

1. MĂSURAREA DEBITELOR CU AJUTORUL DIAFRAGMELOR

1.1 NOȚIUNI INTRODUCATIVE ȘI RELAȚII DE CALCUL

1.1.1 MĂSURĂTORILE DE DEBIT UTILIZÂND CA DISPOZITIV DE STRANGULARE DIAFRAGMA SE EFECTUEAZĂ CONFORM STAS 74

Măsurătorile de debit utilizând ca dispozitiv de ștrangulare (diafragma), principiul de măsurare fiind transformarea parțială a energiei potențiale a fluidului în energie cinetică, astfel că viteza în secțiunea ștrangulată crește, iar presiunea va scădea față de secțiunea din amonte de ștrangulare. Se stabilește o relație de calcul între viteza fluidului, debit și căderea de presiune pe ștrangulare. Diafragma este un disc de oțel prins între două flanșe montate pe conducta la care se măsoară debitul de fluid (fig. 1)

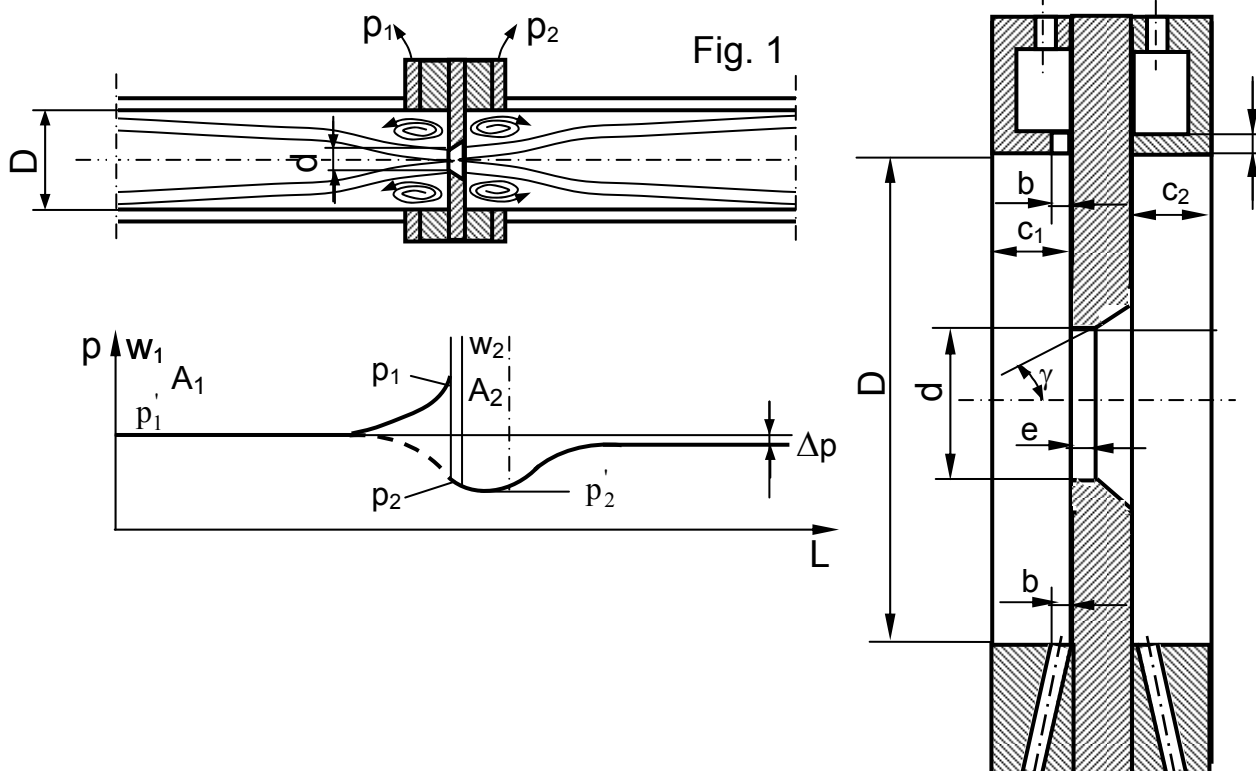


Figura 1.1 ?

$$e = (0,005 \dots 0,02) D; E = e \dots 0,05 D; \gamma = 30^\circ \dots 45^\circ$$

$$d = (0,1 \dots 0,8) D; b \leq 0,03 D; (\beta \leq 0,65); b \leq (0,01 \dots 0,02) D$$

$$\beta > 0,65; c_1 < 0,2 D; c_2 > 0,5 D; f \geq 2b; \beta = \frac{d}{D}$$

S-au făcut următoarele notații:

