



Λύσεις: 2η Ομάδα Ασκήσεων

Βαθμός

Θερμοδυναμική

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Αλέξανδρος Δ. Γκότσης

Προθεσμία υποβολής : 28 Απριλίου, 2020

Όνομα:	
Αριθμός μητρώου:	

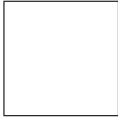
Απαντήστε τις ερωτήσεις χειρόγραφα στο χώρο που σας δίδεται ή στην πίσω πλευρά της κάθε σελίδας. Ψάξτε στο βιβλίο και στο eClass για δεδομένα που πιθανόν να λείπουν από τις ερωτήσεις. Προσοχή στις (σωστές) μονάδες. Όλες οι ερωτήσεις είναι ισοδύναμες, με 10 μονάδες για τη σωστή απάντηση, ενώ μη πλήρεις απαντήσεις θα παίρνουν ανάλογα λιγότερες μονάδες. Παρακαλώ να φέρετε τις απαντήσεις στο μάθημα μέχρι την ώρα που λήγει η προθεσμία υποβολής. **Εκπρόθεσμες υποβολές δεν μπορούν να γίνουν δεκτές.** Η βαθμολογία των ασκήσεων αυτών θα συνεισφέρει στον τελικό βαθμό του μαθήματος μόνο θετικά με 10%.

Η παράμετρος «A1» στις ασκήσεις αντιστοιχεί στον αριθμό που σχηματίζουν τα δύο τελευταία ψηφία του αριθμού μητρώου σας, όπως καταγράφεται στην πρώτη σελίδα, και πρέπει να αντικατασταθεί από αυτόν.

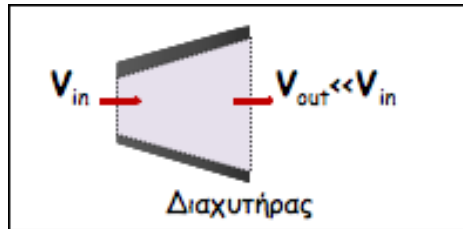
Μην ξεχάσετε να γράψετε το όνομα, το επώνυμο, και τον αριθμό μητρώου σας. Αναφέρετε σαφώς όλες τις παραδοχές σας. Προσοχή στις σωστές μονάδες!

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

1. Απαντήστε τις ακόλουθες ερωτήσεις



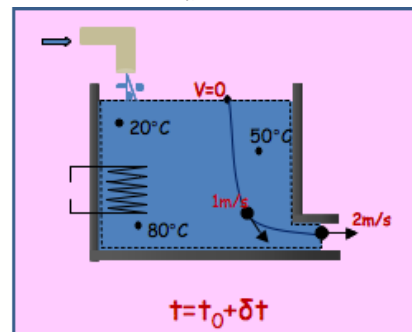
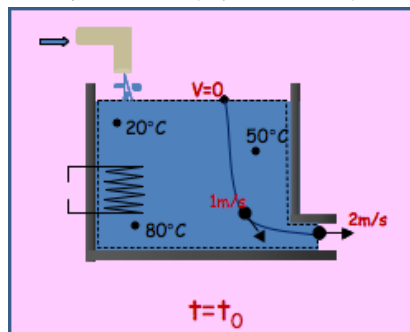
(α) Σε ποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται η κινητική ενέργεια που χάνεται από το ρευστό όταν περνάει μέσα από έναν αδιαβατικό διαχυτήρα;



$$\Delta h \approx \Delta e_k$$

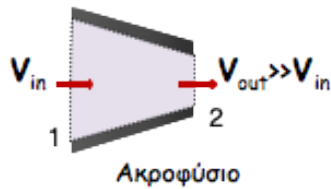
(β) Πότε θεωρείται μόνιμη η ροή μέσα από έναν όγκο ελέγχου;

Διεργασία μόνιμης ροής : οι ιδιότητες του ρευστού μπορεί να αλλάζουν από σημείο σε σημείο στο χώρο αλλά όχι με τον χρόνο σε κάποιο σημείο.



- Στο εσωτερικό του όγκου ελέγχου οι ιδιότητες είναι σταθερές με τον χρόνο
- Στα όρια του όγκου ελέγχου οι ιδιότητες δεν μεταβάλλονται με το χρόνο
- Η θερμότητα και το έργο που δίνει/παίρνει το σύστημα είναι σταθερά με το χρόνο.

