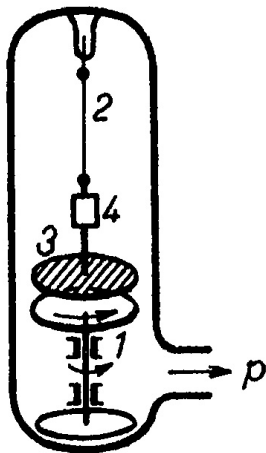
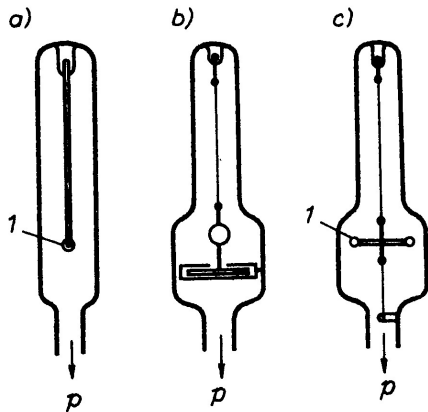


## Viskózní manometr

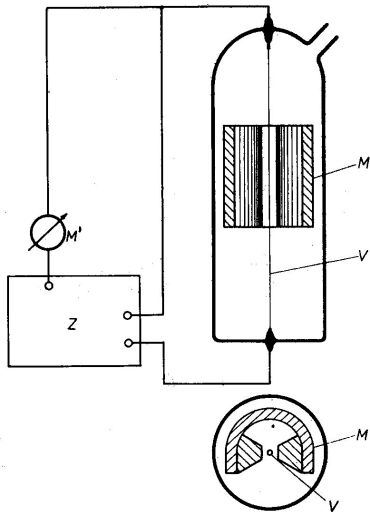


Měřicí obor  $10^{-5} - 10^0 Pa$

## Různé útlumové manometry



S kmitající tyčinkou, s kotoučem, který koná torzní kmity, s tyčinkou, která koná torzní kmity, rozsah  $\sim 10^{-4} - 10^1 Pa$



Obr. 7-12. Manometr s vláknem kmitajícím s konstantní výchylkou (dle Beckera)

*M* — magnet                      *Z* — zesilovač  
*V* — vlákno                        *M'* — měřicí přístroj.

## Viskózní manometr s rotující kuličkou

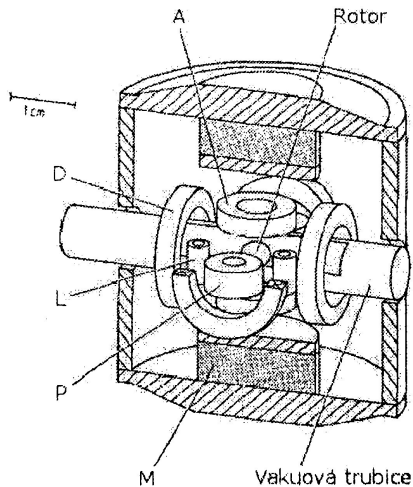
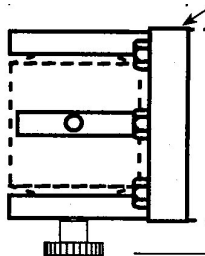
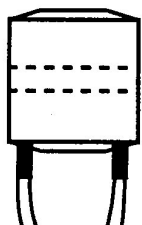
Měří se zpomalení rotující kuličky, která levituje v magnetickém poli. Měření je závislé na akomodačním koeficientu pro přenos tečné složky hybnosti pro daný plyn a kuličku. Akomodační koeficient je nutné určit experimentálně. Hodnota akomodačního koeficientu je v čase velmi stabilní.

$$-\frac{1}{\omega} \frac{d\omega}{dt} = \alpha \frac{10}{\pi} \frac{1}{\rho r} \frac{P}{v_a}$$

Malé kompaktní zařízení.

