

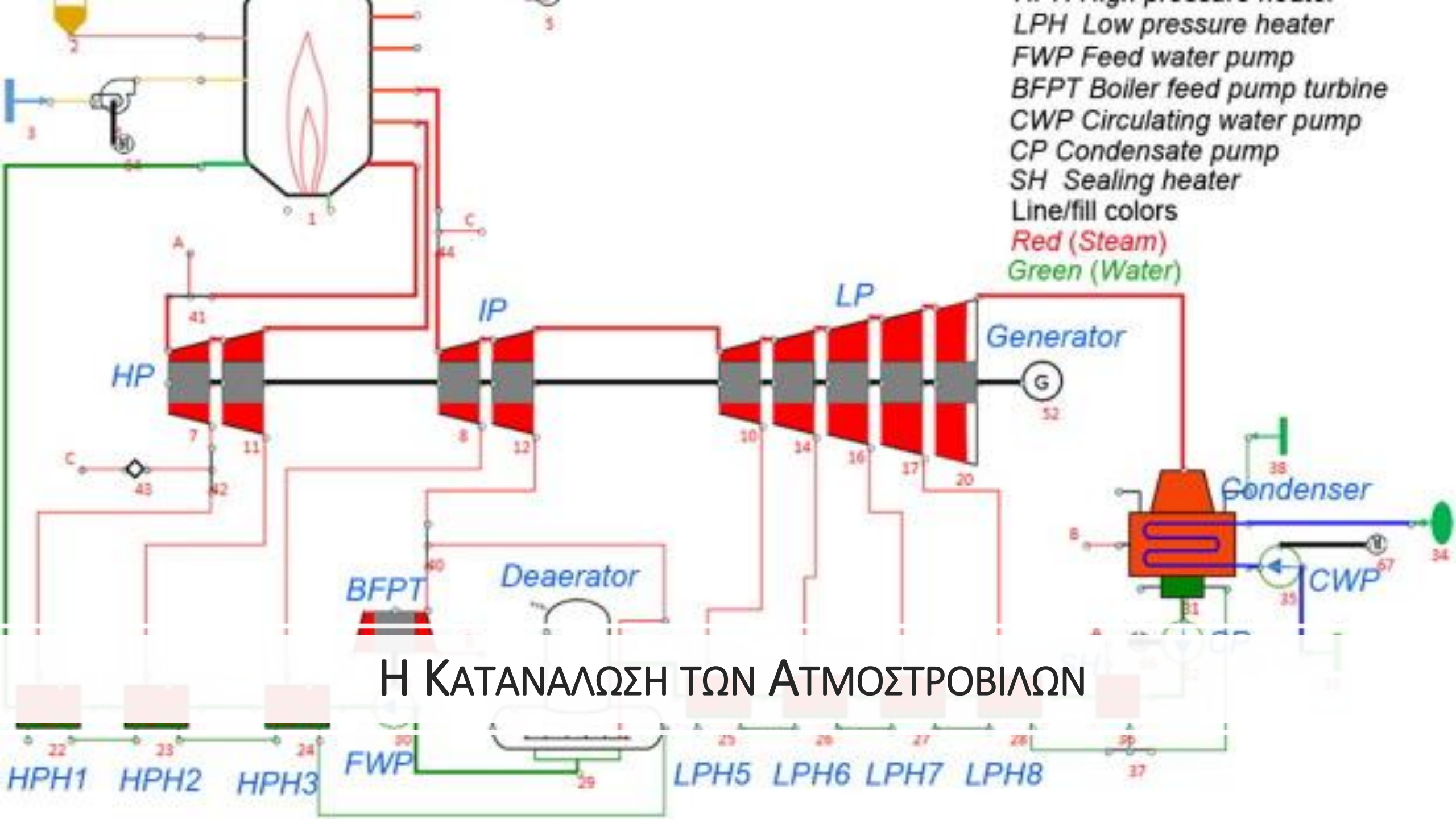


ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Νίκος Μ. Κατσουλάκος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.



