



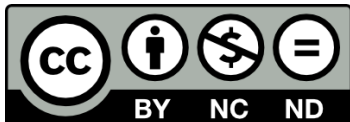
ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ενότητα 6: Ατμογεννήτριες

Χατζηαθανασίου Βασίλειος

Καδή Στυλιανή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



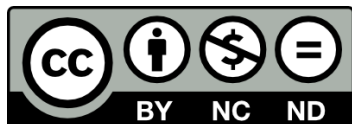
Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Ατμογεννήτριες



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Ταξινόμηση ατμογεννητριών
2. Βαθμός απόδοσης
3. Υπολογισμός θερμικών απωλειών



Ατμογεννήτριες (1/2)

- Η ατμογεννήτρια (λέβητας) είναι το μεγαλύτερο τμήμα του εξοπλισμού, μιας εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που καίει στερεό καύσιμο. Σκοπός της είναι, η μετατροπή της χημικής ενέργειας των καυσίμων σε μορφή ενέργειας ευκολότερα ελεγχόμενη και χρησιμοποιούμενη.



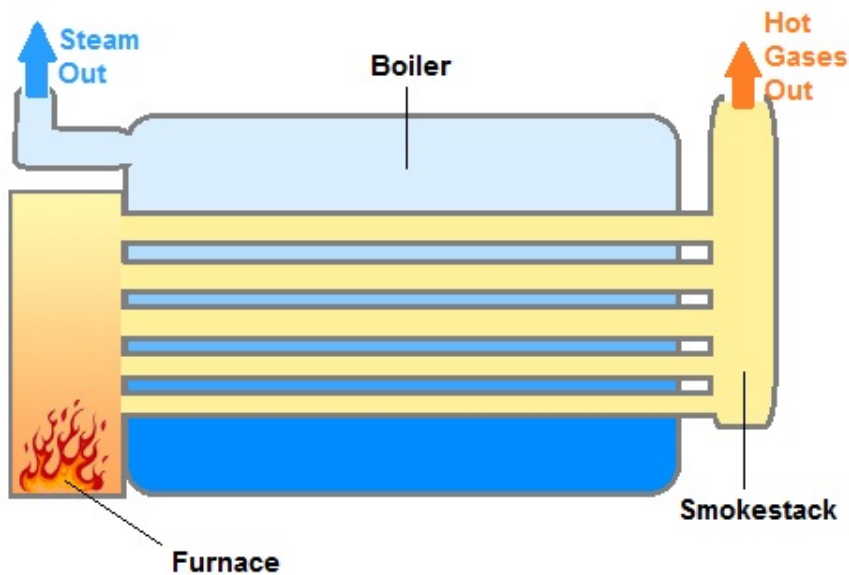
Ατμογεννήτριες (2/2)

Σύντομη περιγραφή λειτουργίας:

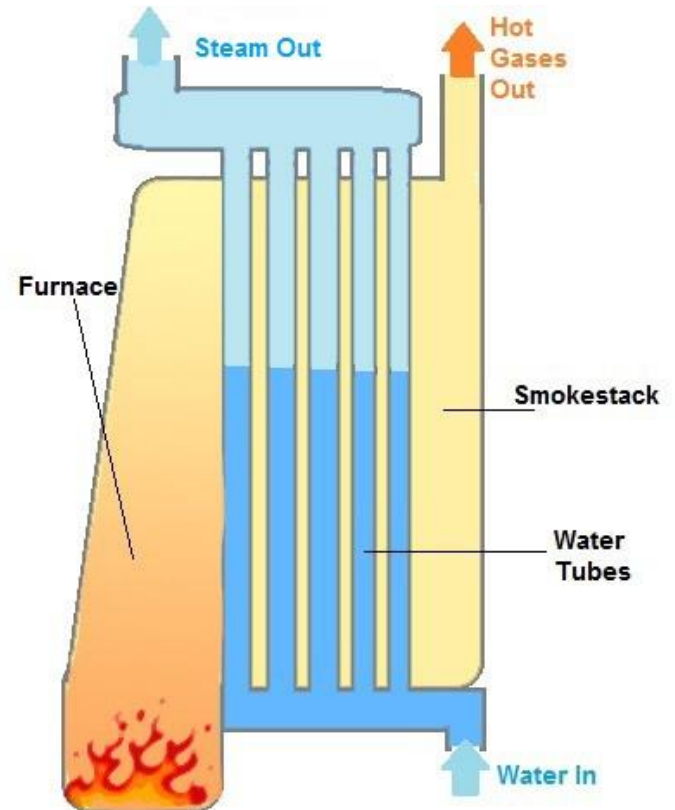
- Βασικά δίκτυα σε μία ατμογεννήτρια:
 - το δίκτυο αέρα καύσης - καυσαερίων.
 - το δίκτυο νερού - ατμού.
- Από το συνδυασμό των δικτύων αυτών προκύπτουν οι δύο βασικοί τύποι ατμογεννητριών: οι φλογαυλωτές και οι υδραυλωτές.



