

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ – ΣΧΟΛΗ ΜΠΔ**

30 Ιανουαρίου 2015

Όνομα:

A.M.:

Εξάμηνο:

**ΘΕΜΑΤΑ**

**ΘΕΜΑ 1 (25%)**

Από το εσωτερικό ενός δωματίου με θερμοκρασία 22°C και πίεση 100 kPa διαφεύγει μέσω των χαραμάδων αέρας προς το εξωτερικό περιβάλλον με παροχή 100 m<sup>3</sup>/hr. Προς αντικατάσταση αυτού εισέρχεται στο δωμάτιο αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον θερμοκρασίας 7 °C, με την ίδια παροχή. Να υπολογιστεί ο ρυθμός απωλειών ενέργειας σε kW.

**ΘΕΜΑ 2 (25%)**

10 kg αέρα εκτονώνονται από πίεση 1000 kPa και όγκο 1 m<sup>3</sup> σε τελική κατάσταση με όγκο 5 m<sup>3</sup>, ακολουθώντας τη σχέση  $P=1000/V^2$  (P σε kPa και V σε m<sup>3</sup>). Να υπολογιστούν: α) το έργο της διεργασίας, β) η θερμοκρασία του αερίου συναρτήσει της πίεσης. Να κατασκευαστεί ποιοτικά το διάγραμμα T-P, γ) η θερμότητα που αντιστοιχεί στη διεργασία.

**ΘΕΜΑ 3 (25%)**

Αέρας σε πίεση 300 kPa και θερμοκρασία 50°C εισέρχεται σε στρόβιλο με ταχύτητα 50 m/s μέσω διατομής εμβαδού 200 cm<sup>2</sup>. Στην έξοδο η πίεση είναι 330 kPa, η θερμοκρασία 14 °C και η ταχύτητα 130 m/s. Εάν η ισχύς του στροβίλου είναι 100 kW, να προσδιοριστούν: α) η ροή μάζας σε kg/s, β) η μεταβολή της κινητικής ενέργειας σε watt, γ) η θερμότητα που μεταφέρεται κατά την διεργασία.

**ΘΕΜΑ 4 (25%)**

Ατμός εισέρχεται σε στρόβιλο σε πίεση 10 MPa και θερμοκρασία 600 °C. Στην έξοδο του στροβίλου η πίεση είναι 0.01 MPa. Να υπολογιστεί η θερμική απόδοση του στροβίλου εάν η ισεντροπική του απόδοση είναι 80% και ο ρυθμός παροχής μάζας είναι 110 Kg/min.

**Δεδομένα**

Σε όλες τις περιπτώσεις ο αέρας να θεωρηθεί ιδανικό αέριο με σταθερά  $R=0.287$  kPa.m<sup>3</sup>/kg.K και  $\gamma=5/3$ .

*Κορεσμένο νερό*

| P(kPa) | T <sub>sat</sub> (°C) | v <sub>f</sub> (m <sup>3</sup> /kg) | v <sub>g</sub> (m <sup>3</sup> /kg) | h <sub>f</sub> (kJ/kg) | h <sub>g</sub> (kJ/kg) | s <sub>f</sub> (kJ/kg.K) | s <sub>g</sub> (kJ/kg.K) |
|--------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 10     | 45.81                 | 0.001                               | 14.7                                | 191.8                  | 2583.9                 | 0.65                     | 8.15                     |
| 100    | 99.61                 | 0.001                               | 1.70                                | 417.5                  | 2675                   | 1.30                     | 7.35                     |
| 1000   | 179.88                | 0.0011                              | 0.19                                | 762.5                  | 2777                   | 2.138                    | 6.58                     |
| 10,000 | 311                   | 0.0014                              | 0.018                               | 1408                   | 2725                   | 3.36                     | 5.62                     |

*Υπέρθερμο νερό*

| P(MPa) | T(°C) | h(kJ/kg) | u(kJ/kg) | v(m <sup>3</sup> /kg) | s(kJ/kg.K) |
|--------|-------|----------|----------|-----------------------|------------|
| 10     | 400   | 3097     | 2833     | 0.026                 | 6.42       |
| 10     | 600   | 3625     | 3242     | 0.038                 | 6.90       |
| 10     | 800   | 4114     | 3628     | 0.048                 | 7.40       |

Διάρκεια εξέτασης 2.5 ώρες

### ΘΕΜΑ 1

Για νερόν  $100 \text{ kPa} \rightarrow T_{\text{sat}} = 99.61^\circ\text{C}$

$$T < T_{\text{sat}}$$

$$V_f = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{V_f} = \frac{100 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.001 \text{ m}^3/\text{kg}} = 100000 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \approx 27.8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$\dot{m} h_1 = \dot{m} h_2 + \dot{Q}_{\text{out}}$$

$$\dot{Q}_{\text{out}} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$\begin{aligned} \text{Πιν. A-17} \left\{ \begin{aligned} h_2 &= h_{@22^\circ\text{C}} = h_{@295\text{K}} = 295.17 \text{ kJ/kg} \\ h_1 &= h_{@7^\circ\text{C}} = h_{@280\text{K}} = 280.13 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Ο ρυθμός απώλειών ενέργειας θα είναι:

$$\dot{Q}_{\text{out}} = 418.112 \text{ kW}$$

### ΘΕΜΑ 2

$$m = 10 \text{ kg}$$

$$P_1 = 1000 \text{ kPa}$$

$$V_1 = 1 \text{ m}^3$$

$$P = \frac{1000}{V^2} \quad (P: \text{kPa}, V: \text{m}^3)$$

$$V_2 = 5 \text{ m}^3$$

$$a) W_{1-2} = \int_1^2 P dV = \int_1^2 \frac{1000}{V^2} dV \Rightarrow$$

$$W_{1-2} = 1000 \int_1^2 \frac{dV}{V^2} = 1000 \frac{V_2^{1-2} - V_1^{1-2}}{1-2} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-2}$$

$$P_2 = \frac{1000}{V_2^2} = 40 \text{ kPa}$$

$$W_{1-2} = \frac{(40 \text{ kPa})(5 \text{ m}^3) - (1000 \text{ kPa})(1 \text{ m}^3)}{-1} = 800 \text{ kJ}$$

