mase 266 mg je po polprvi uri žarenja v ognju vodika izgubila 8 mg, druga s 343 g pa je po 9 urah žarenja izgubila 42 mg. Med žarenjem je po 20 minutah opazil tudi tanko plast zrcala na steklenih stenah. Po 5 urah žarenja Pt spirale ni bilo več mogoče videti skozi nastalo tanko plast na stenah.

Ko je spiralno nit prekril z oksidom magnezija z žarenjem prahu magnezijevaga acetata, se je namesto Pt na okoliškem steklu nabral magnezijev oksid. Tako se je prepričal, da pojav povzroča plin, ki izhaja iz Pt spirale. Naprejevanja ni mogel preprečiti niti vakuum 2 mm Hg, temveč šele črpanje s Sprengelovo črpalko, ko pol cm dolga iskra iz indukcijske tuljave ni mogla preskočiti skozi vakuum razdalje 1 mm.

Ko je 0,02 mm debel Pt vodnik žarel v Bunsenovem gorilniku, se je ponekod stalil in dobil "cik-cakasto" obliko. Pri štirikrat debelejšem vodniku se to ni zgodilo, saj večje sevanje površine ni dopuščalo tolikšne temperature. Po segrevanju je pod mikroskopom opazil številne razpoke na vodniku. Po 20-minutnem žarenju je bilo mogoče razpoke opaziti tudi s prostim očesom, po nekaj urah pa je vodnik razpadel. Pojav sta opazila že J.W. Draper in francoski kemik Tessie de Motay, ki je žarel Pt v vodiku.

Ko je Edison dognal vzrok za razpad vodnika, ga je dal zaščititi s predhodnim žarenjem v vakuumu. Dobil je zelo homogeno in trdno Pt brez plinskih mehurjev in z visokim tališčem. Izdelal je več platinastih spiral s sevalno površino 3/16 inča, ki so pri tališču žarele s 4 svečami. Nato je zrak izčrpal do 2 mm Hg. Spiralo so počasi greti s tokom do rdečega žara, da so plin iz por spravili v vakuum. Vodnik so greti in hladili v intervalih

15 min, da je kovina zapolnila prostor v porah, na mestih, kjer so se izločili plini. Po 100 min je spirala svetila s štirimi svečami, kar bi sicer stalilo navadno platino. Pri zelo počasnem segrevanju je dajala celo 30 sveč. Pod mikroskopom ni bilo videti razpok na gladki srebrnobeli spirali, ki se je med postopkom stanjšala in jo je bilo zelo težko staliti na ognju. S površine, enake zrnu ajde, je dobil svetilnost 8 sveč, osemkrat več kot brez predhodnega segrevanja v vakuumu. Z manj kot eno konjsko močjo je lahko napajal 16 takšnih svetilk s skupno svetilnostjo $8 \times 16 = 128$ sveč.

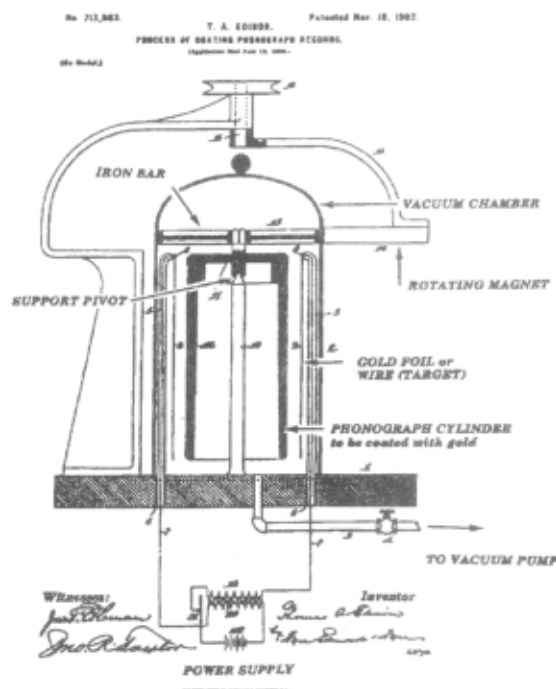
Edison je preizkušal tudi druge kovine. Železo je po opisanem postopku postalo trdno kot steklo in je svetilo bolje od navadne platine. Aluminij se je stalil šele v belem žaru itd. (Edison, 1879, 152-154).

2.3 VZPOREDNA ODKRITJA MED RAZISKOVANJEM ŽARNICE V EDISONOVEM LABORATORIJU

Sredi decembra 1878 je Upton odkril, da pri visoki upornosti električne razsvetljave 200-300 omov ne potrebujemo dodatne energije, saj je ta odvisna le od upornosti, temveč od žareče površine. Zato so v žarnici s pridom uporabili zelo tanke žareče nitke, ki so jih podaljšali z navijanjem v spiralo. Odkritje so februarja 1879 patentirali v Veliki Britaniji.

Tudi po uspehu z žarnico je Edison nadaljeval poskuse v vakuumu. O njegovem raziskovanju termoelektronske emisije iz leta 1883 smo že pisali (Nemanič, 1996, 21). Leta 1884 je prijavil in 18.9.1894 dobil patent za prekrivanje z izparevanjem v vakuumu po neposrednem segrevanju z enosmernim tokom, ki ga je imenoval "elektro vakuumška depozicija". Kljub temu pa za

Edison's 1902 patent



Slika 7: Edisonova patentna skica 18.11.1902 za "Postopek prekrivanja fonografskih plošč" (R.K. Waits, Edison's Vacuum Coating Patents, AVS Newsletter (May/June 1997), str.18)

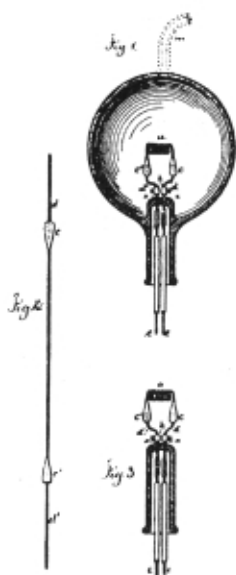
odkritje nanašanj tankih plasti v vakuumu z Joulovim segrevanjem Pt-vodnikov pogosto navajajo 3 leta poznejše delo Roberta Nahrwolda (r.1850), v katerem Edison ni bil omenjen. Prav tako ga ni naslednje leto 1888 omenjal Kundt, ko je odkritje uporabil za določanje lomnega količnika tankih plasti kovin (Waits, 1997, 18; Južnič, 1995, 19).

Edison je uporabil tudi naprševanje z visokonapetostnim izmeničnim tokom, ki ga je brzkone slučajno odkril pri višjih tlakih. Tako je leta 1900 prijavil in 18.11.1902 dobil patent za "Postopek prekrivanja fonografskih plošč". Edisonva National Phonograph Company je naprševala tanke plasti zlata na fonografske valje iz voska med letoma 1901-1921 (Waits, 1997, 19).

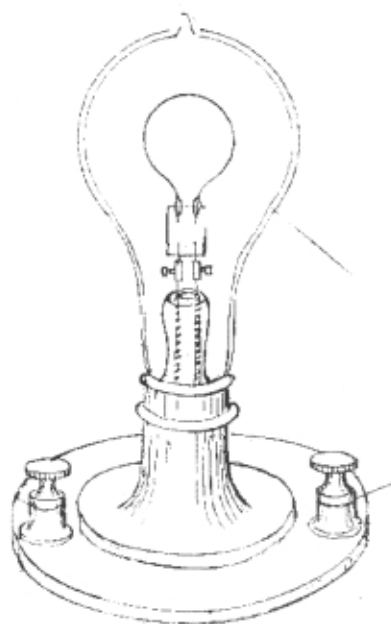
Tesnitev žarnice je bila posebno težavna ob vodnikih iz svinca. Swan in drugi raziskovalci niso demonstrirali svojih dosežkov na tem področju, tako da je ta problem verjetno zadovoljivo rešil le Edison. Sprva so v Menlo Parku tesnili z lesom, od leta 1881 pa so začeli uporabljati mavec iz Pariza (Friedel, 1986, 116, 171).

3 OGLJIKOVA ŽARNICA

Uporaba vakuumu v žarnici je znova odprla možnost zamenjave platine s cenejšim ogljikom. Oktobra 1879 so se v Menlo Parku vzporedno z raziskovanjem žarnice ukvarjali tudi z izdelavo telefonskih oddajnikov za britanski trg. Tako je bilo na voljo veliko ogljika za boben v telefonu in so ga preizkusili tudi v žarnici. 21.10.1879 so prižgali žarnico s poogleneno bombažno nitjo, ki naj bi po legendi gorela 40 ur, čeprav laboratorijski zapiski pričajo le o 30,5 urah. 4.11.1879 je bila vložena patentna zahteva, na podelitev patent pa je bilo treba čakati le 84 dni. V patentni zahtevi je Edison zapisal "Odkril sem, da tudi bombažna nit, primerno pooglenena in postavljena v zatesnjeno stekleno posodo, izčrpano do milijoninke atmosfere, daje od 100 do 500 omov upora toku in je povsem stabilna pri zelo visokih temperaturah." (Madey, 1984, 14).



Slika 8: Vakuumska žarnica z nitko iz pooglenenega papirja po patentu št.223898 konec leta 1879 (Friedel, 1986, str.106)



Slika 9: Vakuumska žarnica z nitko iz pooglenenega papirja novembra 1879 (Friedel, 1986, str.107)

6.12.1879 so uporabili ogljik v obliki podkve. Newcomb, vodja urada za mornariški almanah pri pomorskem observatoriju v Washingtonu, je sredi januarja pisal Edisonu, da bi bilo mogoče svetilnost žarnice močno povečati z uporabo bolj homogene in trdnjše oblike ogljika od pooglenenega papirja.

Simon Newcomb (1835-1909) je bil rojen v Wallacu na Novem Škotskem. Leta 1884 je postal profesor matematike in astronomije na univerzi Jihn Hopkins v Baltimoru. Univerza v Leydenu mu je podelila častni doktorat. Skupaj s poznejšim Nobelovcem Albertom A. Michelsonom (1852-1931) s pomorske akademije je bil Newcomb tedaj sredi priprav za meritve svetlobne hitrosti z interferometrom. Edison je imel tedaj že tolikšen ugled med ameriški znanstveniki, da je Michelsona povabil, naj svoj interferometer postavi v Menlo Park. Michelson je povabilo vljudno odklonil.

Edison je upošteval Newcombov nasvet in dal raziskati celo vrsto snovi. Z ameriško podjetnostjo je pošiljal odprave v Indijo, Kitajsko, Centralno in Južno Ameriko. "Začel je z nebroj poizkusi in iskal pravi material za ogleno žarilno nitko in res je našel po tisočih in tisočih neuspehih neki japonski bambus, katerega zoglenela vlakna so se izkazala uporabna" (Poljšak, 1931, 34).