D - diametrul conductei;

D - diametrul secțiunii minime a diafragmei;

m - raportul secțiunilor, sau raportul de deschidere;

$$m = \frac{A_o}{A_1} = \frac{d_t^2}{D_t^2} \quad (1) \quad (1.1)$$

$$D_t = D_{20} [1 + \alpha_D (t_1 - 20)] = D_{20} \cdot K_t \quad (2) \quad (1.2)$$

$$d_t = d_{20} [1 + \alpha_d (t_1 - 20)] = d_{20} \cdot K_t \quad (3) \quad (1.3)$$

unde:

D_{20}, d_{20} - diametrele la temperatura de 20° C;

α_d, α_D - coeficienții medii de dilatare a materialului; ? factor de corecție (fig. 2).

p_1, w_1 - presiunea statică și viteza în secțiunea amonte de diafragmă;

p_2, w_2 - presiunea statică și viteza în secțiunea aval de diafragmă.

A_o - secțiunea minimă de curgere: $A_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$;

A_2 - secțiunea contractată;

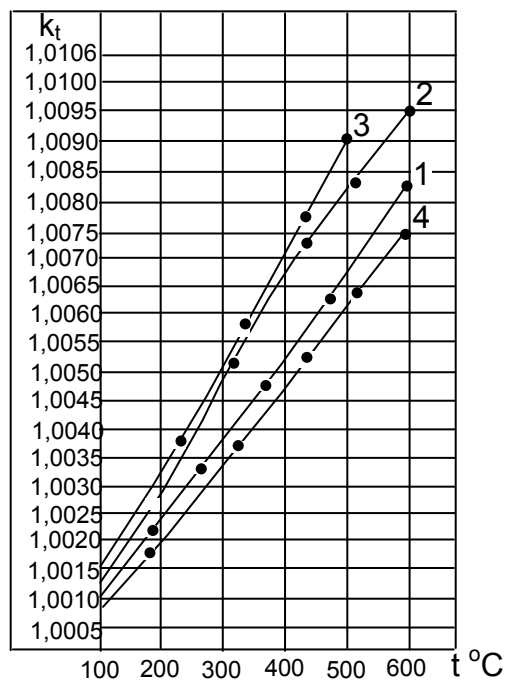


Fig. 2

Figura 1.2 ?

În cazul fluidului compresibil s-au dedus relațiile pentru debitul volumic și debitul masic și anume:

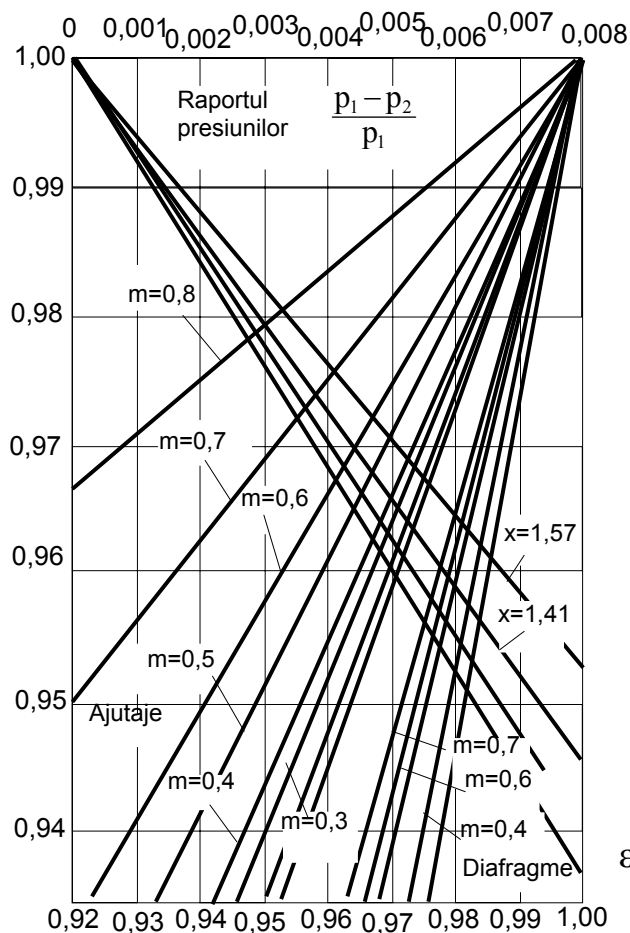


Fig. 3

Figura 1.3 ?

$$\dot{V}_c = \alpha \cdot \varepsilon \cdot m \frac{\pi D_t^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_1} (p_1 + p_2)} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi d_t^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_1} (p_1 + p_2)}; \quad (4) \quad (1.4)$$

$$\dot{m}_c = \alpha \cdot \varepsilon \cdot m \frac{\pi D_t^2}{4} \sqrt{2\rho_1 (p_1 - p_2)} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi d_t^2}{4} \sqrt{2\rho_1 (p_1 - p_2)}; \quad (5) \quad (1.5)$$

unde:

α - coeficient de debit;

ε - coeficient de expansiune caracteristic fluidelor compresibile (pentru lichide $\varepsilon = 1$);

$\varepsilon = f\left(\frac{\Delta p}{p_1}\right), m, \gamma$; și este dat în fig. 3.

