



ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ
Περιβαλλοντική Θερμοδυναμική



ΔΙΔΑΣΚΟΥΣΑ: Παρασκευή Παναγιωτοπούλου

4^η ΟΜΑΔΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

Προθεσμία υποβολής : **13:00**, 26 Μαΐου 2020

Ονοματεπώνυμο:	Πανίος Αγγελος
Αριθμός μητρώου:	2018050055

Απαντήστε τις ερωτήσεις χειρόγραφα στο χώρο που σας δίδεται ή στην πίσω πλευρά της κάθε σελίδας. Ψάξτε στο βιβλίο και στο eClass[MHPER257] για δεδομένα που πιθανόν να λείπουν από τις ερωτήσεις. Προσοχή στις (σωστές) μονάδες. Όλες οι ερωτήσεις είναι ισοδύναμες, με 10 μονάδες για τη σωστή απάντηση, ενώ μη πλήρεις απαντήσεις θα παίρνουν ανάλογα λιγότερες μονάδες. Παρακαλώ «ανεβάσετε» σκαναρισμένες τις απαντήσεις σας σε ένα μόνο pdf στο Eclass μέχρι την ώρα που λήγει η προθεσμία υποβολής. Εκπρόθεσμες υποβολές δεν μπορούν να γίνουν δεκτές. Η βαθμολογία των ασκήσεων θα συνεισφέρει στον τελικό βαθμό του μαθήματος μόνο θετικά με 10%. Η παράμετρος «A1» στις ασκήσεις αντιστοιχεί στο **άθροισμα που δίνουν τα δύο τελευταία ψηφία του αριθμού μητρώου σας**, όπως καταγράφεται στην πρώτη σελίδα, και πρέπει να αντικατασταθεί από αυτόν. Π.χ. αν AM=2013050009 τότε A1=9, αν AM=20130500155 τότε A1=10 και αν AM=20130500098 τότε A1=17

A1=	10
-----	----

Μην ξεχάσετε να γράψετε το όνομα, το επώνυμο, τον αριθμό μητρώου σας. Αναφέρετε σαφώς όλες τις παραδοχές σας. Προσοχή στις σωστές μονάδες!

Ένας ιδανικός κύκλος ισχύος αερίου εκτελείται σε ένα κλειστό σύστημα εμβόλου κυλίνδρου και αποτελείται από τις ακόλουθες τρεις διεργασίες:

1→2: Ισεντροπική συμπίεση από αρχική θερμοκρασία $[20+A1]^{\circ}\text{C}$ και πίεση 100 kPa και λόγω συμπίεσης ίσο με $[2.0+0.1 \cdot A]$

2→3: Πρόσληψη θερμότητας υπό σταθερή πίεση

3→1: Απόρριψη θερμότητας υπό σταθερό όγκο προς την αρχική κατάσταση

Υποθέτοντας ότι το αέριο συμπεριφέρεται ως ιδανικό με σταθερές ειδικές θερμότητες $c_p=0.9 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ και $c_v=0.6 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

(α) Να παρασταθεί ο κύκλος σε διάγραμμα T-s και P-v.

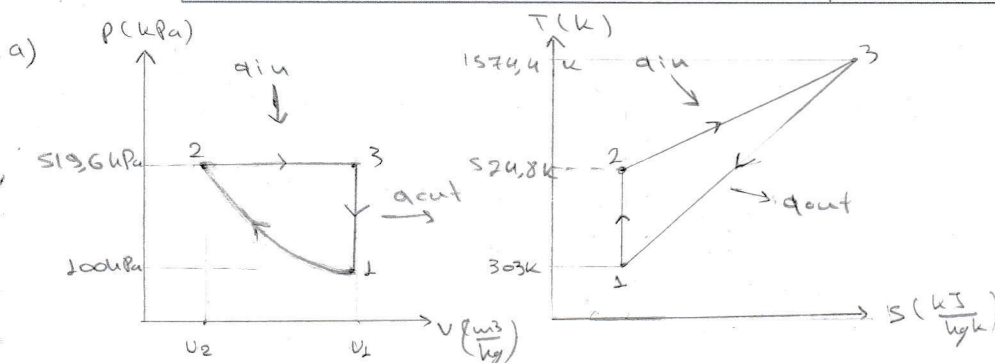
(β) Να υπολογιστεί η μέγιστη πίεση που αναπτύσσεται στον κύκλο,

(γ) Να υπολογιστεί το καθαρό έργο εξόδου ανά μονάδα μάζας αερίου και κύκλο,

(δ) Να υπολογιστεί η θερμική απόδοση του κύκλου

Να συμπληρωθούν για το **A1=10** σας:

▪ Αρχική θερμοκρασία	$T_1=[20+A1]^{\circ}\text{C}$ 30°C
▪ Λόγος συμπίεσης	$r=[2.0+0.1 \cdot A1]$ $3 = \frac{V_1}{V_2}$



b) $k = \frac{c_p}{c_v} = 1.5$ - Μόνο για τις (2), (3)

