



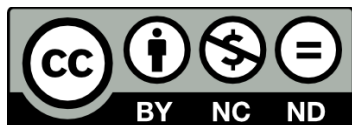
# ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## Ενότητα 9: Πύργοι ψύξης

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.



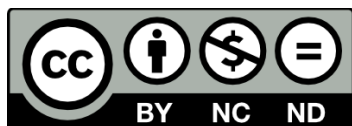
# Χρηματοδότηση

- 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.





# Πύργοι ψύξης



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

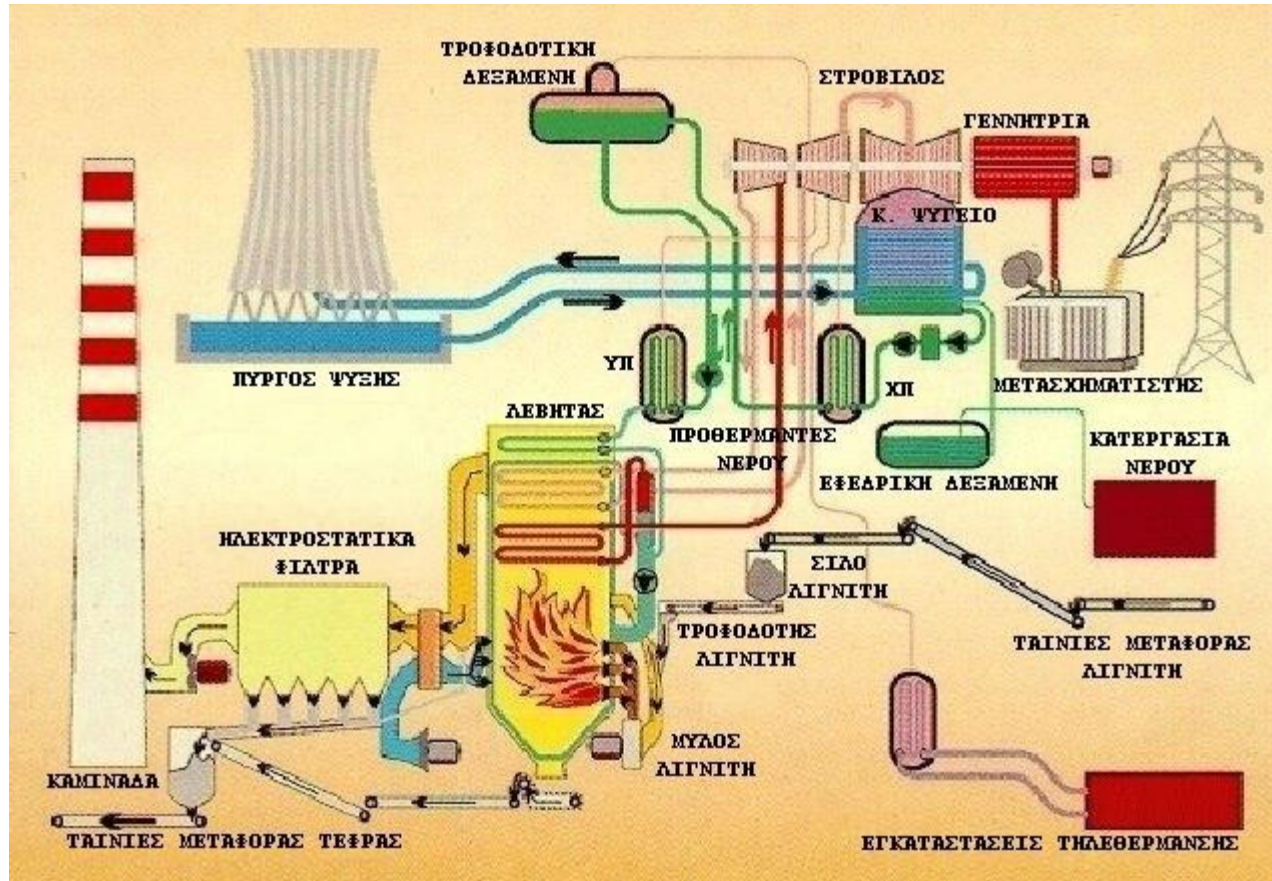
# Περιεχόμενα ενότητας

---

1. Κύκλα ψύξης
2. Τύποι πύργων ψύξης
3. Υπολογισμοί



# Τυπικός λιγνιτικός ΣΠΗΕ



Εικόνα 1: Σχηματική λειτουργία λιγνιτικής μονάδας



# Θερμότητα που αποβάλλεται από το συμπυκνωτή

$$\dot{Q}_R = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)\dot{W}$$

$\dot{Q}_R$  : ρυθμός αποβολής θερμότητας