Henry Morton s Stevensovega instituta v Hobokenu je Edisona kritiziral v Sci. Am., C.F. Bracket in C.A. Young pa sta v Am. J. Sci. objavila pohvalno oceno Edisonove žarnice po neodvisnem raziskovanju, ki ga je pri njej naročil Edison. V istem zvezku revije sta 100 strani pred njima Edisonova prijatelja Barker in Rowland aprila

1880 objavila ugodno oceno učinkovitosti Edisonove žarnice (Friedel, 1986, 138-139), merjeno kot razmerje med porabljenim delom generatorja in dobljeno svetilnostjo. Rowland in Barker nista imela uporabnega dinamometra, pa tudi svetilnost žarnic, postavljenih na dolgi razdalji, ni bilo mogoče enostavno meriti. Lahko bi merila tudi upornost in tok skozi posamezno žarnico, vendar tudi za takšno meritev nista imela potrebnih naprav. Zato sta postavila žarnico pod vodo in merila v kalorimetru oddajanje toplote na minuto. Kalorimeter iz zelo tankega bakra je imel kapaciteto okoli 1,25 kg vode. Žarnica je bila postavljena v sredo naprave, da se je voda okoli nje lahko mešala. Temperaturo sta merila do desetinke °C natančno z Baudinovim termometrom. Meritev je bila natančna do 3 %, saj nista upoštevala sevanja. S temperaturo kalorimetra kar se da blizu temperaturi zraka in z majhnimi spremembami le-te pa naj bi zmanjšala napako na 1 %.

Uporabila sta dve žarnici skoraj enakih moči. Merila sta le eno, drugo pa hranila v kalorimetru in ju pri naslednji meritvi zamenjala. Svetlost sta merila primerjaje z navadnim Bunsenovim gorilnikom, ki je dajal eno svečo na razdalji 10 inčev.

Merjeni žarnici sta vsebovali ravne proge poogljenega papirja, ki sta veliko bolj svetili v pravokotni smeri. Zato sta merila tudi v smeri, vzporedni površini, in upoštevala povprečje. Žarnici sta imeli maso okoli 35 g. Na uporabljeno konjsko moč sta dobila 1000 do 1500 sveč, kar je bilo obetajoče, če bi bilo mogoče izdelovati dovolj cenene in dolgotrajne žarnice.

Konec leta 1880 je Brushovo podjetje postavilo obločno cestno razsvetljavo na Broadwayu v New Yorku. Hiram Maxim pa je začel prodajati žarnice, zelo podobne Edisonovim. Barker je v tisku hvalil Maximov izum, prikazan na srečanju NAS konec leta 1880 New Yorku, morda zaradi zamere, ker Edison ni upošteval njegove prošnje, naj sloviti Draprejev laboratorij opremi s svojimi žarnicami (Hounshell, 1980, 613).

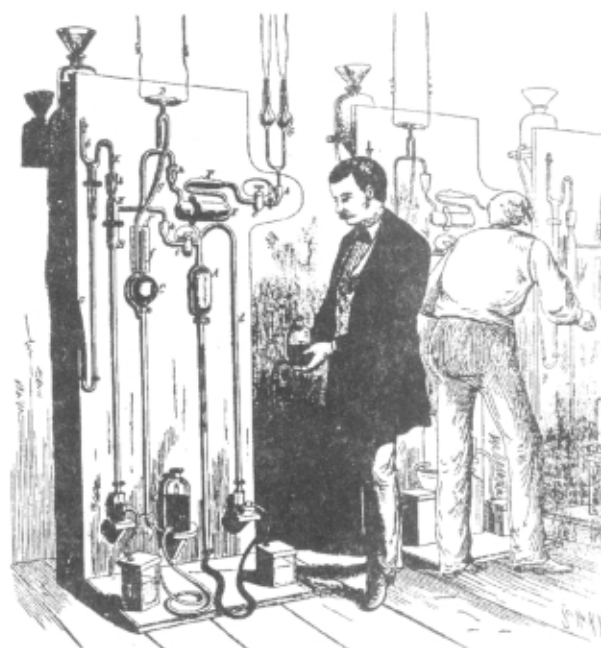


Slika 10: Portret Henry Rowlanda (Rosenberg, 1983, 50), ki je bil rojen leta 1848 v Houestale, Pennsylvania. Leta 1872 je bil izredni profesor na Rensselaer Politehničnem institutu v Troyi, New York, leta 1876 pa profesor fizike na univerzi John Hopkins v Baltimoru, kjer je leta 1881 postal redni profesor. Dve leti pozneje je postal predsednik AAAS.

Barker je bil rojen leta 1835 v Charlestownu, Massachusetts. Doktorat iz medicine si je pridobil leta 1863 v Albany, nato je študiral se v New Hawenu, Conn. in leta 1858 je postal asistent B. Sillimana starejšega. Med letoma 1859-1861 je poučeval na harvardski medicinski šoli v Bostonu, od leta je predaval naravoslovje 1861 na Wheaton-College v Illinoisu, naslednje leto pa kemijo na medicinski akademiji v Albany, New York. Leta 1863 je tam doktoriral iz medicine. Leta 1864 je odšel v Pittsburg, Pennsylvania, kjer je leta 1866 postal demonstrator, naslednje leto pa profesor kemije in toksikologije v New Havnu, Conn. Od leta 1873 je bil profesor fizike na univerzi Philadelphia. Leta 1872 in 1879 je bil predsednik AAAS. Bil je tudi pomočnik urednika Am. J. Phys. in je skrbel za promocijo Edisonovih odkritij med znanstveniki.

Charles Francis Brush (1849-1929) je bil rojen leta 1849 v Euklidu, Ohio. Diplomiro strojnega inženirja si je pridobil leta 1869 na univerzi Michigan, nato pa je leta 1880 študiral in doktoriral na univerzi Western Reserve, leta 1899 pa je končal podiplomski študij na univerzi Michigan. Leta 1878 je izumil svojo inačico obločnice. Ustanovil je podjetje "The Brush Electr. Co & The Linde Air Products Co.". Podjetje je prvo v ZDA leta 1878 proizvedlo uporaben dinamo, ki je bil del sistema razsvetljave (Edison, 1994, 525; Siemens, 1957, I, 86, 308)

Zato so se v Menlo Parku odločili za proizvodnjo žarnic, ki jo je od januarja 1881 vodil Upton. 19.4.1881 je družba svetnikov mesta New York zagotovila privilegij pri žarnicah Edisonovemu podjetju, kar je bil začetek svetovnega uspeha. Uptonovo mesto Edisonovega matematično-tehničnega asistenta je prevzel Charles Clarke (Friedel, 1986, 194, 195 in 207). Za najprimernejšo napetost je Edison izbral 110 V (Siemens, 1957, I, 88), kar je ostal standard v ZDA.



Slika 11: Proizvodnja vakuumskih žarnic v Menlo Parku 17.1.1880 (Friedel, 1986, str.131)

TESLOVO RAZISKOVANJE ŽARNIC

V začetku leta 1877 se je Nikola Tesla (1856-1943) podprt s štipendijo vpisal na študij elektrotehnike na tehnični visoki šoli v Gradcu, kjer je teorijsko in eksperimentalno fiziko predaval Poschl. Jeseni 1878 so iz Pariza prejeli novo izumljeni Grammov dinamo. Zaradi prenehanja štipendije se je konec leta 1878 za leto dni zaposlil v pisarni nekega inženirja v Mariboru. Ko je prihranil dovolj denarja, je študij nadaljeval v Pragi, kjer je bil promoviran. Prvo zaposlitev je dobil kot risar v Centralnem telegrafskem uradu v Budimpešti in nato leta 1881 pri telefonski družbi v Budimpešti, kjer je februarja 1882 rešil problem večfaznega izmeničnega motorja brez ščetk in kolektorja kot izboljšavo Grammejevega dinama. Okoli leta 1882 je delal v tovarni elektrotehničnega materiala Ganz & Co v Budimpešti, ki se je ukvarjala s stroji na izmenični tok že od leta 1878 in je leta 1883 na Dunaju razstavila največji dinamo stroj na svetu s 75 kW

Po službovanju pri CCE, od koder je bil v začetku leta 1883 poslan v Strassburg, se je Nikola Tesla (1856-1943) po priporočilu pariških prijateljev in Batchelorja leta 1884 odpravil k Edisonu v New York. Tam je delal do pomladi 1885, nato pa je (Pertot, 13-14; Bokšan, 307, 312; O'Neill, 33, 34, 52) ustanovil Teslino družbo za cestno razsvetljavo (Dadić, 1982, 305). Naslednje leto je dokončal lasten sistem razsvetljave z obločnicami (Pertot, 13-14; Bokšan, 307, 312; O'Neill, 33, 34, 52; Dadić, 1982, 305; Tesla, 1981, 54).

4 VOLFRAMOVA ŽARNICA

Ogljikova žarnica je svetila le s tremi vati, zato so iskali snovi z višjim tališčem. Nernstov poskus uporabe magnezijevega oksida se je šele pozneje izkazal za predhodnika fluorescenčne žarnice (Dadić, 1982, 302; Serres, 1995, 597). Obetaven je bil volfram z najvišjim tališčem med kovinami, vendar v 19. stoletju niso poznali njegove zlitine, ki bi jo lahko kovali.

Hrvat Franjo Hanaman (1878-1941) iz Denovca v kotaru Županja je študiral kemijo na Dunaju in v Berlinu. Leta 1900 je postal asistent na kemijsko-analitičnem zavodu dunajske Tehnične visoke šole pri prof. Vort-



Slika 12: Franjo Hanaman (1878-1941) (Dadić, 1982, str. 303)

mannu. Enak položaj je imel tudi dr. Aleksander Just, ki je delal tudi za podjetje Schneider und Cons pri izboljšavah žarnice z ogleno nitko. Pri delu mu je pomagal Hanaman, ki je leta 1902 ugotavljal, da za žarnico pridejo v poštev samo nitke kovin z zelo visokim tališčem. Iz zmesi klora in WO_3 so dobili $WOCl_4$, ga izparili in reducirali v vodik v čisti W. Nove žarnice, ki sta jih patentirala v Nemčiji aprila 1903, so bile varčnejše od ogljikovih, vendar so bile krhke in niso zmogle 100 V in 16 sveč. Pozneje sta proizvajala volframove niti s stiskanjem v hidravlični stiskalnici. Dobljene žarnice so svetile nad 400 ur z 1 W moči. Atest za njuno napravo je po fotometričnih meritvah izdal profesor elektrotehnike na dunajski tehnični visoki šoli Hohenegg. Pogajanja s Siemens & Halskejem niso bila uspešna, zato sta sklenila pogodbo in se zaposlila v podjetju Egyesült Villamossági és Izól-lámpa R.T. v Ujpešti (Dadić, 1982, 302-303). Hanaman je postal pozneje prvi profesor anorganske kemijske tehnologije in metalurgije na Tehnični visoki šoli, poznejši Tehnični fakulteti v Zagebu.