$\Delta p = p_1 - p_2$ - diferența de presiune dintre amonte și avalul dispozitivului de ștrangulare;

$$\Delta p = \rho_u \cdot g \cdot \Delta h \quad (6) \quad (1.6)$$

ρ_u = densitatea lichidului din manometrul tub U;

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - accelerația gravitațională;

Δh - denivelarea citită la manometrul legat la diafragmă;

$p_{\text{presiunea}}$ absolută a gazului în amonte de diafragmă.

$$p_1 = p_o + \rho_u \cdot g \cdot \Delta h_{\text{tot}} \quad (7) \quad (1.7)$$

p_o - presiunea barometrică.

Δh_{tot} - denivelarea citită la manometrul legat la tubul Pitot - Prandtl.

$K = \gamma = \frac{c_p}{c_v}$ - exponentul adiabatic

c_p - căldura specifică a gazului la presiune constantă;

c_v - căldura specifică a gazului la volum constant;

ρ_1 - densitatea gazului în amonte de diafragmă:

$$\rho_1 = \frac{p_1 M}{RT_1} \quad (1.8)$$

M - (kg/kmol) masa molară a gazului;

$R = 8314$ (J/kmol·K) - constanta universală a gazelor perfecte;

T_1 - temperatura gazului în amonte de diafragmă.

Curgerea fluidului prin diafragmă depinde de vâscozitatea acestuia, respectiv de valoarea criteriului Reynolds în conductă. Coeficientul de debit, α , depinde de: densitatea gazului, viscozitate, viteză, orificiul diafragmei, rugozitatea pereților conductei: $\alpha = f(\bar{Re}, m)$ unde:

$$\bar{Re} = \frac{w_m \cdot D}{\nu} \dots\dots \quad (9) \quad (1.9)$$

este criteriul Reynolds, în care:

w_m - viteza medie a gazului în conductă;

D - diametrul conductei;

ν - vâscozitatea cinematică a gazului (tab. 1)

Tabelul 1.1 Tabelul 1(pentru aer)

t	°C	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\nu \cdot 10^{-6}$	M ² /s	14,83	14,93	15,03	15,12	15,22	15,32	15,42	15,51	15,61
21	22	23	24	25	26	27				
15,70	15,80	15,90	16,0	16,10	16,19	16,29				

S-a dovedit experimental că odată cu creșterea valorii criteriului Re , coeficientul de debit α , pentru aceeași valoare a lui m , tinde spre o valoare a lui m , tinde spre o valoare constantă.

Criteriul Re , începând de la care coeficientul de debit, α , rămâne constant, se numește criteriul Reynolds limită, notat Re_{lim} . În tabelul 2 sunt date valorile pentru Re_{lim} .

Tabelul 1.2

m	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Re_{lim}	36000	54000	74000	100000	135000	160000	200000	270000

Valoarea coeficientului de debit pentru condiția $Re_D \geq Re_{lim}$ se numește coeficient de debit inițial. α_{in} și este dat în figura 4.

Pentru cazul când $Re_D < Re_{lim}$, $\alpha_{in} = f(Re_D)$ și este dat în figura 5.

Acest coeficient de debit se corectează după relația:

$$\alpha = \alpha_{in} \cdot a_1 \cdot a_2, \quad (10) \quad (1.10)$$

unde:

a_1 - coeficient care ține seama de calitatea prelucrării muchiilor diafragmei (fig. 6);

a_2 - coeficient care ține seama de rugozitatea conductei (fig. 7).

