

KRATKA ZGODOVINA VAKUUMSKE TEHNIKE (Razvoj raziskovanja vakuuma in vakuumskih društev)

Stanislav Južnič*

A short history of vacuum technology
(The development of vacuum research and vacuum societies)

ABSTRACT

The article enumerates the basic advancement of vacuum pumps and other elements of vacuum systems. Parallel with the fundamental research we describe areas of vacuum technology application and manners with which they mutually stimulate each other. We also describe application and later research of vacuum technology in Slovenian territory.

POVZETEK

Razprava našteva temeljne izboljšave vakuumskih črpalk, merilnikov in drugih sestavnih delov vakuumskih sistemov. Vzporedno z njimi prikazuje področja uporabe vakuumске tehnike in išče vzrode, s katerimi se vakuumska tehnika in njena uporaba medsebojno spodbujata. Opisuje tudi poznavanje, uporabo in poznejše raziskovanje vakuumске tehnologije na Slovenskem.

1 Uvod

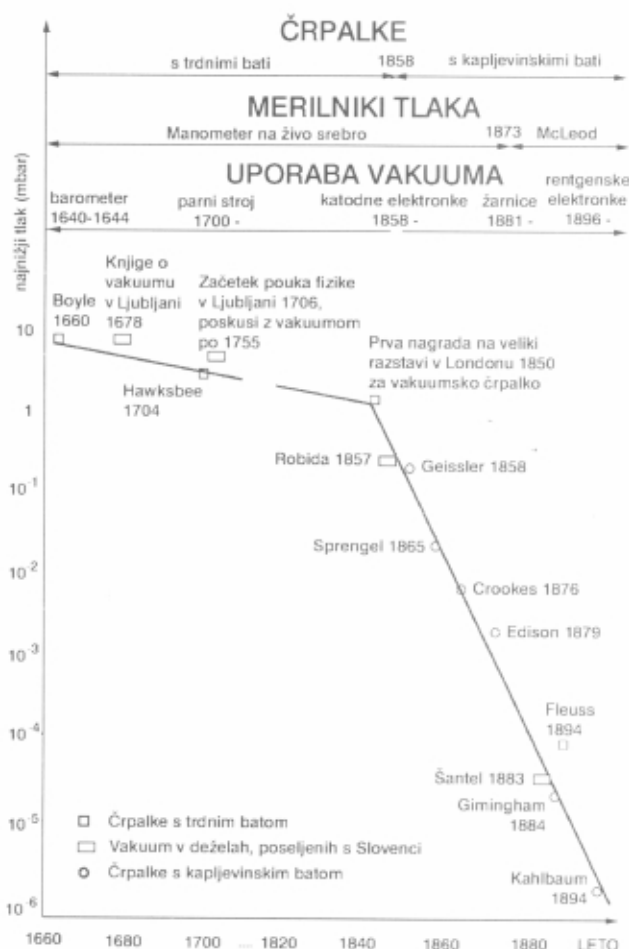
Graf najboljšega dosegljivega vakuuma v obdobju med letoma 1600 in 2000 prikazuje strme in konstantne dele. V ozadju se prepletajo gospodarske potrebe za uporabo vakuuma, ki spodbujajo temeljne izume in so same spodbujane od njih. Od zabavnega problema znanstvenikov sta se vakuum in nadtlak že v 18. stoletju z uporabo parnih strojev razvila v gibal industrijske družbe. Pa tudi znotraj same vakuumске tehnike so do srede našega stoletja izboljšave črpalk spodbujale izume natančnejših merilnikov nizkega tlaka. Ob tem razvoju so drobce zdaj pomembnejših, drugič pa spet bolj obrobni raziskovanj prispevali tudi Slovenci.

2 Začetki raziskovanja vakuuma

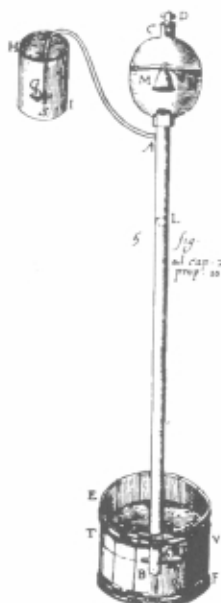
Bržkone je mladi Italjan Gasparo Berti leta 1640 ob svoji hiši v Rimu prvi postavil poskus, posvečen vakuumu. Svinčeno cev, dolgo čez 10 m, je napolnil z vodo in poveznil z odprtim koncem v rezervoar. Vendar mu ni uspelo prepričljivo pokazati, da vakuum ne prevaja zvonjenja iz cevi, kar bi imeli sodobniki za prepričljiv dokaz o obstoju vakuuma. O Bertijevem poskusu je leta 1664 poročal jezuit Kaspar Schott (1608-1666) v "Technica Curiosa", ki jo je leta 1678 ponujal tudi ljubljanski knjigarnar Mayr /1/. Tako so naši predniki v današnjih slovenskih deželah izvedeli za tedanje poskuse z vakuumom zelo hitro po prvih izvedbah.

Evangelista Torricelli je leta 1643 pod vplivom Bertija opisal podoben poskus v cevi z živim srebrom, ki je bil namenjen tudi merjenju zračnega tlaka. S tem je sledil obračanju antičnih vprašanj svojega učitelja Galileja. Namesto da bi raziskal, kako "horror vacui" (strah pred praznino) vleče Hg stolpec navzgor, je raziskoval, kako

* Dr. 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 leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani, kjer je leta 1999 tudi doktoriral.



