



ΜΠ 229: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ # 2

Αφροδίτη Παπαδοπούλου
Δρ. Χημικός Μηχανικός
afpapadopoulou@isc.tuc.gr

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 1 - 1:

Σε μια διάταξη εμβόλου-κυλίνδρου περιέχονται $[3.0+0.5 \cdot A1]$ mol αέριο υδρογόνο (H_2). Η βάση του εμβόλου απέχει από τον πυθμένα του κυλίνδρου $[80+A1 \cdot 2]$ cm ενώ η διάμετρος του εμβόλου είναι 40 cm. Η μάζα του σώματος Σ και του εμβόλου είναι συνολικά $[50+A1]$ kg. Η τοπική ατμοσφαιρική πίεση είναι ίση με $[95+A1]$ kPa, και η επιτάχυνση της βαρύτητας 9.80 m/s^2 . Να υπολογιστούν: (α) ο όγκος V , (β) η μάζα m (γ) η πυκνότητα ρ , και (δ) ο ειδικός όγκος του υδρογόνου v . Επίσης (ε) αν, σε κατάσταση ισορροπίας του εμβόλου, η απόσταση βάσης εμβόλου-πυθμένα υποδιπλασιαστεί ποιες θα είναι οι νέες τιμές της πίεσης του αερίου και της πυκνότητας του. Δίνεται το ατομικό βάρος του υδρογόνου $A_r=1$.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 1:

Δεδομένα

Υδρογόνο (H_2)

$n = 3 \text{ mol}$

$h = 80 \text{ cm}$

$d = 40 \text{ cm}$

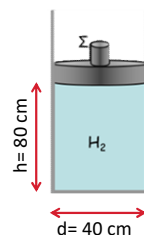
$m_\Sigma = 50 \text{ kg}$

$P_{atm} = 95 \text{ kPa}$

$g = 9.80 \text{ m/s}^2$

Ζητούμενα

- $V = ?$
- $m_{H_2} = ?$
- $\rho_{H_2} = ?$
- $v_{H_2} = ?$
- Αν $h' = h/2$, P' , ρ' ?



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 1:

$$a) V = Ah = \pi r^2 h = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 h = \pi \left(\frac{d^2}{4}\right) h$$

$$V = \pi \left(\frac{0.4^2}{4}\right) m^2 \cdot 0.8 m \Rightarrow V = 0.100480 m^3$$

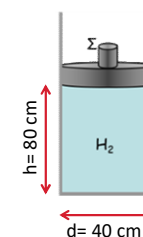
$$V \approx 0.1 m^3$$

$$b) m = nM_r$$

$$M_{rH_2} = 2 \cdot A_r = 2 \cdot 1 = 2 \text{ g/mol} = 2 \text{ kg/kmol}$$

$$m = 3 \text{ mol} \cdot 2 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \Rightarrow m = 6 \text{ g}$$

$$c) \rho = \left(\frac{m}{V}\right) = \frac{6 \text{ g}}{0.100480 m^3} \left| \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}} \right| \Rightarrow \rho = 0.06 \text{ kg/m}^3$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 1:

$$d) \quad v = \left(\frac{V}{m}\right) = \frac{1}{\rho} = \frac{m^3}{0.06 \text{ kg}} \Rightarrow \quad v = 16.7 \text{ m}^3/\text{kg}$$

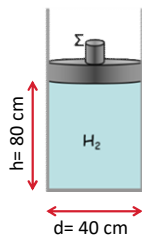
$$e) \quad h' = \left(\frac{h}{2}\right) = \frac{0.8 \text{ m}}{2} = 0.4 \text{ m}$$

$$V' = Ah' = A \left(\frac{h}{2}\right) = \left(\frac{V}{2}\right)$$

$$\rho' = \left(\frac{m}{V'}\right) = \frac{2m}{V} = 2\rho \quad \rho' = 2 \cdot 0.06 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \rho' = 0.12 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P' = P \quad P' = P_{\text{atm}} + \frac{m_z g}{A} = P_{\text{atm}} + \frac{m_z g}{\pi \frac{d^2}{4}}$$

$$P' = 95 \text{ kPa} + \frac{50 \text{ kg} \cdot 9.80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\pi \frac{0.4^2}{4} \text{ m}^2} \left| \frac{\text{kPa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right| \Rightarrow \quad P' = P = 98.9 \text{ kPa}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 1 - 2:

Ένα δείγμα $[10.0 + 0.10 \cdot A1]$ g στερεού τοποθετείται σε ένα δοχείο χωρητικότητας $[30.0 + A1]$ mL. Το δοχείο το γεμίζουμε με ένα ομοιογενές διάλυμα δύο ιδανικά αναμειγμένων υγρών Α και Β, σε αναλογία όγκων $V_A/V_B = 3/1$. Η μάζα του υγρού Β είναι 5 g. Τα υγρά Α και Β έχουν σχετική πυκνότητα 1.2 και 0.8 αντίστοιχα. Το περιεχόμενο του δοχείου έχει μάζα $[25.0 + 0.50 \cdot A1]$ g. Να υπολογιστεί η πυκνότητα του στερεού. Θεωρείστε ότι η πυκνότητα του νερού είναι 1000 kg/m^3 και το υγρό Β έχει σχετική πυκνότητα 0.8.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 2:

Δεδομένα

$$m_z = 10 \text{ g}$$

$$V_{\text{tot}} = 30 \text{ ml}$$

$$V_A/V_B = 3$$

$$m_B = 5 \text{ g}$$

$$m_{\text{tot}} = 25 \text{ g}$$

$$EB_B = 0.8$$

$$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Παραδοχές

Πλήρως ιδανικά αναμείγμα υγρών Α, Β

$$V_A + V_B = V_{A+B}$$

Ζητούμενο

$$\rho_{\text{στερεού}} = ?$$

$$V_{\text{tot}} = 30 \text{ ml}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 2:

$$\rho_{\text{στερεού}} = \left(\frac{m_z}{V_z}\right)$$

$$m_z = 10 \text{ g}$$

$$V_{\text{tot}} = V_z + V_A + V_B = V_z + V_{A+B} = 30 \text{ ml} \Rightarrow \quad V_z = V_{\text{tot}} - V_{A+B}$$

$$V_A/V_B = 3 \Rightarrow V_A = 3V_B \Rightarrow$$

$$V_{A+B} = V_A + V_B = 3V_B + V_B = 4V_B$$

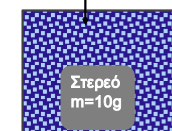
$$V_z = V_{\text{tot}} - 4V_B$$

$$\rho_B = \left(\frac{m_B}{V_B}\right) \Rightarrow V_B = \frac{m_B}{\rho_B} \quad m_B = 5 \text{ g}$$

