



## Problema a II-a (10 puncte)

### Compresorul

Aerul comprimat este folosit pentru acționarea unui număr mare de dispozitive pneumatice (ciocane, mașini de găurit etc.), utilizate în industrie sau în construcții. Dispozitivele pneumatice sunt mai ieftine, mai sigure, mai flexibile în utilizare și mai fiabile decât dispozitivele care efectuează aceleași operații, dar care sunt acționate electric. Aerul comprimat este furnizat de compresoare și este stocat în rezervoare.

Un compresor pompează aer din atmosferă într-un rezervor cu volumul  $V_R = 1,00 \text{ m}^3$ . În momentul începerii funcționării compresorului, în rezervor se află aer la presiunea atmosferică  $p_A = 1,00 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$  și la temperatura  $T_A = 300 \text{ K}$ .

La fiecare pompă, compresorul introduce în rezervor un volum  $V_p = 2,50 \text{ dm}^3$  de aer atmosferic, aflat la temperatura  $T_A$  și la presiunea  $p_A$ . Consideră că procesul de pompă este izoterm și că aerul din rezervor are mereu aceeași temperatură  $T_A$ . Căldura molară la volum constant a aerului are expresia  $C_V = (5/2) \cdot R$ , unde  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  este constanta universală a gazelor ideale.

### Sarcina de lucru nr. 1

- 1.a. Calculează numărul de moli de aer  $\nu_c^{(1)}$ , introduși în rezervorul compresorului la o singură pompă.
- 1.b. Determină valoarea variației  $\Delta U^{(1)}$  a energiei interne a aerului din rezervorul compresorului, pentru o singură pompă.
- 1.c. Dedu valoarea numărului  $N_c$  de pomări efectuate de compresor, astfel încât aerul din rezervor să atingă presiunea  $p_p = 1,00 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ .

### Sarcina de lucru nr. 2

În momentul în care presiunea aerului din rezervor a atins valoarea  $p_p$ , se deschide robinetul de pe conducta ce conectează rezervorul cu aer comprimat cu un dispozitiv pneumatic. Compresorul continuă să funcționeze și să pompeze aer în rezervor, astfel încât presiunea aerului din rezervor rămâne constantă. În același timp, din rezervor este preluat aer comprimat, pentru dispozitivul pneumatic. Pentru a asigura funcționarea normală a dispozitivului pneumatic este necesar debit  $D = 1,00 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  de aer comprimat la presiunea  $p_p$  și la temperatura  $T_A$ .

- 2.a. Determină expresia numărului  $n_{c,s}$  de pomări efectuate de compresor în unitatea de timp, astfel încât presiunea  $p_p$  a aerului din rezervor să rămână constantă, în condițiile unei funcționări normale a dispozitivului pneumatic.
- 2.b. Calculează valoarea numărului  $n_{c,s}$  de pomări efectuate de compresor în unitatea de timp.

### Sarcina de lucru nr. 3

Compresorul este acționat de un motor Diesel, care utilizează motorină cu puterea calorică  $q = 35,0 \text{ MJ} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Atunci când compresorul funcționează în condițiile specificate în cadrul sarcinii de lucru nr. 2 și efectuează un număr  $n_{c,s}$  de pompări în unitatea de timp, raportul dintre lucrul mecanic necesar pentru comprimarea izotermă a aerului și căldura degajată prin arderea, în motor, a motorinei este  $\eta = 0,25$ .

**3.a.** Dedu expresia volumului  $V$  de motorină consumat într-un interval de timp  $\Delta\tau$  de către motorul Diesel care acționează compresorul, în condițiile de funcționare specificate.

**3.b.** Calculează valoarea volumului  $V$  de motorină consumat de motorul Diesel, care acționează compresorul timp de o oră.