Φλογαυλωτοί και υδραυλωτοί λέβητες



Εικόνα 1: Φλογαυλωτός λέβητας



Εικόνα 2: Υδραυλωτός λέβητας



Φλογαυλωτοί Λέβητες

Αρχικά ένας σωλήνας.

- **Περιορισμοί:**

- μέγεθος (μικρή θερμαινόμενη επιφάνεια, μικρή πίεση ατμού).
- χαμηλός βαθμός ασφάλειας (διαρροή στο σωλήνα – ακαριαία δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων ατμού – έκρηξη).



Υδραυλωτοί Λέβητες

Πλεονεκτήματα (1/2)

- Μεγάλη θερμαινόμενη επιφάνεια ανά μονάδα όγκου περιεχομένου νερού με συνέπεια μεγάλη ατμοπαραγωγή για μικρό σχετικά όγκο εγκατάστασης.
- Μικρός χρόνος ατμοποίησης.
- Μεγάλη πίεση ατμού, γιατί απαιτούνται μικρά σχετικά πάχη τοιχωμάτων σωλήνων λόγω της μικρής διαμέτρου αυτών.
- Ελαστικότητα κατασκευής και δυνατότητα μεγάλων θερμικών φορτίσεων με ασφάλεια.



Υδραυλωτοί Λέβητες

Πλεονεκτήματα (2/2)

- Αύξηση του βαθμού απόδοσης, επειδή επιτυγχάνεται πληρέστερη εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων. Βελτίωση του θερμοδυναμικού βαθμού απόδοσης ολοκλήρου του κύκλου (λέβητας-στρόβιλος) λόγω αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας του παραγόμενου ατμού.
- Μικρότερο κόστος κατασκευής, επειδή το υλικό από το οποίο κυρίως αποτελείται ο λέβητας (σωλήνες χωρίς ραφή κατασκευασμένοι με εξέλαση) είναι φθηνό.



Εξέλιξη του υδραυλωτού Λέβητα (1/2)

- Προσθήκες:
 - υπερθερμαντής.
 - οικονομητήρας.
 - προθερμαντής αέρα.
 - αναθερμαντής.



Εξέλιξη του υδραυλωτού Λέβητα (2/2)

- Θεμελιώδης αλλαγή: υδροτοίχωμα.
- Το νερό στο εσωτερικό του υδροτοιχώματος, εξυπηρετεί δυο σκοπούς:
 - την ψύξη των τοιχωμάτων της εστίας και
 - την ατμοποίηση του νερού τροφοδοσίας του λέβητα.