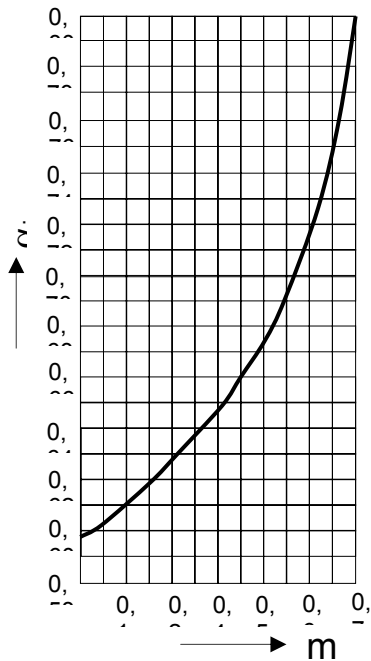


Fig. 4

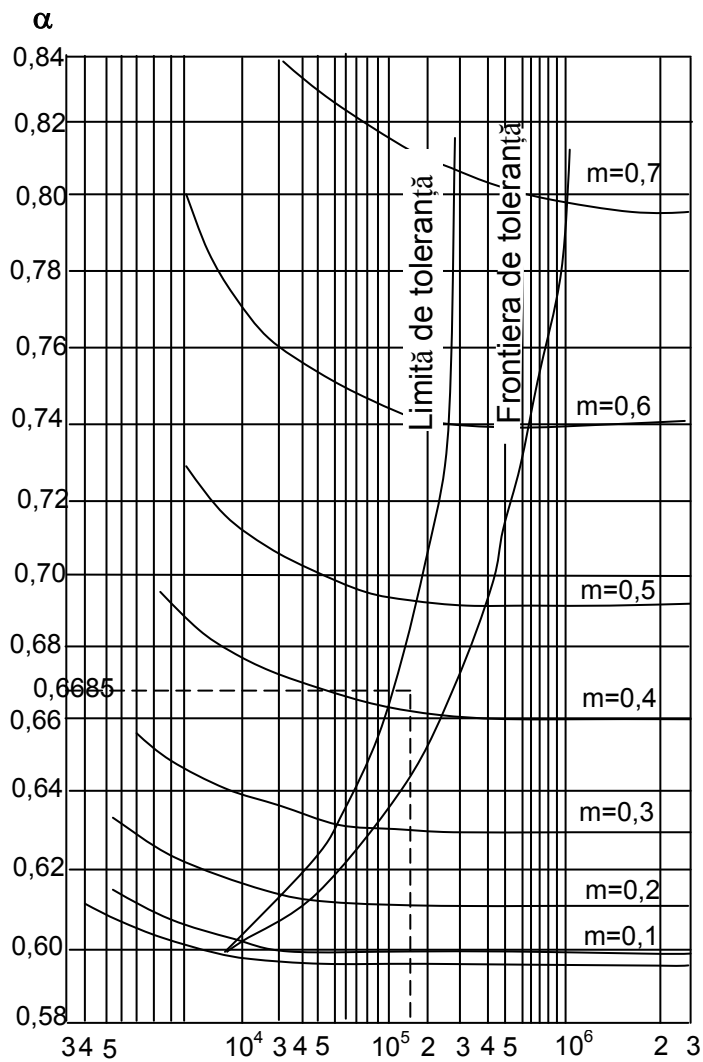


Fig. 5

Figura 1.4 ?

Nu este admisă montarea dispozitivelor de ștrangulare în apropierea rezistențelor locale.

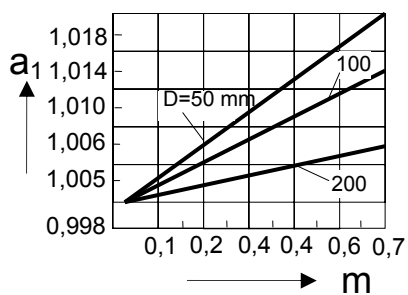


Fig. 6

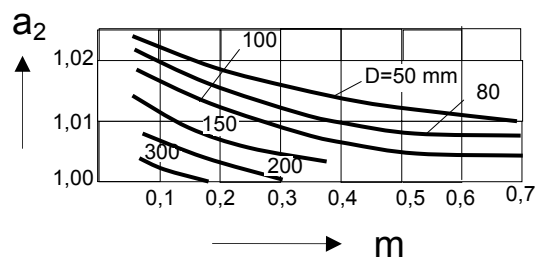


Fig. 7

Figura 1.5 ?

1.2 2. INSTALAȚIA DE LABORATOR

Schema instalației este dată în figura 8.