2. Αέρας με πίεση 600 kPa και θερμοκρασία 600 K εισέρχεται με ταχύτητα 120 m/s σε αδιαβατικό ακροφύσιο που έχει λόγο επιφανειών εισόδου/εξόδου 2/1 και το εγκαταλείπει με ταχύτητα $(300 + 2 A1)$ m/s. Να υπολογισθεί η θερμοκρασία και η πίεση του αέρα στην έξοδο. Υποθέστε ότι ο αέρας είναι ιδανικό αέριο σε αυτές τις συνθήκες.



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

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right)$$

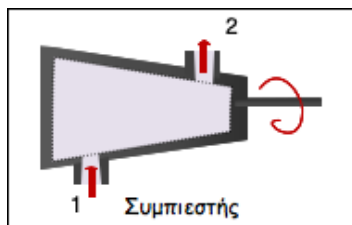
$$\text{Πίνακας A-17} \Rightarrow h_1 \Rightarrow h_2 \Rightarrow (+ \text{ Π. A-17}) \Rightarrow T_2$$

$$\text{Ισοζύγιο μάζας: } \rho_2 A_2 V_2 = \rho_1 A_1 V_1 \Rightarrow \frac{1}{v_2} A_2 V_2 = \frac{1}{v_1} A_1 V_1$$

$$A_1/A_2 = 2$$

$$Pv = RT \Rightarrow \frac{A_2 V_2 P_2}{RT_2} = \frac{A_1 V_1 P_1}{RT_1} \Rightarrow P_2$$

3. Ύδρατμος εισέρχεται σε αδιαβατικό στρόβιλο με πίεση 10 MPa και θερμοκρασία 400 °C και τον αφήνει σε πίεση 20 kPa και με ποιότητα $x = (0.5 + 0.004 \cdot A1)$. Να υπολογιστεί η παροχή μάζας που απαιτείται για παραγωγή ισχύος 5 MW.

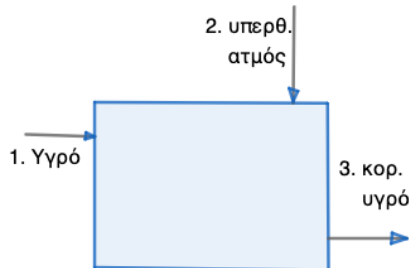


$$\dot{E}_1 = \dot{m} h_1 \quad \dot{E}_2 = \dot{m} h_2$$

$$P_2 \text{ και } x_2 \text{ (κορεσμ. κατ.)} \Rightarrow T_2 \text{ και } h_2 = h_f + x_2(h_g - h_f)$$

$$\Delta \dot{E} = \dot{W} (= 5 \text{ MW}) = \dot{m}(h_1 - h_2) \Rightarrow \dot{m}$$

4. Σε ένα θάλαμο ανάμιξης εισέρχεται νερό με πίεση 300 kPa και θερμοκρασία 20 °C με ρυθμό 1.8 kg/s και αναμιγνύεται με υπέρθερμο υδρατμό πίεσης 300 kPa και θερμοκρασίας 200 +A1 °C. Το μείγμα βγαίνει από τον αναμίκτη ως υγρό στους 60 °C και την ίδια πίεση. Ποια είναι η παροχή μάζας του ατμού στην είσοδο;



Είσοδος 1 : συμπιεσμένο υγρό νερό
Είσοδος 2: υπέρθερμος υδρατμός
Έξοδος (3) : συμπιεσμένο υγρό νερό
Σταθερή πίεση

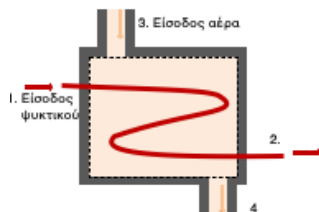
$$h_1 \approx h_{sat,20^\circ C} = 84 \text{ kJ/kg} \quad h_3 \approx h_{sat,60^\circ C} = 251 \text{ kJ/kg}$$

$$P_2 = 300 \text{ kPa} \quad \text{και} \quad T_2 = 300^\circ C \quad \Rightarrow \quad h_2 = 3070 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q} \approx 0 \quad \dot{W} = 0 \quad \Delta e_k \approx 0 \quad \Delta e_p \approx 0 \quad \Rightarrow \quad \dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