Leta 1906 (Dadić, 302: I.1902) je Welsbach v žarnici namesto oglja uporabil osram, zlitino osmija in volframa (Rosenberg, 1915, 318). Vendar so tudi najtanjše niti, ki so jih tedaj znali izdelati iz osrama imele le majhno upornost, tako da so lahko uporabljale le 16-44 V (Dadić, 1982, 302).

Po petih letih poskusov je podjetje Auer-Gesellschaft leta 1906 prvo začelo tovarniško izdelovati žarnice s kovinskim žarilnim elementom. Žica iz osrama, zlitine osmija in volframa debeline 0,09 mm in dolžine 28 cm, je dajala eno svečo pri poldrugem W moči, nad dvakrat več kot ogljikova žarnica. Vendar so imele tudi najtanjše tedanje niti le majhno upornost, tako da so lahko uporabljale le 16 do 44 V in . Pri 37 V jih je bilo treba zaporedno vezati na 110 V, kar je bilo seveda nerodno.

Dunajčan **Karl Auer** (1858-1929) je bil rojen v družini preprostega uradnika, ki se je povzpел s študijem. Študiral je kemijo v Heidelbergu in asistiral pri Bunsnu. V osemdesetih letih je uspešno raziskoval lantanide. Leta 1892 je na zborovanju aero- in hidroinženirjev v Kielu pokazal novo možnost cestne razsvetljave z Bunsenovim gorilnikom, kjer je žarel plašč iz bombažne tkanine pomočene v nitrat torija, dopiran s cerom in nato pooglen. Leta 1901 je postal baron pl. Welsbach po graščini, ki jo je kupil blizu kemične tovarne Treibach na Koroškem.

Januarja 1905 je Siemens & Halske začel prodajati enako učinkovito žarnico s tantalom. Leta 1906 je Auer-Gesellschaft začel prodajati "Osramove svetilke", v katerih so osmij nadomestili z volframom, ki ima višje tališče in zato potrebuje le nekaj nad 1 W za svečo. Volframov prah so mešali z ogljikom v maso, iz katere so vlekli žice in končno odstranili ogljik. Leta 1919 so podjetja AEG, Siemens in Auer združila proizvodnjo žarnic v Osram G.m.b.H. KG v Berlinu (Kovač, 1984, 210; Siemens, 1957, I, 284, 286, 290; II, 32; Rosenberg, 1915, 318; Dadić, 1982, 302).

Tudi v laboratorijih General Electric Corporation, Schenectady (GE) (Edisonovo podjetje) so se zavedali pomanjkljivosti ogljikovih žarnic, ko sta razvoj po študiju v Nemčiji prevzela direktor, elektrokemik Willis

Whitney in svetovalec, matematik Karl Steinmetz, rojen v Breslau 1865, ki je kot socialist emigriral v ZDA. Leta 1909 je Američan Coolidge pri GE patentiral proizvodnjo volframa, ki ga je bilo mogoče vleči v tanke žice, ki se niso povešale. Volfram je navadno dopiral z natrijevim silikatom ali aluminijem na 100-150 ppm. Volframov prah je močno segrel in stisnil v obliko palice, ki pa je bila po ohladitvi še vedno krhka. Pri 1000°C jo je dal kovati z diamantnimi konicami, dokler ni postala prožna in jo je bilo mogoče najprej vročo in nato mrzlo raztegovati v žice z veliko žilavostjo.

Razvil je t.i. metalurgijo prahu. Proces je hitro postal temelj industrije volframovih žarnic. Šele s presevnim elektronskim mikroskopom so v sedemdesetih letih ugotovili, da dopiranje materiala ustvari vrsto praznih prostorov (por) s polmerom 5-100 nm. Pore se med obdelavo postavijo vzdolž vzorca in omogočajo termično stabilnost ter stabilno obliko. Z masno spektroskopijo so dokazali, da pore vsebujejo kalij, ki ni topljiv v volframu. Po segrevanju se v njih ustvari visok tlak par, zaradi katerih pore naraščajo do ravnovesne velikosti. V halogenih in študijskih žarnicah se pri najvišjih temperaturah blizu tališča volframa (3410°C) pore premikajo in težijo k združevanju v večje, kar je v skladu s pojmovanjem proste energije. Nekatere pridejo na površino, tam počijo in izpušijo kalijevo paro, kar lahko razvije vroči madež, ki uniči žarnico (Serres, 1995, 597; Cayless, 1988, 9; Siemens, 1957, I, 115, 290-1).

Američan **William David Coolidge** (1873-1975) je bil rojen v Hudsonu, Massachusetts. Diplomiral je na Massachusetts Institute of Technology (MIT) leta 1896, nato pa je leta 1898 odšel na fizikalni inštitut univerze v Leipzigu, ki ga je vodil Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899). Raziskoval je električno valovanje v vodnikih in doktoriral v Leipzigu leta 1899 pri Paulu Karlu Ludwigu Drudeu (1863-1903), avtorju osnov klasične elektronske teorije kovin. Leta 1901 se je zaposlil kot izredni profesor na MIT, leta 1908 je postal pomočnik direktorja, leta 1932 pa direktor raziskovalnega laboratorija GE v New Yorku. Zaslovel je leta 1913, ko sta z asistentom Irvingom Langmuirjem (1881-1957) pri GE uporabila volfram za anodo v "Coolidgevi rentgenski cevi" s segreto katodo (Siemens, 1957, II, 79).

7.12.1915 je Edison patentiral izdelavo volframove elektrode s stiskanjem volframovega prahu v vakuumski posodi brez kisika. Volfram so uparili z "električnim praznjenjem med elektrodama". Nastale tanke liste volframa ali tantalija so narezali v trakove, zvili v valje okoli mehke kovine ali voska in ukrivili v podkve za žarnice. Podoben izdelek so dobili tudi z neposrednim prekrivanjem topljivega jedra voska z volframom (Waits, 1997, 19).

SKLEP

Z uporabo volframa je Edisonova žarnica v prvih desetletjih našega stoletja dosegla obliko, ki jo brez večjih sprememb uporabljamo še danes. V drugem delu razprave si bomo ogledali, kako so Edisonova odkritja vplivala na razvoj žarnic v Evropi in še posebej v slovenskih deželah.

LITERATURA

- E.N. da C. Andrade, The History of the Vacuum Pump, Adv. Vac. Sci. Techn 1 (1960) str.14-20 (ponatis v zborniku Madey, 1984, 77-83)
- William David Coolidge (1873-1975), High voltage cathode ray and X-ray tubes and their operation, Physics 1, October 1931, 230-244
- Žarko Dadić, Povijest egzaktne znanosti u Hrvatski, Zagreb, SNL, 1982
- Robert K. DeKosky, William Crookes and the Quest for Absolute Vacuum in the 1870s, Ann. Sci. 40 (1983) 1-18 (ponatis v zborniku Madey, 1984, 84-101)
- Thomas Alva Edison (1847-1931), The action of heat in vacuo on metals, prebrano pred AAAS na srečanju v Saratogi, Chem. News, 40 (1879) 152-154
- On the use of the Tasimeter for Measuring the Heat of the stars and of the Sun's Corona, American Journal of Science and Arts (Silliman Amer.J.) 17 (1879) 52-54 (tudi v Amer.Assoc.Proc.)
- Thomas A. Edison (ur. R.A. Rosenberg in drugi), Volume 2. From workshop to laboratory, June 1873-March 1876, The Johns Hopkins University Press, 1991
- Volume 3. Menlo Park: the early years, April 1876-December 1877 (ur. R.A. Rosenberg in drugi), The Johns Hopkins University Press, 1994
- Robert Douglas Friedel (r.1950), Paul Israel, Bernard S. Finn, Edison's Electric Light, Biography of an Invention, Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey, 1986
- M.H. Hablani, Comments on the history of vacuum pumps (v zborniku Madey, 1984, str.17-23)
- David A. Hounshell, Edison and the Pure Science Ideal in 19th-Century America, Science 207 (1980) 612-617
- Stanislav Južnič, Zgodovina tehnologije tankih plasti, Vakuunist 15/4 (1995) 18-23
- Tita Kovač-Artemis, Kemiki skozi stoletja, MK, Ljubljana 1984
- Theodore E. Madey in William C. Brown (urednika), History of Vacuum Science and Technology, American Vacuum Society, 1984
- Madey, Early applications of vacuum, from Aristotle to Langmuir (v zborniku Madey, 1984, 9-16)
- Vinko Nemanich in Stanislav Južnič, Iznajdba in razvoj katodne elektronke in drugih vakuumskih elementov za televizijo, Vakuunist 16/1 (1996) 19-24
- Tone Poljšak, Edison, Elektrotehniški vestnik 1/2 (1931)17-18 in 1/3 (1931) 33-36
- William S. Pretzer in drugi, Working and inventing: Thomas A. Edison and the Menlo Park Experience, Henry Ford Museum & Greenfield Village, Dearborn, Michigan, 1989
- Robert Rosenberg, American physics and the origins of electrical engineering, Phys. Today (Oct.1983) 48-54
- Karl Rosenberg, Lehrbuch der Physik für Obergymnasien. Mit Anhang, Alfred Hölder, Wien, 1915
- Henry Augustus Rowland (1848-1901) z univerze John Hopkins in George F. Barker (1835-1910) z univerze v Philadelphiji, On the Efficiency of Edison's Electric Light, Am. J. Sci. 19 (1880) 337-339
- Michel Serres, A History of Scientific Thought, Bordas, Paris, 1989, prevod: Blackwell Publishers Ltd. 1995
- Georg Siemens, History of the house of Siemens, vol. I, in II, Karl Alber, Freiburg/Munich, 1957
- J.H. Singleton, The development of valves, connectors, and traps for vacuum systems during the 20th century (v zborniku Madey, 1984, 25-30)
- B.I. Spaskii, Istorija fiziki, 2. del, Izdajateljstvo Moskovskogo universiteta, 1964
- Ivan Šubic (1856-1924), Električna, nje proizvodnja in uporaba, SM, Ljubljana, 1897
- Nikola Tesla (1856-1943), My inventions, 1919, Electrical Experimenter (v nadaljevanjih). Ponatis s hrvaškim prevodom, Školska knjiga, Zagreb, 1981
- Robert K. Waits, Edison's Vacuum Coating Patents, AVS Newsletter, May/June 1977, 18-19

