



ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

Ενότητα 7: Ανάκτηση θερμότητας

Παπακώστας Κωνσταντίνος
Μηχανολόγων Μηχανικών



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.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Συστήματα κλιματισμού

Ανάκτηση θερμότητας

Γενικά (1/4)

- Όταν απορρίπτεται αέρας από ένα χώρο σε θερμοκρασία διαφορετική από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, είναι πολύ πιθανό ότι χάνεται ενέργεια.
- Ο αέρας απορρίπτεται από ένα χώρο, γιατί πρέπει να απομακρυνθούν οι επιβλαβείς ουσίες τις οποίες περιέχει.
- Οι πλέον κοινές από αυτές τις ουσίες είναι το διοξείδιο του άνθρακα, η σκόνη και η υγρασία.



Γενικά (2/4)

- Ο αέρας που απορρίπτεται πρέπει να αναπληρωθεί από φρέσκο εξωτερικό αέρα.
- Ο αέρας πρέπει να προσαχθεί με μια ορισμένη θερμοκρασία ώστε να δημιουργεί αίσθημα άνεσης.
- Η διαδικασία αυτή της αναπλήρωσης του απορριπτόμενου αέρα απαιτεί την πρόσδοση ή την αφαίρεση θερμότητας, ανάλογα με την εποχή του έτους και τις συνθήκες του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος.



Γενικά (3/4)

- Με τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, η ενέργεια που περιέχει το ρεύμα του απορριπτόμενου αέρα μεταφέρεται στο ρεύμα του φρέσκου εξωτερικού αέρα.
- Δηλαδή το καλοκαίρι το ρεύμα απόρριψης προψύχει το ζεστό νωπό αέρα (π.χ. 40°C), με αέρα που απορρίπτεται στους 27°C . Το χειμώνα το ίδιο ρεύμα προθερμαίνει τον κρύο νωπό αέρα (π.χ. 0°C), με αέρα που απορρίπτεται στους 21°C .



Γενικά (4/4)

- Οι ρυπογόνες ουσίες πρέπει όμως να παραμένουν στο αέρα απόρριψης. Δηλαδή τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας ενώ πρέπει να επιτρέπουν τη μετάδοση θερμότητας πρέπει να αποτρέπουν τη μετάδοση ρύπων.
- Στις προσπάθειες να ικανοποιηθούν οι παραπάνω απαιτήσεις και ταυτόχρονα να μειωθεί το λειτουργικό κόστος μιας εγκατάστασης κλιματισμού αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι εναλλακτών θερμότητας και συστημάτων ανάκτησης θερμότητας.



Συσκευές ανάκτησης θερμότητας

- Οι κυριότερες συσκευές ανάκτησης θερμότητας στα συστήματα κλιματισμού είναι:
 - 1) Οι εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (fixed plate exchangers).
 - 2) Οι εναλλάκτες θερμότητας αέρα-νερού (finned tube/coil exchangers).
 - 3) Οι αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (rotary wheel exchangers).
 - 4) Οι εναλλάκτες με θερμοσωλήνες (heat pipes)



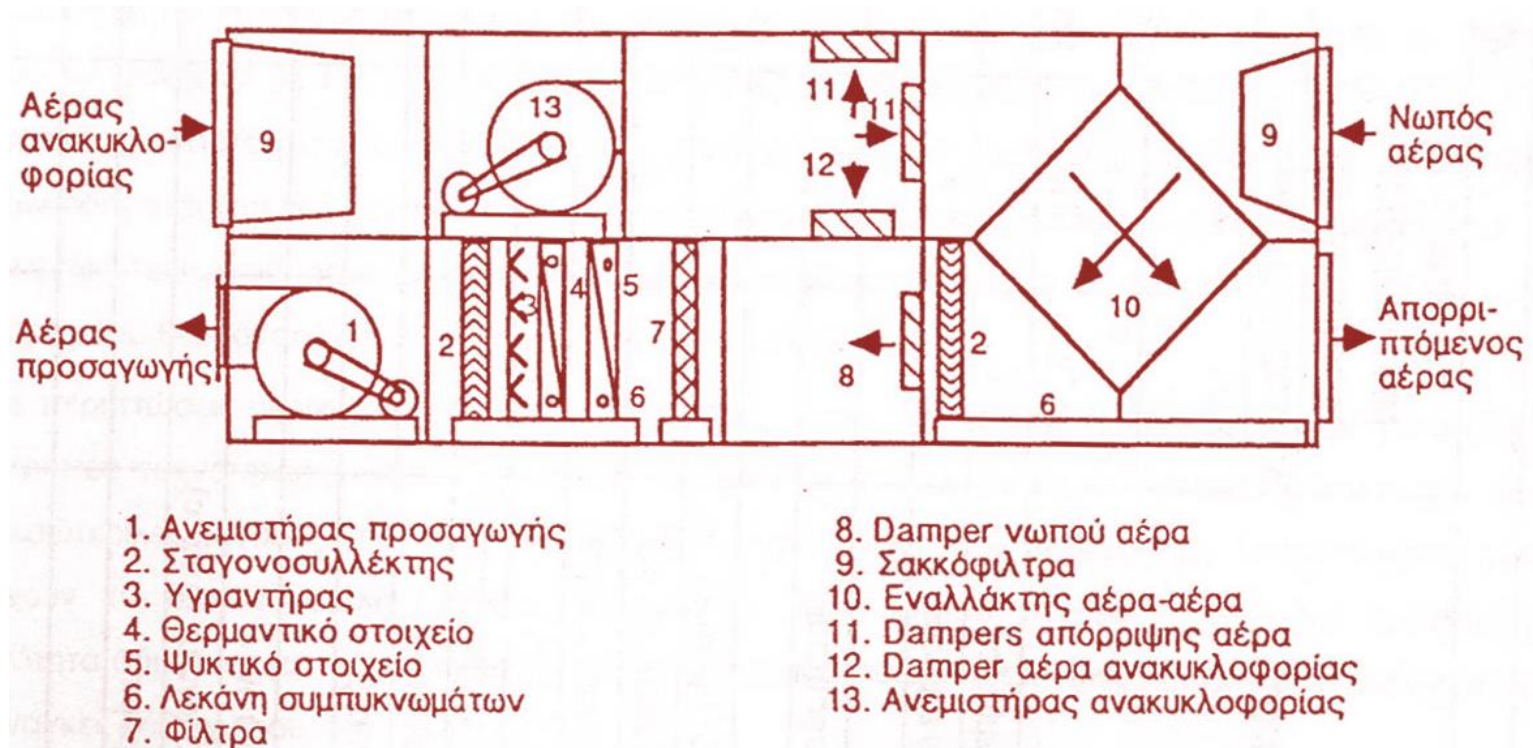
Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (1/10)

- Είναι πλακοειδείς εναλλάκτες διασταυρούμενης ροής, μέσα στους οποίους γίνεται ανάκτηση της αισθητής θερμότητας του αέρα που απορρίπτεται στο ύπαιθρο από το νωπό αέρα που προσάγεται στους χώρους.
- Τοποθετούνται συνήθως μέσα στην κλιματιστική μονάδα.