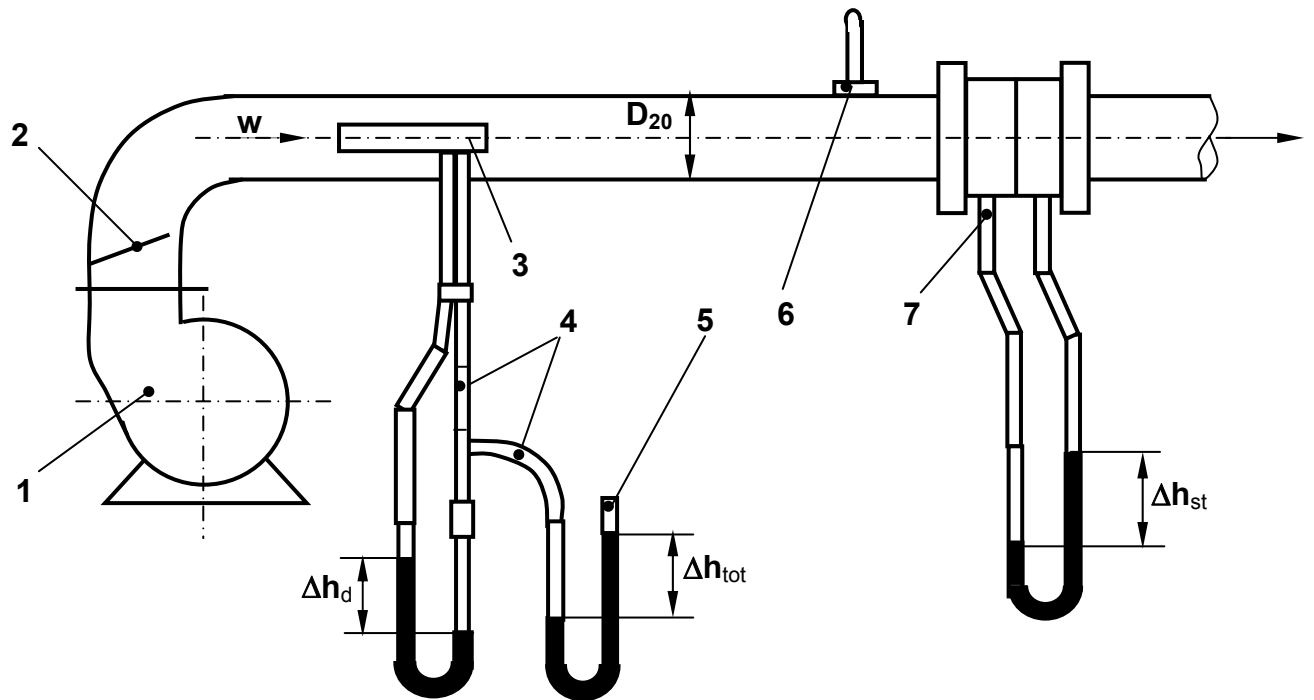


Figura 1.6 Fig 8 1- ventilator; 2 - clapetă de reglaj; 3 - tub Pitot - Prandtl; 4 - legături elastice; 5 - manometru tub U; 6 - termometru; 7 - diafragmă.

Cu această instalație se urmărește calcularea debitului de aer care circulă printr-o conductă (de diametru D_{20}) pentru două poziții oarecare ale clapetei de reglaj 2. Se compară apoi rezultatele obținute cu cele citite la indicatorul de debit, în cazul măsurării automate a debitelor la gaze. Se calculează o eroare de măsurare, considerând ca valoare de referință debitul măsurat cu instalația automată:

$$e = \frac{\dot{V}_c - \dot{V}_o}{\dot{V}_o} \cdot 100 \% \quad (11) \quad (1.11)$$

unde:

\dot{V}_c - debitul de aer calculat (m^3/h);

\dot{V}_o - debitul de aer citit la indicatorul de debit (m^3/h);

schema bloc a instalației pentru măsurarea automată este dată în figura 9.

