

1. DETERMINAREA CARACTERISTICILOR PRESIUNE - DEBIT PENTRU UN VENTILATOR CENTRIFUGAL

1.1 Generalități

Debitul unui ventilator depinde de turația sa și de rezistența hidraulică a rețelei pe care debitează. În figura 1 este arătat un model de curbe caracteristice. Aici, prin n s-a notat turația (frecvența de rotație) a ventilatorului, iar prin R rezistența hidraulică a rețelei. Curbele n_1, n_2, \dots sunt caracteristicile de „turație constantă” pentru rețelele cu diferite rezistențe hidraulice, iar curbele R_1, R_2, \dots sunt caracteristicile rețelei la care ventilatorul lucrează cu diverse turații.

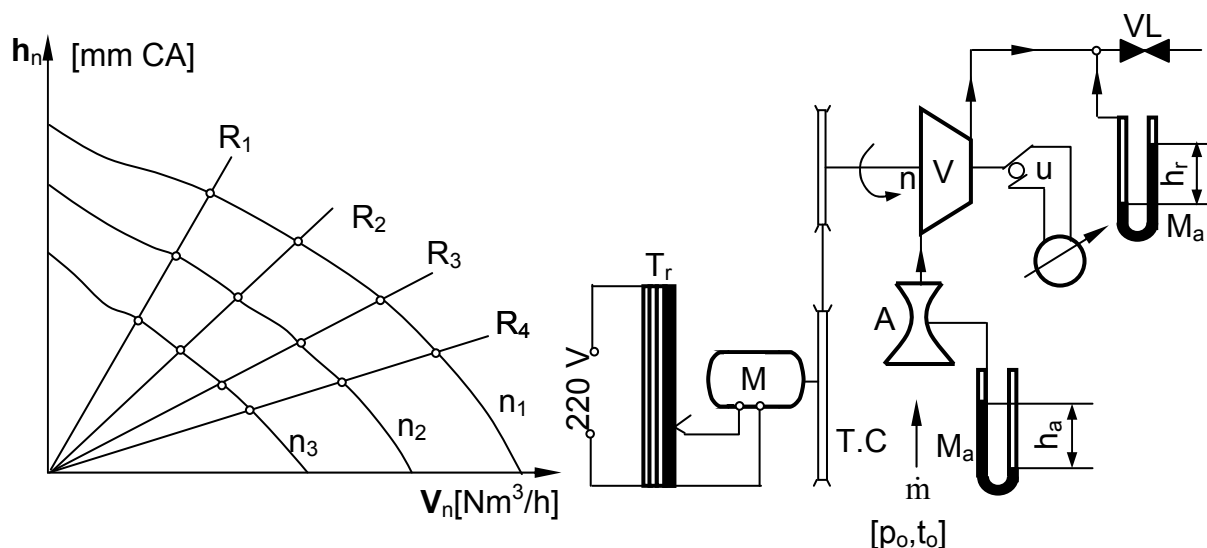


Figura 1.1. I - indicator de turație; VL - obturator; TC - transmisie prin curele; M - manometre; A - ajutoraj; V - ventilator centrifugal; M - electromotor universal; T_r - autotransformator; U - generator electric.

Instalația din laborator, ilustrată schematic în figura 2, este destinată ridicării unor astfel de caracteristici. Pentru simplificare s-a făcut ipoteza că aerul atmosferic este ideal uscat. Instalația este alcătuită din ventilatorul centrifugal V antrenat de către electromotorul universal M. Autotransformatorul reglabil T_r permite reglarea turației ventilatorului de la zero la cea maximă permisă (16000 rot/min). un mic generator electric U, furnizează o tensiune dependentă de turația n a ventilatorului și o transmite instrumentului M montat pe panoul instalației. Rezistența hidraulică a rețelei este materializată prin obturatorul VL și poate fi reglată prin variația deschiderii acestuia de la debitul zero (obturatorul închis) până la deschiderea maximă. Presiunea statică de refulare p_r a ventilatorului (și de alimentare a rețelei) este măsurată cu un manometru de apă, care va arăta o denivelare h_r față de presiunea atmosferică. Debitul de aer este măsurat cu ajutorul unui ajutoraj A montat la admisia ventilatorului, depresiunea h_a (față de presiunea atmosferică) este dependentă de viteza aerului la admisie, fiind măsurată cu un manometru cu apă și care va arăta

denivelarea h_a în mm CA. Notația „a” se referă la starea aerului în secțiunea minimă a ajutorului.

