

Πέμπτη 10 Μαρτίου 2022

3.4

~~Λίθος Η πορεία~~
Σωστό

3.5

Λίθος

3.6

Γραμμική παρεμβολή

Άσκηση 3.7

1. Π. Α4 ελάττω (αυτή η τιμή) πως συμπεριφέρεται ο ελαστικός
→ $T = 140^\circ\text{C}$
→ $v = 0,05 \text{ m}^3/\text{kg} \rightarrow v_f < v < v_g \Rightarrow$

$$\Rightarrow 0,001080 < v < 0,5089$$

Άρα έχω κορεσμένο ~~αίρα~~ υγρό αέρα

Επομένως, $P = P_{\text{sat}@140^\circ\text{C}} = 0,3613 \text{ MPa}$

2) $P = 550 \text{ kPa}$ } $\rightarrow$ Πυκνωτής AS
 κορεσμένο υγρό } $\downarrow$

Επίσης $V = V_f = 0,001092 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

και η θερμοκρασία είναι ίση με τη
 θερμοκρασία κορεσμού στα 550 kPa :

$T = T_{\text{sat}@0,55 \text{ MPa}} = 155,46^\circ \text{C}$.

3) $T = 125^\circ \text{C}$ } Δύο ζεύγη: Είτε πίεση
 $P = 0,75 \text{ MPa}$ } των ΠΑΣ ή ΠΑ4

α' Τρίτος

Από ΠΑ4 για $T = 125^\circ \text{C}$ παρατηρούμε ότι

$P_{\text{sat}@125^\circ \text{C}} = 0,2321 \text{ MPa} > P = 0,75 \text{ MPa}$

Άρα έχω συμπιεσμένο υγρό.

Θυμίζω κατα πρόκληση ότι ~~α' έχει~~

$V = V_f@125^\circ \text{C} = 0,001065 \text{ m}^3/\text{kg}$

Ερώτηση

Από ΠΑ5 παρατηρούμε ότι για $P=0,75 \text{ MPa}$

$$T_{\text{sat}@0,75 \text{ MPa}} = 167,75^\circ\text{C} > T$$

Άρα έχω συμπιεσμένο υγρό

Τον ειδικό όγκο του ψαμμένου από τον ΠΑ4.

Προσοχή! Τις τιμές των ιδιοτήτων στην περίπτωση συμπιεσμένου υγρού τις παίρνουμε από τον Πίνακα με τις θερμοκρασίες (ΠΑ4) όχι ΠΑ5

Διότι οι ιδιοτητες τιμές των ιδιοτήτων εξαρτώνται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη θερμοκρασία παρά των πιέσεων. Αν τις λάμβαναν από την πίεση (ΠΑ5) τότε θα είχα μεγαλύτερο σφάλμα.

4.] Από ΠΑ4 βρίσκουμε $V_f = 0,001404$
 $V_g = 0,02167$

Αρα $v = 0,523 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} > V_g$

Επομένως έχω υπερθέρμη ατμός

Πάμε στον ΠΑ6 και βρίσκουμε σε ποια πίεση ο ειδικός όγκος $= 0,523 \text{ m}^3/\text{kg}$ στους 300°C

Συμπεραίνουμε από τον πίνακα ότι ατμός υπερθέρμης σε $P = 0,5 \text{ MPa}$

Ασκηση 3.8

$V_{\text{tot}} = 3,8 \text{ m}^3$ (α) Από ΠΑ4 βρίσκουμε για $T = 220^\circ\text{C}$

$T = 220^\circ\text{C}$

$V_f = 0,001190 \text{ m}^3/\text{kg}$

$V_g = 0,08619 \text{ m}^3/\text{kg}$

$V_f = \frac{1}{3} V_{\text{tot}}$

$V_g = \frac{2}{3} V_{\text{tot}}$

(α) Εφόσον έχω κορεσμένο υγρό ατμό σε $P = P_{\text{sat}@220^\circ\text{C}} = 2,318 \text{ MPa}$

$$B) x = \frac{m_g}{m_{tot}} \quad \text{отсюда} \quad m_{tot} = m_f + m_g \quad (2)$$

$$V_f = \frac{V_f}{m_f} = \frac{\frac{1}{3} V_{tot}}{m_f} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_f = \frac{\frac{1}{3} 1,8}{0,001190} = 504,2 \text{ kg}$$

$$V_g = \frac{V_g}{m_g} \Rightarrow m_g = \frac{\frac{2}{3} 1,8}{0,08619} = 13,93 \text{ kg}$$

$$② x = \frac{13,93}{518,13} = 0,027 \text{ (2,7\%)}$$

$$\gamma) \rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{v}$$

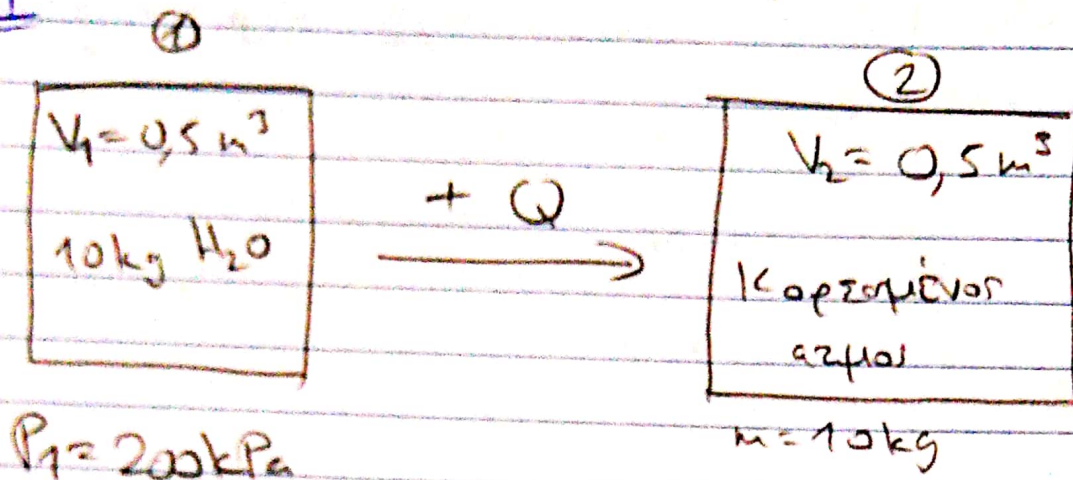
составляем уравнение: $V = V_f + V_g \cdot x \Rightarrow$

$$\Rightarrow V = V_f + x (V_g - V_f) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V = 0,003485 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Ана $\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,003485} = 286,95 \text{ kg/m}^3$

3.1



a) $T_1 = ?$

b) $m_{g,1} = ?$, $m_{f,1} = ?$

γ) T_2 , P_2 , V_2

$$v_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{0,5}{10} = 0,05 \text{ m}^3/\text{kg}$$

ω) TIAS

$$v_{f@0,2 \text{ MPa}} = 0,001061 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v_{g@0,2 \text{ MPa}} = 0,88570 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow v_f < v_1 < v_g$$



Μίγμα κορεσμένου
υγρού αερίου

$$T_1 = T_{\text{sat}@0,2 \text{ MPa}} = 120,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

б)

$$X = \frac{m_g}{m_{\text{tot}}}$$

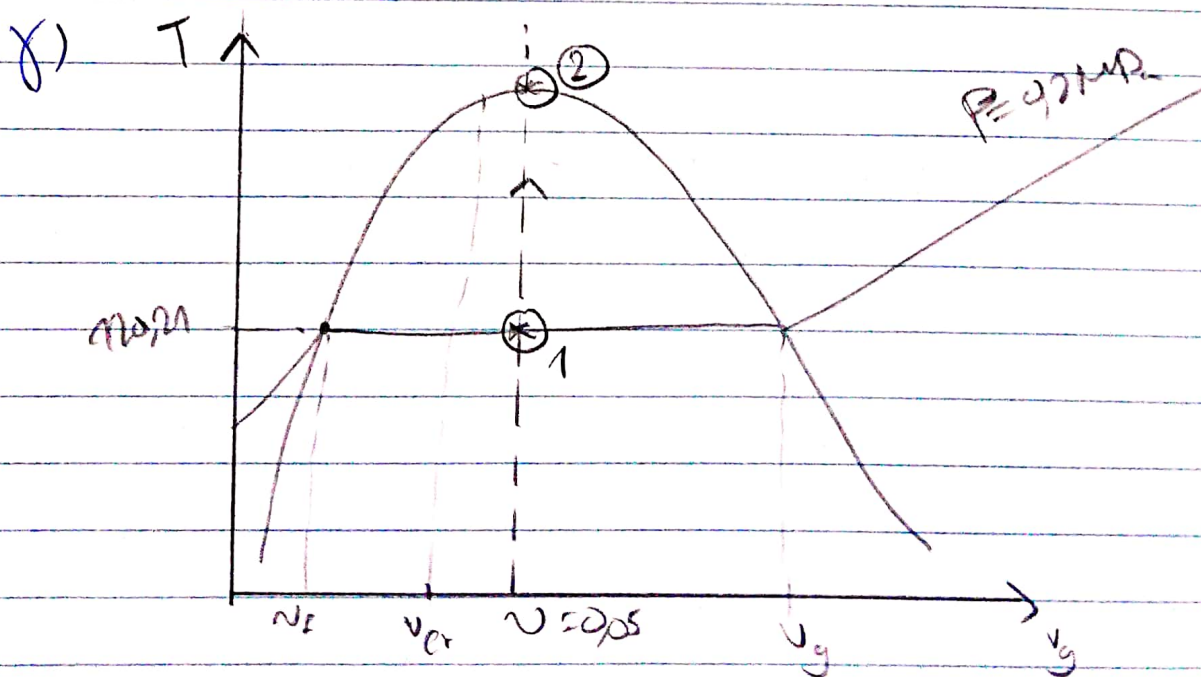
$$X = \frac{y - y_p}{y_g - y_p} \quad y = \begin{cases} v \\ h \\ u \\ s \end{cases}$$

$$X = \frac{v_1 - v_p}{v_g - v_p} = \frac{0,05 - 0,001061}{0,88570 - 0,001061} = 0,055$$

$$X = \frac{m_g}{m_{\text{tot}}} \Rightarrow m_g = m \cdot X \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_g = 10 \cdot 0,055 = 0,55 \text{ kg}$$

$$m_p = m_{\text{tot}} - m_g = 9,45 \text{ kg}$$



Этот график иллюстрирует связь между температурой и скоростью.

11A5

$$v_2 = v_1 = v_g @ P_2$$

	P (MPa)	v (m³/kg)	T (°C)
(T)	3,5	0,5707	242,56
	?	0,05	?
(B)	4	0,4978	250,35

$$\frac{v_2 - v_T}{v_B - v_T} = \frac{T_2 - T_T}{T_B - T_T} \Rightarrow$$

$$T_2 = T_T + (T_B - T_T) \frac{v_2 - v_T}{v_B - v_T}$$

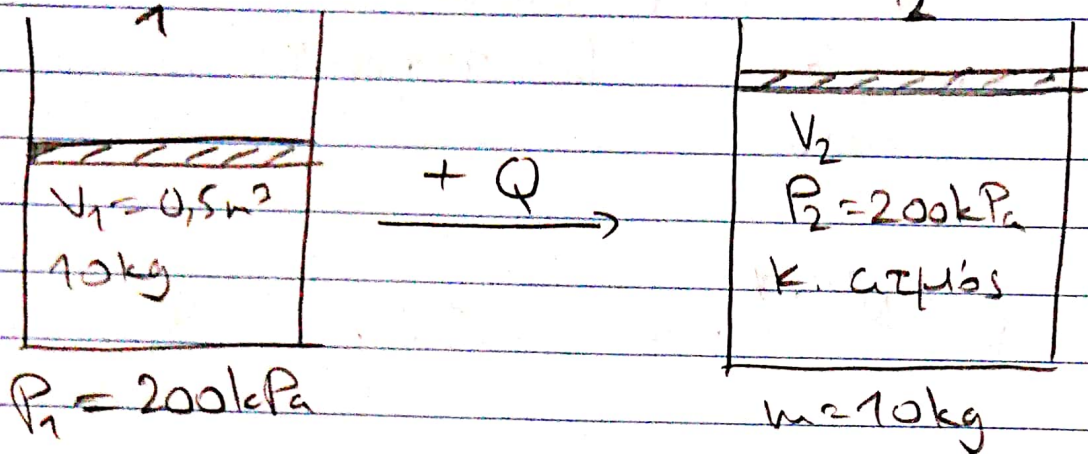
$$= 242,56 + (250,35 - 242,56) \frac{0,05 - 0,5707}{0,4978 - 0,5707} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_2 = 250,1^\circ\text{C}$$

Options

$$P_2 = 3,98 \text{ MPa}$$

3.2



a) $T_1 = ? \rightarrow$ δδια μρ το 3.1a

b) $V_{g1} = ?$, $V_{f1} = ?$

γ) T_2, P_2, V_2

$$b) V_{f1} = m_f \cdot v_{f1} = 29,45 \cdot 0,001061 \approx 0,01 \text{ m}^3$$

$$V_{g1} = m_g \cdot v_{g1} = 0,055 \cdot 0,8857 \text{ m}^3$$

$$V_g = V - V_f = 0,5 - 0,01 = 0,49 \text{ m}^3$$

$$\% V_{f1} = \frac{0,01}{0,5} \cdot 100 = 2\%$$

$$V_{act1} = \frac{0,49}{0,5} \cdot 100 = 98\%$$

γ) Ισοβαρής $\rightarrow P_2 = 200 \text{ kPa}$
σε κεραιώδη $T_2 = 120,21^\circ \text{C}$
αέριο

$$V_2 = m \cdot v_g = 10 \text{ kg} \cdot 0,8887 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 8,86 \text{ m}^3$$

Παράγοντας συμπιεστότητας (Z)

Για $P > P_{\text{κρίσιμη}}$ δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την κατάσταση. Για να τις χρησιμοποιήσουμε εισάγουμε διορθωτικούς παράγοντες:

$$Z = \frac{P \cdot V_{\text{πραγμ.}}}{R \cdot T} \quad \left\{ \leftarrow \text{παράγ. συμπύκνωσης} \right.$$

$$Z = \frac{V_{\text{πραγμ.}}}{V_{\text{ιδανικ.}}} = \frac{V_{\text{πραγμ.}}}{\frac{R \cdot T}{P}} = \frac{V_{\text{πραγμ.}} \cdot P}{R \cdot T}$$

Για ιδανικά αέρια: $Z=1$

Αντικείμενη Πίεση: $P_R = \frac{P}{P_{\text{cr}}}$

Αντικείμενη Θερμοκρασία: $T_R = \frac{T}{T_{\text{cr}}}$

Αντικείμενος ειδικός όγκος: $v_R = \frac{v}{v_{\text{cr}}}$

όπου ~~T_R, P_R, v_R~~

$T_{\text{cr}}, P_{\text{cr}}, v_{\text{cr}}$ από Πίνακες

→ Μεθοδολογία για εύρεση του v αν μας δώσουν η P και η T :

- 1) Υπολογίζουμε την των αμνηστική πίεση και αμνηστική θερμοκρασία

$$P_R = \frac{P}{P_{cr}}, \quad T_R = \frac{T}{T_{cr}}$$

- 2) Από γενικευμένο διάγραμμα συμπεριφοράς υπολογίζουμε το Z

3) Αντικαθιστούμε στην εγ. $Z = \frac{P \cdot v_R}{R \cdot T} \Rightarrow v = \frac{Z \cdot R \cdot T}{P}$

→ Μεθοδολογία υπολογισμού $P(v, T)$ για δεδομένα v και T (ή P)
(ή πίεση)

- 1) Υπολογίζουμε αμνηστική θερμοκρασία και αμνηστικό ειδικό όγκο

$$T_R = \frac{T}{T_{cr}}, \quad v_R = \frac{v}{v_{cr}} \quad \left(\text{ή } P_R = \frac{P}{P_{cr}} \right)$$

- 2) Από γενικευμένο διάγραμμα συμπεριφοράς υπολογίζουμε το Z για το βέλος T_R, v_R (ή P_R, v_R)

3) Αντικαθιστούμε στην εγ. $Z = \frac{P \cdot v}{R \cdot T} \Rightarrow P = \frac{Z \cdot R \cdot T}{v}$

$$\left(\text{ή } T = \frac{P \cdot v}{Z \cdot R} \right)$$

Παράδειγμα

4.3

$$Z = 0,8$$

$$\rho_s = 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{mp}} = ?$$

$$Z = \frac{v_{\text{mp}}}{v_s} \xrightarrow{\rho = \frac{1}{v}} Z = \frac{\rho_s}{\rho_{\text{mp}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho_{\text{mp}} = \frac{\rho_s}{Z} \Rightarrow \rho_{\text{mp}} = \frac{50}{0,8} = 62,5 \text{ kg/m}^3$$

4.4

Από Πίνακα A1 για το ρεψ. ψυκτικό R134a:

$$R = 0,0815 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}}, \quad T_{\text{cr}} = 374,2 \text{ K}$$

$$P_{\text{cr}} = 4,059 \text{ MPa}$$

(α) Υποθέτουμε ιδανικό αέριο, ο εύκολος δρόμος:

$$v = \frac{R \cdot T}{P} \Rightarrow v = \frac{0,0815 \cdot (50 + 273)}{1000 \text{ kPa}} = 0,026325 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Το σφάλμα σε σχέση με την πραγματική τιμή του γ :

$$\frac{|0,021796 - 0,026325|}{0,021796} \cdot 100 = 0,208 \quad (20,8\%)$$

Αρκεί μεγάλο σφάλμα

(6)

$$T_R = T = (50 + 273) = 323 \text{ K}$$

$$\cancel{P_R = P}$$

$$\frac{P_R}{P_{cr}} = \frac{1 \text{ MPa}}{4,059 \text{ MPa}} = 0,246$$

$$\frac{T_R}{T_{cr}} = \frac{T}{T_{cr}} = \frac{(50 + 273)}{374,2} = 0,863$$

$Z = 0,85 \rightarrow$ Απο γενικευμ. διαφ. σφαιρ.

$$Z = \frac{V_{\text{νεογμ}}}{V_{\text{ε}} \Rightarrow V_{\text{νεογμ}} = Z \cdot V_{\text{ε}} =$$

$$\Rightarrow V_{\text{ne}} = 0,85 \cdot 0,026325 = 0,022376 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

h

$$V_{\text{ne}} = \frac{Z \cdot R \cdot T}{P} = 0,022376$$

$$\Sigma \phi_{\text{α}} = \frac{|0,022376 - 0,021796|}{0,021796} = 0,026 \text{ (2,6\%)}$$

4.7

Από ΠΑ1: $R = 0,08149 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$T_{\text{cr}} = 374,2 \text{ K}$$

$$P_{\text{cr}} = 4,059 \text{ MPa}$$

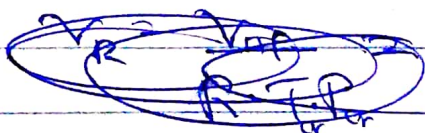
Ο ειδικός όγκος του υδρατμού: $v = \frac{V}{m} \Rightarrow$

$$\Rightarrow v = \frac{0,016773}{1} = 0,016773 \text{ m}^3/\text{kg}$$

(α) Από καταστατική: $P = \frac{R \cdot T}{v} \Rightarrow$

$$\Rightarrow P = \frac{0,08149 \cdot (110 + 273)}{0,016773} = 1861 \text{ kPa}$$

(β) $T_R = \frac{T}{T_{\text{cr}}} = \frac{383}{374,2} = 1,02$



$$v_R = \frac{v_{\text{HP}}}{R \cdot T_{\text{cr}}/P_{\text{cr}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_R = \frac{0,016773}{0,08149 \cdot \left(\frac{374,2}{4059 \text{ kPa}} \right)} = 2,2$$

Ando Supp. eqn.

$$\cancel{P_R = 0,4} \quad P_R = 0,38 \approx 0,4$$

$$\text{Appl. } P_R = \frac{P}{P_{cr}} \Rightarrow P = P_{cr} \cdot P_R \Rightarrow$$