(1)→(2) Ισεντροπική διεργασία ιδανικού αερίου

$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \Rightarrow P_2 = P_{\max} = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = 100 \text{ kPa} \cdot 3^{1.5} = 519.6 \text{ kPa} = P_3$ (3)→(1) ισόχωρη

γ) (2)→(3) ισόβαρη + ιδανικό αέριο $\rightarrow \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow T_3 = T_2 \frac{V_3}{V_2} = T_2 \frac{V_1}{V_2} = 3 \cdot 324.8 \text{ K} = 974.4 \text{ K}$

* $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1} \Rightarrow \frac{303 \text{ K}}{T_2} = \left(\frac{1}{3}\right)^{0.5} \Rightarrow T_2 = 324.8 \text{ K}$

$w_{\text{net}} = q_{\text{in}} - q_{\text{out}}$ (1)

Ενέργεια εισόδου για την (2)→(3): $q_{\text{in}} = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2) = 0.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} (974.4 - 324.8) \text{ K} = 594.64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Ενέργ. ισχύος για την (3)→(1): $q_{\text{out}} = c_v(T_3 - T_1) = 0.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} (974.4 - 303) \text{ K} = 402.84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (2)

(1) $\Rightarrow w_{\text{net}} = 594.64 - 402.84 = 191.8 \text{ kJ/kg}$

δ) $\eta_{\text{th}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{in}}} = \frac{191.8 \text{ kJ/kg}}{594.64 \text{ kJ/kg}} = 32.2\%$

Ένας ιδανικός κύκλος Otto έχει λόγο συμπίεσης $[8.00+0.05 \cdot A1]$. Πριν την ισηντροπική συμπίεση, ο αέρας βρίσκεται 100 kPa και 27°C. Η θερμοκρασία στο τέλος της ισηντροπικής εκτόνωσης είναι $[800+A1]$ K. Να προσδιοριστούν

- (α) η μέγιστη θερμοκρασία και πίεση του κύκλου
- (β) ο ρυθμός εισερχόμενης θερμότητας ανά kg αέρα
- (γ) η θερμική απόδοση του κύκλου καθώς και
- (δ) να παρασταθεί ο κύκλος σε διάγραμμα T-s και P-v.

Δίνονται $c_p/c_v=1.4$, $c_v=0.718 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, $c_p=1.005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ και $R=0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ (παραδοχή κρύου πρότυπου αέρα με σταθερές ειδικές θερμότητες).

$$r = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_3}{v_4} = 8.5, \quad T_1 = 300 \text{ K}, \quad P_1 = 100 \text{ kPa}, \quad T_4 = 810 \text{ K}$$

Να συμπληρωθούν για το $A1=...$ σας:

■ Λόγος συμπίεσης	$[8.00+0.05 \cdot A1] = 8.5$
■ Η θερμοκρασία στο τέλος της ισηντροπικής εκτόνωσης	$[800+A1] \text{ K} = 810 \text{ K}$

α) $P_{\max} = P_3$, $T_{\max} = T_3$ θεωρώ ιδανικό αέριο
 (1) $\rightarrow$ (1) ισηντροπική συμπίεση $\Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow P_2 = \frac{T_2}{T_1} P_1 = \frac{810 \text{ K}}{300 \text{ K}} \cdot 100 \text{ kPa} = 270 \text{ kPa}$
 (3) $\rightarrow$ (4) ισηντροπική διαστολή ιδανικού αερίου με σταθ. c_p, c_v
 $\Rightarrow \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{1}{8.5} \right)^{0.4} = 0.425 \Rightarrow T_3 = \frac{810 \text{ K}}{0.425} = 1905.8 \text{ K}$
 επίσης ισχύει: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{\gamma} = \left(\frac{1}{8.5} \right)^{1.4} = 0.0499 \Rightarrow P_3 = \frac{270 \text{ kPa}}{0.0499} = 5410.8 \text{ kPa}$

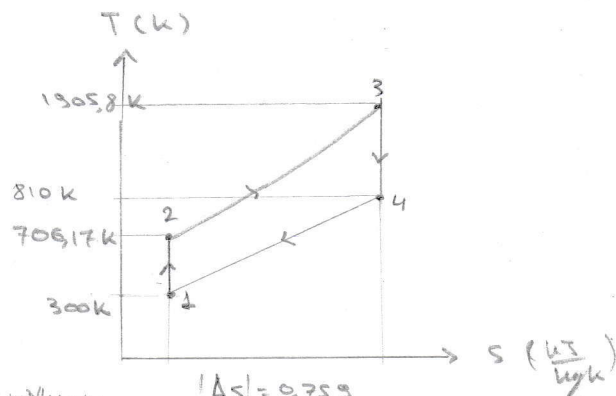
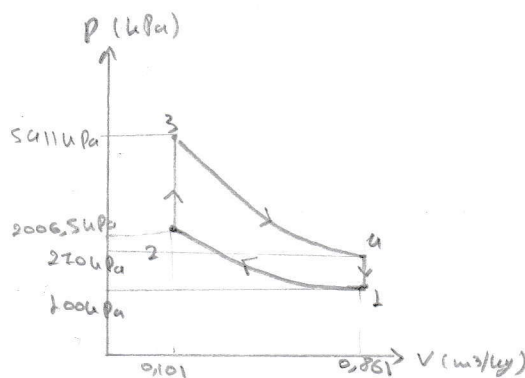
β) αλλαγή (2) $\rightarrow$ (3): $q_{in} = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2)$ (2)
 γ) $\rightarrow$ (2) ισηντροπική συμπίεση ιδανικού αερίου με σταθ. c_p, c_v
 $\Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\gamma-1} \Rightarrow T_2 = 300 \text{ K} \cdot 8.5^{0.4} = 706.17 \text{ K}$