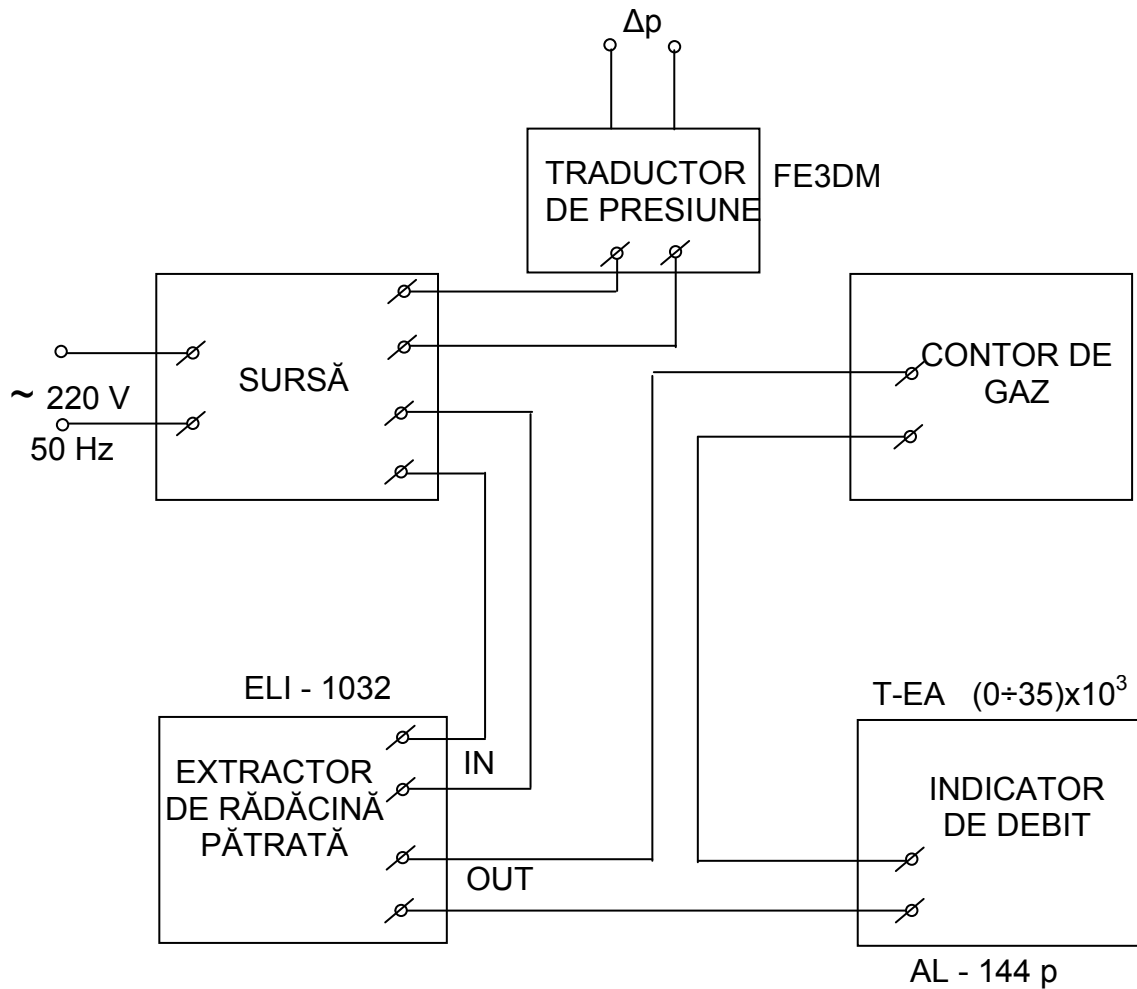


Figura 1.7 Fig. 9

Semnalul de intrare al traductorului de presiune este căderea de presiune (Δp) de pe diafragmă.

În figura 10 este dată schema electrică de acționare pentru măsurarea automată a debitelor la gaze.