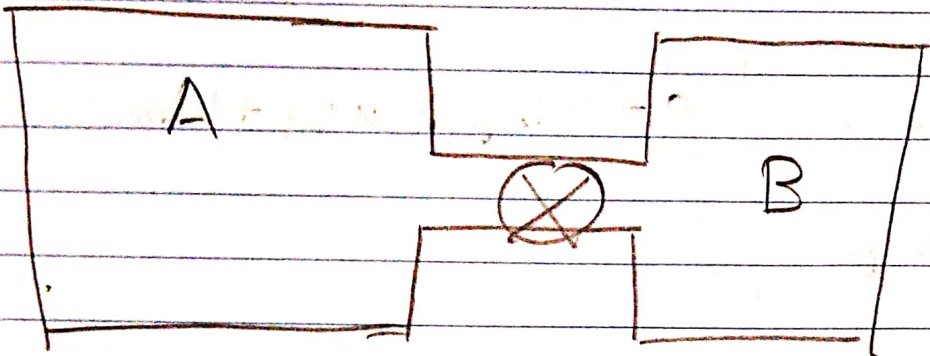
$$\Rightarrow P = 0,38 \cdot 4,059 = 1,623 \text{ MPa}$$

$$1623 \text{ kPa}$$

17/03/2022

Ασκησης #4

4.1



Δεδομένα

$$V_A = 0,50 \text{ m}^3$$

$$T_{A1} = 60^\circ\text{C}$$

$$P_{A1} = 850 \text{ kPa}$$

$$T_{B2} = 20^\circ\text{C}$$

$$P_{B2} = 620 \text{ kPa}$$

$$T_{A2} = 50^\circ\text{C}$$

$$P_{A2} = 700 \text{ kPa}$$

Ζητούμενο

$$V_{B2} = ?$$

Παραδοχή

$A_{\text{air}} = \text{same air}$

$$T_{\text{cr}} = 135,2 \text{ K} \Rightarrow T_r > 2$$

$$P_{\text{cr}} = 3,87 \text{ MPa} \Rightarrow P_r < 1$$

$$8314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{\text{kmol}}{28,9 \text{ kg}}$$

$$R_{\text{air}} = 0,2870 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m = m_A + m_B$$

apr. karort

$$m = m_{A1} + 0$$

zēdāi karortam

$$m = m_{A2} + m_{B2}$$

$$\Rightarrow m_{A1} = m_{A2} + m_{B2}$$

$$V_{A1} = \frac{m_{A1} \cdot R_{\text{air}} \cdot T_{A1}}{P_{A1}} \Rightarrow m_{A1} = \frac{V_{A1} \cdot P_{A1}}{R_{\text{air}} \cdot T_{A1}} \quad *_1$$

$$m_{A2} = \frac{V_{A1} \cdot P_{A2}}{R_{\text{air}} \cdot T_{A2}} \quad *_2$$

$$*_1 = \frac{850 \text{ kPa} \cdot 0,5 \text{ m}^3}{0,2870 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (273 + 60) \text{ K}} = 4,45 \text{ kg}$$

$$*_2 = \frac{700 \cdot 0,5}{0,2870 \cdot (273 + 50)} = 3,78 \text{ kg}$$

$$m_{B2} = m_{A1} - m_{A2} = 4,45 - 3,78 = 0,67 \text{ kg}$$

Για το B2 έχω

~~$V_B = \frac{m_B}{\rho_B}$~~ $P_B \cdot V_B = m_B \cdot R_{air} \cdot T_B \Rightarrow$

$$\Rightarrow V_B = \frac{m_{B2} \cdot R_{air} \cdot T_{B2}}{P_{B2}} \quad \text{Q}$$

$$= \frac{0,67 \text{ kg} \cdot 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (273+20) \text{ K}}{620 \text{ kPa}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_B = 0,091 \text{ m}^3$$

4.2

V_1	$0,5 V_1$
-------	-----------

Δεδομένα

~~P_1~~ $T_{1,1} = 927^\circ \text{C}$

$$P_1 = P_2 = P$$

$$V_2 = 1,5 V_1$$

Ζητούμενο

$$T_2 = ?$$

Apx. karazoz

$$V_1 = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{P}$$

Ta. Karan

$$\left. \begin{array}{l} V_2 = V_1 \cdot 1,5 \\ V_2 = \frac{m \cdot R \cdot T_2}{P} \end{array} \right\} \Rightarrow V_1 \cdot 1,5 = \frac{m \cdot R \cdot T_2}{P} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{h \cdot R \cdot T_1}{P} = \frac{h \cdot R \cdot T_2}{P}$$

$$\Rightarrow T_2 = 1,5 \cdot (922 \cdot 273) \text{ K}$$

2) $T_2 = 1800 \text{ K} = 1527$

4.3

$$T_g = 25^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 4 \text{ MPa}$$

$$P_2 = 5,1 \text{ MPa}$$

1) Kārtoto ordenuma, $\text{ord } V$ } $\rightarrow$
 $\hookrightarrow$ ord. m

$$\Rightarrow r = \frac{V}{2\pi r l c}$$

$$\frac{V}{m} = r = \frac{R \cdot T}{P}$$

apx. kritisch

$$v = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{0,2598 \cdot (-25^\circ\text{C} + 273)}{4 \text{ MPa} \cdot \frac{10^3 \text{ kPa}}{\text{MPa}}} = 0,016 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_1 = v_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{R \cdot T_2}{P_2} \Rightarrow T_2 = \frac{P_2}{P_1} \cdot T_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_2 = 316,2 \text{ K}$$

ii) Van der Waals

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) \cdot (v - b) = R \cdot T$$

$$a = \frac{27 R \cdot T_{cr}^2}{64 P_{cr}} = 0,1343 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^6}{\text{kg}^2}$$

$$b = \frac{R \cdot T_{cr}}{8 P_{cr}} = 0,0009896 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$4000 v^3 - (4000 \cdot 9,896 \cdot 10^{-4} + 0,2598 \cdot 373) v^2 + 0 \dots \Rightarrow$$

$$v_{vdw} = 0,0150 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\left(P_2 + \frac{a}{v_{vclw}^2}\right)(v_{vclw} - b) = R \cdot T_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{T_2 = 307 \text{ K}}$$

(ii)

$$T_r = \frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{2418}{154,8} = 1,6$$

$$P_r = \frac{P_1}{P_{cr}} = \frac{4 \text{ MPa}}{5,08 \text{ MPa}} = 0,79$$

$$v_r = 1,9$$

$$v = \frac{v_r \cdot R \cdot T_{cr}}{P_{cr}} = 0,01504 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_2^{idg} = 316 \text{ K}$$

$$T_2^{vclw} = 307 \text{ K}$$

$$T_2^2 = 310 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} &\text{cd. arpe} \\ &\frac{\Delta T}{T_{ref}} \cdot 100 = \frac{316 - 310}{310} = 1,9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Arpe vclw} \\ &= \frac{307 - 310}{310} = -1\% \end{aligned}$$

Παράδειγμα

4.6

$$R_{H_2O} = 0,4615 \frac{\text{kJ} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$P_{cr} = 22,06 \text{ MPa}$$

$$T_{cr} = 647,1 \text{ K}$$

1^η περίπτωση

$$\frac{P \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{P \cdot V_2}{R \cdot T_2}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{2V_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = 2T_1 = 2 \cdot (360 + 273) = 1266 \text{ K}$$

2^η περίπτωση

$$P = P_{\text{sat}@360^\circ\text{C}} = 18,651 \text{ MPa}$$

$$P_{r1} = P_{r2} = \frac{18,651}{22,06} = 0,85$$

$$T_{r1} = \frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{(360 + 273)}{647,1} = 0,981$$

$\delta W_b > 0 \rightarrow$ το σύστημα παράγει έργο

$\delta W_b < 0 \rightarrow$ το σύστημα καταναλώνει έργο

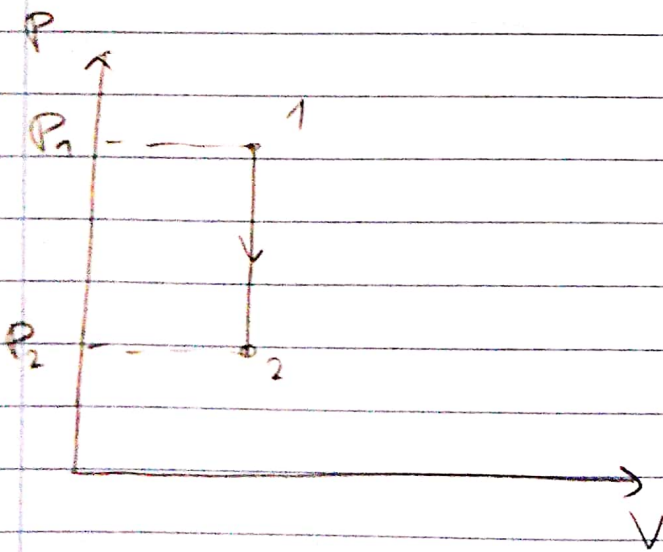
Έργο μετακίνησης ογκωδών σωμ.

Ειδικές περιπτώσεις

A. Αναστρεψιμή διεργασία σταθ. όγκου (αδύναμη):

~~W_b~~ $W_b = \int_1^2 P \cdot dV = 0$

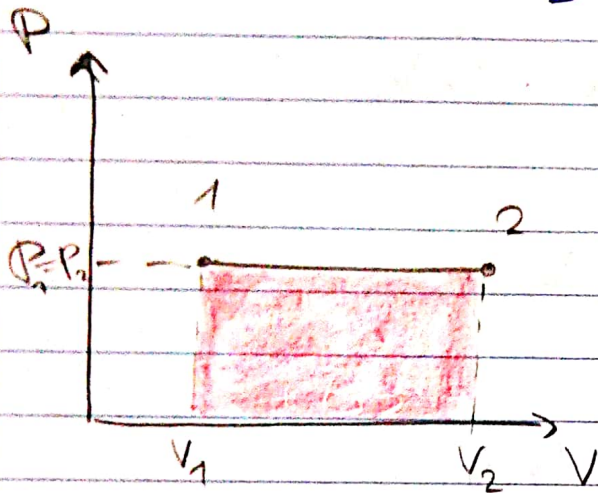
$$V_2 = V_1 \rightarrow dV = 0$$



Β. Αντιστοίχη διαφανής στερεού πύκνου (ισοβαρής)

$$W_b = \int_1^2 P \cdot dV = P \cdot \int_1^2 dV =$$

$$= P(V_2 - V_1) = P \cdot m \left(\frac{V_2 - V_1}{\rho} \right) \quad \rho = \frac{V}{m}$$



Γ. Ισοθερμή αντιστοίχη διαφανούς ιδαν. αερίων.

Ισχύει η καταστατική εξίσωση:

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T = C$$

κλειστή
συστήμα
αερίων
→ ισοθερμή
διαφανής

$$\left. \begin{array}{l} P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \\ P_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_1 = T_2 \\ \implies \\ m = \text{σταθ} \end{array} \Rightarrow P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$W_b = \int_1^2 P \cdot dV = \int_1^2 \frac{C}{V} dV = C \int_1^2 \frac{dV}{V} \Rightarrow$$

Options:

$$\Rightarrow W_b = C \cdot (\ln V_2 - \ln V_1)$$

$$P = \frac{C}{V}$$

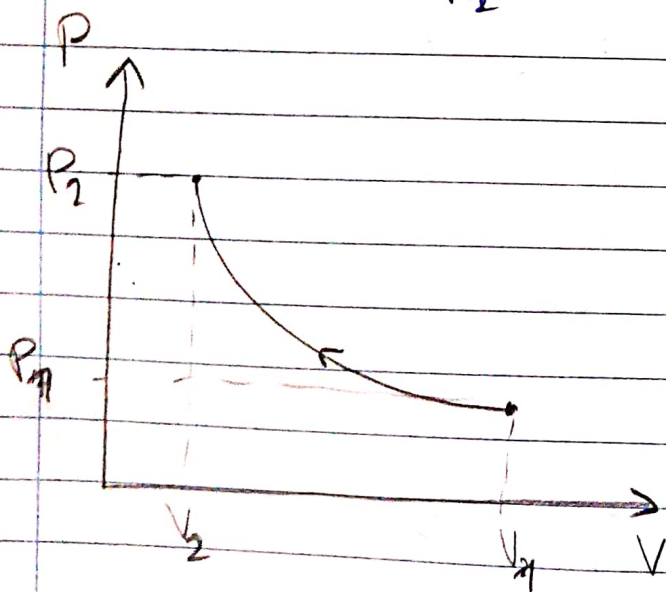
$n \cdot R \cdot T$

$$\Rightarrow W_b = C \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} =$$

$$= n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} =$$

$$= P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = P_2 \cdot V_2 \ln \frac{V_2}{V_1} =$$

$$= P_2 \cdot V_2 \ln \frac{P_1}{P_2} = P_1 \cdot V_1 \ln \frac{P_1}{P_2} = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$$



Δ. Αντιστρεπτή πολυτροπική διεργασία (για πραγματικά αέρια)

$$P \cdot V^n = C$$

όπου n = πολυτροπικός εκθέτης

$$P = \frac{C}{V^n} \quad \text{ή} \quad C \cdot V^{-n}$$

$$\begin{aligned} W_b &= \int_1^2 P \cdot dV = \int_1^2 \frac{C}{V^n} dV = C \int_1^2 \frac{1}{V^n} dV = \\ &= C \left[\frac{V^{-n+1}}{-n+1} \right]_1^2 = \end{aligned}$$

$$= C \cdot \left(\frac{V_2^{1-n}}{1-n} - \frac{V_1^{1-n}}{1-n} \right) = \frac{C \cdot V_2^{1-n} - C \cdot V_1^{1-n}}{1-n}$$

$$= \frac{\overbrace{C \cdot V_2^{-n}}^{P_2} \cdot V_2 - \overbrace{C \cdot V_1^{-n}}^{P_1} \cdot V_1}{1-n} = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{1-n} \quad \textcircled{1}$$

► Για ιδανικό αέριο: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

$$\textcircled{1} \Rightarrow W_b = \frac{n \cdot R (T_2 - T_1)}{1 - \gamma}$$

► Πραγματικό αέριο ότι $\gamma = 1$

$$P \cdot V^\gamma = C \Rightarrow P_2 = \frac{C}{V_2}$$

$$W_b = \int_1^2 P \cdot dV = \int_1^2 \frac{C}{V} dV =$$

$$= C \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = P_2 \cdot V_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

► Στην περίπτωση ιδανικού αερίου με $\gamma = 1$ το έργο ογκομεταβολής είναι ισοδύναμο με αλλαγή της ενθαλπίας που βρίσκουμε για την ισοθερμική διεργασία

$$\text{γιατί: } P \cdot V = C = n \cdot R \cdot T \Rightarrow T = \frac{C}{n \cdot R}$$

Ε. Συγκριση διεργασιών (B, Γ, Δ) για δανικά αέρια
διάβατε τη διαφάνεια

ΣΤ. Κυκλική αντιστροφή διεργασία

Δεξιόστροφη φορά διεργασίας
κύκλος σημαίνει καθαρό
έργο (παραγωγή)

Αντιστροφή φορά διεργασίας
κύκλος σημαίνει αρνητικό καθαρό
έργο (κατανάλωση)

Το καθαρό έργο δεν είναι ποτέ μηδέν

Παράδειγμα 5.1

(α) ~~Εξετάζεται~~

Η φορά διεργασίας του κύκλου είναι αριστερό
στροφή γιατί το έργο «εκτελείται» δηλαδή καταναλώνεται
από το σύστημα.

(β)

8) Εργασία στη διαστολή 5 κύκλων το έργο είναι 500 kJ , σε ένα κύκλο 4 το έργο θα είναι 100 kJ .

W_b = Εμβαδόν που περικλείεται από $\Rightarrow$
της καμπύλης της διαστολής

$$\Rightarrow W_b = 100 = \frac{1}{2} [0,6 - 0,1] \text{ m}^3 (600 - P_1) \text{ kPa}$$

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

2. Εκτόνωση ενός αερίου κατάθετη σε ένα ελατήριο:

V_1 = αρχ. όγκος

V_2 = τελ. όγκος

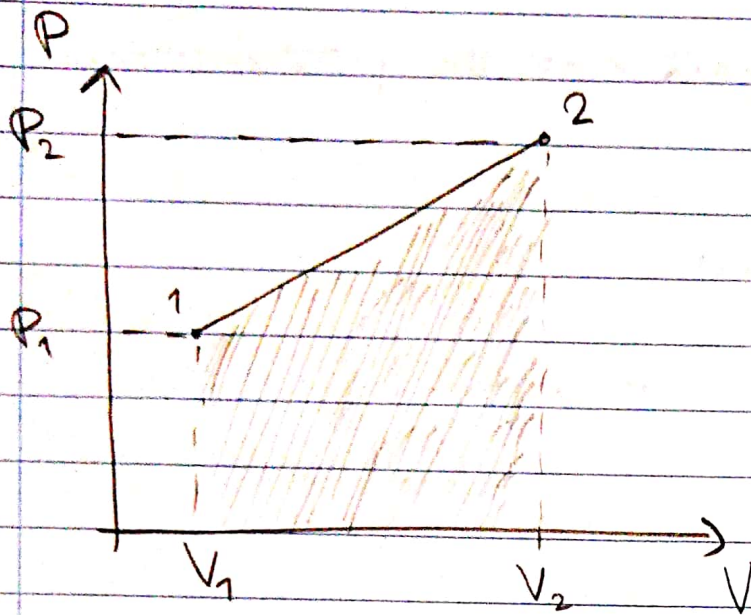
P_1 : αρχ. πίεση

P_2 : τελ. πίεση

Μετατόνιση ελατηρίου: $x = \frac{\Delta V}{A}$

Η δύναμη ελατηρίου: $F = k \cdot x$

Η συνολική πίεση: $P_2 = P_1 + P_{\text{ext}} = P_1 + \frac{F}{A}$



Η W_s = έργο συν. συμπίεσης = $\frac{(P_1 + P_2) \cdot (V_2 - V_1)}{2}$

Ενερπειακό ισοζύγιο για κλειστά συστήματα

$$\Delta E_{\text{syst}} = E_{\text{in}} - E_{\text{out}} \Rightarrow$$

$$\Delta U + \Delta E_{\text{kin}} + \Delta E_{\text{pot}} + \Delta E_{\text{int}} + \Delta E_{\text{prop.}} + \Delta E_{\text{flux}} =$$

$$Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} + W_{\text{in}} - W_{\text{out}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{in}}, W_{\text{out}} > 0$$

$$Q_{\text{out}}, W_{\text{in}} < 0$$

~~$$\Delta E_{\text{syst}} = Q_{\text{in}}$$~~

η καθαρή παρόντα θερμότητα που μεταφέρεται σε ένα σύστημα:

$$Q_{\text{net}} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$$

το καθαρό έργο που παράγεται από ένα σύστημα:

$$W_{\text{net}} = W_{\text{out}} - W_{\text{in}}$$

$$\textcircled{1} \Delta E_{\text{syst}} = (Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}) - (W_{\text{out}} - W_{\text{in}}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta E_{\text{syst}} = Q_{\text{net}} - W_{\text{net}}$$

ανά μονάδα μάζας: $\Delta e_{\text{syst}} = q_{\text{net}} - w_{\text{net}}$

ανά μονάδα χρόνου:

$$\frac{dE_{\text{syst}}}{dt} = \dot{Q}_{\text{net}} - \dot{W}_{\text{net}}$$

Αν υπάρχει έργο ογκομεταβολής:

$$\Delta E_{\text{syst}} = Q_{\text{net}} - W_{\text{net, other}} - \underbrace{W_p}_{\parallel P \cdot dV}$$

~~Παράδειγμα~~

Παράδειγμα 5.2

(a) κατ. 1 $\left. \begin{array}{l} P_1 = 200 \text{ kPa} \\ T_1 = 25^\circ \text{C} \end{array} \right\}$ Απὸ ΗΑ4

$$P_{\text{sat}@25^\circ \text{C}} = 3,169 \text{ kPa}$$

$$P_1 > P_{\text{sat}@25^\circ \text{C}}$$

↓
Συμπιεσμένο υγρό

Απὸ ΗΑ4: $V_1 = \cancel{V_{f@25^\circ \text{C}}}$

$$v_1 = v_{f@25^\circ \text{C}} = 0,001003 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{Απὸ } V_1 = m \cdot v_1 = 5 \cdot 0,001003 \approx 0,005 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{box}} = V_{\text{ox}} = 2 \cdot V_1 = 0,01 \text{ m}^3$$

(β) κατηγορία 2 $T_2 = 25^\circ\text{C}$

Γραμμές έχουμε κλειστά σύστημα $m = \text{const}$

$$V_{\text{δοσ.}} = V_2 = \dot{m} \cdot v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0,01}{5} = 0,002 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 25^\circ\text{C} \\ v_2 = 0,002 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right\} \text{ από ΠΑ4}$$

$$v_{f@25^\circ\text{C}} = 0,001003 < v_2 < v_{g@25^\circ\text{C}} = 43,36 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Αρα έχω μίγμα κορεσμένου υγρού ατμού

$$\text{από 2c} \quad P_2 = P_{\text{sat}@25^\circ\text{C}}^{\text{ΠΑ4}} = 3,1698 \text{ kPa}$$

(γ) Ισοθέρμη ενέργειας: $\Delta E_{\text{sys}} = (Q_{\text{net}} - W_{\text{net}}) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \Delta U = Q_{\text{net}} \Rightarrow m \cdot (u_2 - u_1) = Q_{\text{net}} \quad \text{①}$$

$$\text{κατ. 1} \quad u_1 = u_{f@25^\circ\text{C}}^{\text{ΠΑ4}} = 104,83 \text{ kJ/kg}$$

κατ. 2

$$x = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} =$$

$$x = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0,02 - 0,001003}{43,36 - 0,001003} = 2,3 \cdot 10^{-5}$$

$$u_2 = u_f + X \cdot u_{fg} \xRightarrow{\text{ΠΑ4}}$$

$$u_2 = 104,83 + 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot 2304,9 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow u_2 = 104,88 \text{ kJ/kg}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow X Q_{\text{net}} = 5 (104,88 - 104,83)$$

$$\Rightarrow Q_{\text{net}} = 0,25 \text{ kJ}$$

άρα η θερμότητα μεταφέρεται προς το σκόνη

Εσωτ. ενέργεια, ενθαλπία και ειδικές θερμότητες
ιδανικών αερίων

$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

$$P \cdot v = R \cdot T \quad u = u(T)$$

$$h = u + P \cdot v \Rightarrow$$

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

$$\Rightarrow h = u + R \cdot T$$

$$\begin{array}{ccc} \swarrow & \downarrow & \downarrow \\ \text{αερί} & u(T) & \text{Σταθερά} \\ & & \text{αερί } T \end{array}$$

$$h = h(T)$$

$$C_p = a + b \cdot T + c T^2 + d T^3$$

για μικρά θερμοκρασιακά διαστήματα

$$\Delta u = C_{v, \text{avg}} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = C_{p, \text{avg}} (T_2 - T_1)$$

$$C_{v, \text{avg}} = \frac{C_{v, T_1} + C_{v, T_2}}{2}$$

Παράδειγμα 5.3

Ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ιδανικό αέριο?

$$T = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K} > T_{cr} = 132,5 \text{ K}$$

$$P_1 = 150 \text{ kPa} < P_{cr} = 3770 \text{ kPa}$$

Τέτοιες συν-
θήκες
κ' είν.
κατάσταση

$T > T_{cr}$
 $P < P_{cr}$ } → Προσέγγιση
αέρος για
ιδανικό
αέριο

$$\left. \begin{array}{l} a) P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \\ P_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2 \end{array} \right\} \xrightarrow{m=\text{σταθ}} \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2 \cdot V_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow$$

$$V_2 = 2V_1$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{T_1 \cdot P_2 \cdot 2}{P_1 \cdot 2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{300 \text{ K} \cdot 350 \text{ kPa} \cdot 2}{150 \text{ kPa}} \Rightarrow T_2 = 1400 \text{ K}$$

β) το έργο ογκομεταβολής $P \cdot dV$

Το παραγόμενο έργο ογκομεταβολής υπολογίζεται είτε από το ολοκλήρωμα είτε από το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ογκομεταβολής.

$$W_{b1 \rightarrow 3} = (V_3 - V_1) \cdot P_3 = (0,8 - 0,4) \cdot 350 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{b1 \rightarrow 3} = 140 \text{ kJ}$$

γ) Εφαρμογή του 1ου νόμου της θερμοδυναμικής για κλειστό σύστημα.