NASVETI

PREVENTIVA IN ODPRAVLJANJE NETESNIH MEST

1 UVOD

Pretežni del poklicnega ukvarjanja z vakuumsko tehniko je odpravljanje netesnosti oz. preprečevanje njihovega nastanka. V predgovoru tega zbornika smo celo zapisali, da pri vakuumu "vse pušča", vendar je pomembno, kakšno in kako veliko je to puščanje, ki ga izrazimo z enoto mbar l/s. Praktično lahko še dopustno puščanje za dinamične sisteme pripišemo kar standardni tlačni razdelitvi. Za grobi vakuum (1000 mbar do 1 mbar) priporočajo, da je puščanje manjše od $1 \cdot 10^{-2}$ mbar l/s, za srednji vakuum (1 mbar do $1 \cdot 10^{-3}$ mbar) manjše od $1 \cdot 10^{-3}$ mbar l/s, za visoki vakuum ($1 \cdot 10^{-3}$ do $1 \cdot 10^{-7}$ mbar) med $1 \cdot 10^{-5}$ in $1 \cdot 10^{-7}$ mbar l/s ter ultra visoki vakuum ($1 \cdot 10^{-7}$ do $1 \cdot 10^{-12}$ mbar) med $1 \cdot 10^{-7}$ in $1 \cdot 10^{-11}$ mbar l/s. Za ekstremni visoki vakuum (nižji od $1 \cdot 10^{-12}$ mbar) pa so zahteve hujše, saj prevladuje navidezno puščanje, in težave z naraščanjem tlaka v vakuumski posodi (desorpcija, difuzija, permeacija) rešujemo na drugačne načine. Za statične sisteme, pa so zahteve mnogo "hujše", saj npr. zahtevamo za navadno Dewarjevo posodo (termos steklenico) puščanje manjše od 10^{-12} mbar l/s.

Vakuumske posode, sistemi in izdelki vakuumskih tehnologij lahko puščajo v obe smeri, tj. navznoter, če je tlak v njih manjši od okoliškega (atmosferskega), ali navzven, če je v notranjosti tlak višji. Ne glede na smer puščanja pa velja, da ga je treba izmeriti ter tudi ugotoviti, ali gre za netesno mesto (realne netesnosti) ali za navidezno puščanje (pri desorpciji plina ali par s sten oz. notranjih delov vakuumске posode). Vdiranje okoliškega zraka, vlage, bakterij v evakuirane posode (kovinske komore, steklene posode itd.) lahko močno škodi. Če bi npr. vdiral zrak v TV-elektronko (zgled za statični sistem!), potem bi se njena obstojnost zelo hitro zmanjšala. Zračne molekule, ki vdre v elektronko, so podvržene stalnemu bombardiranju z elektroni. Tvorijo se ioni, ki "razbijejo" oksidno plast katode in elektronka "ogluši", postane neuporabna in z njo vred televizor. Spet drugje so težave s kisikom, ki lahko oksidira snov, ki je zaprta v evakuirani posodi in ki se lahko kemijsko tako spremeni, da postane neuporabna (npr. krvna plazma). Pri farmacevtskih izdelkih, predvsem antibiotikih, ki jih pripravljajo in hranijo v vakuumu, pa je potrebna velika vakuumška tesnost posod (stekleničk, ampul) tudi zaradi možnega vdora bakterij. Prav tako je tudi vakuumška tesnost (gledano navzven) potrebna pri posodah, ki so napolnjene s plini, parami ali tekočinami pri povečanem pritisku, da ne bi te snovi počasi ušle v okolico.

2 NAJNAVADNEJŠI VZROKI ZA NETESNOST

Ker je ugotovljeno, da vsi materiali, ki jih uporabljamo v vakuumski tehniki puščajo, potem bi bilo nesmiselno še posebej ugotavljati vzroke. Gradimo take naprave in

sisteme ter vgrajujemo in izdelujemo take stvari z materiali, ki imajo sami po sebi resnično in navidezno puščanje mnogokrat manjše od dovoljenega. Obravnavali bomo torej le primere, kjer gre za defekte v materialih (npr. porozne strukture) ali spojih (varjenih ali elastomernih), torej za "povečano" netesnost. Kadar iščemo z detektorjem taka mesta, moramo preiskati predvsem tista področja, kjer so spoji (varjeni ali tesnjeni s tesnili). Predvsem pa se nikdar ne smemo zanašati na "visoke sposobnosti" npr. varilca ali vestnosti operaterja, pa tudi na lastno pazljivost ne. Za vse vakuumске elemente, spoje, sisteme itd. moramo vedno opraviti preskus na vakuumsko tesnost ter ugotoviti velikost puščanja (v mbar l/s), kajti končni tlak, ki ga lahko dosežemo, je v tesni povezavi z velikostjo puščanja. Za zgled vzemimo neki visokovakuumski sistem, ki ima celotno puščanje (resnično in navidezno) $Q = 1 \cdot 10^{-4}$ mbar l/s. Če hočemo v njem doseči končni tlak npr. $p_k = 1 \cdot 10^{-6}$ mbar, potem mora imeti črpalka pri tem tlaku črpalno hitrost najmanj 100 l/s ($Q/S = p_k$). Velja pravilo, da moramo za vsak vakuumski sistem vedeti, kakšno je njegovo celotno puščanje. Ta podatek nam mnogokrat pomaga v primerih, ko ugotovimo, da ne moremo več doseči takega končnega tlaka kot ponavadi. Če imamo podatek, kolikšna je bila velikost puščanja pred tem, in ga primerjamo s tistim, ki smo ga pravkar izmerili, in je razlika malenkostna, potem smemo z gotovostjo trditi, da ni netesnosti, pač pa je vzrok za slab vakuum napaka v črpalci. Zanimivo je, da noben proizvajalec vakuumskih naprav ne da kupcu podatka o celotnem puščanju, ampak le, kolikšen končni tlak je mogoče doseči v določenem času. S tem podatkom pa si lahko bore malo pomagamo pri iskanju vzroka za slab končni vakuum. Iz tega izhaja, da moramo za vsak vakuumski sistem ali napravo vedeti velikost puščanja ob prevzemu.

Preobširno bi bilo naštevati, kaj vse povzroči povečano netesnost. Ko jo odkrijemo, lahko z različnimi metodami ugotavljamo vzroke. Najpogostejši pa so: porozni materiali, slabi zvari, razpoke zaradi neprave kombinacije materialov v varjenem spoju (prevelike razlike temperaturnih razteznostnih koeficientov v kriogenki), nečisto delo (umazanija, tujki). Pri tesnilih, predvsem elastomernih, prevladujejo razpoke, otrdeli material zaradi učinkov staranja, nečistoče na površini tesnila, neprilagojenost s prirobnicami zaradi plastične deformacije tesnila, radialne zareze ali vdrtine na tesnilki ali nalegajočih površinah na prirobnicah. Pri tesnilih je izrazito prepuščanje permeacija skozi strukturo. V nekaterih primerih se da težavo odpraviti z zamenjavo tesnila, medtem ko je pri zvarih težje. Za silo lahko rešimo zadevo s premazovanjem s hitrosušecimi se laki (npr. nitrolaki), vendar je to le improvizirana ali zasilna rešitev. Končna rešitev je ponovno varjenje in obvezen preskus na vakuumsko tesnost. Največ napak (puščanj) se pojavi na mestih, kjer so velike temperaturne razlike in s tem največji raztezki (npr. hladilne pasti oz. lovilniki par, hlajeni s tekočim dušikom ali helijem). Tudi

pri prevodnicah, če so hlajene s tekočim dušikom ali da skozi nje teče velik električni tok, se pogosto nenadoma pojavi puščanje.

3 UGOTAVLJANJE PUŠČANJA

Za vse nove elemente in sestave, ki so v kakršnikoli zvezi s tesnostjo posode ali sistema, jih moramo preskusiti, vsakega posebej, na vakuumsko tesnost, preden jih vgradimo v celotni sestav. Vse podatke moramo sproti zapisovati in shraniti, ker nam bodo kasneje rabili pri ugotavljanju vzrokov za spremembe. Preskuse in meritve lahko opravimo z detektorjem netesnosti ali z drugimi metodami. Kadar je puščanje manjše od merilne sposobnosti detektorja, potem vpišemo podatek za merilno mejo detektorja in ga označimo z znakom manj od ($<$), npr. $<1 \cdot 10^{-8}$ mbar l/s.

Zelo je priporočljiva metoda z naraščanjem tlaka, saj je nedestruktivna, zahteva pa nekoliko več časa, velja pa za področja od grobega do visokega vakuumu, s čimer se v praksi največ ukvarjamo. Ultra visoki in ekstremni visoki vakuum sta področji specializiranih razvojnih laboratorijev, pa tudi metode odkrivanja netesnosti (predvsem navideznih) so specifične.

Pri ugotavljanju puščanja sistemov in naprav moramo najprej izvesti preskus, ali gre za resnično puščanje ali navidezno. Če je v vakuumski posodi ali napravi snov, ki ima visok parni tlak (npr. voda, živo srebro, topila kot ostanki čiščenja notranjosti), potem zaman pričakujemo, da bomo dosegli nizke končne tlake. Nehote nas tak pojav tako presenet, da najprej pomislimo na (resnično) puščanje. Če bi imeli prigraden plinski analizador, bi lahko takoj ugotovili, za katero snov gre. Navadno pa tega nimamo in si pomagamo z metodo naraščanja tlaka. Če posnamemo celotno krivuljo

naraščanja tlaka v času (Pozor! V lin-lin merilu), lahko že iz njene oblike ugotovimo, da gre za pare, torej za desorpcijo oz. navidezno netesnost. Vzrok moramo nato odstraniti (pregrevanje oz. izplinjevanje, čiščenje, prepričevanje....), da se povrne prvotno stanje, torej končni tlak, ki smo ga nekoč izmerili in zapisali. Niso pa vedno krive pare za "visok" končni tlak. Tudi "senzor vakuumu" - vakuummeter, katerega lastnosti so se sčasoma spremenile in ne kaže več pravilno (navadno večje tlake, kot so v resnici), je lahko vzrok za naše dvome. Za Piranijeve vakuumetre je značilna "selitev" ničle k višjim tlakom, merilna glava Penningovega merilnika pa se pri stalnem merjenju hitro zamaže (Zaradi bombardiranja njene katode se na okoliške površine naprši tanka plast katodnega materiala, ki sicer vpija pline in pare, jih pa tudi oddaja in tako "povečuje" tlak v merilni glavi, mi pa smatramo, da vlada v celotnem volumnu posode).

Končno je lahko vzrok naše zaskrbljenosti zaradi slabega vakuumu tudi olje rotacijske črpalke, ki je onesnaženo (npr. z vodnim kondenzatom), zato moramo izmeriti najprej končni tlak črpalke in ugotoviti napako. Onesnaženo olje zamenjamo z novim. Če pojava nismo odstranili, je potrebno črpalko pregledati (servisirati). Tudi difuzijske in druge črpalke imajo lahko svoje značilne "muhe", zato je potrebno, da jih poznamo, predvsem pa, da poznamo njihov način delovanja in najpogostejše okvare.

