

REZISTENȚE PNEUMATICE NELINIARE.
UTILIZAREA DIAFRAGMEI CA ELEMENT DE MĂSURĂ A
DEBITULUI DE FLUID

1.1 OBIECTUL LUCRĂRII

Relațiile de calcul ale rezistențelor pneumatice neliniare. Cunoașterea diafragmelor, modul de montare și utilizarea lor ca elemente sensibile în măsurarea debitului fluidelor.

1.2 CONSIDERAȚII TEORETICE

Conform analogiei electro-pneumatice, o rezistență pneumatică se definește prin relația (1.1):

$$\Delta p = R_p * Q \quad (1.1)$$

unde, $\Delta p = p_1 - p_2$ este căderea de presiune intrare-ieșire pe rezistență ; R_p este valoarea rezistenței pneumatice ; iar Q reprezintă debitul de fluid prin rezistență. Se reține că relația (1.1) este valabilă numai în cazul rezistențelor pneumatice liniare, ca de altfel și analogia electro-pneumatică.

Pentru domeniul neliniar, rezistența pneumatică este caracterizată de o relație de forma (1.2), relație care evident este neliniară:

$$Q = f(\Delta p) \quad (1.2)$$

semnificația elementelor prezente în relație a fost prezentată anterior.

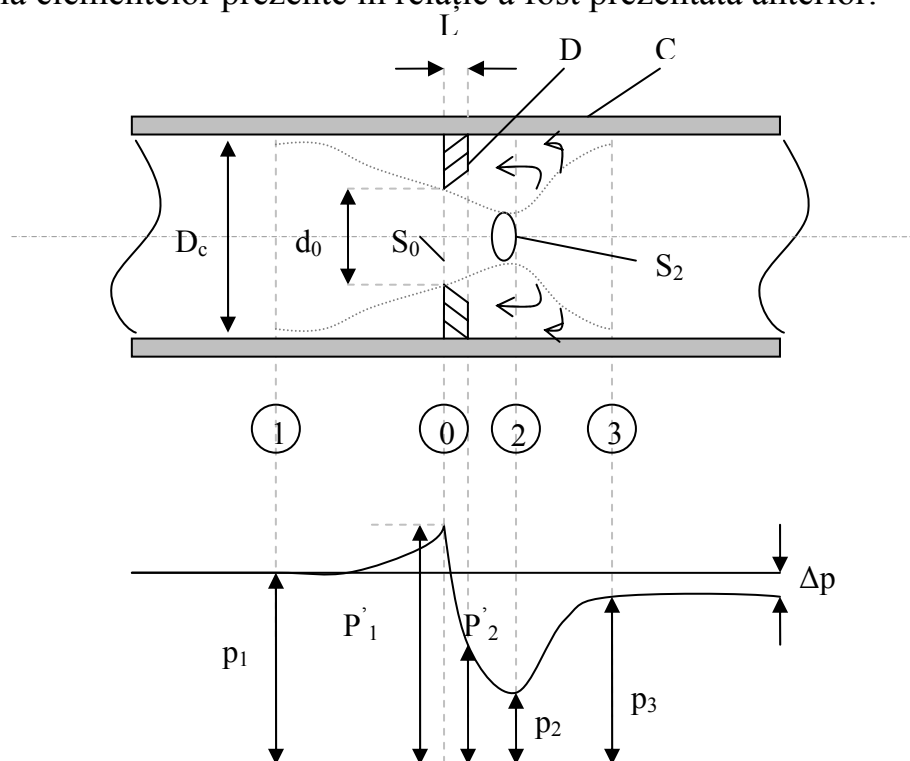


Figura 1.1

Constructiv, rezistența pneumatică se poate defini ca o restricție în calea fluxului de aer, caracterizată printr-un diametru de trecere “ d_0 ” și o anumită lungime “ L ”. (vezi figura 1.1)

Condițiile de existență pentru o rezistență pneumatică neliniară se referă la :

- raport mic între lungime și diametru
- pierderile de presiune liniare, în lungul rezistenței, sunt neglijabile în raport cu cele locale (la intrare și ieșire).