$\dot{W}$  : ισχύς

$\eta$  : βαθμός απόδοσης του κύκλου



# Επίδραση του βαθμού απόδοσης στην ποσότητα της αποβαλλόμενης θερμότητας σε μονάδα 1000 MW

$\dot{W}$	$\eta$	$\dot{Q}_A$	$\dot{Q}_R$	$\dot{Q}_R / W$
1000	0.20	5000	4000	4.0
1000	0.25	4000	3000	3.0
1000	0.33	3000	2000	2.0
1000	0.40	2500	1500	1.5
1000	0.50	2000	1000	1.0





# Πύργοι ψύξης

- Ατμοποίηση αποδοτικότερη της συναγωγής (εναλλάκτες).
- Ψύξη νερού σε θερμοκρασία μικρότερη από την  $T_{db}$ . Θεωρητικά μέχρι την  $T_{wb}$ . Στην πράξη μέχρι  $T_{wb} + 8 \text{ } ^\circ\text{C}$ .



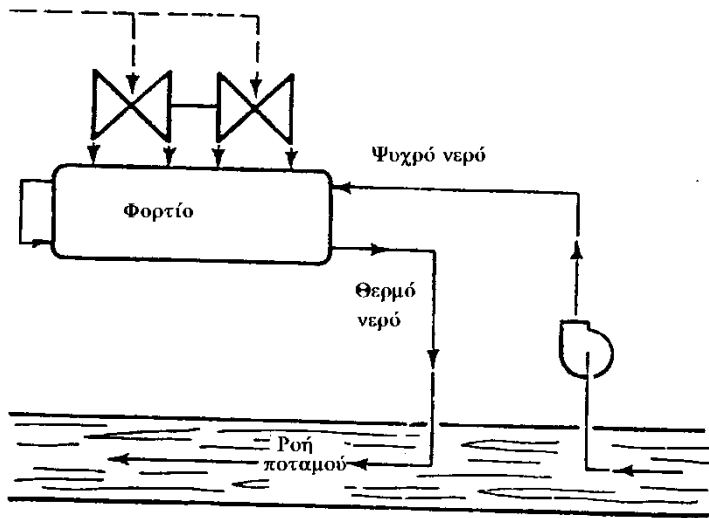
# Απώλειες νερού στον πύργο

- Εξάτμιση: 1% για κάθε 5 °C ψύξη.
- 0.2 % παρασύρεται από τον αέρα.
- Απομάστευση για απομάκρυνση στερεών.