δ) $\Rightarrow q_{in} = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot (1905.8 - 706.17) \text{ K} = 861.33 \text{ kJ/kg}$

η) $\eta_{\text{th, Otto}} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{8.5^{0.4}} = 0.5752$ ή 57.52%

κ) $q_{out} = c_v(T_4 - T_1) = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot (810 \text{ K} - 300 \text{ K}) = 361.8 \text{ kJ/kg}$ $\rightarrow \eta_{\text{th, Otto}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$

5)



$P_1 v_1 = R T_1 \Rightarrow v_1 = (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 300 \text{ K}) / 100 \text{ kPa} = 0.861 \text{ m}^3/\text{kg} = v_4$

$P_3 v_3 = R T_3 \Rightarrow v_3 = \frac{0.287 \cdot 1905.8}{5410.8} = 0.101 \text{ m}^3/\text{kg} = v_1$

4^η ΟΜΑΔΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

$P_2 = \frac{R T_2}{v_2} = \frac{0.287 \cdot 706.17}{0.101} = 2006.5 \text{ kPa}$

$\Delta s = s_3 - s_4 = c_{v, \text{avg}} \ln \frac{T_3}{T_4} + R \ln \frac{v_3}{v_4} = 0.718 + 0.287 = 1.005$
 $\Rightarrow \Delta s = 0.765 \cdot \ln \left(\frac{1905.8}{810} \right) = 0.765$

Σελ. 3

Μια δίχρονη, μονοκύλινδρη ιδανική μηχανή Diesel όγκου 2.5 L έχει λόγο συμπίεσης $[15.0+0.2 \cdot A1]$ και λόγο αποκοπής $[2.01+0.01 \cdot A1]$. Η πίεση και θερμοκρασία του αερίου πριν τη διεργασία ισηντροπικής συμπίεσης είναι 100 kPa και 27°C. Λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή των ειδικών θερμοτήτων του αέρα με τη θερμοκρασία (Πίνακας A 17) να υπολογισθούν:

- Η μάζα του αέρα εντός του κυλίνδρου
- Ο ελάχιστος όγκος του αέρα εντός του κυλίνδρου
- Οι θερμοκρασίες στο τέλος (i) της ισηντροπικής συμπίεσης, (ii) της ισοβαρούς προσθήκης θερμότητας και (iii) της ισηντροπικής εκτόνωσης. T_4
- Η θερμική απόδοση του κύκλου
- Να παρασταθεί ο κύκλος σε διάγραμμα T-s και P-v.

Να συμπληρωθούν για το $A1=10$ σας:

$$T_1 = 300 \text{ K} \quad P_1 = 100 \text{ kPa}$$

▪ Λόγος συμπίεσης $r = v_1/v_2$	$[15.0+0.2 \cdot A1] = 17$
▪ Λόγος αποκοπής $r_c = v_3/v_2$	$[2.01+0.01 \cdot A1] = 2.11$

α) $P_{A1} \xrightarrow{\text{air}} R = 0.287 \text{ kJ/kgK}, T_{cr} = 132.5 \text{ K} < T_1$ } θεωρούμε αέρας
 $P_{cr} = 377.1 \text{ kPa} > P_1$ } συμπεριφέρεται ιδανικά

$$P_1 v_1 = R T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 300 \text{ K}}{100 \text{ kPa}} = 0.861 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_1 = v_{\max} = 2.5 \text{ L} \rightarrow m = \frac{v_1}{v_1} = \frac{2.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{0.861 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.0029 \text{ kg}$$

$$b) v_{\min} = v_2 = \frac{v_1}{r} = \frac{2.5 \text{ L}}{17} = 0.147 \text{ L}$$

γ) Κατ. 1 $\xrightarrow{A17} v_1 = 621.2$ και $r = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_{r1}}{v_{r2}} \Rightarrow v_{r2} = \frac{v_{r1}}{r} = \frac{621.2}{17} = 36.54$

Διεργασία 2→3 (ισοβαρής)

$$\frac{v_2}{T_2} = \frac{v_3}{T_3} \Rightarrow T_3 = T_2 \left(\frac{v_3}{v_2} \right) = T_2 r_c = 880.6 \cdot 2.11 = 1858 \text{ K}$$

