

ZGODOVINA VAKUUMSKE TEHNIKE (I. del)

Stanislav Južnič*

THE HISTORY OF VACUUM TECHNIQUE

ABSTRACT

The vacuum technology had developed in three centuries from curiosity to a strong research and technology tool. The idea of vacuum is also important in philosophy, that could be connected with the physical theory of vacuum.

The article tries to connect well known facts about the vacuum research in Middle and West Europe with the simultaneous interests for vacuum in the lands, populated with Slovenes.

The first part deals with the ideas of vacuum in the antique and the discovery of the barometer in the new era.

POVZETEK

Tehnologija vakuumu je v treh stoletjih prešla od zanimivosti do močnega raziskovalnega in tehnološkega orodja, podobno kot elektrika. Poimovanje vakuumu je za nameček še pomembna reč v filozofiji. Za vakuum še posebej velja, da lahko njegovo tehnologijo ločimo od teorije, ki meji na filozofijo. Prispevek povezuje znana dejstva o razvoju vakuumске tehnologije s sočasnim zanimanjem zanjo v deželah poseljenih s Slovenci.

Prvi del razprave zadeva raziskovanje vakuumu v antiki in odkrije barometra v novi dobi.

1) Antična dognanja o vakuumu, ki zadevajo predvsem Aristotla in Herona Aleksandrijskega

a) Uvod

Sodobno poimenovanje praznega izhaja iz latinščine in ne iz grškega "kenon", čeprav so korenine sodobnih nazivov v znanosti večinoma grške. Vzrok lahko najdemo v zvoku besede, prevladujočem zavračanju obstoja vakuumu v antični Grčiji (Podolny 1986, 16-17) ali pa v nepoznavanju grškega jezika pri zgodnjih raziskovalcih vakuumu v 17. stoletju.

b) Raziskovanje praznega v antiki: Aristotel

Aristotel (384-322 p.n.št.) je zavračal obstoj praznega (Fizika IV/7). Po Aristotlu se hitrost gibanja razlikuje zaradi lastnosti gibajočega se telesa ali zaradi lastnosti medija (Aristotel, 1987, 102). V enakih medijih (Aristotel, 1987, 104) si telesa z večjo "silo gibanja (lat. momentum)" hitreje delajo prostor na poti skozi snov, kar jim omogoča večjo hitrost. V praznem, kjer snovi ni, ni niti upornosti sredstva. Zato naj bi se v praznem vsa telesa gibala enako hitro, ne glede na "silo gibanja", kar je nemogoče. V filozofskem smislu je Aristotel odklanjal prazno tudi zato, ker je v njem mogoča neskončna hitrost (Podolny 1986, 19). Aristotlovo pojmovanje hitrosti lahko tako zapišemo s sodobnimi simboli:

$$v = f \frac{k}{w}$$

kjer k zadeva silo, ki sili objekt k gibanju, f je konstanta, w pa je upor sredstva. Ker je v praznem $w=0$, bi tam hitrost v postala neskončna (Sparnaay 1992, 12).

Po Aristotlu naj bi imeli štirje osnovni elementi naravno smer gibanja navzgor ali navzdol, glede na svojo gostoto. V praznem pa ni reference, glede na katero bi lahko opredelili razliko v smeri gibanja (Sparnaay 1982, 12; Podolny 1986, 21).

Aristotel je polemiziral z zagovorniki praznega: Leukipom iz Mileta (490-? p.n.št.), Demokritom iz Abdere (470-380 p.n.št.), Melisom, Pitagorejci in Ksutom iz Krotona (Aristotel 1987, 97, 98, 99 in 106).

Demokrit, Leukip in Pitagorejci so zagovarjali obstoj praznega. Vendar se je fizikalni in filozofski atomizem 19. in 20. stoletja skliceval predvsem na prva dva.