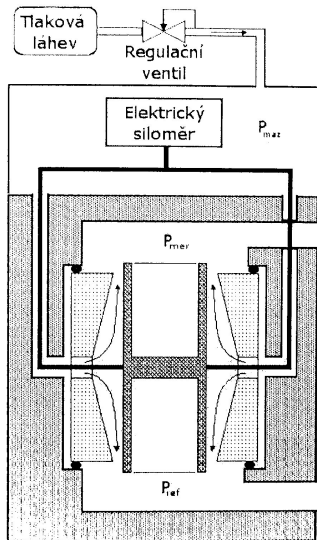
Rozsah 100Pa -  $10^{-5}$ Pa. Chyba měření pro tlaky 1Pa-100Pa asi 10%.

Chyba měření pro nízké tlaky asi 1%.



## *Konická tlaková měřka*

Patří do kategorie pístových měřidel tlaku. Tlak se měří jako síla působící kolmo na efektivní plochu pístu. Tento manometr měří tlakovou diferenci mezi prostorem nad pístem a prostorem pod ním. Typ FPG8601 - měřící rozsah 0.5Pa - 15KPa. Nejpřesnější manometr pro tento tlakový rozsah (státní etalon), rozlišení 10mPa, reprodukovatelnost 20mPa. Nutno započítat opravy na vztlakovou a třecí sílu mazacího plynu, tepelnou roztažnost pístu, ... Je nutné provádět kalibrace pomocí přesných závaží a nulování manometru. Tlak na referenční straně vlivem mazacího plynu neklesá pod 0.15Pa. Pro přesná měření v oblasti nízkých tlaků nutno měřit jiným manometrem.



## Tepelné manometry

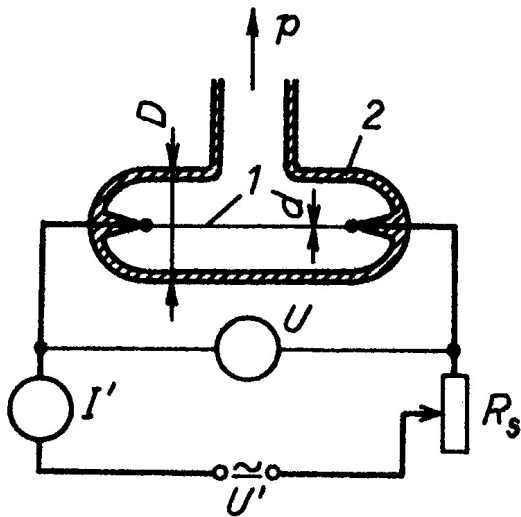
Princip je založen na závislosti tepelné vodivosti plynu na tlaku.  
Podstatnou částí manometru je nějaký citlivý element, který je elektrickým příkonem  $P$  vyhříván na teplotu  $T$ , vyšší než je teplota okolí  $T_0$ .

Nejčastěji měříme teplotu  $T$ :

- z velikosti odporu - odporové manometry
- pomocí termočlánku - termočláňkové manometry
- z deformace bimetalu - dilatační manometry



## Odporové manometry - Pirani



Odpor vlákna  $R = f(T)$

$$P_e = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad ; \quad R = R_0(1 + \beta(T - T_0))$$

$$P_e = P_c + P_z + P_p$$

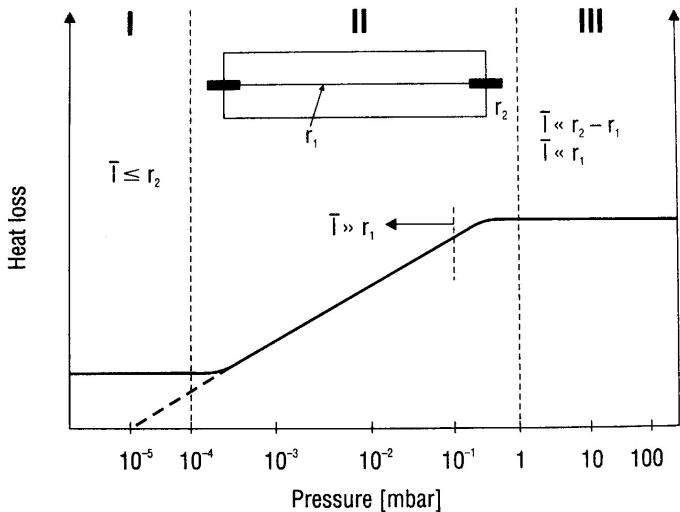
- $P_c$  - výkon odváděný molekulami plynu
- $P_z$  - výkon odváděný zářením vlákna
- $P_p$  - výkon odváděný přívody vlákna

