



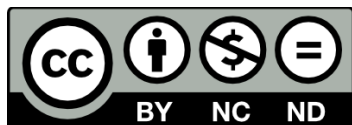
# ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## Ενότητα 7: Βοηθητικά ατμογεννητριών

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



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.



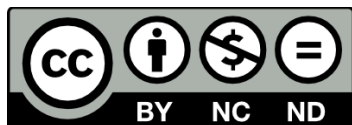
# Χρηματοδότηση

- 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.





# Βοηθητικά ατμογεννητριών



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. Ανεμιστήρες
2. Προθερμαντές αέρα
3. Καπνοδόχος
4. Προθερμαντές νερού
5. Οικονομητήρας
6. Τύμπανο
7. Υπερθερμαντές - αναθερμαντές
8. Ψυγείο

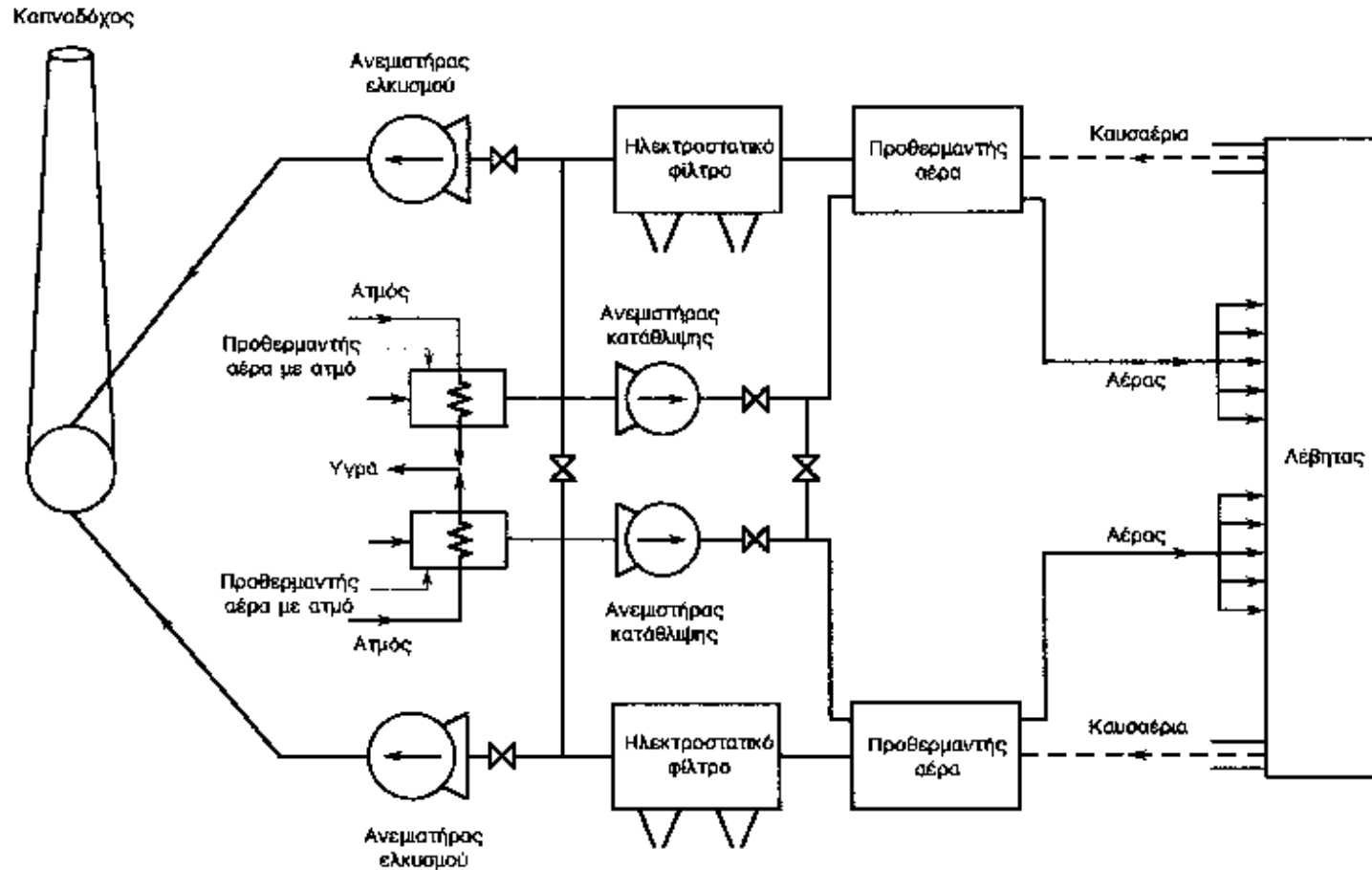


# Δίκτυο αέρα καύσης-καυσαερίων (1/2)

- Ανεμιστήρες κατάθλιψης (FDF, Forced Draught Fan).
- Ανεμιστήρες ελκυσμού (IDF, Induced Draught Fan).
- Προθερμαντής αέρα (air preheater).
- Ηλεκτροστατικά φίλτρα (electrostatic precipitators).
- Καπνοδόχος (stack).



# Δίκτυο αέρα καύσης-καυσαερίων (2/2)



Εικόνα 1: Κύκλωμα αέρα καύσης-καυσαερίων