Referitor la figura 1.1, în conducta (C) avem o rezistență neliniară de tip diafragmă (D), caracterizată de secțiunea de trecere $S_0 = \pi * D_0^2 / 4$. Trecerea fluidului prin rezistență este caracterizată de un regim turbulent, de o cadere de presiune $\Delta p = p_1' - p_2'$ și o micșorare a secțiunii fluidului (contractare) până la S_2 (mai mică decât S_0), a cărei arie și poziție nu e precis determinată.

Calculul debitului prin rezistență se face cu relația :

$$Q_g = S_2 * w_2 * \gamma_2 \quad (1.3)$$

unde : Q_g – debitul gravimetric

S_2 – aria de trecere a fluidului prin rezistență

w_2 – viteza fluidului în secțiunea S_2

γ – greutatea specifică

Viteza fluidului este dată de relația Saint-Venant :

$$w_2 = \sqrt{\frac{2x}{x-1} * \frac{p_1}{\rho_1} * \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} \right]} \quad (1.4)$$

unde : x – indicele adiabatic

Considerând transformarea adiabatică caracterizată de :

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{x}} \quad (1.5)$$

iar secțiunea S_2 ca fiind exprimată în funcție de S_0 :

$$S_2 = C_d * S_0 \quad (1.6)$$

unde C_d reprezintă coeficientul de debit subunitar, se obține :

$$Q_g = C_d * S_0 * p_1 \sqrt{\frac{2x}{x-1} * \frac{g}{R * T_1} * \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{x}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x+1}{x}} \right]} \quad (1.7)$$

Raportul $\frac{p_2}{p_1}$ se notează cu “ ε ” și se numește coeficient de destindere.

Debitul maxim se obține din $\frac{dQ_g}{d\varepsilon} = 0$ pentru $\varepsilon_{cr} = \left(\frac{2}{x+1}\right)^{\frac{x}{x-1}}$ (coeficientul de destindere critic, care în cazul aerului are valoarea 0.528; p_1 – presiunea în amonte, p_2 – presiunea în aval).

Curgerea practică prin rezistență, funcție de ε , arată ca în figura 1.2. Se definesc următoarele regimuri de curgere :

- $\varepsilon > \varepsilon_{cr}$ – regim subcritic, calculul făcându-se cu relația (1.7)
- $\varepsilon = \varepsilon_{cr}$ – regim critic
- $\varepsilon < \varepsilon_{cr}$ – regim supracritic

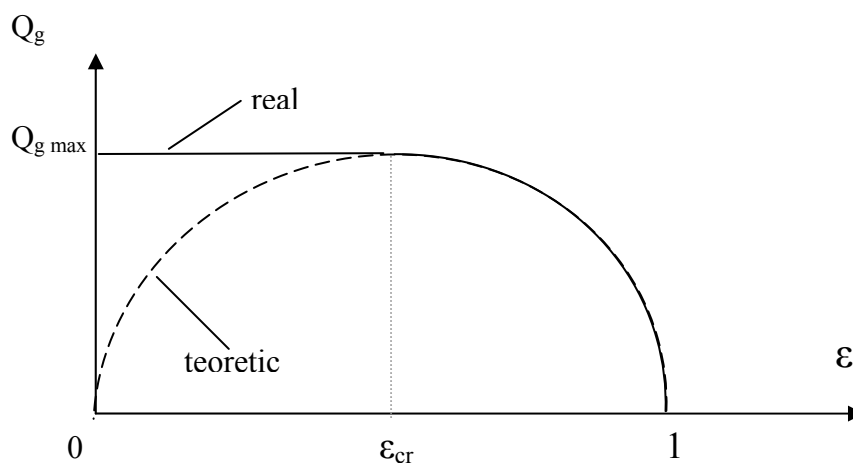


Figura 1.2

În cazurile b) și c) debitul prin rezistență este egal cu debitul maxim ce se poate obține cu relația (1.7), în care ε se înlocuiește cu ε_{cr} .