Κατ. 3 $\frac{1858 - 1850}{1900 - 1850} = \frac{u_3 - 2065.3}{2127.4 - 2065.3} \Rightarrow u_3 = 2075.24 \text{ kJ/kg}$

$$\frac{1858 - 1850}{1900 - 1850} = \frac{v_{r3} - 3601}{3295 - 3601} \Rightarrow v_{r3} = 3552$$

Κατ. 2 $\frac{T_2 - 880}{900 - 880} = \frac{36.54 - 36.61}{34.31 - 36.61} \Rightarrow T_2 = 880.6 \text{ K}$

Κατ. 2 $\frac{880.6 - 880}{900 - 880} = \frac{u_2 - 919.56}{932.93 - 919.56} \Rightarrow u_2 = 911.23 \text{ kJ/kg}$

Διεργασία 3→4 (ισοεστιακή)

$$v_{r4} = \frac{v_4}{v_3} v_{r3} = \frac{v_4}{v_3} v_{r3} \xrightarrow{\text{A17}} \frac{1}{r_c} \cdot r \cdot v_{r3} = \frac{1}{2.11} \cdot 17 \cdot 3552 = 2862$$

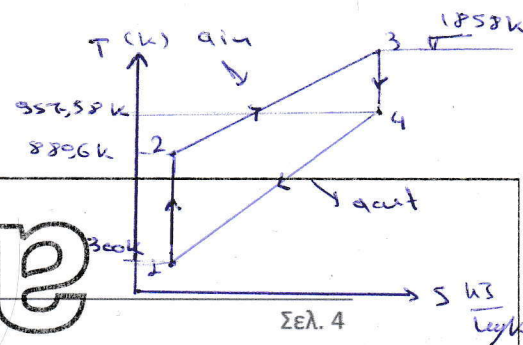
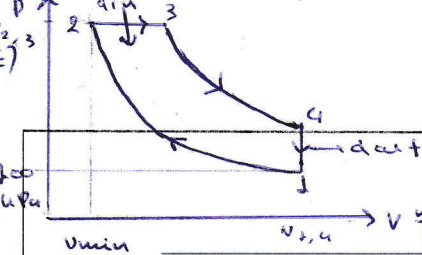
Κατ. 3 $\frac{u_4 - 708.8}{7250.2 - 708.8} = \frac{T_4 - 940}{960 - 940} = \frac{2862 - 3022}{28.4 - 3022}$

Κατ. 3 $\Rightarrow T_4 = 957.58 \text{ K}$
 $u_4 = 723.06 \text{ kJ/kg}$

$$d) q_{in} = u_3 - u_2 = 2075.24 - 911.23 = 1164.01 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{out} = u_4 - u_1 = 723.06 - 214.07 = 508.99 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{th, Diesel} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{508.99}{1164.01} = 0.563 \text{ ή } 56.3\%$$



4η ΟΜΑΔΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

$$v_{\min} = \frac{0.147 \text{ L}}{0.0029 \text{ kg}} = 50.69 \frac{\text{L}}{\text{kg}} = 0.05069 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Ένα εργοστάσιο παραγωγής ισχύος που λειτουργεί με αεριοστρόβιλο, λειτουργεί με βάση τον απλό κύκλο Brayton ανάμεσα στα όρια πιέσεων 100 και 800 kPa. Αέρας εισέρχεται στον συμπιεστή στους 30 °C και εξέρχεται στους 330 °C με παροχή μάζας $[200 + A1]$ kg/s. Η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου είναι $[1400 - A1]$ K. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κύκλου, η καθαρή ισχύς εξόδου μετρήθηκε ίση με 60 MW. Να υπολογίσετε:

(α) Την ισεντροπική απόδοση του στρόβιλου για αυτές τις συνθήκες λειτουργίας

(β) Τη θερμική απόδοση του κύκλου

Να υποθέσετε σταθερές ειδικές θερμότητες για τον αέρα και ίσες με $c_p=1.005 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ και $c_v=0.7180 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Ο λόγος ειδικών θερμοτήτων για τον αέρα είναι $k=1.4$.

$$\gamma = \frac{P_2}{P_1} = \frac{800 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} = 8$$

Να συμπληρωθούν για το $A1=...$ σας:

▪ Η παροχή μάζας του αέρα	$[200 + A1] \text{ kg/s} = 210 \text{ kg/s}$
▪ Η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου T_3	$[1400 - A1] \text{ K} = 1390 \text{ K}$

a)

$$(2) \rightarrow (4) \text{ ισεντροπική} \rightarrow \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} \xrightarrow{2 \rightarrow 3, 4 \rightarrow 1} \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_4 = 1390 \text{ K} \cdot \left(\frac{1}{8}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}$$

$$\text{ΠΑΙΖ} \quad \frac{T_4 = 767.3 \text{ K}}{T_3 = 1390 \text{ K}} \quad \frac{767.3 - 760}{780 - 760} = \frac{h_4 - 778.18}{800.3 - 778.18} \Rightarrow h_4 = 786.25 \text{ kJ/kg} \quad \Rightarrow T_4 = 767.3 \text{ K}$$

$$\frac{1390 - 1380}{1400 - 1380} = \frac{h_3 - 1491.44}{1515.42 - 1491.44} \Rightarrow h_3 = 1503.43 \text{ kJ/kg}$$