Aristotlov učitelj Platon je v Timeausu zagovarjal obstoj atomov, ki so premajhni, da bi jih lahko videli (Platon 1977, 79). Ni pa opisoval praznine med njimi kot sta to počela Demokrit in Epikur. Platonisti so imeli vakuum za element neurejenosti, ki naj ga Demiurg ne bi uporabil pri organizaciji narave (Sparnaay 1992, 11). Bil naj bi torej možen, toda neobstoječ element.

c) Antični raziskovalci po Aristotlu

Hero iz Aleksandrije je živel v obdobju med leti 150 in 250 p.n.št. Sestavil je, med drugim, "parno turbino" za brizganje posvečene vode v obliki pare v templjih. Z Aristotlom je domneval, da v naravi ni praznega. Vendar je v dveh delih "Pnevmatike" praktično in teoretično dokazoval, da je vakuum mogoče ustvariti v zaprtih posodah. Skupaj z Aristotlom je domneval, da med zgornjima dvema stavkoma ni nasprotja. Za razliko od sodobnih raziskovalcev sta Aristotel in Hero domnevala, da so zakoni, ki veljajo za človeške izdelke, različni od izdelkov narave (Podolny 1986, 23, Hramov 1977, 99).

Fizik Strato je živel v obdobju med leti 340 in 270 p.n.št. v Aleksandriji in Atenah. Opisal je metodo za pridobivanje vakuumu in je bil naklonjen atomizmu. Nasprotju z Aristotlom se je ognil z domnevo, da obstajata dve vrsti vakuumu (Asimov 1978, 22, Podolny 1986, 23, Sparnaay 1992, 14).

Okoli leta 1300 se je med raziskovalci zasedel pojem "horror vacui". Vendar je Aristotlovo pojmovanje aktivne vloge medija pri gibanju vzbujalo resne pomisleke v Parizu in Oxfordu 14. stoletja. V Buridanovi in drugih teorijah je bil "impetus", količina podobna sodobni gibalni količini, neodvisna od medija (Sparnaay 1992, 14).

* 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.

2) Prvi novodobni poskusi z umetnim vakuumom sredi 17. stoletja in prva uporaba v barometru:

a) Galilejevi učenci v severni Italiji

Galilej je omajal Aristotlovo avtoriteto z eksperimentalnim pristopom k znanosti. Po Aristotlu je bilo gibanje usmerjeno k ravnovesju, ki so ga opredeljevale lastnosti telesa. Hitrost gibanja se manjša z naraščanjem gostote okolice.



Galileo Galilei (1564-1642)

Galileo je po fiziku Stratu povzel pojem pospeška. Pojem vakuum je ločil od metafizike in mu pripisal fizikalne lastnosti, kot sta ničelna gostota in viskoznost. V prvem dnevu svojih *Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Leyden 1638, 1964, 124-125) je Sagredo dokazoval, da telesa v vakuumu nimajo neskončnih hitrosti. Ugotovitev je Galileo uporabil v tretjem in četrtem dnevu svoje razprave.

Galilejevo razmišljanje je prineslo dve novosti:

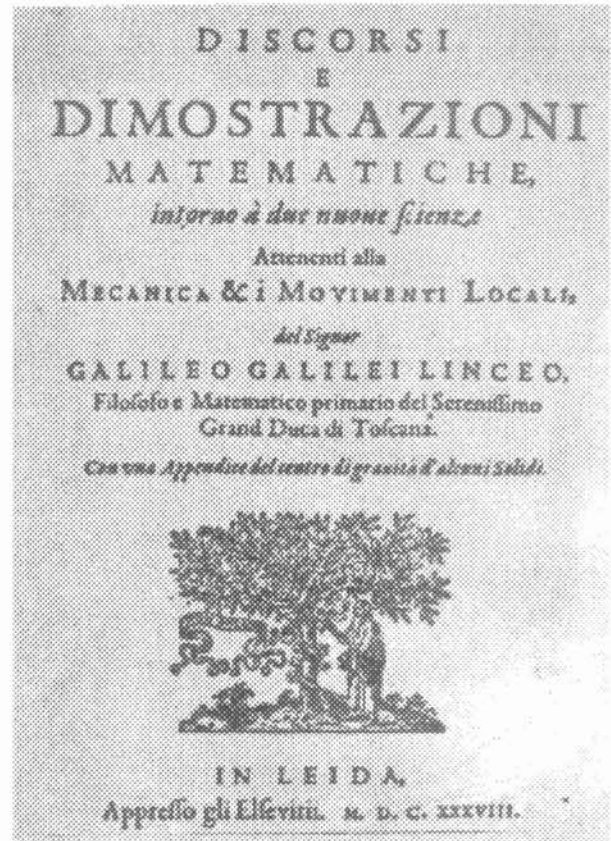
- 1) Vsa telesa padajo blizu Zemlje z enakim pospeškom. Njihovo padanje ovira snov v okolici.
- 2) Vakuum je snov z gostoto nič in viskoznostjo nič.