$$EB_B = \frac{\rho_B}{\rho_w} \Rightarrow \rho_B = \rho_w EB_B \Rightarrow \rho_B = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left| \frac{10^3 \text{ g}}{\text{kg}} \right| \frac{\text{m}^3}{10^6 \text{ ml}} \cdot 0.8 \Rightarrow \rho_B = 0.8 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$V_B = \frac{m_B}{\rho_B} \Rightarrow V_B = \frac{5 \text{ g}}{0.8 \text{ g/ml}} \Rightarrow V_B = 6.25 \text{ ml}$$

$$V_{\text{tot}} = 30 \text{ ml}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 2:

$$\rho_{\text{στερεού}} = \left(\frac{m_s}{V_s} \right)$$

$$m_s = 10 \text{ g}$$

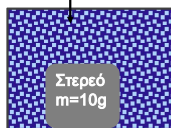
$$m_B = 5 \text{ g}$$

$$V_s = V_{\text{tot}} - 4V_B = 30 - 4 \cdot 6.25 = 5 \text{ ml}$$

$$\rho_{\text{στερεού}} = \left(\frac{10 \text{ g}}{5 \text{ ml}} \right) \frac{10^6 \text{ ml}}{\text{m}^3} \left| \frac{\text{kg}}{10^3 \text{ g}} \right| \Rightarrow$$

$$\rho_{\text{στερεού}} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{tot}} = 30 \text{ ml}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 1 - 5:

Μια γεωθερμική αντλία ανακυκλοφορεί άλμη πυκνότητας $[2000+10 \cdot A1] \text{ kg/m}^3$ με παροχή $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ σε βάθος $[150+4 \cdot A1] \text{ m}$. Αν η απόδοση της αντλίας είναι $[70+A1]\%$, ποια θα πρέπει να είναι η ισχύς της; Να θεωρήσετε την πίεση στο βάθος που σας δίνεται ίση με την ατμοσφαιρική και τις απώλειες ενέργειας αμελητέες.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 5:

Δεδομένα

$$\rho_{\text{Αλμης}} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h = 150 \text{ m}$$

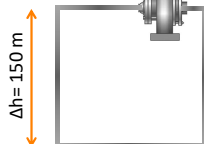
$$\eta_{\text{αντλίας}} = 70\%$$

Παραδοχές

$$\Delta E_k \approx 0$$

$$P = \text{σταθερή}$$

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$



Ζητούμενο

$$\dot{W}_{\text{αντλίας}} = ?$$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 5:

$$\eta_{\text{αντλίας}} = \frac{\text{Επιθυμητό αποτέλεσμα}}{\text{Απαιτούμενη είσοδος}}$$

$$\eta_{\text{αντλίας}} = \frac{\Delta E_{\delta}}{\dot{W}_{\text{αντλίας}}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\delta}}{\dot{W}_{\text{αντλίας}}} \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{\text{αντλίας}} = \frac{\Delta \dot{E}_{\delta}}{\eta_{\text{αντλίας}}} \quad \eta_{\text{αντλίας}} = 70\%$$

$$\Delta \dot{E}_{\delta} = \dot{m} g \Delta h \quad \Delta h = 150 \text{ m}$$

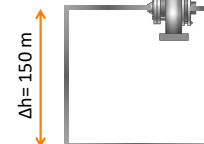
$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$\dot{m} = \rho_{\text{Αλμης}} V \quad \rho_{\text{Αλμης}} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow \dot{m} = 800 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Delta \dot{E}_{\delta} = 800 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 9.80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 150 \text{ m} \left| \frac{\text{kJ}}{1000 \text{ kgm}^2/\text{s}^2} \right| \left| \frac{\text{kW}}{\text{kJ/s}} \right| \Rightarrow \Delta \dot{E}_{\delta} = 1176 \text{ kW}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

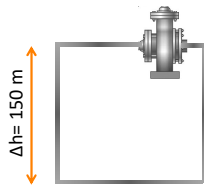
ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 5:

$$\Delta \dot{E}_\delta = 1176 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{αντλίας}} = 70\%$$

$$\dot{W}_{\text{αντλίας}} = \frac{\Delta \dot{E}_\delta}{\eta_{\text{αντλίας}}} = \frac{1176 \text{ kW}}{0.70} \Rightarrow$$

$$\dot{W}_{\text{αντλίας}} = \frac{\Delta \dot{E}_\delta}{\eta_{\text{αντλίας}}} = \frac{1176 \text{ kW}}{0.70} \Rightarrow \dot{W}_{\text{αντλίας}} = 1680 \text{ kW}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 1 - 7:

Σε μια διάταξη κυλίνδρου εμβόλου χωρητικότητας 2 m^3 περιέχεται ψυκτικό R-134a αρχικά σε θερμοκρασία $[20.1 + A1/2]^\circ\text{C}$ και πίεση 400 kPa . (α) Σε τι κατάσταση βρίσκεται το ψυκτικό; (β) Ποια είναι η μάζα του; (γ) Να υπολογιστεί η εσωτερική ενέργεια του ψυκτικού στην αρχική κατάσταση.

Στη συνέχεια το ψυκτικό R-134a ψύχεται αργά ώστε να μετατραπεί σε κορεσμένο υγρό. Ποια είναι η τελική τιμή (δ) της θερμοκρασίας και (ε) της εσωτερικής ενέργειας του ψυκτικού. (στ) Να δείξετε τη διεργασία ψύξης σε διάγραμμα T-v σε σχέση με τις γραμμές κορεσμού.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 7:

Δεδομένα R-134a

$$V_1 = 2 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 20.1^\circ\text{C}$$

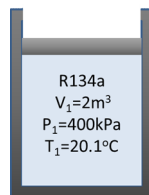
$$P_1 = 400 \text{ kPa}$$

Τελική κατάσταση:
Κορεσμένο υγρό

Παραδοχές

$$\Delta E_k \approx 0, \Delta E_\delta \approx 0$$

Η ψύξη γίνεται αργά, άρα
 $P = \text{σταθερή}$



Ζητούμενα

- Αρχική κατάσταση?
- $m = ?$
- $U_1 = ?$
- $T_2 = ?$
- $U_2 = ?$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 7:

R-134a: Πίνακες A11-A13

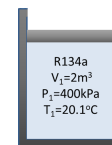
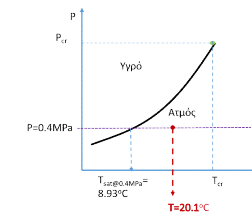
Αρχική Κατάσταση

$$T_1 = 20.1^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 400 \text{ kPa}$$