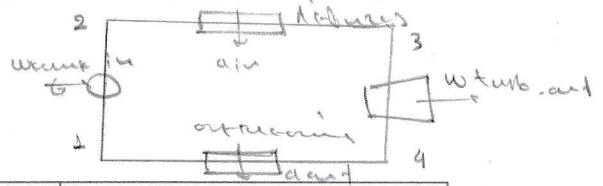
$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{m} (h_3 - h_4) = 210 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1503.43 - 786.25) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 150607.8 \text{ kW} = 150.6 \text{ MW}$$

$$\eta_t = \frac{\text{παραγινόμενο έργο}}{\text{ισεντροπικό έργο}} = \frac{60 \text{ MW}}{150.6 \text{ MW}} = 0.398 \text{ ή } 39.8\%$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{\dot{Q}_{\text{in}}} = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = 1 - \frac{1}{8^{\frac{0.4}{1.4}}} = 1 - 0.552 = 0.448 \text{ ή } 44.8\%$$

Ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ισχύος λειτουργεί με βάση τον απλό ιδανικό κύκλο Rankine. Το νερό εισέρχεται στην αντλία σε πίεση $[40.0+0.1 \cdot A1]$ kPa. Το έργο εισόδου της αντλίας είναι 2.52642 kJ/kg και η θερμοκρασία του ατμού στην είσοδο του στροβίλου είναι 400 °C. Αν ο ρυθμός ροής μάζας του ατμού σε όλη την κυκλική διεργασία είναι $[25.0+0.1 \cdot A1]$ kg/s. Να υπολογίσετε:

- (α) Τη θερμότητα που αποβάλλεται από τον κύκλο (σε kJ/kg)
(β) Τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί ο συμπυκνωτής



Να συμπληρωθούν για το $A1=10$ σας:

▪ Η πίεση στην είσοδο της αντλίας	$[40.0+0.1 \cdot A1]$ kPa = 41 kPa.
▪ Ο ρυθμός ροής μάζας του ατμού	$[25.0+0.1 \cdot A1]$ kg/s = 26 kg/s

α) q_{out} συν $1 \rightarrow 4$ (ισοβαρής, $p_4 = p_1 = 41 \text{ kPa}$)

1ος νόμος: $q_{out} = h_4 - h_1$

Κατ. 1

$p_1 = 41 \text{ kPa}$ } $\frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot (h_2 - h_1)} = \frac{41 - 317.58}{340.49 - 317.58} = \frac{p_2 - 41}{0.002030 - 0.001027} \Rightarrow h_2 = 319.87 \text{ kJ/kg}, v_2 = 0.0020273 \text{ m}^3/\text{kg}$

$1 \rightarrow 2$

$w_{pump, in} = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = 2.52642 + 319.87 = 322.4 \text{ kJ/kg}$

$w_{pump, in} = v_1 (p_2 - p_1) \Rightarrow p_2 = \frac{2.52642 \text{ kJ/kg}}{0.0020273 \text{ m}^3/\text{kg}} + 41 \text{ kPa} = 2.5 \text{ MPa}$

Κατ. 3

$T_3 = 400^\circ\text{C}$
 $p_3 = p_2 = 2.5 \text{ MPa}$
(2-3 ισοβαρής)
Υπέρθερμος ατμός

ΠΑΘ $\left. \begin{aligned} h_3 &= 3239.3 \text{ kJ/kg} \\ s_3 &= 7.0148 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{aligned} \right\}$

Κατ. 4

$p_4 = 41 \text{ kPa}$ (4-1 ισοβαρής)
Υπερψυχρό

$s_4 = s_3$ (3-4 ισοεναλπική)

$\frac{p_4 - p_3}{\rho \cdot (h_4 - h_3)} = \frac{41 - 317.58}{340.49 - 317.58} = \frac{h_4 - 3239.3}{2305.41 - 3239.3} = \frac{s_4 - 7.0148}{1.0910 - 7.0148} \Rightarrow h_4 = 319.87 \text{ kJ/kg}$

$s_4 = 7.0148 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
 $s_4 @ 41 \text{ kPa} = 2317.84 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
 $s_4 @ 41 \text{ kPa} = 1.0324 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
 $s_4 @ 41 \text{ kPa} = 6.629 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

$x_4 = \frac{s_4 - s_F}{s_F} = \frac{7.0148 - 1.0324}{6.629} = 90.2\%$

$h_4 = h_F @ 41 \text{ kPa} + x \cdot h_{FG} @ 41 \text{ kPa} = 319.87 + 0.902 \cdot 2317.84 = 2410.56 \text{ kJ/kg}$