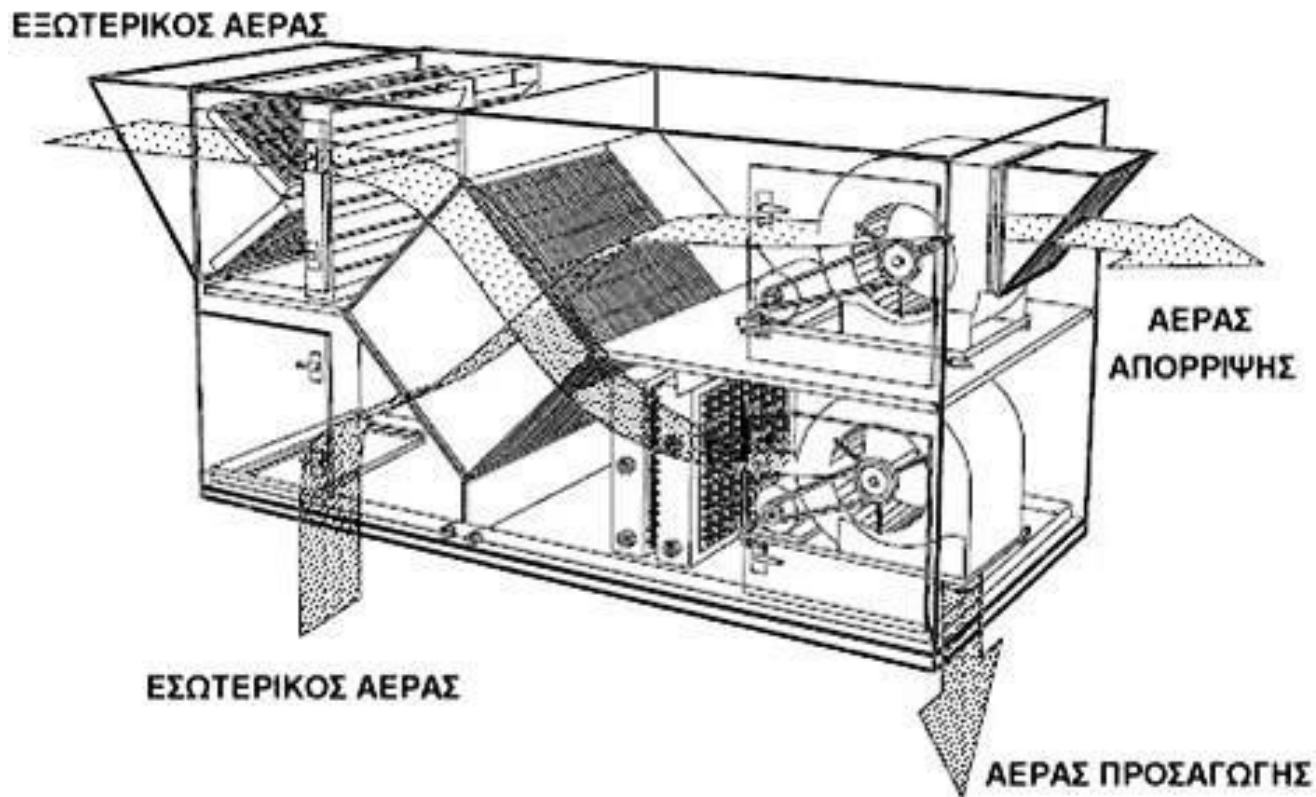
Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (2/10)

Εικ.1: Εναλλάκτης αέρα-αέρα σε κεντρική κλιματιστική μονάδα



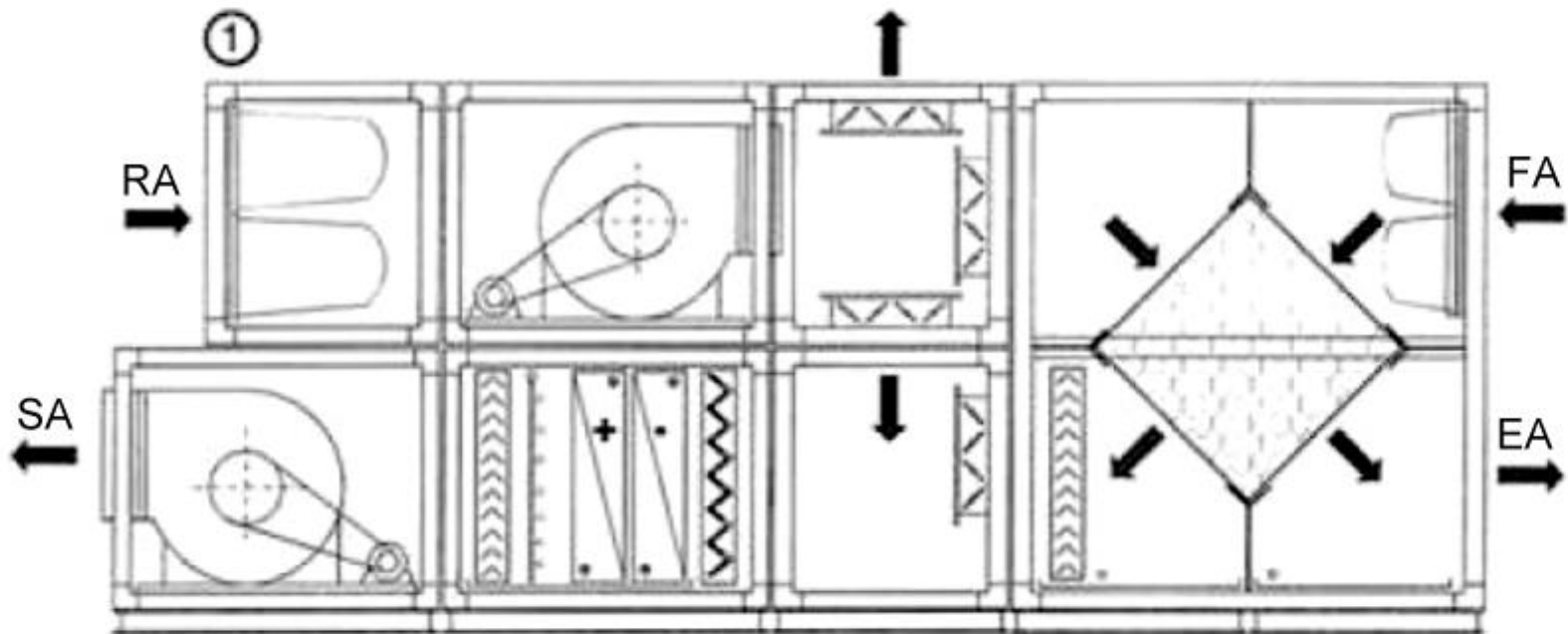
Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (3/10)

Εικ.2: Προοπτικό σχήμα εναλλάκτη αέρα-αέρα σε κεντρική κλιματιστική μονάδα



Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (4/10)

Εικ.3: Ροές αέρα σε κεντρική κλιματιστική μονάδα με εναλλάκτη αέρα-αέρα



Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (5/10)

Εικ.4: Κεντρική κλιματιστική μονάδα με εναλλάκτη αέρα-αέρα σε οροφή κτιρίου



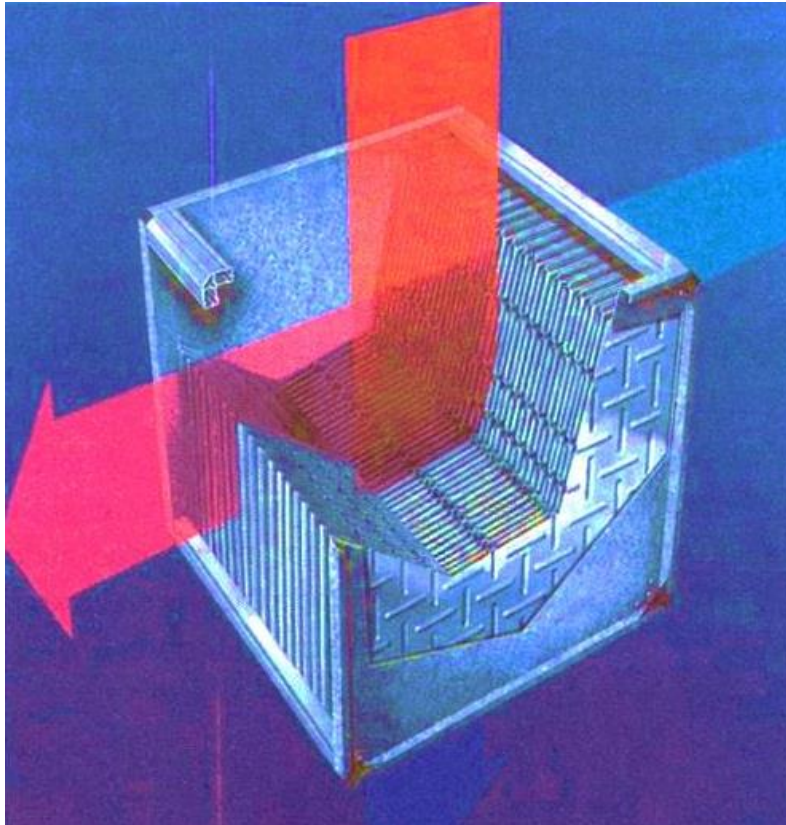
Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (6/10)



- Εικ.5: Η ανάκτηση θερμότητας επιτυγχάνεται με την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του νωπού αέρα και του απορριπτόμενου αέρα μέσω λεπτών επιφανειών που συνήθως είναι μεταλλικές και απέχουν μεταξύ τους από 2.5 έως 12.5 mm.
- Πλεονέκτημα: δεν έχουν λειτουργικά μέρη.
- Μειονέκτημα: δεν εναλλάσσουν υγρασία, αυξάνουν την πτώση πίεσης του αέρα.



Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (7/10)



- Εικ.6: Τα δύο ρεύματα αέρα διασταυρώνονται πάνω στον εναλλάκτη.
- Οι δύο δίοδοι του αέρα είναι σαφώς διαχωρισμένες μεταξύ τους και δεν γίνεται ανάμιξη των δύο ρευμάτων του αέρα.
- Ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται από 50% έως 75%, ανάλογα με την κατασκευή και τις ταχύτητες του αέρα.

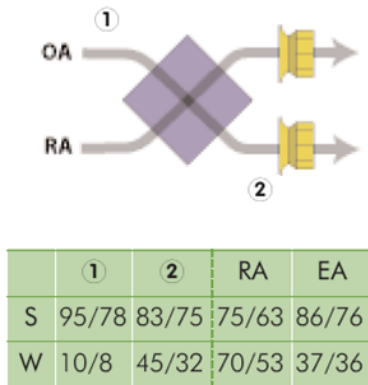


Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (8/10)

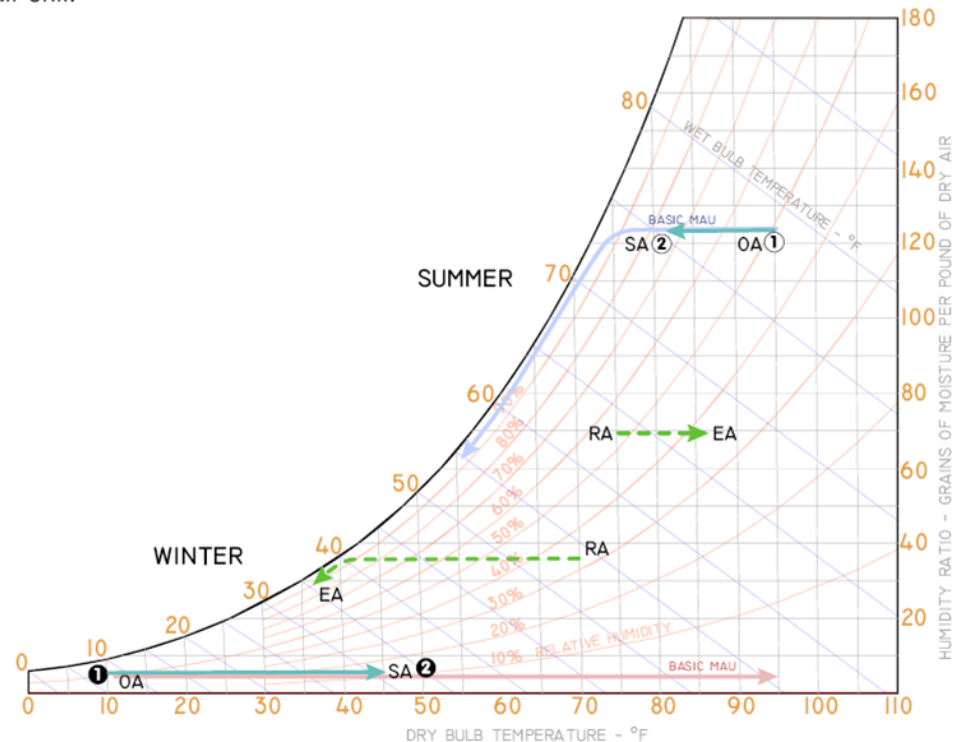
Εικ.7: Απεικόνιση της ανάκτησης αισθητής θερμότητας στον ψυχομετρικό χάρτη

Heat recovery ventilator with a fixed plate

This page shows a psychometric process for a typical 100% outdoor air energy recovery unit under standard design conditions. The numbers indicate different stages in the process where there is a transformation of the incoming air condition. The energy saving is compared to the energy needed to achieve the same supply conditions with a basic heating and/or cooling makeup air unit.



Θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου (°F)

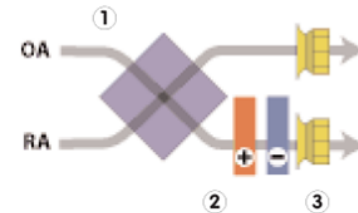


Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (9/10)

Εικ.8: Απεικόνιση της ανάκτησης αισθητής θερμότητας στον ψυχομετρικό χάρτη σε συνδυασμό με θέρμανση (χειμώνας) και ψύξη και αφύγρανση (καλοκαίρι) του αέρα

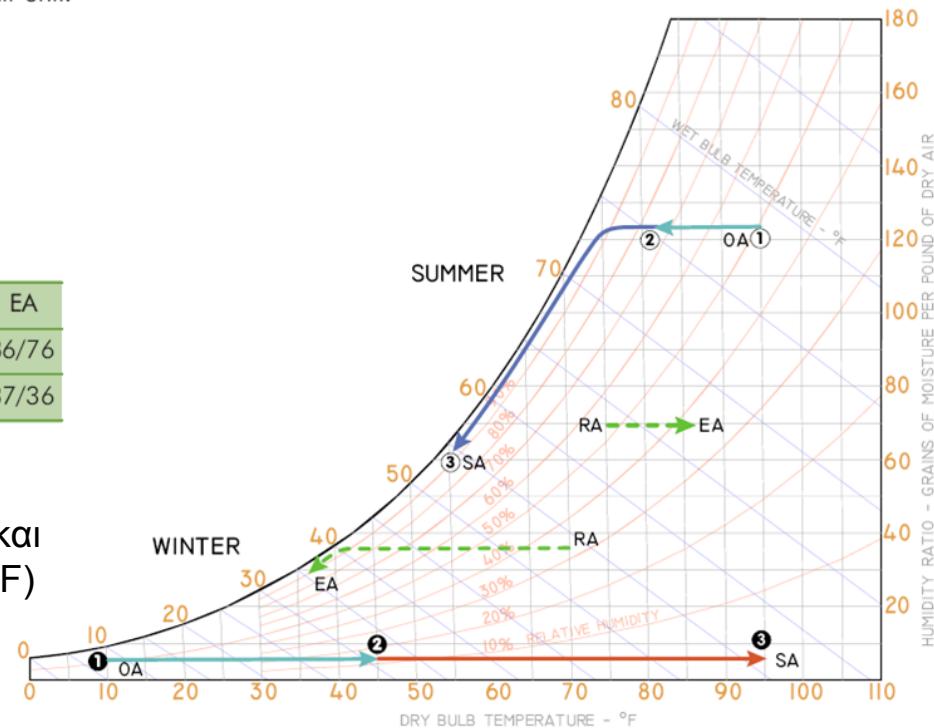
Fixed Plate unit with heating and cooling

This page shows a psychrometric process for a typical 100% outdoor air energy recovery unit under standard design conditions. The numbers indicate different stages in the process where there is a transformation of the incoming air condition. The energy saving is compared to the energy needed to achieve the same supply conditions with a basic heating and/or cooling makeup air unit.