Jože Gasperič,
Institut "Jožef Stefan",
Ljubljana, Jamova 39

NOVICE

Švedska vakuumška konferenca ob 25 - letnici njihovega društva

V dneh 17., 19. in 20. avgusta sem se udeležil druge švedske vakuumške konference na Fakulteti za fiziko Univerze v Linkopingu (cca 200 km jugozahodno od Stockholma). Organizirali so jo ob 25-letnici njihovega vakuumškega društva in po vzoru francoskega praznovanja pred dvema letoma so nanjo povabili predsednike vseh evropskih vakuumških društev, med njimi kot sedanjega predsednika DVTS tudi mene. Mojo udeležbo sta finančno podprla MZT in IEVT.

Udeležencev je bilo okrog 130, med njimi cca 25 iz drugih držav, predstavnikov nacionalnih društev in mednarodne zveze IUVSTA. Med domačini so prevladovali profesorji in študenti z univerz (Stockholm, Göteborg, Uppsala in Linköping), raziskovalci z državnih oz. kraljevih inštitutov ter predstavniki industrije in trgovine. Kljub dejstvu, da je bilo Švedov nad 100 (torej velika večina), je konferenca potekala v angleščini, kar je bilo

zame, vajenega naših mednarodnih srečanj, kjer lahko domačini govorimo svoj jezik, zelo presenetljivo. Obravnavana so bila naslednja področja:

- vakuumška znanost in tehnologije
- znanost o površinah in
- tanke vakuumške plasti

Predavatelji so bili večinoma povabljeni in so kvalitetno predstavili zanimive teme, kot npr: fizika površin, konstrukcija in delovanje velikih pospeševalnikov; študij prvotnega magnetizma z STM in superprevodniki; napetosti med tankimi plastmi in podlagami; evakuiranje velikih posod (do 400 m³) za simulacijo vesolja; atomske in magnetne strukture na površinah in stičnih ploskvah, povzročene s fotoelektronsko difrakcijo in holografijo; izdelava in elektronska struktura izredno tankih trakov oz. žic (nanowires); napredek pri mikroskopiji na atomsko silo.

Prvi dan zvečer smo predstavniki različnih društev imeli skupno sejo z naslednjim dnevnim redom:

- okrogla miza o aktivnosti nacionalnih društev
- koordinacija kongresov
- regionalne konference in kongresi
- sodelovanje pri vakuumskih tečajih
- stališče oz. poročilo IUVSTA o navedeni problematiki
- razno

Po spominu navajam nekatere podatke o nekaterih drugih nacionalnih vakuumskih društvih:

Švedsko vak. dr.: ciljajo na organizacije večjih mednarodnih konferenc, imajo cca 230 članov in 20 podjetij, izdajajo "Vacuum news" v švedščini (nakl. 400, 3-krat letno), občni zbor imajo vsako leto in skoraj vsakič tudi izvolijo novega predsednika, že dalj časa se predstavljajo s svojo domačo stranjo (home page) na internetu.

Nizozemsko vak. dr.: cca 300 članov, "News" v nizozemščini (4-krat letno po 500 izv.), vsako leto priredijo študentski vakuumski miting (postri, nagrade, kotizacija le 25 DEM) in druga srečanja, tečaje, letos tudi ekskurzijo na konferenco AVS v ZDA, kjer bo zelo lepa razstava, ukvarjajo se tudi z grobim vakuumom, dobro sodelujejo z aktivnim belgijskim društvom, ki izdaja dober časopis Belvac.

Švicarsko vak. dr.: cca 130 članov, 50 iz industrije, dobro so povezani s francoskimi kolegi in s CERN-om, organizirajo manjša srečanja, predvsem o vak. tankih plasteh in izvajajo tečaje za tehnike.

Češko vak. dr.: cca 85 članov + cca 25 Slovakov (kajti na tem tehničnem področju oba naroda še delujeta

skupno) + 10-12 podjetij, skupna srečanja, članarina 5 DM, za podjetja 100 DM, 2-3 x letno izdajo časopis, ki služi tudi drugim vzhodnim državam, jezik na njihovih medn. konferencah je češki in angleški, enotedenski tečaji so povezani tudi s poletno šolo o vakuumski fiziki.

Francosko vak. dr.: cca 1000 članov, podobna struktura organiziranosti po področjih, kot v IUVSTA, stalno 5 redno zaposlenih, tečaji za tehnike, za znanstvenike, za nekatera podjetja posebej v angleščini, podobno kot tudi nekatere konference, izdajajo 4 x letno znanstveno revijo (100 strani, cca 10 člankov v angl. in franc. jeziku ter spl. tematika in društvene novice), sodelujejo zelo dobro s francoskim fizikalnim društvom in s CERN-om.

Avstralsko vak. dr.: cca 100 članov, organizirajo tečaje, baza podatkov o dobaviteljih opreme, vezani so na AVS, delovanje pri njih ovirajo velike razdalje.

Slovensko vak. dr.: 130-150 članov, vsako leto enodnevno vakuumsko posvetovanje v okviru slovenske konference o materialih in tehnologijah, pogosta srečanja s hrvaškimi kolegi, 4 x letno izdajamo znanstvenotehnični časopis Vakuumist, prirejamo tečaje za raziskovalne inštitucije in industrijo, občasno ekskurzije tudi v tujino in izdaja knjig, aktivno sodelovanje v IUVSTA in s sosednjimi deželami.

O drugih točkah dnevnega reda je potekal prost pogovor brez obvezujočih sklepov. Glede kongresov je bilo potrjeno, da redno potekata EVC (evropski vakuumski kongres) in JOINT-konferenca (Avstrije, Madžarske, Hrvaške in Slovenije), nejasno pa je ostalo glede konference nordijskih držav. Smiselno je obveščati se meddruštveno o regionalnih konferencah, toda nemogoče je, da bi bili vsi vsako leto povsod prisotni, saj je evropskih društev okrog 20. Za izboljšanje tečajev bi lahko uporabili najnovejše francoske postre, ki zaenkrat še niso prevedeni, niti objavljeni na www. Obstojajo tudi



Predstavniki nacionalnih vakuumskih društev, med njimi tudi mag. A. Pregelj (tretji z leve v drugi vrsti) udeleženci švedske vakuumske konference ob 25-letnici njihovega društva

novi "IUVSTA-visual aids"; poskusili bomo sestaviti spisek (listo) priznanih ekspertov, lahko bi vpeljali tudi izvajanje virtualnih poskusov. IUVSTA je kot vez med društvu odprta za nasvete (ki jih zaenkrat ni) in podpira tudi srečanja predsednikov. Za izboljšanje mednarodne koordinacije bomo sestavljene spiske strokovnjakov in funkcionarjev dopolnjevali z novimi imeni in z dodatnimi podatki (preko e-mailov) ter tudi še nadaljevali, sicer neobvezno, s podobnimi srečanji. Zvečer smo povabljeni gostje v stari mestni restavraciji še poglobili medsebojna znanstva in poznavanje delovanja društev. Z nekaterimi smo se domenili za izmenjavo svojih nacionalnih strokovnih glasil.

Drugi dan popoldne so bila zadnja predavanja posvečena zgodovini švedskega društva, njihovi povezavi z mednarodno zvezo ter pomembnosti entuzijazma, amaterizma in naivnosti, ki so neke vrste osnova za kakršenkoli napredek. Prisotni predsednik IUVSTA, dober znanec Slovenije, prof. dr. Robins iz Avstralije je toplo pozdravil njihove dosežke in jim ob jubileju

zaželel enako uspešnost tudi vnaprej. Sledila so pregledna predavanja vrhunskih strokovnjakov: o tankih plasteh (Kay), o znanosti površin (Flodstrom) in o razvoju vakuumске znanosti in tehnologij (Westerberg). Predavalnica je bila povsem polna, prisotni - med njimi mnogo študentov - so pozorno poslušali o velikanskih napredkih znanosti v zadnjih obdobjih, o pomembnosti prispevka raziskav in tehnologij, vezanih na vakuumsko tehniko ter o ljudeh in društvih, ki so to ustvarjali.

Konferenco je spremljala manjša razstava proizvajalcev vakuumске opreme oz. njihovih zastopnikov na Švedskem (Leybold, Edwards, Pfeiffer-Balzars, MKS, Swagelok,...) in tudi dveh ali treh domačih. Ogledali smo si jo med odmori, ko je bilo možno ob kavi in piškotih tudi vzpostaviti kontakte, izmenjati naslove itd.

mag. Andrej Pregelj

POSVETOVANJE O NETESNOSTI SISTEMOV IN NAPRAV

V organizaciji Društva za vakuumsko tehniko Slovenije je bilo 22. oktobra 1997 pod delnim sponzorstvom Ministrstva za znanost in tehnologijo izvedeno (prvo slovensko) Posvetovanje o netesnosti sistemov in naprav. Potekalo je v knjižnici Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani od 8.15 zjutraj do 18.45 zvečer. V tem času so se zvrstila naslednja predavanja: (a) Teorija črpanja in opredelitev velikosti puščanja, (b) Osnove vakuumске tehnike, (c) Materiali, vrste spojev in tehnologije spajanja, (d) Metode in naprave za iskanje netesnih mest, (e) Helijevi detektorji netesnosti, (f) Kalibracija merilnikov tlaka in iskalnikov netesnih mest, (g) Primeri odkrivanja netesnosti, (h) Kontrola tesnosti, osnova za kvaliteto proizvodov, (i) Preventiva in odpravljanje netesnih mest, (j) Odkrivanje netesnosti pri absorpcijskih toplotnih napravah, (k) Tesnostni preizkusi v laboratoriju za plinsko tehniko Inštituta za varilstvo in (l) Razprava o problematiki netesnosti v praksi.

Udeležencev je bilo, skupaj s tistimi, ki smo pripravili referate, 41. Prišli smo iz naslednjih delovnih organizacij: ETOL, Celje (1), Institut za varilstvo, Ljubljana (3), Strojna fakulteta Univerze v Ljubljani (1), LEK, Ljubljana (2), Jedrska elektrarna, Krško (1), Iskra EMECO, Kranj (1), Saturnus-tovarna avtoopreme, Ljubljana (5), Donit-tesniti, Medvode (2), Danfoss-Trata, Ljubljana (1), ETA, Cerklje (1), TKI Pinus, Rače (1), TE Šoštanj (2), Gorenje-gospodinjinski aparati (2), ITP-Siemens, Zagreb (2), COX, Ljubljana (1), Metalflex, d.o.o., Podljudinj (1), IMT, Ljubljana (2), IEVT, Ljubljana (5), Belinka-perkemija, Ljubljana (1), ITPO, Ljubljana (2), Institut Jožef Stefan, Ljubljana (1), Fotona, Ljubljana (1), Slovensko društvo za neporušitvene raziskave (1).