LPH Low pressure heater
 FWP Feed water pump
 BFPT Boiler feed pump turbine
 CWP Circulating water pump
 CP Condensate pump
 SH Sealing heater
 Line/fill colors
 Red (Steam)
 Green (Water)

Η ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

HPH1 HPH2 HPH3 FWP LPH5 LPH6 LPH7 LPH8

Κατανάλωση στροβίλου σε ατμό



- Η πραγματική ειδική κατανάλωση ατμού του στροβίλου προκύπτει εάν διαιρέσουμε τη ροή ατμού (G σε kg/sec) με την πραγματική ισχύ στον άξονα.
- Μετρείται σε μάζα ανά μονάδα ενέργειας, δηλαδή σε kg/kWh

$$b_s = \frac{G}{P_{\Pi}}$$

- Εάν η ισεντροπική πτώση ενθαλπίας από την είσοδο στην έξοδο είναι Δh_{θ} (βάσει όσων παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο της ισχύος) και $\eta_{ολ}$ είναι ο συνολικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου, τότε η ειδική κατανάλωση θα είναι:

$$b_s = \frac{3600}{\Delta h_{\theta} \cdot \eta_{ολ}} \quad \text{Σε kg ατμού/kWh}$$

Ενδεικτικά μεγέθη

Η πραγματική ειδική κατανάλωση σε ατμό κυμαίνεται:

- Από 2,5 έως 6 kg/kWh στους ατμοστροβίλους
- Από 11 έως 15 kg/kWh στους στροβίλους βοηθητικών μηχανημάτων

Για να μετρηθεί η πραγματική ειδική κατανάλωση, με δεδομένη ισχύ και σταθερές συνθήκες ατμού και συμπυκνωτή, γίνεται συλλογή του συμπυκνώματος σε ορισμένο χρόνο.

Κατανάλωση στροβίλου σε καύσιμα

- Η ειδική κατανάλωση σε καύσιμο παριστάνεται με K και μετρείται σε μάζα ανά μονάδα ενέργειας, δηλαδή σε g ή kg/kWh
- Πολλαπλασιάζοντας την ειδική κατανάλωση με την πραγματική ισχύ, προκύπτει η ωριαία κατανάλωση καυσίμου K_ω

$$K_\omega = K \cdot P_{\Pi} \quad \text{Σε g ή kg καυσίμου/h}$$

- Εάν ο στρόβιλος λειτουργεί για t ώρες, η συνολική κατανάλωση θα είναι το γινόμενο της ωριαίας επί το χρόνο λειτουργίας
- Η ειδική κατανάλωση συνδέεται, προφανώς, με την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου και στο **συνολικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης (η_σ)** στον οποίο συμπεριλαμβάνεται και ο βαθμός απόδοσης του λέβητα.

$$K = \frac{3600}{H_K \cdot \eta_\sigma} \quad \begin{array}{l} \text{Σε kg καυσίμου/kWh} \\ \text{Με τη θερμογόνο ικανότητα σε kJ/kg} \end{array}$$

Ενδεικτικά μεγέθη

Η ειδική κατανάλωση σε καύσιμο κυμαίνεται:

- Από 280 έως 340 g/kWh στους ατμοστροβίλους, με καύσιμο πετρέλαιο



Θερμογόνος ικανότητα

Η θερμότητα που εκλύεται κατά την τέλεια καύση της μονάδας βάρους ενός στερεού ή υγρού καυσίμου ονομάζεται θερμογόνος δύναμη ή θερμογόνος ικανότητα σε kJ/kg (SI).