1.3 DIAFRAGMA CA ELEMENT DE MĂSURARE A DEBITULUI

În situația în care se măsoară $\Delta p = p_1 - p_2 \cong p'_1 - p'_2$ (vezi figura 1.1), pe baza relației (1.7) se poate calcula debitul de aer (sau gaz) prin diafragmă. Metoda utilizării diafragmei se întâlnește în următoarele situații :

- măsurări de debite : aer, gaz metan, abur (și pentru lichide, dar folosind alte relații de calcul), când nu se dispune de debitmetre adecvate.
- conectarea traductoarelor pneumatice de tip AT 30 PLT 370, sau echivalente, în cazul buclelor de reglare a debitului.
- conectarea debitmetrelor care utilizează semnal diferențial de presiune la intrare, cum sunt cele cu plutitor.

În cadrul acestei lucrări se vor efectua măsurători de debite de aer conform montajului din figura 1.3 :

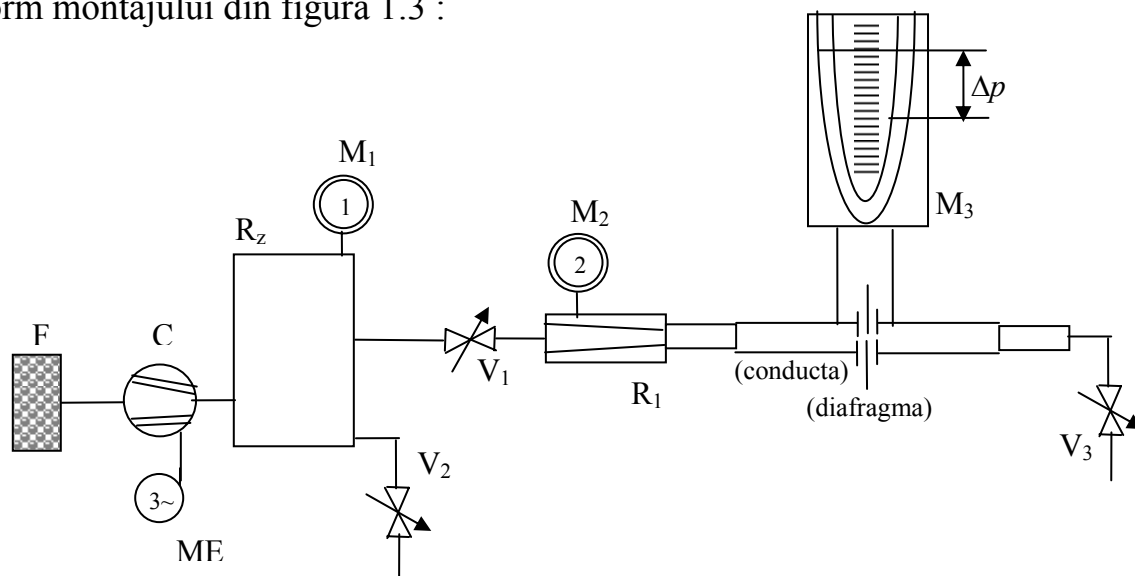
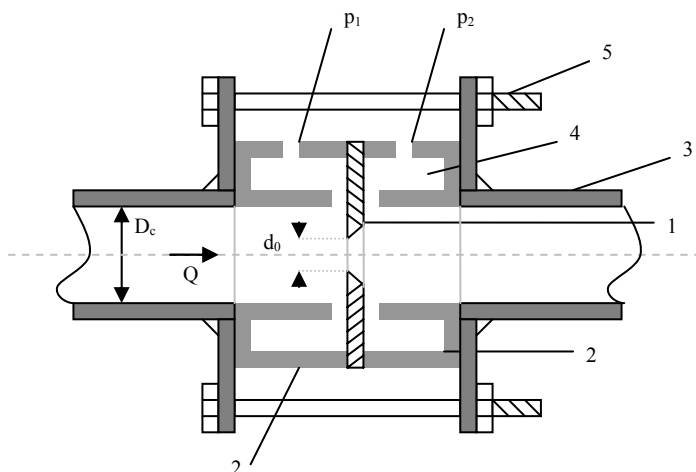