1.2 2. EFECTUAREA DETERMINĂRILOR

- Se controlează integritatea instalației.
- Se observă dacă nivelul apei din cele două manometre de pe panoul instalației (notate „debit” și „presiune”) sunt la gradația zero. În caz contrar, se notează gradațiile care se vor lua apoi ca origini ale denivelării coloanelor de apă.
- Prin rotirea comenzii autotransformatorului se verifică funcționarea ansamblului motor - ventilator.
- Se citesc și se notează: presiunea barometrică p_0 (mm Hg) și temperatura t_0 (°C) a aerului din laborator.
- Se închide complet obturatorul VL (măsură la debit zero). Prin comanda de alimentare electrică de la de la autotransformatorul T_r se fixează turațiile n_1, n_2, \dots ale ventilatorului pentru care se produc (și se notează) denivelările h_r ale manometrului de refulare (notația „presiune” pe panou).
- Se deschide parțial obturatorul VL și pentru aceleași turații alese n_1, n_2, \dots se fac citiri ale denivelărilor h_a și h_r la manometrele instalației.
- Se repetă operațiile de la poz. IV pentru diverse deschideri ale obturatorului, până la deschiderea completă a acestuia.

OBS. Se vor face măsurători pentru $n = 6000, 8000; 10000, \text{?????} 12000$ rot/min și pentru cca. 4 poziții intermediare ale obturatorului VL cuprinse între pozițiile limită de „complet închis” și de complet „deschis”.

Datele culese se trec într-un tabel de forma:

Presiunea atmosferică: $p_0 = \dots$ [mm Hg]

Temperatura aerului: $t_0 = \dots$ [°C]

Diametrul minim: $d_a = 19,56$ [mm]

Tabelul 1.1.

Nr. crt	Turația	Deschiderea refulării	h_r	h_a	Debit normal \dot{V}_n	Rezistența hidraulică H_r/V_n
1	6000	(0; 25; 50; 100)				
2	8000					
3	10000					
4	12000					
.....				

1.3 3. EFECTUAREA CALCULELOR

Un punct al caracteristicii este rezultat din intersecția dintre presiunea (relativă) de refulare h_r (aici în mm CA) și debitul volumic normal de aer (Nm^3/h).

Pentru calculul debitului

$$\dot{V}_N = 3600 \frac{V_M}{M} = 3600 \cdot \frac{22,414}{28,964} \cdot \dot{m} = 2785,9 \cdot \dot{m} \quad (1)$$

unde:

V_M = volumul specific molar, independent de natura chimică a gazului: $V_N = 22,414 \text{ Nm}^3/\text{kmol}$;

M - este masa unui kmol de gaz, având ca valoare numerică valoarea masei moleculare a gazului: 1 kmol = M·kg (pentru aer 1 kmol = 28,964 kg);

\dot{m} - este debitul real (kg/s) care se determină după:

$$\dot{m} = \varphi \cdot \dot{m}_t \quad (\text{kg/s}) \quad (2)$$

în care \dot{m}_t (kg/s) este debitul teoretic (ideal) de aer, iar φ este „coeficientul de corecție a debitului”. Pentru calculul ecuației (2) se scrie:

$$\dot{m}_t = A_a \cdot W_a \rho_a = \frac{\pi \cdot d_a^2}{4} W_a \cdot \rho_a \quad (\text{kg/s}) \quad (3)$$

în care: $d_a = 19,56$ mm - diametrul minim al ajutorului de măsură;

ρ_a (kg/m³) - densitatea aerului în starea corespunzătoare diametrului minim și care se determină după ecuația:

$$\rho_a = \frac{p_a}{R_a \cdot T_a} = \frac{p_0 - \delta}{R \cdot T_a} = \frac{p_0 \cdot 10^5 / 750 - 9,806 \cdot h_a}{287,02 \cdot T_a} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4)$$

iar viteza în secțiunea minimă este dată de ecuația:

$$W_a = \sqrt{2(i_0 - i_a)} = \sqrt{2c_p(T_0 - T_a)} \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

în care $c_p = 1000$ (J/kg grad) este căldura specifică a aerului uscat la temperaturi în jurul a 200 C, iar T_a este temperatura în secțiunea minimă:

$$T_a = T_0 \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = T_0 \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{0,4} \quad (\text{K}) \quad (6)$$

presiunea p_a fiind exprimată în aceleași unități ca p_0 . dacă p_0 este luat în mm Hg (de la barometru), iar h_{aq} este în mm CA, atunci se scrie:

$$p_a = p_0 - p_{ra} = p_0 - 750 \cdot 9,806 \cdot 10^{-5} \cdot h_a = p_0 - 0,0735 \cdot h_a \quad (\text{mm Hg}) \quad (7)$$

Viscozitatea cinematică ν_t a aerului la temperatura t poate fi calculată după ecuația:

$$\nu_t = [14,66 + 0,096(t - 10)] 10^{-6} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (8)$$

pentru t cuprins între 100 °C și 300 °C (după tabela proprietăților fizice ale aerului uscat).