Πίνακας A12

Πίεση	Θερμοκρασία κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξαιγμ.	Κορεσμένου ατμού
P	T _{sat}	v _f	v _g	u _f	u _{fg}	u _g
[MPa]	[°C]	[m³/kg]	[m³/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.32	2.48	0.0007770	0.0632	53.06	175.37	228.43
0.40	8.93	0.0007904	0.0509	61.69	170.28	231.97
0.50	15.74	0.0008056	0.0409	70.93	164.71	235.64
0.60	21.58	0.0008196	0.0341	78.99	159.75	238.74



$$T_{\text{sat}@400\text{kPa}} = 8.93^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{sat}@400\text{kPa}} < T_1 = 20.1^\circ\text{C}$$

Υπέρθερμος ατμός

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 7:

Αρχική Κατάσταση

$$T_1 = 20.1^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 400\text{kPa}$$

T	v	u
20	0.05397	241.37
20.1	?	?
30	0.05662	249.89

R134a
V₁=2m³
P₁=400kPa
T₁=20.1°C

Πίνακας A13

T	P = 0.40 MPa (8.93°C)			
	v	u	h	s
Kορ.	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kg·K)]
0	0.05089	231.97	252.32	0.9145
10	0.05119	232.87	253.35	0.9182
20	0.05397	241.37	262.96	0.9515
30	0.05662	249.89	272.54	0.9837
40	0.05917	258.47	282.14	1.0148
50	0.06164	267.13	291.79	1.0452

$$v_1 = 0.05397 + \frac{20.1-20}{30-20} \cdot (0.05662-0.05397)$$

$$\Rightarrow v_1 = 0.05400 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_1 = 241.37 + \frac{20.1-20}{30-20} \cdot (249.89-241.37)$$

$$\Rightarrow u_1 = 241.46 \text{ kJ/kg}$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{2 \text{ m}^3}{0.054 \text{ m}^3/\text{kg}} \Rightarrow m = 37.03 \text{ kg}$$

$$U_1 = m u_1 = 37.03 \text{ kg} \cdot 241.46 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$$

$$U_1 = 8941 \text{ kJ}$$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 7:

Τελική Κατάσταση

$$P_2 = P_1 = 400\text{kPa} \quad m = 37.03 \text{ kg}$$

Κορεσμένο υγρό

R134a
V₁=2m³
P₁=400kPa
T₁=20.1°C

Πίνακας A12

Πίεση	Θερμοκρασία κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική εσωτερική ενέργεια		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού
P	T _{sat}	v _f	v _g	u _f	u _{fg}	u _g
[MPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.32	2.48	0.0007770	0.0632	53.06	175.37	228.43
0.36	5.04	0.0007939	0.0564	57.54	172.74	230.28
0.40	8.93	0.0007904	0.0509	61.69	170.28	231.97
0.50	15.74	0.0008056	0.0409	70.93	164.71	235.64
0.60	21.58	0.0008196	0.0341	78.99	159.75	238.74

$$T_2 = T_{\text{sat}@400\text{kPa}} = 8.93^\circ\text{C}$$

$$u_2 = u_{f@400\text{kPa}} = 61.69 \text{ kJ/kg}$$

$$U_2 = m u_2 = 37.03 \text{ kg} \cdot 61.69 \text{ kJ/kg} \Rightarrow$$

$$U_2 = 2284 \text{ kJ}$$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 7:

Αρχική Κατάσταση

$$T_1 = 20.1^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 400\text{kPa}$$

Υπέρθερμος ατμός

Τελική Κατάσταση

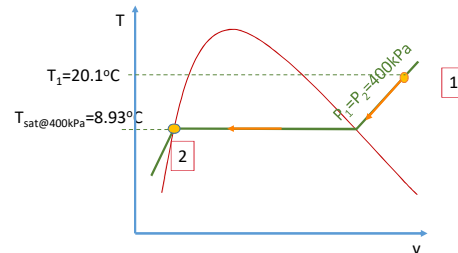
$$T_2 = 8.93^\circ\text{C}$$

$$P_2 = P_1 = 400\text{kPa}$$

Κορεσμένο υγρό

Ισοβαρής ψύξη

R134a
V₁=2m³
P₁=400kPa
T₁=20.1°C



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 1 - 10:

Αιθάνιο εντός άκαμπτου δοχείου πρόκειται να θερμανθεί από τις αρχικές συνθήκες 360 kPa και 30°C μέχρι η θερμοκρασία του να ανέλθει σε [80+A1]°C.

Να προσδιορίσετε την τελική του πίεση, χρησιμοποιώντας την καταστατική εξίσωση ιδανικών αερίων και τον παράγοντα συμπίεστικότητας.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 10:

Δεδομένα

$T_1 = 30^\circ\text{C}$
 $P_1 = 360\text{kPa}$
 $T_2 = 80^\circ\text{C}$

Ζητούμενα

- $P_2 = ?$
 α) Ιδανικό Αέριο
 β) Παράγοντα συμπίεσσης

C_2H_6
 $T_1 = 30^\circ\text{C}$
 $P_1 = 360\text{kPa}$

C_2H_6
 $T_2 = 80^\circ\text{C}$
 $P_2 = ?$

Άκαμπτο δοχείο, άρα ο όγκος παραμένει σταθερός: $V_1 = V_2$

Πίνακας A1:

		M	R	T _{cr}	P _{cr}	V _{cr}
		kg/kmol	kJ/(kg K)	K	MPa	m ³ /kmol
Ethane	C ₂ H ₆	30,070	0,2765	305,5	4,48	0,148

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 10:

Έστω Ιδανικό αέριο

$T_1 = 30^\circ\text{C} = 273 + 30 = 303\text{K}$
 $P_1 = 360\text{kPa}$
 $T_2 = 80^\circ\text{C} = 273 + 80 = 353\text{K}$

Με βάση την Καταστατική Εξίσωση Ιδανικών αερίων και $V_1 = V_2$

$$P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1} = 360\text{kPa} \frac{353\text{K}}{303\text{K}} \Rightarrow P_2 = 419.4\text{kPa}$$

C_2H_6
 $T_1 = 30^\circ\text{C}$
 $P_1 = 360\text{kPa}$

C_2H_6
 $T_2 = 80^\circ\text{C}$
 $P_2 = ?$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 10:

Έστω πραγματικό αέριο

$T_1 = 30^\circ\text{C} = 273 + 30 = 303\text{K}$
 $P_1 = 360\text{kPa}$
 $T_2 = 80^\circ\text{C} = 273 + 80 = 353\text{K}$

Πίνακας A1:

		M	R	T _{cr}	P _{cr}	V _{cr}
		kg/kmol	kJ/(kg K)	K	MPa	m ³ /kmol
Ethane	C ₂ H ₆	30,070	0,2765	305,5	4,48	0,148

Αρχική κατάσταση:

$$T_{R,1} = \frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{303\text{K}}{305.5\text{K}} \Rightarrow T_{R,1} \approx 1.0$$

$$P_{R,1} = \frac{P_1}{P_{cr}} = \frac{360\text{kPa}}{4.48 \cdot 10^3\text{kPa}} \Rightarrow P_{R,1} \approx 0.08$$