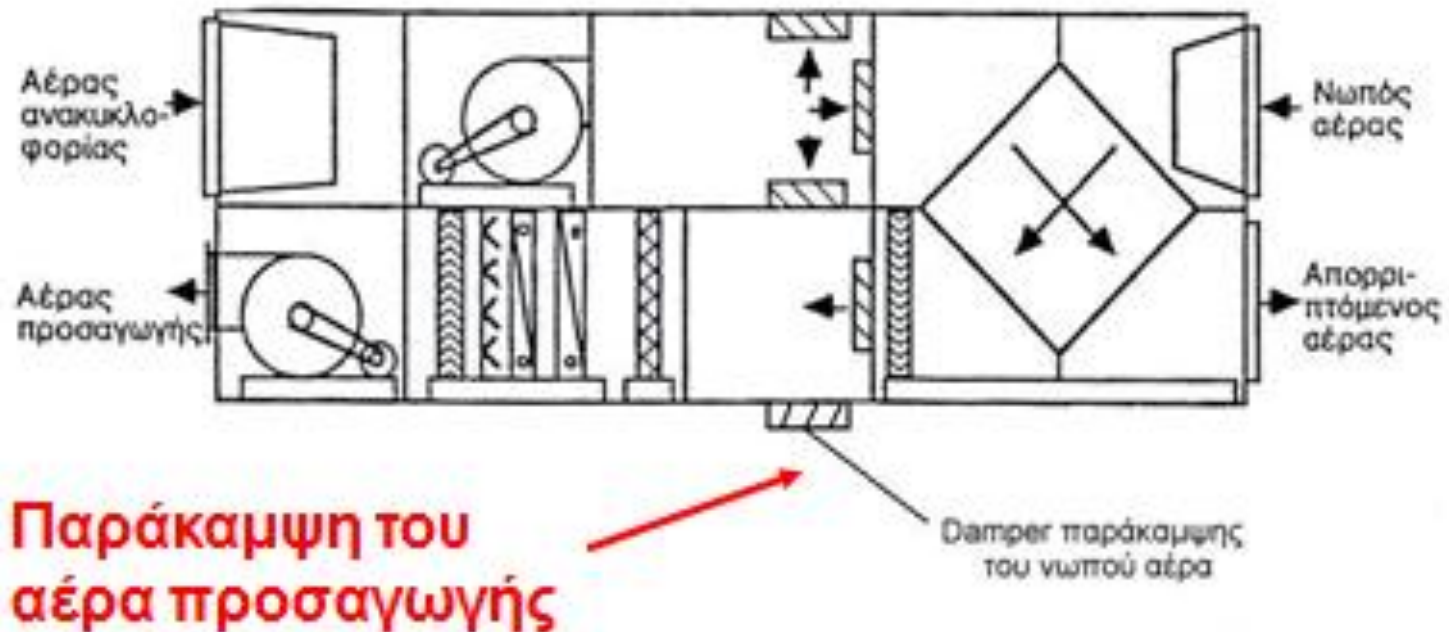
	①	②	③	RA	EA
S	95/78	83/75	55/55	75/63	86/76
W	10/8	45/32	95/57	70/53	37/36

Θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου (°F)



Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-αέρα (10/10)

Εικ.9: Παράκαμψη του αέρα προσαγωγής όταν δεν μπορεί να γίνει ανάκτηση (π.χ. δροσερές νύχτες το καλοκαίρι)



Παράδειγμα υπολογισμού (1/15)

- Σε κεντρική κλιματιστική μονάδα που είναι εγκατεστημένη σε ένα νοσοκομείο, έχει τοποθετηθεί εναλλάκτης θερμότητας αέρα- αέρα για ανάκτηση αισθητής θερμότητας από τον απορριπτόμενο αέρα.
- Ο βαθμός απόδοσης του εναλλάκτη (ϵ) είναι 70%.
- Η παροχή του αέρα προσαγωγής $\dot{V}_{22} = 100000[m^3/h]$ είναι ίση με το φρέσκο εξωτερικό αέρα \dot{V}_{21} ενώ ο αέρας επιστροφής $\dot{V}_{11} = 100000[m^3/h]$ απορρίπτεται εξ ολοκλήρου στο περιβάλλον.



Παράδειγμα υπολογισμού (2/15)

- Ο εξωτερικός αέρας έχει θερμοκρασία $t_{21} = 0^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία $\varphi_{21} = 80\%$.
- Ο χώρος διατηρείται σε θερμοκρασία $t_{11} = 22^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία $\varphi_{11} = 35\%$.

Ζητείται να υπολογισθούν:

- 1) Οι συνθήκες του αέρα (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ενθαλπία) μετά τον εναλλάκτη αέρα-αέρα, στην προσαγωγή (σημείο 22 στο σχήμα).
- 2) Η θερμική ισχύς που ανακτάται.



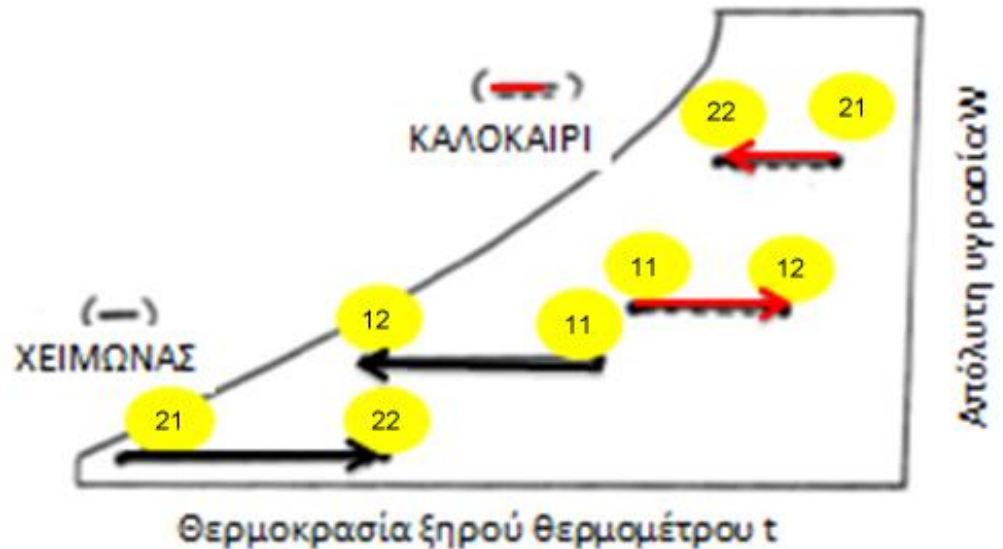
Παράδειγμα υπολογισμού (3/15)

- 3) Οι συνθήκες του αέρα (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ενθαλπία) μετά τον εναλλάκτη αέρα-αέρα, στην απόρριψη (σημείο 12 στο σχήμα).
- Πυκνότητα αέρα $\rho = 1.2[kg/m^3]$.
 - Ειδική θερμότητα αέρα $c = 1.006[kJ/kgK]$.
 - Η θερμοκρασία του αέρα απόρριψης στην έξοδο του εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας $t_{12}[^{\circ}C]$.



Παράδειγμα υπολογισμού (4/15)

- Εικ.10: Τυπικές διεργασίες ανάκτησης αισθητής θερμότητας στον ψυχομετρικό χάρτη (χειμώνας, καλοκαίρι) για 100% νωπό εξωτερικό αέρα και πλήρη απόρριψη του αέρα επιστροφής.



Παράδειγμα υπολογισμού- γενικές σχέσεις (5/15)

- Ανάκτηση αισθητής θερμότητας- χειμώνας.

Βαθμός απόδοσης, ε :

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_{21}c(t_{22}-t_{21})}{C_{min}(t_{11}-t_{21})} = \frac{\dot{m}_{11}c(t_{11}-t_{12})}{C_{min}(t_{11}-t_{21})} \quad (1)$$

Όπου:

c : η ειδική θερμότητα του αέρα $\approx 1 [kJ/kgK]$

\dot{m}_{21} : η ροή μάζας του εξωτερικού αέρα $[kg/s]$

\dot{m}_{11} : η ροή μάζας του αέρα απόρριψης $[kg/s]$

t_{21} : η θερμοκρασία εισόδου του εξωτερικού αέρα $[^{\circ}C]$



Παράδειγμα υπολογισμού- γενικές σχέσεις (6/15)

- t_{22} : η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα μετά τον εναλλάκτη αέρα-αέρα [$^{\circ}\text{C}$]
- t_{11} : η θερμοκρασία του αέρα απόρριψης στην είσοδο του εναλλάκτη αέρα-αέρα (περίπου ίση με τη θερμοκρασία του χώρου) [$^{\circ}\text{C}$]. Είναι πιθανόν να είναι λίγο μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του χώρου, εάν υπάρχουν θερμικά κέρδη από τον αεραγωγό και τον ανεμιστήρα επιστροφής.
- t_{12} : η θερμοκρασία του αέρα απόρριψης στην έξοδο του εναλλάκτη αέρα-αέρα [$^{\circ}\text{C}$].