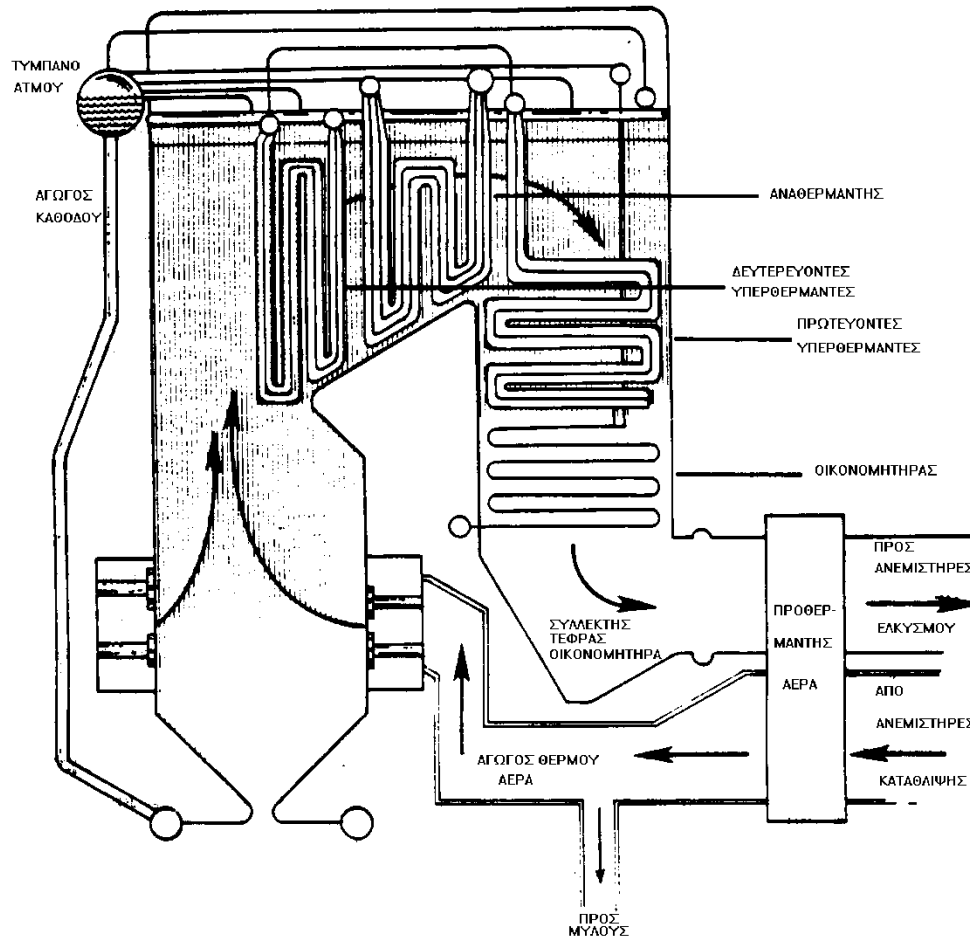


Ταξινόμηση ατμογεννητριών

- Ανάλογα με:
 - τη γεωμετρική τους μορφή.
 - τον τρόπο κυκλοφορίας του νερού.
- Ατμογεννήτριες:
 - με μια (1) ή δύο (2) διαδρομές καυσαερίου.
 - φυσικής ή βεβιασμένης κυκλοφορίας νερού.
 - μιας διαδρομής νερού.



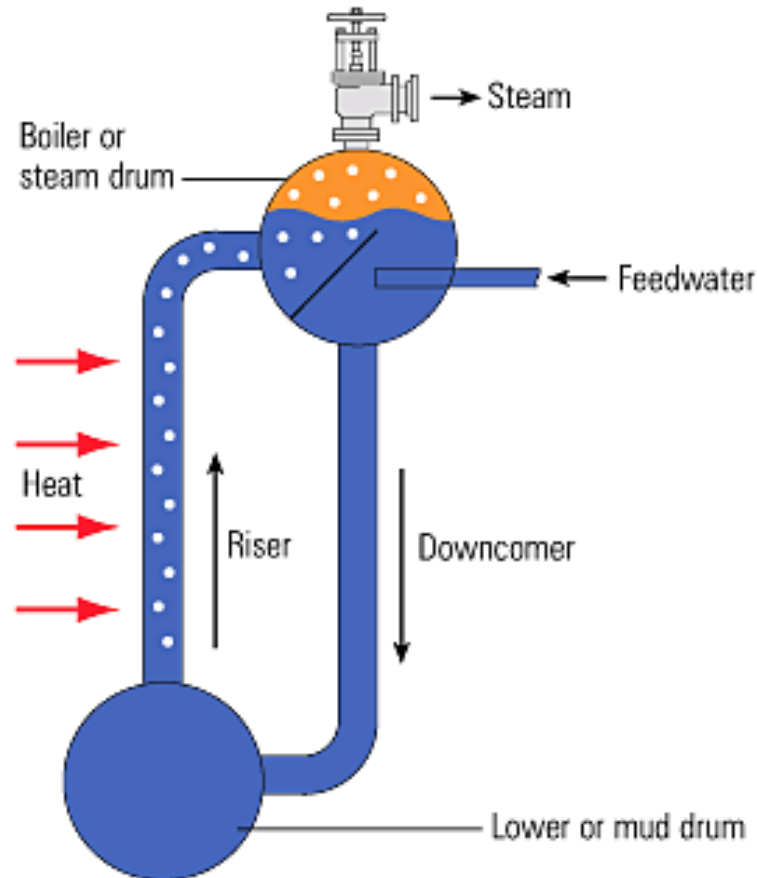
Ατμογεννήτρια με δύο διαδρομές καυσαερίου