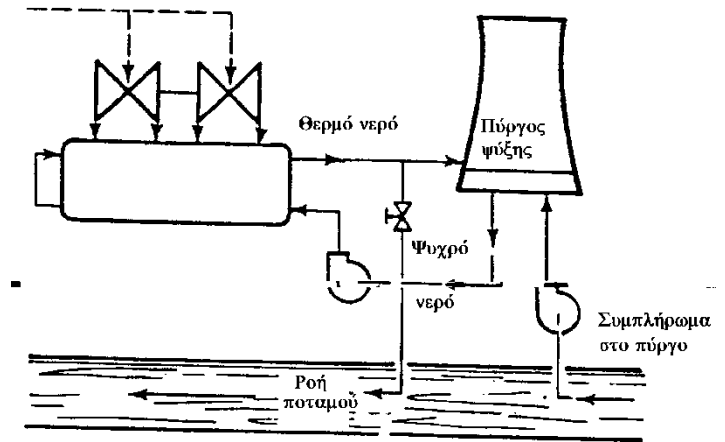
# Κύκλα ψύξης

- Ανοικτό



Εικόνα 2: Ανοικτό κύκλο ψύξης

## Κλειστό



Εικόνα 3: Κλειστό κύκλο ψύξης



# Τύποι πύργων ψύξης (1/2)

- *Υγρός πύργος*: πύργος ψύξης που ανταλλάσσει θερμότητα με άμεση επαφή του αέρα με το νερό.
  - Βασικός μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας: η εξάτμιση.
- *Ξηρός πύργος*: το νερό και ο αέρας χωρίζονται με μια αγωγή επιφάνεια μέσα στον πύργο και η θερμότητα απομακρύνεται με αγωγή. Ένας ξηρός πύργος είναι ουσιαστικά ένας εναλλάκτης θερμότητας υγρού-αέρα.
- Αν και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται σε έναν πύργο τότε ονομάζεται *υγρός/ξηρός πύργος*.



# Τύποι πύργων ψύξης (2/2)

- *Φυσικής κυκλοφορίας*: Πύργοι στους οποίους η κυκλοφορία του αέρα στηρίζεται αποκλειστικά στο φαινόμενο της άνωσης.
- *Μηχανικού ελκυσμού*: Όταν για την ενίσχυση της ροής του αέρα μέσα στον πύργο χρησιμοποιούνται μεγάλοι ανεμιστήρες.
- *Υβριδικοί πύργοι ψύξης*: η φυσική κυκλοφορία υποβοηθείται μηχανικά.

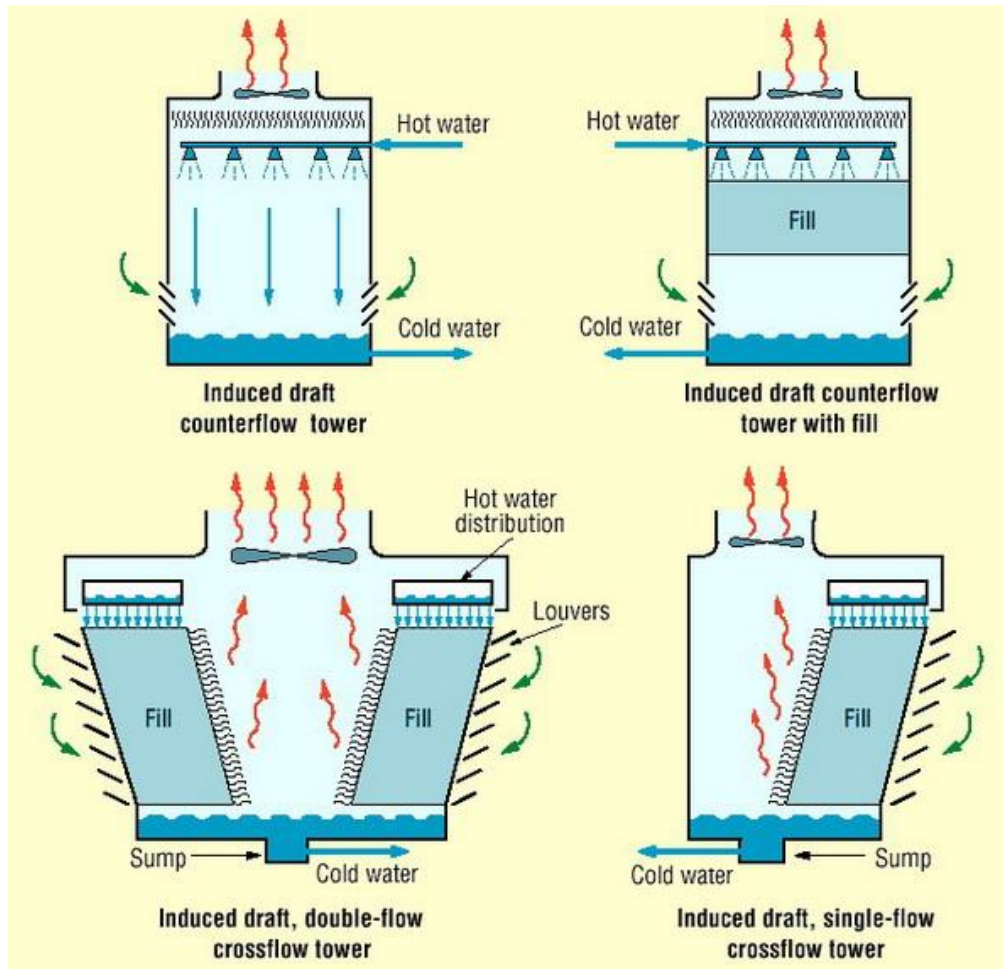


# Πύργοι μηχανικού ελκυσμού (1/3)

- *Κατάθλιψης ή ελκυσμού*: ανάλογα με τη θέση των ανεμιστήρων.
  - *κατάθλιψης*: στη βάση του πύργου.
  - *ελκυσμού*: στην κορυφή των πύργων.
- *εγκάρσιας ροής ή αντιρροής*.