Figura 1.3

În figura 1.3 s-au notat :

- C – compresor (ECR) cu filtru (F);
- R_z – rezervor 140 l;
- M_1, M_2 – manometre (0...10 bar și 0...5 bar);
- R_1 – filtru reductor tip FR 100;
- M_3 – manometru diferențial cu coloană de apă;
- V_1, V_2, V_3 – ventile;
- D – diafragmă;

Diafragma este montată pe o porțiune orizontală a conductei având diametrul constant pe o porțiune $15...20 \cdot D$ în amonte și $5 \cdot D$ în aval de diafragmă. Prizele de la care se culeg cele două semnale de presiune, p_1 și p_2 , sunt în imediata vecinătate a diafragmei ($< 0.3 \cdot D$). Detaliile constructive și de montare a diafragmei apar în figura 1.4 :



- 1 – diafragmă
- 2 – dispozitiv prindere
- 3 – conductă
- 4 – camera masurare
- 5 – șurub fixare

Figura 1.4

1.3.1 MĂSURAREA DEBITULUI REAL

Se ridică presiunea în rezervor (R_z) la 5 bar, situație în care, în acesta se află 700 litri de aer ($5 * 140$). Se deschide robinetul de curgere prin conductă până presiunea scade la 4 bar, cronometrând timpul scurs (t_1 [sec]).

Debitul mediu volumetric devine :

$$Q_{vm} = \frac{140}{t_1} \quad [\text{l/sec}] \quad (1.8)$$

care se transformă în debit gravimetric :

$$Q_{gm} = \gamma_{aer} * Q_{vm} \quad [\text{kgf/sec}] \quad (1.9)$$

unde : $\gamma_{aer} = 1.293 \text{ kgf/m}^3$.

1.3.2 DEBITUL CALCULAT

Se reiau măsurătorile sau se fac în paralel cu cele de la punctul precedent.

La deschiderea fluxului de aer prin conducta cu diafragmă, la $p_1=5$ bar, se citește la manometrul diferențial Δp_5 [mm H₂O], iar la închidere, la $p_1=4$ bar, se citește Δp_4 [mm H₂O].

Se calculează debitul gravimetric cu relația (1.7) în care :

$$\Delta p = \frac{\Delta p_5 + \Delta p_4}{2} [\text{mmH}_2\text{O}];$$

$$p_2 = p_1 - \Delta p [\text{bar}];$$

$$p_1 = \frac{5 + 4}{2} = 4.5 [\text{bar}]; \text{ (presiunea medie la intrare)}$$

Alte date:

$$C_d = 0.632897;$$

$$d_o = 11.565 \text{ mm};$$

$$x = 1.4 \text{ (aer)};$$

$$R = 2927 \text{ cm/}^\circ\text{K}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2;$$

$$T_1 = 273 + t_a; \quad t_a - \text{temperatura ambientă.}$$

Nota: Se va lucra în debite gravimetrice ținând cont de următoarele transformări :

$$1 [\text{mm H}_2\text{O}] = 1 \text{ kgf/m}^2; \quad 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar};$$

Bibliografie :

[1] Gh. Lazea – Echipamente de automatizare pneumatice și hidraulice – îndumător de laborator; Lito IPCN – 1982.

[2] Gh. Lazea – Echipamente de automatizare pneumatice și hidraulice – note de curs; Lito IPCN – 1986.