Εικόνα 3: Ατμογεννήτρια
με δύο διαδρομές καυσαερίου



Ατμογεννήτρια φυσικής κυκλοφορίας (1/2)



Εικόνα 4: Ατμογεννήτρια φυσικής κυκλοφορίας

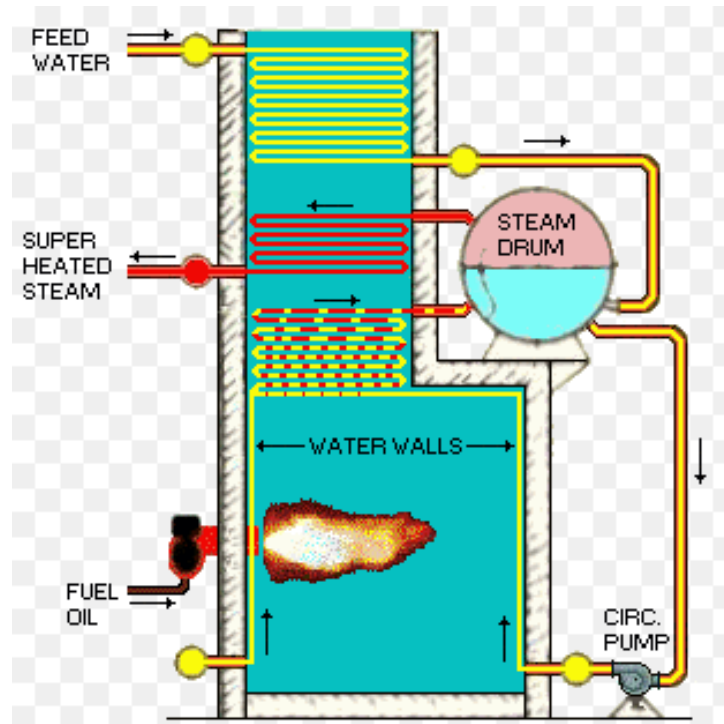


Ατμογεννήτρια φυσικής κυκλοφορίας (2/2)

- Ύψος : 45- 60 m.
- Πίεση λειτουργίας: 175 bar, μικρότερη από την κρίσιμη.
- Τύμπανο: διαχωρισμός ατμού.
- 25% ατμοποίηση.



Ατμογεννήτρια εξαναγκασμένης ροής (1/2)



Εικόνα 5: Ατμογεννήτρια εξαναγκασμένης ροής



Ατμογεννήτρια εξαναγκασμένης ροής (2/2)

- Για πίεση μεγαλύτερη των 160 bar αδύνατη η φυσική κυκλοφορία οπότε χρησιμοποιείται αντλία (μέχρι 210 bar).
- Καλύτερος έλεγχος λειτουργίας.
- Σημαντική η φυσική κυκλοφορία.
- Υψηλότερες πιέσεις ($115 < P < 195$ bar).