# Πύργοι μηχανικού ελκυσμού (2/3)



**Εικόνα 4:** Πύργοι μηχανικού ελκυσμού  
εγκάρσιας ροής και αντιρροής

ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ



# Πύργοι μηχανικού ελκυσμού (3/3)



**Εικόνα 5:** Πύργοι μηχανικού ελκυσμού





# Πύργοι φυσικού (1/2)

$$\Delta P_d = (\rho_o - \rho_i)Hg$$

$\rho_o$  : η πυκνότητα του εξωτερικού αέρα,  $\text{kg/m}^3$

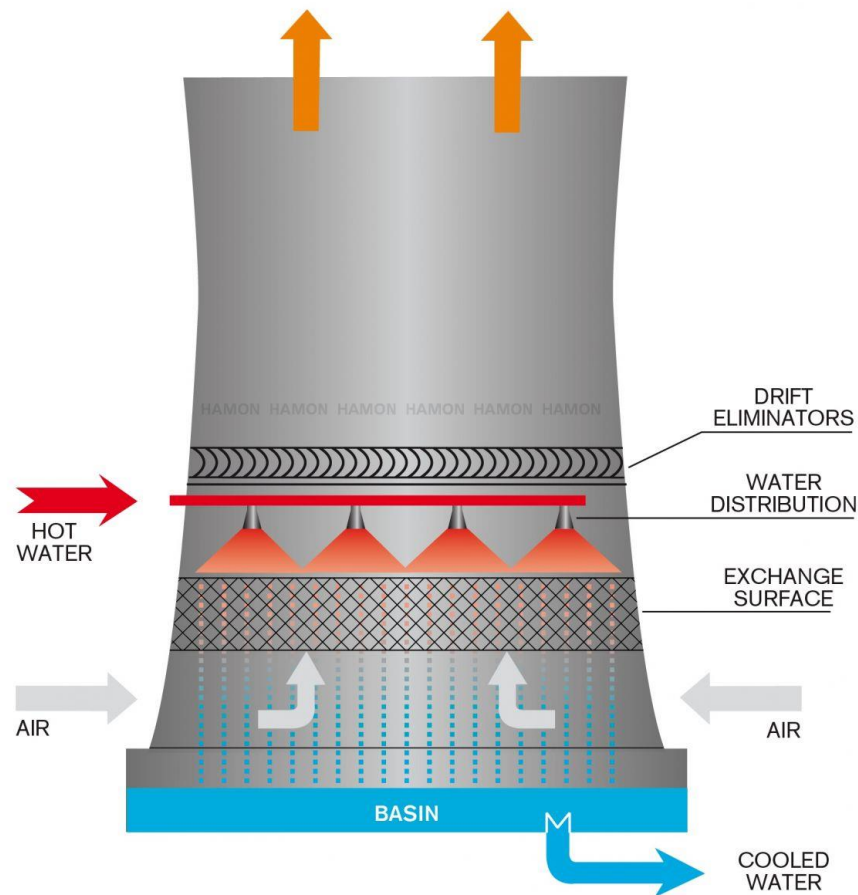
$\rho_i$  : η πυκνότητα του εσωτερικού αέρα, στην έξοδο του διαφράγματος (πλέγματος) διασκορπισμού,  $\text{kg/m}^3$

