

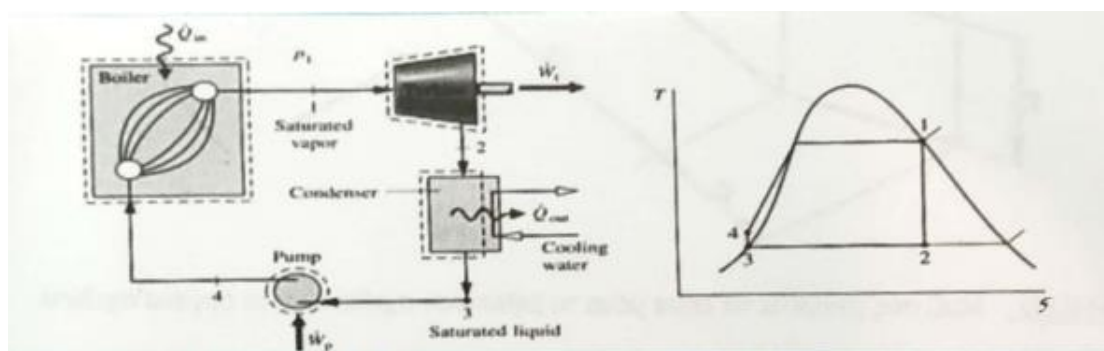
ΘΕΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

1. Κύρια μηχανή πλοίου (ΜΕΚ, δίχρονη, Diesel, υπερπληρούμενη) κατά τη λειτουργία της παρουσιάζει τις παρακάτω απώλειες θερμικής ισχύος: από τα καυσαέρια **12600 KW**, από το σύστημα ψύξης εμβόλων **1418KW**, από το σύστημα ψύξης κυλίνδρων **3250KW**, από το σύστημα ψύξης ελαίου **175KW**, από το σύστημα ψύξης αέρα σάρωσης και υπερπλήρωσης **2087KW**. Στη μηχανή εισέρχονται **2000kg/h** καυσίμου και **70000kg/h** αέρα. Δεδομένου ότι η ειδική ενθαλπία του μίγματος αέρα – καυσίμου μειώνεται κατά την καύση κατά **1520kj/kg** να βρεθεί η ισχύς της μηχανής. **(20 μονάδες)**

2. Ατμός είναι το εργαζόμενο μέσο στον απεικονιζόμενο ακόλουθο ιδανικό. Κεκορεσμένος ατμός εισχωρεί σε στρόβιλο στα **10bar** και κεκορεσμένο υγρό βγαίνει από τον συμπυκνωτή σε πίεση **0,04bar** και $h_4=150\text{kJ/kg}$. Η καθαρή ισχύς εξόδου του κύκλου είναι **100MW**. Να υπολογιστεί για τον κύκλο:

- α) Οι ενθαλπίες σε κάθε σημείο του κύκλου
- β) η θερμική απόδοση
- γ) το έργο εισόδου/εξόδου.

(20 μονάδες)