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

5. Ένα ρεύμα αέρα παροχής 60 m³/min εισέρχεται στο εξατμιστήρα ενός κλιματιστικού σε πίεση 1 bar και θερμοκρασία 30 °C. Το ψυκτικό (R-134a) εισέρχεται με ρυθμό 1+0.01*A1 kg/min στον εξατμιστήρα, σε πίεση 1.5 bar και ποιότητα x = 0.3, και τον εγκαταλείπει ως κορεσμένος ατμός στην ίδια πίεση. Να υπολογισθούν: (α) ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας από τον αέρα στο ψυκτικό και (β) η θερμοκρασία του εξερχόμενου αέρα. Θεωρήστε τον αέρα ως ιδανικό αέριο.



1. $\dot{m}_R = 1.5 \text{ [kg/min]}$ ($A1=50$), $P_1=1.5 \text{ [bar]}$, $x_1 = 0.3$
2. $x = 1$, $P_2 = 1.5 \text{ [bar]}$
3. $\dot{m}_{air} = 60 \text{ m}^3/\text{min}$, $P_3 = 1 \text{ [bar]}$, $T_3 = 30^\circ C$
4. $P_4 = P_3$, $T_4 = ?$

$$\Delta \dot{H}_R = \Delta \dot{H}_{air} = \dot{Q} \quad \dot{Q} = \dot{m}_R (h_{2R} - h_{1R}) = \dot{m}_{air} (h_{4,air} - h_{3,air})$$

$$(1) \text{ κορεσμένο} \quad \Rightarrow \quad h_{1R} = h_{f@P_1} + x_1 (h_g - h_f)$$

$$(2) x = 1 \quad \Rightarrow \quad h_{2R} = h_g \text{ (στην ίδια } P) \quad \Rightarrow \quad \dot{Q}$$

$$(3) \dot{m}_{air} = \frac{\dot{V}_{air}}{v_3} \quad (\text{το } v_3 \text{ από Π.-17 για } T_3)$$

$$h_3 \text{ από Π.-17 για } T_3 \quad \text{και από } \dot{Q} \quad \Rightarrow \quad h_4 \quad \Rightarrow \quad T_2$$

6. Ποια είναι η δεξαμενή θερμότητας (ψυκροδοχείο) για τη θερμότητα που εκλύεται από τη μηχανή: (α) ενός αυτοκινήτου· (β) μίας βάρκας;

(α) Η ατμόσφαιρα (άερας)

(β) Το νερό της θάλασσας (υδρόψυκτη μηχανή)

7. Ένας βενζινοκινητήρας αυτοκινήτου παράγει ισχύ 95 hp και έχει απόδοση 28%. Να υπολογισθεί ο ρυθμός κατανάλωσης καύσιμου σε μέγιστη ισχύ, αν η βενζίνη έχει θερμογόνο δύναμη 42000 kJ/kg.

$$\dot{W} = 95 \text{ [hp]} * 0.745 \text{ [kW/hp]}$$

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{in}} \Rightarrow \dot{Q}_{in} \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}_{in}}{Q_{\Theta\Delta}}$$

8. Υπολογίστε τον μέγιστο (θεωρητικό) συντελεστή COP μιας αντλίας θερμότητας ενός σπιτιού που κρατά την εσωτερική θερμοκρασία του σπιτιού στους 22 °C όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι (α) A1/5 και (β) -A1/5 °C.

Μέγιστη απόδοση: αντιστρεπτή διεργασία (Carnot):

$$COP_{\text{αντλία } \theta.} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

Για $T_H = 299 \text{ K}$ και $T_L = :$ (a) $273 + A1/5$ και (b) $273 - A1/5 \text{ [K]}$

9. Συγκρίνετε το κόστος θέρμανσης με την παραπάνω αντλία με αυτό της θέρμανσης με καυστήρα πετρελαίου (με τελική απόδοση 89%). Η θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου είναι 42000 kJ/kg και χρειάζονται 1000 L το έτος. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης είναι 1.00 €/L και ενώ το κόστος του ηλεκτρισμού είναι 0.18 €/kWh.