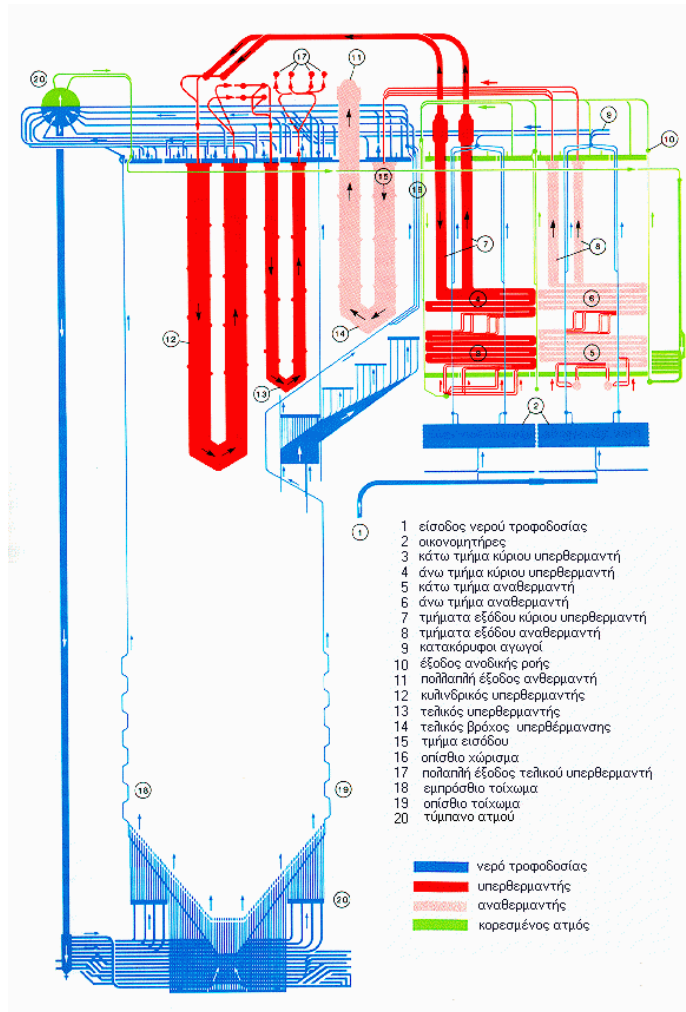


Ατμογεννήτρια εξαναγκασμένης ροής (μιας διαδρομής)

- Δεν υπάρχει ανακυκλοφορία νερού στο σύστημα ατμοποίησης, αλλά όλη η ποσότητα του τροφοδοτικού νερού που εισέρχεται στο λέβητα ατμοποιείται.



Σύγχρονες ατμογεννήτριες



Εικόνα 6: Σύγχρονη ατμογεννήτρια

Βαθμός Απόδοσης Λέβητα (1/6)

$$\eta_B = \frac{Q_{\varpi\varphi}}{\dot{Q}} \times 100$$

$$\eta_B = \frac{\dot{m}_s (h_2 - h_1) + \dot{m}_{rh} (h_4 - h_3)}{\dot{m}_B \cdot H_u} \times 100$$



Βαθμός Απόδοσης Λέβητα (2/6)

- h_1 = ειδική ενθαλπία του εισερχόμενου νερού τροφοδοσίας του λέβητα, kJ/kg
- h_2 = ειδική ενθαλπία του εξερχόμενου ατμού από τον υπερθερμαντή, kJ/kg
- h_3 = ειδική ενθαλπία του εισερχόμενου ατμού στον αναθερμαντή, kJ/kg
- h_4 = ειδική ενθαλπία του εξερχόμενου ατμού από τον αναθερμαντή, kJ/kg
- H_u = κατώτερη θερμογόνοος δύναμη του καυσίμου, kJ/kg
- \dot{m}_B = παροχή καυσίμου, kg/h
- \dot{m}_s = παροχή ατμού στον υπερθερμαντή, kg/h
- \dot{m}_{rh} = παροχή ατμού που αναθερμαίνεται, kg/h



Βαθμός Απόδοσης Λέβητα (3/6)

$$\dot{Q}_{\omega\varphi} = \dot{Q} - \Sigma\dot{Q}_i$$

$$\eta_B = \frac{\dot{Q}_{\omega\varphi}}{\dot{Q}} \times 100 = \frac{\dot{Q} - \Sigma\dot{Q}_i}{\dot{Q}} \times 100$$

$$\eta_B = \frac{\dot{m}_B \cdot H_u - \dot{m}_B \cdot \Sigma q_i}{\dot{m}_B \cdot H_u} \times 100 = \frac{H_u - \Sigma q_i}{H_u} \times 100$$