C_2H_6
 $T_1 = 30^\circ\text{C}$
 $P_1 = 360\text{kPa}$

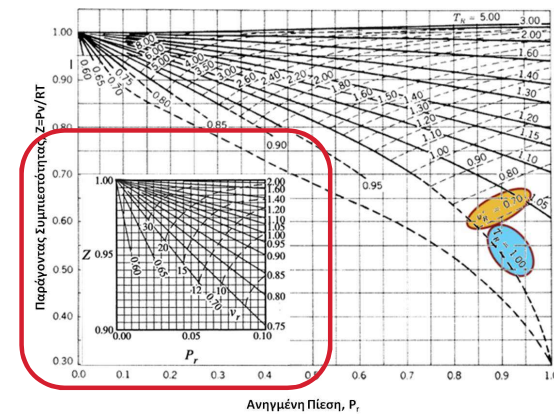
C_2H_6
 $T_2 = 80^\circ\text{C}$
 $P_2 = ?$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 10:

$T_{R,1} \approx 1.0$

$P_{R,1} \approx 0.08$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 10:

$$T_{R,1} \approx 1.0$$

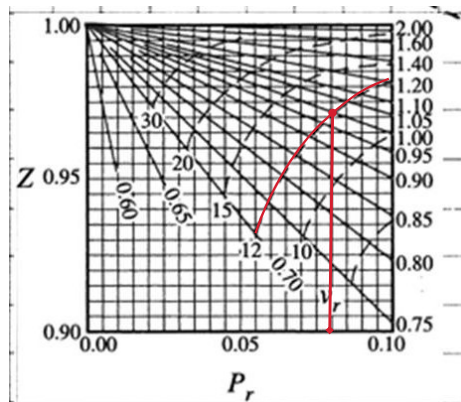
$$P_{R,1} \approx 0.08$$

$$v_{R,1} \approx 12$$

$$v_R = \frac{v}{RT_{cr}/P_{cr}}$$

$$v_1 = v_2 \Rightarrow$$

$$v_{R,1} = v_{R,2}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 10:

Έστω πραγματικό αέριο

$$T_1 = 30^\circ\text{C} = 273 + 30 = 303\text{K}$$

$$P_1 = 360\text{kPa}$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C} = 273 + 80 = 353\text{K}$$

$$\text{C}_2\text{H}_6$$

$$T_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 360\text{kPa}$$

$$\text{C}_2\text{H}_6$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C}$$

$$P_2 = ?$$

Πίνακας A1:

		M kg/kmol	R kJ/(kg K)	T _{cr} K	P _{cr} MPa	V _{cr} m ³ /kmol
Ethane	C ₂ H ₆	30,070	0,2765	305,5	4,48	0,148

Τελική κατάσταση:

$$T_2 = 353\text{K} \quad T_{R,2} = \frac{T_2}{T_{cr}} = \frac{353\text{K}}{305.5\text{K}} \Rightarrow T_{R,2} \approx 1.16$$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #1 - 10:

$$T_{R,2} \approx 1.16$$

$$v_{R,1} = v_{R,2}$$

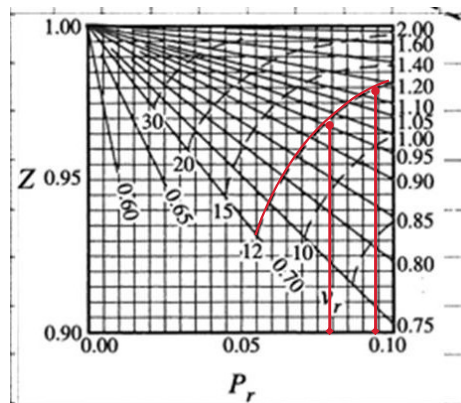
$$P_{R,2} = 0.095$$

$$P_{R,2} = \frac{P_2}{P_{cr}}$$

$$P_2 = P_{R,2} P_{cr} =$$

$$0.095 \cdot 4.48\text{MPa} \Rightarrow$$

$$P_2 = 425.6\text{ kPa}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 2 - 2:

Θεωρούμε ως σύστημα ένα ιδανικό αέριο (με $k=1.4$) που περιέχεται σε μια διάταξη εμβόλου-κυλίνδρου. Το αέριο συμπιέζεται έτσι ώστε κάθε στιγμή να ισχύει η σχέση

$$P = a + b \cdot V$$

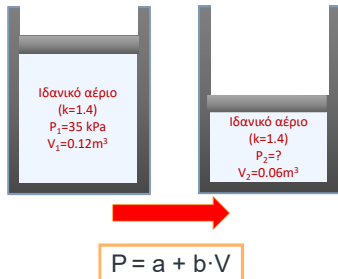
όπου $a=125\text{ kPa}$ και b είναι σταθερές. Το αέριο είχε αρχικά πίεση $[35+0.1 \cdot A1]\text{ kPa}$ και όγκο $[0.12+0.01 \cdot A1]\text{ m}^3$. Ο τελικός όγκος του αερίου είναι μισός του αρχικού. Να υπολογιστεί (α) η μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας του αερίου (β) το έργο που εκτελείται από το αέριο κατά τη διάρκεια της εκτόνωσής του και (γ) η θερμότητα που μεταφέρεται.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 2:

Δεδομένα

Ιδανικό αέριο, $k=1.4$
 $P = a + b \cdot V$
 $a = 125 \text{ kPa}$
 $P_1 = 35 \text{ kPa}$
 $V_1 = 0.12 \text{ m}^3$
 $V_2 = V_1/2$



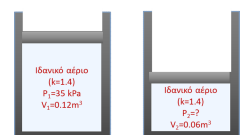
Ζητούμενα

a) $\Delta U = ?$
 b) $W_b = ?$
 c) $Q = ?$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 2:

$P = a + b \cdot V$



Εφόσον το έμβολο σε κάθε στιγμή ισορροπεί, μπορούμε να γράψουμε για την κάθε κατάσταση:

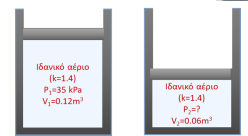
Αρχική Κατάσταση: $P_1 = a + b \cdot V_1 \Rightarrow 35 \text{ kPa} = 125 \text{ kPa} + b \cdot 0.12 \text{ m}^3$ (1)
 $\Rightarrow b = \frac{P_1 - a}{V_1} = \frac{35 - 125}{0.12} \Rightarrow b = -750 \frac{\text{kPa}}{\text{m}^3}$

Τελική Κατάσταση: $P_2 = a + b \cdot V_2 \Rightarrow P_2 = 125 \text{ kPa} - 750 \frac{\text{kPa}}{\text{m}^3} \cdot 0.2 \text{ m}^3$ (2)
 $\Rightarrow P_2 = 80 \text{ kPa}$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 2:

$P = 125 - 750 \cdot V$



(a) $\Delta U = ?$ $\Delta U = n c_v \Delta T$

Χρειαζόμαστε το c_v και το ΔT ! Έχουμε Ιδανικό αέριο με $k=1.4$ οπότε
 $k = c_p/c_v = 1.4 \Rightarrow c_p = 1.4 c_v$
 $R_u = c_p - c_v \Rightarrow 1.4 c_v - c_v = R_u \Rightarrow c_v = R_u/0.4 \Rightarrow c_v = 2.5 R_u$

Έχουμε Ιδανικό αέριο άρα ισχύει η Κ.Ε.