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{syst} \Rightarrow$$

$$Q_{in} - \cancel{Q_{out}} - (\cancel{W_{out, other}} - \cancel{W_{in, other}}) - W_{b, out} = \Delta U \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U = Q_{in} - W_{b, out} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{in} = \Delta U + W_{b, out}$$

$$\Rightarrow Q_{in} = m(u_3 - u_1) + W_{b, out} \quad (1)$$

τη μάζα τη βρισκω από τον χαρακτηρισμό

$$m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T} = \frac{150 \text{ kPa} \cdot 0,4 \text{ m}^3}{0,287 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 300 \text{ K}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = 0,647 \text{ kg}$$

ΠΑ1

Ta CH_4 unobojenosti avio na TIA17:

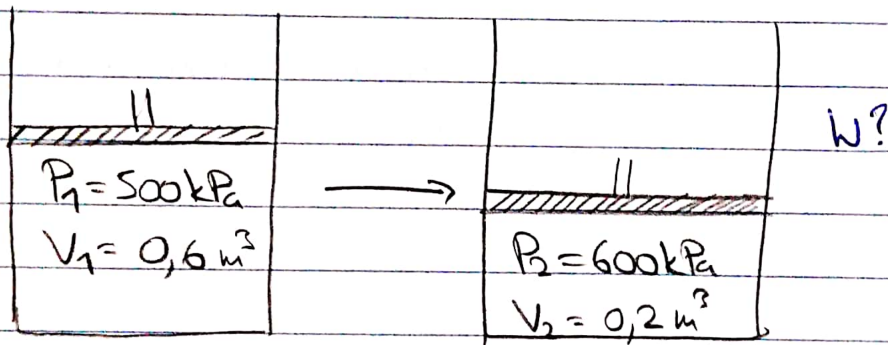
$$T_1 = 300K \rightarrow u_1 = 214,07 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 1400K \rightarrow u_2 = 1113,52 \text{ kJ/kg}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow Q_{in} = 1400 \text{ kJ} + 0,642 \text{ kg} (1113,52 - 214,07) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{in} = 767 \text{ kJ}$$

Arhiv 5.1



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

$$\delta W = P \cdot dV \Rightarrow$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= a + b \cdot V_1 \Rightarrow 500 = a + 0,6b \\ P_2 &= a + b \cdot V_2 \Rightarrow 600 = a + 0,2b \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 100 = -0,4b \Rightarrow b = \frac{-100}{0,4} = -250 \frac{\text{kPa}}{\text{m}^3}$$

$$a = 650 \text{ kPa}$$

$$\cancel{W} = \int_{\text{κατ.1}}^{\text{κατ.2}} (a + b \cdot V) dV =$$

$$= a \cdot V \Big|_{V_1}^{V_2} + \frac{b}{2} V^2 \Big|_{V_1}^{V_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W = 650(V_2 - V_1) + \frac{250}{2} (V_2^2 - V_1^2) \rightarrow W_b = -220 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3$$

$$\underline{\underline{W_b = -220 \text{ kJ}}}$$

από την Δύναμη Καταβολής
έργο

Άσκηση 5.2

$$\left. \begin{array}{l} R_u = C_p - C_v \rightarrow \text{Για ένα } \boxed{\text{MONO}} \text{ για ιδανικά} \\ \text{αέρια} \end{array} \right\} k = \frac{C_p}{C_v} = 1,667 \text{ (Μονοατομικά αέρια)}$$

$$R_u = 8,314 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\cancel{C_p = 1,667 C_v}$$

$$C_p = 1,667 \cdot C_v$$

$$R_u = 1,667 \cdot C_v - C_v \Rightarrow C_v = \frac{R_u}{0,667}$$

$$C_p = \frac{R_u \cdot 1,667}{0,667}$$

Σύστημα: αέριο

κλειστό

Κυκλική διεργασία

αντιστροφές διεργασίες

Q?

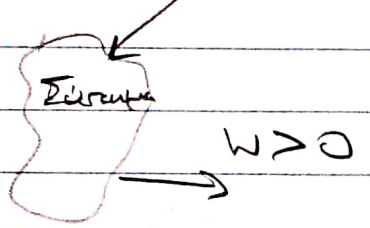
W?

ΔU ?

ΔH ?

Κυκλική } $\Delta U = 0$ Καταστατικές
αντιστροφές } $\Delta H = 0$ μεταβολές

Για κάθε διεργ.

1^{ος} Θ.Ν.: $\Delta U = Q - W$ / Σήμανση: 

$$W_b = \int P \cdot dV$$

$$\begin{array}{l} \Delta U = C_v \cdot \Delta T \\ \Delta H = C_p \cdot \Delta T \end{array} \bigg| \forall \text{ διεργασία}$$

Acetylen

$$1-2 \quad T = \text{ct} \quad T_1 = 500 \text{ K}, P_1 = 400 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 500 \text{ K}, P_2 = 800 \text{ kPa}$$

$$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = 0$$

$$\Delta H_{1 \rightarrow 2} = 0$$

$$\begin{aligned} \cancel{\Delta H_{1 \rightarrow 2}} \quad W_b &= \int_1^2 P \cdot dV \quad \text{Lsgw} \\ &\quad \text{Kombination} \quad \int_1^2 \frac{n \cdot R_u \cdot T}{V} dV \\ &= R_u \cdot T_1 \int_1^2 \frac{dV}{V} = R_u \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \end{aligned}$$

$$T = \text{ct} : \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad = R_u \cdot T_1 \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} = *$$

$$= P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} \quad \text{der Prozess}$$

$$* \Rightarrow W_{b_{1 \rightarrow 2}} = -8644 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q - W = 0$$

$$\Rightarrow Q = W = -8644 \text{ kJ}$$

$$2 \rightarrow 3 \quad P = \text{ct}$$

$$P_2 = 800 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 500 \text{ K}$$

$$P_3 = 800 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 300 \text{ K}$$

$$\Delta U_{2 \rightarrow 3} = C_v \Delta T = \frac{R_u}{0,667} (T_3 - T_2)$$

$$\Delta H_{2 \rightarrow 3} = C_p \Delta T = \frac{1,667 R_u}{0,667} (T_3 - T_2)$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = \Delta H_{2 \rightarrow 3}$$

$$W_{2 \rightarrow 3} = Q_{2 \rightarrow 3} - \Delta U_{2 \rightarrow 3}$$

29/3/2022

Για αεριομηχανή που ή για αεριομηχανή που όταν η πυκνότητα παραμένει σταθερή:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \Rightarrow \rho = \frac{\rho \cdot V_{avg} \cdot A_c}{\dot{V}} \Rightarrow \boxed{\dot{V} = V_{avg} \cdot A_c}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \Rightarrow \boxed{\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v}}$$

- Αρχή διατήρησης της μάζας:

$$\sum_{in} \dot{m}_i - \sum_{out} \dot{m}_i = \Delta \dot{m}_{cv}$$

για ένα πλάσμα πύλο:

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \Delta \dot{m}_{cv}$$

$$\text{όπου } \Delta \dot{m}_{cv} = \dot{m}_{final} - \dot{m}_{initial}$$

- Αρχή διατήρησης μάζας με τη μορφή πυθλας
πυθλακής

$$\sum_{in} \dot{m}_i - \sum_{out} \dot{m}_i = \Delta \dot{m}_{cv} \frac{d \dot{m}_{cv}}{dt}$$

για ένα μοναδικό ρευστό :

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{cv}}{dt}$$

για σταθεροποιημένη ροή

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = 0 \Rightarrow \sum_{in} \dot{m}_i - \sum_{out} \dot{m}_i = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sum_{in} \dot{m}_i = \sum_{out} \dot{m}_i$$

για ένα μοναδικό ρευστό

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

$$\sum_{in} \dot{m}_i = \sum_{out} \dot{m}_i \Rightarrow \sum_{in} \rho \cdot \dot{V} = \sum_{out} \rho \cdot \dot{V} \Rightarrow$$

$\rho = \text{const.}$

$\Rightarrow$

$$\boxed{\sum_{in} \dot{V} = \sum_{out} \dot{V}}$$

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \Rightarrow \dot{V}_{in} = \dot{V}_{out} \Rightarrow \boxed{v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2}$$

→ η συνολική ποσότητα της μάζας που περιέχεται στον όγκο ελέγχου δεν μεταβάλλεται με το χρόνο
 $\frac{dm_{cv}}{dt} = 0$

Παράδειγμα 6.1

Όγκος επιρροής: τον όγκο νερού μέσα
στον δεξαμενή

το νερό είναι ακριβώς πάνω $\Rightarrow \rho = \text{const.}$

Αρχή διατήρησης της μάζας:

$$\cancel{m_{in}} - m_{out} = \frac{dm_{cv}}{dt} \Rightarrow -m_{out} = \frac{dm_{cv}}{dt} \quad (1)$$

$$m_{out} = \rho \cdot v_{avg} \cdot A_{out} =$$

$$= \rho \cdot \sqrt{2gh} \cdot \frac{\pi \cdot D_{jet}^2}{4} \quad (2)$$

$$m_{cv} = \rho \cdot V \Rightarrow m_{cv} = \rho \cdot A_{tank} \cdot h \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{cv} = \rho \cdot \pi \cdot \frac{D_{tank}^2}{4} h \quad (3)$$

$$(1) \Rightarrow -\rho \cdot \sqrt{2gh} \cdot \frac{\pi \cdot D_{jet}^2}{4} = \frac{d(\rho \cdot \pi \cdot \frac{D_{tank}^2}{4} \cdot h)}{dt} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -\cancel{\rho} \cdot \sqrt{2gh} \cdot \frac{\pi \cdot D_{jet}^2}{4} = \cancel{\rho} \cdot \pi \cdot \frac{D_{tank}^2}{4} \frac{dh}{dt} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -\sqrt{2gh} D_{jet}^2 = D_{tank}^2 \frac{dh}{dt} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \int_0^t dt = - \int_{h_1}^{h_2} \frac{D_{tank}^2}{D_{jet}^2} \cdot \frac{dh}{\sqrt{2gh}} \Rightarrow \int \frac{1}{\sqrt{x}} dx = \frac{x^{-\frac{1}{2}+1}}{-\frac{1}{2}+1} = 2x^{1/2} = 2\sqrt{x}$$

$$\Rightarrow t = - \left(\frac{D_{tank}}{D_{jet}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2g}} (2\sqrt{h_2} - 2\sqrt{h_1})$$

$$\Rightarrow t = - \left(\frac{0,9m}{0,013m} \right)^2 \cdot \frac{(2\sqrt{0,6m} - 2\sqrt{1,2m})}{\sqrt{2 \cdot 9,81}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = 694s = 11,6 \text{ min}$$

Η ολική ενέργεια ενός αέρος συμπιεστού σωστή-
ματος ανά μονάδα μήκους?

$$e = \left\{ \begin{array}{l} \text{εσωτερική} \\ \text{ενέργεια} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{εξωτερική} \\ \text{ενέργεια} \end{array} \right\} \Rightarrow e = u + e_{kin} + e_{sw} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow e = u + \frac{v^2}{2} + g \cdot z$$

Το ρευστό που εισέρχεται ή εξέρχεται από τον όγκο ελέγχου έχει μια συμπύκνωση μορφή ενέργειας, την ενέργεια ροής. Άρα η ολική ενέργεια ενός ρευστού ανά μονάδα μάζας:

$$\Theta = P \cdot v + e \Rightarrow \Theta = P \cdot v + \underbrace{u}_h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z$$

$$\Theta = h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z$$

Η ποσότητα μεταφερόμενης ενέργειας ενός ρέοντος ρευστού μάζας m :

$$E_{\text{mass}} = m \cdot \Theta = m \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) \text{ (kJ)}$$

Ο ρυθμός ~~μεταφοράς~~ μεταφερόμενης ενέργειας ενός ρέοντος ρευστού μάζας $\dot{m}$:

$$\dot{E}_{\text{mass}} = \dot{m} \cdot \Theta = \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) \text{ (kW)}$$

Το 1ο νόμο ενέργειας για διαγράμματα ομαδερώνης
vns ποίς:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{syst}}{dt} \Rightarrow \dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{E}_{mass, in} = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{E}_{mass, out}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \sum_{in} \dot{m}_i \Theta = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum_{out} \dot{m}_i \Theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \sum_{in} \dot{m}_i \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum_{out} \dot{m}_i \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)$$

$$\Rightarrow \underbrace{\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}}_{\dot{Q}_{net}} + \underbrace{(\dot{W}_{out} - \dot{W}_{in})}_{\dot{W}_{net}} = \sum_{out} \dot{m}_i \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) - \sum_{in} \dot{m}_i \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)$$

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \sum_{out} \dot{m}_i \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) - \sum_{in} \dot{m}_i \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)$$

Γα ένα ηανάδικο πένον:

$$\dot{Q}_{net} - \dot{W}_{net} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$$

Για μανόμετρο πύργου ανά μανόμετρο υάλης:

$$q_{\text{net}} - w_{\text{net}} = h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

Διατάξεις ομαδ. πύργου

Ακροφύσια και διακρούς

$$h_2 - h_1 = \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

Στροβίλοι και Σχηματισμοί

$$- \dot{W}_{\text{net}} = \dot{m} (h_2 - h_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{\text{net}} = \dot{m} (h_1 - h_2)$$

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

$$\text{Στροβίλοι: } \dot{W}_{\text{out}} = \dot{m} (h_1 - h_2)$$

$$\text{Σχηματισμοί: } \dot{W}_{\text{in}} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

~~ΠΡΑΓΜΑΤΙ~~

Βυλθίδες στραγγαλίσματος

$$h_1 = h_2 \Rightarrow u_1 + P_1 \cdot v_1 = u_2 + P_2 \cdot v_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1 = u_1 - u_2$$

• αν αυξηθεί η ενέργεια ροής:

$$P_2 \cdot v_2 > P_1 \cdot v_1 \Rightarrow P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1 > 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow u_1 - u_2 > 0 \Rightarrow u_1 > u_2$$

η θερμοκρασία
μειώνεται

• αν μειωθεί η ενέργεια ροής:

$$P_2 \cdot v_2 < P_1 \cdot v_1 \Rightarrow P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1 < 0$$

$$\Rightarrow u_1 < u_2$$

η θερμοκρασία
αυξάνεται

Ökonomie auszuwählen

$$K_{\text{out}} = \sum_i K_{i, \text{in}}$$

$$K_{\text{out}} \cdot h_{\text{out}} = \sum_i (K_i \cdot h)_{i, \text{in}}$$

Evolutionäre Ökonomie

Des Ökonomie

Ein paar Ökonomie kein Ökonomie

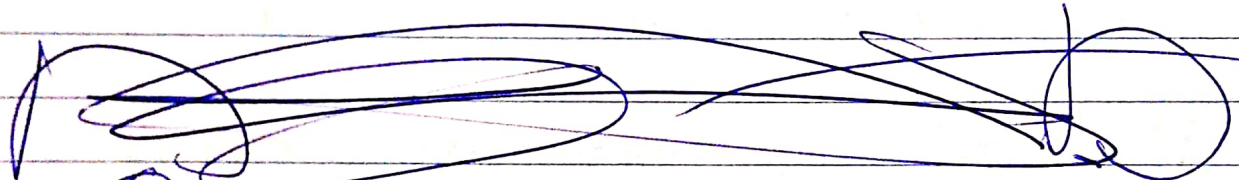
Des Ökonomie

Θερμότητα

Ερωτήσεις στο 1^ο Σε

Ασκ. 2

• Όταν ~~αναφερόμαστε~~ σε έναν όρο υπό μορφή έργου ή υπό μορφή θερμότητας πρέπει να περιγράψουμε το συγκεκριμένο γεγονός χωρίς να δώσουμε υπόψη μας την θερμότητα και αντίστροφα το έργο;


• Θερμική ~~απόδοση~~ από το καύσι στο δοχείο-αέριο

Αξιοζεύει ενέργεια → Θερμική ως ανώτερη

Μηχανική ενέργεια → Κίνηση ανώτερη

Άσκηση 5.2 (Συνέχεια)~~Επίσης~~

$$\Delta U = Q \quad \text{όταν } V \text{ σταθ.}$$

$$\Delta H = Q \quad \text{όταν } P \text{ σταθ.}$$

αδiabatic + αντιστρεπτή $\eta = k = \frac{C_p}{C_v}$

$P \cdot V^k = \text{σταθ.} \rightarrow \text{για αντιστρεπτικές διεργασίες}$

$$T_3 = 300 \text{ K}$$

$$T_4 = ?$$

$$P_3 = 800 \text{ kPa}$$

$$P_4 = 100 \text{ kPa}$$

$$P_3 \cdot V_3^k = P_4 \cdot V_4^k$$

$$\left. \begin{aligned} P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_3 \left(\frac{n \cdot R \cdot T_3}{P_3} \right)^k = P_4 \left(\frac{n \cdot R \cdot T_4}{P_4} \right)^k$$

$$\Rightarrow P_3^{1-k} \cdot T_3^k = P_4^{1-k} \cdot T_4^k \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_4^k = T_3^k \frac{P_3^{1-k}}{P_4^{1-k}} \Rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{(1-k)/k}$$

$$T_4 = 200 \text{ K}$$

$$T_4 = 300 \text{ K} \left(\frac{800 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \right)^{\frac{(1-1,667)/1,667}{1}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_4 = 130,55 \text{ K}$$

$$\Delta U_{3 \rightarrow 4} = n \cdot C_v \cdot (T_4 - T_3) = -2112 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{3 \rightarrow 4} = n \cdot C_p \cdot (T_4 - T_3) = -3521 \text{ kJ}$$

$$Q = 0$$

$$\Delta U_{3 \rightarrow 4} = Q - W_{3 \rightarrow 4} \Rightarrow W_{3 \rightarrow 4} = -\Delta U_{3 \rightarrow 4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{3 \rightarrow 4} = 2112 \text{ kJ}$$

$$4 \rightarrow 1$$

$$P = \text{const}$$

$$\Delta U_{4 \rightarrow 1} = n \cdot C_v \cdot (T_1 - T_4) = 4605 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{4 \rightarrow 1} = n \cdot C_p \cdot (T_1 - T_4) = 7677 \text{ kJ}$$

$$\text{Expans } P = \text{const} \quad \Delta H_{4 \rightarrow 1} = Q_{4 \rightarrow 1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{4 \rightarrow 1} = 7677 \text{ kJ}$$

$$W_{4 \rightarrow 1} = -\Delta U_{4 \rightarrow 1} + Q_{4 \rightarrow 1} = 3072 \text{ kJ}$$

Arbeits zu Gas zu Gas zu Gas zu Gas zu Gas zu Gas

Άσκηση 5.3

Δεδομένα

Ψυκτικό R134a : ΠΑ11-A13

Αρχικά κατάσταση: κορεσμένο υγρό
 $P_1 = 800 \text{ kPa}$

$$V_1 = 200 \text{ L} = 0,2 \text{ m}^3$$

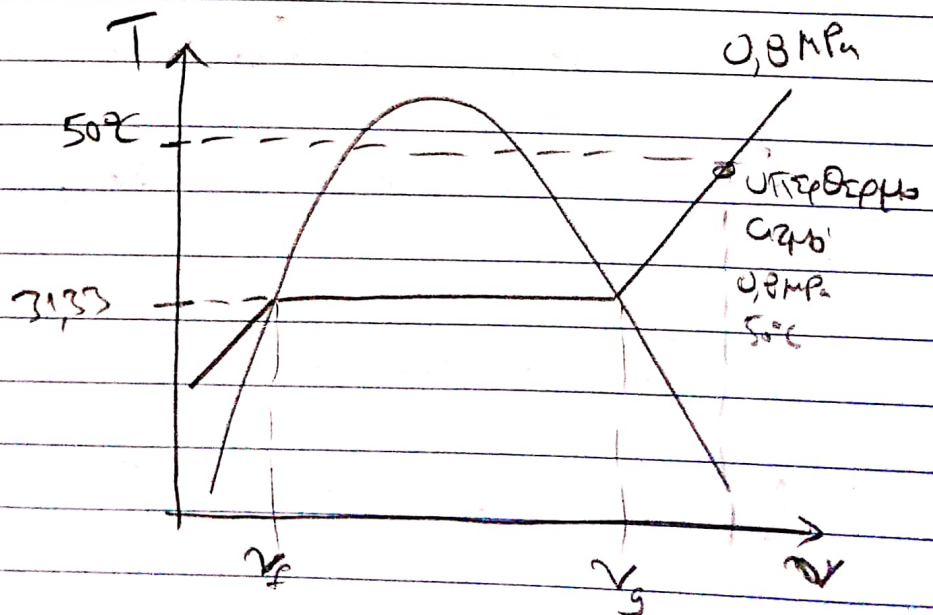
Τελ. κατάσταση :

$$T_2 = 50^\circ\text{C}$$

$P_2 = P_1 = 800 \text{ kPa} \rightarrow$ Η πίεση παραμένει σταθερή γιατί το έμβολο κινείται με αργό τρόπο ώστε να διατηρείται σταθερό. Αν έμενε σταθερό το έμβολο η πίεση θα αυξανόταν.

