

17. LJETNA ŠKOLA MLADIH FIZIČARA, Jelsa, 17. - 23. lipnja 2001.

Vakuumske tehnologije i njihov značaj u 21. stoljeću

Hrvoje Zorc, Institut "Ruđer Bošković", Zagreb

Mogli bismo reći da je datum rođenja vakuumske tehnike 1654. godina kad je Otto von Göricke proveo u Magdeburgu svoj čuveni eksperiment. On je načinio dvije šuplje brončane polukugle iz kojih je klipnom sisaljkom isisao zrak, te je na svaku od tih dviju polukugli zatim bio spojen četveropreg konja. Ta dva četveroprega nisu mogla razdvojiti polukugle. Znamo da je ustvari atmosferski tlak bio onaj koji se odupro razdvajanju, a vakuum je pripomogao da to dođe do izražaja. Dakle, da bi se taj pokus proveo, valjalo je načiniti vakuumsku sisaljku. Izum prve vakuumske vodene sisaljke pripisuje se Galileu i Betu (16. st.). Za svoj eksperiment Göricke je koristio vakuumsku sisaljku koju je osobno konstruirao 1640. godine.

To su bili prvi koraci vakuumske tehnike, koja je danas, kao što ćemo kasnije vidjeti, osvojila svijet. Kasniji značajni koraci u razvoju vakuumske tehnike datiraju iz početka 19. stoljeća kad je 1810. uvedena prva vakuumska poštanska linija, a 1879. je Edison prikazao električnu žarulju koja je mogla svijetliti jedino zbog prisustva vakuuma unutar nje. U to doba Edison je postignuo vakuum jednostavnom živinom klipnom pumpom koju je konstruirao Geissler 1858. Prvu mehaničku vakuumsku pumpu pokretanu električnim motorom konstruirali su 1905. Kaufmann i Gaede, 1913. pojavila se molekulska, 1915. živina difuzijska (Langmuir i Gaede) a 1936. uljna difuzijska pumpa (Burch i Hickman). Konačno se 1957. pojavila i turbomolekularna pumpa koju je izumio Becker.

Mjerenje vakuuma u prvo je vrijeme ostvarivano pomoću jednostavne U-cijevi ispunjene živom koju je izumio Torricelli. Razmak između razina žive s obje strane cijevi mjeren je milimetrima pa je zbog tog razloga i dugo vremena milimetar stupca žive (Torr) ostao i jedinicom za mjerenje vakuuma. Kasnije su se razvile i druge metode za mjerenje vakuuma. Tako je 1874. McLeod izumio kompresijski vakuummeter. 1906. Pirani je konstruirao vakuummeter koji se temeljio na principu hlađenja užarene žičice sudarnim procesima u vakuumu. Otkrićem elektrona 1898.

pojave su se vakuumske cijevi (dioda, trioda) pa i ionizacijski vakuumetar s vrućom katodom (Baeyer 1909.), kod kojeg se mjeri struja ioniziranih čestica. Kasnije je u široku primjenu ušao vakuumetar koji je izumio Penning, a temelji se na principu hladne katode u jakom magnetskom polju. Zgodno je spomenuti i vakuumetar s rotirajućom željeznom kuglicom (1950.). Kuglica lebdi u magnetskom polju i vrti se, pa se mjeri brzina usporavanja vrtnje zbog sudarnih procesa sa zaostalim česticama u vakuumu.

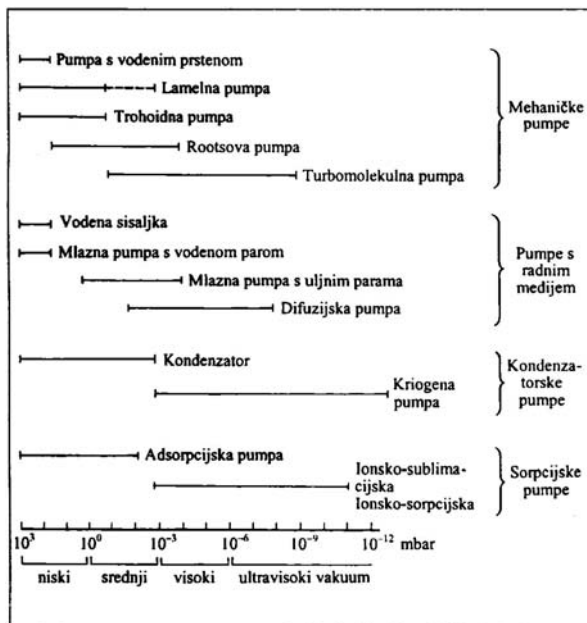
Danas praktički nema aktivnosti koja na neki način nema vezu s upotrebom vakuuma. Počevši od usisača u domaćinstvima, pakiranja hrane i žarulja pa sve do visokih tehnologija i akceleratorne tehnike, vakuumske tehnologije predstavljaju ključne tehnologije koje su tijekom 20. stoljeća dovele do razvoja elektronike, informatike i brzog razvoja čovječanstva. Čak niti ratovi nisu mogli zaustaviti taj razvoj, već je čak utrka u naoružanju svojedobno dovela do razvoja niza novih materijala i tehnika. Ta je utrka konačno dovela i do zamaha razvoja svemirskih tehnologija iz kojih se razvio niz nusproizvoda, koji su danas ušli u široku primjenu.