$H$  : το ύψος του πύργου πάνω από το διάφραγμα,  $\text{m}$

$g$  : η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $\text{m/s}^2$



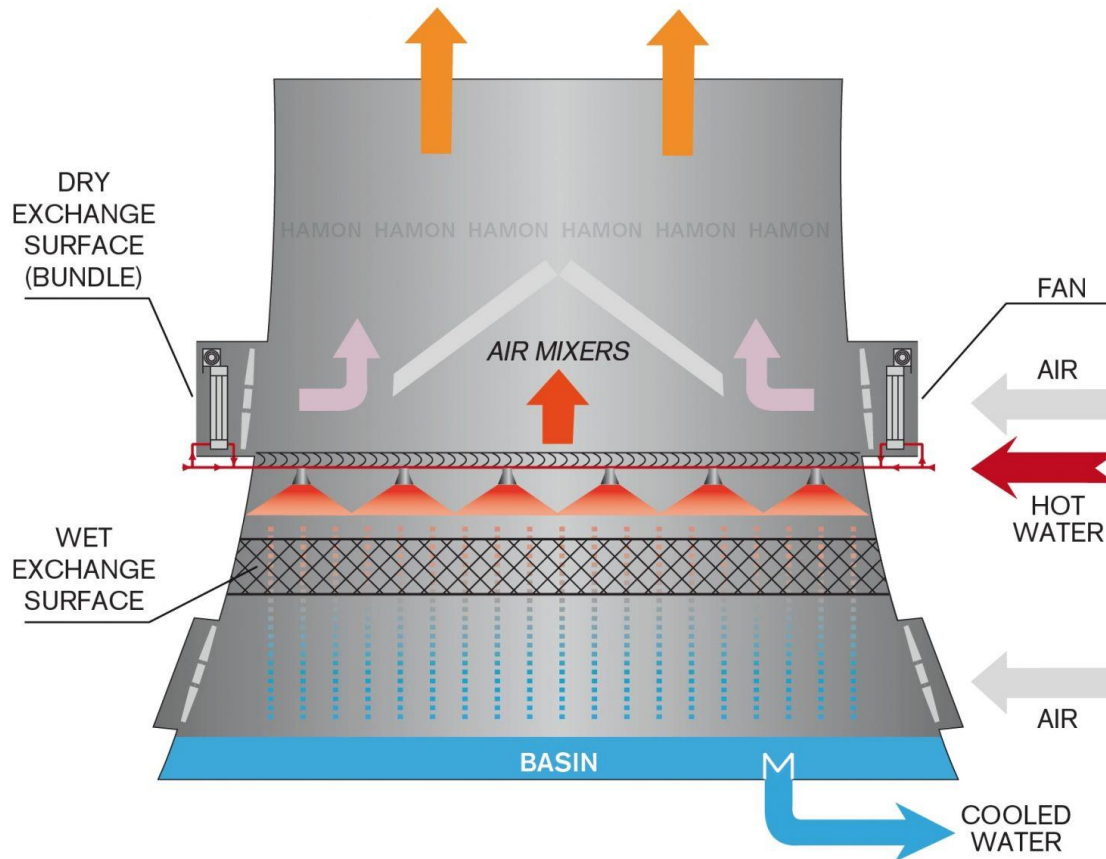
# Πύργοι φυσικού ελκυσμού (2/2)



Εικόνα 6: Πύργος φυσικού ελκυσμού



# Υβριδικοί πύργοι ψύξης



Εικόνα 7: Υβριδικός πύργος ψύξης



# ΑΗΣ Αμυνταίου

- Συμπλήρωμα νερού στον πύργο: 400 – 600 τόνοι ημερησίως.
- Ονομαστική τιμή θερμοκρασίας νερού στο ψυγείο: 22 °C.
- Όριο λειτουργίας ψυγείου: 140 mbar. (για μεγαλύτερη πίεση μειώνεται το φορτίο).
- Εύρος ψύξης:
  - 30 – 18 °C.
  - 45 – 30 °C.