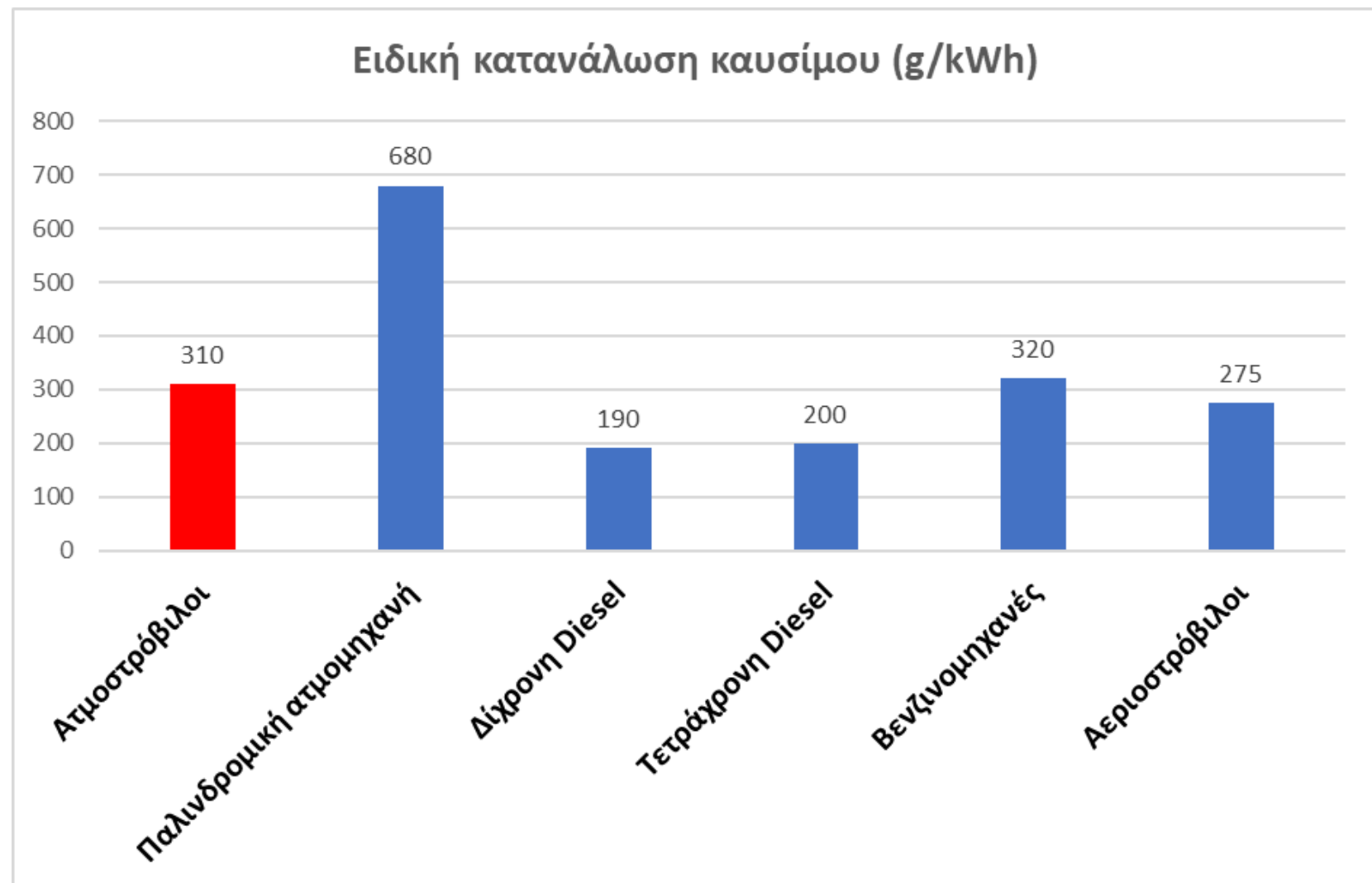
Κατάσταση H ₂ O στα καυσαέρια	Συνθήκες Καύσης	
	Σταθερός όγκος	Σταθερή Πίεση
Υγρό	Ανώτερη Θ.Ι. υπό σταθερό όγκο, H _o ^v	Ανώτερη Θ.Ι. υπό σταθερή πίεση, H _o ^p
Ατμός	Κατώτερη Θ.Ι. υπό σταθερό όγκο, H _u ^v	Κατώτερη Θ.Ι. υπό σταθερή πίεση, H _u ^p

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

- Βενζίνη: 46.000 kJ/kg
- Diesel: 44.000 kJ/kg
- Μαζούτ: 41.000 kJ/kg
- Φυσικό αέριο: 47.000 kJ/kg
- Ξύλο: 15.000 kJ/kg
- Λιγνίτης: 10.000 kJ/kg

Σε κινητήρες Diesel, στροβιλοκινητήρες ή λέβητες, όπου η καύση γίνεται υπό σταθερή πίεση, χρησιμοποιούμε κυρίως την κατώτερη Θ.Ι. υπό σταθερή πίεση

Σύγκριση ατμοστρόβιλων με άλλες θερμικές μηχανές



Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση (I)