Βαθμός Απόδοσης Λέβητα (4/6)

- Αν θέσουμε:
$$\frac{q_i}{H_u} \cdot 100 = \sigma_i$$

τότε:
$$\eta_B = 100 - \sum \sigma_i$$



Βαθμός Απόδοσης Λέβητα (5/6)

- Οι θερμικές απώλειες του λέβητα διακρίνονται σε:
 - q_d : απώλειες θερμότητας, εξαιτίας του καυσίμου που διαφεύγει από τα διάκενα της σχάρας και πέφτει στην τεφροδόχη, χωρίς να καεί.
 - q_s : απώλειες θερμότητας από κατάλοιπα του καυσίμου που βρίσκονται μέσα στην τέφρα πυθμένα, στο τέλος της καύσης.
 - q_f : απώλειες θερμότητας, εξαιτίας των ακαύστων στην ιπτάμενη τέφρα.



Βαθμός Απόδοσης Λέβητα (6/6)

- Q_{β} : απώλειες θερμότητας, εξαιτίας της περιεκτικότητας του καυσαερίου, σε ορισμένα καύσιμα αέρια που προήλθαν από το καύσιμο αλλά δεν έχουν καεί πλήρως.
- Q_g : απώλειες θερμότητας εξαιτίας της (σχετικά) υψηλής θερμοκρασίας του καυσαερίου, με την οποία αυτό εγκαταλείπει το λέβητα και βγαίνει στην ατμόσφαιρα.
- Q_q : απώλειες θερμότητας, λόγω της θερμοκρασίας των στερεών ή υγρών καταλοίπων της καύσης.
- q_L : απώλειες θερμότητας, εξαιτίας της ακτινοβολίας και μεταφοράς θερμότητας, από το περίβλημα του λέβητα προς το περιβάλλον.



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (1/11)

Απώλειες εστίας

- Απώλειες σ_s λόγω άκαυστων στην τέφρα πυθμένα:

$$q_s = \frac{g \cdot C_1}{1 - C_1} \cdot a \cdot H_{u_1}$$

$$\sigma_s = \frac{q_s}{H_u} \cdot 100 = \frac{g \cdot C_1}{1 - C_1} \cdot a \cdot \frac{H_{u_1}}{H_u} \cdot 100\%$$



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (2/11)

- H_{u_1} : η θερμογόνος δύναμη των άκαυστων στην τέφρα πυθμένα, kJ/kg.
- H_u : κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου, kJ/kg.
- g : ποσοστό τέφρας πυθμένα στο σύνολο της περιεχόμενης στο καύσιμο τέφρας.
- a : ποσοστό τέφρας στο καύσιμο.
- C_1 : περιεκτικότητα σε άκαυστα της τέφρας πυθμένα.



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (3/11)

- Απώλειες σ_f λόγω άκαυστων στην ιπτάμενη τέφρα:

$$q_f = \frac{i \cdot C_2}{1 - C_2} \cdot a \cdot 33900$$

$$\sigma_f = \frac{q_f}{H_u} \cdot 100 = \frac{i \cdot C_2}{1 - C_2} \cdot a \cdot \frac{33900}{H_u} \cdot 100\%$$



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (4/11)

- i : ποσοστό ιπτάμενης τέφρας στο σύνολο της περιεχόμενης στο καύσιμο τέφρας.
- C_2 : περιεκτικότητα σε άκαυστα της ιπτάμενης τέφρας.



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (5/11)

- Απώλειες σ_β λόγω άκαυστων αερίων στο καυσαέριο:

$$\sigma_\beta = \frac{12644}{H_u} - \frac{y_{co} \cdot C}{0,536(y_{co_2} + y_{co})} \%$$

- y_{co}, y_{co_2} : κατ' όγκο περιεκτικότητα του καυσαερίου σε CO και CO₂ αντίστοιχα.
- C : η περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα.