Criteriul Reynolds în secțiunea minimă este dat de:

$$Re_a = \frac{W_a \cdot d_a}{\nu_a} \quad (9)$$

iar coeficientul φ de debit poate fi calculat după ecuația:

$$\varphi = 0,051072 + x(0,4866533 - 0,0861x + 0,0051666x^2) \quad (10)$$

în care: $x = \log Re$

putem aprecia „rezistența hidraulică” R a rețelei după relația:

$$R = h_r / \dot{V}_N \quad (\text{mm CA}/(\text{Nm}^3)\text{h}) \quad (11)$$

1.3.1 Exemplu de calcul

Diametrul minim:

$$d_a = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$$

Presiunea atmosferică:

$$p_0 = 745 \text{ mmHg}$$

Temperatura aerului:

$$t_0 = 18 \text{ }^\circ\text{C}; (T_0 = 291 \text{ K})$$

Pentru un punct

- turația:

$$n = 8000 \text{ rot/min};$$

- denivelarea manometrului debitmetrului:

$$h_a = 140 \text{ mm CA};$$

- denivelarea manometrului refulării:

$$h_r = 50 \text{ mm CA};$$

- deschiderea obturatorului:

$$50\%$$

Calcul

- presiunea în secțiunea minimă:

$$p_a = p_0 - p_{ra} = p_0 - 0,0735 \cdot h_a = 745 - 0,0735 \cdot 140 = 734,71 \text{ mm Hg},$$

- temperatura în secțiunea minimă:

$$T_a = T_o \left(\frac{p_a}{p_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 291 \left(\frac{734,71}{745} \right)^{\frac{0,4}{1,4}} = 289,85 \text{ K},$$

- viteza aerului în secțiunea minimă:

$$w_a = \sqrt{2 \cdot c_p \cdot (T_o - T_a)} = \sqrt{2 \cdot 1000(291 - 289,85)} = 47,95 \text{ m/s}$$

- densitatea aerului în secțiunea minimă:

$$\rho_a = \frac{745 \cdot 10^5}{287,02 \cdot 289,85} - 9,806 \cdot 140 = 1,177 \text{ kg/m}^3$$

- debitul teoretic \dot{m}_t :

$$\dot{m}_t = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} \cdot 47,95 \cdot 1,177 = 0,0277 \text{ kg/s}$$

- vâscozitatea cinematică a aerului la $t_a = 17 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\nu_{17} = [14,66 + 0,096(17 - 10)] \cdot 10^{-6} = 15,332 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

- criteriul Reynolds în secțiunea minimă Re_a :

$$Re_a = \frac{47,95 \cdot 0,025}{15,332} \cdot 10^6 = 7,818 \cdot 10^4$$

$$\lg Re_a = \lg 7,818 \cdot 10^4 = 4,893$$

- coeficientul φ de debit;

$$\varphi = 0,051072 + 4,893(0,4866533 - 0,0861 \cdot 4,893 + 0,0051666 \cdot 4,893^2) = 0,976,$$

- debitul real \dot{m} :

$$\dot{m} = \varphi \cdot \dot{m}_t = 0,976 \cdot 0,0277 = 0,0270 \text{ kg/s}$$

- debitul volumic normal orar:

$$\dot{V}_N = 7585,9 \cdot 0,0270 = 75,21 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