Slika 1: Graf najboljšega dosegljivega vakuuma med letoma 1660 in 1900 po Redhead n.d., 1999, str. 142 z dodanimi dosežki na Slovenskem in uporabo vakuumске tehnike

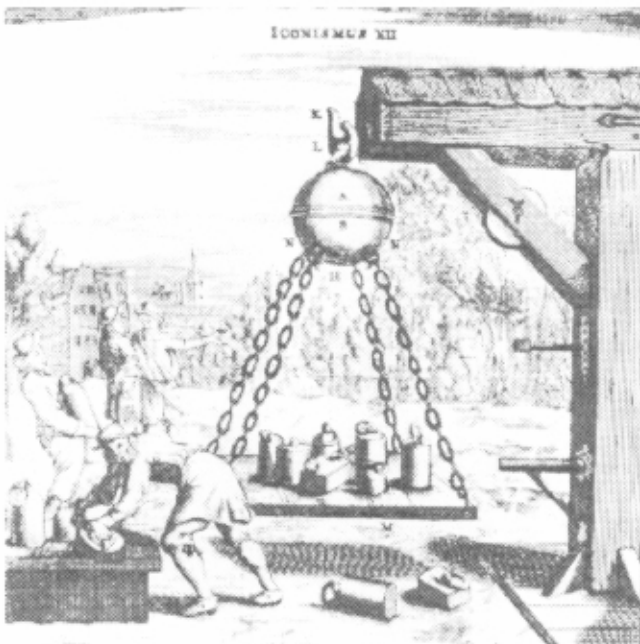


Slika 2: Bertijeva vakuum-ska naprava

ga zračni tlak na nasprotni strani potiska navzgor. S spremembo vprašanja je sam "strah pred praznino" postopoma izgubil pomen, saj ga je nadomestil pojem znižanega (zračnega) tlaka.

Toricelijev poskus je opravil drugi Galilejev učenec Vincenzo Viviani leta 1644. S tem je že dve tisočletji trajajoča razprava o obstoju vakuumu dobila trdno eksperimentalno podlago. Predvsem se je utrdila domneva o zračnem tlaku, odločilno potrjena po 15.11.1647, ko je Blaise Pascal (1623-1662) iz Pariza v pismu naročil svojemu svaku, da je uporabil barometer z okoli 4 kg Hg za merjenje tlaka na 1465 m visokem hribu Puy-de-Dôme v bližini okoli 1 km nižjega Pascalovega rojstnega kraja Clermont-Ferrand v Auvergne.

Leta 1650 je Otto von Guericke izumil zračno črpalko in štiri leta pozneje opravil znameniti poskus z magdenburškima polkrogla pred cesarjem Ferdinandom III. Habsburžanom v Regensburgu. Boyle je leta 1660 objavil meritve v vakuumu z živosrebrnim manometrom v zvonu, izpraznjenim z batno črpalko, ki jo je sestavil Robert Hook. Namerila sta do 8 mbar /2/. Von Guericke je ocenil tlak pri Torricelijevem poskusu na 13 mbar. Svoj Hg manometer je razvil tudi Boyle, gotovo pred letom 1660. Tako se je začelo večstoletno plodno tekovanje med črpalkami in manometri glede najnižjih tlakov, ki so jih še sposobni doseči oziroma meriti.



Slika 3: Von Guerickevi poskusi

Boyleva dela so bila na voljo tudi pri ljubljanskem knjigarnarju Mayru leta 1678. Med njimi je bil tudi Tractatus de Aëre, bržkone latinski prevod 2. izdaje Boylevih New Experiments Physico-mechanical, Touching the Spring of the Air and its Effects iz leta 1662. Razprava je vsebovala tudi tabelo poskusov z redčenjem zraka do 42 mbar. V njej je Boyle zavrnil kritike Kircherjevega učenca, angleškega jezuita Francisca Linusa (1595-1675), profesorja v Liègu v Belgiji. Linus je domneval, da Hg v barometru drži do 0,76 m

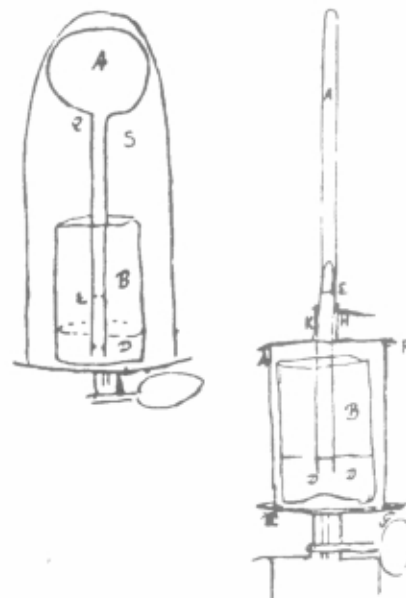
visoko nevidna membrana "funiculus", katere niti naj bi otipali, ko s prstom zatesnimo izpraznjen prostor. Boyle ga je zavrnil s poskusom, v katerem je s sesanjem dvignil stolp Hg na odprtem koncu barometra za 2,2 m više kot na zaprtem /3/.

Stopnjevanju zmogljivosti črpalk in manometrov so v naslednjih stoletjih botrovale tudi številne izboljšave na zaklopkah, konektorjih in pasteh v vakuumskih sistemih, ki so prispevali k nižanju tlaka. Te drobne izboljšave, predvsem pa natančno čiščenje površin, so se pokazale pomembne ob poskusih poznejšega člana Académie Royale de Paris (AR), Nizozemca Christiaana Huygensa. Leta 1660 in 1661 je opazil anomalno suspenzijo pri poskusih z "vakuumom v vakuumu". Očiščeno stekleno cev je napolnil z vodo, jo zaprl, obrnil in poveznil v zbiralnik z vodo. Voda v cevi je zaradi nastalega vakuumu stala višje od gladine zbiralnika. Vse skupaj je postavil pod zvonasto posodo, povezano s črpalko. Ko je izčrpal zrak, je pričakoval, da se bosta gladini vode v cevi in zbiralniku poravnali. Toda pogosto se gladina vode v cevi ni spustila, dokler ni naprave rahlo stresel.