Ζητούμενο

$$W_D = ?$$



Агрегат сдвигается вверх, карбюратор и клапан Т1А12

$$T_1 = T_{\text{sat}@0,8 \text{ MPa}} = 31,33^\circ\text{C}$$

карбюраторный узел: $v_1 = v_f@0,8 \text{ MPa} = 0,0008454 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$v_1 = \frac{V_1}{m} \Rightarrow m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0,2 \text{ m}^3}{0,0008454 \text{ m}^3/\text{kg}} = 236,7 \text{ kg}$$

Теплообмен

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 50^\circ\text{C} \\ P_2 = P_1 = 0,8 \text{ MPa} \end{array} \right\} \Rightarrow v_2 = 0,02846 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} W_b = \int_1^2 P \cdot dV = P \int_1^2 dV \\ V = m \cdot v \end{array} \right\} \Rightarrow W_b = P \cdot m (v_2 - v_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_b = 800 \text{ kPa} \cdot 236,7 \text{ kg} (0,02846 - 0,0008454) \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} =$$

$$\Rightarrow W_b = 5229 \text{ kJ}$$

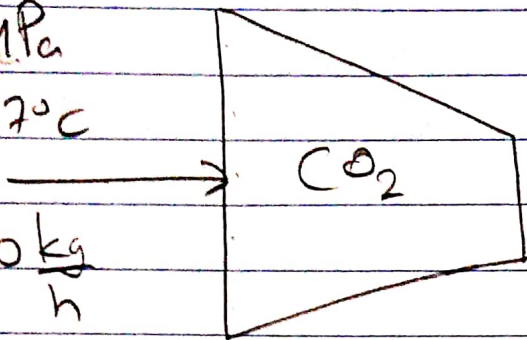
Παράδειγμα 6.2

$$P_1 = 1 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 497^\circ \text{C}$$

$$\dot{m} = 6000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$v_1 = ?$$



$$P_2 = 100 \text{ kPa}$$

$$T_2 = ?$$

$$v_2 = 450 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Διάταξη οραθίμου ποτί

Αρχή διατήρησης μάζας:

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{cv}}{dt}$$

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m} = \frac{6000 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m} = 1,67 \text{ kg/s}$$

Το CO_2 συμπεριφέρεται σαν ιδανικό αέριο γιατί:

$$T_1 = (497 + 273) \text{ K} = 770 \text{ K} > T_{cr, \text{CO}_2} = 304,2 \text{ K}$$

και

$$P_1 = 1 \text{ MPa} < P_{cr, \text{CO}_2} = 7,39 \text{ MPa}$$

HA1

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 \Rightarrow \dot{m} = v_1^{-1} \cdot v_1 \cdot A_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m} = \frac{v_1 \cdot A_1}{v_1} \Rightarrow v_1 = \frac{\dot{m} \cdot v_1}{A_1} \quad (1)$$

$$P_1 \cdot v_1 = R \cdot T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{0,1889 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 770 \text{K}}{1000 \text{ kPa}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_1 = 0,146 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$(1) \Rightarrow v_1 = \frac{0,146 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot 1,67 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \Rightarrow v_1 = 60,83 \text{ m/s}$$

(B) Işılama etkisi için hesaplamalar:

$$\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}} = \frac{dE_{\text{sys}}}{dt} \Rightarrow \dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{\text{net}} - \dot{W}_{\text{net}} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$$

$$h_2 - h_1 = \frac{1}{2} (v_1^2 - v_2^2) \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{1}{2} (v_1^2 - v_2^2) \quad (2)$$

$$1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Από H₂O για T=770K βρίσκουμε το

$$\bar{h}_1 = 30644 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$\text{όρα } h_1 = \frac{\bar{h}_1}{M_r} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_1 = \frac{30644 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}}{44,01 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 696,29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\textcircled{2} \Rightarrow h_2 = 696,29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{1}{2} \left[60,83^2 - 450^2 \right] \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$1000 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

$$\Rightarrow h_2 = 596,89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \bar{h}_2 = 596,89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 44,01 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\Rightarrow \bar{h}_2 = 26269 \text{ kJ/kmol}$$

Από H₂O παρατηρούμε ότι το $\bar{h}_2$ είναι μεταξύ των 680K και 690K

T(K) $\bar{h}$ (kJ/kmol)

680 26138

T 26269

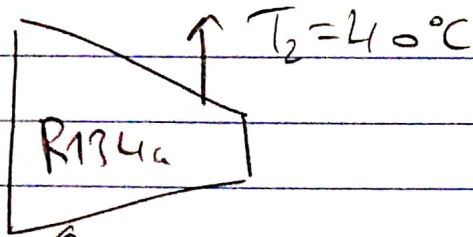
690 26671

$$T_2 = 682,67 \text{ K}$$

Παράδειγμα 6.3

$$P_2 = 900 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{καζ. 1} \\ \text{καρ. ατμός} \end{array} \right\} P_1 = 160 \text{ kPa} \Rightarrow \Pi A 12$$



$$P_1 = 160 \text{ kPa}$$

$$v_1 = 2 \text{ m}^3/\text{min}$$

καρπομενός ατμός

$$\Rightarrow v_1 = v_g = 0,1229 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_1 = h_g = 237,97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

καζ. 2

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 900 \text{ kPa} \\ T_2 = 40^\circ\text{C} \end{array} \right\} \Rightarrow \Pi A 13$$

$$\Rightarrow T_{\text{sat}@900\text{kPa}} = 35,53^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 40^\circ\text{C} > T_{\text{sat}@900\text{kPa}}$$

υπερεψέψος ατμός

Από $\Pi A 13$

$$T = 40^\circ\text{C} \quad h_2 = 271,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Ισοθ. μάζας: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$

Ισοθ. ενέργ.: $\dot{W}_{\text{in}} = \dot{m} (h_2 - h_1)$

$$v_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{m}} \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = 0,271 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow \dot{W}_{in} = 0,271 (271,25 - 237,97) =$$

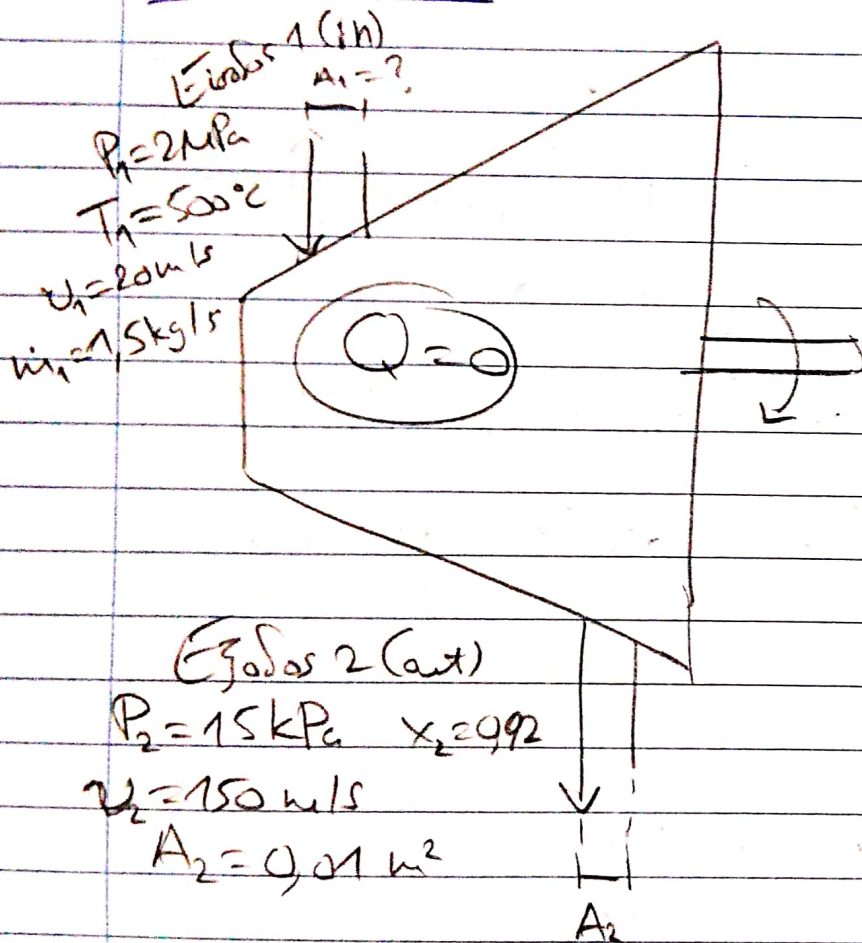
$$= 9,019 \text{ kW}$$



Aerodynamics #6

Aerodynamics 6.1

a) $A_1 = ?$ b) $\dot{W} = ?$



a) ~~$V_1 = V_2$~~

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$V_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{m}_1} = \frac{v_1 \cdot A_1}{\dot{m}}$$

ITAG

$$\left. \begin{array}{l} P = 2 \text{ MPa} \\ T = 500^\circ \text{C} \end{array} \right\} v_1 = 0,17568 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$A_1 = \frac{\dot{m} v_1}{v_1} = \frac{1,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 0,17568 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,013 \text{ m}^2$$

b) Ισοθέρια επιρροια

$$H_{in} + E_{K,in} = H_{out} + E_{K,out} + \dot{W}_{out} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m} h_{in} + \frac{1}{2} \dot{m} v_{in}^2 = \dot{m} h_{out} + \frac{1}{2} \dot{m} \cdot v_{out}^2 + \dot{W}_{out}$$

ITAG

$$h_{in} = 3467,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Εξοδος

$$\left. \begin{array}{l} P_{out} = 15 \text{ kPa} \\ x_{out} = 0,92 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{ITAG}}$$

$$\Rightarrow \begin{array}{l} h_f = 225,94 \text{ kJ/kg} \\ h_g = 2373,16 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$h_{out} = h_f + x \cdot h_{fg} = 225,94 + 0,92 \cdot 2373,16 =$$

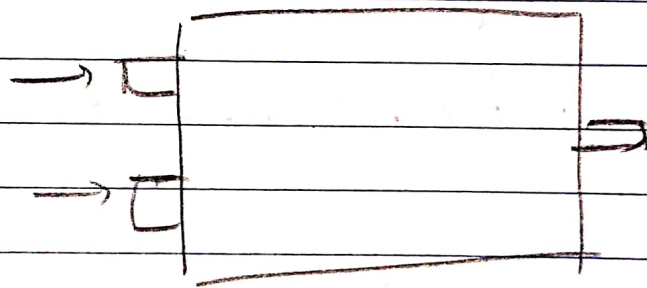
$$= 2409,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{W}_{out} = \dot{m}_i (h_{in} - h_{out}) + \frac{\dot{m}_i}{2000} (v_{in}^2 - v_{out}^2) =$$

$$= 1,5(3467,6 - 2409,2) + \frac{1}{2000} 1,5(20^2 - 150^2) \frac{\text{kJ}}{\text{s}} =$$

$$= 1587,6 - 16,6 = 1571 \text{ kW}$$

Aufgaben 6.2



Massenbilanz

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (a)$$

Energiebilanz

$$\dot{H}_1 + \dot{H}_2 = \dot{H}_3 + \dot{Q}_{out}$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{Q}_{out} \Rightarrow$$

②

$$\Rightarrow \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3 + \dot{Q}_{out}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1 (h_3 - h_1) + \dot{Q}_{out}}{(h_2 - h_3)}$$

υποψευκτα υγρο $\rightarrow$ TIA4

~~$$h_1 = h_{f@20^\circ\text{C}} = 83,96$$~~

$$h_1 = h_{f@20^\circ\text{C}} + v_{f@20^\circ\text{C}} (P - P_{sat@20^\circ\text{C}}) =$$

$$= 83,96 + 0,001002 (300 - 2,339) = 84,26 \text{ kJ/kg}$$

Υπερθ. ατμός

$$h_2 = 3069,3 \text{ kJ/kg}$$

Υποψευκτα υγρο

$$h_3 = h_{f@60^\circ\text{C}} + v_{f@60^\circ\text{C}} (P - P_{sat@60^\circ\text{C}}) = 251,41 \text{ kJ/kg}$$

M_2 არიკაზარამ პროდუქტი

$$L_{12} = 0.125 \text{ kg/s}$$

Το 2ο σετ έχει να κάνει
μέχρι τη δάνεια 6

12/04/2022

Θερμodynamική

Εντροπία

Η μεταβολή της εντροπίας οφείλεται σε κάποια μεταφορά θερμότητας μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντός του.

Η ΔS μπορεί να είναι αρνητική ενώ η παραχόμενη εντροπία S_{gen} δεν μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές.

Παράδειγμα 8.1

Άκαμπτο δοχείο: $V_1 = V_2 \xrightarrow[\text{μεταβ.}]{\text{κλειστό, ομογεν.}}$ $\frac{V_1}{n} = \frac{V_2}{n} \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_1 = v_2$$

$$a) \Delta S = n \cdot (S_2 - S_1) \quad (1)$$

Καταστ. 1

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 20^\circ\text{C} \\ P_1 = 140 \text{ kPa} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{ΠΑΜ}} P_{\text{sat}, 20^\circ\text{C}} = 572,07 \text{ kPa} > P_1$$

↓
Υπερθερμό ατμός

Από ΠΑ13 για $T_1 = 20^\circ\text{C}$ και $P_1 = 0,14\text{MPa}$:

$$v_1 = 0,16544 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$s_1 = 1,0624 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Καζαρε.2

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 100\text{kPa} \\ v_2 = v_1 = 0,16544 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array} \right\} \text{Από ΠΑ12}$$
$$\left. \begin{array}{l} v_{f@100\text{kPa}} = 0,0007259 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ v_{g@100\text{kPa}} = 0,14254 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array} \right\}$$

$$v_f < v_2 < v_g$$



κορεσμένο μίγμα
υγρού ατμού



Ποσοτήτα $x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0,16544 - 0,0007259}{0,14254 - 0,0007259} \approx$

$$\Rightarrow x = 0,859$$

οπότε $s_2 = s_f + x \cdot s_{fg} \xrightarrow[\text{για } 0,1\text{MPa}]{\text{ΠΑ12}}$

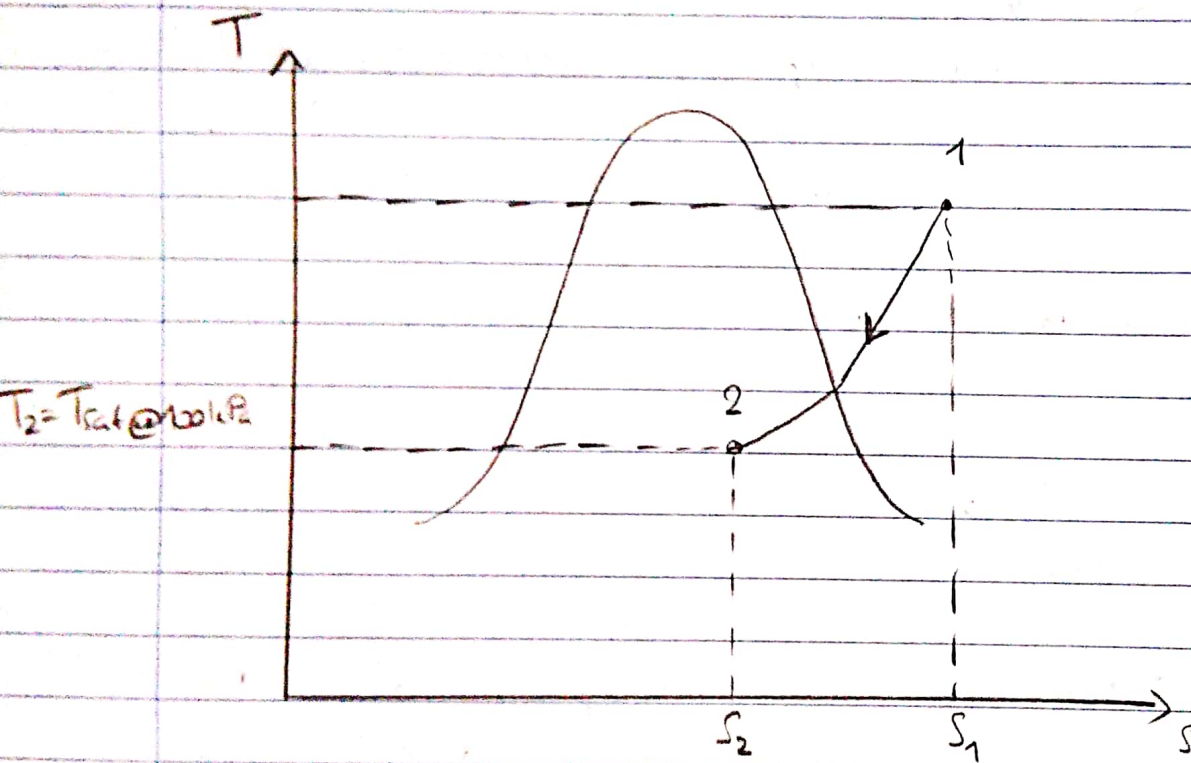
$$\Rightarrow s_2 = (0,07188 + 0,859 \cdot 0,87995) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\Rightarrow s_2 = 0,8278 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\textcircled{7} \quad \Delta S = 5 \text{ kg} (0,8278 - 1,0624) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta S = -1,173 \text{ kJ/K}$$

8) Διαγραμμα $T-s$ ως προς το πρώτης
καρπύου



Ισεντροπικές διεργασίες

Διάγραμμα Mollier (για νερό)

κόκκινες γραμμές: γραμμές σταθερής ποιότητας, x

μπλε: γραμμές σταθερής πίεσης

πράσινες: γραμμές σταθ. θερμοκρασίας

Σχέση $T \cdot dS$

$$\delta Q_{int rev} = T \cdot dS \quad (1)$$

Το βόλτο ενέργειας για κλειστό σταθεροποιημένο σύστημα σε διαφορεική μορφή:

$$\delta Q_{int rev} - \delta W_{int rev, out} = dU \quad (2)$$

$$\delta W_{int rev, out} = P \cdot dV \quad (3)$$

$$(2) \xrightarrow[(3)]{(1)} T \cdot dS - P \cdot dV = dU$$

in case in

$$T \cdot dS - P \cdot dV = dU \Rightarrow T \cdot dS = P \cdot dV + dU$$

1^η σχέση
 $T \cdot dS$

$$T \cdot ds = P \cdot dv + du$$

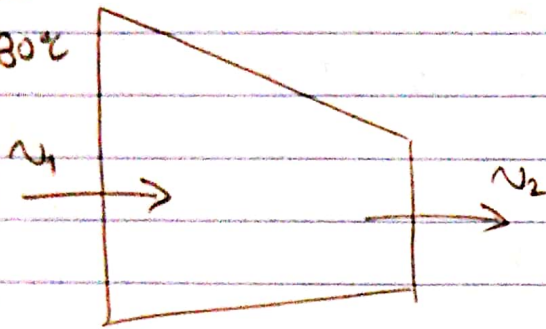
$$h = u + P \cdot v \Rightarrow dh = du + P \cdot dv + v \cdot dP$$

$$\Rightarrow dh = T \cdot ds + v \cdot dP \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{T \cdot ds = dh - v \cdot dP} \quad \begin{matrix} 2^{\text{nd}} \text{ equation} \\ T \cdot ds \end{matrix}$$