Trije razstavljalci (Varian-Merel, Balzers-SCAN in IEVT) so s prospektnim materialom, katalogi in nekaterimi eksponati predstavili svojo dejavnost oz. predvsem tisti del, ki je vezan na odkrivanje netesnosti. V vmesnih odmorih in v času kosila je bilo tudi dovolj priložnosti za pogovore in medsebojno spoznavanje udeležencev. Se posebej smo v sklepni razpravi izluščili nekatere probleme, ki pestijo zaposlene v industriji; npr.: pomembnost hitrosti oz. cene preskušanja na tesnost v serijski proizvodnji, vpliv pogostosti puščanja na izboljšavo tehnologij tesnjenja, slabo poznavanje materialov in tehnologij, preverjanje tesnosti novih tesnilnih materialov, nepoznanje splošno privzete enote za opredeljevanje velikosti puščanja (mbar l/s) itd. Na posvetovanju smo se srečali vakuumisti, ki so nam osnove tesnjenja in puščanja domače in mnogi, ki jim je ista problematika enako ali pa še bolj pomembna pri obvladovanju nadtlaka tako tekočin kot tudi plinov. Zanimivo za vse je bilo, da povezovalno delujejo standardi, nastajajoči v okviru področja neporušitvenih raziskav. Strokovnjaki (npr. Evropski odbor za normative) namreč v ta namen pripravljajo izbor vakuumskih in nevakuumskih metod ter navodila za njih uporabo za vso tehniško srenjo. Seveda smo tu vakuumisti, posedujoč najpomembnejše testirne postopke (detektor na helijev masni spektrometer, metoda naraščanja tlaka, ...) obvezani, da intenzivno sodelujemo tudi v bodoče.

mag. Andrej Pregelj

PROFESORJU DR. JOŽETU GASPERIČU OB NJEGOVEM 65. ROJSTNEM DNEVU

Prof. dr. Jože Gasperič, znanstveni svetnik, vodilni slovenski vakuumist, lektor in soustvarjalec slovenske tehniške besede ter odličen organizator domačih in mednarodnih znanstvenih sestankov, praznuje v letošnjem letu svojo 65. letnico. Ob tem dogodku je prav, da se ozremo na razvoj priznanega slovenskega znanstvenika in na vpliv njegovega raziskovalnega dela na področju vakuumске tehnike, razvoja in konstrukcije ter proizvodnje vakuumskih difuzijskih črpalk, membranskih črpalk, ventilov, pasti, vakuumskih merilnikov, vakuummetrov, kot so Piranijevi in Penningovi, ionizacijskih merilnikov, McLoedovih, vakuustatov, živosrebrnih manometrov, vakuumске metrologije itd.



Jože Gasperič se je rodil v Ljubljani 7. marca 1932. Po končani osnovni šoli, klasični in realni gimnaziji se je vpisal na študij elektrotehnike na Univerzi v Ljubljani in leta 1958 diplomiral. Že leta 1957 se je zaposlil na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko pri prof. Dušanu Lasiču, ki je vpeljal vakuumsko znanost in tehnologijo v slovenski prostor ter ustanovil IEVT in bil njegov znanstveni

vodja. Jože Gasperič je bil v letih 1956-1958 tudi demonstrator za elektroniko na Univerzi v Ljubljani, v letih 1959 do 1964 pa predavatelj vakuumске tehnike na srednji elektrotehniški šoli v Ljubljani. V letih od 1989 do 1995 je bil izredni profesor, sedaj pa je znanstveni svetnik, na Univerzi v Ljubljani in Mariboru.

Magistrsko delo s področja elektrooptike in elektronskooptičnih naprav je zagovarjal leta 1964. Doktorski naziv mu je bil podeljen leta 1972 po uspešnem zagovoru disertacije s področja Mikroelektronike - tanke plasti.

Leta 1972 je na IEVT postal samostojni raziskovalec, v letih 1980 do 1985 pa je bil vodja Oddelka za vakuumsko tehniko. Leta 1986 je sprejel mesto gostujočega

profesorja na Oddelku za fiziko v Laboratoriju za tanke plasti na Univerzi Sri Venkateswara, Tirupati v Indiji, kasneje je pa bil še gostujoči znanstvenik na Indijskem inštitutu za znanost v Bangaloru.

Leta 1988 se je vrnil v Ljubljano in se zaposlil na IJS, na F5 - Odseku za fiziko trdne snovi, ki ga vodi njegov gimnazijski sošolec prof. Blinc.

Jože Gasperič je kot samostojni raziskovalec in kot vodja oddelka na IEVT vpeljal mnogo novih raziskovalnih programov, za katere je pridobil sofinanciranje institutov, industrije, vojske ter slovenskih in jugoslovanskih raziskovalnih institucij. Njegovo delo je vključevalo karakterizacijo naparjenih in napršenih materialov, kovinskih spojin in zlitin s poudarkom na kermetih, dekorativnih tankih plasteh itd. Med drugim je razvil visoko stabilno kermetno uporovno plast.

Razvil in poenostavil je teorijo za izračun sistema šob za oljne difuzijske črpalke za proizvodnjo v območju 100 do 15000 l/s ter konstruiral več tipov teh črpalk.

Na osnovi lastnih tehnologij je razvil mnogo vakuumskih črpalnih sistemov in vakuumске opreme za industrijo in laboratorije, za proizvodnjo fotoobčutljivih in rentgenskih elektronk, za razplinjevanje izolacijskih olj in drugih tekočin za impregnacijo elektronskih diskretnih vezij, kondenzatorjev, lesa, orodij, narejenih po postopku prašne metalurgije, vakuumskih stikal itd.

Razvil je tudi več tipov medicinskih inhalatorjev in sukcijjskih aparatov za potrebe medicine, za odvzemanje materinega mleka za hranjenje prezgodaj rojenih otrok; organiziral je nekaj centrov v Sloveniji, kjer si matere lahko izposojajo takšne naprave. Za potrebe farmacevtske industrije je razvil tudi vakuumске naprave za liofilizacijo, tj. sušenje v zmrznjenem stanju - ("freeze drying").

Jože Gasperič je razvil tudi mnogo specialnih vakuumskih merilnikov za standarde oziroma za kalibracijo v vakuumski metrologiji, prenosno opremo za servisiranje hladilnih naprav (hladilnikov, zmrzovalnikov, zračnih hladilnih naprav itd.).

Na IEVT je postavil serijo univerzalnih kalibracijskih sistemov za meritve in karakterizacijo rotacijskih, mem-



Prof. dr. Jose de Segovia (desno) čestita svojemu dolgoletnemu prijatelju dr. Gasperiču



Tudi prof. Dobrozemsky (desno) je počastil slavljenca z odličnim predavanjem

branskih in difuzijskih črpalk, naprave za odkrivanje netesnih mest, različne grobovakuumske, visokovakuumske in ultra visokovakuumske sisteme za raziskave in naprejevanje tankih plasti.

Na IEVT je organiziral predstavništvi in servis Leybold Heraeus in Jeola, ki sta zdaj privatni podjetji.

Jože Gasperič je tudi odličen organizator konferenc, kongresov in drugih prireditvev na domačem oziroma mednarodnem prizorišču in je v okviru Društva za vakuumsko tehniko Slovenije kot tudi bivše Zveze vakuumskih društev Jugoslavije, ki ji je nekaj let predsedoval, organiziral več jugoslovanskih vakuumskih kongresov in mednarodnih srečanj Madžarske-Avstrije in Jugoslavije, nedavno tega pa je bil v ožjem organizacijskem odboru za European Conference on Applications of Polar Dielectrics, FORUM BLED '97 in Solid State Protonic Conductors.

Bil je vodja jugoslovanskega raziskovalnega projekta, kjer je koordiniral delo 102 raziskovalnih inštitutov v Jugoslaviji.

Raziskoval je na področju superprevodnih tankih plasti in fullerenov. Razvil in izdelal je napravo za vakuumsko impregnacijo fosilnih kosti mamuta, kjer se izvaja vakuumaska impregnacija "slovenskega mamuta" v Prirodoslovnem muzeju Slovenije, da bi se tako ohranila zgodovinska najdba našim potomcem.

Ves čas, odkar ga poznamo, se ukvarja tudi z uredništvom; začel je z glasilom IEVT Impulzi, je sourednik

strokovnega časopisa Vakuumist, bil je urednik Novic Društva za medicinsko in biološko tehniko, je lektor slovenske znanstvene revije Kovine zlitine tehnologije in je, kot sem omenila že v uvodu, neomajen in neustrašen borec za slovensko tehniško besedo.

Jože Gasperič je objavil preko 100 člankov v mednarodnih revijah in predstavil svoje izsledke na konferencah ter preko 100 bibliografskih enot v domačih revijah na področju vakuumске tehnike, vakuumskih tehnologij in vakuumске metrologije.

Bil je mentor številnim magistrantom in doktorantom na univerzah v Ljubljani, Mariboru in v Indiji, ter še sodeluje v učnem procesu.

Prof. Jože Gasperič je od vsega začetka aktiven član DVTS katerega 40-letnico bomo praznovali prihodnje leto, član MIDEMA in Društva za medicinsko in biološko tehniko Slovenije ter je član znanstvene sekcije IUUSTA - International Union for Vacuum Science Technology and Applications, za elektronske materiale, v letih 1980 do 1986 pa je bil kot predsednik Zveze društev za vakuumsko tehniko Jugoslavije v izvršnem odboru mednarodne zveze IUUSTA.

Njegovi prijatelji in kolegi smo trdno prepričani, da bo še naprej pripravljen sodelovati v razpravah in publikacijah, predavanjih ter pri organizaciji znanstvenih sestankov. Želimo mu še mnogo zdravih let.

Doc.dr. Monika Jenko

5. konferenca o materialih in tehnologijah

V dneh od 1. do 3. oktobra letos je v Portorožu potekala že peta slovenska konferenca o materialih in tehnologijah. Sestavljala so jo tri posvetovanja, in sicer: 50. o metalurgiji in kovinskih gradivih, 5. o materialih in 17. slovensko vakuumsko posvetovanje. Organizacijsko so sodelovale naslednje institucije: IMT - Inštitut za kovinske materiale in tehnologije (kot nosilec odgovornosti in izvajalec), Oddelek za materiale in metalurgijo -NFT (Univ. v Lj.), Kemijski inštitut Ljubljana, IJS - Institut Jožef Stefan, Slovensko društvo za materiale, Slov. kemijsko društvo s sekcijama za polimere in keramiko ter DVTS - Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije. Konferenco je finančno podprlo Ministrstvo za znanost in tehnologijo.