Boyle, ki se je onstran Rokavskega preliva ukvarjal s podobnimi problemi, sprva ni verjel Huygensovim domnevam in je rezultat poskusa pripisal nečistočam. Po dveh letih natančnega čiščenja naprave pa sta tudi Boyle in Hooke dobila Huygensove rezultate z vodo in tudi z živim srebrom.

Tako Huygens kot Newton sta pojav pripisovala adheziji med dvema trdninama ali med trdnino in kapljevino. Medtem ko je Huygens menil, da adhezijo povzročajo delci etra, je Newton in po njem Nizozemec Muschenbroek vzrok pripisal negravitacijskim privlačnim silam med molekulami /4/.

Poskusi z vakuumom so ostali do druge polovice 19. stoletja predvsem zanimivost; denimo prikaz dušenja živali v brezračnem prostoru ali prevajanja zvoka,



Slika 4: Huygensova skica poskusa z "vakuumom v vakuumu" iz leta 1660 ali 1673 kot spoznanje o nujnosti natančnega čiščenja površin v vakuumski tehniki

toplote in svetlobe skozi vakuum. Eksperimenti so bili pogosto nevarni, npr. ob eksploziji osemkotne vakuumske posode, ki jo je Huygens izčrpal pred AR 14.4.1668 /5/. Bolj kot izboljševanje vakuuma so zato raziskovalce zanimali izumi priročnejših črpalk. Nekdanji Boylov učenec Francis Hauksbee (1670-1713) je 15.12.1703 kot Hookov naslednik na položaju pripravjalca poskusov pri Royal Society of London (RS) predstavil izboljšano črpalko z dvema batoma, ki jo je bilo veliko lažje uporabljati /6/. To je bila prva seja RS, ki jo je vodil njen novi predsednik Newton.

V naslednjih letih se je v ljubljanskem Jezuitskem kolegiju začel pouk fizike. Pozneje so ljubljanskim študentom predstavljali vakuum s poskusi na napravah, kupljenih leta 1755.

3 18. stoletje in prva polovica 19. stoletja brez temeljnih izumov na področju vakuumske tehnike

Vakuumsko tehnologijo so kmalu uporabili v industriji, predvsem pri parnih strojih. Že Huygensov raziskovalni program novo ustanovljene AR, ki ga je leta 1666 predložil mogočnemu ministru Jeanu Baptisti Colbertu (1619-1683), je skoraj v isti sapi v prvih točkah prepletal raziskovanje vakuumske črpalke in gibalne sile vodne pare /7/. Huygensov in nato Boylov ter Hookov asistent Denis Papin (1647-1712) je bil najbolj znamenit med možmi, ki so razvijali tako vakuumske črpalke kot parne stroje. Izum kuhanja pod visokim tlakom mu je leta 1680 prinesel izvolitev v RS. Idejo je gotovo lahko dobil že med službovanjem pri Boylu, ki je že v šestdesetih letih vrel vodo pri navadni temperaturi in tlaku nižjem od 1/30 bar.

14.12.1687 je Papin svojo vakuumsko napravo za kroženje vode z redčenjem zraka predstavil pred RS, takoj za izvolitvijo Kranjca Janeza Vajkarda Valvasorja (1641-1693) v RS. Takrat so tudi prebrali prvi del Valvasorjevega pisma o pretoku vode skozi kraško podzemlje pod Cerkniškim jezerom na Kranjskem, ki je zlasti temeljilo na starejši teoriji jezuita Kircherja /8/. Po Papinovi predstavitvi je Newtonov prijatelj Edmund Halley (1656-1742) demonstriral polnjenje in praznjenje Cerkniškega jezera po Valvasorjevem opisu s tremi povezanimi posodami, nameščenimi na različne višine /9/. Tako smo bili tudi Kranjci, vsaj posredno, udeleženi pri pionirskih poskusih v raziskovanju vakuuma.

18. stoletje in prva polovica 19. stoletja nista prinesla večjih izboljšav vakuumske tehnike, saj ni bilo povpraševanja po boljšem vakuumu. Toliko bolj pa so na podlagi izkušenj vakuumistov iz 17. stoletja razvili gospodarsko obetavne parne stroje. V povezavi z njimi so pozneje raziskovali tudi visoke tlake; sprva predvsem Dunajčan Johann August Natterer (1821-1901) po letu 1844.

Zaradi dolgoletnega zastoja v prizadevanjih za doseganje čim boljšega vakuuma je Hauksbeejeva črpalka brez večjih sprememb prišla v prodajo še poldrugo stoletje po izumu. Leta 1850 je na Veliki razstavi v Londonu prvo nagrado dobila črpalka z dvojno cevjo, naoljeno svileno zaklopko in stožčastimi bati Watkina in Hilla. Dosegala je tlak 1,3 mbar, kar je bilo komaj šestkrat boljše od dve stoletji starejših Boylovih dosežkov. Sicer pa so tudi tedanji živosrebrni ma-

nometri merili le do 0,6 mbar. Naslednje leto 1851 je na Veliki razstavi v Londonu v mednarodni konkurenci zmagala črpalka Angleža Newmana, ki je še vedno temeljila na von Guericckovem izumu /10/.