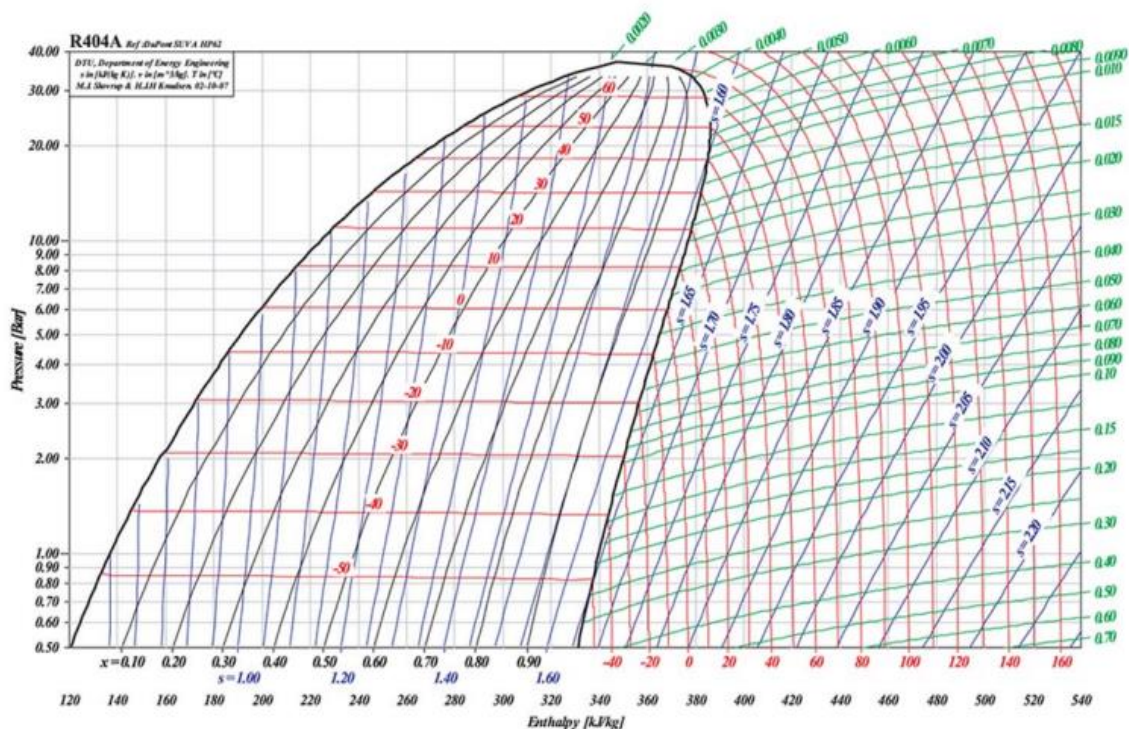
3. Εντός δοχείου υφίσταται μίγμα νερού και ατμού σε θερμοκρασία **200° C**. Το νερό έχει μάζα **200kg** και ο ατμός **800kg**. Να βρεθεί για το μίγμα α) η πίεση β) ο ειδικός όγκος γ) η ενθαλπία και η εσωτερική ενέργεια. Εάν το εν λόγω μίγμα θέλουμε να το μετατρέψουμε όλο σε κορεσμένο ατμό ίδιας θερμοκρασίας δ) πόση

θερμότητα πρέπει να προσδοθεί σε αυτό; ε) Πόσος πρέπει να είναι ο εσωτερικός όγκος του δοχείου που περιέχει τον ατμό; **(20 μονάδες)**

4. Ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί με ψυκτικό μέσο **R404A** έχοντας απόλυτη πίεση χαμηλή **4bar** και υψηλή **16bar**. Το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στην αναρρόφηση του συμπιεστή και στην εκτονωτική βαλβίδα σε κατάσταση κορεσμού. Εάν η παροχή μάζας του ψυκτικού μέσου είναι **m= 0,7kg/s** και η ατμοσφαιρική πίεση **1bar**:

- 1) Να σχεδιάσετε τη διάταξη των συσκευών και τον ψυκτικό κύκλο στο διάγραμμα 404A.
- 2) Να καθοριστούν οι ενθαλπίες στα σημεία 1,2,3,4 (ή Α,Β,Γ,Δ)
- 3) Να υπολογιστεί η ψυκτική ισχύς
- 4) Να υπολογιστεί η ισχύς του συμπιεστή.
- 5) Να υπολογιστεί ο συντελεστής λειτουργίας ή συμπεριφοράς COP.
- 6) Να βρεθούν οι θερμοκρασίες συμπύκνωσης και εξάτμισης στη γραμμή χαμηλής πίεσης και αντίστοιχα στη γραμμή υψηλής πίεσης.

(25 μονάδες)



5. Αναλύστε θερμοδυναμικά τον κύκλο diesel (διαγράμματα p-u, T-s). Πως επηρεάζεται ο θερμική απόδοση της μηχανής από το λόγο συμπίεσης και από το λόγο αποκοπής; **(15 μονάδες)**

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

1. 1ο Θερμοδυναμικό αξίωμα

Λόγος συμπίεσης: $\tau = v1/v2$
 Λόγος αλοκοπής: $\tau_c = v3/v2$

α) Κλειστό Σύστημα: $Q_{12} + W_{12} = U_2 - U_1 + E_{s2} - E_{s1}$

β) Διαρρασίως Μόνιμης Ροής: $Q_{12} + P_{12} = H_2 - H_1 + E_{s2} - E_{s1}$

γ) Αντιστρεπτό έργο σγκομεταβολής: $(W_{12})_{\text{αντ}} = - \int_1^2 p dV$

δ) Τεχνικό έργο: $W_{12} = mP_{12} = \int_1^2 V dp + E_{s2} - E_{s1} + \Psi_{12}$