$$P_z = S_0 \sigma \varepsilon (T^4 - T_0^4)$$

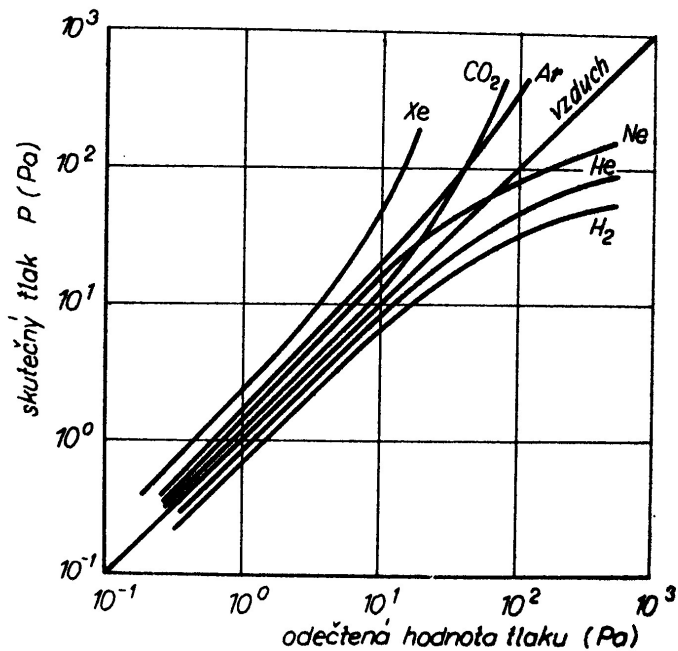
$$P_c = [\alpha \lambda_T(p)] S_0 (T - T_0)$$

$\alpha$  - akomodační koeficient

$\lambda_T(p)$  - tepelná vodivost



- I Thermal dissipation due to radiation and conduction in the metallic ends
- II Thermal dissipation due to the gas, pressure-dependent
- III Thermal dissipation due to radiation and convection

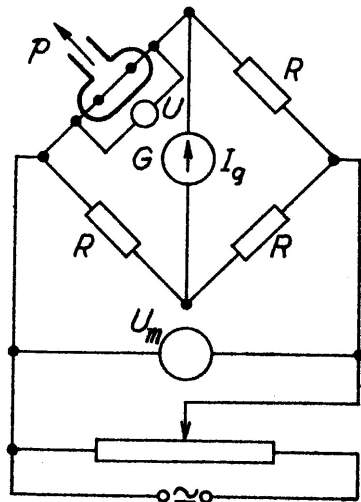


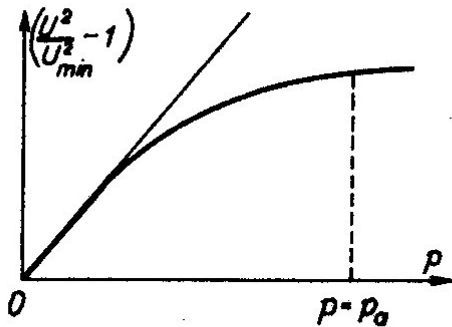
Tab. 5.3. Měrný odpor  $\rho$  a teplotní součinitel odporu  $\beta$  (orientační údaje)