Še naslednje leto je profesor kemije na Queen's College v Belfastu, Irec Thomas Andrews, morda nekoliko pretirano ugotavljal, da je Torricellijev vakuum nad stolpom Hg v barometru boljši od vakuuma, dosegljivega s črpalkami, saj je vseboval le Hg pare. Le redke tedanje črpalke so namreč dosegale 2,8 mbar. Vendar pa je bilo v Torricellijevem vakuumu mogoče opravljati le malo fizikalnih poskusov, denimo razširjanje zraka v zaprtem balonu, ki so ga v vakuum postavili pri Accademiji del Cimento. Zato so raziskovalci raje pridobivali vakuum s črpalkami, ki jih je sam Andrews leta 1852 izboljšal s kemično metodo črpanja. Dve leti pred tem je na Dunaju obiskal profesorja kemije, kristalografa Antona Schrötera von Kristellija (1802-1875), pa tudi Postojnsko jamo in Idrijski rudnik. V Idriji so tiste čase nakopali večino Hg za barometre, tako da je prav tam Andrews lahko dobil idejo za svoje raziskave nizkih tlakov /11/.

Leta 1859 je pariški inženir Henri Giffard (1825-1882) uporabil princip dinamičnega tlaka v svoji brizgalki ali črpalci na curke vodne pare. Istočasno je Schimper sestavil črpalko na pihanje, "Blasepumpe", ki se je hitro uveljavila pod različnimi imeni, npr. kot "razpršilna" črpalka.

4 Skokovit napredek vakuumske tehnike po izumu katodne elektronke v drugi polovici 19. stoletja

V drugi polovici 19. stoletja so izboljševali vakuum predvsem na tri načine: z izboljševanjem tesnjenja ob uporabi popolnoma steklenih sistemov, brez gumijastih in drugačnih delov, s toplotno obdelavo stekla za odstranjevanje adsorbiranih plinov in z izboljšanimi črpalkami s kapljevinskim batom.

Številne izboljšave črpalk so sledile novim laboratorijskim potrebam raziskovalcev katodnih cevi, med njimi najprej poskusom Juliusa Plückerja (1801-1868) na univerzi v Bonnu. Ta je leta 1854 prosil prijatelja, lastnika steklopihaške trgovine in delavnice Heinricha Geisslerja, naj izboljša črpanje vakuuma. Namesto trdnega bata je Geissler uporabil kapljevinskega iz živega srebra v stekleni cevi in že leta 1855 dosegel 0,1 mbar. V prvih mesecih leta 1857 so cevi preizkušali v Plückerjevem fizikalnem kabinetu v Bonnu. Izum je Plücker julija 1857 predstavil renskemu Društvu naravoslovcev in zdravnikov, pozneje pa še na 33. srečanju nemških naravoslovcev in zdravnikov. V prvih dveh ceveh, ki jih je Geissler dostavil po naročilu, je vakuum vseboval predvsem pare Hg in atmosferski zrak, manj pa eteričnih olj, vodika in fosforja. Uporabljal je elektrodi iz platine. Plücker je leta 1857 prvi uporabil naziv "Geisslerjeva cev" /12/, napravo pa je prvi podrobneje opisal W.H.T. Mayer naslednje leto v Berlinu /13/.

Geisslerjevo črpalko sta med drugimi izboljšala August Töpler (1836-1912) na univerzi v Jeni leta 1862 in Johann Christian Poggendorff (1796-1877) na univerzi v Berlinu leta 1865. Vplivni Poggendorff, urednik vodilnega nemškega fizikalnega časopisa Ann. Phys., je opisal idejo črpalke na Hg kot "zelo staro, prav tako

staro kot črpalka sama. Geisslerja moramo imeti za iznajditelja zato, ker je prvi sestavil praktično uporabno črpalko" /14/. Nič kaj pohvalna trditev je bila odsev dolgoletnega spora med fiziki iz Berlina in Bonna, zaradi katerih je bilo Plückerjevo delo bolj kot v domači Nemčiji priznано v Angliji, kjer so ga sproti prevajali. Tako niti ni bilo prave povezave med Plückerjevimi in Hittorfovimi raziskovanji svetlobe v katodnih elektronkah in sočasnimi raziskavami spektralne analize Gustava Roberta Kirchhoffa (1824-1887) in Roberta Wilhelma Bunsena (1811-1899) na univerzi v Heidelbergu po letu 1858. Tam sta sprva raziskovala le spektre navadnih kovinskih par in nista opazila, da bi se spekter istega plina lahko spreminjal pri različnih pogojih žarenja /15/. Uporabljala sta gorilnik, ki ga je leto pred tem sestavil Bunsen. O svojih raziskovanjih je Kirchhoff prvič poročal 6.10.1859 in 27.10.1859 pred Berlinsko akademijo, seveda brez omembe Plückerja. Raziskovanji žarenja par s spektroskopom in v katodnih elektronkah sta se povezali šele sredi sedemdesetih let, ko je predvsem William Crookes zaporedoma dosegel uspehe na obeh področjih.

Nemec Hermann Sprengel je leta 1865 v Londonu opisal črpalko, v kateri je vrsta živosrebrnih kapljic zajemala dele plina v stekleni cevi in jih odnašala proč. Leta 1869 je Bunsen po Sprengelovi metodi sestavil "Wasserluftpumpe", ki so jo kmalu razvili v številnih različicah.

Podobno metodo je uporabil tudi goriški gimnazijski profesor, Slovenec, Anton Šantel (1845-1920) v svoji izboljšani živosrebrni črpalki leta 1883. Šantel je bil Boltzmanov svak in občasni sodelavec, Töpler pa Boltzmanova poročna priča. Tako sta se gotovo poznala in sodelovala vsaj v času Töplerjeve profesure na univerzi v Gradcu med letoma 1868 in 1876.