Παράδειγμα υπολογισμού- γενικές σχέσεις (7/15)

$$C_{min} = \min[\dot{m}_{21}c, \dot{m}_{11}c] \text{ (η μικρότερη των δύο τιμών)}$$

Ισχύει:

$$t_{22} = t_{21} + \varepsilon \frac{C_{min}}{\dot{m}_{21}c} (t_{11} - t_{21}) \quad (2)$$

$$t_{12} = t_{11} - \varepsilon \frac{C_{min}}{\dot{m}_{11}c} (t_{11} - t_{21}) \quad (3)$$

- Η θερμική ισχύς που ανακτάται είναι:

$$\dot{q}_{ανακ} = \varepsilon \dot{q}_{ανακ,max} = \varepsilon C_{min} (t_{11} - t_{21}) \quad (4)$$



Παράδειγμα υπολογισμού- γενικές σχέσεις (8/15)

- Ανάκτηση αισθητής θερμότητας- καλοκαίρι.
- Βαθμός απόδοσης, ε :

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_{21}c(t_{21}-t_{22})}{C_{min}(t_{21}-t_{11})} = \frac{\dot{m}_{11}c(t_{12}-t_{11})}{C_{min}(t_{21}-t_{11})} \quad (5)$$

$$t_{22} = t_{21} - \varepsilon \frac{C_{min}}{\dot{m}_{21}c} (t_{21} - t_{11}) \quad (6)$$

$$t_{12} = t_{11} + \varepsilon \frac{C_{min}}{\dot{m}_{11}c} (t_{21} - t_{11}) \quad (7)$$

$$\dot{q}_{ανακ} = \varepsilon \dot{q}_{ανακ,max} = \varepsilon C_{min}(t_{21} - t_{11}) \quad (8)$$



Παράδειγμα υπολογισμού- επίλυση (9/15)

- 1) Επειδή έχουμε πλήρη απόρριψη του αέρα επιστροφής στο περιβάλλον, ισχύει:

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{21} \text{ και } \dot{m}_{11}c = \dot{m}_{21} c$$

Οι συνθήκες του αέρα μετά τον εναλλάκτη αέρα-αέρα, στην προσαγωγή είναι:

Από τη σχέση (1):

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{(t_{22}-t_{21})}{(t_{11}-t_{21})} \Rightarrow t_{22} = t_{21} + \varepsilon(t_{11} - t_{21}) = \\ &= 0 + (0.70) \times (22 - 0) \Rightarrow t_{22} = 15.4[^\circ\text{C}] \end{aligned}$$



Παράδειγμα υπολογισμού- επίλυση (10/15)

- Από τον ψυχομετρικό χάρτη προκύπτει:

$$W_{22} = W_{21} = 3 \left[\frac{grH_2O}{kg \xi.a} \right]$$

- Το σημείο (21) είναι ορισμένο

$$(t_{21} = 0 [^{\circ}C] \text{ και } \varphi_{21} = 80\%)$$

(Ισχύει $W_{22} = W_{21}$ γιατί η διεργασία γίνεται χωρίς μεταβολή υγρασίας)



Παράδειγμα υπολογισμού- επίλυση (11/15)

$h_{22} = 23.1 [kJ/kg]$ (από ψυχομετρικό χάρτη) ή

$$\begin{aligned} h_{22} &= 1.006 t_{22} + W_{22} (2500 + 1.86 t_{22}) \\ &= 15.4 \times 1.006 + \frac{3}{1000} (2500 + 1.86 \times 15.4) \\ &= 23.1 [kJ/kg] \end{aligned}$$

$\varphi_{22} \approx 27\%$ (ανάγνωση από ψυχομετρικό χάρτη)

$$\begin{aligned} h_{21} &= 1.006 t_{21} + W_{21} (2500 + 1.86 t_{21}) \\ &= 1.006 \times 0 + \frac{3}{1000} (2500 + 1.86 \times 0) \\ &= 7.5 [kJ/kg] \end{aligned}$$



Παράδειγμα υπολογισμού- επίλυση (12/15)

2) Η θερμική ισχύς που ανακτάται είναι:

$$\begin{aligned}\dot{q}_{\text{ανακτ}} &= \dot{m}_{21}(h_{22} - h_{21}) = \dot{V}_{21}\rho(h_{22} - h_{21}) \\ &= \frac{100000}{3600} \left[\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{s/h}} \right] 1.2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] (23.1 - 7.5) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = 520[\text{kW}]\end{aligned}$$

Η θερμική ισχύς που ανακτάται, μπορεί να προκύψει και από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\dot{q}_{\text{ανακτ}} &= \varepsilon \cdot c_{\min} \cdot (t_{11} - t_{21}) \\ &= 0,7 \cdot \frac{100000}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1,006 \cdot (22 - 0) = 516,4[\text{kW}]\end{aligned}$$

(Απόκλιση 7‰)



Παράδειγμα υπολογισμού- επίλυση (13/15)

3) Θεωρώντας ότι δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, ισχύει:

$$\begin{aligned}\dot{q}_{\text{ανακ}} &= \dot{V}_{11}\rho(h_{12} - h_{11}) \Rightarrow h_{12} = h_{11} + \frac{\dot{q}_{\text{ανακ}}}{\dot{V}_{11}\rho} \\ &= 36.86 + \frac{(-520) \times 3600}{100000 \times 1.2} = 21.3 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]\end{aligned}$$

Όπου:

$$\begin{aligned}h_{11} &= 1.006 t_{11} + W_{11}(2500 + 1.86 t_{11}) \\ &= 1.006 \times 22 + \frac{5.8}{1000}(2500 + 1.86 \times 22) = 36.86 [\text{kJ}/\text{kg}]\end{aligned}$$

$$W_{11} = 5.8 \left[\frac{\text{grH}_2\text{O}}{\text{kg} \xi.\alpha} \right] \text{ (ανάγνωση από ψυχομετρικό χάρτη)}$$



Παράδειγμα υπολογισμού- επίλυση (14/15)

- Οι συνθήκες του αέρα μετά τον εναλλάκτη αέρα-αέρα, στην απόρριψη είναι:

$$\begin{aligned}t_{12} &= t_{11} - \varepsilon \frac{C_{min}}{\dot{m}_{11}c} (t_{11} - t_{21}) = 22 - 0.7 \times 1 \times (22 - 0) \\ &= 6.6 \text{ [}^\circ\text{C]}\end{aligned}$$

ή

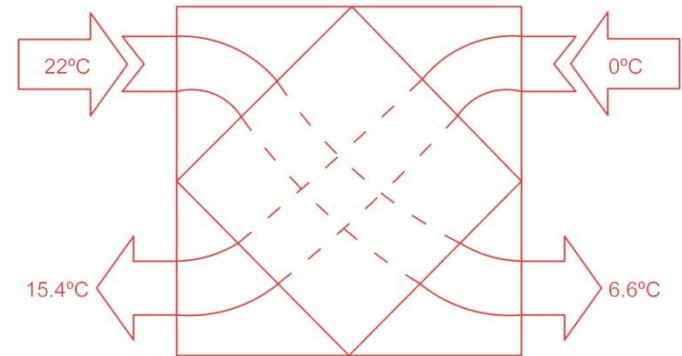
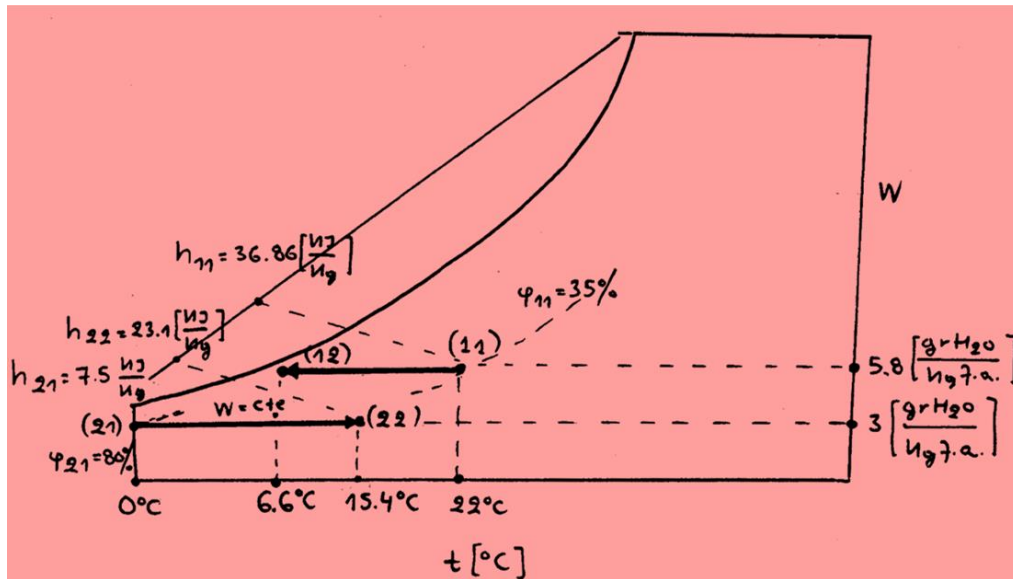
$$t_{12} = t_{11} + \frac{\dot{q}_{ανακ}}{\dot{V}_{11} \rho c} = 22 + \frac{(-520) \times 3600}{100000 \times 1.2 \times 1.006} \approx 6.6 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\varphi_{12} \approx 95\% \text{ (ανάγνωση από τον ψυχομετρικό χάρτη)}$$



