

# NASVETI

## VAKUUMMETER McLEOD

### IZRAČUN GLAVNIH DIMENZIJ IN NAJPREPROSTEJŠA KONSTRUKCIJA KOMPRESIJSKEGA ŽIVOSREBRNEGA VAKUUMMETRA McLEODA S KVADRATNO SKALO

#### 1 Uvod

Živosrebrni vakuumski merilnik McLeod je osnovni standardni merilnik, za katerega velja Boylejev zakon za izotermno kompresijo idealnih plinov. Merjenje z njim je neposredno in neodvisno od vrste plina. Merilnik **ne potrebuje umeritve**, je torej absoluten, saj mu lahko skalo izračunamo vnaprej. Te merilnike uporabljamo za merjenje tlakov v območju med 10 in  $10^{-6}$  mbar.

Tako piše v učbenikih. Bolj preprosto povedano, pa je McLeod merilnik tlaka za vse pline, ki se pri stiskanju (pri konstantni temperaturi) ne utekočinijo. Torej **ne meri vodnih in drugih par**, ki se ne vedejo tako kot idealni plini. Druge vrste merilnikov, kot so npr. Piranijevi, Penningovi, ionizacijski, merijo **vse pline in pare**. Pravimo, da merijo celotni (totalni) tlak, medtem ko z McLeodov merilnik le delni (parcialni) tlak plinov. Če bi imeli na neki vakuumski sistem priključena Piranijev in McLeodov merilnik, bi lahko izmerili različne tlake, kajti prvi bi meril tlak vseh plinov in par, drugi pa le tlak plina, torej **nižji** tlak.

#### 2 Izračun

McLeodov vakuummeter, ki je v celoti steklen in napolnjen z živim srebrom, priključimo na vakuumski sistem oz. komoro (sl.1). Deluje tako, da v njem dvignemo živo srebro, ki stisne plin pri neznanem tlaku  $p$  v merilno bučko in merilno kapilarno, tako da je v primerjalni kapilari njegov nivo v višini zaprtega konca merilne kapilare\*.

Če je celotna prostornina merilnega dela McLeoda  $V$ , merjena od lege AA navzgor, znana, pa tudi prostornina komprimiranega zraka v kapilari  $V_k$ , potem je po omenjenem zakonu:

$$p \cdot V = (p + p_k) \cdot V_k \quad (1)$$

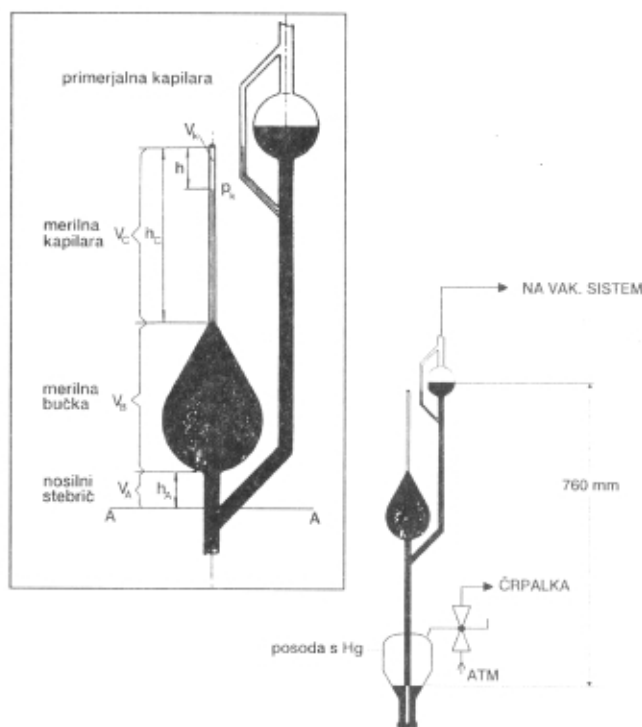
oz.

$$p = p_k \cdot (V_k / (V - V_k)) \quad (2)$$

$$V_k = (d^2 \cdot \pi / 4) \cdot h \quad (3)$$

$d$  je premer kapilare.

\* Meritev neznanega tlaka  $p$ , ki je v vakuumski komori, je opravljena tisti hip, ko dvigajoče se živo srebro zalije razcepišče AA. Če se tlak  $p$  v komori med tem spremeni, tega merilnik ne zazna. Za vsako meritev moramo spustiti Hg pod črto AA, da se tlaki v obeh krakih izravnajo. Nato Hg lahko spet dvignemo, da opravimo novo meritev.



Slika 1. McLeodov vakuummeter s kvadratno skalo

Ker je navadno neznan tlak  $p$  v vakuumskem sistemu (komori) mnogo manjši od tistega, ki smo ga stisnili v vrh merilne kapilare ( $p \ll p_k$ ), pa je tudi prostornina tega stisnjenega plina mnogo manjša od prostornine merilne bučke ( $V_k \ll V$ ). Enačba 2 se zato poenostavi v:

$$p = p_k \cdot V_k / V = p_k (d^2 \cdot \pi / 4 V) \cdot h \quad (4)$$

Tlak v kapilari  $p_k$  je v ravnotežju s tlakom, ki ga povzroča stolpec živega srebra v **primerjalni** kapilari (ki mora imeti natančno tak premer kot merilna kapilara). Rečemo lahko, da je tlak  $p_k$  kar enak višini  $h$  stolpca Hg (tako kot pri U manometru). Torej lahko enačbo 4 pišemo:

$$p = (d^2 \cdot \pi / 4V) \cdot h^2 = k \cdot h^2$$

(ali  $F_c/V \cdot h^2$ ; kjer je  $F_c$  presek kapilare). Neznani tlak je torej odvisen od **kvadrata višine h**. Te vrste McLeodove merilne bučke imajo torej kvadratno skalo. Poznamo pa tudi McLeodove merilnike tlaka z linearno skalo, ki imajo nekoliko drugačno konstrukcijo, in o njih tu ne bomo pisali.