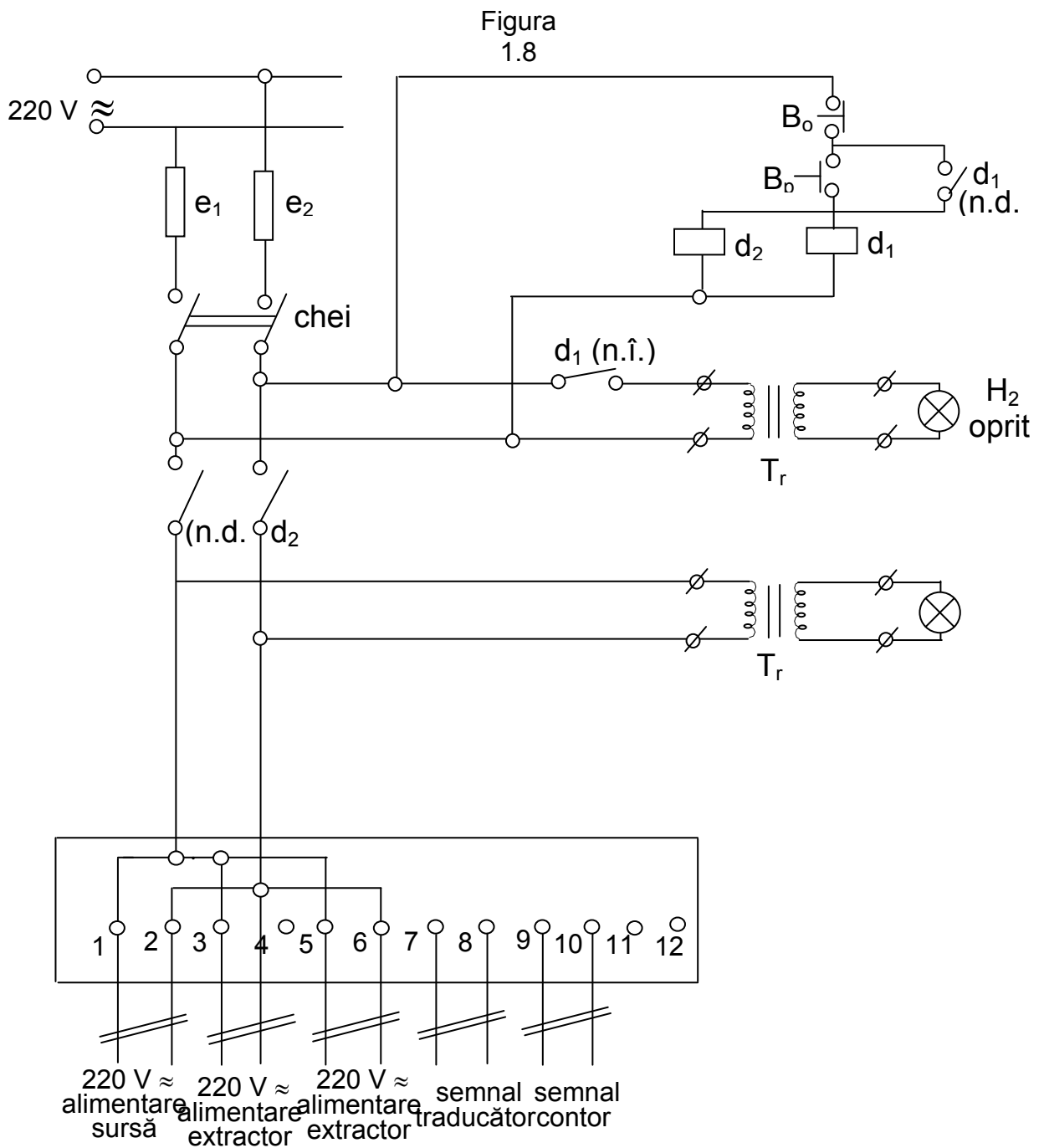


Fig. 10. Schema electrică de acționare pentru măsurarea debitelor gazelor: e_1 , e_2 - siguranțe; H_1 , H_2 - lămpi de semnalizare; B - buton pornire; B_o buton oprire; T_r - transformatoare; d_1 d_2 - bobine contactoare.

Traductorul electric de presiune diferențială (tip FE 3 DM), este destinat măsurării presiunilor diferențiale cuprinse între 0...20 kPa transmitând la ieșire un semnal unificat în intervalul 4...20 mA. Funcționarea acestor aparate se bazează pe principiul compensării forțelor.

Integratorul electronic de rădăcină pătratică (ELI-1032) primește la intrare un semnal unificat de tensiune sau curent continuu afișând numeric valoarea integrării în timp a rădăcinii pătrate a acestui semnal.

1.3 EFECTUAREA LUCRĂRII

Procedeeul cel mai simplu pentru determinarea vitezei medii a aerului w_m în conductele cu secțiune circulară se bazează pe faptul că:

$$\frac{w_m}{w_{max}} f(Re) \quad (12) \quad (1.12)$$

unde: w_{max} - viteza aerului în axa conductei;

$$Re = \frac{w_{max} \cdot D}{\nu} \quad (13) \quad (1.13)$$

$$w_{max} = \sqrt{2 \frac{p_d}{\rho_1}} = \sqrt{2 \frac{\rho_u \cdot g \cdot \Delta h_d}{\rho_1}} \quad (14) \quad (1.14)$$

$p_d = \rho_u \cdot g \cdot \Delta h_d$ - presiunea dinamică a aerului.

Obs. Pentru situația când nu se poate măsura presiunea totală a gazului în amonte de diafragmă, densitatea ρ_1 se poate calcula și cu presiunea statică (eroarea de calcul fiind sub 2 %), adică:

$$\rho_1 = \frac{p_{st} \cdot m}{RT_1} \quad (15) \quad (1.15)$$

Știind viteza maximă w_{max} se calculează Re și cu această valoare se poate determina raportul w_m/w_{max} din fig. 11 și deci valoarea vitezei medii w_m .