Άσκηση 9.3

$$P_1 = 300 \text{ kPa}$$
$$T_1 = 180^\circ \text{C}$$



$$P_2 = 100 \text{ kPa}$$

ταχύτητα σαν είσοδο
πλάι μικρή
 $u_1 \ll u_2$

Ισχυροποιητική ανώδυση

(α) $u_2 = ?$

(β) $T_2 = ?$

$$\eta_N = 0,96$$

Ο αέρας συμπεριφέρεται
σαν ιδανικό αέριο με σταθ.
ειδική θερμότητα
 $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
 $k = 1,4$

Τοποθετ. η προερχόμενη
ανώδυση

Για το αέριο:

$$\eta_N = \frac{u_{2a}^2}{u_{2s}^2} \Rightarrow u_{2a} = \sqrt{\eta_N} \cdot u_{2s} \quad (1)$$

Πρέπει να υπολογίσουμε την ισχυροποιητική ταχύτητα
 u_{2s}

Το έργο επιφέρει για αεριοπνο?

$$m(h_2 - h_1) = \frac{1}{2} m (\cancel{v_1^2} - v_2^2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{1}{2} (-v_2^2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_p(T_2 - T_1) = -\frac{v_2^2}{2}$$

$$\Rightarrow C_p(T_1 - T_2) = \frac{v_2^2}{2} \quad (2)$$

Τα τω ισοθερμική διεργασία:

$$(2) \Rightarrow C_p(T_1 - T_{2s}) = \frac{v_{2s}^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{2s} = \sqrt{2 C_p(T_1 - T_{2s})}$$

Χρησιμοποιώντας την 2^η ισοθερμική σχέση των ιδανικών αερίων με βάση τη θεωρητική ανάλυση υπολογίζουμε το T_{2s} :

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow \frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{2s} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \cdot T_1$$

T_{2s}

$$T_{2s} = (180 + 273) \text{ K} \left(\frac{100}{300} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \Rightarrow T_{2s} = 331 \text{ K}$$

$$\textcircled{2} \Rightarrow v_{2s} = \sqrt{2 C_p (T_1 - T_{2s})} =$$

$$= \sqrt{2 \cdot \frac{1,005 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (453 - 331) \text{ K} \cdot \frac{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}{\text{kJ/kg}}} =$$

$$= 245,2 \text{ m/s}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow v_{2a} = \sqrt{\eta_D} \cdot v_{2s} = \sqrt{0,96} \cdot 245,2 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{2a} = 240,17 \text{ m/s} \quad (\text{a})$$

(β) Το βήμα επόμενο για την πραγματική διεργασία:

$$\textcircled{2} \Rightarrow C_p (T_1 - T_{2a}) = \frac{v_{2a}^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{2a} = T_1 - \frac{v_{2a}^2}{2 \cdot C_p}$$

$$T_{2a} = 453 \text{ K} - \frac{485,17^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}}{2 \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{2a} = 335,9 \text{ K}$$

Το 2ο νόμο αβεβαιότητας

$$S_{in} - S_{out} + S_{gen} = \Delta S_{system}$$

για διατάξεις σταθεροποιημένης ροής:

$$\Delta S_{system} = 0$$

$S_{in} - S_{out}$: Η εντροπία μεταφέρεται μέσω
 (α) θερμότητας
 (β) ροής μάζας

$S_{gen} = 0 \rightarrow$ μόνο για αντιστρεπτικές διεργασίες

$S_{gen} \neq 0 \rightarrow$ για όλες τις πραγματ. -/1-

Arknun 94

$$d = 12 \text{ cm}$$

O_2



$$T_2 = 18^\circ\text{C}$$

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

$$v_1 = 70 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$(a) \dot{m} = ?$$

$$P_1 = 240 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$(b) \dot{S}_{\text{gen}} = ?$$

$O_2 \rightarrow$ Same as air &
can use air table.

$$A_{\text{in}} T_1 A_2 C_p = 0.9180 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$R = 0.2598 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Isolated system:

$$\dot{S}_{\text{in}} - \dot{S}_{\text{out}} + \dot{S}_{\text{gen}} = \frac{\Delta S_{\text{sys}}}{\Delta t}$$

Entropy is a state function

$$\dot{S}_{\text{gen}} = \dot{S}_{\text{out}} - \dot{S}_{\text{in}} \Rightarrow \dot{m} (s_2 - s_1) \quad (1)$$

$$a) \dot{m} = \rho_1 \cdot v_1 \cdot A = \frac{\rho_1}{v_1} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (2)$$

Από καταστ. εξίσωση:

$$P_1 \cdot v_1 = R \cdot T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = 0,3172 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$(2) \Rightarrow \dot{m} = \frac{1}{0,3172} \cdot 70 \cdot 3,14 \cdot \frac{12^2 \cdot 10^{-4}}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m} = 2,495 \text{ kg/s}$$

β) Επειδή το O_2 θερμαίνεται (και ως αέριο με σταθερές ~~απόδοτες~~ ειδικές θερμότητες ~~και ως~~ η προσεγγιστική ανάλυση

Γ₁ αυτό
δεν είναι
από τους

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S_2 - S_1 = 0,04108 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$(1) \Rightarrow \dot{S}_{\text{gen}} = \dot{m}(S_2 - S_1) = 2,495 \cdot 0,04108 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{S}_{\text{gen}} = 0,1025 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

Ομάδα ασκήσεων 9

Άσκηση 9.1

Δεδομένα

$$v_1 = 50 \text{ m/s}$$

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

$$T_1 = 177^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{out}} = P_2 = 50 \text{ kPa}$$

$$v_2 = 350 \text{ m/s}$$

Παραδοχές

· Σταθλήμ ροή

· Ανεξήγητα δυναμική

· Δεν μετατρέπεται έργο

Μεταβλητές $c_p, c_v \Rightarrow$ Πίνακας IG N2 (A18)

Σε Ζητούμενα

a) $T_2 = ?$

b) $S_{\text{gen}} = ?$

Ισοβύθιο ενέργειας

$$\Delta h + \Delta e_k + \Delta e_p = q - w \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (h_{\text{out}} - h_{\text{in}}) + \frac{1}{2} (v_{\text{out}}^2 - v_{\text{in}}^2) + 0 = q - 0 \Rightarrow \textcircled{1}$$

$$T_{in} = 177^{\circ}\text{C} = 450\text{ K}$$

$$T_{surr} = 300\text{ K}$$

$$R_{N_2}, M_{r_{N_2}} \rightarrow TIA1 \rightarrow R_{N_2} = 0,2968 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$M_{r_{N_2}} = 28,013 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

TIA18:

$$h_{in} = 13105 \text{ kJ/kmol}$$

$$s_{in}^{\circ} = 203,503 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow h_{out} = q + h_{in} - \frac{1}{2} (v_{out}^2 - v_{in}^2) =$$

$$= \frac{13105 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}}{203,503 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} - \frac{1}{2000} (350^2 - 50^2) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{out} = 404,82 \text{ kJ/kg}$$

Για να βρω τι είναι η θερμότητα μετασχηματισμού πκ νίτρου το h_{out} .

$$h_{\text{out}} = 404,82 \cdot M_{N_2} = 11340 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

Από πίνακα με δ γραμμική παρεμβολή

T	h	S°
380	11055	198,572
?	11340	?
390	11347	199,331

$$T_{\text{out}} = 389,8 \text{ K}$$

$$S_{\text{out}} = 199,313 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

6) Ισοϋπόθεση εντροπίας

$$S_{\text{in}} + S_{\text{gen}} - S_{\text{out}} = \Delta S_{\text{system}} \Rightarrow$$

$\frac{Q_{\text{out}}}{T_{\text{sum}}} \rightarrow$ με κατάλ. επί

$$\frac{1}{M} \Rightarrow S_{\text{in}} + S_{\text{gen}} - S_{\text{out}} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (S_{\text{in}} - S_{\text{out}}) + S_{\text{gen}} = \frac{Q_{\text{out}}}{T_{\text{sum}}} = 0$$

$$\Rightarrow S_{\text{gen}} = (S_{\text{out}} - S_{\text{in}}) + \frac{Q_{\text{out}}}{T_{\text{sum}}} \quad (3)$$

$$S_{out} - S_{in} = S_{out}^{\circ} - S_{in}^{\circ} - R \cdot \ln \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) =$$

$$= \frac{203,503 - 144,313}{28,013} - 0,2968 \cdot \ln \left(\frac{50}{400} \right) =$$

$$= 0,4676 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\textcircled{3} \Rightarrow S_{gen} = 0,4676 + \frac{3 \text{ kJ/kg}}{300 \text{ K}} = 0,4776 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Ιδανικός κύκλος Otto:

(1) - (2): Ισοθερμική συμπίεση

(2) - (3): Ισοχωρή παραθήκη θερμότητας

(3) - (4): Ισοθερμική εκτόνωση

(4) - (1): Ισοχωρή απόδοση θερμότητας

(Ο αέρας συμπίεσ. ως ιδαν. αέριο με σταθ. ειδική θερμότητα $\rightarrow$ παραδοχ. πρόταση αέρα)

Κλειστό σύστημα - ιδανικό αέριο

Ισοβάθμια ενέργειας: $q_{in} - q_{out} + w_{in} - w_{out} = \Delta u$ ①

$$(2) - (3): \quad q_{in} = \Delta u = u_3 - u_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_{in} = C_v (T_3 - T_2) \quad ②$$

$$(4) - (1): \quad -q_{out} = u_1 - u_4 \Rightarrow q_{out} = u_4 - u_1 = C_v (T_4 - T_1) \quad ③$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{q_{in} - q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} =$$

$$= 1 - \frac{C_v (T_4 - T_1)}{C_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} \quad (4)$$

Για τις ισόθερμες διεργασίες (1)-(2) κ' (3)-(4):

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1} \quad (5) \quad \text{και} \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} \quad (6)$$

όπως (2)-(3) και (4)-(1) είναι ισόχωρες:

$$V_2 = V_3 \quad \text{κ' } V_4 = V_1 \quad \text{επομένως:}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1} \quad (7)$$

$$(4) \stackrel{(2)}{\Rightarrow} \eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{T_2/T_1} =$$

$$= 1 - \frac{1}{(V_1/V_2)^{k-1}} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

όπου $r = \frac{V_1}{V_2}$: ο λόγος συμπίεσης

$$\text{και} \quad k = \frac{C_p}{C_v}$$

Παράδειγμα 10.1

$$r = 8$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$T_3 = 1340 \text{ K}$$

το Ar: ιδανικό αέριο

$$k = 1,667$$

με σταθερές θερμοκρασίες:

$$C_v = 0,3122 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

λειτουργεί η προσεγγιστική ανάλυση

(α) Ισοθέρμο ενέργημα για (2)-(3):

$$q_{\text{in}} = u_3 - u_2 \Rightarrow q_{\text{in}} = C_v (T_3 - T_2) \quad (1)$$

Διεργασία (1)-(2) (αδυναμική)

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \Rightarrow T_2 = 300 \text{ K} \cdot 8^{0,667} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow T_2 = 1201 \text{ K}$$

$$(1) \quad q_{\text{in}} = 0,3122 \cdot (1340 - 1201) \Rightarrow q_{\text{in}} = 43,45 \text{ kJ/kg}$$

$$(β) \quad \eta_{\text{th}} = 1 - \frac{q_{\text{in}}}{q_{\text{out}}} \quad (2)$$

Issof. enry. pa (2)-(1):

$$q_{\text{aud}} = u_4 - u_1 \Rightarrow q_{\text{aud}} = C_v (T_4 - T_1) \quad (3)$$

Isocorically oxim pa (3)-(4) mas dicit:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} \Rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_4 = 1340 \text{ K} \left(\frac{1}{8} \right)^{0,667} = 334,8 \text{ K}$$

$$(3) \Rightarrow q_{\text{aud}} = 0,312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (334,8 - 300) \text{ K} = 10,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$(2) \Rightarrow \eta_{\text{th}} = 1 - \frac{43,45}{10,85} = 0,75$$

$$(x) \eta_{\text{th, Carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{1340} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{th, Carnot}} = 0,776 \text{ (77,6\%)}$$

Οι κύκλοι Otto, Diesel διαφέρουν ως προς
τη διαρρύθμιση (2)-(3) αφού η καύση είναι δύο
μετάλλω με διαίρεση ώστε να μην μπορεί να θεωρηθεί
ως ο ένας.

Όταν κάνω τις προεργασίες για το συμπιεσμένο
αέριο παίρνω τις τιμές από τον πίνακα των
θερμοκρασιών.

Παράδειγμα 10.3

Διεργασία κύκλου Rankine:

(1)-(2): Ισοτροπική συμπίεση σε αέρα

(2)-(3): Ισοβαρής προθέρμη θερμότητας σε
λίθια

(3)-(4): Ισοτροπική εκτόνωση σε ατμόβιλο

(4)-(1): Ισοβαρής απόρριψη θερμότητας σε
συμπύκνωση.

$$P_3 = 3 \text{ MPa} = P_2$$

$$T_3 = 350^\circ\text{C}$$

$$P_4 = 7 \text{ kPa} = P_1$$

$$S_1 = S_2$$

$$S_3 = S_4$$

Βάση της διεργασίας
και γυρίζοντας τις διεργασίες
του κύκλου Rankine

Αρχικά υπολογίζουμε τις τιμές της ειδικής ενθαλπίας
για κάθε κατάσταση χρησιμοποιώντας δεδομένα
από τον Πίνακα ατ/βλ

Κορε Κατάσταση 1:

$$P_1 = 75 \text{ kPa} \left. \begin{array}{l} \text{κορ. υγρό} \\ \Rightarrow \end{array} \right\} h_1 = h_{f@75 \text{ kPa}} = 384,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$
$$v_1 = v_{f@75 \text{ kPa}} = 0,001037 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Κατάσταση 2:

$$P_2 = 3 \text{ MPa}$$

Ισοβαρής επέκταση για 1-2
(Cavitation)

Συμπιεσμένο υγρό

$$S_1 = S_2 \quad (C1)-(2) \rightarrow \text{Isomp.}$$

$$\textcircled{I} \quad w_{\text{pump, in}} = h_2 - h_1 \quad \text{ή}$$

$$\textcircled{II} \quad w_{\text{pump, in}} = v_1 (P_2 - P_1)$$

Δεν μπορώ να κάνω την
παραγωγή αερίων δεν ξέρω
τη θερμοκρασία

$$\textcircled{II} \Rightarrow w_{\text{pump, in}} = 0,001037 (3000 \text{ kPa} - 75 \text{ kPa}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow w_{\text{pump, in}} = 3,03 \text{ kJ/kg}$$

$$\textcircled{I} \Rightarrow w_{\text{pump}} = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = w_{\text{pump, in}} + h_1 = h_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_2 = 387,47 \text{ kJ/kg}$$

Κατάσταση 3:

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 3 \text{ MPa} \\ T_3 = 350^\circ \text{C} \\ \text{Υπερθέρμος} \\ \text{ατμός} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{ΠΑ6} \\ \Rightarrow h_3 = 3116,1 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 6,7450 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array}$$

Κατάσταση 4:

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 75 \text{ kPa} \\ \text{κορ. υγρό} \\ s_4 = s_f = 6,7450 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{ΠΑ5} \\ s_{f@75\text{kPa}} = 1,2132 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ s_{fg@75\text{kPa}} = 6,2426 \\ h_{f@75\text{kPa}} = 384,44 \text{ kJ/kg} \\ h_{fg@75\text{kPa}} = 2278 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

Υπόλοιπο στην x:

$$h_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6,745 - 1,2132}{6,2426} = 0,8861$$

$$h_4 = h_f + x \cdot h_{fg} = 2403 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Τροφ. ενέργειας για 2-3 (2^η φάση):

$$q_{in} = h_3 - h_2 = (316,1 - 387,42) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_{in} = 2728,6 \text{ kJ/kg}$$

Τροφ. ενέργ. για (4)-(1)

$$q_{out} = h_4 - h_1 = (2463 - 384,44) \Rightarrow q_{out} = 2018,6 \text{ kJ/kg}$$

H απόδοση: $\eta_{th} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{2018,6}{2728,6} = 0,26$

Παράδειγμα 10.2

$$P_1 = 100 \text{ kPa}$$

(a) Τροφ. ενέργειας για συμπύκνωση

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$w_{c,in} = h_2 - h_1 = C_p(T_2 - T_1) \Rightarrow$$

$$P_2 = 700 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow w_{c,in} = 1,005(580 - 300) \Rightarrow$$

$$T_2 = 580 \text{ K}$$

$$\Rightarrow w_{c,in} = 281,4 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{in} = 950 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{ITA2: } C_p = 1,005 \text{ kJ/kg}$$

ΤΡΑΦΕ ΣΤΟ ΤΥΠΟΛΟΓΟ ΤΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΚΥΚΛΟΥ

(8) Ισχύς ενέργειας που απελευθερώνεται

$$W_{t, \text{out}} = h_3 - h_4 = C_p (T_3 - T_4) \quad (1)$$

Ισχύς ενέργειας για (2)-(3)

$$q_{\text{in}} = h_3 - h_2 = C_p (T_3 - T_2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_3 = \frac{q_{\text{in}}}{C_p} + T_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_3 = 1525,3 \text{ K}$$

Γνωρίζουμε ότι η (3)-(4) είναι ισεντροπική, } $\Rightarrow$
Ισχύει η ποσοστιαία αναλ.

$\Rightarrow$ χρησιμοποιούμε την ισεντρ. σχέση των ιδανικών αερίων:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_4 = 879,8 \text{ K}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow w_{t,out} = C_p (T_3 - T_4) = 1,005 (1525,3 - 874,3) = 653,75 \text{ kJ/kg}$$

(γ) Λόγος συμπίεσης ε' αέρα:

$$\frac{w_{c,in}}{w_{t,out}} = \frac{281,4}{653,75} = 0,43$$

Άσκηση 9.2

Είσοδος

$$\text{a) } \left. \begin{array}{l} P = 2 \text{ MPa} \\ T = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_{in} = 3467,6 \text{ kJ/kg} \\ s_{in} = 7,4317 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

Έξοδος

$$P = 40 \text{ kPa}$$

$$s_{out} = s_{in} = 7,4317 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\cancel{x} \quad x_{out(s)} = 0,964$$

$$h_{out(s)} = 2553,5 \text{ kJ/kg}$$

εξελ. μη αντιστρεψιμή
απορροή

$$\Rightarrow \dot{W}_{out,s} = \dot{m} (h_{in} - h_{out,s}) = 10972 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{turb}} = \eta_{\text{turb}} = 95\%$$

$$\eta_{\text{turb}} = \frac{\dot{W}_{\text{out},a}}{\dot{W}_{\text{out},s}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{\text{out},a} = \eta_{\text{turb}} \cdot \dot{W}_{\text{out},s} = 0,95 \cdot 10972 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{\text{out},a} = 10423,4 \text{ kW}$$

$$b) \dot{W}_{\text{out},a} = \dot{h}_{\text{in}} - \dot{h}_{\text{out},a} \Rightarrow \dot{h}_{\text{out},a} = \dot{h}_{\text{in}} - \dot{W}_{\text{out},a} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{h}_{\text{out},a} = \dot{h}_{\text{in}} - \frac{\dot{W}_{\text{out},a}}{\dot{m}_s} =$$

$$= \frac{34676 \text{ kJ}}{\text{kg}} - \frac{10423,4 \text{ kJ/s}}{12 \text{ kg/s}} = 2598,89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$- X_{\text{out},a} = \frac{\dot{h}_{\text{out},a} - \dot{h}_{\text{gefäße},a}}{\dot{h}_{\text{gefäße},a}} = \frac{2598,89 - 317,53}{2319,22} = 0,984$$

$$v = v_{\text{gefäße},a} + X_{\text{out},a} (v_{\text{gefäße},a} - v_{\text{gefäße},a}) = 3,929 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{V} = \dot{m}_s \cdot v = 12 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3,923 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 47,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Πρότυπος ΚΡΥΟΣ (ΨΥΧΡΟΣ) Αέρας