Boljše črpalke so zahtevale boljše merilnike vakuum, ki so se posrečili Angležu H.G.McLeodu 13.6.1874. Njegov merilnik je temeljil na stiskanju plina s stolpom

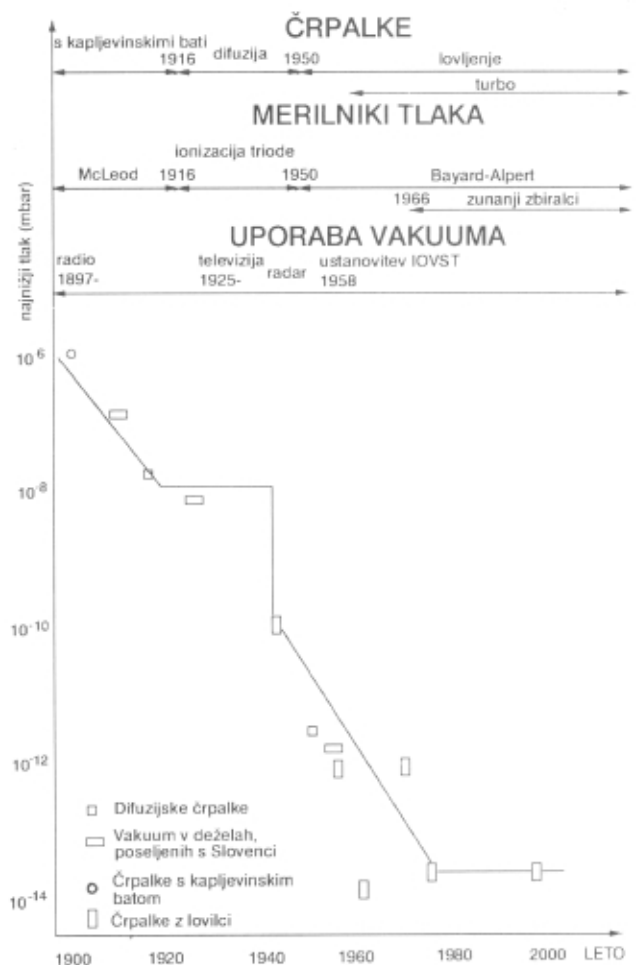


Slika 5: McLeodov manometer

živega srebra do merljivega višjega tlaka, iz katerega potem po Boylovem zakonu izračunamo prvotni tlak do milijoninke mbar.

Crookes in njegov asistent Charles H.Gimingham sta 1873 sestavila črpalni sistem s Sprenglovo črpalko in dosegla $2 \cdot 10^{-5}$ mbar po poznejšem McLeodovem manometru. Vendar McLeod ni meril tlaka plinov, ki so, tako kot vodna para, kondenzirani pri navadnih tlakih. Zato morda njun vakuum vendarle ni bil tako dober. Cilj Crookesovih in Giminghamovih raziskav v šestdesetih letih je bil natančno merjenje atomskih mas v vakuumu, predvsem novo odkritega talija. Zato sta v sedemdesetih letih skušala doseči popoln vakuum, v katerem tokovi preostalih molekul ne bi motili tehtanja. Sprenglovo črpalko sta izboljšala še s kemičnimi metodami črpanja, ki jih je leta 1852 odkril Irec Thomas Andrews (1813-1885). Do poletja 1873 sta že dosegla vakuum, ki je preprečeval tok iz Ruhmkorfovega induktorja /16/.

Junija 1874 je Crookes izboljšal svoj vakuumski sistem z zračnimi pastmi ter kemičnimi agenti za absorpcijo preostalih plinov in je, po Dewarjem nasvetu, uporabil oglje kot "geter". Program za doseganje popolnega vakuum je dokončno opustil šele sredi osemdesetih let.



Slika 6: Graf najboljšega dosegljivega vakuum med letoma 1900 in 2000 po Redheadu, n.d., 1999, str.144 z dodanimi dosežki na Slovenskem in uporabo vakuumske tehnike

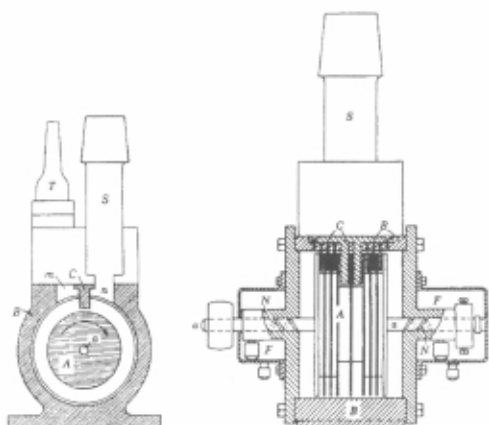
5 Prodor vakuumske tehnike v industrijo konec 19. in v začetku 20. stoletja

Edison je zelo hitro prevzel Crookesovo vakuumsko tehniko in jo uporabil v industriji. Številni drugi raziskovalci so podobno vakuumsko tehniko uporabljali v temeljnih raziskavah, med njimi Röntgen in J.J. Thomson, ki je uporabljal Töplerjevo črpalko. Leta 1897 je odklanjal elektrone z elektrostaticnim poljem, kar se njegovim predhodnikom v slabšem vakuumu ni posrečilo.

Za potrebe industrije žarnic so močno izboljšali črpalke s trdnimi bati. Tako je Nemeec Fleuss leta 1892 vložil in naslednje leto dobil nemški patent za batno črpalko, tesnjeno z oljem, ki je imela mehansko premakljive zaklopke. Naprave se je v čast von Guericcka prijelo ime "Gerykova črpalka" in je dosegala $2 \cdot 10^{-4}$ mbar. Kljub slabšemu vakuumu je imela prednost pred starejšimi črpalkami s kapljevinskim batom, ker jo je lahko poganjal motor. Uporabljali so jo v industriji žarnic, vse dokler ni 7.9.1905 Gaede, asistent na univerzi v Freiburgu, patentiral črpalko s krožnim delovanjem in živosrebrnim batom, ki jo je prav tako lahko poganjal motor. Z njo je dosegal 10^{-6} mbar, zato je bila zelo uporabna v industriji žarnic in katodnih elektronk. Stekleno ohišje starejših črpalk je Gaede nadomestil s kovinskim, vrtljivi boben pa si je dal narediti iz porcelana.