ε) Εξωτερική Ενέργεια (κινητική + δυναμική): $E_s = \frac{1}{2} mc^2 + mgz$

στ) Σχέσεις διαφορικών σε αντιστρεπτές μεταβολές: $\left\{ \begin{array}{l} dq = c_v dT + p dv \\ dq = c_p dT - v dp \end{array} \right.$

2. 2ο Θερμοδυναμικό αξίωμα

α) Για κλειστό σύστημα: $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} + (S_m)_{12}$

Για αδιαβατικό σύστημα: $S_2 - S_1 = (S_m)_{12} \geq 0$

β) Για διαρρασίως μόνιμης ροής: $S_2 - S_1 = \sum (S_m)_{12} + \dot{S}_m$

Για αδιαβατικό χώρο ελέγχου: $S_2 - S_1 = \dot{S}_m \geq 0$

γ) Σχέσεις με διαφορικά: $\left\{ \begin{array}{l} ds = \frac{du + p dv}{T} = \frac{dh - v dp}{T} \\ \int T ds = q_{12} + \Psi_{12} \end{array} \right.$

3. Καταστατικές Εξισώσεις Ιδανικών Αερίων

α) Καταστατική Εξίσωση Ιδανικών Αερίων:	$pV = nRT = nR_m T$
β) Παγκόσμια σταθερά των αερίων:	$R_m = MR = 8,3143 \frac{kJ}{kmol \cdot K}$
γ) Σχέση μεταξύ c_p, c_v, R :	$c_p = c_v + R$
δ) Σχέση μεταξύ c_p, c_v, k :	$k = \frac{c_p}{c_v}$
ε) Μεταβολή ειδικής εσωτερικής ενέργειας:	$u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT$
στ) Μεταβολή ειδικής ενθαλπίας:	$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT$

Διευκρίνιση: Αν $\Delta T < 100^\circ C$ τότε $c_p \equiv$ σταθερό, οπότε $h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1)$

Αν $\Delta T > 100^\circ C$ τότε $c_p = c_p(T)$, οπότε $h_2 - h_1 = c_p|_{T_0}^{T_2} \cdot T_2 - c_p|_{T_0}^{T_1} \cdot T_1$

(Σημείωση: Το c_p προκύπτει από πίνακες, λ.χ. από τον πίνακα 10.7 του βιβλίου του Bachr.)

$$\zeta) \text{ Μεταβολή ειδικής εντροπίας: } s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_v}{T} dT + R \ln \frac{v_2}{v_1} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p}{T} dT - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

Διευκρίνιση: Για $c_p =$ σταθερό οπότε και $c_v =$ σταθερό, η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

4. Κυκλικές Διαργασίες

	Βαθμός Απόδοσης	Carnot
Θερμική Μηχανή:	$\eta_{th} = \frac{\sum w_{out}}{\sum q_{in}}$	$\eta_c = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}}$
Ψυκτική Μηχανή:	$\epsilon = \frac{ q_{out} }{\sum w_{in}}$	$\epsilon = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$
Αντλία Θερμότητας:	$\epsilon = \frac{ q_{in} }{\sum w_{in}}$	$\epsilon = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$

Σημείωση: Στις παραπάνω σχέσεις είναι q_{in} = Θερμότητα που προσδίδεται στην κυκλική διαργασία και q_{out} = Θερμότητα που αποδίδεται από την κυκλική διαργασία

5. Περιοχή Υγρού Ατμού

α) Ποσοστό υγρού ατμού:

$$x = \frac{m'}{m' + m''} = \frac{v - v'}{v'' - v'} = \frac{u - u'}{u'' - u'} = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{s - s'}{s'' - s'}$$

Συνολική μάζα:	$m = m' + m''$
Συνολικός όγκος:	$V = V' + V'' = m'v' + m''v''$
Συνολική ενθαλπία:	$H = H' + H'' = m'h' + m''h''$
Συνολική εσωτερική ενέργεια:	$U = U' + U'' = m'u' + m''u''$
Συνολική εντροπία:	$S = S' + S'' = m's' + m''s''$