# Ανεμιστήρες

## Σκοπός:

- τροφοδοσία με πρωτεύοντα και δευτερεύοντα αέρα.
- κονιοποίηση – μεταφορά καυσίμου.
- απομάκρυνση καυσαερίων.
  
- Σύστημα **κατάθλιψης**:  $p > atm$
- Σύστημα **ελκυσμού**:  $p < atm$





# Ανεμιστήρες κατάθλιψης (1/3)

- Στην είσοδο της εγκατάστασης.
- Τροφοδοτούν με αέρα το σύστημα διαχείρισης καυσίμου και το λέβητα.
- Καλύτερη μεταφορά θερμότητας.
- Πιθανή η διαρροή αερίων από το λέβητα (υπερπίεση).

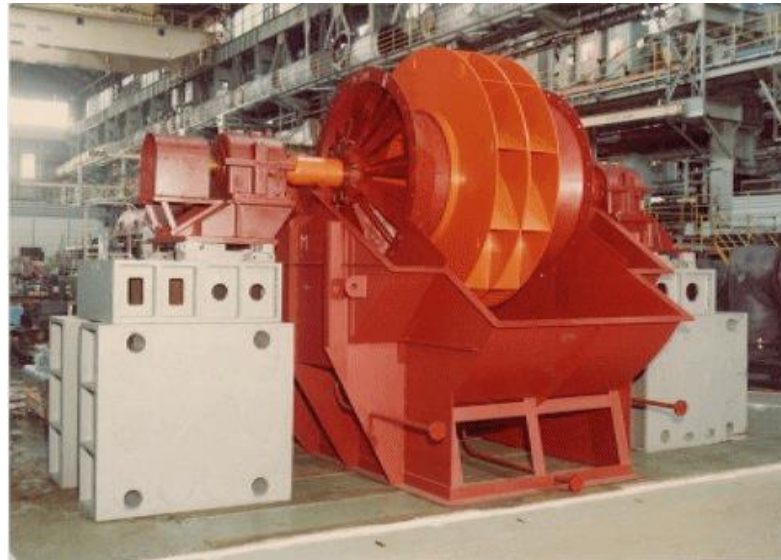


# Ανεμιστήρες κατάθλιψης (2/3)

- Φυγοκεντρικοί ή ελικοειδείς - 1 βαθμίδας.
- Ρύθμιση:
  - στραγγαλισμός.
  - μεταβολή ταχύτητας.
  - μεταβολή κλίσης πτερυγίων.
- Αποδοτικοί - υψηλές ταχύτητες (1500 rpm).



# Ανεμιστήρες κατάθλιψης (3/3)



**Εικόνα 2:** Ανεμιστήρας κατάθλιψης



# Ανεμιστήρες ελκυσμού (1/2)

## Σκοπός:

- Η απαγωγή των καυσαερίων (σε συνδυασμό με τον ελκυσμό της καπνοδόχου).
- Χονδροειδής κατασκευή (λόγω τέφρας και διαβρωτικών ουσιών των καυσαερίων).
- 400-600 rpm.