β) Θεωρούμε τον αέρα ιδανικό αέριο ( $PV = mRT$ )

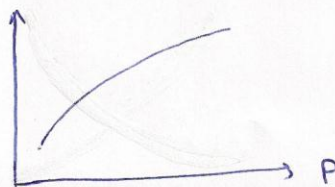
$$P = \frac{1000}{V^2} \Rightarrow V^2 = \frac{1000}{P} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{1000}{P}}$$

$$P \sqrt{\frac{1000}{P}} = mRT \Rightarrow P \frac{\sqrt{1000}}{P^{\frac{1}{2}}} = mRT$$

$$P \cdot P^{-\frac{1}{2}} \sqrt{1000} = mRT \Rightarrow P^{\frac{1}{2}} = \frac{mR}{\sqrt{1000}} T$$

$$P = 0.00824 T^2 \Rightarrow T = \sqrt{\frac{P}{0.00824}}$$

$$\gamma) Q = W = 800 \text{ kJ}$$

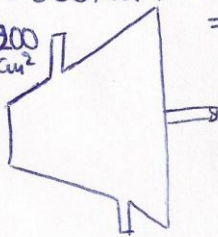




ΘΕΜΑ 3

$$P_1 = 300 \text{ kPa}, T_1 = 50^\circ\text{C}, V_1 = 50 \text{ m/s}$$

$$A_1 = 200 \text{ cm}^2$$



$$P_2 = 330 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 14^\circ\text{C} = 287 \text{ K}$$

$$V_2 = 130 \text{ m/s}$$

$$\dot{W}_{\text{out}} = 100 \text{ kW}$$

a)

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(0.287 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}})(323 \text{ K})}{300 \text{ kPa}} = 0.309 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} A_1 V_1 = \frac{1}{0.309 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} (200 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) (50 \text{ m/s})$$

$$\dot{m} = 3.236 \text{ kg/s}$$

$$b) \Delta e_{\text{kin}} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \frac{(130 \text{ m/s})^2 - (50 \text{ m/s})^2}{2} \left( \frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right)$$

$$\Delta e_{\text{kin}} = 7.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Για να υπολογίσουμε σε Watt πολλαπλασιάζουμε με την παροχή μάζας:

$$\Delta e_{\text{kin}} (\text{W}) = 7.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 3.236 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 23.2992 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$= 23.2992 \text{ kW} = 23299.2 \text{ W}$$

γ)  $\dot{Q} \approx 0$  Στους στροβίλους η μεταφορά θερμότητας είναι αμελητέα σε σχέση με το έργο της αντράκτου.

#### ΘΕΜΑ 4

$$\eta_T = 0.8$$

$$\dot{m} = 110 \text{ kg/min} = \frac{110}{60} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1.83 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\eta_T = \frac{W_a}{W_s} \approx \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

$$P_1 = 10 \text{ MPa}$$

$$P_2 = 0.01 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 600^\circ\text{C}$$

$$\text{Κατάσταση 1: } \left. \begin{array}{l} P_1 = 10 \text{ MPa} \\ T_1 = 600^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 3625 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 6.90 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\text{Κατάσταση 2a: } P_{2a} = 0.01 \text{ MPa}$$

$$\text{Κατάσταση 2s: } \left. \begin{array}{l} P_{2s} = 0.01 \text{ MPa} \\ (s_{2s} = s_1) \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_f = 0.65 \text{ kJ/kgK} \\ s_g = 8.15 \text{ kJ/kgK} \\ h_f = 191.8 \text{ kJ/kg}, h_g = 2583.9 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$s_{fg} = s_g - s_f = 7.5 \text{ kJ/kgK}, h_{fg} = h_g - h_f = 2392.1 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{2s} = s_f + x_{2s} s_{fg} \Rightarrow x_{2s} = \frac{s_{2s} - s_f}{s_{fg}} \Rightarrow x_{2s} = 0.833$$

$$h_{2s} = h_f + x_{2s} h_{fg} \Rightarrow h_{2s} = 2184.4 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow h_{2a} = h_1 - \eta_T (h_1 - h_{2s}) \Rightarrow$$

$$h_{2a} = 2472.52 \text{ kJ/kg}$$



$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{m}h_1 = \dot{W}_{a,out} + \dot{m}h_{2a}$$

$$\dot{W}_{a,out} = \dot{m}(h_1 - h_{2a}) = 1.83 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left( 3625 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2478.52 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{W}_{a,out} = 2109.0384 \text{ kW} \quad \text{ισχύς στροβίλου}$$

$$\eta_{th} = \frac{\text{ισχύς στροβίλου } (\dot{W}_{a,out})}{\text{ολική θερμότητα που παρέχεται } (\dot{q}_{in})}$$

$$\dot{q}_{in} = \dot{m}h_1 = 6633.75 \text{ kW}$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{a,out}}{\dot{q}_{in}} = 0.318 \quad \text{ή} \quad 31.8\%$$