Kov	$\rho$ ( $t = 0^\circ\text{C}$ ) ( $\Omega \text{ cm}$ )	$\beta$ ( $t = 0$ až $100^\circ\text{C}$ ) ( $\text{K}^{-1}$ )
konstantan (60 % Cu, 40 % Ni)	$50 \cdot 10^{-6}$	$\sim 0$
měď (obyčejná, vyžíhaná)	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
molybden (vyžíhaný)	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
nikl (obyčejný)	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-3}$
platina	$10 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-3}$
slitina Pt–Rh (90 % Pt)	$21 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-3}$
stříbro elektrolytické	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-3}$
tantal	$15 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
wolfram (vyžíhaný)	$4,5 - 5,5 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
železo (čistě)	$9 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$

## Metody měření

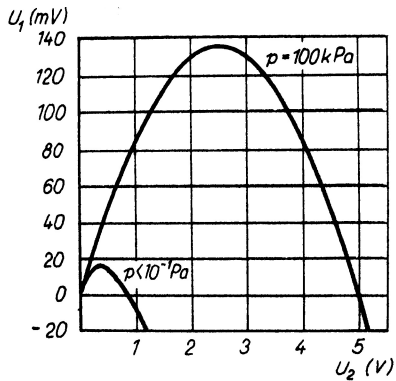
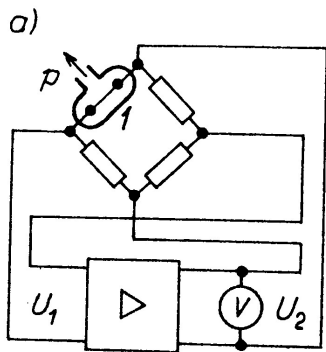
- Metoda konstantní teploty (odporu)
- Metoda konstantního proudu





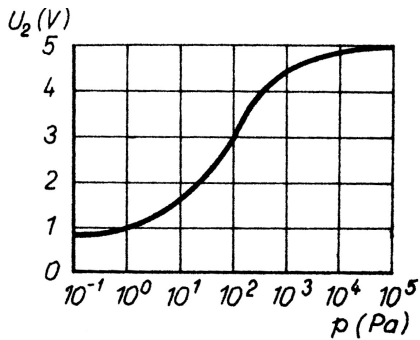
Obr. 5.18. Závislost  $\frac{U^2}{U_{\min}^2} - 1 = f(p)$ .

Při nízkých tlacích je lineární

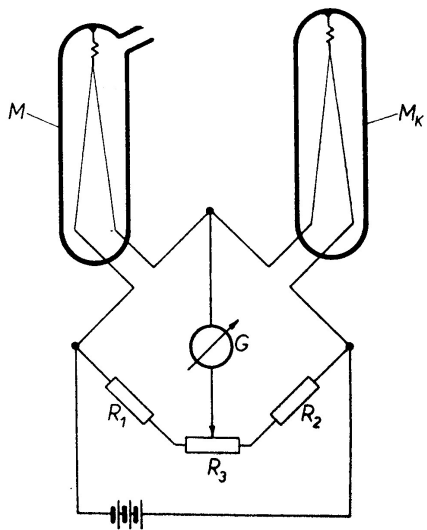


Tepelný vakuometr s konstantním odporem





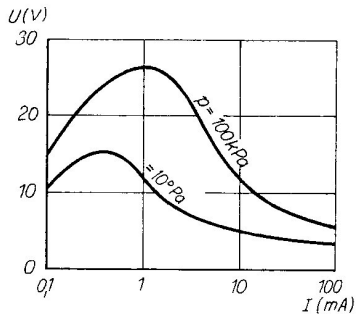
Vlákno  $d = 50 \mu m$ ,  $L = 50 mm$ , teplota  $T = 470 K$ ,  
měřící obor  $10 - 5000 Pa$