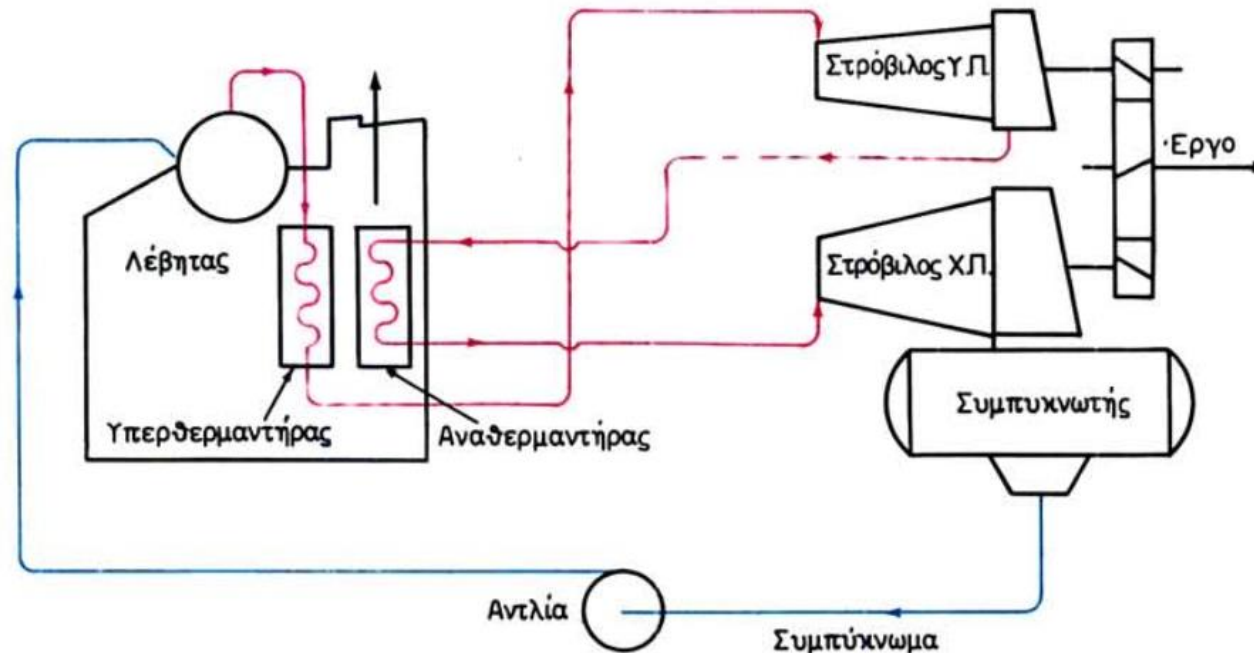
ΧΡΗΣΗ ΥΨΗΛΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΠΙΕΣΕΩΣ

- Όταν η αρχική πίεση είναι υψηλή, μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερος βαθμός εκτονώσεως
- Υψηλός βαθμός εκτονώσεως οδηγεί σε αύξηση του βαθμού απόδοσης
- Η πίεση εισαγωγής του ατμού δεν πρέπει να διαφέρει σημαντικά από την πίεση του λέβητα, ώστε να μη χρειαστεί στραγγαλισμός που μειώνει το βαθμό απόδοσης
- Ενδεικτικά μεγέθη για στροβίλους πλοίων με αναθέρμανση:
 - ✓ Πίεση εισαγωγής: **100 bar**
 - ✓ Θερμοκρασία εισαγωγής (υπέρθερμος ατμός): **600° C**

Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση (II)