# Ανεμιστήρες ελκυσμού (2/2)



Εικόνα 3: Ανεμιστήρας ελκυσμού

# Ισχύς ανεμιστήρων

$$P(\text{kW}) = \frac{0.93 \times 10^{-8} V_o T H'_{\text{mm}}}{n_F}$$

- $V_o$  = ογκομετρική παροχή του αερίου (υπό Κ.Σ.),  $\text{m}^3/\text{h}$
- $T$  = απόλυτη θερμοκρασία του αερίου στον ανεμιστήρα,  $\text{K}$
- $H'_{\text{mm}}$  = συνολική πίεση ανεμιστήρα,  $\text{mmH}_2\text{O}$
- $n_F$  = βαθμός απόδοσης ανεμιστήρα



# Προθερμαντές Αέρα (1/5)

- Ψύξη καυσαερίων - θέρμανση αέρα καύσης.
- Λέβητας υπερπίεσης:
  - λιγνίτης με υγρασία - προθέρμανση αέρα καύσης.
- Λέβητες πετρελαίου ή αερίου:
  - μείωση θερμοκρασίας καυσαερίων.
- Κονιοποιημένα καύσιμα:
  - ανάφλεξη - καύση - ξήρανση – μεταφορά.



# Προθερμαντές Αέρα (2/5)

- Είσοδος καυσαερίων: 300 - 400°C.
- Έξοδος καυσαερίων : 120 - 180°C.
- Καυσαέρια: μείωση θερμοκρασίας 20-25°C προκαλεί αύξηση κατά 1% στο βαθμό απόδοσης του λέβητα.
- 8-10% εξοικονόμηση καυσίμου για αύξηση θερμοκρασίας αέρα καύσης 150 - 200°C.
- Καύση φτωχών καυσίμων.





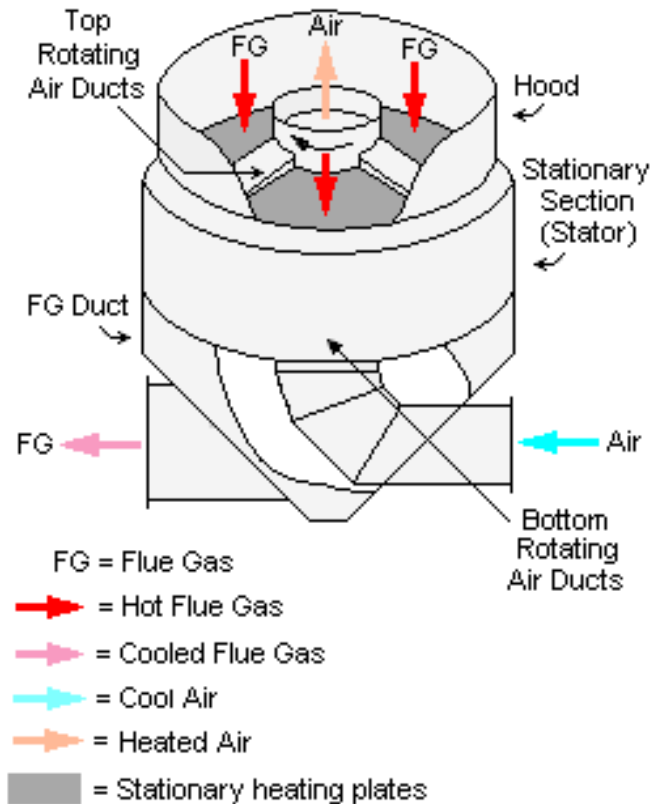
# Προθερμαντές Αέρα (3/5)

## Αεροθερμαντές ανάκτησης:

- Με επίπεδα στοιχεία.
- Σωληνωτοί:
  - 3 - 10 m.
  - 50 - 75 mm.
- Περιοχή εξόδου:
  - διάβρωση (υγρασία).
  - επικαθίσεις τέφρας.
- Προθέρμανση αέρα με ατμό.
- Δυο τμήματα.



# Προθερμαντές Αέρα (4/5)



Εικόνα 4: Τυπικός προθερμαντής αέρα

# Προθερμαντές Αέρα (5/5)

## Αναγεννητικοί:

- Μεγαλύτερη απόδοση - όχι τέφρα.
- Ljungstrom: περιστρεφόμενο - σταθερό τμήμα.