Max Paul Wolfgang Gaede (1878-1945) je bil rojen v družini pruskega topniškega oficirja in se je zato pogosto selil po Nemčiji. V Freiburgu je študiral najprej medicino in nato diplomiral iz fizike leta 1901 pri Franzu Himstedtu, ki se je odlikoval s poskusi v elektrodinamiki. Kot Himstedtov asistent je 26.2.1904 prvič omenil svoje poskuse v vakuumu.

Po vojni je Gaede leta 1919 dobil redno profesuro v bližnjem Karlsruheju. Njegovi izumi so bili nepogrešljivi v fizikalnih laboratorijih. Zato je bil, sicer neuspešno, predlagan za Nobelovo nagrado, tudi od strani poznejših nacistov, kot je bil fizik Johannes Stark (1874-1957). Vseeno so ga nacistične oblasti 30.6.1934 na zelo ponižujoč način spravile ob profesuro na univerzi. Da bi vendarle lahko nadaljeval delo, mu je Leybold namestil laboratorij in trgovino v domači hiši. Vendar se je Gaede leta 1940 skupaj z laboratorijem raje preselil v München, kjer je kmalu po koncu vojne umrl.



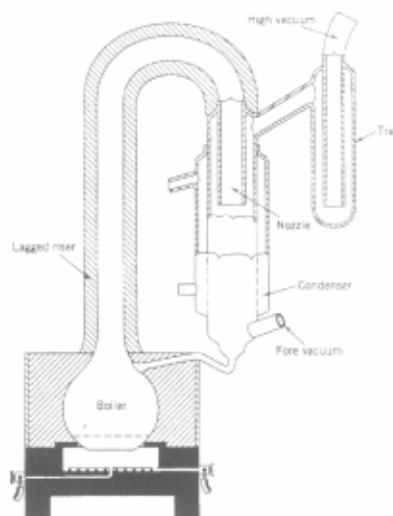
Slika 7: Gaedova molekularna črpalka iz leta 1912



Slika 8: Wolfgang Gaede (1878-1945)

Gaede je še svežo iznajdbo demonstriral na 77. srečanju Nemških naravoslovcev in zdravnikov v Meranu in požel veliko pozornosti in ponudb. Gaedovo poročilo s srečanja je pozneje prebral tudi 11 let starejši kemik Alfred Schmid, sin lastnika strojne trgovine E.Leybold's Nachfolger. Prav tisti čas je bilo podjetje v težavah, ker je konkurenca dobila licenco za proizvodnjo "Gerykovich črpalk". Zato se je Schmidt februarja 1906 s prvim vlakom odpravil v Freiburg in 23.4.1906 podpisal pogodbo z Gaedejem. S tem se je začelo eno najbolj plodnih sodelovanj med znanstvenikom in industrijo, ki je trajalo 38 let.

Že naslednje leto je Leybold opremil Gaedeju lasten laboratorij s strojno trgovino, ki je leta 1912 postal del univerze. Istega leta je Gaede izumil črpalko, ki jo je imenoval "molekularno". Prvih 60 črpalk nove vrste je Leybold prodal še istega leta, skupno 300 pa do leta 1923. "Molekularne" črpalke so razvijali naslednja tri desetletja in z njimi dosegali 10^{-7} mbar.



Slika 9: Langmuirjeva živosrebrna difuzijska črpalka iz leta 1916

Gaede (1915) in Američan Irving Langmuir (1881-1957) z General Electrics (1916) sta neodvisno izumila difuzijsko črpalko z živosrebrno paro, prvo vakuumsko črpalko brez premikajočih se delov. Oba uspešna izumitelja sta imela poseben samostojen položaj pri vodilnem industrijskem podjetju svoje države, kar jima je omogočalo izjemna odkritja.

Leta 1928 je C.R. Burch iz Metropolitan-Vickers v Angliji izumil difuzijsko črpalko z oljem. Difuzijske črpalke s končnim tlakom do 10^{-8} mbar so bile najpogostejše uporabljane za visoki vakuum, dokler leta 1958 niso postale dosegljive črpalke na ionsko naprševanje.

Slovenci brez domačega akademskega središča v prvi polovici 20. stoletja nismo sodelovali pri temeljnih raziskavah v vakuumski tehnologiji. Zato pa so naši rojaki Julij Nardin, Anton baron Codelli in Vladimir Šlebinger pomembno prispevali k uporabi vakuuma pri razvoju televizije.

6 Vakuumisti v "BIG SCIENCE" druge polovice 20. stoletja

Merilniki nizkih tlakov so pred prvo svetovno vojno zaostajali za dosežki črpalk. Leta 1916 je O.E. Buckley poročal o ocenjevanju nizkih tlakov s pogostostjo ionizacij na vroči triodi. Njegov merilnik se je uporabljal do srede stoletja za meritve do 10^{-8} mbar. Pri nižjih tlakih nastajajo mehki rentgenski žarki zaradi obstreljevanja anode z elektroni, kar so vedeli proizvajalci katodnih elektronk, ne pa tudi njim sorodni raziskovalci vakuumске tehnologije pred letom 1947. Ko je bil problem končno jasno postavljen, ni bilo treba več dolgo čakati na rešitev, ki jo je Denis Alpert iz Westinghouseovih raziskovalnih laboratorijev predstavil leta 1950 na MIT. Uporabil je ionski zbirnik iz tankega vodnika v osi črpalke, ki je močno znižal pretok mehkih rentgenskih žarkov iz mrežice. Tako je omogočil meritve do 10^{-11} mbar. Obenem je predložil uporabo povsem kovinskih zaklopk za izolacijo sistema od črpalk, uporabljenih pri višjih tlakih, in uporabo ionizacijskega merilnika kot glavne črpalke pri nizkih tlakih. S tem je dotlej samostojen razvoj črpalk in merilnikov po treh stoletjih združil v enotno napravo.