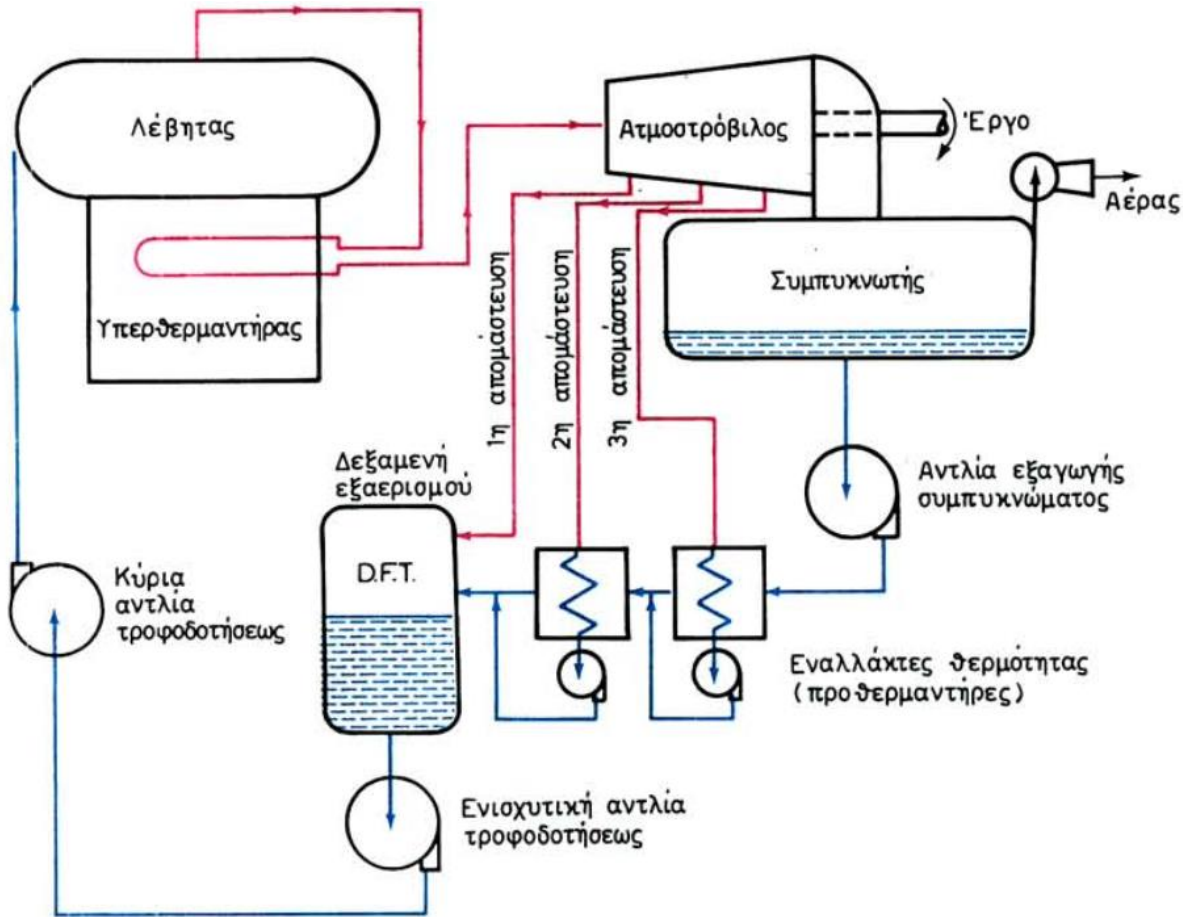
ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΥ ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗ ΑΤΜΟΥ

- Ο υπέρθερμος ατμός έχει μεγαλύτερη ενθαλπία από τον αντίστοιχο κορεσμένο και δεν παρουσιάζει σημαντική υγροποίηση όταν χρησιμοποιείται στους στρόβιλους
- Επιδιώκεται η υγρασία του ατμού κατά την έξοδο από τις βαθμίδες χαμηλής πίεσης να μην υπερβαίνει το 10-12%.
- Για κάθε 6°C αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού εκτιμάται ότι η κατανάλωση μειώνεται κατά 1%. Για αύξηση της υγρασίας κατά 1% εκτιμάται ότι η κατανάλωση αυξάνεται κατά 1,2%



Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση (III)

Η ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗ



- Η απομάστευση εφαρμόζεται με τη μορφή της πολυσταδιακής προθέρμανσης του νερού
- Δύο προθερμαντήρες νερού μπορούν να προσφέρουν 5% εξοικονόμηση στην κατανάλωση, ενώ τρεις προθερμαντήρες 6% εξοικονόμηση.
- Επίσης, μέσω της απομάστευσης επιτυγχάνεται μείωση της υγρασίας στις τελευταίες βαθμίδες του ατμοστροβίλου

Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση (IV)

ΤΟ ΚΕΝΟ

- Η απόδοση των ατμοστροβίλων αυξάνεται όταν στην έξοδο προς το συμπυκνωτή έχουμε σημαντική μείωση της πίεσης, η οποία μπορεί να πλησιάσει έως και κατά 99,5% το κενό
- Επιτυγχάνεται με την προσθήκη εκτονωτικών βαθμίδων στη χαμηλή πίεση
- Αύξηση του κενού κατά 1% (εντός της περιοχής 91-99%), ελαττώνει αντίστοιχα κατά 1% την κατανάλωση καυσίμου

Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση (V)

Η ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

- Είναι σημαντικό να περιορίζονται οι συναλλαγές θερμότητας του ατμοστροβίλου με το περιβάλλον (όσο λιγότερες οι απώλειες θερμότητας, τόσο η διεργασία της εκτόνωσης του ατμού προσομοιάζει προς αδιαβατική)
- Αυτό επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης μόνωσης
- Παλιότερα χρησιμοποιούνταν αμίαντος, πλέον προτιμούνται άλλα ανόργανα μονωτικά με αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, όπως ο υαλοβάμβακας.
- Επιπλέον, η θερμομόνωση μειώνει τις υγροποιήσεις, προστατεύει το προσωπικό από εγκαύματα και βοηθά στο να μην αυξάνεται η θερμοκρασία του χώρου, στον οποίο τοποθετείται ο ατμοστρόβιλος



ΑΣΚΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

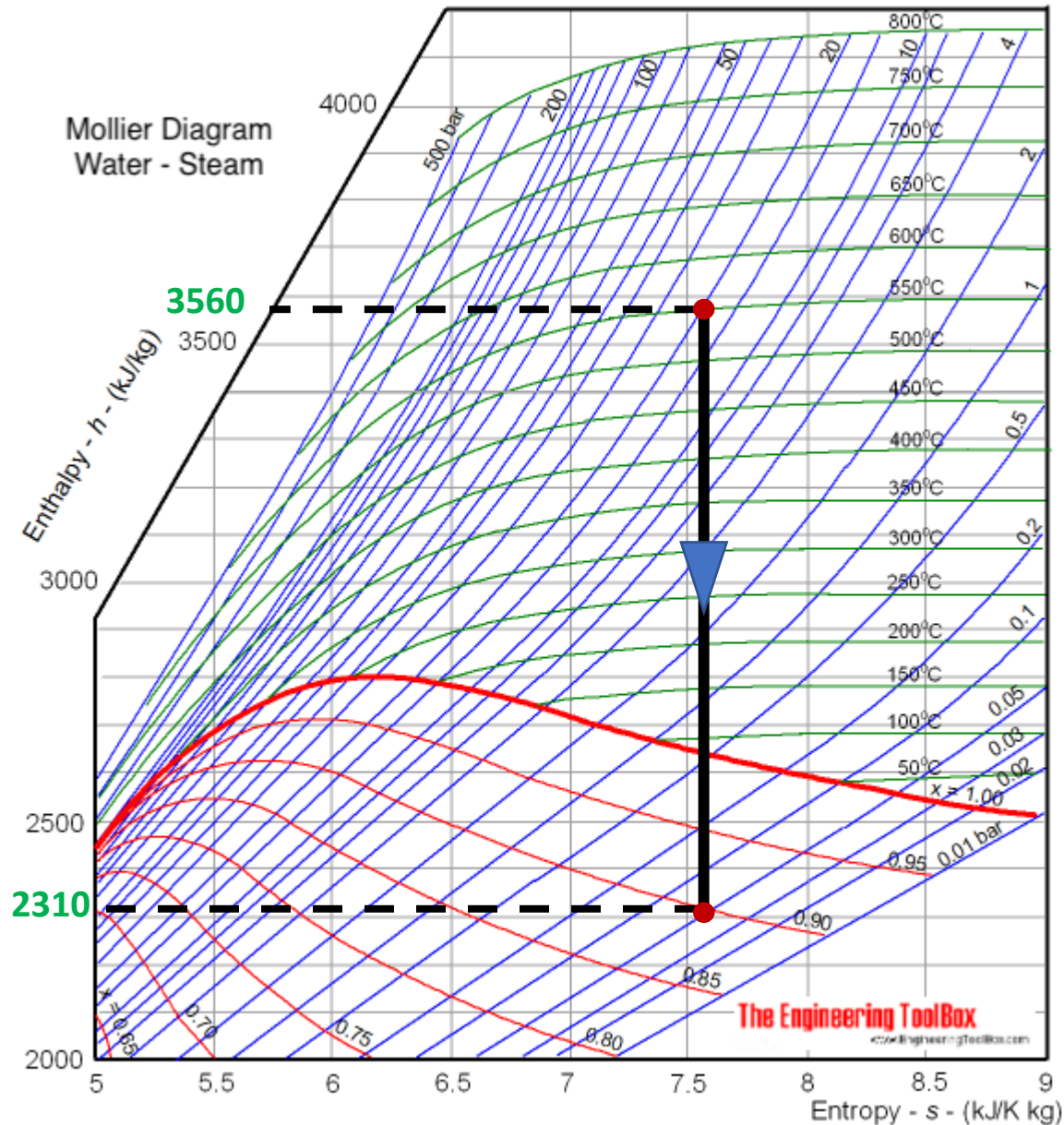
Ένας ατμοστρόβιλος έχει πραγματική ισχύ 2.800 kW. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι 88% και ο μηχανικός βαθμός απόδοσης είναι 93%. Η είσοδος του ατμού γίνεται σε θερμοκρασία 550° C και πίεση 20bar. Η έξοδος γίνεται σε συμπυκνωτή με κενό 95% (θεωρήστε ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 100kPa). Η ειδική κατανάλωση καυσίμου του ατμοστροβίλου είναι 300 g/kWh. Στην εγκατάσταση χρησιμοποιείται ως καύσιμο πετρέλαιο με κατώτερη θερμογόνο ικανότητα 45.000 kJ/kg.