Potek konference je bil predviden v Grand hotelu Emona, toda naknadno se je morala "tehnika" umakniti "pravno-organizacijskim vedam" (posvetovanje o informatiki v državnih upravnih organih), kar je pomenljivo: kaže, da naša družba še vedno ne zna pravilno ceniti in ne uporabiti številnih sposobnih raziskovalcev, znanstvenikov, razvojnikov in tehnikov, ali pa tudi mi sami ne znamo dovolj pokazati svojega znanja in vrednosti; premeščeni smo bili namreč v manj reprezentativen hotel Bernardin. Ta, grenki "priokus" nas pri samem srečanju ni dosti motil, kajti vse je potekalo na nivoju in po predvidenem urniku. Od srede zjutraj do petka zvečer je nastopilo 68 predavateljev, med njimi 25 vabljenih z referati po 20 do 40 min. ter 34 mladih raziskovalcev, ki so imeli na razpolago po 10 minut.

Lepa uvodna in pregledna predavanja s podatki o dosežkih v svetu, pa tudi smeli nastopi mladih, mnogih celo v angleščini, so podobno kot lani spet vzbujala zadovoljstvo. Štiri najboljše predavitve mladih raziskovalcev so bile posebej nagrajene. Postrti, 78 po številu, so bili razstavljeni v četrtek zvečer in spremljani s prijetno zakusko. Okolje za strokovne debate in medsebojno spoznavanje je bilo odlično, tako da pohval na koncu ni manjkalo. Področje vakuumске tehnike je bilo predstavljeno s 15 posterji in s štirimi preglednimi predavanji ter s posebnim dnevom posvečenim 65-letnici prof. dr. Jožeta Gasperiča, priznanega strokovnjaka iz vakuumске tehnike, našega dobrega prijatelja in učitelja. Njegovo življenje, dejavnost in zasluge je v nagovoru predstavila dr. Monika Jenko. Podobno počastitev je na posvetovanju doživel tudi prof. dr. Drago Kolar za razvoj in raziskave keramičnih materialov. V okviru konference je svoje izdelke razstavljalo sedem podjetij (metalurgija, vakuumaska tehnika, tehnični plini, ...).

Konferenca o materialih in tehnologijah postaja ena največjih tovrstnih slovenskih strokovnih manifestacij. Njena odmevnost v našem prostoru raste, in veseli smo lahko, da organizator v nelahkih časih namerava konference nadaljevati in jih še izpopolnjevati.

Mag. Andrej Pregelj

Prof. Albinu Wedamu (1921-1997) v spomin

Konec oktobra smo se za vedno poslovili od prof. Albina Wedama, pionirja televizije v Sloveniji in v bivši Jugoslaviji. Prof. Wedama sem spoznal pred dobrim letom, ko sem ga povabil k pisanju knjižice »Sto let Braunove elektronke - začetki sodobne televizije«. Brez oklevanja in poln energije se je lotil pisanja osrednje teme knjige, to je poglavja o uporabi Braunove elektronke v televizijskih sistemih. Prof. Wedam me je s svojim širokim znanjem očaral in priznati moram, da sem se od njega veliko naučil. Pa ne samo o televiziji. Prof. Wedam je bil izjemno prijeten sogovornik, poln šaljivih zgodb in anekdot. V spominu mi bo ostala tudi njegova skrb za slovenski jezik.



Prof. dr. Albin Wedam
(1921-1997)

Rodil se je leta 1921 v Ljubljani, kjer se je tudi šolal in leta 1945 diplomiral na Tehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Po diplomi se je zaposlil v Iskri Kranj in pozneje na Inštitutu za elektrovezve (IEV) v Ljubljani, kjer se je ukvarjal z razvojem elektronskih merilnih instrumentov. Na omenjenem inštitutu so takrat delali štirje nemški strokovnjaki, ki jih je zvezna vlada najela za pomoč pri razvijanju naše elektronske industrije. Dva od njih sta bila pred vojno zaposlena pri družbi Fernseh GmbH. Na predlog direktorja IEV Rudija Jančarja sta začela razvijati televizijsko kamero z majhnim ikonoskopom kot snemalno elektronko, poleg tega sta izdelala še impulzni generator za 625-vrstični sistem. Potem ko so nemški strokovnjaki že čez kakšno leto odšli, je vodenje Laboratorija za televizijo prevzel prof. Wedam. Pod njegovim vodstvom so na IEV razvili in izdelali prve profesionalne televizijske naprave pri nas. Tako so imeli že leta 1953 razvito TV-kamero z ustreznimi napravami, in to brez kakršnih koli vzorcev, kar je bil takrat velik dosežek. Naj za primerjavo povem, da v danes znanem podjetju Philips takrat sploh še niso imeli svoje TV-kamere. Leta 1954 je prof. Wedam izdelal študijo o razvoju in uvajanju TV v Jugoslaviji. Podrobneje je opisal stanje televizije v razvitih evropskih državah in njihove težnje, hkrati pa je podal svoje poglede na to, kako naj bi televizijo uvedli v Jugoslavijo. V Sloveniji se na to študijo odgovorni niso odzvali. Prof. Wedam mi je tudi pripovedoval, da je ugleden in vpliven profesor elektrotehnike z ljubljanske univerze rekel, da bi bilo treba ob takrat številnih akutnih problemih, s katerimi se je soočala večina ljudi po vojni, ustreliti vsakogar, ki propagira televizijo. Edina pozitivna reakcija je prišla iz Beograda. Na podlagi omenjene študije in izdelanega finančnega načrta je zvezna vlada odobrila 10.000 ameriških

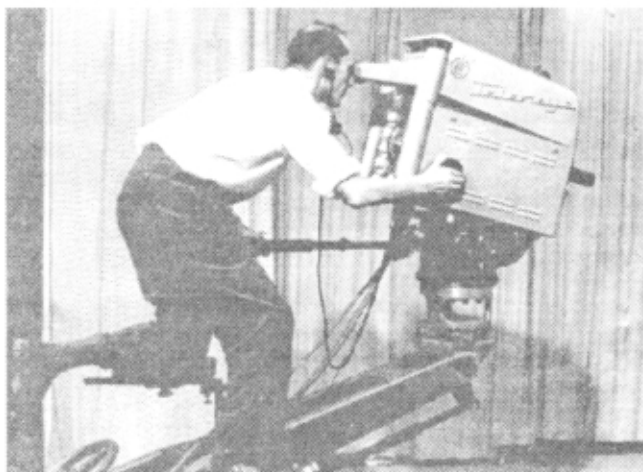
dolarjev. Prof. Wedam se je v tistih časih tudi intenzivno ukvarjal s popularizacijo televizije. Z domačo opremo so se udeleževali najrazličnejših razstav in sejmov. Kljub temu IEV s svojimi TV napravami ni napredoval. Zakaj? Ko se je zvezna komisija leta 1956 odločala o uvajanju televizije v Jugoslavijo, si je prof. Wedam zamaš prizadeval za udeležbo domače industrije pri opremljanju studijev. Predstavniki vseh treh radiodifuznih hiš so vztrajali pri uvozu kompletne opreme. To pa je pomenilo konec razvoja domače televizijske opreme. TV-laboratorij IEV je opustil vsakršno dejavnost na področju studijske opreme. Izdelal je sicer nekaj monitorjev in merilnih naprav za proizvodnjo, a to je bilo tudi vse. Sodelavci laboratorija so se usmerili drugam. Zanimivo je, da so imela tuja podjetja (npr. francoski Thomson-Houston) bistveno več posluha in so sama ponujala sodelovanje pri izdelavi TV opreme.

Leta 1960 je prof. Wedam postal direktor vsega razvoja Industrije za elektrovezve, v kar se je preimenoval inštitut. Zaradi razhajanj pri nadaljnjem vodenju razvoja in uvajanju proizvodnje TV-sprejemnikov v podjetju Telekomunikacije na Pržanu je prof. Wedam leta 1963 odšel z IEV-ja. Redno se je zaposlil na Fakulteti za elektrotehniko, kjer je do leta 1988 predaval predmete s področja elektronike in radiokomunikacij. Med letoma 1963 in 1990 je bil član, večkrat pa tudi vodja, jugoslovanske delegacije na zasedanjih mednarodnega komiteja za radiokomunikacije v Ženevi, kjer je deset let vodil delovno skupino za planiranje televizijskega omrežja. Bil je dolgoletni član znanstvenega in programskega odbora mednarodnega simpozija o elektromagnetni kompatibilnosti in svetovnega foruma telekomunikacij. Bil je sodelavec Zavoda za standardizacijo za področje televizije.

Prof. Wedam je bil tudi aktiven v Smučarski zvezi Slovenije in spada med pionirje Planice - seveda med tiste, ki so skrbeli za tehnično plat organizacije televizijskih prenosov. Leta 1960 so prvi v svetu po televiziji direktno prenašali smučarske skoke, kar je bil za tiste čase zaradi slabih telekomunikacijskih povezav izjemen podvig, pri katerem je morala sodelovati s svojo opremo celo mornarica.

Prof. Wedam je prejel številna priznanja strokovnih in družbenih organizacij. Odlikovan je bil z redom dela z zlatim vencem. Čeprav je bil prof. Wedam vsestranski človek, je bila televizija njegova velika ljubezen. Zato ni čudno, da je še zadnje dneve in ure življenja popravil svoj prispevek za angleško izdajo knjige o Braunovi elektronki, ki smo jo pripravili na predlog Philipsa. Ponosni smo, da smo živeli in delali s takšnim človekom kot je bil prof. Wedam.