Παράδειγμα υπολογισμού- επίλυση (15/15)

Εικ.11: Απεικόνιση στον ψυχομετρικό χάρτη



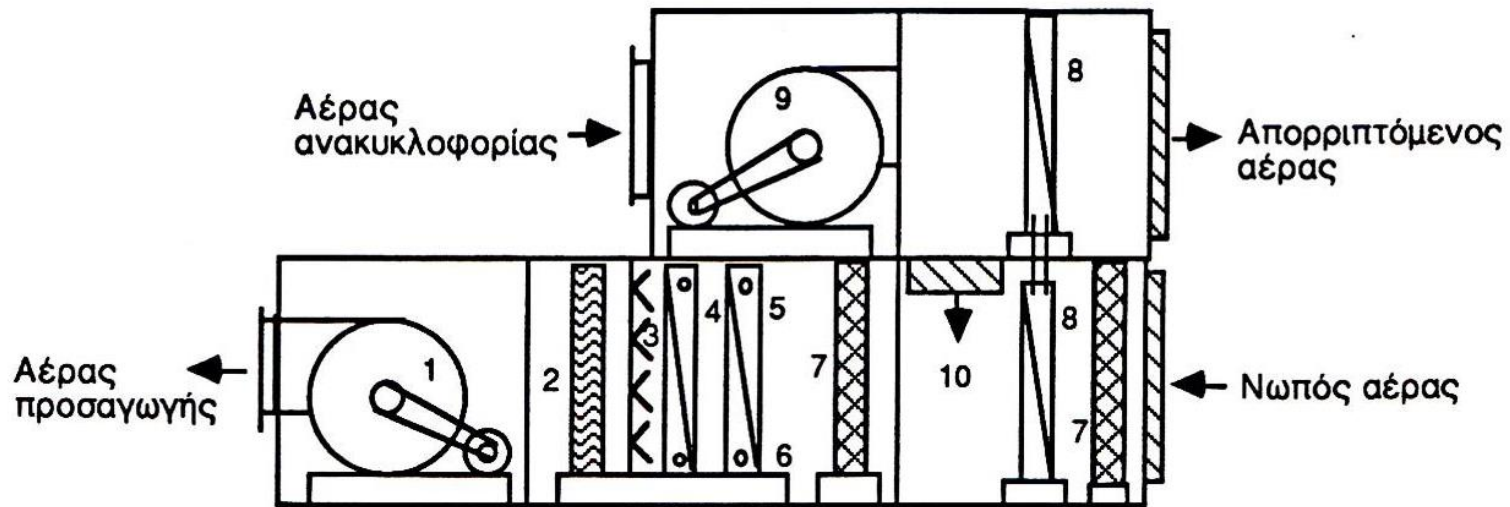
Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-νερού (1/5)

- Η ανάκτηση ενέργειας στο σύστημα αυτό γίνεται με την παρεμβολή ενός εναλλάκτη θερμότητας αέρα-νερού, ο οποίος μεταφέρει την αισθητή θερμότητα του απορριπτόμενου αέρα σε ένα κύκλωμα νερού ανακυκλοφορίας.
- Η θερμότητα αυτή μέσω ενός δεύτερου εναλλάκτη, που παρεμβάλλεται στο ρεύμα νωπού αέρα, χρησιμεύει για την προθέρμανση ή την πρόψυξη του εξωτερικού αέρα.



Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-νερού (2/5)

Εικ.12: Εναλλάκτης θερμότητας αέρα-νερού σε ΚΚΜ



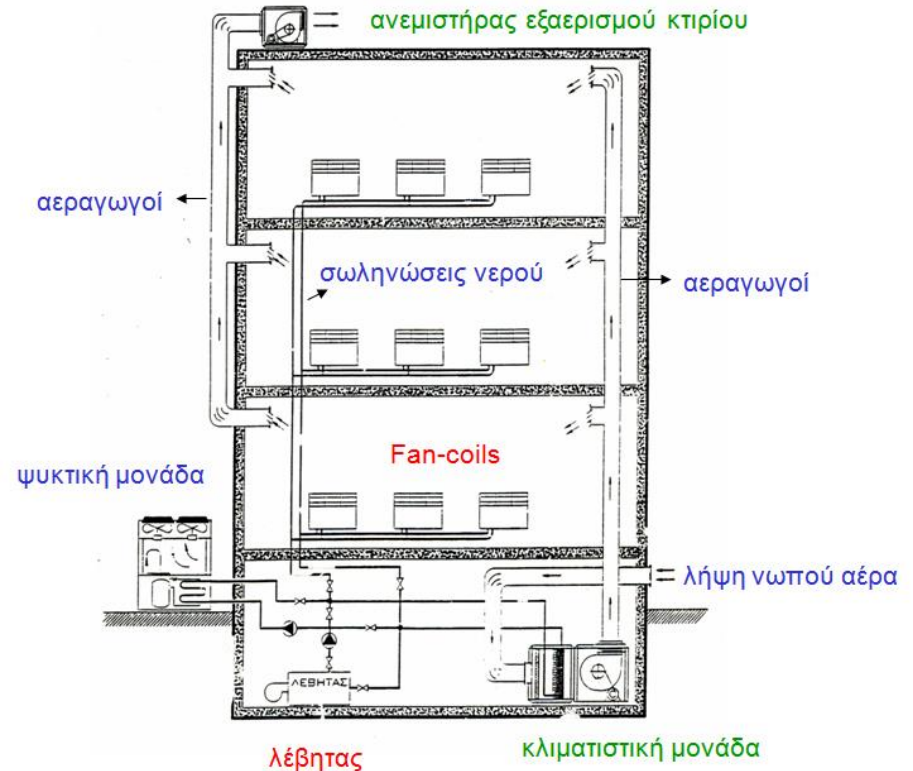
1. Ανεμιστήρας προσαγωγής
2. Σταγονοσυλλέκτης
3. Υγραντήρας
4. Θερμαντικό στοιχείο
5. Ψυκτικό στοιχείο

6. Λεκάνη συμπυκνωμάτων
7. Φίλτρα
8. Εναλλάκτες αέρα-νερού
9. Ανεμιστήρας ανακυκλοφορίας
10. Damper αέρα ανακυκλοφορίας



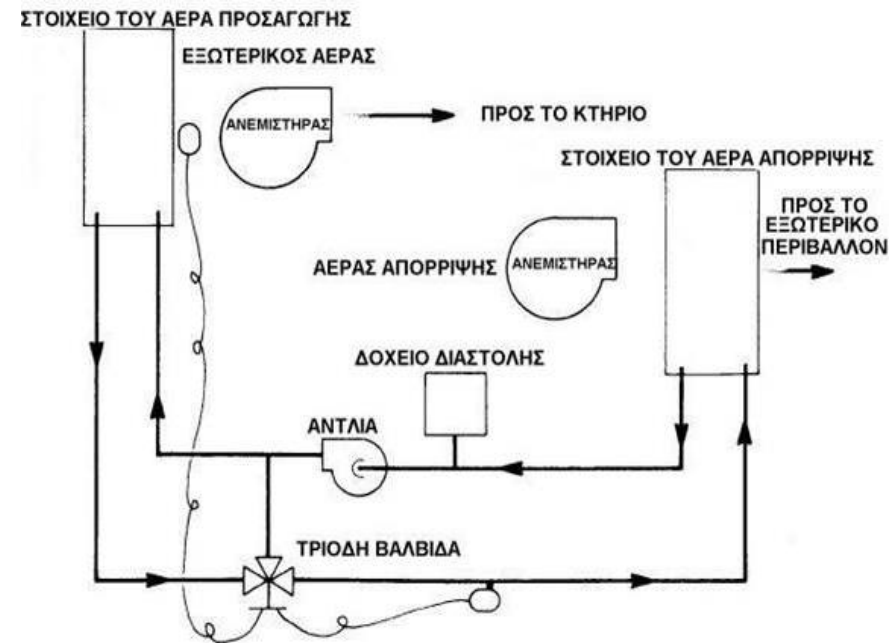
Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-νερού (4/5)

- Εικ.14: Οι εναλλάκτες μπορεί να είναι τοποθετημένοι και εκτός της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας, σε δύο απομακρυσμένα μεταξύ τους σημεία.
- Ο βαθμός ανάκτησης της αισθητής θερμότητας κυμαίνεται από 50% έως 65%.