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (6/11)

- y_{co} : η κατ' όγκο περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO (που προσδιορίζεται π.χ. με την συσκευή Orsat).
- σ_u : η απώλεια του καυσίμου στην εστία.
- V_{gT} : ο όγκος του ξηρού καυσαερίου που προκύπτει από την καύση 1 kg καυσίμου (Nm^3/kg).



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (7/11)

- Από την καύση 1 kg καυσίμου, προκύπτουν:

$$(1 - \sigma_u) \cdot V_{gT} \cdot y_{co} \text{ Nm}^3 \text{ CO} / \text{kg καυσίμου.}$$

Από το ότι η ποσότητα αυτή δεν καίγεται, προκύπτει απώλεια θερμότητας ίση με:

$$\sigma_{co} = \frac{y_{co} \cdot V_{gT} \cdot (1 - \sigma_u)}{H_u} \cdot 12644 \%$$



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (8/11)

$$\sigma_{H_2} = \frac{y_{H_2} \cdot V_{gT} \cdot (1 - \sigma_u)}{H_u} \cdot 10670 \%$$

- Προφανώς:

$$\sigma_\beta = \sigma_{CO} + \sigma_{H_2}$$



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (9/11)

- Ο βαθμός απόδοσης της εστίας προκύπτει προφανώς από τη σχέση:

- $$\eta_E = 100 - (\sigma_d + \sigma_s + \sigma_f + \sigma_\beta) \%$$

- Οι μέσες τιμές του η_E για διάφορες περιπτώσεις είναι:
 - Εστίες κονιοποιημένου άνθρακα: 0,95 - 0,98
 - Εστίες υγρών καυσίμων: 0,98 - 0,99
 - Εστίες αερίου καυσίμου: 1,0
 - Εστίες με μηχανικές σχάρες: 0,90 - 0,96
 - Εστίες με μόνιμες σχάρες: 0,80 - 0,90



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (10/11)

- Απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον με το καυσαέριο:

- $$q_g = m_g (h_{ga} - h_{go}) \quad \sigma_g = \frac{m_g (h_{ga} - h_{go})}{H_u} 100 \%$$

- m_g : η μάζα του καυσαερίου ανά kg καυσίμου.
- h_{ga} : η ενθαλπία του καυσαερίου στην έξοδό του από το λέβητα.
- h_{go} : η ενθαλπία του καυσαερίου στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

- Η τάξη μεγέθους είναι 6 - 15%.



Ανάλυση - Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών (11/11)

- Απώλειες θερμότητας λόγω της θερμοκρασίας των καταλοίπων της καύσης.
 - Αγνοούνται: τάξη μεγέθους 0,2%.
- Απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία.
 - Συνήθως δίνονται από διαγράμματα και είναι συνάρτηση της ονομαστικής και της πραγματικής ατμοπαραγωγής του λέβητα.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Φλογαυλωτός λέβητας:

http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/heat_transfer_equipment/steam_generators_boilers

- Εικόνα 2:

Υδραυλωτός λέβητας:

http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/heat_transfer_equipment/steam_generators_boilers

- Εικόνα 3:

Ατμογεννήτρια : Σελίδα 72, Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Βασίλη Χατζηαθανασίου, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ

- Εικόνα 4:

Ατμογεννήτρια φυσικής κυκλοφορίας: <http://www2.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boiler-house/water-tube-boilers.asp>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

- Εικόνα 5:

Ατμοπαραγωγός εξαναγκασμένης ροής: <http://mechanical-engineering-info.blogspot.gr/2012/03/la-mont-boiler-working-and-construction.html>

- Εικόνα 6:

Σύγχρονη ατμογεννήτρια : Σελίδα 55, Modern Power Station Practice, Boilers and ancillary plant, Volume B, British Electricity International, Pergamon Press



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Καδή Στυλιανή. «ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Ατμογεννήτριες». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS427/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

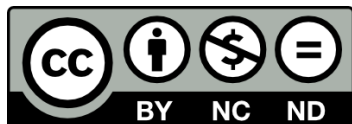
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