Ενθαλπία εξάτμισης: $r = h'' - h' = T(s'' - s') = T(v'' - v') \frac{dp}{dT}$

Λιμενίσωση: Όταν $v'' \gg v'$ τότε $\frac{dp}{dT} = \frac{p}{RT^2}$

Λόγος συμπίεσης: $r = v1/v2$

Λόγος αποκοπής: $rc = v3/v2$

6. Αδιαβατικές Διαργασίες Ροής ($q_{12} = 0, w_{12} = 0$)

1ο Θερμodynamικό Αξίωμα: $h_1' = h_1 + \frac{1}{2}c_1^2 = h_2' = h_2 + \frac{1}{2}c_2^2$
 Ταχύτητα Ήχου: $\alpha = \sqrt{k\rho v} = \sqrt{kRT}$

α) Ισηντροπική Διαργασία: $\Delta h_s = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{T_2}{T_1} \right) - 1 \right]$

Ακροφύσιο Laval με ταχύτητα εισόδου $c_1 = 0$

Παροχή μάζας: $\dot{m} = c\rho A = \text{σταθερό}$

Ταχύτητα εξόδου: $c = \sqrt{2(h_1 - h)} = \sqrt{2c_p^* T_1 \left(1 - \frac{T}{T_1} \right)}$

Σχέσις μεταξύ των μεγθών της στενότερης διατομής ρ^*, c^*, A^* (κρίσιμα μεγέθη) :

i) $\frac{\rho^*}{\rho_1} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k}}$

ii) $c^* = \alpha = \left(\frac{2k}{k+1} RT_1 \right)^{\frac{1}{2}}$

iii) $A^* = \frac{\dot{m}}{c^* \rho^*}$

β) Μη αντιστρεπτή διαργασία

Ισηντροπικός βαθμός απόδοσης διαχύτη: $\eta_{d0} = \frac{\Delta h_s}{h_2 - h_1} = \frac{\Delta h_s}{\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}}$

Ισηντροπικός βαθμός απόδοσης ακροφυσίου: $\eta_{dA} = \frac{\frac{c_2^2}{2}}{\frac{c_1^2}{2} - \frac{c_2^2}{2} - \Delta h_s} = \frac{c_2^2}{c_1^2 - c_2^2 - 2\Delta h_s}$ με $\Delta h_s < 0$

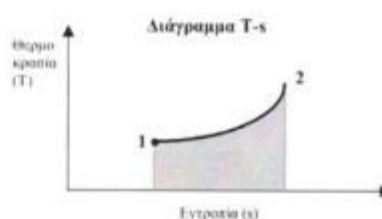
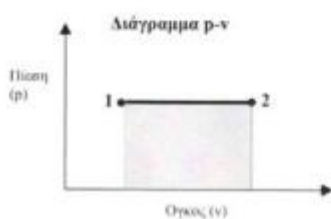
Διαρέωση: Όταν $c_1 = 0$ τότε $\eta_{dA} = \frac{\frac{c_2^2}{2}}{-\Delta h_s} = \frac{-\Delta h}{-\Delta h_s}$

Ισόθερμη Αντιστρεπτή Μεταβολή

Καταστατική Εξίσωση :	$p v^{\gamma} = \text{σταθερό}$
Πολυτροπικός Εκθέτης :	1
Ειδική Θερμοχωρητικότητα:	∞
Σχέση πίεσης-όγκου:	$p_1 v_1 = p_2 v_2$
Σχέση θερμοκρασιών:	$T_1 = T_2$
Έργο Ογκομεταβολής:	$(w_{12})_{\text{αν}} = - \int_1^2 p dv = -p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$
Τεχνικό Έργο:	$(w_{12})_{\text{αν}} = \int_1^2 v dp = -p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$
Θερμότητα που εκλύεται ή απορροφάται:	$(q_{12})_{\text{αν}} = u_{12} - (w_{12})_{\text{αν}} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$
Μεταβολή Εσωτερικής Ενέργειας:	$u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) = 0$
Μεταβολή Ενθαλπίας:	$h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1) = 0$
Μεταβολή Εντροπίας:	$s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq_{\text{αν}}}{T} = R \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$