### Compresorul - Soluție

#### Sarcina de lucru nr. 1

**1.a.** Conform enunțului, la o singură pompă, compresorul introduce în rezervor un volum  $V_p = 2,50 \text{ dm}^3$  de aer atmosferic, aflat la temperatura  $T_A = 300 \text{ K}$  și la presiunea  $p_A = 1,00 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Prin urmare, numărul de moli de aer  $\nu_c^{(1)}$  introduși în rezervorul compresorului la o singură pompă are expresia

$$\nu_c^{(1)} = \frac{p_A \cdot V_p}{R \cdot T_A} \quad (1)$$

și valoarea numerică

$$\left\{ \begin{array}{l} \nu_c^{(1)} = \frac{\left(1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot \left(2,50 \cdot 10^{-3} \text{m}^3\right)}{\left(8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right) \cdot (300 \text{K})} \\ \nu_c^{(1)} = 0,10 \text{ mol} \end{array} \right. \quad (2)$$

Relația (2) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 1.a.

**1.b.** Variația  $\Delta U^{(1)}$  a energiei interne a aerului din rezervorul compresorului, la o pompă, se datorează creșterii numărului de moli din vas cu cantitatea  $\nu_c^{(1)}$ . Prin urmare

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U^{(1)} = \nu_c^{(1)} \cdot C_V \cdot T_A \\ \Delta U^{(1)} = \frac{p_A \cdot V_p}{R \cdot T_A} \cdot \frac{5}{2} R \cdot T_A \\ \Delta U^{(1)} = \frac{5}{2} p_A \cdot V_p \end{array} \right. \quad (3)$$

Valoarea numerică a acestei variații a energiei interne a aerului este

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U^{(1)} = \frac{5}{2} \cdot \left(1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot \left(2,50 \cdot 10^{-3} \text{m}^3\right) \\ \Delta U^{(1)} = 625 \text{ J} \end{array} \right. \quad (4)$$

Relația (4) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 1.b.

**1.c.** În momentul începerii funcționării compresorului, în rezervorul cu volumul  $V_R$  se află aer la presiunea  $p_A$  și la temperatura  $T_A$ . Prin urmare, numărul inițial de moli de aer din rezervor are expresia

$$v_{initial} = \frac{p_A \cdot V_R}{R \cdot T_A} \quad (5)$$

iar numărul  $v_c^{(1)}$  de moli de aer introduși în rezervor la fiecare pompă are expresia dată de relația (1).  
 Expresia numărului  $v_{final}$  de moli de aer aflați în rezervor la momentul atingerii presiunii  $p_P$  este

$$v_{final} = \frac{p_P \cdot V_R}{R \cdot T_A} \quad (6)$$

Ținând cont că

$$v_{final} = v_{initial} + N_c \cdot v_c^{(1)} \quad (7)$$

și substituind expresiile din relațiile (1), (5) și (6) în relația (7) se obține

$$\frac{p_P \cdot V_R}{R \cdot T_A} = \frac{p_A \cdot V_R}{R \cdot T_A} + N_c \cdot \frac{p_A \cdot V_P}{R \cdot T_A} \quad (8)$$

sau

$$N_c = \frac{V_R}{V_P} \cdot \left( \frac{p_P}{p_A} - 1 \right) \quad (9)$$

Introducând valorile numerice în relația (9) și efectuând calculul numeric rezultă

$$\begin{cases} N_c = \frac{1,00 \text{ m}^3}{(2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)} \cdot \left( \frac{1,00 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} - 1 \right) \\ N_c = 3600 \end{cases} \quad (10)$$

Relația (10) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 1.c.