Što je ustvari vakuum? Pod vakuumom se razumijeva prostor u kojem se plin ili para nalaze pod tlakom nižim od atmosferskoga. Naziv potječe od latinske riječi *vacuum* što znači praznina ili prazan prostor. Teško da u svemiru zaista možemo pronaći potpuni vakuum odnosno potpuno prazan prostor jer čak i u međugalaktičkom području u svakom kubičnom centimetru možemo naći pokoju česticu. Jedinice za mjerenje vakuuma nekad su bili milimetri stupca žive, a danas su u upotrebi paskali (Pa) ili milibari (mbar) ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$, $1 \text{ Pa} = 100 \text{ mbar}$). Najbolji vakuum postignut u zemaljskim uvjetima iznosi oko $5 \times 10^{-14} \text{ mbar}$. Ako pretpostavimo da na sobnoj temperaturi pri atmosferskom tlaku ima približno 2.6×10^{19} molekula u jednom kubičnom centimetru (Loschmidt-ov broj), lako možemo izračunati da i u takvim uvjetima ultravisokog vakuuma u tako malom volumenu postoji još oko milijun molekula.

Često mislimo da je upravo svemir idealno mjesto za ostvarivanje još boljeg vakuuma i da je najjednostavniji način da astronauti otvore ventil neke komore i ispuste sav zrak. To, međutim nije jednostavno iz više razloga. Prvi je razlog što materijali od kojih je načinjena vakuumska komora nisu potpuno nepropusni, već se uz njihovu površinu adsorbiraju molekule iz atmosfere. Kad započne isisavanje, molekule koje su bile vezane fizikalnim i kemijskim silama, postupno se otpuštaju i na taj način stalno "kvare" vakuum u komori. To je i osnovni problem pri dobivanju ultravisokog

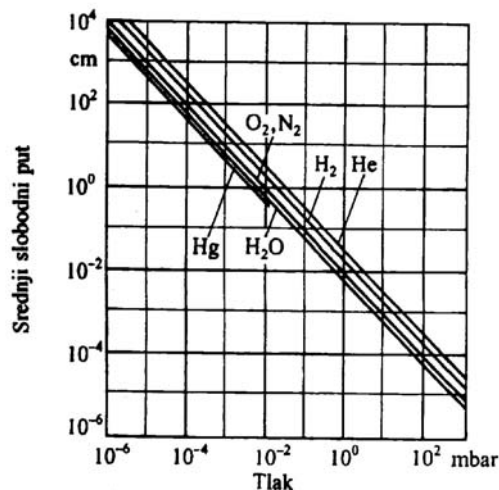
vakuuma u laboratoriju. Drugi problem koji bi imali astronauti u tako zamišljenom eksperimentu je činjenica da oko svemirskog broda vlada vakuum od "samo" oko 10^{-6} mbar. Razlog tome su plinovi koji se desorbiraju s površine i ispuštaju povremeno iz svemirskog broda.

Vakuum obično dijelimo na niski (10^2 - 10^0 mbar), srednji (10^0 - 10^{-3} mbar), visoki (10^{-3} - 10^{-6} mbar) i ultravisoki (bolji od 10^{-6} mbar). Na Slici 1 dat je prikaz vakuumskih područja i vrste pumpi koje koristimo za dobivanje pojedinog od njih.



Slika 1. Područja vakuuma i primjene vakuumskih pumpi

Često se vezano uz vakuum govori o pojmu srednjeg slobodnog puta. To je srednja vrijednost puta koji prođe čestica između dva sudara sa drugom česticom. Na Slici 2 prikazana je ovisnost srednjeg slobodnog puta o tlaku te vidimo da on varira od 10^{-5} cm pri atmosferskom tlaku, do 10^4 cm pri tlaku od 10^{-6} mbar. Kasnije ćemo vidjeti zašto je to vrlo značajna veličina.



Slika 2. Ovisnog srednjeg slobodnog puta o tlaku živinih i vodenih para te nekih plinova

Primjena vakuumske tehnologije u svakodnevnom životu već je dugo prisutna svuda oko nas premda smo to relativno rijetko primjećivali. Počela je s običnom žaruljom i "termos bocom", nastavila se je preko prvih cijevnih radio uređaja i usisača, svoj značajan razvoj dosegla je u TV tehnici, a vrhunac je dosegla, mogli bismo reći, u osobnim računalima, kod kojih možemo naći primjenjene skoro sve danas poznate vakuumske tehnologije.