C_v, C_p σταθ για $T = 25^\circ\text{C}$

Πρότυπος αέρας

μεταβλητά C_v, C_p

Άσκηση 10.2 (η 10.1 είναι ένας διαγώνισμα)

$$P_1 = 100 \text{ kPa} = P_4$$

$$\dot{V}_1 = 150 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$P_2 = 1200 \text{ kPa} = P_3$$

$$\alpha) \dot{W}_{\text{net}} = ?$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$\beta) \dot{W}_{\text{in}} / \dot{W}_{\text{out}} = ?$$

$$T_2 = ?$$

$$\gamma) \eta_{\text{Brayton}} = ?$$

$$T_3 = 1200 \text{ K}$$

$$T_4 = ?$$

1→2 Ισοθερμική συμπίεση

$$\dot{W}_{\text{in},s} = h_{2,s} - h_1$$

$$T_1 = 300 \text{ K} \rightarrow \text{TABLE}$$

$$h_1 = 300,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \left. \vphantom{h_1} \right\} \Rightarrow$$

$$P_1 = 1,386$$

$$\Rightarrow p_{r2} = p_r \left(\frac{p_2}{p_1} \right) = 1,386 \left(\frac{1200}{1000} \right) = 16,632$$

$$\text{ITA17 } p_r = 16,632 \Rightarrow h_{2,s} = 610,65 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{in,s} = h_{2,s} - h_1 = 610,65 - 300,19 = 310,46 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{comp} = 0,82$$

$$\eta_{comp} = \frac{w_{in,s}}{w_{in,a}} \Rightarrow w_{in,a} = \frac{310,46}{0,82} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow w_{in,a} = 378,61 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{2,a} = w_{in,a} + h_1 = 378,61 + 300,19 = 678,8 \text{ kJ/kg}$$

$$2 \rightarrow 3 \quad q_{in} = h_3 - h_{2,a}$$

$$\text{ITA17 } T_3 = 1200 \text{ K} \rightarrow h_3 = 1277,79$$

$$p_{r3} = 238$$

$$\Rightarrow q_{in} = h_3 - h_{2,a} = 598,99 \text{ kJ/kg}$$

$$p_{r4} = p_{r3} \left(\frac{p_4}{p_3} \right) = 19,83 \rightarrow h_{4,s} = 638,56 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{out,s} = h_3 - h_{4,s} = 639,23 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{turb} = \frac{w_{out,a}}{w_{out,s}} \Rightarrow w_{out,a} = 562,52 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{4,a} = h_3 - w_{out,a} = 715,27 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{net} = w_{out,a} - w_{in,a} = 562,52 - 378,61 = 183,91 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{net} = \dot{m} \cdot w_{net} = 533 \text{ kW}$$

$$(f) \quad \frac{w_{in,a}}{w_{out,a}} = \frac{378,61}{562,52} = 0,637$$

$$(g) \quad \eta_{Brayton} = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{183,91}{598,99} = 0,31$$

Helmholtz a συνάρτηση

$$a = u - T \cdot s \Rightarrow da = du - T \cdot ds - s \cdot dT$$

$$\Rightarrow \boxed{da = -P \cdot dv - s \cdot dT} \quad \Rightarrow \text{Σχέση Gibbs}$$

Gibbs g συνάρτηση

$$g = h - T \cdot s \Rightarrow dg = dh - T \cdot ds - s \cdot dT$$

$$\Rightarrow \boxed{dg = v \cdot dP - s \cdot dT} \quad \Rightarrow \text{Σχέση Gibbs}$$

οι 4 σχέσεις του Gibbs είναι της μορφής:

$$dz = M \cdot dx + N \cdot dy$$

όπου M και N είναι οι μερικές παράγωγοι του z ως προς x και y, αντιστοίχα

$$M = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y \quad \text{και} \quad N = \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_x$$

$$\left(\frac{\partial M}{\partial y} \right)_x = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \quad \left(\frac{\partial N}{\partial x} \right)_y = \frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}$$

Άρα

$$\left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)_y$$

Εξίσωση Clapeyron

Για χαμηλές πιέσεις:

$$v_g \gg v_f \rightarrow v_{fg} = v_g - v_f \approx v_g$$

Επίσης για χαμηλές P και υψηλές T μπορούμε να θεωρήσουμε τον ατμό ιδανικό αέριο:

$$P \cdot v_g = R \cdot T \Rightarrow v_g = \frac{R \cdot T}{P}$$

Αντικαθιστώντας την εξίσωση του Clapeyron:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{h_{fg}}{T \cdot v_{fg}} \Rightarrow \frac{dP}{dT} = \frac{h_{fg} \cdot P}{R \cdot T^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{P} = \frac{h_{fg}}{R} \cdot \frac{dT}{T^2} \quad (1)$$

για μικρά ΔT το $h_{fg} \approx \text{σταθ.}$

ολοκληρώνοντας την ① $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \int_1^2 \frac{dP}{P} = \int_1^2 \frac{dT}{T^2} \cdot \frac{h_{fg}}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{\text{sat}} = \frac{h_{fg}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)_{\text{sat}}$$

Εξίσωση Clapeyron
Clausius

Παράδειγμα 11.11

$$\left(\frac{dP}{dT} \right)_{\text{sat}} = \frac{h_{fg}}{T \cdot v_{fg}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{fg} = \left(\frac{dP}{dT} \right)_{\text{sat}} T \cdot v_{fg} \quad ①$$

Από TIA11 για το R-134a στα 20°C:

$$\begin{aligned} v_{fg@20^\circ\text{C}} &= v_{fg@20^\circ\text{C}} = v_{g@20^\circ\text{C}} - v_{f@20^\circ\text{C}} = \\ &= 0,0358 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} - 0,0008157 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\Rightarrow v_{fg@20^\circ\text{C}} = 0,03498 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Θεωρούμε κατά προσέγγιση ότι:

$$\left(\frac{dP}{dT}\right)_{\text{sat}} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta T}\right)_{\text{sat}} = \frac{P_{\text{sat}@24^\circ\text{C}} - P_{\text{sat}@16^\circ\text{C}}}{T_{\text{sat}@24^\circ\text{C}} - T_{\text{sat}@16^\circ\text{C}}} =$$

$$= \frac{(0,64566 - 0,50416) \text{ MPa}}{24^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{dP}{dT}\right)_{\text{sat}} = 17,69 \text{ kPa/K}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow h_{fg} = (20 + 273) \text{ K} \cdot 0,03498 \cdot 17,69 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{K} \cdot \text{kg}}$$

$$\Rightarrow h_{fg} = 181,02 \text{ kJ/kg}$$

Από ΠΑΜ βρίσκουμε ότι $h_{fg@20^\circ\text{C}} = 181,09 \text{ kJ/kg}$

Η μικρή διαφορά σε σχέση με αυτή που υπολογίστηκε από την Εξ. Clapeyron οφείζεται στην προσέγγιση:

$$\left(\frac{dP}{dT}\right)_{\text{sat}} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta T}\right)_{\text{sat}}$$

Μεταβολή ενθαλπίας για πραγματικά αέρια

$$\bar{h}_2 - \bar{h}_1 = (\bar{h}_2 - \bar{h}_1)_{\text{ideal}} - R_u \cdot T_{cr} (Z_{h_2} - Z_{h_1}) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right]$$

$$h_2 - h_1 = (h_2 - h_1)_{\text{ideal}} - R \cdot T_{cr} (Z_{h_2} - Z_{h_1}) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

→ όταν $(\bar{h}_2 - \bar{h}_1)_{\text{ideal}}$ και $(h_2 - h_1)_{\text{ideal}}$ από πίνακες ιδανικών αερίων.

→ όταν Z_h είναι ο παράγοντας απόκλισης της ενθαλπίας

$$Z_h = (\bar{h}_{\text{ideal}} - \bar{h})_T \frac{\frac{1}{M_u}}{\frac{1}{M_u}} \frac{(h_{\text{ideal}} - h)_T}{R \cdot T_{cr}}$$

Το Z_h υπολογίζεται από το γενικευμένο διαγράμμα απόκλισης της ενθαλπίας (Σχ. Α29)

Απαιτείται ο υπολογισμός της ανηγμένης πίεσης, P_R , και θερμοκρασίας, T_R :

$$P_R = \frac{P}{P_{cr}}, \quad T_R = \frac{T}{T_{cr}}$$

Μεταβολή εσωτερικής ενέργειας για
πραγματικά αέρια:

$$\bar{h} = \bar{u} + P \cdot \bar{v} \Rightarrow \bar{u} = \bar{h} - P \cdot \bar{v} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{u} = \bar{h} - Z \cdot R_u \cdot T$$

$$\bar{u}_2 - \bar{u}_1 = \bar{h}_2 - \bar{h}_1 - R_u (Z_2 \cdot T_2 - Z_1 \cdot T_1) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right]$$

$$u_2 - u_1 = h_2 - h_1 - R (Z_2 \cdot T_2 - Z_1 \cdot T_1) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

→ όπου Z είναι ο παράγοντας συμπιεστότητας —
→ από γενικευμ. διαγρ. συμπ/τας (Σχ. A15)

$$\text{όπου } \bar{h}_2 - \bar{h}_1 = (\bar{h}_2 - \bar{h}_1)_{\text{ideal}}$$

$$h_2 - h_1 = (h_2 - h_1)_{\text{ideal}}$$

Μεταβολή εντροπίας για πραγματικά αέρια:

$$\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = (\bar{s}_2 - \bar{s}_1)_{\text{ideal}} - R_u (Z_{s_2} - Z_{s_1}) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right]$$

$$s_2 - s_1 = (s_2 - s_1)_{\text{ideal}} - R (Z_{s_2} - Z_{s_1}) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

όπου: $(\bar{s}_2 - \bar{s}_1)_{\text{ideal}} = \bar{s}_2^\circ - \bar{s}_1^\circ - R_u \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right]$

$$(s_2 - s_1)_{\text{ideal}} = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

→ όπου Z_s : ο παράγοντας συμπύκνωσης της εντροπίας

$$Z_s = \frac{(\bar{s}_{\text{ideal}} - \bar{s})_{T,P}}{R_u} \approx \frac{(s_{\text{ideal}} - s)_{T,P}}{R}$$

και χρησιμοποιεί διαγρ.
constitutive εντροπίας

(Σ x A30)

Παράδειγμα 112

(α) Από ΠΑ18 για N_2 υπολογίζουμε το h στους 175 K με γραμ. παρεμβολή:

$T(K)$	$\bar{h} (kJ/kmol)$
0	0
175	?
220	6391

↓ 5083
 $\bar{h} = 181,48 \frac{kJ}{kmol}$
↓ $\div M_m$
 $h = 181,48 \frac{kJ}{kg}$

Σφάλμα: $\frac{|125,5 - 181,48|}{125,5} = 0,444 \text{ (44,4\%)}$

$$\left. \begin{aligned} T_R &= \frac{T}{T_{cr}} = \frac{175}{126,2K} = 1,387 \\ P_R &= \frac{P}{P_{cr}} = \frac{8MPa}{3,39MPa} = 2,36 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ Από Γεν. Διαγρ. Ανόμοι. Ευθ. (Γ.Δ.Α.Ε.υθ.):

$$Z_h = 1,6$$

$$Z_h = \frac{(\bar{h}_{ideal} - \bar{h})_T}{R_u \cdot T_{cr}} \Rightarrow \bar{h} = \bar{h}_{ideal} - Z_h \cdot R_u \cdot T_{cr} \Rightarrow$$

$\downarrow$
 ideal gas (a)

$$\Rightarrow \bar{h} = 5083 \text{ kJ/kmol} - 1,6 \cdot 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot 126,2 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \bar{h} = 3405 \text{ kJ/kmol} \xrightarrow{\% Mr_{CH_4}} h = 121,6 \text{ kJ/kg}$$

$$\Sigma \text{ error: } \frac{|125,5 - 121,6|}{125,5} = 0,031 \text{ (3,1\%)}$$

Παράδειγμα 11.3

Για το συμπιεστή το ωφέλιμο έργο είναι:

$$\dot{W}_{in} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (1)$$

Από ΠΑ1 και Α2α για το CH_4 :

$$T_{cr} = 191,1 \text{ K}, P_{cr} = 4,64 \text{ MPa}$$

$$R = 0,5183 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}, Mr = 16,043$$

$$C_p = 2,2537 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Καζανό 1

$$T_{R1} = \frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{-10 + 273}{191,1} = 1,38$$

$$P_{R1} = \frac{P_1}{P_{cr}} = \frac{2 \text{ MPa}}{4,64 \text{ MPa}} = \cancel{0,384} 0,43$$

$$\Rightarrow Z_{h1} = 0,21 \quad \text{Από Τζ. Δ. Ανθ. 2 Ένθ}$$

Καζανό 2

$$T_{R2} = \frac{T_2}{T_{cr}} = \frac{383}{191,1} = 2$$

$$P_{R2} = \frac{P_2}{P_{cr}} = \frac{10 \text{ MPa}}{4,64 \text{ MPa}} = 2,16$$

$$\Rightarrow Z_{h2} \approx 0,5$$

$$h_2 - h_1 = (h_2 - h_1)_{ideal} - R \cdot T_{cr} (Z_{h2} - Z_{h1}) \quad (2)$$

Επειδή για το CH_4 δεν διαθέτουμε Πίνακα
και επειδή το θερμοκρασιακό σύστημα
είναι μικρό * μπορούμε να θεωρήσουμε:

$$(\Delta h)_{ideal} = C_p \cdot \Delta T$$

* αν η θερμ. 200-300 μπορεί να
θεωρηθεί μικρή

$$\dot{m} (h_2 - h_1)_{ideal} = \dot{m} C_p (T_2 - T_1)$$

$$\textcircled{2} \Rightarrow h_2 - h_1 = C_p (T_2 - T_1) - R \cdot T_{cr} (Z_{h_2} - Z_{h_1}) =$$

$$= 2,2537 (110 - (-10)) - 0,5183 \cdot 141,1 (0,5 - 0,21) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_2 - h_1 = 241,7 \text{ kJ/kg}$$

Παράδειγμα 11.4

~~Από TTA1 για α CO₂~~

(α) Για ιδανικό αέριο:

$$(\bar{s}_2 - \bar{s}_1)_{\text{ideal}} = \bar{s}_2^\circ - \bar{s}_1^\circ - R_u \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

όπου $\bar{s}_2^\circ$ και $\bar{s}_1^\circ$ οι τιμές της ενθαλπίας $\bar{s}^\circ$ στην τελική και αρχική κατάσταση.

Από TTA1 για CO₂:

$$T_{cr} = 304,2 \text{ K}$$

$$P_{cr} = 7,39 \text{ MPa}$$

$$R = 0,1889 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$M_r = 44,01 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\text{για } T_1 = (47 + 273) \text{ K} = 320 \text{ K} \text{ από TTA20: } \bar{s}_1^\circ = 216,351 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$\text{για } T_2 = (97 + 273) \text{ K} = 370 \text{ K} \text{ από TTA20: } \bar{s}_2^\circ = 222,044 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$(1) \Rightarrow (\bar{s}_2 - \bar{s}_1)_{\text{ideal}} = \bar{s}_2^\circ - \bar{s}_1^\circ = (222,044 - 216,351) - 8,314 \cdot \ln\left(\frac{8}{1}\right)$$

$$\Rightarrow (\bar{s}_2 - \bar{s}_1)_{\text{ideal}} = -11,595 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \rightarrow \frac{-11,595 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}}{44,01 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = -0,2635 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\Rightarrow (\bar{s}_2 - \bar{s}_1)_{\text{ideal}} = -0,2635 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Thema 11.4

$$(b) \quad \bar{S}_2 - \bar{S}_1 = \underbrace{(\bar{S}_2 - \bar{S}_1)_{ideal}}_{\text{gewordenes Guss (a)}} - R_u (Z_{S_2} - Z_{S_1}) \quad (2)$$

Krit. 1

$$\left. \begin{aligned} T_{R_1} &= \frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{320K}{304,2K} = 1,05 \\ P_{R_1} &= \frac{P_1}{P_{cr}} = \frac{1MPa}{7,39MPa} = 0,135 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$\Rightarrow Z_{S_1} = 0,11 \rightarrow$ *aus dem Diagramm Abgelesen*

Krit. 2

$$\left. \begin{aligned} T_{R_2} &= \frac{T_2}{T_{cr}} = \frac{370K}{304,2K} = 1,22 \\ P_{R_2} &= \frac{P_2}{P_{cr}} = \frac{8MPa}{7,39MPa} = 1,08 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

Aus dem Diagramm Abgelesen

$\Rightarrow Z_{S_2} = 0,6$

$$\textcircled{2} \Rightarrow \bar{S}_2 - \bar{S}_1 = (\bar{S}_2 - \bar{S}_1)_{\text{ideal}} - R_u (Z_{S_2} - Z_{S_1}) =$$

$$= -11,595 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} - 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot (0,6 - 0,11) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{S}_2 - \bar{S}_1 = -\frac{15,67}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \xrightarrow{\% M_r} ;$$

$$\rightarrow S_2 - S_1 = -\frac{15,67}{44,01} = -0,356 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Παράδειγμα 11.5

$$\text{Εξίσωση Clapeyron: } \left(\frac{dP}{dT} \right)_{\text{sat}} = \frac{h_{fg}}{T \cdot v_{fg}} \quad \textcircled{1}$$

Η ενθαλπία εξάχνωσης:

$$h_{fg} = \frac{5 \text{ kJ}}{2 \text{ kg}} = 2,5 \text{ kJ/kg}$$

Κατά τη διάρκεια της εξάχνωσης ο όγκος αυξάνεται κατά 1000 cm^3 ανά:

$$v_{fg} = v_g - v_f = \frac{1000 \text{ cm}^3}{2 \text{ kg}} = 500 \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}} = 0,0005 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow \left(\frac{dP}{dT} \right)_{\text{sat}} = \frac{2,5 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg}}{(80+273) \text{ K} \cdot 0,0005 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{dP}{dT} \right)_{\text{sat}} = 14,16 \text{ kPa/K}$$

Γα pumpa Orifokkaraia Seozitara Hnopolpe
va Orifonayis:

$$\left(\frac{dP}{dT} \right)_{\text{sat}} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta T} \right)_{\text{sat}} \approx \left(\frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \right)_{\text{sat}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{2\text{sat}} = \frac{P_2 - P_1}{dP/dT} + T_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{2\text{sat}} = \frac{180 \text{ kPa} - 200 \text{ kPa}}{14,16 \frac{\text{kPa}}{\text{K}}} + 353 \text{ K} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{2\text{sat}} = 351,6 \text{ K} = 78,6^\circ \text{C}$$



Assignment 11.1

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_h \approx \left(\frac{\Delta T}{\Delta P} \right)_{h=286,35} \frac{T_2 - T_1}{P_2 - P_1} \bigg|_h$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 50^\circ\text{C} \\ P = 700 \text{ kPa} \end{array} \right\} h = 286,35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

~~H Nitrogen O₂ etc.~~

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 0,8 \text{ MPa} \\ h = 286,35 \end{array} \right\} \Rightarrow T_2 = 51,19^\circ\text{C}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0,6 \text{ MPa} \\ h = 286,35 \end{array} \right\} \Rightarrow T_1 = 48,15^\circ\text{C}$$

$$\mu_{JT} = \frac{T_{@0,8 \text{ MPa}} - T_{@0,6 \text{ MPa}}}{P_1 - P_2} = \frac{(51,19 - 48,1)}{0,8 - 0,6} = 15,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{MPa}}$$

1) $h(T, P)$

2) $P_{\text{high}} < P \xrightarrow{h=\text{const}} T_{\text{high}}$

$\leftarrow P_{\text{high}} > P \xrightarrow{h=\text{const}} T_{\text{high}}$

2015
GAS
GAS

Aufknoy 1.1.2

$$\underline{dT=0}$$

$$\textcircled{1} \Delta u = u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_v}{T} dT + \int_{V_1}^{V_2} \left[\left(T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right) dV \right]$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \Delta u + P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1 *$$

$$\textcircled{2} \Delta s = s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_v}{T} dT + \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dV$$

$$\textcircled{3} \Rightarrow \Delta u = \int_{V_1}^{V_2} \left(T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right) dV$$

$$\textcircled{4} \Rightarrow \Delta s = \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dV$$

Eigenschaft von der Waals (Gleichung)

$$\left(P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = R \cdot T \Rightarrow P = \frac{R \cdot T}{V - b} - \frac{a}{V^2}$$

$$\int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{R}{v-b} dv = R \ln \left(\frac{v_2-b}{v_1-b} \right)$$

$$\int_{v_1}^{v_2} \left(T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right) dv = \int_{v_1}^{v_2} \left(\cancel{T \frac{R}{v-b}} - \cancel{\frac{R \cdot T}{v-b}} + \frac{a}{v^2} \right) dv =$$

$$= \int_{v_1}^{v_2} \frac{a}{v^2} dv = -\frac{a}{v} \Big|_{v_1}^{v_2} = +\frac{a}{v_1} - \frac{a}{v_2}$$

$$\Delta h^* = a \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) + \frac{R \cdot T \cdot v_2}{v_2-b} - \frac{a}{v_2^2} - \frac{R \cdot T \cdot v_1}{v_1-b} + \frac{a}{v_1^2} =$$

$$= 2a \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) + RT \left(\frac{v_2}{v_2-b} - \frac{v_1}{v_1-b} \right)$$

Σ zur isothermen (isothermen) Expansion:

$$dT = 0$$

$$\Delta u = C_v dT = 0$$

$$\Delta h = C_p dT = 0$$

$$\Delta s = R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

Ασκήσεις ΕπανάληψηςΑσκ. 8 1^η σειράΚατ. 1

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 40^\circ\text{C} \\ P_1 = 400\text{kPa} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{ΠΑ4}} P_{\text{sat}(40^\circ\text{C})} = 7,384\text{kPa} < P_1$$