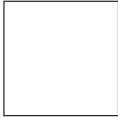
$$\text{Θερ. ανάγκες: } \dot{W} = 1000 \text{ [L/year]} \times 0.640 \text{ [kg/L]} \times 42000 \text{ [kJ/kg]} \times 0.89 = 23900 \text{ [MJ/year]}$$

$$\text{Κόστος πετρελαίου} = 1000 \text{ [€/year]}$$

$$\text{Αντλία θερμότητας: } COP = \frac{\dot{W}}{\dot{W}_{electr}} \Rightarrow \dot{W}_{electr} = \frac{\dot{W}}{COP}$$

$$\text{Κόστος ηλεκτρισμού: } \frac{\dot{W}}{COP \times 3600} \times 0.18 = 48 - 130 \text{ [€/year]}$$

10. Γιατί η θερμοκρασία που εμφανίζεται στην ανισότητα του Clausius πρέπει να είναι η απόλυτη;



Ανισότητα του Clausius: $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$

Η απόδειξη βασίζεται στο 2ο αξίωμα του Carnot και στον ορισμό της κλίμακας Kelvin ως θερμοδυναμική κλίμακα θερμοκρασιών. Αν οι θερμοκρασίες δεν εκφράζονται σε Kelvin, τότε:

$$\left(\frac{Q_H}{Q_L}\right) \neq \frac{T_H}{T_L}$$

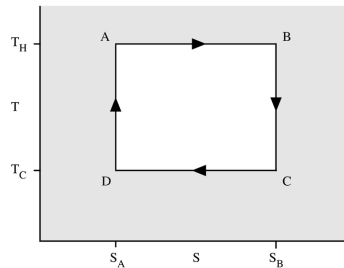
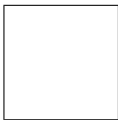
και ο όρος $\frac{\delta Q}{T}$ στην ανισότητα δεν έχει νόημα.

11. Μια βραστή πατάτα αφήνεται να κρυώσει πάνω στο πιάτο. Η εντροπία της μειώνεται ή αυξάνεται; Η απάντησή σας είναι συμβατή με την αρχή της αύξησης της εντροπίας του σύμπαντος; Εξηγήστε.



Η εντροπία της πατάτας μειώνεται κατά $-\Delta S = \frac{-Q}{T_1}$, αλλά η εντροπία του περιβάλλοντος (θερμοκρασίας $T_2 < T_1$) αυξάνεται κατά $\frac{Q}{T_2} > \frac{Q}{T_1}$. Η διαφορά είναι η παραγόμενη εντροπία, S_{gen}

12. Θερμότητα 900 kJ προσδίδεται σε ένα κύκλο Carnot κατά τη διάρκεια της ισόθερμης εκτόνωσης (1-2) από ένα θερμοδοχείο που βρίσκεται στους 400° C. Για αυτή τη διεργασία να υπολογιστούν (α) η μεταβολή της εντροπίας του ρευστού λειτουργίας και (β) η ολική παραγωγή εντροπίας.



Αντιστρεπτή $\Rightarrow \Delta S_H = -\frac{Q}{T_H}$

Αντιστρεπτη, ισοθερμοκρασική: $\Delta S_{gen} = -\frac{Q}{T_H} + \frac{Q}{T_H} = 0$



13. Ένα δοχείο όγκου 0.5 m^3 περιέχει αρχικά ψυκτικό R-134a σε πίεση 200 kPa με ποιότητα $x = 0.4$. Στη συνέχεια προστίθεται θερμότητα μέχρι η πίεση να αυξηθεί στα 400 kPa . Να υπολογισθεί η μεταβολή της εντροπίας του ψυκτικού και η ολική παραγωγή εντροπίας, αν το θερμοδοχείο από το οποίο λαμβάνεται η θερμότητα έχει θερμοκρασία 35° C .

$$1. P_1, x_1: \quad v_1 = v_f + x_1(v_g - v_f), \quad s_1 = s_f + x_1(s_g - s_f) \quad \text{και} \quad u_1 = u_f + x_1(u_g - u_f)$$

$$2. P_2, v_2 = v_1: \quad (\text{Π. A-12}) \quad \Rightarrow \quad x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} \quad \Rightarrow \quad u_2 = u_f + x_2(u_g - u_f)$$

$$\Delta S = m(s_2 - s_1) \quad m = \frac{V}{v_1}$$

$$\text{1ος νόμος: } \Delta U = Q - W \quad \Rightarrow \quad Q = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta S_{gen} = \Delta S - \frac{Q_H}{T_{surr}}$$



14. Να αποδειχθεί η ισοδυναμία των παρακάτω σχέσεων για ιδανικά αέρια με βάση την παραδοχή σταθερής ειδικής θερμότητας:

$$s_2 - s_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad s_2 - s_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Η ερώτηση μεταφέρθηκε στο 30 σετ!