Primjena vakuuma u elektronskoj industriji

Elektronska industrija je najznačajniji korisnik vakuumskih tehnologija današnjice. Počelo je s prvim elektronskim cijevima (dioda, trioda), zatim se je prešlo na tranzistore i poluvodičke tehnologije, a danas se je proširilo na izradu procesora, memorija, CD-ova, katodnih i LCD monitora, itd. Zbog čega uopće vakuum u katodnim cijevima? Njegova je osnovna funkcija da omogući nesmetan prolazak elektronima od izvora do ekrana. Ako se vratimo na Sliku 2, vidjet ćemo lako da je za prosječnu katodnu cijev dužine 40-tak centimetara potreban vakuum od barem 10^{-4} mbar kako ne bi došlo do deformacija elektronskog snopa. Naravno, vakuum na koji se cijevi isisavaju je 1-2 reda veličine niži kako bi cijevi ostale u funkciji 10-tak i više godina. U elektroničkoj industriji vakuum se upotrebljava u nizu različitih procesa kojima se fizikalnim putem na silicijsku ili plastičnu podlogu nanose tanki slojevi određenih materijala. Ukoliko se radi o silicijskoj podlozi, onda su to materijali karakteristični za poluvodičke tehnologije, iz kojih se kasnije izrezuju chipovi. Razvojem tehnologije i stupnja integracije, takve silicijeve podloge postaju sve veće i veće te su danas najčešće veličine 15-20 cm u promjeru. To znači da nanoseni sloj

mora biti jednolik duž cijele površine kako bi svi chipovi imali podjednake karakteristike. Na plastične podloge nanose se danas materijali karakteristični za CD-tehnologiju.

Primjena vakuuma u kemijskoj i farmaceutskoj industriji.

Vrlo značajna primjena vakuuma susreće se u postupku liofilizacije. To je metoda kojom se smrznuti preparat isušuje sublimacijom u vakuumu. Na taj se način sačuva osnovna struktura i svojstva biološki osjetljivih materijala. Tako se konzerviraju mnogi antibiotici i krvna plazma, kojima prije upotrebe samo treba dodati vodu. Vakuum se u kemiji koristi vrlo često u postupku vakuumske destilacije. Neke tvari su nestabilne na povišenoj temperaturi pa im se uz pomoć vakuuma snizi temperatura vrelišta. Prednost je vakuumske destilacije i u činjenici da se pri nižim tlakovima smanjuje i broj sudara molekula u plinovitoj fazi pa i vjerojatnost kemijskih reakcija i time stvaranje nečistoća tijekom destilacije.

Primjena vakuuma u metalurgiji

Nepoželjne primjese u čeliku i drugim metalima uzrokuju promjene njihovih mehaničkih i vodljivih svojstava. Najčešće su primjese kisik, fosfor i njihovi spojevi, te ugljikovi spojevi. Oni se mogu ukloniti isparivanjem s rastaljene površine metala u vakuumu. Kroz rastaljeni metal propuhuje se inertni plin koji istjeruje niz sitnih metalnih kapljica u ispumpani prostor. U metalu prisutni plinovi isparavaju s tih kapljica i ispumpavaju se. Ono što preostane je rastaljeni metal oslobođen plinova. Tako rastaljeni metal može se izravno lijevati u kalupe. U vakuumu se ponekad izvodi i zavarivanje laserom ili elektronskim snopom, a posebno u slučajevima kad je potrebna velika čvrstoća i nepropusnost zavora.

Primjena vakuuma u znanosti

U znanosti se primjenjuju mnogi uređaji koji koriste vakuum. Često su to veliki uređaji poput elektronskog mikroskopa ili akceleratora, gdje mora srednji slobodni put biti duži od nekoliko metara pa čak i kilometara. Primjerice, novi akcelerator CERN-a u Ženevi imat će opseg od 27 kilometara pa će čestice koje se ubrzavaju morati nesmetano juriti vakuumom bez opasnosti od sudara s nekom zaostalom česticom. Slična situacija je s dijelovima akceleratorskih sustava u kojima se ubrzane čestice pohranjuju u prstenu za pohranu ("storage ring"). Budući da one u njemu kruže duže vrijeme, to znači da u njima postoji ultravisoki vakuum! Znanstvena primjena vakuuma je i svugdje gdje se rade eksperimenti plazmom (laser,

fuzija), elektronski mikroskop, spektrometrija masa, i još u mnogim drugim situacijama.

Eto nas konačno i na kraju ovog prikaza o vakuumskoj tehnici, a ustvari na samom početku 21. stoljeća. Što možemo u budućnosti očekivati od primjene vakuumske tehnologije? Prije svega ona će omogućiti daljnji razvoj elektronske industrije. Nastat će tehnologije izrade velikih zaslona male debljine koji će se poput slika objesiti na zid u sobi. Nastat će i mali zasloni pomoću kojih će se na svakom mobitelu gledati televizijski program! Svemirska tehnologija doživjet će novi napredak razvojem ionskih motora, a čak postoje i špekulacije da bi se vakuum mogao iskoristiti kao izvor energije u svemirskim letovima.

Iako je vakuum prazan prostor, u kojem ničega nema, moramo mu ipak ostaviti malo mjesta za nova iznenađenja! I ništa može biti zanimljivo, zar ne?