# Υπολογισμοί υγρών πύργων ψύξης (1/5)

- Εύρος ψύξης:

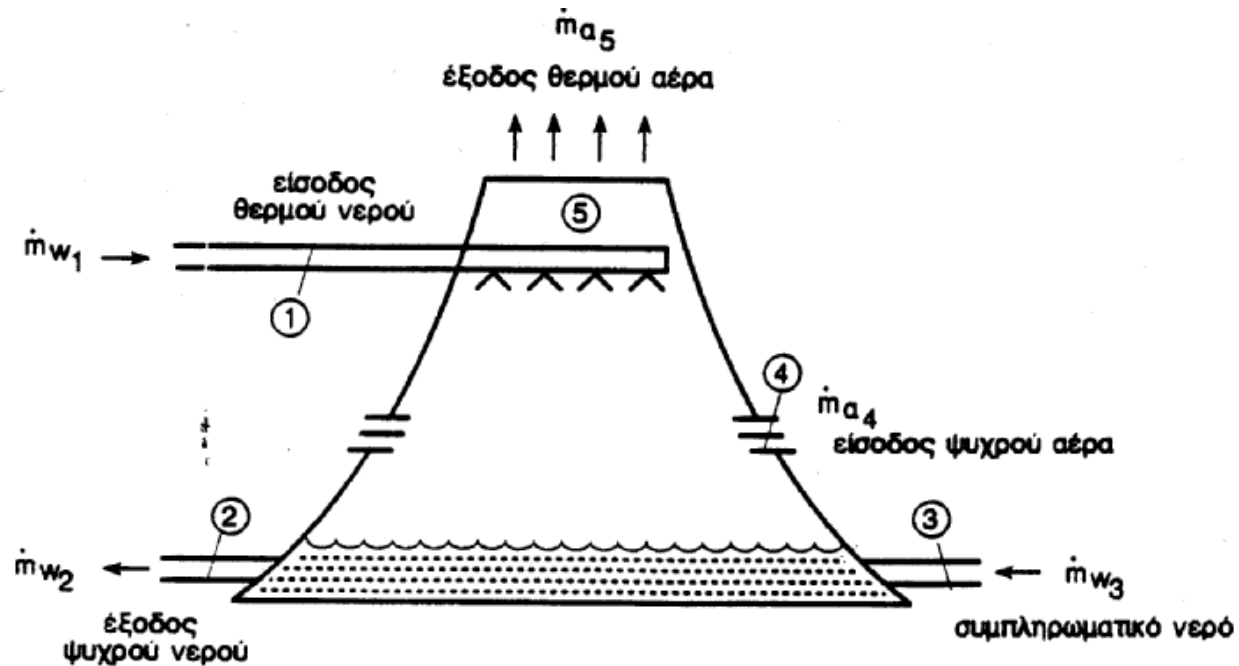
$$\Delta T_{CR} = T_1 - T_2$$

- Απόδοση ψύξης:

$$n_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{WB}}$$



# Υπολογισμοί υγρών πύργων ψύξης (2/5)



# Υπολογισμοί υγρών πύργων ψύξης (3/5)

$$\dot{m}_{w_1} = \dot{m}_{w_2} \quad \dot{m}_{a_4} = \dot{m}_{a_5} = \dot{m}_a$$