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

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT - \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P dP$$



15. Αέρας συμπιέζεται αντιστρεπτά και αδιαβατικά σε διάταξη εμβόλου κυλίνδρου από τα 100 kPa και 17° C στα 800 kPa . Να υπολογισθούν με τον πιο ακριβή τρόπο (α) η τελική θερμοκρασία και (β) το έργο που παράγεται κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

$$1. \text{Ιδανικό αέριο, Π. A-17, } T_1 \Rightarrow h_1, P_{r1}$$

$$2. P_2, s_2 = s_1 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{2r}}{P_{1r}} \Rightarrow P_{r2} \Rightarrow T_2, h_2$$

$$w = h_2 - h_1$$

16. Αέρας εισέρχεται με μόνιμη ροή σε ακροφύσιο με ταχύτητα 50 m/s, πίεση 280 kPa και θερμοκρασία 77° C, και εξέρχεται με πίεση 85 kPa και ταχύτητα 320 m/s. Οι απώλειες θερμότητας από το ακροφύσιο προς το περιβάλλον θερμοκρασίας 20° C είναι 3.2 kJ/kg. Να υπολογιστούν: (α) η θερμοκρασία στην έξοδο και (β) η ολική αλλαγή της εντροπίας για τη διεργασία.

$$1. V_1, P_1, T_1 \Rightarrow h_1, s_1^o \text{ (Π. A-17)}$$

$$2. V_2, P_2$$

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right) + \dot{m}q \Rightarrow h_2 \Rightarrow T_2$$

$$\Delta s_{air} = s_2^o - s_1^o - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad \Delta s_{sur} = \frac{q}{T_{sur}}$$

$$\Delta s_{tot} = \Delta s_{air} + \Delta s_{sur}$$

17. Αέριο ήλιο συμπιέζεται από 80 kPa και 20° C σε 600 kPa με ρυθμό 0.2 m³/s. Να υπολογισθεί η ισχύς του συμπιεστή για διεργασία: (α) ισηντροπική, (β) πολυτροπική με $n = 1.2$ ή (γ) ισόθερμη.

$$\text{Από πίνακες (ιδανικό αέριο): } T_1 \Rightarrow v_1, h_1, P_{r1}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{2r}}{P_{1r}} \Rightarrow P_{r2} \Rightarrow T_2, h_2 \Rightarrow \dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) = \frac{\dot{V}}{v_1}(h_2 - h_1) \text{ αλλά δεν έχουμε τον κατάλληλο πίνακα!}$$

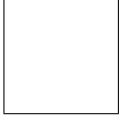
ή αν σταθερά C_p, C_v :

$$\dot{W} = \frac{\dot{V}}{v_1} \cdot \frac{kRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{V}}{v_1} \cdot \frac{nRT_1}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{V}}{v_1} RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

18. Υδρατμός εισέρχεται σε αδιαβατικό στρόβιλο ισχύος 5 MW με ταχύτητα 80 m/s, στους 600° C και πίεση 6 MPa και εξέρχεται σε 50 kPa, 100° C και 140 m/s. Να υπολογιστεί η παροχή μάζας του υδρατμού και η ισεντροπική απόδοση του στρόβιλου.



Ισεντροπική απόδοση συμπιεστή:

$$\eta_P = \frac{w_s}{w_a} = \frac{v(P_{2s} - P_1)}{h_{2a} - h_1}$$

$$1. P_1, T_1 \Rightarrow \text{υπερθ. ατμός} \Rightarrow h_1, s_1, v_1$$

$$2. T_2 \Rightarrow h_{2a}$$

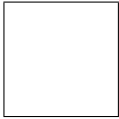
$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{W} + \dot{m} \left(h_{2a} + \frac{V_2^2}{2} \right) \Rightarrow \dot{m}$$

$$\text{Αν ισεντροπική: } P_{2s} = P_2, s_{2s} = s_1, \text{ Π. A-5} \Rightarrow x_{2s} = \frac{s_{2s} - s_f}{s_g - s_f}$$

$$\Rightarrow h_{2s} = h_f + x_{2s} h_{fg}$$

$$\Rightarrow \dot{W}_s = \dot{m} \left(h_{2s} - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) \Rightarrow \eta_s = \frac{\dot{W}}{\dot{W}_s}$$