Tako je Galileo postavil vakuum kot limitni primer fizikalnih medijev, med katerimi ima najmanjšo gostoto. S tem se je izognil Aristotlovi = Simpliciovi "horror vacui". Ta je temeljila na domnevi, da "prazen

prostor sam nasprotuje svojemu nastanku, kar ni v skladu z domnevo o ekonomičnosti naravnih pojavov (Galileo 1966, 125).

Da bi se izognil neposredni konfrontaciji z Aristotlovo odklonitvijo vakuumu, je Galileo uporabil novo pojmovanje "mikroskopskih praznin v snovi" (Kuznecov 1964, 237). Tem pripiše fizikalne lastnosti in tako vpelje vakuum v fiziko.

Filozofska osmislitev praznega je bila nujna, da so se Galilejevi sodobniki lahko lotili raziskovanja vakuumu.



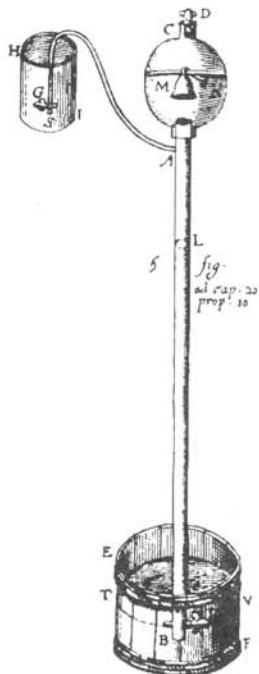
Naslovna stran enega od glavnih Galilejevih del, v katerem je obravnaval tudi problem gibanja teles v praznem prostoru

Primitivni načini pridobivanja vakuumu so bili že dolgo znani. Njihovo izboljševanje in sistematično raziskovanje je postalo možno šele potem, ko je početje v tej smeri Galileo tudi idejno utemeljil.

Galilejeva skupina raziskovalcev ni uporabljala zračne črpalke, čeprav so jih uporabljali že v antični Grčiji za črpanje piščali v glasbenih instrumentih.

Vodne črpalke so bile znane v antični Alexandriji in v rudnikih starega Rima. Črpalke je opisal že sloviti rimski inženir Vitruvij, za njim pa Agricola v *De Re Metalica* leta 1556. Veliko rudnikov je bilo globljih od 100 m. S črpalkami je bilo v 16. stoletju mogoče dobiti vakuum 250 tor (0,33 bar). Konstruktorji tega seveda niso vedeli (Hablanian 1983, 17), saj niso znali izmeriti vakuumu.

Galilea je zanimala sila potrebna za nastanek vakuuma. Problem je povezoval s črpanjem vode navpično navzgor z Arhimedovim vijakom in vodnimi črpalkami. Rudarji so mu povedali, da višina ne more preseči 34 ali 35 čevljev ali 18 laktov (10 m). Tako je leta 1630 pojasnil G. B. Balianiju neuspeh pri gradnji sifona pri Genovi.