↓
Συμμετρίκτο υγρό

Επιπλέονως από ΠΑ4: ~~$v_1 = v_{f@40^\circ\text{C}} = 0,001008 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$~~

$$u_1 = u_{f@40^\circ\text{C}} = 167,56 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$(a) v_1 = \frac{V_1}{m} \Rightarrow m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0,00770 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{0,001008 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = 69,44 \text{ kg}$$

(b) Κατ. 2

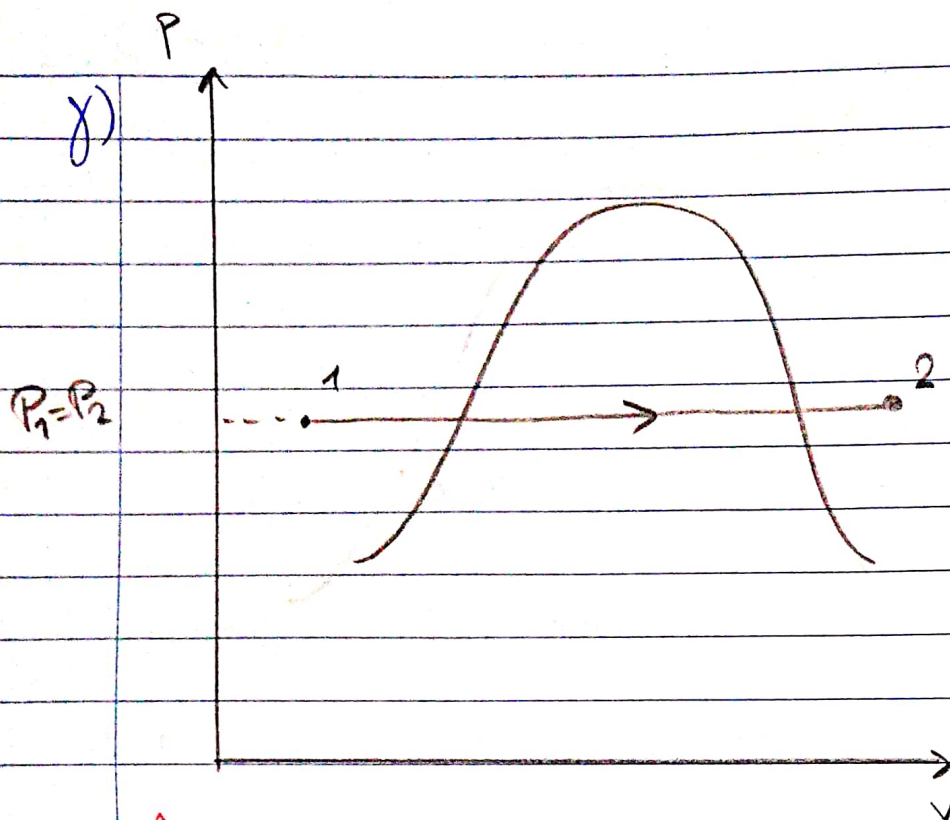
$$P_2 = P_1 = 400\text{kPa}$$

$$U_2 = 229165,89 \text{ kJ} \Rightarrow u_2 = \frac{U_2}{m} = 3300,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Από ΠΙΑ5 για $P_2 = 400\text{kPa}$ παρατηρούμε: $u_g = 2553,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$u_2 > u_g$$

↪ Υπέρθερμος ατμός

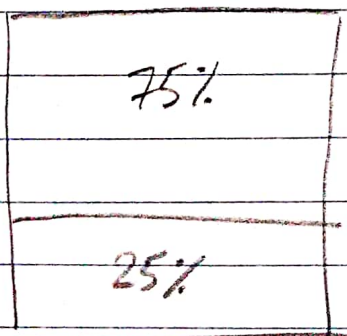


Ασκ. 6 ~~4~~ σέρρα

(α) Κατάστ. 1

$T_1 = 30^\circ\text{C}$
 κατ. υπό
 ψυχτικό

ΠΑΛΗ για $T_1 = 30^\circ\text{C}$ $V_1 = V_{\text{εξω}} \Rightarrow$
 $\Rightarrow V_1 = 0,0008417 \text{ m}^3$



Το ψυχτικό καταλαμβάνει το 25% του όγκου:

$$V_{\text{R134a}} = 0,25 V_{\text{αυτo}} \quad \textcircled{1}$$

$$V_{\text{R134a}} = \underline{V_1} \cdot m = 0,0008417 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot 2 \text{ kg} = 0,0016834 \text{ m}^3$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow V_{\text{tank}} = \frac{V_{R134a}}{0,25} = \frac{0,0016834}{0,25} = 0,0067336 \text{ m}^3$$

(β) κατ. 2

καρσιμμένος αέρας
ψυκτικός

ο καρσιμ. αέρας καταλαμβάνει όλο τον όγκο του δοχείου:

$$V_{R134a} = V_{\text{tank}} = 0,0067336 \text{ m}^3$$

$$\text{άρα } v_2 = v_g = \frac{0,0067336}{2} = 0,0033668 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Από ΠΑΜ βρισκόμαστε σε ποια T το $v_g = 0,0033668 \text{ m}^3/\text{kg}$

T (°C)	v_g (m ³ /kg)
90	0,00416
x	0,0033668
100	0,0027

Με γραμμική παρεμβολή: $T_2 = 96,49^\circ\text{C}$

$$\textcircled{\gamma} P_2 = P_{\text{sat}@96,49^\circ\text{C}}$$

T (°C)	P_{sat} (MPa)
90	3,2485
96,49	3,2485
100	3,9742

Με γρ. παρεμβ.

$$P_2 = 3,7978 \text{ MPa}$$

Ασκ 5 2^η σειρά

(a) Για το N_2 : $R = 0,2968 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, $C_v = 0,7430 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Ζητούμε ενέργεια για κλειστό σύστημα για τη συνολική διεργασία:

$$Q_{\text{net}} - W_{\text{net},b} = \Delta U \Rightarrow Q_{\text{net}} - W_{b,\text{net}} = m \cdot C_v (T_3 - T_1) \quad (1)$$

Ευρίσκουμε το $N_2 \rightarrow$ ιδ. αέριο
χωρίς η κατανάλωση ενέργειας

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \Rightarrow m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{500 \text{ kPa} \cdot 0,6 \text{ m}^3}{0,2968 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 973 \text{ K}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = 1,0388 \text{ kg}$$

Έργο συμπιεσθών έχω μόνο στην διεργασία
(1) $\rightarrow$ (2) ισόθετη ή (2) $\rightarrow$ (3) είναι ισόχωρη ($dV=0$)

$$W_{b,\text{net } 1-2} = m \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) =$$

για ιδ. αέριο

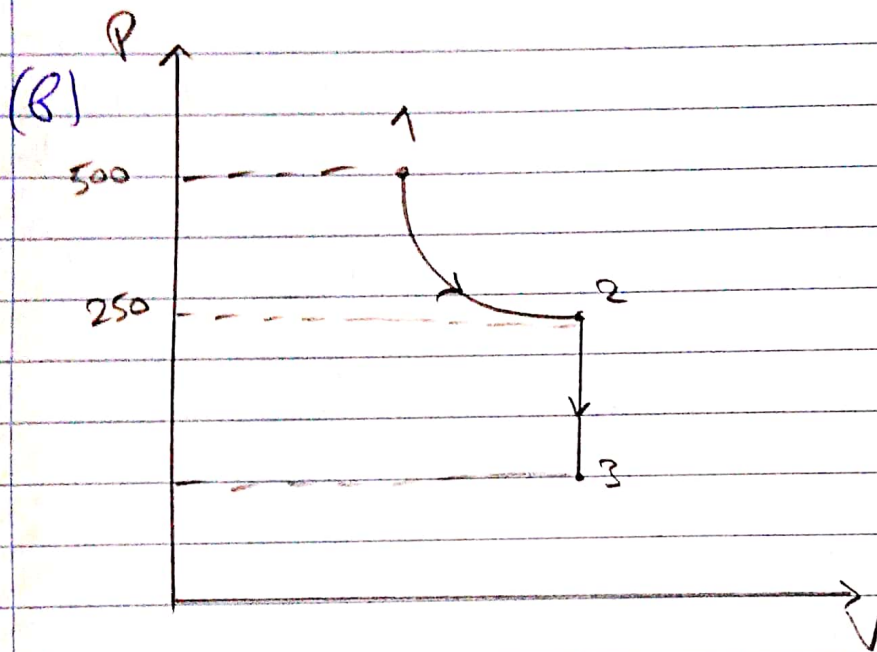
$$= 1,0388 \cdot 0,2968 \cdot 973 \cdot \ln\left(\frac{500}{250}\right) = 207,938 \text{ kJ}$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow Q_{\text{net}} = m \cdot c_v \cdot \Delta T + W_{b, \text{net}}$$

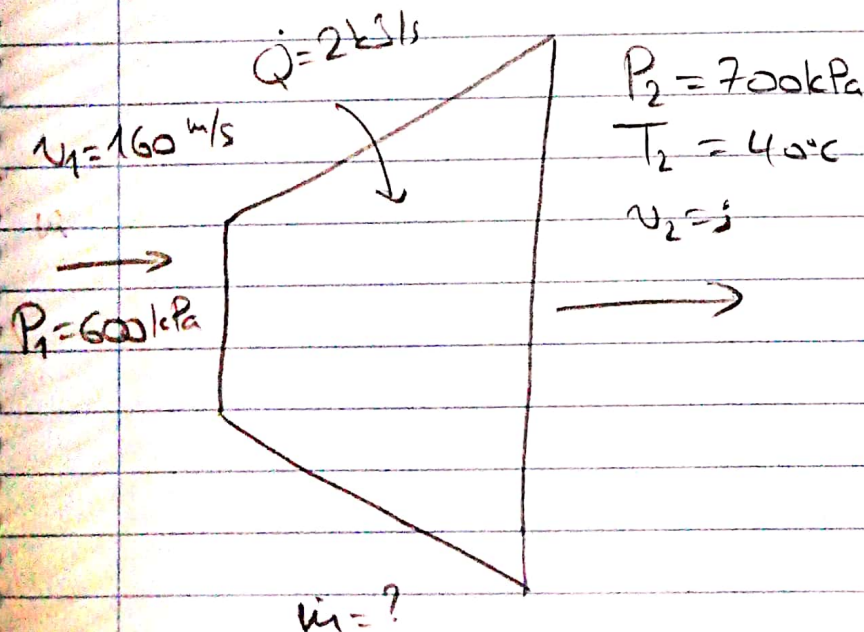
$$\Rightarrow Q_{\text{net}} = 1,0388 \text{ kg} \cdot 0,7430 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (50 - 700) \text{ K} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{\text{net}} = -293,759 \text{ kJ}$$

↳ αρνητική θερμότητα από το σύστημα



Ασκ. 6 2η σειρά



(E) Kaz. 2

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 700 \text{ kPa} \\ T_2 = 40^\circ\text{C} \end{array} \right\} \text{IIA12} \rightarrow T_{\text{sat}@21,58^\circ\text{C}} = 21,58^\circ\text{C} < T_2$$

↳ υπέρθερμος
αέρας

IIA13

$$\rightarrow \text{για } T_2 = 40^\circ\text{C} \text{ κ } P_2 = 97 \text{ kPa} : v_2 = 0,03157 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 275,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Kaz. 1

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 600 \text{ kPa} \\ \text{καρ. αέρας} \end{array} \right\} \text{IIA12} \rightarrow v_1 = v_g = 0,0341 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$h_1 = h_g = 259,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$A_2 = 1,8 A_1 \Rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{1,8}$$

(a) Διακύβευση διαρροών σταθερού ποσού

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{A_1 \cdot v_1}{v_1} = \frac{A_2 \cdot v_2}{v_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{v_1}{v_2} \cdot v_1$$

$$v_2 = \frac{1}{1,8} \cdot \frac{0,03157}{0,0341} \cdot 160 \Rightarrow v_2 = 82,29 \text{ m/s}$$

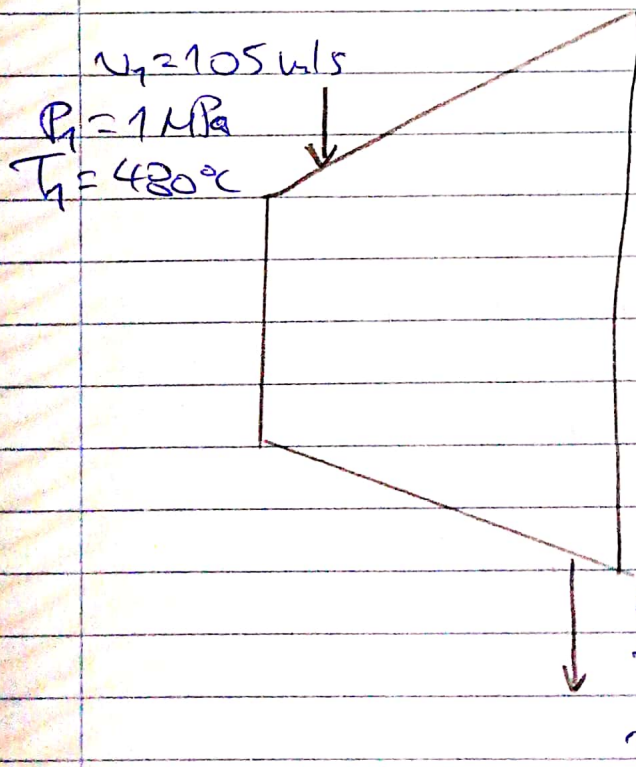
(B) ~~Q_{net} = W_{net}~~

$$Q_{\text{net}} + \dot{m} \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m} = \frac{Q_{\text{net}}}{h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}} = \frac{2 \text{ kJ/s}}{275,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 259,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{(82,29^2 - 160^2)}{2} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}}$$

$$\Rightarrow \dot{m} = 0,273 \text{ kg/s}$$

Ασκ. 8 2^η σειρά



Για τον αέρα:

$$C_p = 1,0050 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$R = 0,2870 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$(a) \dot{m} = \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \frac{1}{v_1} \cdot v_1 \cdot A_1 \quad (1)$$

$$P_1 \cdot v_1 = R \cdot T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_1 = \frac{0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (480+223) \text{K}}{1000 \text{kPa}} \Rightarrow v_2 = 0,2161 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$(1) \dot{m} = \frac{1}{0,2161 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \cdot 105 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0092 \text{ m}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m} = 4,47 \text{ kg/s}$$

(8) 100% ενεργεια:

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} \right) + \dot{W}_{\text{out}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{\text{out}} = \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \right] \quad (2)$$

Επειδή έχω δακτύλιο αέρα με σταθερές
επίκεντρο θερμότητας:

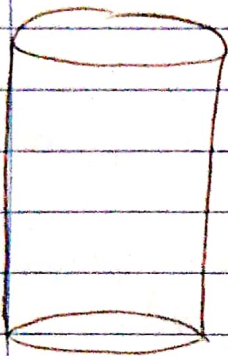
$$\Delta h = c_p \cdot \Delta T$$

$$\textcircled{2} \rightarrow \dot{W}_{out} = 4,47 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\textcircled{2} \Rightarrow \dot{W}_{out} = \dot{m} \left[C_p (T_1 - T_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{out} = 4,47 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (480 - 705) \text{K} + \frac{(105^2 - 210^2)}{2} \cdot \frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{out} = 1408,55 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Ασκήσεις ΕπανάληψηςΑσκ. 1 1η σειρά

$$a) M_r = \frac{m}{n} = \frac{20 \text{ kg}}{200 \text{ kmol}} \left| \frac{1000 \text{ kmol}}{1 \text{ kmol}} \right| = 100 \text{ kg/kmol}$$

$$b) \rho = \frac{m}{V} = \frac{20 \text{ kg}}{0,01256 \text{ m}^3} = 1592 \text{ kg/m}^3$$

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{0,2^2 \text{ m}^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0,4 = 0,01256 \text{ m}^3$$

$$g) \bar{v} = \frac{V}{n} = \frac{0,01256}{200 \text{ mol}} \left| \frac{10^3 \text{ mol}}{1 \text{ kmol}} \right| = 0,0628 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$$

$$d) ER = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} = \frac{1592}{1000} = 1,592$$

$$e) \gamma = \rho \cdot g = 1592 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 15,62 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ασκ 2 2η σειρά

α) Μεταφορά έργου:

$$\text{Ισχύς: } W_{\text{ηλ}} = I \cdot V = 0,1 \text{ A} \cdot 120 \text{ V} = 12 \text{ W}$$

$$W_{\text{αγ}} = 2\pi \cdot n \cdot T = 2 \cdot \pi \cdot 40 \text{ rpm} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot 5 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$= 20,93 \text{ W}$$

Έργο:

$$W_{\text{ηλ}} = W_{\text{ηλ}} \cdot \Delta t = 12 \cdot \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 30 \text{ s} = 360 \text{ J}$$

$$W_{\text{αγ}} = W_{\text{αγ}} \cdot \Delta t = 20,93 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 30 \text{ s} = 628 \text{ J}$$

$$W_{\text{net}} = W_{\text{ηλ}} + W_{\text{αγ}} = 988 \text{ J}$$

β) $Q = 100 \text{ J}$

γ) Μεταβολή είναι το $\Delta U = Q - W =$

$$= 100 - (-988) = 1088 \text{ J}$$

Ασκ. 5 1^η σειρά

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

$$\eta_{\text{αεθ. αλ.}} = \frac{\text{αποδοτ.}}{\text{εισροδ.}} = \frac{\Delta \dot{E}_D}{\dot{W}_{\text{αεθ. αλ.}}}$$

$$\rho = 1010 \text{ kg/m}^3$$

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

$$\Delta \dot{E}_D = \dot{m} \cdot g \cdot \Delta h =$$

$$V = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= (\rho \cdot \dot{V}) \cdot g \cdot \Delta h =$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= \left(1010 \text{ kg} \cdot 0,04 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot 9,81 \cdot 150 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta \dot{E}_D = 59449 \text{ W} \approx 59,45 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{αεθ. αλ.}} = \frac{59,45}{100} = 59,45\%$$

Ασκ. 7 1^η σειρά



Apx. κατ

$$P_1 = 0,4 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 405^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow v_1 = 0,7784 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_1 = 2972,64 \text{ kJ/kg}$$

8)

Tedukin

$$v_{f@80^\circ\text{C}} < v_2 < v_{g@80^\circ\text{C}} \Rightarrow \text{keadaan dua fasa}$$

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

$$\Rightarrow P_2 = P_{\text{sat}@80^\circ\text{C}} = 47,39 \text{ kPa}$$

$$V = 0,5 \text{ m}^3$$

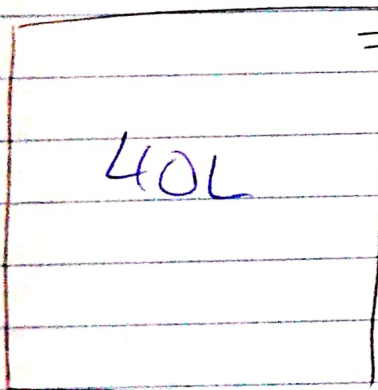
$$v_2 = v_g = 0,7784 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = 0,228$$

$$u_2 = u_{f@80^\circ\text{C}} + x_2 (u_{g@80^\circ\text{C}} - u_{f@80^\circ\text{C}}) = 824,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta U = m(u_2 - u_1) = -1379 \text{ kJ}$$