# Καπνοδόχος (1/3)

- Διάχυση - αποβολή καυσαερίων.
- Οικονομοτεχνικά και οικολογικά κριτήρια.
- Ελκυσμός: διαφορά πιέσεων.
- Διατομή:
  - ογκομετρική παροχή.
  - θερμοκρασία εξόδου.
  - ταχύτητα (5-9 m/sec).



# Καπνοδόχος (2/3)

$$\text{Διατομή: } S = \frac{\dot{m}_B \cdot \dot{V}_G (1 + 0.00367T)}{3600v}$$

- $S$  = διατομή της καπνοδόχου,  $m^2$
- $\dot{m}_B$  = παροχή καυσίμου,  $kg/h$
- $\dot{V}_G$  = ογκομετρική παροχή καυσαερίων ανά  $kg$  καυσίμου,  $m^3/kg$
- $v$  = ταχύτητα καυσαερίων (5 ως 9  $m/sec$ )
- $T$  = θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο της καπνοδόχου,  $^{\circ}C$



# Καπνοδόχος (3/3)



**Εικόνα 5:** Καπνοδόχος



# Δίκτυο νερού-ατμού

- Προθερμαντές νερού.
- Αντλίες τροφοδοσίας λέβητα.
- Οικονομητήρας.
- Σύστημα ατμοποίησης.
- Διαχωριστής (Τύμπανο).
- Υπερθερμαντές – Αναθερμαντές.
- Συμπυκνωτής.



# Προθερμαντές νερού

- Σκοπός:
  - βελτίωση βαθμού απόδοσης (θέρμανση νερού).
  - περιορισμός θερμικών διακυμάνσεων.
- Τύποι:
  - κλειστοί ή επιφανειακοί.
  - ανοικτοί ή άμεσης επαφής.
  - απαερωτές.





# Προθερμαντές νερού (1/3)

- Κλειστοί:
  - εναλλάκτες αυλών κελύφους.
  - το νερό στους αυλούς - ο ατμός στο κέλυφος.
  - Χ.Π.: πριν την αντλία,  $< 6 \text{ MPa}$ .
  - Υ.Π.: μετά την αντλία,  $10 \text{ MPa}$  κρίσιμη.
- Ανοικτοί:
  - ανάμιξη ατμού – νερού (ψεκασμός νερού).
  - περιορισμένη εφαρμογή (σε μικρές εγκαταστάσεις).