Risba Berti-jeve črpalke. Cev AB, ki je bila dolga 35 čevljev (10 m), in rezervoar N je pri zaprtih ventilih G, D in B napolnil z vodo, nato pa odprl ventil B. Nivo vode se je znižal do točke L. V prostoru nad tem nivojem se je pojavil prazen prostor.



Tehnološke probleme so raziskovalci v 17. stoletju skušali ponazoriti in rešiti s posebej v ta namen postavljenimi poskusi. Gasparo Berti je postavil prirejeno "črpalko" ob svoji hiši v Rimu leta 1640 in je bržkone neposredno vplival na Galilejeve učence (Hablanian 1983, 18). Njegova naprava je bila v osnovi barometer na vodo, vendar je morala še počakati na pravilno razlago (Madedy 1983, 9).

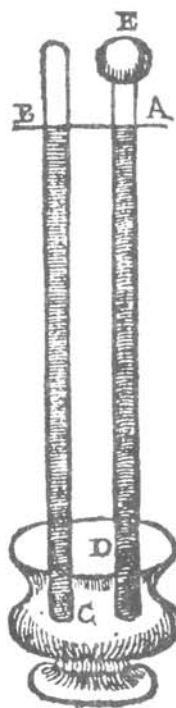
Galileo je umrl 8.1.1642, star skoraj 78 let. Slaviti barometrični poskus Evangelista Torricellia (1608-1647) je bržkone opravil drugi Galilejev učenec in ustanovitelj Academie del Cimento Vincenzo Viviani (1622-1703). Do odkritja naj bi prišlo leta 1644 in ne 1643 (Redhead 1983, 31).

Gotovo je bil poskus opravljen pred 13.6.1644, ko ga je Torricelli v Firenci opisal v pismu Michelangelu Ricciju. Kot avtorje eksperimenta vseskozi navaja sinonim "Mi", ki se je gotovo moral nanašati tudi na njegovega sodelavca Vivianija.

Poskus so opravili s stekleno posodo visoko dva Braccia (48 inčev ali 1,2 m). Debelina stekla in širina cevi ni bila zapisana. Gotovo so posodo te vrste lahko proizvedli le italjanski (beneški) mojstri, ki so bili veliko naprednejši od drugih sodobnikov. Tako je moral Jean Baptiste Colbert (1619-1883) sredi 17. stoletja z zvijačo izmakniti Benečanom skrivnost izdelave zrcal za potrebe dvora v Parizu.

Torricelli je poročal:

Evangelist Torricelli (1608-1647)



Torricelliev živosrebrni barometer

"... Napolnili smo jo (posodo) z živim srebrom. Ustje smo zamašili s prstom in ga obrnili v posodo C z živim srebrom. Pokazala se je praznina, v izpraznjenem delu posode pa se ni nič zgodilo. Dolžina vratu (posode) AD je ostala vedno napolnjena do višine ene in četrt Braccije in enega inča (29,75 inč ali 760 cm). Da bi pokazali, da je posoda povsem prazna, smo posodo pod njo napolnili z vodo do točke D. Posodo smo počasi vzdigovali. Ko je njeno ustje doseglo vodo, smo videli padec živega srebra iz vratu (posode). Z veliko silo je bila posoda napolnjena z vodo čisto do znamenja E. Med poskusom je bila posoda AE prazna in se je težko živo srebro zadrževalo v vratu AD.

Sila, ki drži živo srebro pokonci in proti njegovi naravi preprečuje padec nazaj (v posodo), je domnevno v posodi AE, in naj bi izvirala ali iz vakuuma ali iz močno razredčene snovi (živega srebra). Sam pa menim, da je sila zunanja in da prihaja od zunaj. Na površino

kapljevine v posodi pritiska masa 50 milj visokega zraka. Ali naj bomo potem presenečeni, da je v posodi CE, kjer živo srebro ni ne potiskano ne vlečeno, saj ni noter ničesar, živo srebro pride in doseže tolikšno količino, da pride v ravnovesje z zunanjim zrakom, ki nanj pritiska. Tudi voda se bo, v podobni, vendar mnogo daljši posodi, dvignila do skoraj 18 Braccia (10 m). To je mnogo više, kot se živo srebro dvigne, saj je živo srebro težje od vode, mora pa priti v ravnovesje z istim tlakom, ki pritiska na obe kapljevini..."