Dr. Peter Panjan



Ing. Albin Wedam za TV-kamero domače izdelave na razstavi radia leta 1953



Prvi televizijski posnetek Ljubljane z domačo kamero, ki je bil narejen z Nebočičnika poleti 1953



SCAN d.o.o., zastopniško servisno podjetje
Breg ob Kokri 7, 4205 Preddvor, Slovenija
Tel. +386 64 451 383, Fax +386 64 451 050

balzers
Instruments

Easy high performance gas analysis and RGA

*Mouse-click,
pre-programmed operation
and total freedom to operate
manually*

*Fast, interference-free
multiplexing with LAN fiber
optic communication*

*Easy system integration
via analog/digital inputs and
outputs*

Prisma™



PFEIFFER  **VACUUM**
Pfeiffer Vacuum Austria
Diefenbachgasse 35
A-1150 Wien
Tel +43 1 894 17 04
Fax +43 1 894 17 07

K080e

SPECIALNI VAKUUMSKI ELEMENTI

PREVODNICE za vgradnjo v stene posod ali kot komplet v prirobnicah (KF, CF, ...), lahko tudi oblikovane po želji:

- električne, s plastično ali stekleno izolacijo (kompresijski in usklajeni spoji) in s poljubnim številom prevodov
- električne, visokotokovne (haljene z vodo)
- cevne, za pretoke plinov ali tekočin
- gibalne, za prenos rotacije ali translacije v grobi, visoki in ultra visoki vakuum

OKNA za opazovanje notranjosti recipienta; tesnenje izvedeno z elastomernimi tesnili

PREHODNI KOSI za posebne namene:

- kovinski mehovi, ventili
- cevi s spojem steklo-kovina
- spojke z različnimi tipi prirobnic

MERILNE SONDE z ustreznimi instrumenti:

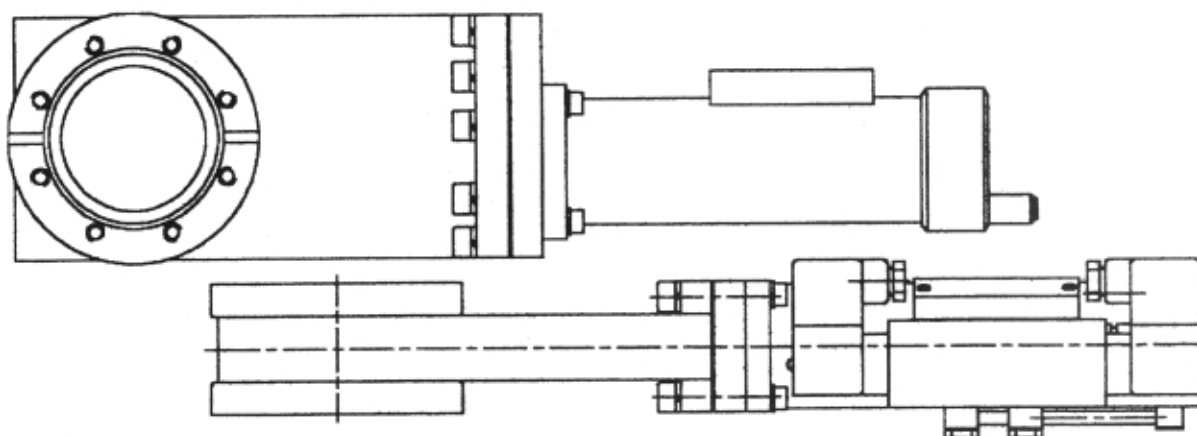
- Pirani ($1000\text{-}10^{-3}$ mbar)
- Penning ($10^{-2}\text{-}10^{-6}$ mbar)
- Bayard Alpert ($10^{-3}\text{-}10^{-9}$ mbar)

KOMORE za tehnološke postopke in RR namene:

- za vsa področja vakuumu
- hlajene ali ogrevane po zahtevah naročnika

VENTILI standardnih dimenzij za različne namene, preizkušeni na tesnost

- kotni, ravni, ploščni
- pregrevni do 150°C
- iz ustreznih VV materialov (nerjavno jeklo, viton, Al)
- izdelani po sodobnih tehnologijah (TIG-varjenje, peskanje s stekl. kroglicami itd.)



**INŠTITUT
ZA ELEKTRONIKO
IN VAKUUMSKO
TEHNIKO, p.o.**

TESLOVA ULICA 30, POB 59, 1001 LJUBLJANA
SLOVENIJA
TEL.: (+386 61) 177 66 00,
FAX: (+386 61) 126 45 78

MEDIVAK

MEDIVAK, d.o.o.
Šolska ulica 21
SLO - 1230 Domžale

tel. fax : 00386 61 713060
mobitel : 0609 615 455
žiro račun : 50120-601-114647

LEYBOLD

**ZASTOPSTVO
SERVIS
SVETOVANJE**

- Vakuumske komponente in naprave
- Vakuumske tehnologije, trde in tanke plasti, analitika
- Kontrola vakuumskih naprav in sistemov
- Odkrivanje netesnosti
- Izposoja vakuumskih komponent
- 24 urni servis

PRODAJNI PROGRAM "LEYBOLD"**Vakuumske črpalke**

- Rotacijske vakuumske črpalke s priborom
- Eno in dvostopenjske (1 do 1200 m³/h)
- Roots vakuumske črpalke - RUVAC (150 do 13000 m³/h)
- Membranske in ejektorske vakuumske črpalke - DIVAC 2,4 L
- Difuzijske črpalke (40 do 50.000 l/s)
- Turbomolekularne črpalke (50 do 4500 l/s)
- Sorpcijske črpalke, kriočrpalke, ionsko-getrske in sublimacijske titanske črpalke

Vakuumski črpalni sistemi

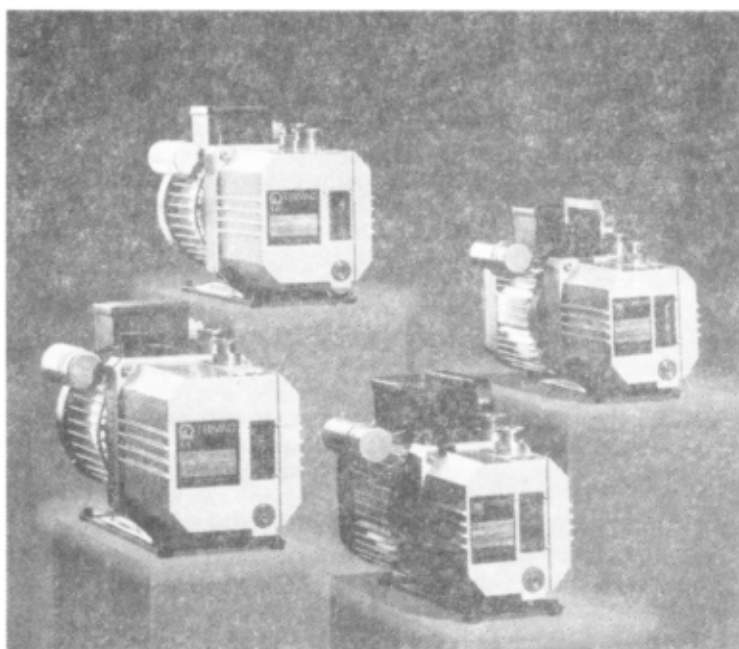
- za kemijsko in drugo industrijo

Vakuumski ventili

- Varnostni, dozimi
- Kroglični, loputni in UVV
- Prehodni in kotni KF, ISO-K, ISO-F

Vakuumski elementi in prirobnice

- Serije KF, ISO-K, ISO-F in UHF



**Mehanske in električne prevodnice
Merilniki vakua in kontrolni instr.**

- Absolutni medtlaki in merilec delnih tlakov (od 1.10⁻¹² do 2000 mbar)

**Procesni regulatorji
Detektorji netesnosti (puščanja)**

- Helijski in freonski detektorji

**Masni spektrometri s priborom
Vakuumska olja, masti, rezervni deli**



Izšel je nov prodajni katalog Leybolda,
ki ga lahko naročite pri nas.



Pfeiffer Vacuum Austria GmbH
Diefenbachgasse 35
A-1150 Wien
telephone ++43/1 8941 704
telefax ++43/1 8941 707
Internet: <http://www.pfeiffer-vacuum.de>

PFEIFFER

VACUUM

**Pred vami so izbrane turbomolekularne črpalke,
s katerimi lahko v tehnološkem postopku,
kjer imate korozivne pline,
nadomestite stare turbomolekularne črpalke.**



Ali je vaša stara turbomolekularna črpalka, ki črpa korozivne pline, tik pred tem, da odpove? Predstavljamo vam pet modelov naših turbomolekularnih črpalk iz serije "C", ki pa so več kot samo zamenjava za vaše stare črpalke.

Lastnosti novih turbomolekularnih črpalk so:

- hitrosti črpanja od 210 do 2200 l/s
- velik pretok in varno črpanje agresivnih plinov, pri čemer prihranite stroške predčrpanja
- visoki vakuum brez ogljikovodikov
- površine, izpostavljene plinom, ščitijo pred korozijo
- končni tlak $< 10^{-10}$ mbar pri predtlaku 10 mbar
- možna je ekonomična uporaba membranskih predčrpalk

in kar je še več: **cena sistema, napajalnika in stroški delovanja so minimalni.**

Modeli iz serije Turbo "C" niso le "nadomestni deli", ampak so uporabni posoda, kjer črpamo korozivne pline.

scan

SCAN d.o.o.,
zastopniško
servisno podjetje
Breg ob Kokri 7,
4205 Preddvor, Slovenija
Tel. +386 64 451 383,
Fax +386 64 451 050

Vsestranska linija mikrovalovnih naprav za raziskave in kontrolo kvalitete

MIKROVALOVNI RAZKLOP / EKSTRAKCIJA

MEGA

Mikrovalovna laboratorijska enota za vsestransko pripravo vzorcev za AA, ICP, ICP-MC

- vakuumsko sušenje
- kislini razklop
- vakuumsko odparevanje kislin po končanem razklopu



MIKROVALOVNI SEŽIG

PYRO

Čas sežiga se skrajša iz ur na minute

PYRO SA

Hiter sežig organskih in anorganskih snovi z žveplovo (VI) kislino

PYRO FLOW

Hiter sežig raznih polimernih materialov



MIKROVALOVNO DOLOČANJE VODE/SUHE SNOVI

micro FAST

Mikrovalovni vakuumski sistem za določanje vode/suhe snovi

3-6 vzorcev
v 6 minutah



MIKROVALOVI V ORGANSKI KEMIJI

ETHOS MR 2.5

Mikrovalovni reaktor

Delovni volumen: 420 ml
Tlak: 2,5 bar (35 psig)
Temperatura: 250°C



ETHOS MR 30

Mikrovalovni reaktor za reakcije pri visokih tlakih

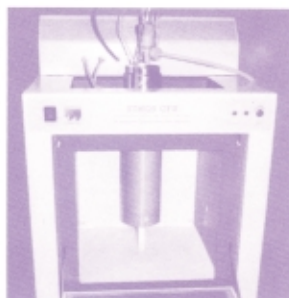
Delovni volumen: 375 ml
Tlak: 30,0 bar (427 psig)
Temperatura: 240°C



ETHOS CFR

Mikrovalovni reaktor s kontinuirnim pretokom

Pretok: 10-50 ml
Tlak: 40 bar (570 psig)
Temperatura: 220°C



ultra CLAVE

Mikrovalovni avtoklav za reakcije pri visokih tlakih do 200 bar (2900 psig) in temperaturi 30°C



... PRIHAJAJO ŠE NOVE INOVACIJE



PODROBNEJŠE INFORMACIJE BOSTE DOBILI V PODJETJU

DR. NEMO, d.o.o.

proizvodnja, zastopstvo, tehnična podpora in svetovanje
Štrekljeva 3, Ljubljana
tel.: 061/125-11-05, fax: 061/125-11-10