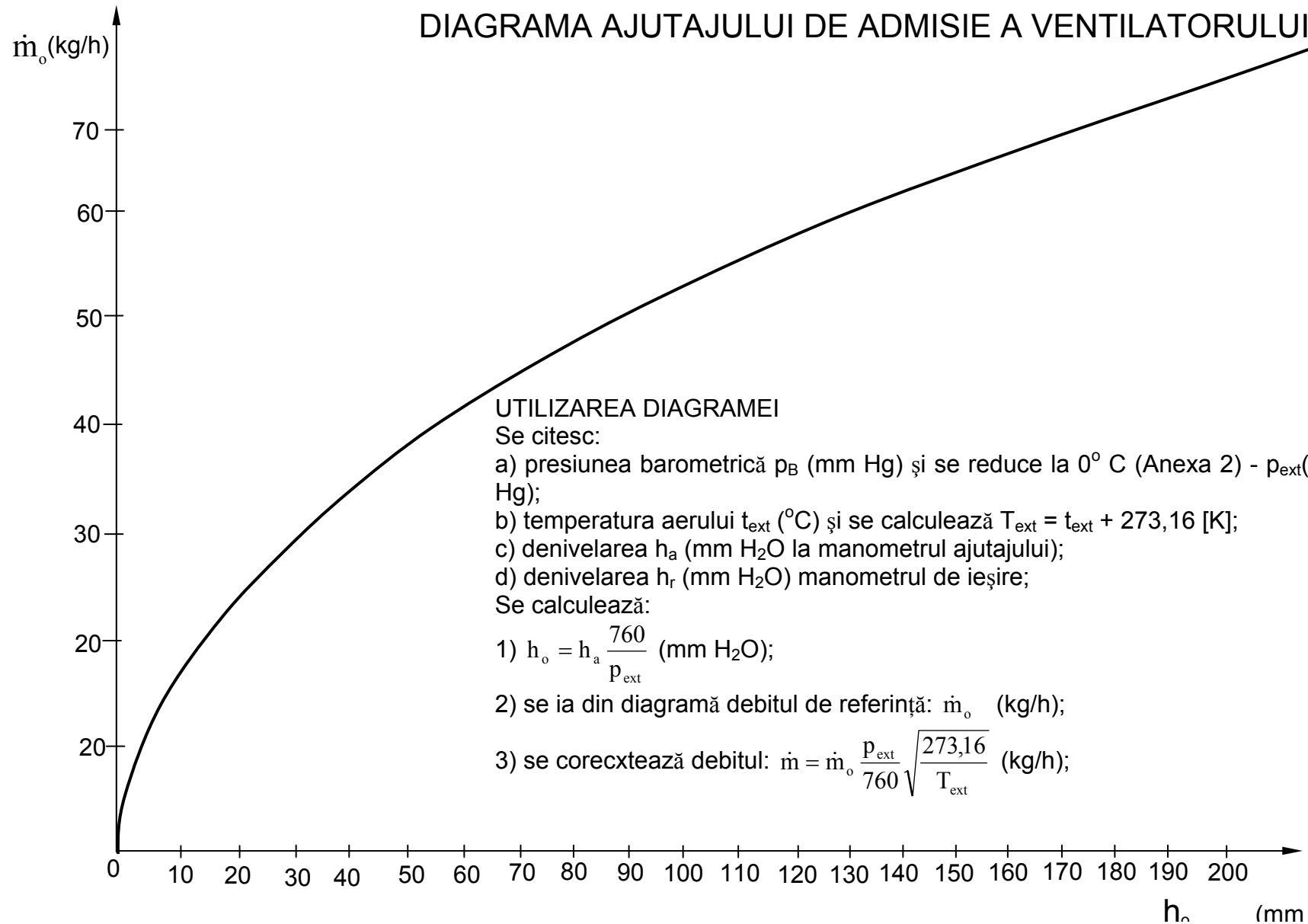
Și punctul caracteristic din diagrama $p_r = f(\dot{V}_N)$ este caracterizat prin:

$$\dot{V}_N = 75,21 \text{ Nm}^3/\text{h} \text{ și } h_r = p_r = 50 \text{ mm CA}$$

Observații

Punctul caracteristic se poate obține și dacă se utilizează diagrama prezentată mai jos.

DIAGRAMA AJUTAJULUI DE ADMISIE A VENTILATORULUI



Nr. Deter.	p_a [mm Hg] Rel. 7	T_a [K] Rel. 6	ρ_a [kg/m ³] Rel. 4	w_a [m/s] Rel. 5	$\dot{m}_t \cdot 10^3$ [kg/s] Rel. 3	Re_a Rel. 9	$\text{Log } Re_a$ =x	φ Rel. 10	$\dot{m}_t \cdot 10^3$ [kg/s] Rel. 2	\dot{V}_N [m ³ /s]	$R=h_f/\dot{V}_N$ [mm CA/(Nm ³ /h)]
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
8											
10											
11											
12											