- A) Ποια είναι η ποσότητα ατμού που διέρχεται από το στρόβιλο;
- B) Πόση είναι η ειδική κατανάλωση ατμού του στροβίλου;
- Γ) Ποιος είναι ο συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης;

Εύρεση πίεσης εξόδου

Ο συμπυκνωτής λειτουργεί σε κενό 95%. Αυτό σημαίνει ότι η πίεσή του είναι το $100 - 95 = 5\%$ της ατμοσφαιρικής.

Η ατμοσφαιρική πίεση δίνεται ίση με $100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$. Συνεπώς η πίεση εξόδου είναι $0,05 * 1 = 0,05 \text{ bar}$



Χρήση διαγράμματος h - S νερού - ατμού (Mollier) για εύρεση διαφοράς ενθαλπίας

A) Εύρεση σημείων εισόδου και εξόδου

Είσοδος: συνδυάζω καμπύλη πίεσης και καμπύλη θερμοκρασίας

Έξοδος: κινούμαι στον κατακόρυφο άξονα (ισεντροπικά) από τον πρώτο σημείο μέχρι να «κόψω» την καμπύλη πίεσης εξόδου

Από τα σημεία εισόδου και εξόδου φέρω παράλληλες στον οριζόντιο άξονα μέχρι να «κόψω» τον άξονα της ενθαλπίας

Η διαφορά ενθαλπίας είναι:

$$\Delta h_{\theta} = 3560 - 2310 = 1250 \text{ kJ/kg}$$

Εύρεση θεωρητικής ισχύος

Βάσει των ορισμών και των μαθηματικών σχέσεων που παρουσιάστηκαν στο 18^ο κεφάλαιο, η θεωρητική ισχύς προκύπτει από την πραγματική ως εξής:

$$P_{\Theta} = \frac{P_{\Pi}}{\eta_{\varepsilon} \cdot \eta_{\mu}} = \frac{2800}{0,88 * 0,93} = 3.421kW$$

Εύρεση ποσότητας ατμού (ερώτημα Α)

Από τον ορισμό της θεωρητικής ισχύος έχουμε:

$$P_{\Theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\Theta}}{3600}$$

Συνεπώς:

$$G = \frac{3600 \cdot P_{\Theta}}{\Delta h_{\Theta}} = \frac{3600 \cdot 3421}{1250} = 9.852,5kg/h$$

Εύρεση ειδικής κατανάλωσης ατμού (ερώτημα Β)

Από τον ορισμό της ειδικής κατανάλωσης ατμού έχουμε:

$$b_s = \frac{G}{P_{\Pi}} = \frac{9852,5}{2800} = 1,38 \text{ kg/kWh}$$

Εύρεση συνολικού βαθμού απόδοσης εγκατάστασης (ερώτημα Γ)

Από τον ορισμό της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου έχουμε:

$$K = \frac{3600}{H_K \cdot \eta_{\sigma}}$$

Συνεπώς:

$$\eta_{\sigma} = \frac{3600}{H_K \cdot K} = \frac{3600}{45000 \cdot 0,3} = 0,27$$