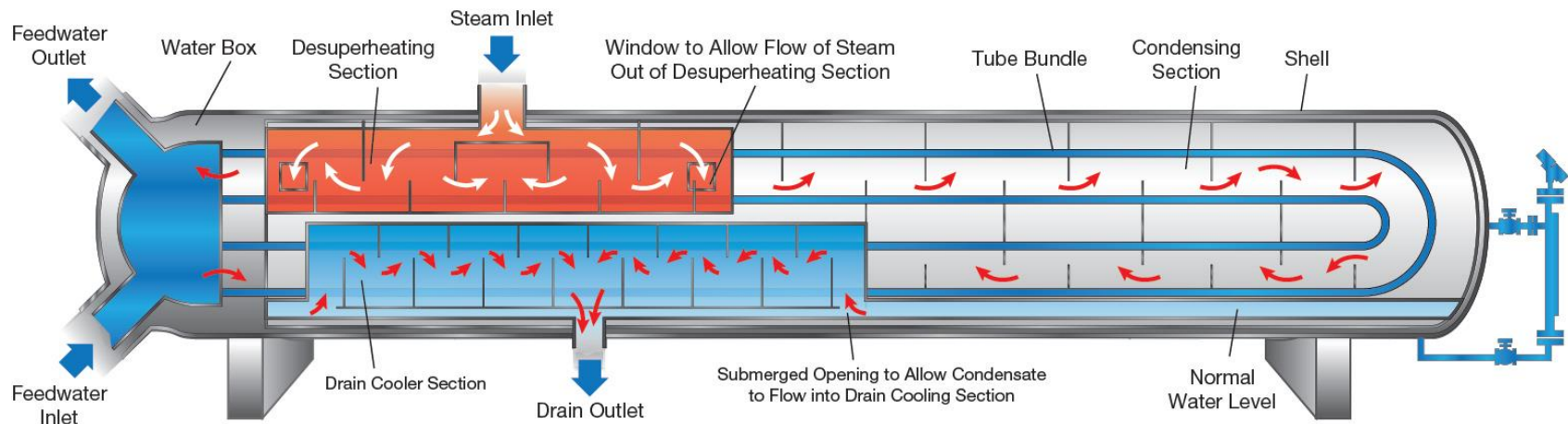


# Προθερμαντές νερού (2/3)

- Απαερωτές:
  - ανοικτοί.
  - απομάκρυνση  $O_2$  και  $CO_2$  (θέρμανση μέχρι τη θερμοκρασία κορεσμού - διαλυτότητα μηδέν).
  - πίεση λίγο μεγαλύτερη 1 atm.
- 2-4 κλειστοί Χ.Π.- 1 ανοικτός –  
2-3 κλειστοί Υ.Π.



# Προθερμαντές νερού (3/3)



Εικόνα 6: Προθερμαντής νερού



# Οικονομητήρας (1/3)

## Σκοπός:

- εκμετάλλευση θερμότητας καυσαερίων.
- προθέρμανση νερού τροφοδοσίας.
- Προθέρμανση νερού τροφοδοσίας - **οικονομία**.  
Ανύψωση θερμοκρασίας νερού κατά  $5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  προκαλεί αύξηση 1% στο βαθμό απόδοσης.
- Έξοδος νερού:  $\sim$  θερμοκρασία κορεσμού.
- Θερμοκρασία νερού που μπαίνει στον οικονομητήρα: πάνω από  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  για να μην ψυχθούν τα καυσαέρια μέχρι τη θερμοκρασία δρόσου.



# Οικονομητήρας (2/3)

- Ψυχρό νερό στον οικονομητήρα: εξωτερική συμπύκνωση – οξείδωση – διάβρωση.
- Θερμοκρασία καυσαερίων 300-600°C.
- Χαλύβδινοι αυλοί (στο εσωτερικό το νερό).
- Οριζόντιων ή κατακόρυφων αυλών.
- Παράλληλης ή εγκάρσιας ροής.



# Οικονομητήρας (3/3)



Εικόνα 7: Οικονομητήρας

# Διαχωρισμός - καθάρισμα ατμού - Τύμπανο

- Πίεση < κρίσιμη: διαχωρισμός φάσεων ατμού.
- **Τύμπανο:**
  - διαχωρισμός ατμού – υγρού.
  - διανομή νερού στις σωληνώσεις καθόδου.
  - μίγμα υγρού – ατμού στη διάρκεια των αλλαγών.
  - απομάκρυνση στερεών και σωματιδίων.
  - προσθήκη χημικών.
- Ποιότητα εξόδου από τύμπανο: ~ 99%.



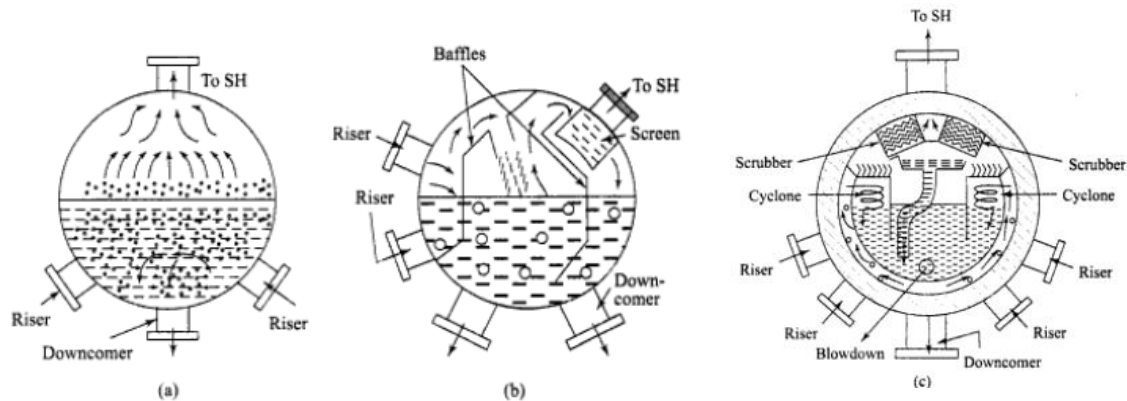
# Τύμπανο (1/4)

- Διαχωρισμός σε δύο στάδια:
  - απομάκρυνση μεγαλύτερου μέρους από το μίγμα.
  - απομάκρυνση σταγονιδίων από τον ατμό (πλύσιμο ή ξήρανση).
- Διάφραγμα.
- Φυγοκεντρικοί διαχωριστές.