Alpertove ideje so pozneje razvijali v smeri črpalk s pastmi, ki niso več odstranjevale plina iz sistema, temveč so molekule plina raje lovile na površine znotraj sistema. Ideja je sprožila hitre izboljšave, ki so kmalu znižale mejo vakuuma od 10^{-8} na 10^{-11} mbar.

Čeprav so prve monografije o vakuumski tehnologiji objavljali že raziskovalci prejšnje generacije med letoma 1906 in 1926, so šele ob teh uspehih vakuumisti začeli obravnavati svoje delo kot samostojno panogo znanosti. Morda je desetletjem zamude pri razvoju tega občutka botrovala zavezanost različnim panogam znanosti, ki tvorijo vakuumsko tehniko, prikrivajoč skupni imenovalec vakuumskih raziskav.

Tako se je šele E. Holweck leta 1939 uspešno zavzemal za ustanovitev nacionalnih vakuumskih družb. Njegova pobuda je zaradi vojne morala počakati na neko sobotno popoldne v novembru 1944, ko so se francoski vakuumisti sestali v sloviti pariški gostilni blizu Saint Germaina. Razpravljali so, ali naj ustanovijo zvezo ali znanstveno družbo. Konec večera je prevladalo zadnje mnenje in 10.3.1945 je 19 članov ustanovilo družbo /17/.

Osem let pozneje so ustanovili podobno organizacijo v ZDA. Dne 18.6.1953 se je v New Yorku sestalo 53 raziskovalcev in ugotovilo potrebo po ustanovi, ki bi razpravljala o problemih in uporabi tehnologije visokega vakuuma. Šest dni pozneje je bil organiziran prvi sestanek Committee on Vacuum Techniques. Do formalne ustanovitve je prišlo 19.10.1953 v Massachusettsu. Prvi nacionalni simpozij z 295 udeleženci in 35 razpravami je bil med 16. in 18.6.1954 v Asbury Parku, New Jersey. Leta 1957 so člani izglasovali spremembo imena v American Vacuum Society, Inc. (AVS). Od 2000 do 3000 članov AVS med letoma 1964 in 1980 je v začetku devetdesetih let članstvo naraslo na 6000. Septembra 1964 so pri AVS ustanovili Journal of Vacuum Science /18/.

5.5.1958 so vakuumsko družbo ustanovili tudi na Japonskem. Sredi petdesetih let je bilo že veliko stikov med vakuumskimi organizacijami Francije, ZDA, Zahodne Nemčije, Japonske, Švedske, Italije in Belgije.

Že leta 1948 je član Francoskega vakuumskega društva Robert Champeix predložil načrt za Mednarodno vakuumsko konferenco leta 1949 ali 1950, vendar je predlog padel v vodo zaradi gmotnih težav. Pobudo je pozneje prevzela belgijska sekcija za vakuumsko tehniko, ustanovljena leta 1954, ki je leta 1956 resno predložila mednarodni vakuumski kongres. IOVST je bil ustanovljen 13.6.1958 na 1. mednarodnem kongresu o vakuumski tehnologiji; prvem velikem mednarodnem srečanju 522 vakuumistov iz 26 držav, povezanim s tedanjo svetovno razstavo v Bruslju. Le nekaj mesecev pozneje je bila leta 1959 ustanovljena predhodnica DVTS kot sekcija za vakuumsko tehniko pri Elektrotehniškem društvu Slovenije.

IOVST je bil 8.12.1962 preimenovan v IUVSTA, ko je postal mednarodno združenje nacionalnih vakuumskih organizacij z 10 ustanovnimi člani s sedežem v Bruslju /19/. Sredi šestdesetih let so številne države že imele profesionalne vakuumске družbe ali nacionalne odbore posvečene vakuumu.

7 Sklep

Organizacije vakuumistov so strokovne združbe, vendar pa pomagajo tudi pri premagovanju težav prestrukturiranja, ko stagnira klasična proizvodnja katodnih elektronk, odpirajo pa se nova področja uporabe. Seveda pa organizacija ne more vplivati na omejitve, ki jih postavlja narava sama. Tako je leta 1977 C. Benvenuti v CERN-u dosegel 10^{-14} mbar, kar že nad dve desetletji ostaja najnižji tlak, dosegljiv pri sobni temperaturi. Neuspešnost pri doseganju vedno boljšega vakuuma je podobna tistemu med letoma 1920 in 1950 /20/.

Zgodovinska raziskava le stežka lahko razkrije vzroke, ki zavirajo napredek k boljšemu vakuumu, še težje pa nakaže prijeme, ki bi utegnili peljati k presežanju sedanjega stagnacije. Je pa zanimiva sama po sebi.

Literatura

- /1/ Catalogus Librorum qui Nundinis Labacensibus Autumnalibus in Officina Libraria Joannis Baptistae Mayr, Venales proffant. Anno 1678. Ponatis pri Mladinski knjigi, Ljubljana, 1966
- /2/ Paul Aveling Redhead, The ultimate vacuum, Vacuum 53 (1999) str.137-138