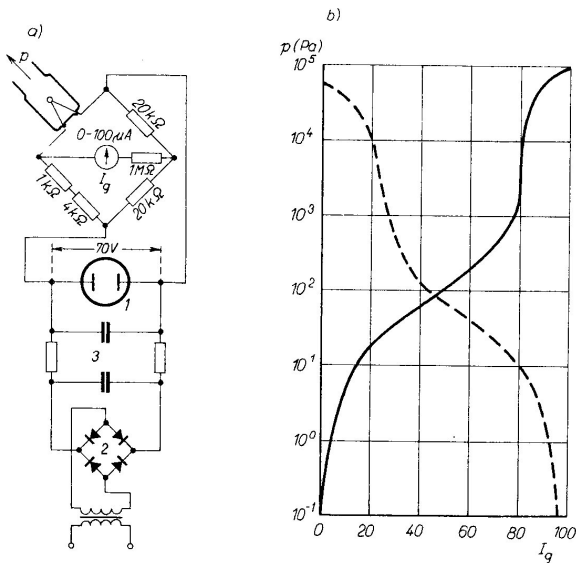
## Pirani manometr

- velmi jednoduchá konstrukce
- měřící rozsah  $10^{-2} - 10^5 Pa$
- chyba měření asi  $\sim 15\%$
- závisí na druhu plynu a na okolní teplotě

## Termistorový manometr



Obr. 5.22. Voltampérová charakteristika termistorového měřicího elementu

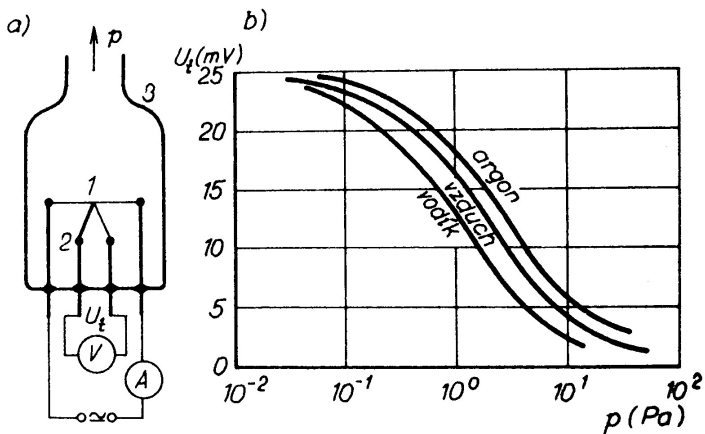


Obr. 5.23. Termistorový vakuometr (podle Pytkowského, 1955)

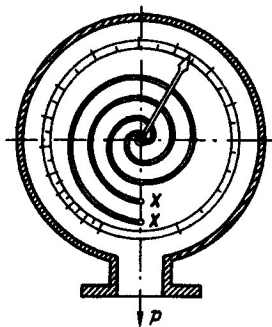
a) elektrické schéma: 1 – výbojový stabilizátor napětí; 2 – usměrňovač proudu; 3 – filtr;

b) kalibrační křivky pro vzduch při můstku v rovnováze: můstek vyrovnán při tlaku  $p \ll 10^{-1}$  Pa (plně); můstek vyrovnán při atmosférickém tlaku (čárkovaně)

## Termočlánkový-manometr



## Dilatační manometr



Obr. 5.26. Dvojkovový dilatační vakuometr (dle Klumba a Haase, 1936). Dvě dvojkovové (bimetalové) spirály jsou upevněny na svých koncích  $xx$  a jejich druhé konce jsou spojeny s ručičkou. Spirálami prochází proud, který je zahřívá. Ručička se otáčí v závislosti na tlaku

5W, 0.1-100Pa

Manometr	metoda	min [Pa]	max [Pa]
Kapalinové U-trubice	absolutní	$10^{-1}$	$10^5$
McLeodův	absolutní	$10^{-4}$	$10^2$
Mechanické	absolutní	$10^2$	$10^5$
Kapacitní	absolutní	$10^{-3}$	$10^5$
Piezo	absolutní	$10^1$	$10^5$
Molekulární	nepřímá	$10^{-5}$	$10^1$
Viskózní	nepřímá	$10^{-5}$	$10^1$
Odporové	nepřímá	$10^{-2}$	$10^5$