# Τύμπανο (2/4)



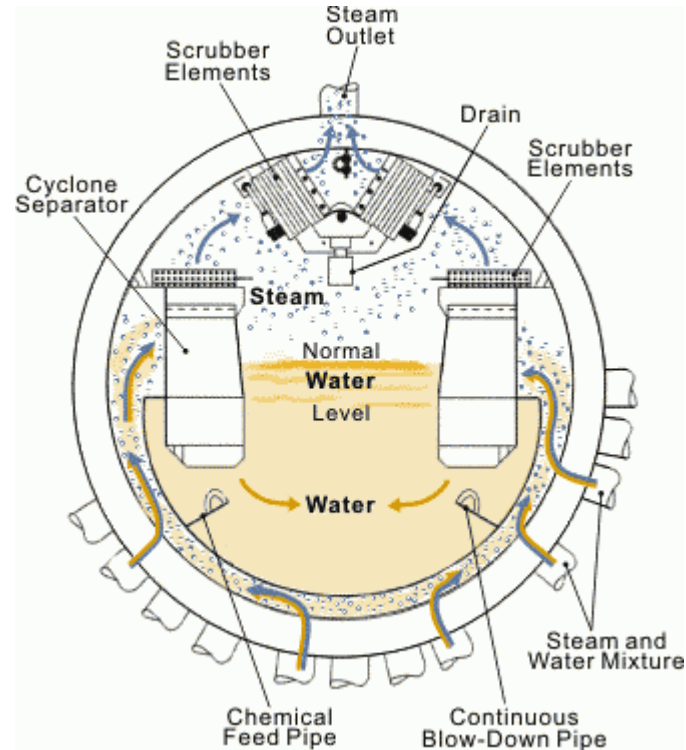
Εικόνα 8: Διαχωρισμός τυμπάνου: α) με βάση τη βαρύτητα, β) με διάφραγμα γ) φυγοκεντρικός

## Διαχωρισμός:

- με βαρύτητα.
- μηχανικός με διάφραγμα.
- φυγοκεντρικός.



# Τύμπανο (3/4)



Εικόνα 9: Διάγραμμα τυμπάνου



# Τύμπανο (4/4)



Εικόνα 10: Τύμπανο

# Υπερθερμαντές – Αναθερμαντές (1/4)

- **Υπερθερμαντές:** ανύψωση θερμοκρασίας πάνω από την  $T_{\text{sat}}$ .
- **Αναθερμαντές:** αναυπερθέρμανση μετά την εκτόνωση.



# Υπερθερμαντές – Αναθερμαντές (2/4)

- **Υπερθερμαντές:** ακτινοβολία + καυσαέρια (ακτινοβολίας - συναγωγής).
- Σωληνώσεις που σαρώνονται από τα καυσαέρια.
- Ατμός υψηλής ποιότητας: περιορισμός της υγρασίας.
- Αύξηση θερμοκρασίας και πίεσης ατμού: αύξηση βαθμού απόδοσης.



# Υπερθερμαντές – Αναθερμαντές (3/4)

- Ρύθμιση θερμοκρασίας υπέρθερμου ατμού:
  - ανάμειξη υπέρθερμου ατμού με κορεσμένο ατμό.
  - ρύθμιση παροχής καυσαερίων.
  - ψύξη σε εναλλάκτες (θερμ. κορ. ατμού ή τροφοδ. νερό).
  - ψεκασμός τροφοδοτικού νερού στη μάζα του υπέρθερμου ατμού.
- Ταχύτητα: 20-30 m/sec.
- Λέβητας: κορ. ατμ. 8-12 m/sec.