$P_1 V_1 = n R_u T_1$
 $P_2 V_2 = n R_u T_2$

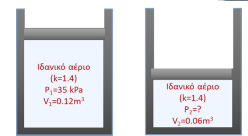
$P_2 V_2 - P_1 V_1 = n R_u (T_2 - T_1) = n R_u \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{n R_u}$

$\Delta U = n c_v \Delta T = n \cdot 2.5 R_u \cdot \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{n R_u} = 2.5 (P_2 V_2 - P_1 V_1) \Rightarrow$
 $\Delta U = 2.5 (80 \cdot 0.06 - 35 \cdot 0.12) \text{ kPa m}^3 \Rightarrow \Delta U = 1.5 \text{ kPa m}^3 \Rightarrow \Delta U = 1.5 \text{ kJ}$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 2:

$P = 125 - 750 \cdot V$



(b) $W_b = ?$ $W_b = \int_1^2 P dV$

Οπότε
 $W_b = \left[aV + b \frac{V^2}{2} \right]_1^2 \Rightarrow W_b = 125 \cdot (V_2 - V_1) - (750/2) \cdot (V_2^2 - V_1^2)$
 $\Rightarrow W_b = 125 \cdot (0.06 - 0.12) - (750/2) \cdot (0.06^2 - 0.12^2)$
 $\Rightarrow W_b = -3.45 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 \Rightarrow W_b = -3.45 \text{ kJ}$

(c) $Q = ?$
 $\Delta U = Q - W_b \Rightarrow Q = \Delta U + W_b = 1.5 \text{ kJ} - 3.45 \text{ kJ} \Rightarrow Q = -1.95 \text{ kJ}$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 2 - 4:

Μια μονωμένη διάταξη εμβόλου κυλίνδρου [5.0+0.5*A1] L περιέχει μίγμα κορεσμένου υγρού και ατμού H₂O ποιότητας [10+A1]% σε πίεση 200 kPa. Το νερό αναδεύεται μέσω ενός αναδευτήρα ο οποίος έχει ισχύ [200+2*A1] W, ενώ ρεύμα έντασης 8 A από πηγή 120 V διαρρέει μια εμβαπτισμένη στο νερό αντίσταση, η οποία θερμαίνει το νερό. Το έμβολο μετακινείται ελεύθερα υπό σταθερή πίεση. Να προσδιοριστεί ο χρόνος που απαιτείται για να εξατμιστεί το νερό και να γίνει κορεσμένος ατμός.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 4:

Δεδομένα

$$V_1 = 5 \text{ L}$$

$$\text{H}_2\text{O}, \text{ Αρχικά } x = 0.1$$

$$P_1 = P_2 = 200 \text{ kPa}$$

$$\dot{W}_{\text{shaft}} = 200 \text{ W}$$

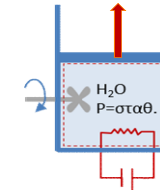
$$I_{\text{el}} = 8 \text{ A}$$

$$V_{\text{el}} = 120 \text{ Volt}$$

$$\text{H}_2\text{O}, \text{ Τελικά Κορ. ατμός}$$

Ζητούμενο

$$\text{a) } t = ?$$



Κλειστό σύστημα

Μονωμένη διάταξη: $Q = 0$

$$\text{Είσοδος: } \dot{W}_{\text{shaft}}$$

$$\dot{W}_{\text{electric}}$$

$$\text{Έξοδος: } \dot{W}_b$$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 4:

1^{ος} Θερμοδυναμικός νόμος (ΣΥΜΒΑΣΗ!!! $Q > 0$ (είσοδος) $W > 0$ (έξοδος))

$$\Delta U = Q - W = Q - (\dot{W}_b + \dot{W}_{\text{shaft}} + \dot{W}_{\text{electric}}) \Delta t$$

$$\Delta U = -(\dot{W}_b + \dot{W}_{\text{shaft}} + \dot{W}_{\text{electric}}) \Delta t \quad \text{Όπου } \dot{W}_b > 0$$

$$\dot{W}_{\text{shaft}} < 0$$

$$\dot{W}_{\text{electric}} < 0$$

$$\Delta U = -(\dot{W}_b + \dot{W}_{\text{shaft}} \Delta t + \dot{W}_{\text{electric}} \Delta t)$$

$$\Delta t = -\frac{\Delta U + \dot{W}_b}{\dot{W}_{\text{shaft}} + \dot{W}_{\text{electric}}} \Rightarrow \Delta t = -\frac{\Delta U + P(V_2 - V_1)}{\dot{W}_{\text{shaft}} + \dot{W}_{\text{electric}}}$$

$$\Delta t = \frac{m\Delta u + P(V_2 - V_1)}{-\dot{W}_{\text{shaft}} - \dot{W}_{\text{electric}}} \quad \& \quad \dot{W}_{\text{shaft}} < 0$$

$$\dot{W}_{\text{electric}} < 0$$

$$\Delta t = \frac{m\Delta u + P(V_2 - V_1)}{|\dot{W}_{\text{shaft}}| + |\dot{W}_{\text{electric}}|}$$

$$\Delta t = \frac{m\Delta h}{|\dot{W}_{\text{shaft}}| + |\dot{W}_{\text{electric}}|}$$

$$\begin{aligned} H &= U + PV \\ \Delta H &= \Delta U + \Delta(PV) \\ \Delta H &= \Delta U + P\Delta V + V\Delta P \\ \text{Για } P &= \text{σταθ.} \\ \Delta H &= \Delta U + P\Delta V \end{aligned}$$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 4:

Αρχική Κατάσταση:

$$P_1 = 200 \text{ kPa} = 0.2 \text{ MPa}$$

$$V_1 = 5 \text{ L} = 0.005 \text{ m}^3$$

Μίγμα κ. υγρού & ατμού $x = 0.1$

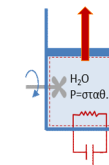
Πίν. A5 $\Rightarrow$

P	T _{sat@P}	v _f	v _g	u _f	u _g	u _g
[MPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.175	116.04	0.001057	1.00360	486.80	2038.10	2524.9
0.200	120.21	0.001061	0.88570	504.49	2025.01	2529.5
0.225	123.97	0.001064	0.79330	520.47	2013.13	2533.6

$$v_1 = v_{f@0.2\text{MPa}} + x(v_{g@0.2\text{MPa}} - v_{f@0.2\text{MPa}}) = 0.001061 + 0.1(0.8857 - 0.001061) = 0.0895 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.005 \text{ m}^3}{0.0895 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.056 \text{ kg}$$

$$u_1 = u_{f@0.2\text{MPa}} + x u_{g@0.2\text{MPa}} = 504.49 + 0.1(2025.01) = 706.99 \text{ kJ/kg}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 4:

- Τελική κατάσταση:

$$P_2 = P_1 = 200 \text{ kPa} = 0.2 \text{ MPa}$$

$$m = 0.056 \text{ kg}$$

Κορεσμένος ατμός

Πίν. A5 $\Rightarrow$

P	T _{sat@P}	v _f	v _g	u _f	u _g	u _g
[MPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.175	116.04	0.001057	1.00360	486.80	2038.10	2524.9
0.200	120.21	0.001061	0.88570	504.49	2025.01	2529.5
0.225	123.97	0.001064	0.79330	520.47	2013.13	2533.6

$$v_2 = v_{g@0.2 \text{ MPa}} = 0.8857 \text{ m}^3/\text{kg}$$

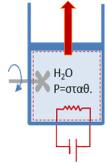
$$V_2 = m v_2 = 0.056 \text{ kg} \cdot 0.8857 \text{ m}^3/\text{kg} = 0.050 \text{ m}^3$$

$$u_2 = u_{g@0.2 \text{ MPa}} = 2529.5 \text{ kJ/kg}$$

$$m\Delta u = m(u_2 - u_1) = 0.056 \text{ kg} (2529.5 - 706.99) \text{ kJ/kg} \Rightarrow \Delta U = m\Delta u = 102.06 \text{ kJ}$$

$$P(V_2 - V_1) = 200 \text{ kPa} (0.050 - 0.005) \text{ kJ/kg} \Rightarrow W_b = P(V_2 - V_1) = 9.0 \text{ kJ}$$

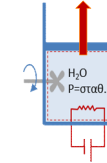
$$\Delta t = \frac{m\Delta u + P(V_2 - V_1)}{|\dot{W}_{\text{shaft}}| + |\dot{W}_{\text{electric}}|}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 4:

$$\Delta t = \frac{m\Delta u + P(V_2 - V_1)}{|\dot{W}_{\text{shaft}}| + |\dot{W}_{\text{electric}}|}$$



$$\Delta U = m\Delta u = 102.06 \text{ kJ}$$

$$W_b = P(V_2 - V_1) = 9.0 \text{ kJ}$$

$$\dot{W}_{\text{electric}} = I_{\text{electric}} V_{\text{electric}} = 8 \text{ A} \cdot 120 \text{ V} = 960 \text{ W} = 0.96 \text{ kW} = 0.96 \text{ kJ/s}$$

$$\dot{W}_{\text{shaft}} = 200 \text{ W} = 0.2 \text{ kW} = 0.2 \text{ kJ/s}$$

$$\Delta t = \frac{102.06 + 9.0}{0.2 + 0.96} \text{ s} \Rightarrow$$

$$\Delta t = 95.7 \text{ s}$$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 2 - 7:

Σε μια βαλβίδα στραγγαλισμού ψυκτικό R134a, εισέρχεται ως κορεσμένο υγρό θερμοκρασίας 12°C και με ογκομετρική παροχή $[700+5 \cdot A1] \text{ cm}^3/\text{s}$, και εξέρχεται με πίεση 120 kPa. Κατά τη διάρκεια του στραγγαλισμού χάνεται θερμότητα $[10+A1] \text{ kJ/kg}$ ψυκτικού. Να υπολογιστούν: (α) η ποιότητα του ψυκτικού και (β) η ογκομετρική παροχή του ψυκτικού στην έξοδο της βαλβίδας στραγγαλισμού.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 7:

Δεδομένα

Ψυκτικό R134a:

Πίνακες A11-A13

- Είσοδος:

R134a
T₁ = 12°C
700 cm³/s

$$T_1 = 12^\circ\text{C}$$

$$V_1 = 700 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Κορεσμένο υγρό

- Παραδοχές:

$$\Delta E_k = \Delta E_p = 0$$

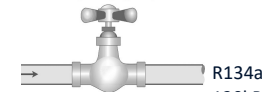
- Έξοδος:

$$P_2 = 120 \text{ kPa}$$

$$q_{\text{out}} = 10 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Άρα } H_1 = H_2 + Q_{\text{out}} \Rightarrow m h_1 = m h_2 + m q_{\text{out}} \Rightarrow h_1 = h_2 + q_{\text{out}}$$

Βαλβίδα στραγγαλισμού



Ζητούμενα

- x₂ = ?
- V₂ = ?

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 7:

- Είσοδος:

$$T_1 = 12^\circ\text{C}$$

$$V_1 = 700 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Κορεσμένο υγρό
Πίνακας A11

Θερμοκρασία	Πίεση κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική ενθαλπία		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού
T	P _{sat}	v _f	v _g	h _f	h _{fg}	h _g
[°C]	[MPa]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
8	0.38756	0.0007884	0.0525	60.73	191.07	251.80
12	0.44294	0.0007971	0.0460	66.18	187.85	254.03
16	0.50416	0.0008063	0.0406	71.69	184.62	266.22
20	0.57160	0.0008157	0.0358	77.26	181.09	258.35
24	0.64566	0.0008257	0.0317	82.90	177.55	260.45

$$P_1 = P_{\text{sat}@12^\circ\text{C}} = 442.94 \text{ kPa}$$

$$v_1 = v_{f@12^\circ\text{C}} = 0.0007971 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_1 = h_{f@12^\circ\text{C}} = 66.18 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = V_1 / v_1 = 0.878 \text{ kg/s}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 7:

- Έξοδος:

$$P_2 = 120 \text{ kPa}$$

$$h_1 = h_2 + q_{\text{out}} \Rightarrow h_2 = h_1 - q_{\text{out}}$$

$$= 66.18 - 10 \Rightarrow h_2 = 56.18 \text{ kJ/kg}$$

Πίνακας A12

Πίεση	Θερμοκρασία κορεσμού	Ειδικός όγκος		Ειδική ενθαλπία		
		Κορεσμένου υγρού	Κορεσμένου ατμού	Κορεσμένου υγρού	Εξ.ατμ.	Κορεσμένου ατμού
P	T _{sat}	v _f	v _g	h _f	h _{fg}	h _g
[MPa]	[°C]	[m ³ /kg]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
0.08	-31.21	0.0007184	0.2366	10.47	217.92	228.39
0.10	-26.43	0.0007258	0.1917	16.29	215.06	231.35
0.12	-22.36	0.0007323	0.1614	21.32	212.54	233.86
0.14	-18.80	0.0007381	0.1395	25.77	210.27	236.04
0.15	-17.21	0.0007408	0.1312	27.78	209.23	237.01

$$T_2 = T_{\text{sat}@120 \text{ kPa}} = -22.36^\circ\text{C}$$

$$h_{f@120 \text{ kPa}} = 21.32 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{g@120 \text{ kPa}} = 233.86 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f@0.12 \text{ MPa}} < h_2 < h_{g@0.12 \text{ MPa}}$$

Μίγμα Κορ. Υγρού & Ατμού



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 7:

- Έξοδος:

$$P_2 = 120 \text{ kPa}$$

$$h_2 = 56.18 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f@120 \text{ kPa}} = 21.32 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{g@120 \text{ kPa}} = 233.86 \text{ kJ/kg}$$

$$x = \frac{h_2 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{56.18 - 21.32}{233.86 - 21.32}$$

$$x = 0.164$$

Από Π A12 βρίσκουμε για $P_2 = 0.12 \text{ MPa}$

$$v_{f@0.12 \text{ MPa}} = 0.0007323 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_2 = \dot{m} v_2 = 0.878 \text{ kg/s} \cdot 0.0271 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_{g@0.12 \text{ MPa}} = 0.1614 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_2 = v_{f@0.12 \text{ MPa}} + x (v_{g@0.12 \text{ MPa}} - v_{f@0.12 \text{ MPa}}) = 0.0271 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_2 = 0.0238 \text{ m}^3/\text{s}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 2 - 9:

Ένας εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται για την ψύξη πετρελαίου ($c_p = 2.20 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) από τους 150°C στους 40°C και ροή $[2.0 + 0.1 \cdot A1] \text{ kg/s}$. Για την ψύξη χρησιμοποιείται νερό ($c_p = 4.18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) που εισέρχεται στον εναλλάκτη στους 22°C και με ρυθμό $[1.5 + 0.2 \cdot A1] \text{ kg/s}$. Να προσδιορισθεί (α) ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στον εναλλάκτη και (β) η θερμοκρασία εξόδου του νερού.



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 9:

Δεδομένα

- Πετρέλαιο (oil):

$$T_{1,oil}=150^{\circ}\text{C}$$

$$T_{2,oil}=40^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m}_{oil}=2\text{ kg/s}$$

$$c_{p,oil}=2.20\text{ kJ/(kg K)}$$

- Νερό ψύξης (w):

$$T_{1,w}=22^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m}_w=1.5\text{ kg/s}$$

$$c_{p,w}=4.18\text{ kJ/(kg K)}$$



Παραδοχές

Σταθεροποιημένη ροή

$$W=0, Q=0$$

$$\Delta E_k=0, \Delta E_\delta=0$$

Ζητούμενα

a) $\dot{Q}$

b) $T_{2,w}=?$



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 9:

Ισοζύγιο ενέργειας στο

Πετρέλαιο (oil):

$$H_{1,oil} = H_{2,oil} + Q_{out} \Rightarrow$$

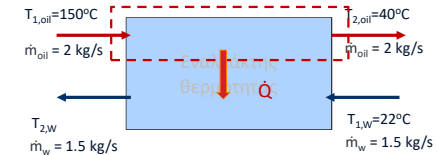
$$\dot{m}_{oil} h_{1,oil} = \dot{m}_{oil} h_{2,oil} + \dot{Q}_{out} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{oil} (h_{1,oil} - h_{2,oil}) = \dot{Q}_{out} \Rightarrow$$

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}_{oil} c_{p,oil} (T_{1,oil} - T_{2,oil})$$

$$\dot{Q}_{out} = 2 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 2.20 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (150 - 40) \text{K} \Rightarrow \quad \dot{Q}_{out} = 484 \text{ kJ}$$

Αν χρησιμοποιήσω τον 1° Θ.Ν: $\Delta H = m c_p (T_2 - T_1) = Q$, τότε το $Q < 0$ γιατί βγαίνει από το σύστημα



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 9:

Ισοζύγιο ενέργειας στο Νερό

(w):

$$H_{1,w} + Q_{in} = H_{2,w} \Rightarrow$$

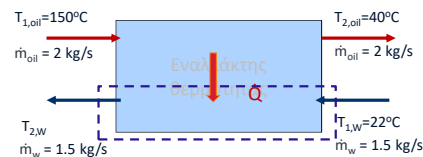
$$\dot{m}_w h_{1,w} + \dot{Q}_{in} = \dot{m}_w h_{2,w}$$

$$\dot{m}_w (h_{2,w} - h_{1,w}) = \dot{Q}_{in} \Rightarrow$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_w c_{p,w} (T_{2,w} - T_{1,w})$$

$$T_{2,w} = T_{1,w} + \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}_w c_{p,w}} \quad T_{2,w} = 22^{\circ}\text{C} + \frac{484 \text{ kJ}}{1.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}} \quad T_{2,w} = 99^{\circ}\text{C}$$

Αν χρησιμοποιήσω τον 1° Θ.Ν: $\Delta H = m c_p (T_2 - T_1) = Q$, τότε το $Q > 0$ γιατί εισέρχεται στο σύστημα



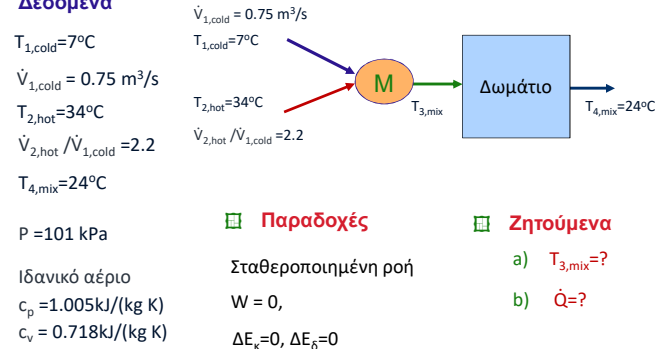
ΑΣΚΗΣΗ Σειρά 2 - 10:

Ένα σύστημα κλιματισμού περιλαμβάνει την ανάμιξη ψυχρού αέρα, και θερμού αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος, πριν το μίγμα οδηγηθεί στο κλιματιζόμενο δωμάτιο σε συνθήκες σταθεροποιημένης ροής. Ο ψυχρός αέρας εισέρχεται στο θάλαμο ανάμιξης στους $[7+0.5 \cdot A1]^{\circ}\text{C}$ και στα 101 kPa με ρυθμό $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ ο θερμός αέρας εισέρχεται στους 34°C και στα 101 kPa. Ο λόγος των ογκομετρικών παροχών του θερμού προς τον ψυχρό αέρα ισούται με $[2.2+0.1 \cdot A1]$. Να προσδιορίσετε (α) τη θερμοκρασία του μίγματος που εισέρχεται στο δωμάτιο. Ο αέρας εξέρχεται από το δωμάτιο στους 24°C και στα 101 kPa. Να προσδιορίσετε (β) το ρυθμό πρόσληψης θερμότητας του δωματίου. Να θεωρήσετε ότι ο αέρας συμπεριφέρεται ως ιδανικό αέριο με σταθερές ειδικές θερμότητες $c_p=1.005 \text{ kJ/(kgK)}$, $c_v=0.718 \text{ kJ/(kgK)}$.