25.10.1647 je Torricelli nenadoma umrl. Poldrugi mesec pozneje, 13.12.1647, je René Descartes (1596-1650) poročal Marinu Mersennu (1596-1650) v Parizu, da je postavil skalo iz papirja ob barometer Torricellijevega tipa (Redhead 1983, 31).



René Descartes (1596-1650)

Med tridesetletno vojno 1618-1648 so se znanstvene novice le počasi širile, še posebej v Nemčijo. Frančiškan Valeriano Magni je že leta 1646 samostojno opravil Torricellijevemu podoben poskus na dvoru Ladislava IV v Varšavi. Leta 1654 je na Reichstagu v Regensburgu novico sporočil Magdenburškemu županu Ottu von Guericku. Vendar mu slednji ni povsem verjel, saj je medtem že nekaj slišal o Torricellijevih uspehih (Guericke 1986, 92-93 in 108, Sparnaay 1992, 4). Bržkone pa je Valeriano Magni prvi poročal o podobnosti med transmisijo svetlobe skozi zrak in skozi vakuum (Sparnaay 1992, 52).

b) Pascal na Francoskem

Oktober 1646 je Pierre Petit de Montluçon (1598-1671) poročal o Torricellijevem poskusu v družini Pascalov v Rouenu. Blaise Pascal (1623-1666) je ponovil poskus ob pomoči očeta Etienna (1588-1651), Petita in lokalnih steklopihalcev. S pomočjo črpalke in po Torricellijevi metodi so dokazali, da živo srebro ni mogoče spraviti na višino nad 2 čevlja, 3 inče in 5 linij. Vodo so lahko črpali največ do 31 čevljev visoko, olje pa do 34 čevljev, kar je bilo v razmerju obratnih vrednosti gostot treh kapljev.

23. in 24.9.1647 je Blaise Pascal sprejel Descartes (1596-1650). Živel je v Parizu, kjer ga je med boleznijo negovala sestra Jacqueline. Ob prvem srečanju je bilo zbranih veliko prijateljev in občudovalcev. V nada-



Blaise Pascal (1623-1666)

ljevanju pogovora je mnenje bolnega Pascala zastopal matematik Giles Person de Roberval (1602-1675). Oster pogovor se je končal drugo jutro z Descartesovim obiskom pri Pascalu, ki si je bržkone tedaj zamislil meritev višin z barometrom (Sparnaay 1992, 15).

29.10.1647 je Pascal pisal jezuitu očetu Noëlu, da je prostor nad stolpom živega srebra prazen, saj si težko tam predstavljamo nevidno snov, čeprav si je ne bi bilo težko izmisliti. Pascalova misel iz tega pisma zveni poučno (Sparnaay 1992 10, 14):

"..l'espace vide tient le milieu entre la matière et le ne'ant (prazen prostor je na sredi med snovjo in ničem)"

14.11.1647 je Pascal pisal svaku Pierru Périerju (1605-1672). Prosil ga je, naj opravi meritev višine živega srebra v barometru na vrhu gore Puy-de Dôme in naj rezultat primerja z meritvijo ob vznožju gore. Šele 10 mesecev pozneje, 18.9.1648, je Périer s spremljevalci opravil poskus. Opravili so več meritev do vrha visokega 500 fathoms, kar je okoli 1000 metrov. Ob vznožju hriba je bila višina živosrebrnega stolpa 23 inčev in 2 linije, na vrhu pa za 3 inče in poldrugo linijo več (Sparnaay 1992, 15, 17). O poskusu je poročal Pascalu 22.9.1663 (Kljaus 1971, 402).