# Υπερθερμαντές – Αναθερμαντές (4/4)



Εικόνα 11: Υπερθερμαντής – Αναθερμαντής



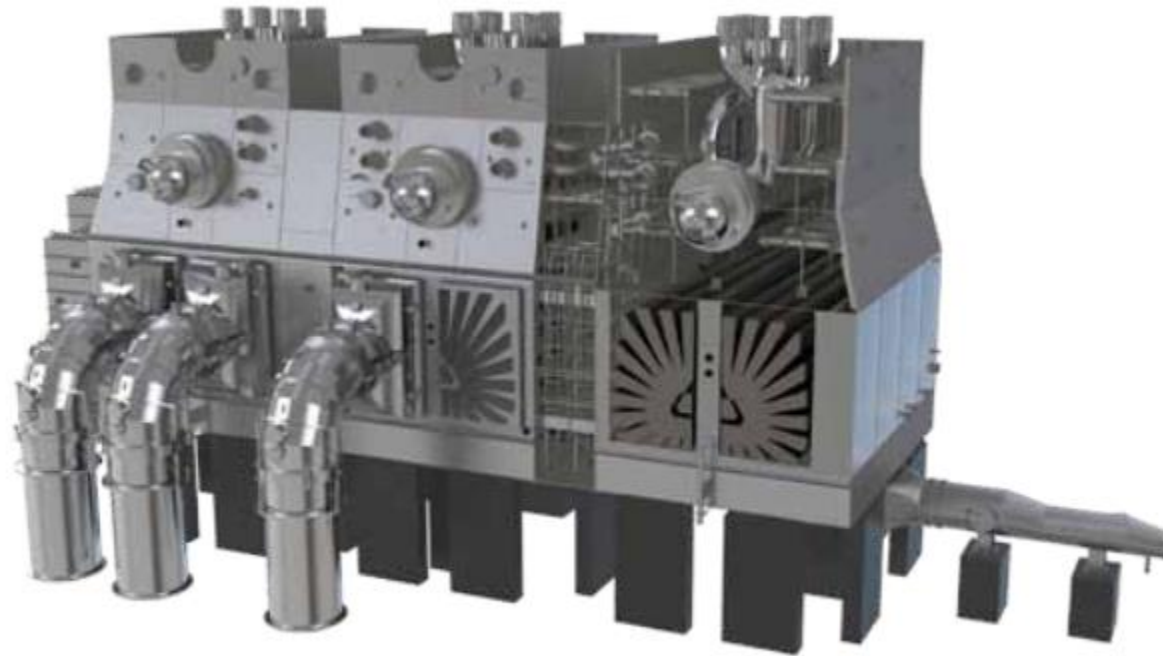
# Συμπυκνωτής (ψυγείο) (1/3)

- Σκοπός:
  - συμπύκνωση ατμού.
  - χαμηλή πίεση αποβλήτου.
- Εναλλάκτες θερμότητας αυλών – κελύφους με το ψυκτικό να ρέει στους αυλούς.
- Ψυκτικό:
  - από ποτάμια, λίμνες, κλπ.
  - από πύργο ψύξης.