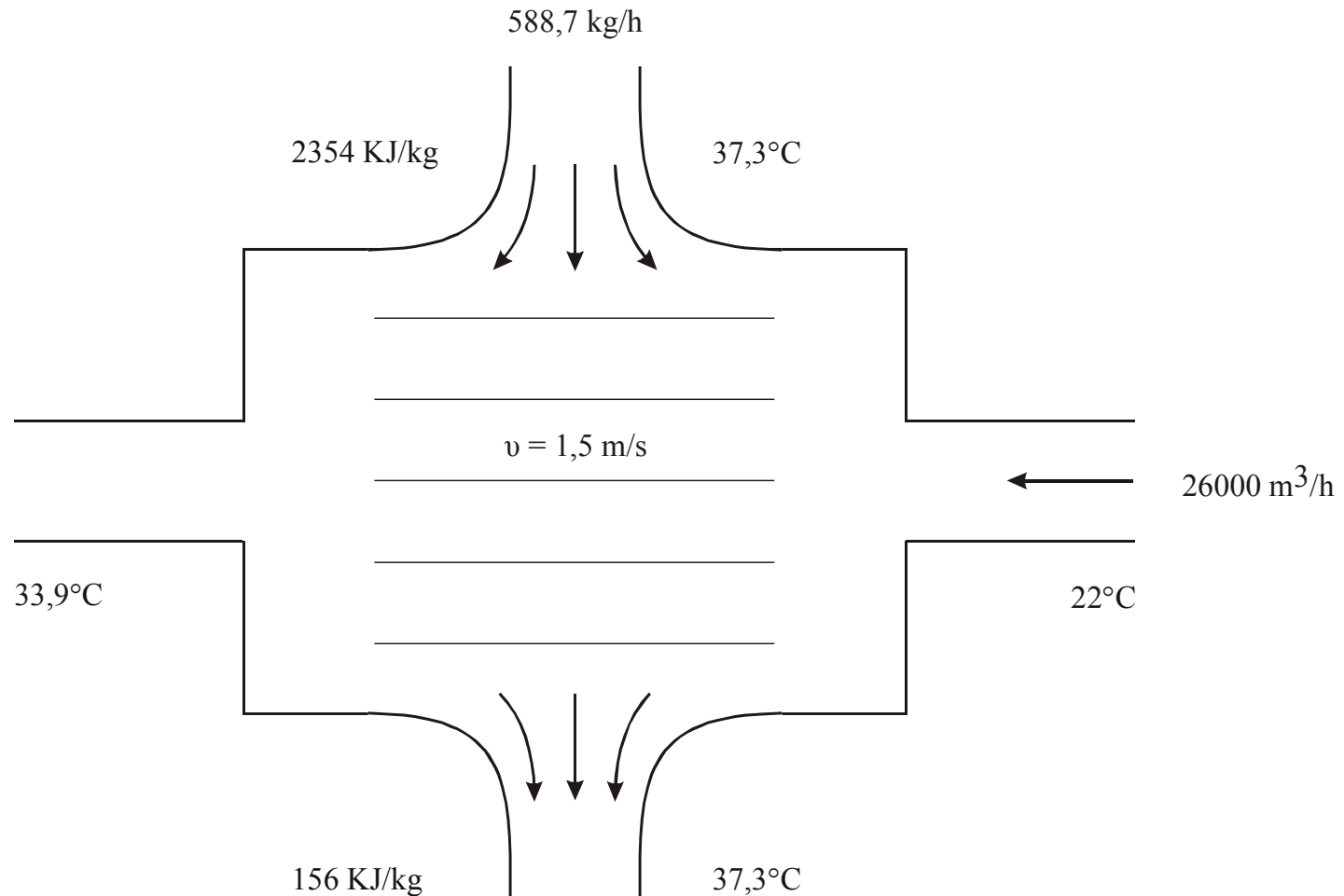
$$\dot{m}_{w_1} + \dot{m}_{w_3} + \dot{m}_{s_4} = \dot{m}_{w_2} + \dot{m}_{s_5}$$

$$\dot{m}_{w_3} = \dot{m}_{s_5} - \dot{m}_{s_4} \quad \dot{m}_{w_3} = \dot{m}_a (\gamma_5 - \gamma_4)$$

$$\dot{m}_a h_4^* + \dot{m}_{w_1} \dot{h}_{w_1} + \dot{m}_{w_3} \dot{h}_{w_3} = \dot{m}_a h_5^* + \dot{m}_{w_2} h_{w_2}$$