(1) $\Rightarrow q_{out} = h_4 - h_1 = 2410.56 - 319.87 = 2090.69 \text{ kJ/kg}$

(2) $\Delta h = q_{out} = h_4 - h_1 = c_p (T_1 - T_4) = 2090.69 \text{ kJ/kg}$ (2)

$T_1 = T_{sat} @ 41 \text{ kPa}$ $\frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot (h_2 - h_1)} = \frac{41 - 317.58}{340.49 - 317.58} \Rightarrow T_1 = 76.41^\circ\text{C}$

(2) $\Rightarrow T_4 = \frac{2090.69 \text{ kJ/kg}}{c_p} + 76.41^\circ\text{C} = 574^\circ\text{C}$

apant!s

{Συνέχεια της άσκησης 5}

Ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ισχύος λειτουργεί με βάση τον απλό ιδανικό κύκλο Rankine. Το νερό εισέρχεται στην αντλία σε πίεση $[40.0 + 0.1 \cdot A1]$ kPa. Το έργο εισόδου της αντλίας είναι 2.52642 kJ/kg και η θερμοκρασία του ατμού στην είσοδο του στροβίλου είναι 400 °C. Αν ο ρυθμός ροής μάζας του ατμού σε όλη την κυκλική διεργασία είναι $[25.0 + 0.1 \cdot A1]$ kg/s. Να υπολογίσετε:

(α) Τη θερμική απόδοση του κύκλου

(β) Τη καθαρή ισχύ που παράγει ο ατμοηλεκτρικός σταθμός (σε MW)

Να συμπληρωθούν για το $A1 = 100$ σας:

▪ Η πίεση στην είσοδο της αντλίας	$[40.0 + 0.1 \cdot A1]$ kPa = 41 kPa.
▪ Ο ρυθμός ροής μάζας του ατμού	$[25.0 + 0.1 \cdot A1]$ kg/s = 26 kg/s

$$a) \eta_{th, Rankine} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{2090,69}{2916,9} = 0,2832 \text{ ή } 28,32\%$$

Καθώς $q_{in} = h_3 - h_2 = 3239,3 \text{ kJ/kg} - 322,4 \text{ kJ/kg} = 2916,9 \text{ kJ/kg}$

$$b) \dot{W}_{net} = \dot{W}_{turb, out} - \dot{W}_{pump, in} = \dot{q}_{in} - \dot{q}_{out} = 2916,9 - 2090,69 = 826,21 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{net} = \dot{m} \dot{w}_{net} = 26 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 826,21 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 21481,46 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 21,48 \text{ MW}$$

Οξυγόνο εκτονώνεται αδιαβατικά και αντιστρεπτά σε ένα ακροφύσιο από πίεση $[1400 + A1]$ kPa και θερμοκρασία 117°C σε πίεση 500 kPa. Να υπολογίσετε την ταχύτητα με την οποία το οξυγόνο εγκαταλείπει το ακροφύσιο, υποθέτοντας ότι εισέρχεται σε αυτό με αμελητέα ταχύτητα, θεωρώντας (α) το οξυγόνο ως ιδανικό αέριο με σταθερές ειδικές θερμότητες και (β) χρησιμοποιώντας το γενικευμένο διάγραμμα απόκλισης της ενθαλπίας και θερμοκρασία εξόδου αυτή που υπολογίστηκε στο ερώτημα (α). Δίνεται για το οξυγόνο $c_p = 0.9180 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$.

Να συμπληρωθούν για το $A1 = \dots$ σας:

■ Η πίεση στην είσοδο του ακροφυσίου

$[1400 + A1]$ kPa = 1410 kPa

α) Ιδανικό αέριο με σταθ. ειδικές θερμότητες

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad \text{στην ισοεναλπη σχέση}$$

όπου $k \approx 1,4$ (διαμορφωμένο)

$$\Rightarrow \frac{T_2}{390\text{K}} = \left(\frac{500\text{kPa}}{1410\text{kPa}}\right)^{\frac{0,4}{1,4}} = 0,7436 \Rightarrow T_2 = 0,7436 \cdot 390\text{K} = 290\text{K}$$

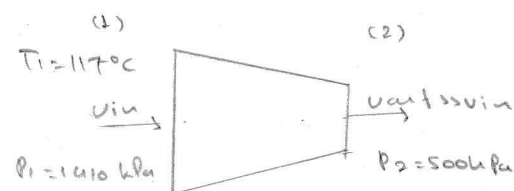
$$\Delta h = c_p \Delta T = 0,918 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot (290 - 390) = -91,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{ή } T_{1A19} \xrightarrow{T=390\text{K}} \bar{h}_1 = 11409 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \quad \frac{\div \text{M}}{32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 356,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_1$$

$$\xrightarrow{T=290\text{K}} \bar{h}_2 = 8443 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \quad \frac{\div \text{M}}{32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 263,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_2$$

$$\Delta h = 263,8 - 356,5 = -92,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{μικρότερο αποτέλεσμα})$$

$$\Delta h = -91,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -92,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \frac{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{(1)} \Rightarrow v_2^2 = 92,7 \cdot 10^3 \cdot 2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \Rightarrow v_2 = 430,58 \text{ m/s}$$