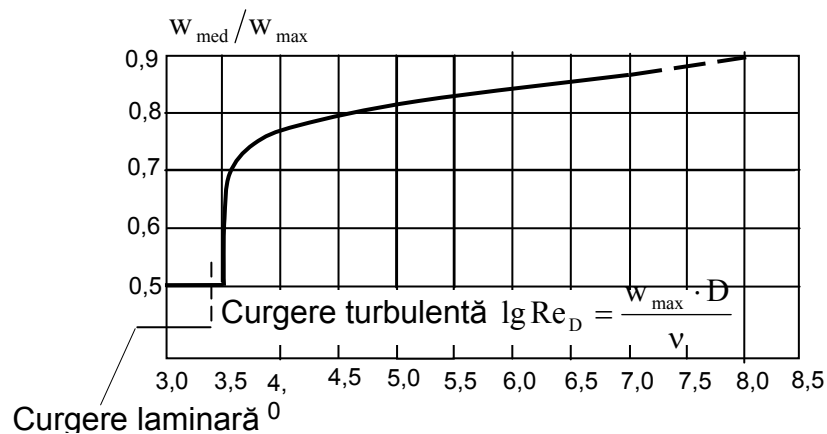


Figura 1.9

Diafragma montată pe conductă este executată din oțel inox. Secțiunea în care se măsoară viteza maximă trebuie să se afle la o distanță de cel puțin 40...50 de diametre față de intrarea aerului în conductă.

Se citesc parametrii necesari calculului și se întocmește următorul tabel pentru două poziții ale clapetei de reglaj.

Tabelul 1.3 3

Nr. Crt	Mărimea	Notați a	Relația de calcul	Unități măsură	Poziția clapetei		Exemplu de calcul
					1	2	
0	1	2	3	4	5	6	7
1.	Presiunea barometrică	p_o	-	N/m^2			102000
2.	Temperatura aerului	T_1	-				300
3.	Denivelarea la manometrul U	Δh	-	m			0,150
4.	Denivelarea la manometrul tip U	Δh	-	m			0,006
5.	Denivelarea la manometrul tip U	Δh_{tot}	-	m			0,140
6.	Presiunea absolută	p_1	[7]	N/m^2			103181
7.	Densitatea aerului	ρ_1	[8]	Kg/m^3			1,2
8.	Vâscozitatea cinematică	ν	tab.1.	m^2/s			$16,29 \cdot 10^{-6}$

Nr. Crt	Mărimea	Notăți a	Relația de calcul	Unități măsură	Poziția clapetei		Exemplu de calcul
					1	2	
0	1	2	3	4	5	6	7
							6
9.	Căderea de presiune	Δp	-	N/m ²			1265,49
10.	Raportul de presiune	$\Delta p/p_1$	-	-			0,01226
11.	Coeficient de expansiune	ε	fig.3.	-			0,996
12.	Factor de corecție	K_t	fig.2				1,0013
13.	Diametrul conductei	d_t	[2]	m			0,08010 4
14.	Diametrul diafragmei	d_t	[3]	m			0,04005
15.	Raport de deschidere	m	[1]	-			0,2499
16.	Viteza maximă	w_{max}	[14]	m/s			9,18
17.	Criteriul Reynolds	Re	[13]	-			45082
18.	Viteza medie	W_m	fig.11	M/s			7,57
19.	Criteriul Re (mediu \bar{Re})		[9]	-			37176
20.	Coeficientul de debit inițial	α_{in}	fig.4. fig.5.				0,655
21.	Coeficientul de debit volumic corectat	α	[10]				0,677
22.	Debitul volumic calculat	\dot{V}_c	[4]				138
23.	Debitul volumic citit	\dot{V}_o	m ³ /h				132
24.	Eroarea de măsură	e	[11]	%			4,54
25.	Debitul masic	\dot{m}	[5]	kg/s			0,046
26.	Debitul volumic	\dot{V}_N	[16]	Nm ³ /h			120,95

Se calculează debitează de aer în condiții normale fizice de presiune și temperatură:

$$\dot{V}_N = \dot{V}_o \frac{p_1}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_1} \quad (16) \quad (1.16)$$

Pentru exemplul de calcul prezentat a rezultat o eroare de 4,5 %, valoare destul de mare, cauzată de următorii factori: neetanșarea corectă a traseului de curgere, pierderea de presiune datorită frecării aerului cu peretele conductei; aceste observații au în vedere și faptul că tubul Pitot este montat înaintea diafragmei pe traseul de curgere ce cuprinde două coturi la 90 ° și diferite prize de presiune:

Obs. Pentru măsurarea debitelor la lichide se va proceda la fel ca la gaze, dar se va avea în vedere următoarele:

Legea de variație a densității unui lichid este:

$$\rho_1 = \rho[1 + \beta(20 - t_1)] \quad (17) \quad (1.17)$$

unde:

ρ (kg/m³) - densitatea lichidului la 20 °C;

β - coeficient de dilatare a lichidului; pentru apă $\beta = 1 \times 10^{-4}$ grad⁻¹;

$\varepsilon = 1$ - coeficientul de expansiune este;

vâscozitatea cinematică ν se va lua din anexa 4 (pentru apă).