Pascal je že v *Traité de la Pesanteur de la Masse de l'Air* ugotavljal, da vreme vpliva na zračni tlak. Guericke je ponovil Périerove poskuse in izmeril, da se je zračni tlak močno znižal dve uri pred strašno nevihto leta 1660 (Sparnaay 1992, 39). Tako so konec 17. stoletja v Angliji lahko že proizvajali barometre za prodajo.

Spor med zagovorniki "polnega" in zagovorniki vakuumma je vseeno vznemirjal še znanstvenike naslednjih generacij. Tudi mnogi zagovorniki vakuumma so menili, da tudi po izčrpanju zraka nekaj le ostane notri. V teorijah Newtona in Huygensa je bil to "nekaj" eter. Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646-14.11.1716) je tudi v

svojih zadnjih pismih maja 1716 vztrajal proti obstoju vakuumma (Sparnaay 1992, 19). Filozofske posledice takšne hipoteze so se mu zdele veliko hujše od domneve o neskončno majhnem, ki jo je uporabil pri svoji iznajdbi diferencialnega računa.

3. LITERATURA

- /1/ Podolny R, *Something Called Nothing*, Mir, Moskva, 1986
- /2/ Aristotel, *Fizika*, SNL, Zagreb, 1987
- /3/ Sparnaay M.J., *Adventures in vacuum*, North-Holland Amsterdam, 1992
- /4/ Platon, *Timeaus and Critias*, Penguin books 1977
- /5/ Hramov, *Fiziki*, Naukova Dumka, Kijev, 1977
- /6/ Asimov Isaac, *Biographical Encyclopedi of Science and technology*, London, 1975
- /7/ Galileo Galilei, *Izbrani trudi*, Nauka, Moskva, 1984
- /8/ B. G. Kuznecov, *Galilei*, Nauka, Moskva, 1964
- /9/ M. H. Hablanian, *Hystory of Vacuum Science and Technology*, American Institute of Physics, New York, 1984
- /10/ Madey E. in Brown Williams C. (urednika), *History of Vacuum Science and Technology*, American Institute of Physics, New York, 1984
- /11/ P.A. Redhead, *Hystory of Vacuum Science and Technology*, American Institute of Physics, New York, 1984
- /12/ Guericke, Otto von, *Neue "Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum*, prevod latinskega teksta iz leta 1672, Leipzig 1986
- /13/ Kljaus E.M., I.B.Pogrebissckii, U.I. Frankfurt, Pascal, Nauka, Moskva, 1971

OBVESTILO

STROKOVNO IZOBRAŽEVALNI TEČAJ

Vse uporabnike vakuumske tehnike obveščamo, da bomo novembra 1993 ponovili strokovno izobraževalni tečaj

OSNOVE VAKUUMSKE TEHNIKE,
ki bo 9., 10. in 11. november 1993

Tečaj obravnava naslednjo tematiko:

- pomen in razvoj vakuumske tehnike
- fizikalne osnove vakuumske tehnike
- vakuumske črpalke: pregled in uporaba
- merilniki vakuumma
- vakuumski materiali
- vakuumski elementi
- tehnike čiščenja in spajanja elementov
- konstrukcija vakuumskih sistemov
- tankoplastne in druge vakuumske tehnologije
- čisti postopki

- analize površin
- doziranje, čiščenje in preiskave plinov

Celotni tečaj bo trajal 20 ur (predavanja, vaje in ogled Inštituta). Udeleženci bodo prejeli zbornik predavanj "Osnove vakuumske tehnike" in potrdilo o opravljenem tečaju.

Cena tečaja je 13.500 SIT.

Vsi tečaji se prično v torek ob 8. uri v knjižnici Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana. Prosimo interesente, da se informativno javijo čimprej, za dokončno potrdilo udeležbe pa velja kopija položnice o plačilu, najkasneje tri dni pred pričetkom tečaja, na naslov: Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, 61111 Ljubljana (štev. žiro računa: 50101-678-52240). Prijave sprejema organizacijski odbor (Koller, Spruk, Mozetič, Nemanič), ki daje tudi vse dodatne informacije (tel. 061 12 31 341).