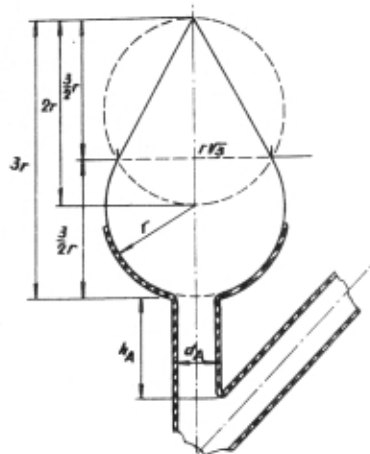
Če izrazimo **d** in **h** v mm in **V** v mm<sup>3</sup>, potem je tudi neznani tlak **p** v mmHg. Če mmHg pomnožimo z 1,3333, dobimo milibare (mbar), ki so dovoljena enota za navedbo tlaka. Jasno je tudi, da mora imeti merilna kapilara po celotni dolžini enak premer oz. presek. Obstajajo preproste metode za ugotavljanje enakomernosti preseka kapilare po celotni (uporabni) dolžini. Enako velja za primerjalno kapilaro, ki mora imeti, kot smo že zapisali, enak premer oz. presek.

Za izračun McLeoda s kvadratno skalo moramo vzeti celotno prostornino **V**, ki je sestavljena iz treh delov: **V<sub>A</sub>**, **V<sub>B</sub>**, in **V<sub>C</sub>**.

**V<sub>A</sub>** je prostornina nosilnega cevastega stebrička, ki je lahko enak za vse tipe McLeodov, in je npr. 1963,5 mm<sup>3</sup> ( $d_A = 10$  mm,  $h_A = 25$  mm). Prostornino celotne merilne kapilare tudi znamo izračunati (dolžina je navadno okoli 200 mm, presek oz. premer pa je odvisen od tega, kakšno merilno področje naj bi imel merilnik). Ostane nam še izračun prostornine merilne bučke. Če ima le-ta za izračun ugodno obliko, potem je spodnji del prisekana krogla, zgornji pa stožec (sl. 2). Če so vse dimenzije merilne bučke sorazmerne s polmerom krogle **r**, potem je prostornina celotne bučke:

$$V_B = \frac{3}{2} \pi \cdot r^3$$

oz. notranji polmer krogle  $r = 0,5964 \cdot V_B^{1/3}$



Slika 2. Preprosta konstrukcija merilne bučke McLeoda

Pri izdelavi merilne bučke moramo upoštevati debelino steklene stene. Praktično se je izkazalo, da je razlika med izračunano in izmerjeno prostornino **V** manjša od  $\pm 1$  %, če imate dobrega mojstra steklopahača.

### 3 Zgled

$$k = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ mmHg/mm}^2$$

$$d = 1,00 \text{ mm (natančno ugotovimo s posebnimi merilnimi metodami)}$$

$$h_c = 200 \text{ mm (izberemo)}$$

Iz teh podatkov izračunamo presek kapilare:

$$F_c = d^2 \pi/4 = 0,785 \text{ mm}^2$$

$$\text{Celotna prostornina } V \text{ je: } V = F_c/h_c = 7,85 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\text{Prostornina celotne kapilare: } V_C = F_c \cdot h_c = 157,1 \text{ mm}^3$$

$$\text{Prostornina nosilnega stebrička: } V_A = 1963,5 \text{ mm}^3 \text{ (izberemo)}$$

$$\text{Prostornina bučke: } V_B = V - (V_A + V_C) = 7,83 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Polmer krogle:

$$r = 0,5964 \cdot V_B^{1/3} = 0,5964 (7,83 \cdot 10^5)^{1/3} = 55 \text{ mm}$$

Druge dimenzije določimo po sliki 2.

Če tak McLeod med meritvijo pokaže višinsko razliko **h** npr. 12 mm, potem je tlak v komori:

$$p = k \cdot h^2 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 12^2 = 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ mmHg}$$

$$\text{oz. } 1,92 \cdot 10^{-4} \text{ mbar.}$$

McLeodov merilnik vam lahko izdelava vsak dober steklopahač, le dobro skico potrebuje in pa dve kapilari, ki morata biti premerjeni in morata imeti enaka premera.

Če boste bralci pokazali veliko zanimanja za (samo) izdelavo McLeodov ali njim podobne prenosne oz. ročne **vakustate**, potem vam bomo izdali še nekaj prepotrebni "trikov", da vam bo izdelava uspela.

Dr. Jože Gasperič,  
Institut "Jožef Stefan",  
Jamova 39, 61111 Ljubljana