- /3/ Boyle, Defensio contra Franciscum Linum. Linus je bil posebno znan po polemiki z Newtonom glede teorije barv, ki jo je vodil tik pred smrtjo preko RS v Londonu. Ne gre ga zamejnjevati z drugim jezuitom podobnega imena Francescom Tertio de Lana (1631-1687), avtorjem *Magisterium Naturae et Artis, Opus Physico-Mathematicum*, tiskane leta 1684 in 1686 v Bruslju, ki so jo v ljubljanskem jezuitskem kolegiju nabavili leta 1754.
- /4/ M.J. Sparnaay, *Adventures in vacuum*, North-Holland, 1992, str. 47-50; Newton, *Opticks*, 1717, Query 31. Raziskave elektromagnetnih vzrokov efekta, imenovanega po Nizozemcu Hendriku B.G. Casimirju (r.1909), so leta 1948 pokazale, da je bil Newton bližje resnici.
- /5/ Spaarnay, n.d., 1992, str. 53
- /6/ Hauksbee (tudi Hawksbee), An experiment to show the causes of the descent of the mercury in the barometer in a storm, *Phil. Trans.* 1704; *Physico-mechanical Experiments on various subjects*, London, 1709
- /7/ Spaarnay, n.d., 1992, str. 55
- /8/ Valvasor, *Phil. Trans. London* 1687, Nr. 191, str. 411-426; *Acta Eruditorum*, Leipzig, 1689, str. 634-644; Athanasius Kircher, *Misurgia universalis sive ars magica consoni et dissoni in X libros digesta*, Romae, Cerbellotti, 1650, 9. knjiga, 2. del, 7. poglavje; Gaspar Schott, *Magia universalis naturae et artis sive recondita et artificialium rerum scientia*, Bambergae, Schönwetter, 1677, 2. del, 4. knjiga; Schott, *De magia phonurgica*, zadnje poglavje, str. 214; Branko Reisp, *Korespondenca Janeza Vajkarda Valvasorja z Royal Society*, SAZU, Ljubljana, 1987, str. 78
- /9/ Reisp, n.d., 1987, str. 7, 97-100 in 102-104. Morda je Valvasor srečal 6 let mlajšega Papina, ko je med letoma 1665 in 1672 potoval tudi po Franciji in Angliji.
- /10/ Theodore E. Madey, *Early applications of vacuum, from Aristotle to Langmuir*, v Theodore E. Madey (ed.) *History of vacuum science and technology*, AIP, 1984, str. 11; Redhead, n.d., 1999, str. 139
- /11/ Thomas Andrews (1813-1885), On a method of obtaining a perfect vacuum in the receiver of an air-pump, *Phil. Mag.* 1852, ponatis v *The scientific papers of the late...*, London, 1889, str. XXIV in 223-224. Od leta 1861 dalje Andrews ni več raziskoval nizkih temveč visoke tlake. Poizkušal je utekočiniti pline, ki so dotlej veljali za "permanentne". S tem je začel dolgoletno tekmo za doseganje absolutne temperaturne ničle in s svojo teorijo kritične točke vplival na več generacij raziskovalcev.
- /12/ Über die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen, *Ann. Phys.* 103 (1857) str. 88-89
- /13/ Über das geschlechtete elektrische Licht, Berlin, 1858. Heinrich Geissler (1814-1879) iz Igelshieba v Thüringiji je bil tudi pomemben fizik. Leta 1868 je opisal svetlikanje v katodni cevi in v Torricelijevem Hg-vakuumu v cevi, ki jo je drgnil z mačjo dlako. Svetlikanje je trajalo eno minuto, njegova barva pa je bila odvisna od temperature in od narave plina v cevi. Predložil je uporabo pojava v Davyjevih svetilkah. Opazovanj še ni znal povezati z drugimi, tedaj znanimi luminescenčnimi pojavi (*Neue Erfahrungen im Gebeite der elektrischen Lichterscheinungen*, *Ann. Phys.* 135 (1868) str. 333 in 335)
- /14/ *Ann. Phys.* 125 (1865). *Lehrbuch der Experimentalphysik* bearbeitet von Dr. Adolph Wüllner, 3. izdaja, Leipzig, 1870, str. 365-366.
- /15/ Felix Klein, *Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert*, Springer, Berlin, 1926, ruski prevod 1989, Nauka, Moskva, str. 138
- /16/ Robert K. DeKosky, William Crookes and the Quest for Absolute Vacuum in the 1870s, v Madey, n.d., 1984, str. 84 in dalje
- /17/ J.M. Lafferty, *History of the International Union for Vacuum Science, Technique and Applications*, International Union for Vacuum Science, Technique and Applications, 1986, 2:1989, str. 43
- /18/ Jack H. Singleton, *The American Vacuum Society at 40*, v zborniku *Vacuum Science and Technology* (ed. Redhead), AIP Press 1994, str.1-2 in 6
- /19/ Lafferty, n.d., 1989, str.1-2
- /20/ Redhead, n.d., 1999, str.146



INŠTITUT ZA TEHNOLOGIJO POVRŠIN IN OPTOELEKTRONIKO, zavod
INSTITUTE OF SURFACE ENGINEERING AND OPTOELECTRONICS

Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija

Tel.:(+386 61) 126 45 92, Fax (+386 61) 126 45 93

Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko je bil ustanovljen v jeseni leta 1995 z namenom, da se poveča aktivnost in kvaliteta dela na specializiranih raziskovalnih področjih. Opravlja temeljne aplikativne in razvojne raziskave na področju naravoslovja in tehnologij. Dobro sodelujemo z najpomembnejšimi slovenskimi inštituti, obema univerzama in z industrijo ter s priznanimi institucijami v tujini.

Osnovne dejavnosti ITPO-ja so:

tehnologija in preiskava površin, faznih mej, tankih plasti in kompozitnih materialov (AES, SAM, TFA, EM, EDX, WDX), vakuumska optoelektronika, miniaturne katodne cevi, elektroluminiscentni materiali, tehnika visokega in ultravisokega vakuuma, obdelava površin s plazmo, svetovanje na področju vakuumske tehnike in merjenja vakuuma, vakuumska ploskovna izolacija in sodelovanje pri izgradnji žarkovnih linij na sinhrotronih ter steklopihaška dela.