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 10:

Δεδομένα



Παραδοχές

Σταθεροποιημένη ροή
 $W = 0$,
 $\Delta E_k = 0, \Delta E_o = 0$

Ζητούμενα

- $T_{3,mix} = ?$
- $\dot{Q} = ?$

ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 10:

❖ Ισοζύγια μάζας:

Ρεύμα 1 (ψυχρός αέρας)

$$T_{1,cold} = 7^{\circ}\text{C} = 273 + 7 = 280 \text{ K}$$

$$\dot{V}_{1,cold} = 0.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

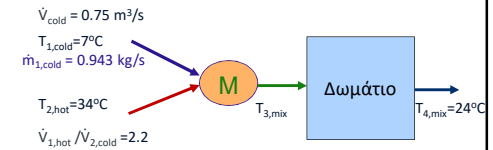
$$P = 101 \text{ kPa}$$

$$c_p = 1.005 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$c_v = 0.718 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$R = c_p - c_v = 1.005 - 0.718 = 0.287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$P \dot{V}_{1,cold} = \dot{m}_{1,cold} R T_{1,cold} \Rightarrow \dot{m}_{1,cold} = \frac{P \dot{V}_{1,cold}}{R T_{1,cold}} = \frac{101 \text{ kPa} \cdot 0.75 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 280 \text{ K}} \Rightarrow \dot{m}_{1,cold} = 0.943 \text{ kg/s}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 10:

❖ Ισοζύγια μάζας:

Ρεύμα 2 (θερμός αέρας)

$$T_{2,hot} = 34^{\circ}\text{C} = 273 + 34 = 307 \text{ K}$$

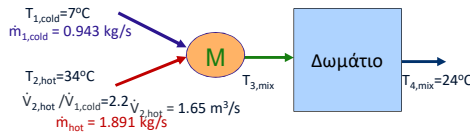
$$\dot{V}_{2,hot} / \dot{V}_{1,cold} = 2.2 \Rightarrow$$

$$\dot{V}_{2,hot} = 2.2 \dot{V}_{1,cold} = 2.2 \cdot 0.75 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \dot{V}_{2,hot} = 1.65 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = 101 \text{ kPa}$$

$$R = 0.287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$P \dot{V}_{hot} = \dot{m}_{2,hot} R T_{2,hot} \Rightarrow \dot{m}_{2,hot} = \frac{P \dot{V}_{2,hot}}{R T_{2,hot}} = \frac{101 \text{ kPa} \cdot 1.65 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 307 \text{ K}} \Rightarrow \dot{m}_{2,hot} = 1.891 \text{ kg/s}$$



ΜΠ 229: Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική

ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 10:

❖ Ισοζύγια μάζας:

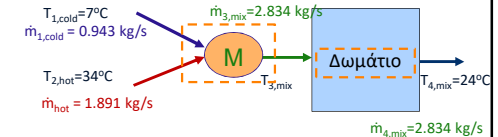
Ρεύμα 3 (μίγμα αέρα)

$$\dot{m}_{1,cold} + \dot{m}_{2,hot} = \dot{m}_{3,mix}$$

$$\dot{m}_{3,mix} = 0.943 + 1.891 \Rightarrow \dot{m}_{3,mix} = 2.834 \text{ kg/s}$$

Ρεύμα 4 (μίγμα αέρα – έξοδος από δωμάτιο)

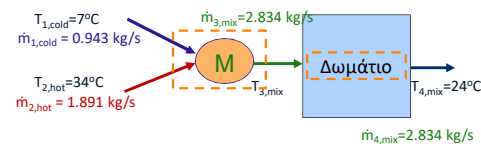
$$\dot{m}_{4,mix} = \dot{m}_{3,mix} = 2.834 \text{ kg/s}$$





ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 10:

❖ Ισοζύγια ενέργειας:



Μίξη ρευμάτων αέρα

$$\dot{m}_{1,cold} h_{1,cold} + \dot{m}_{2,hot} h_{2,hot} = \dot{m}_{3,mix} h_{3,mix} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{1,cold} c_p (T_{1,cold} - T_0) + \dot{m}_{2,hot} c_p (T_{2,hot} - T_0) = \dot{m}_{3,mix} c_p (T_{3,mix} - T_0) \Rightarrow$$

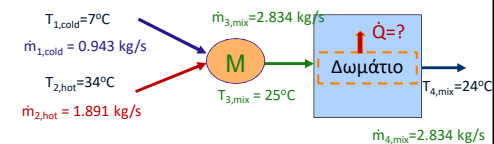
$$\dot{m}_{1,cold} T_{1,cold} + \dot{m}_{2,hot} T_{2,hot} = \dot{m}_{3,mix} T_{3,mix} \Rightarrow$$

$$T_{3,mix} = \frac{\dot{m}_{1,cold} T_{1,cold} + \dot{m}_{2,hot} T_{2,hot}}{\dot{m}_{3,mix}} = \frac{0.943 \text{ kg/s} \cdot 280 \text{ K} + 1.891 \text{ kg/s} \cdot 307 \text{ K}}{2.834 \text{ kg/s}} \Rightarrow \begin{matrix} T_{3,mix} = 298 \text{ K} \\ T_{3,mix} = 25^\circ \text{C} \end{matrix}$$



ΑΣΚΗΣΗ Σειρά #2 - 10:

❖ Ισοζύγια ενέργειας:



Διέλευση αέρα από δωμάτιο

$$\dot{m}_{3,mix} h_{3,mix} = \dot{m}_{4,mix} h_{4,mix} + \dot{Q}_{out}$$

$$\dot{m}_{3,mix} (h_{3,mix} - h_{4,mix}) = \dot{Q}_{out}$$

$$\dot{m}_{3,mix} c_p (T_{3,mix} - T_{4,mix}) = \dot{Q}_{out}$$

$$\dot{Q}_{out} = 2.834 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (25 - 24)^\circ \text{C} \Rightarrow \dot{Q}_{out} = 2.848 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$