## Sarcina de lucru nr. 2

**2.a.** Pentru ca în timpul funcționării normale a dispozitivului pneumatic, presiunea aerului din rezervor să rămână constantă, este necesar ca – într-un interval oarecare de timp  $\Delta t$  - numărul de moli de aer  $v_D$ , care sunt preluați din rezervor pentru dispozitivul pneumatic, să fie compensat de numărul de moli de aer  $v_t$  pompați în rezervor de către compresor.

$$v_D = v_t \quad (11)$$

Ecuția termică de stare aplicată pentru cantitatea de aer care iese din rezervor în intervalul de timp  $\Delta t$  are expresia

$$p_p \cdot D \cdot \Delta t = v_D \cdot R \cdot T_A \quad (12)$$

Prin urmare

$$v_D = \frac{p_p \cdot D \cdot \Delta t}{R \cdot T_A} \quad (13)$$

Expresia numărului de moli pompați în rezervor în intervalul de timp  $\Delta t$  este

$$v_t = v_c^{(1)} \cdot n_{c,s} \cdot \Delta t \quad (14)$$

Combinând relațiile (1), (11), (13) și (14) se obține

$$n_{c,s} = \frac{p_P}{p_A} \cdot \frac{D}{V_P} \quad (15)$$

Relația (15) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.a.

**2.b.** Introducând valorile numerice în relația (15) și efectuând calculele se obține

$$\begin{cases} n_{c,s} = 10 \cdot \frac{1,00 \text{ dm}^3 / \text{s}}{2,50 \text{ dm}^3} \\ n_{c,s} = 4 \text{ s}^{-1} \end{cases} \quad (16)$$

Relația (16) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 2.b.

### Sarcina de lucru nr. 3

**3.a.** La o singură pompă, lucrul mecanic necesar pentru comprimarea izotermă a aerului de la presiunea  $p_A$  la presiunea  $p_p$  are expresia

$$L^{(1)} = v_c^{(1)} \cdot R \cdot T_A \cdot \ln \frac{p_p}{p_A} \quad (17)$$

În condițiile de funcționare specificate în cadrul sarcinii de lucru nr. 2, lucrul mecanic total efectuat în intervalul de timp  $\Delta\tau$  are expresia

$$L = n_{c,s} \cdot \Delta\tau \cdot v_c^{(1)} \cdot R \cdot T_A \cdot \ln \frac{p_p}{p_A} \quad (18)$$

Cantitatea de căldură degajată prin arderea motorinei este

$$Q = q \cdot V \quad (19)$$

Ținând cont de relațiile (1), (18) și (19), raportul dintre lucrul mecanic utilizat pentru comprimarea aerului și căldura eliberată prin arderea motorinei devine

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = \frac{L}{Q} \\ \eta = \frac{n_{c,s} \cdot \Delta\tau \cdot p_A \cdot V_p \cdot \ln \frac{p_p}{p_A}}{q \cdot V} \end{array} \right. \quad (20)$$

Prin urmare expresia volumului de motorină consumat într-un interval de timp  $\Delta\tau$  de către motorul Diesel care acționează compresorul are expresia

$$V = \frac{n_{c,s} \cdot \Delta\tau \cdot p_A \cdot V_p \cdot \ln \frac{p_p}{p_A}}{q \cdot \eta} \quad (21)$$

Relația (21) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 3.a.

**3.b.** În cazul în care  $\eta = 0,25$ , valoarea volumului de motorină consumat de motorului Diesel care acționează compresorul în intervalul de timp  $\Delta\tau = 60,0 \text{ min}$  este

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \frac{(4\text{s}^{-1}) \cdot (3600\text{s}) \cdot \left(1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot (2,50 \cdot 10^{-3} \text{m}^3) \cdot \ln \frac{1,00 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}}{\left(35,0 \cdot 10^9 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}\right) \cdot 0,25} \\ V = 0,95 \text{ dm}^3 \end{array} \right. \quad (22)$$

Relația (22) reprezintă răspunsul la sarcina de lucru 3.b.

© Soluție propusă de:

Dr. Delia DAVIDESCU – Centrul Național de Evaluare și Examinare – M E C T S

Conf. univ. dr. Adrian DAFINEI - Facultatea de Fizică – Universitatea București