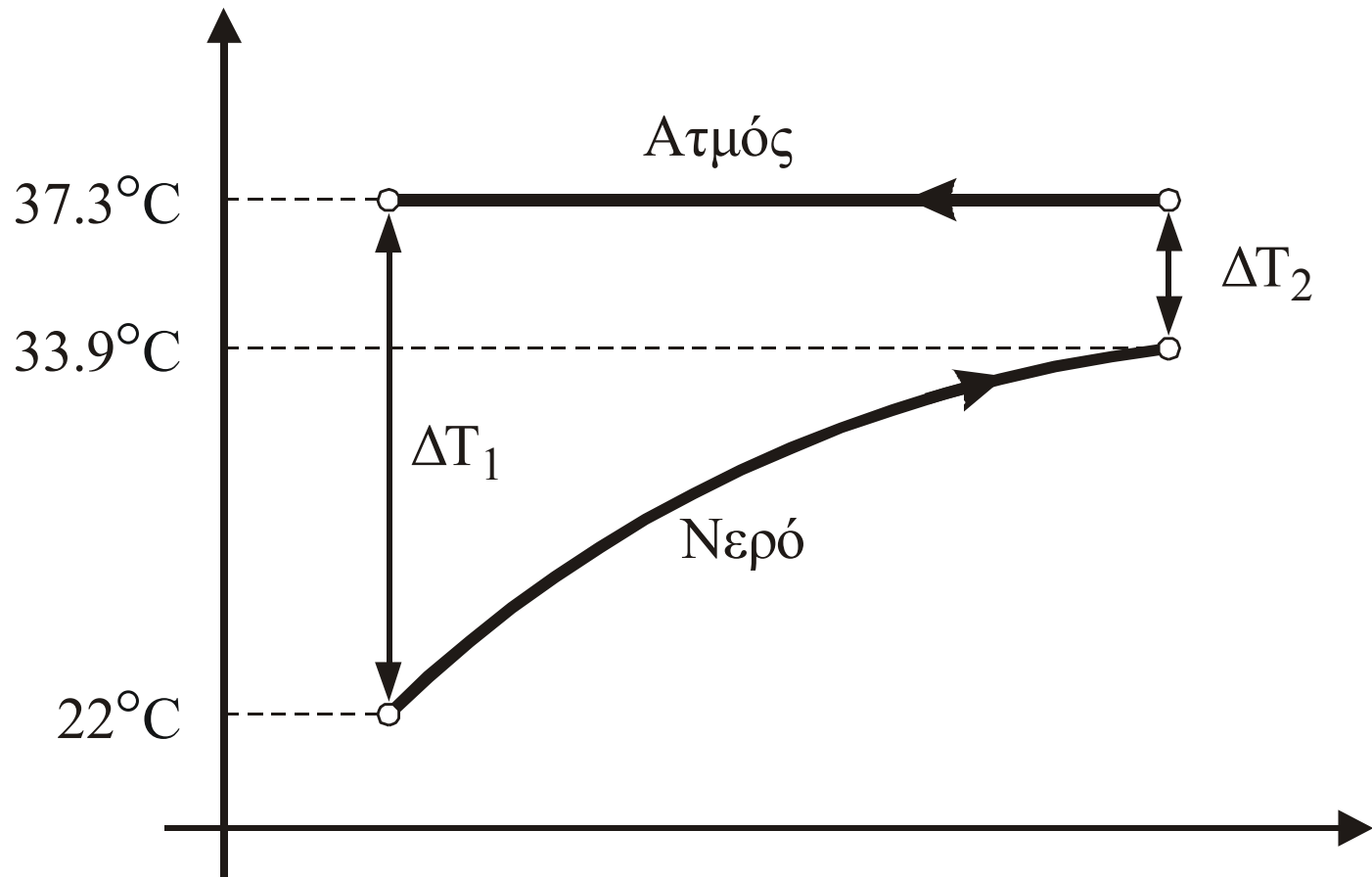


# Υπολογισμοί υγρών πύργων ψύξης (4/5)





# Υπολογισμοί υγρών πύργων ψύξης (5/5)



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Σχηματική λειτουργία λιγνιτικής μονάδας :

<http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE6.pdf>

- Εικόνα 2:

Ανοικτό κύκλο ψύξης: Σελίδα 120, Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Βασίλη Χατζηαθανασίου, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ

- Εικόνα 3:

Κλειστό κύκλο ψύξης: Σελίδα 120, Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Βασίλη Χατζηαθανασίου, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ

- Εικόνα 4:

Πύργοι μηχανικού ελκυσμού εγκάρσιας ροής και αντιρροής: [http://www.ajss-group.com/steam turbines condensator cooling tower.htm](http://www.ajss-group.com/steam_turbines_condensator_cooling_tower.htm)



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

- Εικόνα 5:

Πύργοι μηχανικού ελκυσμού: <http://www.hamon.com/en/cooling-systems/wet-cooling-systems/mechanical-draft-cooling-towers/induced-draft-cooling-towers/>

- Εικόνα 6:

Πύργος φυσικού ελκυσμού: <http://www.hamon.com/en/cooling-systems/wet-cooling-systems/natural-draft-cooling-towers/natural-draft/>

- Εικόνα 7:

Υβριδικός πύργος ψύξης: <http://www.hamon.com/en/cooling-systems/wet-cooling-systems/natural-draft-cooling-towers/round-hybrid/>



# Σημείωμα Αναφοράς

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