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

$$T_{R1} = \frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{390\text{K}}{154,8\text{K}} = 2,52$$

$$T_{R2} = \frac{T_2}{T_{cr}} = \frac{290\text{K}}{154,8\text{K}} = 1,87$$

$$p_{R1} = \frac{p_1}{p_{cr}} = \frac{1,41\text{MPa}}{5,08\text{MPa}} = 0,277$$

$$p_{R2} = \frac{p_2}{p_{cr}} = \frac{0,5\text{MPa}}{5,08\text{MPa}} = 0,098$$

Από γενικευμένο διάγραμμα απόκλισης h :

$$Z_{h1} \approx 0, Z_{h2} \approx 0$$

$$(2) \Rightarrow (h_2 - h_1) \approx (h_2 - h_1)_{\text{ideal}} = -92,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{α})$$

$$\text{από (α)} \rightarrow v_2 \approx 430,58 \text{ m/s}$$

οι αποκλίσεις είναι αμελητέες
γιατί περίπου $Z_{h1} \approx Z_{h2} \approx 0$

Να υπολογίσετε την ενθαλπία εξάτμισης του ατμού στους $[150+5 \cdot A1]^\circ\text{C}$ χρησιμοποιώντας:

(α) Την εξίσωση Clapeyron

(β) Την εξίσωση Clausius-Clapeyron

(γ) Να υπολογίσετε το σφάλμα που υπεισέρχεται στις δύο παραπάνω περιπτώσεις σε σχέση με τη τιμή της ενθαλπίας εξάτμισης του Πίνακα ατμών του νερού.

Να συμπληρωθούν για το $A1=1.2$ σας:

■ Η θερμοκρασία

$[150+5 \cdot A1]^\circ\text{C} = 200^\circ\text{C}$

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

$$\left(\frac{dP}{dT} \right)_{\text{sat}} \approx \left(\frac{\Delta P}{\Delta T} \right)_{\text{sat}} \stackrel{\text{ΠΑ4}}{=} \frac{P_{\text{sat}@205^\circ\text{C}} - P_{\text{sat}@195^\circ\text{C}}}{205 - 195} = \frac{(1,7230 - 1,3978) \text{ kPa}}{10 \text{ K}} = 0,03252 \frac{\text{kPa}}{\text{K}}$$

$$\text{ΠΑ4} \rightarrow v_{fg} = v_g @ 200^\circ\text{C} - v_f @ 200^\circ\text{C} = 0,12736 - 0,001157 = 0,126203 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$(1) \Rightarrow h_{fg} = (200 + 273) \text{ K} \cdot 0,126203 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot 0,03252 \frac{\text{kPa}}{\text{K}} = 1941,25 \text{ kJ/kg}$$

$$b) \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{\text{sat}} \approx \frac{h_{fg}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \Rightarrow h_{fg} \approx R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \frac{0,4615 \text{ kJ/kg} \cdot \ln\left(\frac{1,7230}{1,3978}\right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \left(\frac{1}{(195+273)} - \frac{1}{(205+273)}\right) \frac{1}{\text{K}}}$$

$$= \frac{0,0965 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}{0,000045 \text{ 1/K}} = 2144 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$r) \text{ Από ΠΑ4} \rightarrow h_{fg@200^\circ\text{C}} = 1940,8 \text{ kJ/kg}$$

Σφάλμα Clapeyron - ΠΑ4 : $\delta = \frac{1941,25}{1940,8} = 0,00023$ ή $-0,23\%$ ή $0,23\%$.
2 παραδοχές

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

Σφάλμα Clausius-Clapeyron - ΠΑ4 : $\delta = \frac{2144}{1940,8} = -10,4\%$

2 παραδοχές

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

$$v_g \gg v_f$$



Να εκτιμήσετε τον συντελεστή Joule-Thomson του υδρατμού σε 600 kPa και $[420+A1]^\circ\text{C}$.

Μια διεργασία στραγγαλισμού του υδρατμού που βρίσκεται στις συγκεκριμένες συνθήκες θα προκαλέσει άνοδο της θερμοκρασίας του, πτώση ή θα παραμείνει η θερμοκρασία σταθερή?