19. Θερμά καυσάερια εισέρχονται στο ακροφύσιο ενός κινητήρα turbojet με πίεση 260 kPa, θερμοκρασία 747° C και ταχύτητα 80 m/s και εξέρχονται με πίεση 85 kPa. Η ισεντροπική απόδοση είναι 92%. Υπολογίστε (α) την ταχύτητα και (β) τη θερμοκρασία εξόδου. Θεωρήστε τα καυσάερια ως θερμό αέρα και ιδανικό αέριο.



$$1. T_1 \Rightarrow h_1, P_{r1}$$

$$2. \text{Αν ισεντροπικά: } \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{r1}}{P_{r2}} \Rightarrow P_{r2} \Rightarrow T_2, h_{2s}$$

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_{2s} + \frac{V_{2s}^2}{2} \right) \Rightarrow V_{2s} = \sqrt{V_1^2 + 2(h_1 - h_{2s})}$$

$$\eta_s = \frac{V_{2a}^2}{V_{2s}^2} \Rightarrow V_{2a} = \sqrt{\eta_s} V_{2s}$$

$$\Rightarrow \dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_{2a} + \frac{V_{2a}^2}{2} \right) \Rightarrow h_{2a} \Rightarrow T_2$$

20. Πετρέλαιο ($C_p = 2.2 \text{ kJ/kg}$) ψύχεται σε έναν καλά μονωμένο εναλλάκτη με τη βοήθεια νερού. Το πετρέλαιο εισέρχεται στον εναλλάκτη στους 150°C με ρυθμό 2 kg/s και εξέρχεται στους 40°C . Το νερό εισέρχεται στους 22°C με ρυθμό 1.5 kg/s . Να υπολογιστεί η θερμοκρασία του νερού στην έξοδο και ο ρυθμός παραγωγής εντροπίας στον εναλλάκτη.



Είσοδοι: νερό «1», πετρέλαιο «3»

Έξοδοι: νερό «2», πετρέλαιο «4»

Νερό: $Q_w = m_w C_w (T_2 - T_1)$

Πετρέλαιο: $Q_o = m_o C_o (T_4 - T_3)$
 $Q_w = -Q_o \Rightarrow T_2 = T_1 + \frac{m_p C_o}{m_w C_w} (T_3 - T_4)$

Σταθερή ροή:

$$S_{gen} = \Delta \dot{S}_{out} - \Delta \dot{S}_{in} = \dot{m}_w s_2 + \dot{m}_o s_4 - \dot{m}_w s_1 - \dot{m}_o s_3 = \dot{m}_w (s_2 - s_1) + \dot{m}_o (s_4 - s_3)$$

$$S_{gen} = \dot{m}_w C_w \ln \frac{T_2}{T_1} + \dot{m}_o C_o \ln \frac{T_4}{T_3}$$

21. Υδρατμός εισέρχεται με σταθερή ροή σε έναν στρόβιλο ισχύος 4 MW με ρυθμό 25000 kg/h , πίεση 8 MPa και θερμοκρασία 450°C και εξέρχεται με πίεση 50 kPa στην κατάσταση κορεσμένου ατμού. Να υπολογισθεί ο ρυθμός παραγωγής εντροπίας. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 25°C .



1. $P_1, T_1 \Rightarrow h_1, s_1$

2. $P_2, \text{κορεσμ.} \Rightarrow T_2, h_2 (= h_g), s_2 (= s_g)$

$$\dot{m} h_1 = \dot{Q}_{out} + \dot{W} + \dot{m} h_2 \Rightarrow \dot{Q}_{out} = \dot{m} (h_1 - h_2) - \dot{W}$$

($\dot{Q}_{out}$ εκλύεται : αρνητική για το σύστημα αλλά θετική για το περιβάλλον)

$$\Rightarrow S_{gen} = \dot{m} (s_2 - s_1) + \frac{\dot{Q}_{out}}{T_{sur}}$$

($T_{sur} = 25 + 273 \text{ K}$)