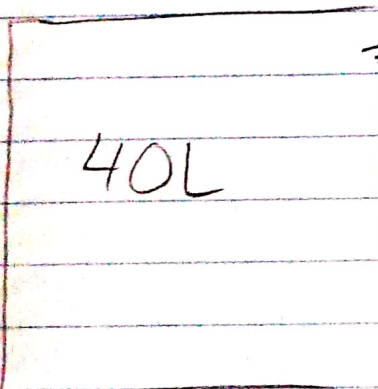
Aspek 10 1ⁱⁿ cupa



$$\Rightarrow P_{20x} = 240 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{atm}} = 101 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{free}} = -20^\circ\text{C}$$



$$\Rightarrow P_{20x} = 160 \text{ kPa}$$

a)

$$P_1 = P_{\text{box}} + P_{\text{atm}} = 240 + 101 = 341 \text{ kPa}$$

$$P_2 = P_{\text{box}} + P_{\text{atm}} = 160 + 101 = 261 \text{ kPa}$$

$$T_1 = T_2 = 253 \text{ K}$$

$$V_1 = V_2 = 40 \text{ L} \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,04 \text{ m}^3$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow R_{\text{air}} = 0,2765 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (\text{Table})$$

$$\Rightarrow m_1 = \frac{P_1 \cdot V}{R \cdot T}$$

$$m_2 = \frac{P_2 \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\Rightarrow \Delta m = m_1 - m_2 =$$

$$= \frac{V}{R \cdot T} (P_1 - P_2) = 0,04$$

$$= \frac{0,04}{0,2765 \cdot 253} (341 - 261) = 0,046 \text{ kg}$$

$$b) \quad Z_1 = \frac{P_1 \cdot V}{m_1 \cdot R \cdot T}$$

$$m_1 = \frac{P_1 \cdot V}{Z_1 \cdot R \cdot T}$$

$$Z_2 = \frac{P_2 \cdot V}{m_2 \cdot R \cdot T}$$

$$m_2 = \frac{P_2 \cdot V}{Z_2 \cdot R \cdot T}$$

$$\Pi A_1 \rightarrow T_{cr} \quad P_{cr}$$

$$P_{R1} = \frac{341 \text{ kPa}}{4480 \text{ kPa}} = 0,076$$

$$T_{R1} = T_{R2} = \frac{253 \text{ K}}{305,5 \text{ K}} = 0,828$$

$$P_{R2} = 0,058$$

$$Z_1 = 0,945$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 50 \text{ g}$$

$$Z_2 = 0,955$$

Алг. 2 2^й курс

$$\Delta U_{01} = 0$$

$$\Delta U_{01} = Q_{01} - W_{01} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{01} = W_{01}$$

$$1 \rightarrow 2 \quad T = \text{const} \quad \Delta U_{1 \rightarrow 2} = C_V \cdot \Delta T = Q_{1 \rightarrow 2} - W_{1 \rightarrow 2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{1 \rightarrow 2} = W_{1 \rightarrow 2}$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 P dV = \int_1^2 \frac{n \cdot R \cdot T}{V} dV = n \cdot R \cdot T \int_1^2 \frac{dV}{V} \Rightarrow$$

$$P = \frac{n \cdot R \cdot T}{V} \Rightarrow P_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T$$

$$\Rightarrow W_{1 \rightarrow 2} = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \dots = 41,59 \text{ kJ}$$

$$b) 3 \rightarrow 1 \quad Q_{3 \rightarrow 1} = 0$$

$$W_{3 \rightarrow 1} = ?$$

$$Q_{01} = W_{01} = W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{3 \rightarrow 1} = 150 - 41,59 = 108,41 \text{ kJ}$$

$$\gamma) \Delta U_{2 \rightarrow 3} = Q_{2 \rightarrow 3} - W_{2 \rightarrow 3}$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = Q_{1 \rightarrow 2} - Q_{3 \rightarrow 1} - Q_{1 \rightarrow 2} = 108,41 \text{ kJ} = \Delta U_{2 \rightarrow 3}$$

Ασκ. 4 2^η σειρά

Αproxική

Τεχνική

$$T_1 = 105^\circ\text{C}$$

$$T_2 = ?$$

$$P_1 < P_2$$

$$V_1 = \frac{V}{m}$$

$$P_2 = P_{\text{atm}}$$

$$V_2 = \frac{V}{m}$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = \Delta U = U_2 - U_1 = m(u_2 - u_1)$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = I \cdot V = 8 \text{ A} \cdot 20 \text{ V} = 160 \text{ J/s}$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = W_{\text{elec}} \cdot \Delta t = 160 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot \Delta t = m(u_2 - u_1)$$

Κατ. 1

$$T_1 = 105^\circ\text{C}$$

$$v_1 = 0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$\left. \begin{array}{l} \text{HABH} \\ \Rightarrow \end{array} \right\}$

$$v_{f@105} < v_1 < v_{g@105}$$

Mixing

$$P_1 = P_{\text{sat}@105}$$

$$X_1 = \frac{u_1 - u_g}{u_g - u_f} = 0,00631$$

$$u_1 = u_{f@105} + X_1 \cdot u_{fg@105} = 453,1 \text{ kJ/kg}$$

$$P_2 = P_{atm} + \frac{m_{\text{que}} \cdot g}{A} =$$

$$= 100 \text{ kPa} + \frac{30 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,01 \text{ m}^2 \cdot 1000} \text{ kPa} = 130 \text{ kPa}$$

T2 razıdır

$$\left. \begin{array}{l} u_2 = u_1 = 0,01 \text{ m}^3/\text{kg} \\ P_2 = 130 \text{ kPa} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{TAS, } \mu_{\text{su}} \\ \longrightarrow \end{array} \quad \begin{array}{l} X_2 = \frac{u_2 - u_{f@130 \text{ kPa}}}{u_g - u_f} \\ \Rightarrow X_2 = 0,00667 \end{array}$$

$$u_2 = u_{f@130 \text{ kPa}} + X_2 \cdot u_{fg@130 \text{ kPa}} = 462,58 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

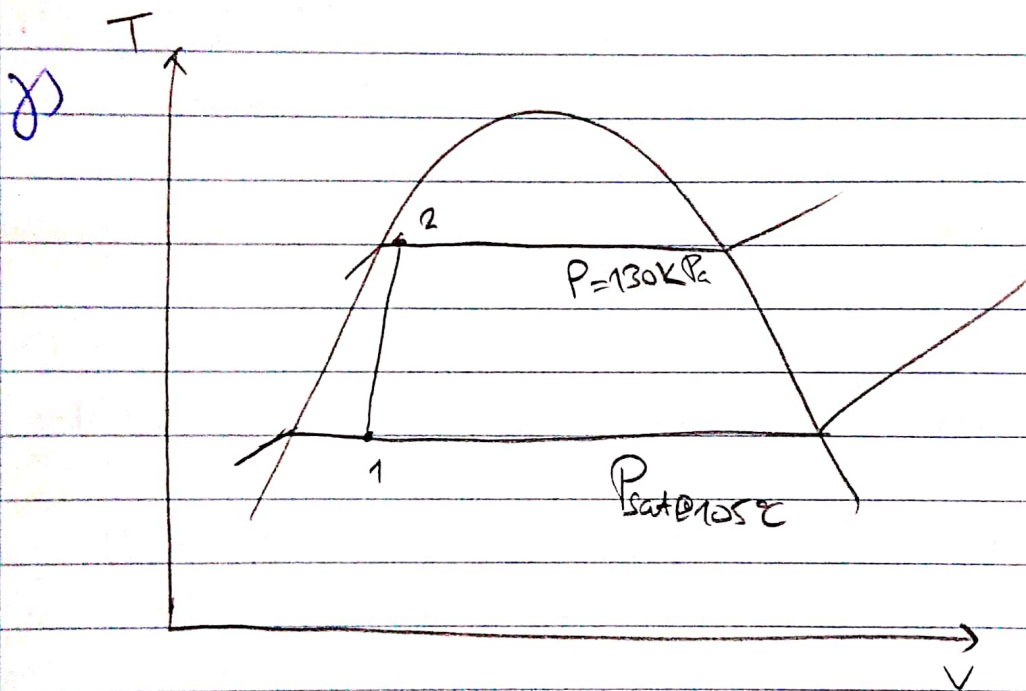
$$\Delta U = m(u_2 - u_1) = 4,74 \text{ kJ}$$

$$\Delta t = \frac{4,74}{0,16} = 29,63 \text{ s}$$

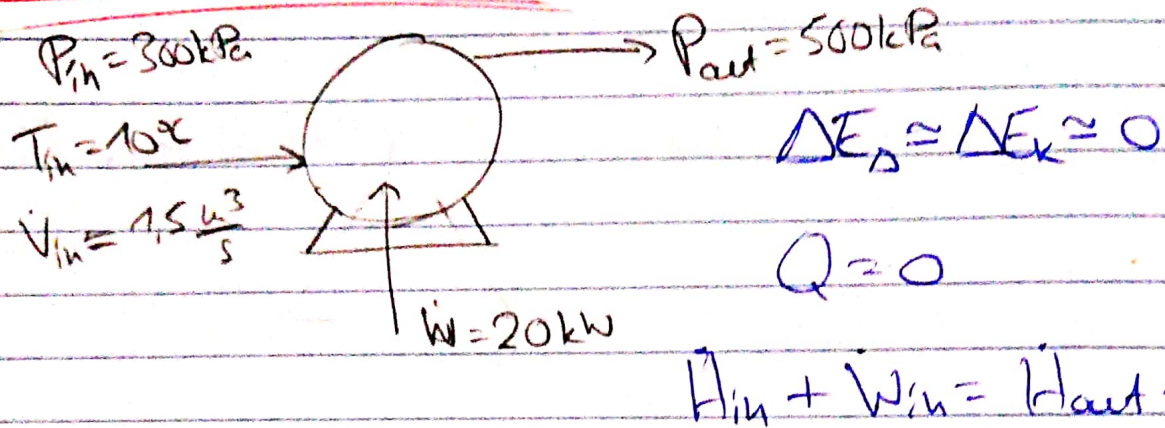
$$b) m_g = x_2 \cdot m = \frac{0,67}{100} \cdot 0,5 \text{ kg}$$

$$V_g = m_g \cdot v_g = 0,5 \cdot 0,0067 \cdot 1,3318 = 4,46 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\% \frac{V_g}{V_{\text{tot}}} = \frac{4,46 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \cdot 100\% = 89\%$$



Ask 7 2nd comp



$$\Rightarrow \dot{m} \cdot h_{in} + \dot{W}_{in} = \dot{m} \cdot h_{out} \quad (1)$$

a) $P_{in} = 0,3 \text{ MPa}$ TIAS } $\rightarrow$
 $T_{in} = 10^\circ\text{C} < T_{sat@0,3 \text{ MPa}} = 133,2^\circ\text{C}$

$\rightarrow$ $\dot{V}_{in} \approx \dot{V}_{f@10^\circ\text{C}} = 9,001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

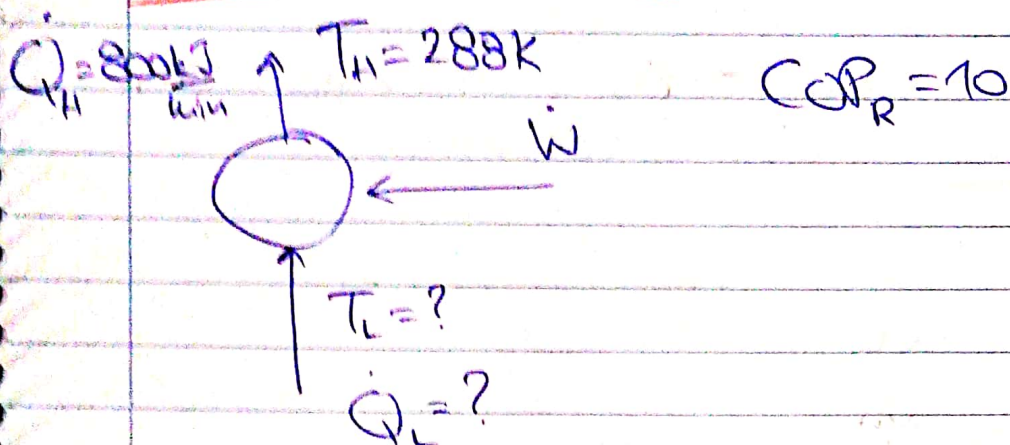
$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{1,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{9,001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 25 \text{ kg/s}$$

b) $h_{in} = h_{f@10^\circ\text{C}} + v_{f@10^\circ\text{C}} (P_{in} - P_{sat@10^\circ\text{C}}) =$
 $= 42,01 + 9,001 (300 - 1,2276) = 42,31 \text{ kJ/kg}$

c) $h_{out} = h_{in} + \frac{\dot{W}_{in}}{\dot{m}} = 4311 \text{ kJ/kg}$

d) $h \uparrow \quad T \uparrow$

Ασκ. 1 3η σειρά



$$(a) \text{COP}_{R,rev} = \frac{Q_L}{W_{in}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

επειδή έχω κύκλο Carnot
είναι αμερόληπτο, $\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$

$$\Rightarrow T_L = \frac{T_H \{ \text{COP}_{R,rev} \}}{1 + \text{COP}_{R,rev}} = 262 \text{ K}$$

$$(b) \text{COP}_R = \frac{Q_L}{W_{in}} \Rightarrow W_{in} = \frac{Q_L}{\text{COP}_R} \quad (1)$$

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L} \Rightarrow Q_L = \frac{Q_H \cdot T_L}{T_H} \Rightarrow$$

$$(b) \Rightarrow Q_L = 800 \cdot \frac{262 \text{ K}}{288 \text{ K}} \frac{\text{kJ}}{\text{min}} = 728 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 12,13 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$(1) \Rightarrow W_{in} = \frac{12,13}{10} = 1,213 \text{ kW}$$

Ασκ. 3 3^η σειρά

(α) ~~COP_{HP}~~ Ο συντελεστής λειτουργίας της αντιστρεατής αερίας θέρμανσης:

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} =$$
$$= \frac{1}{1 - \frac{(5+273)}{(24+273)}} = 15,63$$

Η αντλία πρέπει να παρέχει θερμότητα στο σπίτι με ρυθμό ίσο με το ρυθμό απωλειών θερμότητας, $\dot{Q}_H = 55000 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$ ώστε να διατηρείται η T του σπιτιού 24°C .

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{\text{net},\text{in},\text{HP}}} \Rightarrow \dot{W}_{\text{net},\text{in},\text{HP}} = \frac{\dot{Q}_H}{\text{COP}_{\text{HP}}} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \dot{W}_{\text{net},\text{in},\text{HP}} = \frac{55000 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{15,63} = 3518,87 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} =$$
$$= 0,9774 \text{ kW}$$

$$(6) \dot{W}_{net,in,HP} = \frac{1}{3} \dot{W}_{net,out,HE} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{net,out,HE} = 3 \dot{W}_{net,in,HP} =$$

$$= 3 \cdot 0,9774 = 2,9323 \text{ kW}$$

Η απόδοση της θερμικής μηχανής:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net,out}}{\dot{Q}_{H,ΘM}} \quad (1)$$

Το $\dot{Q}_{H,HE}$ θα γίνει ελάχιστο όταν η απόδοση γίνει μέγιστη. Η απόδοση θα γίνει μέγιστη ~~όταν~~ αν η θερμ. μηχαν. λειτουργεί αντιστρεπτά. Η απόδοση αντιστρεπτής ΘΜ. δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{293}{973} = 0,6988$$

$$(1) \Rightarrow \dot{Q}_H = \frac{\dot{W}_{net,out}}{\eta_{th}} = \frac{2,9323}{0,6988} = 4,19 \text{ kW}$$

Ασκ. 8 3^η σειρά

$$\left. \begin{array}{l} T_{cr} < T \\ P_{cr} > P \end{array} \right\} \text{Ιδανικό αέριο}$$

Για τον αέρα:

$$T_{cr} = 132,5 \text{ K} < T_1 = 293 \text{ K} = T_2$$

$$P_{cr} = 3,77 \text{ MPa} \rightarrow P_1 = 90 \text{ kPa}, P_2 = 400 \text{ kPa}$$

Αρα ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ιδανικό αέριο

$$R = 0,2870 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_v = 0,7180 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

(α) Για Ιδανικά αέρια:

$$\Delta S_{air} = C_{p,avg} \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta S_{air} = -0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \ln\left(\frac{400}{90}\right) = -0,4281 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

8) Για αντιστρεπτική και ισοθερμή διαστολή:

$$q = T \cdot \Delta S = 293 \text{ K} \cdot (-0,4281) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q = -125,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} < 0$$

Άρα q_{out}

Ισοδύναμο ενέργειας για κλειστό σύστημα:

$$Q_{\text{net}} - W_{\text{net}} = \Delta U \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cancel{Q_{\text{in}}} - Q_{\text{out}} - (\cancel{W_{\text{out}}} - W_{\text{in}}) = m(u_2 - u_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{\text{in}} - Q_{\text{out}} = m \cdot (u_2 - u_1) \quad (1)$$

ο αέρας είναι θεωρείται ιδ. αέριο με σταθ. ειδ. θερμ.

Άρα:

$$\Delta U = m \cdot c_v \cdot \Delta T = m \cdot c_v (T_2 - T_1) \quad \underline{T_2 = T_1} \quad 0$$

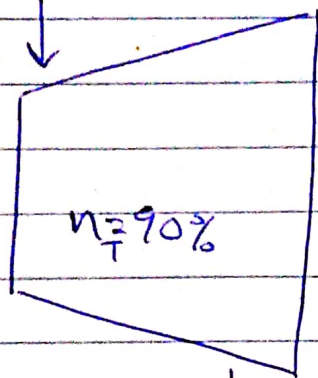
$$(1) \Rightarrow W_{\text{in}} = Q_{\text{out}} \Rightarrow W_{\text{in}} = q_{\text{out}} = -125,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Ασκ. 9 3^η ομάδα

$$P_1 = 8 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 500^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$



$$P_2 = 30 \text{ kPa}$$

ΚΑΤ. 1

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 8 \text{ MPa} \\ T_1 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \xrightarrow[\text{P} = 8 \text{ MPa}]{\text{HAG}} T_{\text{sat water}} = 285,01^\circ\text{C} < T_1$$

↓
Υπερθερμό στερεό

Από HAG για $T_1 = 500^\circ\text{C}$ κ' $P_1 = 8 \text{ MPa}$:

$$h_1 = 3398,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad s_1 = 6,7240 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

ΚΑΤ. 2 : $P_2 = 30 \text{ kPa}$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow h_{2a} = h_1 - \eta_T (h_1 - h_{2s}) \quad (1)$$

ΚΑΤ. 2 για κεντρ. διερχόμα

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 30 \text{ kPa} \\ S_{2s} = 6,724 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{TIAS}} \begin{array}{l} S_{f@30\text{kPa}} = 0,9439 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ S_{g@30\text{kPa}} = 7,7686 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{array}$$

$$S_f < S < S_g$$

↓
κεντρ. διερχόμα

υπολογίζουμε την ποσότητα:

$$x = \frac{S_{2s} - S_f}{S_{fg}} = \frac{6,724 - 0,9439}{6,8247} = 0,847 \quad (84,7\%)$$

$$\text{άρα } h_{2s} = h_f + x \cdot h_{fg} \xrightarrow{\text{TIAS}}$$

$$\Rightarrow h_{2s} = (289,23 + 0,847 \cdot 2336,07) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2267,88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\textcircled{1} h_{2a} = h_1 - \eta_T (h_1 - h_{2s}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{2a} = 2380,787 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

k

Κατ. 2 για την πραγμ. διεργασία

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 30 \text{ kPa} \\ h_{2a} = 2397,87 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{THS}} \begin{array}{l} h_g = 2822,23 \\ h_g = 2825,23 \end{array}$$

$$T_{\text{sat},a} = T_{\text{sat},30 \text{ kPa}} = 69,09^\circ \text{C} \quad \text{Κορ. Πίση}$$

(β) ~~$\dot{W}_{\text{act},a} = \dot{m} (h_1 - h_{2a})$~~ — Τοόλο ενεργίας για πραγμ. στροβίλο!

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

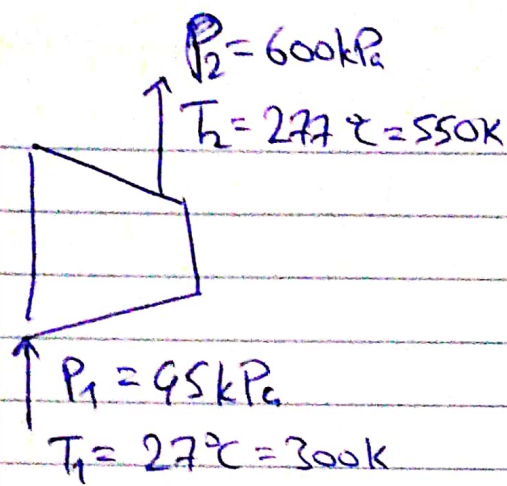
$$\Rightarrow \dot{W}_{a,\text{out}} = \dot{m} (h_1 - h_{2a}) =$$

$$= 3 (3398,3 - 2380,787) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{a,\text{out}} = 3052,54 \text{ kW}$$

Ασκ. 10. 3η σειρά

Επειδή έχουμε αέρα με μεταβλητές ειδ. θερμ. Θα δουλέψουμε με τον ΠΑ17



κατ. 1

$$\begin{array}{l}
 P_1 = 95 \text{ kPa} \\
 T_1 = 300 \text{ K}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \xrightarrow{\text{TIA17}} \\ \searrow \end{array} \begin{array}{l} h_1 = 300,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ P_{r_1} = 1,386 \end{array}$$

σχετική
πίεση

(*) Ισχύει: $\frac{P_2}{P_1} = \frac{P}{P_1} \Rightarrow$

$$\Rightarrow P_2 = 1,386 \cdot \frac{600}{95} \Rightarrow P_2 = 8,754$$

Από TIA17 βρίσκουμε ότι P_2 είναι μεταξύ
500k και 510k

T (K)	h (kJ/kg)	P P_r
500	503,02	8,411
?	?	8,754
510	513,32	9,031

} →

→ με γραμ. παρεμβ. βρίσκουμε το T_{2s} και το h_{2s} ,
για την ισοβαρή διεργασία

$$h_{2s} = 508,71 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{2s} = 505,5 \text{ K}$$

$$(α) \eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (1)$$

ΚΑΤ.2

$$\text{H2O} \rightarrow h_{2a} = 558,74 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{για } T_{2s} = 550\text{K}$$

$$(1) \Rightarrow \eta_c = \frac{508,71 - 300,19}{558,74 - 300,19} = 0,812 \quad (81,2\%)$$

(β) ο συμπιεστής είναι αδιαβατικός, αν θεωρηθούμε ότι απώλειες τότε η διεργασία θα ήταν ισοθερμική:

$$T_{2s} = 505,5\text{K}$$