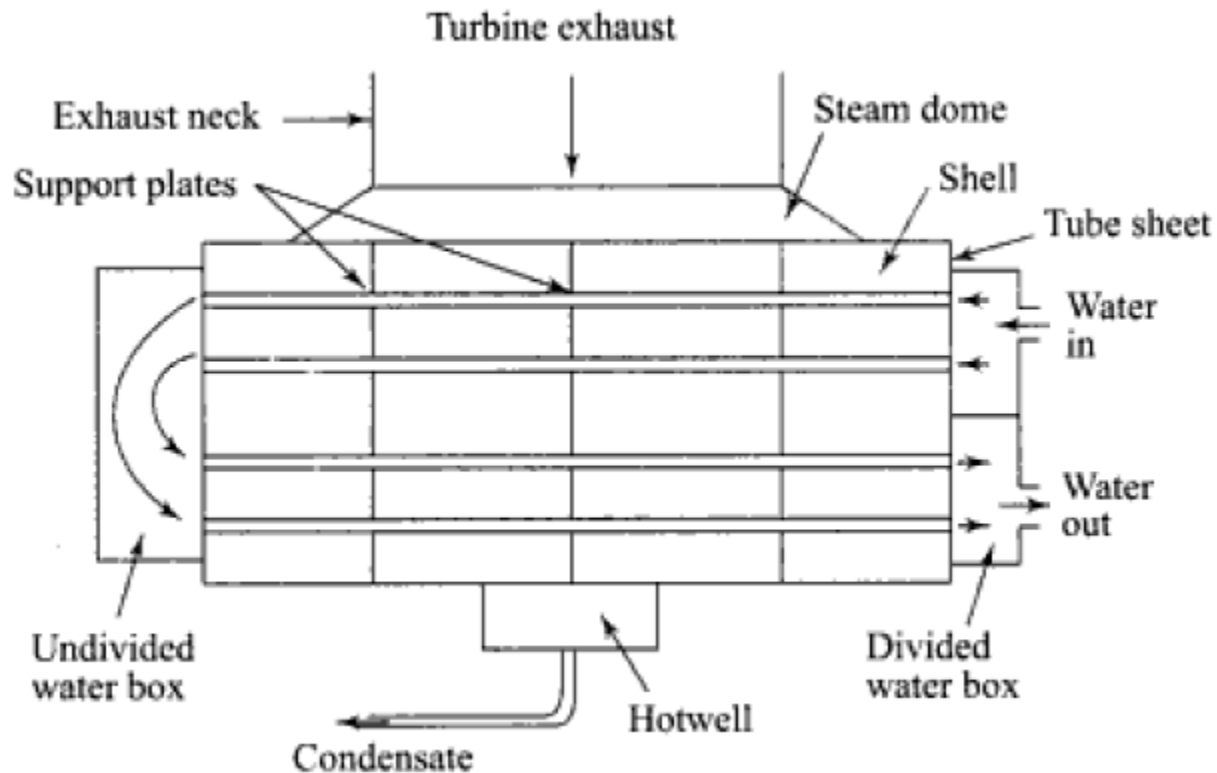


# Συμπυκνωτής (ψυγείο) (2/3)



Εικόνα 12: Συμπυκνωτής

# Συμπυκνωτής (ψυγείο) (1/3)



Εικόνα 13: Διάγραμμα συμπυκνωτή



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Κύκλωμα αέρα καύσης-καυσαερίων: Σελίδα 104, Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Βασίλη Χατζηαθανασίου, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ

- Εικόνα 2:

Ανεμιστήρας κατάθλιψης:

[https://www.mhps.com/en/products/detail/centrifugal\\_fans.html](https://www.mhps.com/en/products/detail/centrifugal_fans.html)

- Εικόνα 3:

Ανεμιστήρας ελκυσμού: <http://www.dmcsalesinc.com/centrifugal.html>

- Εικόνα 4:

Τυπικός προθερμαντής αέρα: [http://en.citizendium.org/wiki/Air\\_preheater](http://en.citizendium.org/wiki/Air_preheater)



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

- Εικόνα 5:

Καπνοδόχος: <http://greeninggodalming.org/category/climate-change/>

- Εικόνα 6:

Προθερμαντής νερού :

<http://levelandflowsolutions.magnetrol.com/2012/12/11/the-impact-of-feedwater-heater-operation-on-fuel-costs-level-control-considerations/>

- Εικόνα 7:

Οικονομητήρας: <http://www.greenspower.us/page008.aspx>

- Εικόνα 8:

Διαχωρισμός τυμπάνου: a) με βάση τη βαρύτητα, b) με διάφραγμα c) φυγοκεντρικός: Σελίδα 339, Power Plant Engineering, Third Edition, P K Nag



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

- Εικόνα 9:

Διάγραμμα τυμπάνου:

<http://www.thermopedia.com/content/1236/>

- Εικόνα 10:

Τύμπανο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Steam\\_drum](https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_drum)

- Εικόνα 11:

Υπερθερμαντής – Αναθερμαντής:

<http://www.vallourec.com/fossilpower/EN/Application/Pages/reheaters.aspx>

- Εικόνα 12:

Συμπυκνωτής:

<http://www.alstom.com/Global/Power/Resources/Documents/Brochures/heat-exchangers-condensers.pdf?epslanguage=en-GB>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

- Εικόνα 13:

Διάγραμμα συμπυκνωτή: Σελίδα 556, Power Plant Engineering,  
Third Edition, P K Nag



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Καδή Στυλιανή. «ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Βοηθητικά ατμογεννητριών». 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.