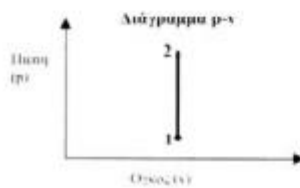
Ισοβαρής Αντιστρεπτή Μεταβολή

Καταστατική Εξίσωση :	$p v^{\gamma} = \text{σταθερό}$
Πολυτροπικός Εκθέτης :	0
Ειδική Θερμοχωρητικότητα:	c_p
Σχέση πιέσεων:	$p_1 = p_2$
Σχέση όγκου-θερμοκρασίας :	$\frac{T_2}{T_1} = \frac{v_2}{v_1}$
Έργο Ογκομεταβολής:	$(w_{12})_{\text{αν}} = - \int_1^2 p dv = -p (v_2 - v_1)$
Τεχνικό Έργο:	$(w_{12})_{\text{αν}} = \int_1^2 v dp = 0$
Θερμότητα που εκλύεται ή απορροφάται:	$(q_{12})_{\text{αν}} = u_{12} - (w_{12})_{\text{αν}} = c_p (T_2 - T_1)$
Μεταβολή Εσωτερικής Ενέργειας:	$u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1)$
Μεταβολή Ενθαλπίας:	$h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1)$
Μεταβολή Εντροπίας:	$s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq_{\text{αν}}}{T} = c_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$



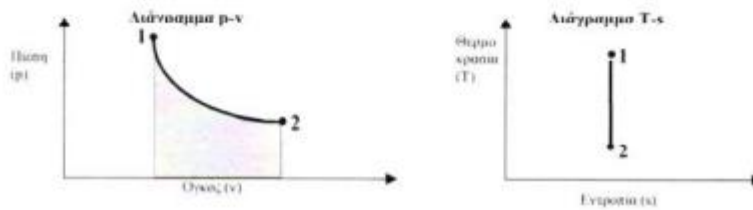
Ισόχωρη Αντιστρεπτή Μεταβολή

Καταστατική Εξίσωση :	$p v = \text{σταθερό}$
Πολυτροπικός Εκθέτης :	∞
Ειδική Θερμοχωρητικότητα:	c_v
Σχέση όγκων:	$v_1 = v_2$
Σχέση πίεσης-θερμοκρασίας :	$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$
Έργο Ογκομεταβολής:	$(w_{12})_{\text{ισ}} = - \int_1^2 p dv = 0$
Τεχνικό Έργο:	$(w_{12})_{\text{τεχν}} = \int_1^2 v dp = v(p_2 - p_1)$
Θερμότητα που εκλύεται ή απορροφάται:	$(q_{12})_{\text{ισ}} = u_2 - (w_{12})_{\text{τεχν}} = c_v (T_2 - T_1)$
Μεταβολή Εσωτερικής Ενέργειας:	$u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1)$
Μεταβολή Ενθαλπίας:	$h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1)$
Μεταβολή Εντροπίας:	$s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq_{\text{ισ}}}{T} = c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$



Ισοτροπική (=Αδιαβατική Αντιστρεπτή) Μεταβολή

Καταστατική Εξίσωση :	$p v^k = \text{σταθερό}$
Πολυτροπικός Εκθέτης :	k
Ειδική Θερμοχωρητικότητα:	0
Σχέση πίεσης-όγκου:	$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$
Σχέση πίεσης-θερμοκρασίας:	$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$
Σχέση όγκου-θερμοκρασίας:	$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1}$
Έργο Ογκομεταβολής:	$(w_{12})_{\text{ov}} = - \int_1^2 p dv = \frac{p_2 v_2 - p_1 v_1}{k-1}$
Τεχνικό Έργο:	$(w_{12})_{\text{τεχν}} = \int_1^2 v dp = k \left(\frac{p_2 v_2 - p_1 v_1}{k-1} \right)$
Θερμότητα που εκλύεται ή απορροφάται:	$(q_{12})_{\text{ov}} = u_{12} - (w_{12})_{\text{ov}} = 0$
Μεταβολή Εσωτερικής Ενέργειας:	$u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1)$
Μεταβολή Ενθαλπίας:	$h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1)$
Μεταβολή Εντροπίας:	$s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq_{\text{ov}}}{T} = 0$



ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Επιτρέπεται να έχετε τους πίνακες των ιδιοτήτων κορεσμένου νερού, κορεσμένου ατμού και υπέρθερμου ατμού.