Να συμπληρωθούν για το **A1=1.00** σας:

■ Θερμοκρασία

$[420+A1]^\circ\text{C} = 430^\circ\text{C}$

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_h$$

$$\left. \begin{array}{l} P = 600 \text{ kPa} \\ T = 430^\circ\text{C} \end{array} \right\} \text{ΠΑΣ: } T_{\text{sat}} @ 0.6 \text{ MPa} = 158.83^\circ\text{C} < T \Rightarrow \text{υπερθερμικό υδρατμό}$$

$$\text{ΠAG} \rightarrow \frac{430 - 400}{500 - 400} = \frac{h - 3270.3}{3482.8 - 3270.3} \Rightarrow h = 3334.05 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Προσέγγιση διαθεριών ως διαθερίων} \rightarrow \mu_{JT} \approx \left(\frac{\Delta T}{\Delta P} \right)_h = 3334.05 \text{ kJ/kg}$$

$$\left(\frac{\Delta T}{\Delta P} \right)_h = \frac{(T @ 0.8 \text{ MPa} - T @ 0.5 \text{ MPa})^\circ\text{C}}{(0.8 - 0.5) \text{ MPa}} \quad (1)$$

$$\text{ΠAG } \frac{T}{0.8 \text{ MPa}} \rightarrow \frac{T @ 0.8 \text{ MPa} - 400}{500 - 400} = \frac{3334.05 - 3267.1}{3480.6 - 3267.1} \Rightarrow T @ 0.8 \text{ MPa} = 431.36^\circ\text{C}$$

$$\text{ΠAG } \frac{T}{0.5 \text{ MPa}} \rightarrow \frac{T @ 0.5 \text{ MPa} - 400}{500 - 400} = \frac{3334.05 - 3271.9}{3483.9 - 3271.9} \Rightarrow T @ 0.5 \text{ MPa} = 429.32^\circ\text{C}$$

$$(1) \Rightarrow \mu_{JT} = \frac{(431.36 - 429.32)^\circ\text{C}}{(0.8 - 0.5) \text{ MPa}} = 6.8^\circ\text{C/MPa} > 0$$

$\mu_{JT} > 0$, άρα κατά τη διεύθυνση μιας διεργασίας στραγγαλισμού (ή και P σταθερή h) η θερμοκρασία μειώνεται

Αέριο που ακολουθεί την καταστατική εξίσωση

$$P(v-a)=RT \quad (1)$$

εκτονώνεται ισοθερμικά. Να εξαχθούν οι σχέσεις για τις γραμμομοριακές ιδιότητες Δu , Δh , Δh . Αν $T=300K$ και η σταθερά $a=[0.50+0.10 \cdot A1] \text{ m}^3/\text{kmol}$, και το αέριο εκτονώνεται από $v_1=10 \text{ m}^3/\text{kmol}$ σε $v_2=[20+2 \cdot A1] \text{ m}^3/\text{kmol}$ να υπολογιστεί η μεταβολή της γραμμομοριακής (α) εσωτερικής ενέργειας (β) ενθαλπίας και (γ) εντροπίας. Δίνεται $R=8.314 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{kmol})$

Να συμπληρωθούν για το **A1=...** σας:

▪ Σταθερά a	$a=[0.50+0.10 \cdot A1] \text{ m}^3/\text{kmol} = 1,5 \text{ m}^3/\text{kmol}$
▪ Γραμμομοριακός όγκος	$v_2=[20+2 \cdot A1] \text{ m}^3/\text{kmol} = 40 \text{ m}^3/\text{kmol}$

Μεταβολή u από $(T_1, v_1) \rightarrow (T_2, v_2)$

$$u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT + \int_{v_1}^{v_2} \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right] dv \quad (2)$$

Μεταβολή h

$$(1) \rightarrow P = \frac{RT}{v-a} \quad (1')$$

$$h = u + Pv \Rightarrow \Delta h = \Delta u + P_2 v_2 - P_1 v_1 \quad (3)$$

Μεταβολή s από $(T_1, v_1) \rightarrow (T_2, v_2)$

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_v}{T} dT + \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v dv \quad (4)$$

α)

$$(2), (1') \rightarrow T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P = T \left(\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{RT}{v-a} \right)_v \right) - \frac{RT}{v-a} = T \cdot \frac{R}{v-a} - \frac{RT}{v-a} = 0 \quad (2') \Rightarrow \Delta u = 0$$

β)

$$(3), (1') \rightarrow \Delta h = P_2 v_2 - P_1 v_1 = \left(\frac{RT_2}{v_2-a} \right) v_2 - \left(\frac{RT_1}{v_1-a} \right) v_1 \stackrel{T_1=T_2=T}{=} TR \left(\frac{v_2}{v_2-a} - \frac{v_1}{v_1-a} \right)$$

$$\Delta u = 0$$

$$= 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{kmol}} \cdot 300 \text{ K} \left(\frac{40 \text{ m}^3/\text{kmol}}{(40-1,5) \text{ m}^3/\text{kmol}} - \frac{10 \text{ m}^3/\text{kmol}}{(10-1,5) \text{ m}^3/\text{kmol}} \right) = -342,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{kmol}}$$

γ)

$$(4), (1') \rightarrow s_2 - s_1 = \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{R}{v-a} \right) dv = R \ln(v-a) \Big|_{v_1}^{v_2} = R \ln \left(\frac{v_2-a}{v_1-a} \right)$$

$$= 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{kmol}} \cdot \left(\frac{40-1,5}{10-1,5} \right) = 12,56 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{kmol}}$$