Εναλλάκτες θερμότητας αέρα-νερού (5/5)

- Εικ.15: Περαιτέρω αύξηση του βαθμού απόδοσης με πρόσθεση περισσότερων σειρών σωλήνων στους εναλλάκτες είναι δύσκολη, γιατί αυξάνεται πολύ η πτώση πίεσης του αέρα και απαιτούνται ανεμιστήρες μεγαλύτερης ισχύος (με μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας).



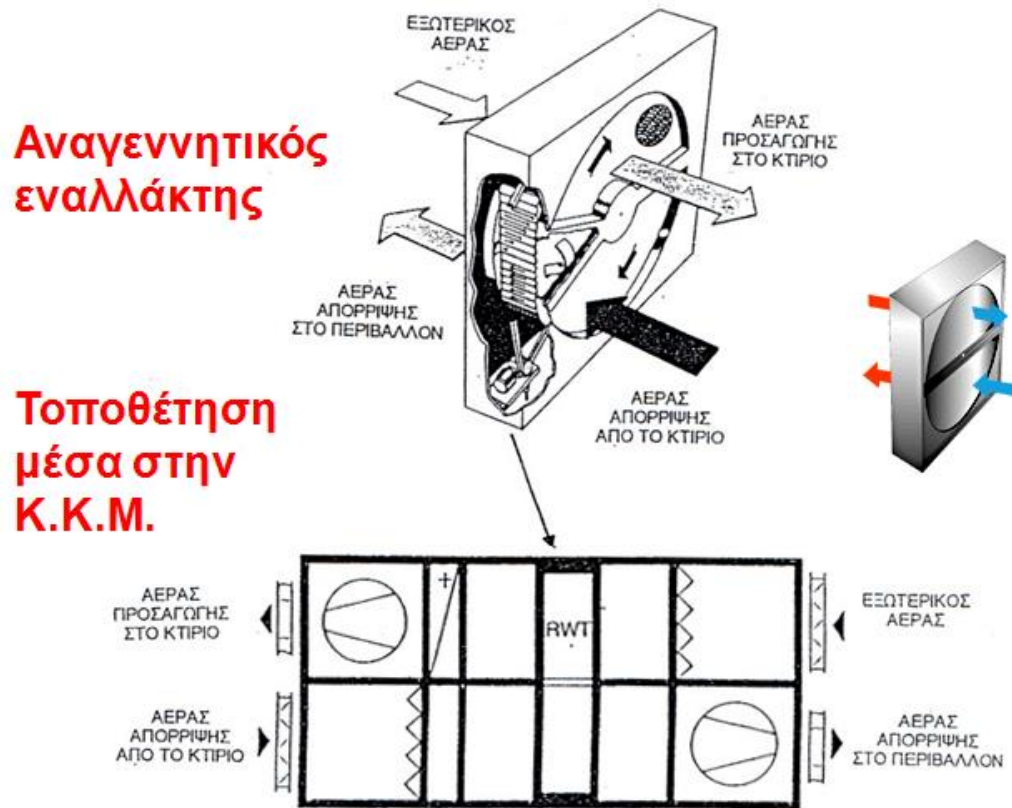
Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (1/9)

- Ο αναγεννητικός εναλλάκτης είναι ένας περιστρεφόμενος δίσκος με τα εξής χαρακτηριστικά:
- Αποτελείται από κατάλληλο πορώδες υλικό με ικανότητα κατακράτησης θερμότητας (και σε πολλές περιπτώσεις και υγρασίας).
- Περιστρέφεται αργά (5...10 στροφές/λεπτό).
- Διαρρέεται στη μια κατεύθυνση από τον απορριπτόμενο στο ύπαιθρο αέρα και στην άλλη κατεύθυνση από εξωτερικό νωπό αέρα.



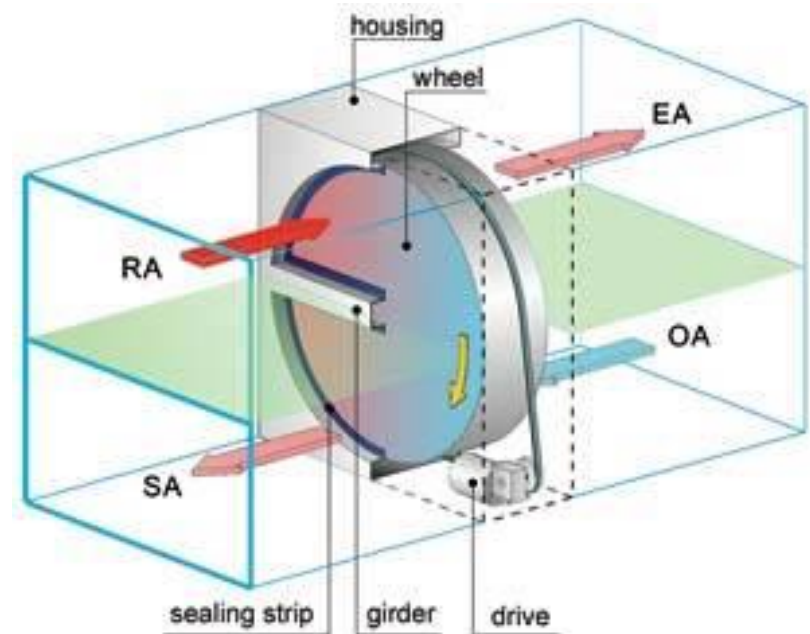
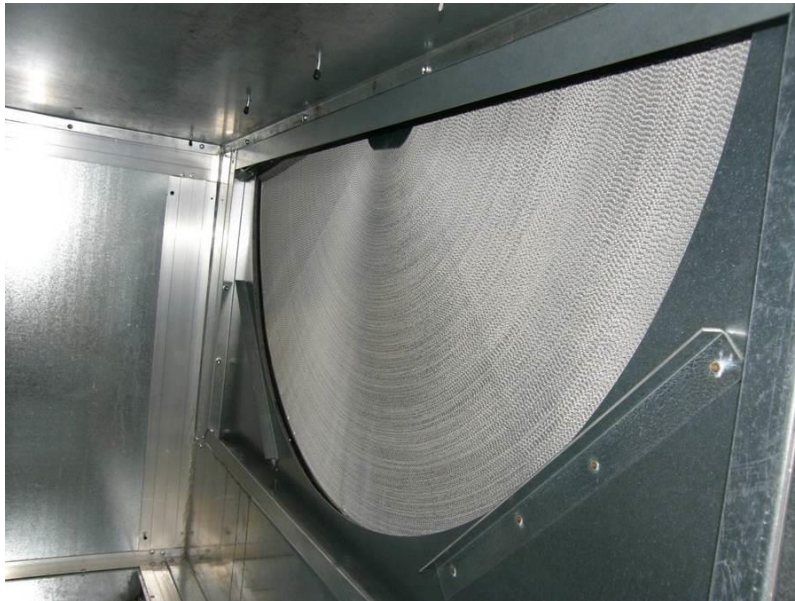
Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (2/9)

Εικ.16: Αναγεννητικός εναλλάκτης θερμότητας αέρα- αέρα σε κεντρική κλιματιστική μονάδα



Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (3/9)

Εικ.17: Αναγεννητικοί Εναλλάκτες



Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (4/9)

- Ο αναγεννητής εισέρχεται αρχικά στον αγωγό του θερμού αέρα και κατόπιν στον αγωγό του ψυχρού αέρα και διαρρέεται από τα ρεύματα αυτά αξονικά.
- Όταν ένα τμήμα της περιστρεφόμενης επιφάνειας βρίσκεται στο θερμό ρεύμα αέρα, το ψύχει κατακρατώντας θερμότητα (και υγρασία). Όταν μετά αυτό το τμήμα του περιστροφικού εναλλάκτη βρεθεί στο ρεύμα του ψυχρού αέρα, τότε τη θερμότητα (και την υγρασία) που είχε κατακρατήσει, την αποδίδει στο ρεύμα ψυχρού αέρα.



Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (5/9)

- Με τον τρόπο αυτό, η αισθητή θερμότητα (και η λανθάνουσα εάν το υλικό είναι υγροσκοπικό) μεταφέρεται από το θερμό ρεύμα αέρα στο ψυχρό. Το αντίστροφο συμβαίνει το καλοκαίρι.
- Για να αποφεύγεται η μετάδοση ρύπων, είναι απαραίτητο να προτάσσονται φίλτρα αέρα και στα δύο ρεύματα, για να διατηρούνται οι δίοδοι του αέρα καθαρές.



Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (6/9)

- Ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται από 65% έως 80%. Οι τιμές αυτές όμως ισχύουν, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, για καινούργιες συσκευές, με καθαρές επιφάνειες εναλλαγής.
- Με την πάροδο του χρόνου, οι βαθμοί απόδοσης πέφτουν σημαντικά, ιδιαίτερα όταν δεν γίνεται συντήρηση.
- Η πτώση του βαθμού απόδοσης οφείλεται στην επικάθηση σκόνης, σκουριά κ.λ.π.



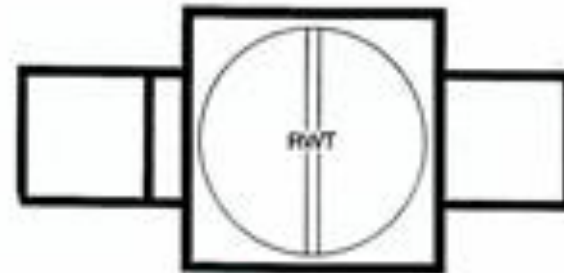
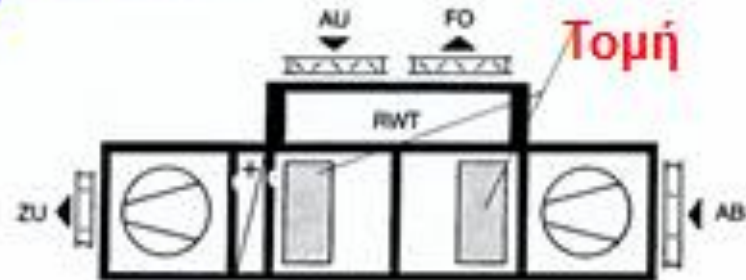
Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (7/9)

Εικ.18: Αναγεννητικός εναλλάκτης θερμότητας επί της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας

Τοποθέτηση επί της Κ.Κ.Μ.



Αναγεννητικός εναλλάκτης



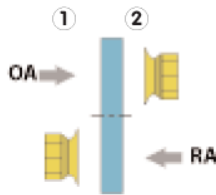
Κάτοψη

Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (8/9)

Εικ.19: Απεικόνιση της ανάκτησης αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας στον ψυχομετρικό χάρτη

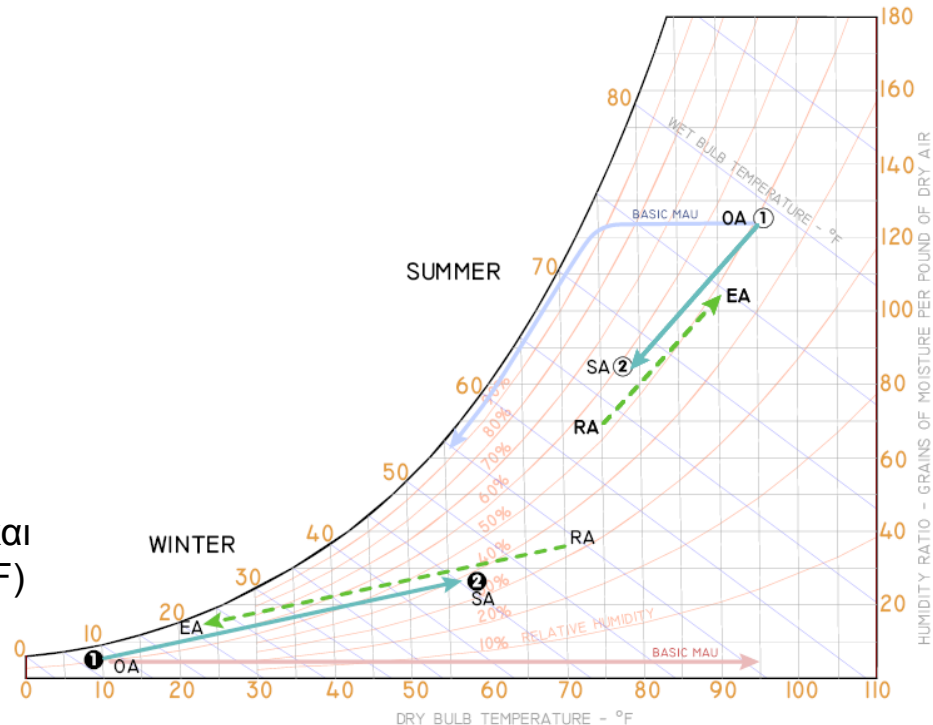
Energy Recovery Ventilator

This page shows a psychrometric process for a typical 100% outdoor air energy recovery unit under standard design conditions. The numbers indicate different stages in the process where there is a transformation of the incoming air condition. The process is compared to the energy needed to achieve the same supply conditions with a basic heating and/or cooling makeup air unit.



	①	②	RA	EA
S	95/78	80/68	75/63	90/74
W	10/8	56/44	70/53	23/22

↑
Θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου (°F)

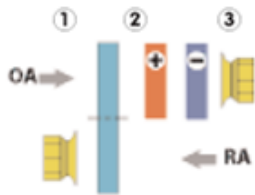


Αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας (9/9)

Εικ.20: Απεικόνιση της ανάκτησης αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας στον ψυχομετρικό χάρτη σε συνδυασμό με θέρμανση (χειμώνας) και ψύξη και αφύγρανση (καλοκαίρι) του αέρα

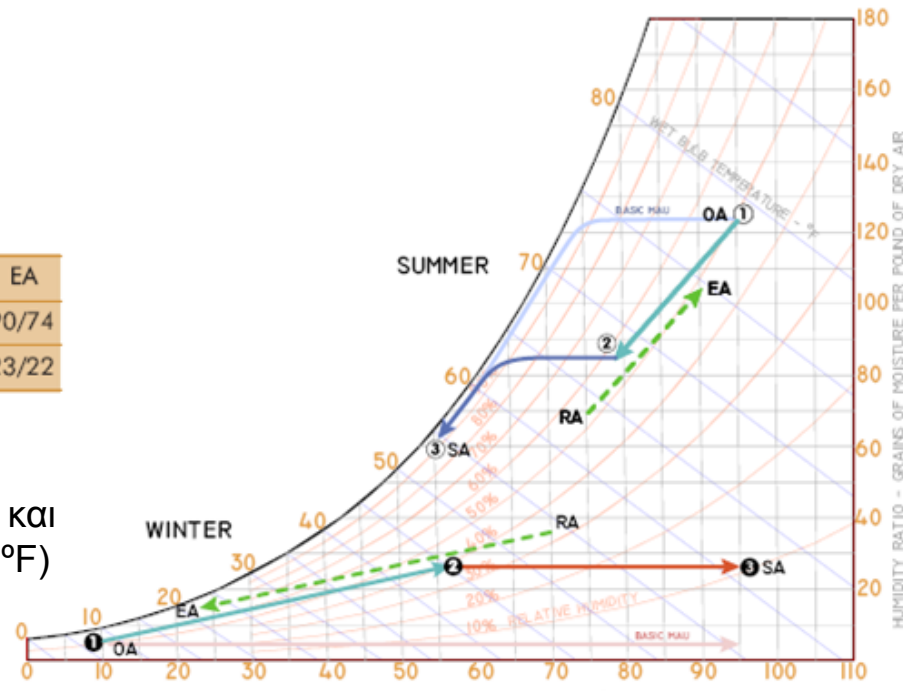
Wheel Unit with Heating and Cooling`

This page shows a psychrometric process for a typical 100% outdoor air energy recovery unit under standard design conditions. The numbers indicate different stages in the process where there is a transformation of the incoming air condition. The process is compared to the energy needed to achieve the same supply conditions with a basic heating and/or cooling makeup air unit.



	①	②	③	RA	EA
S	95/78	80/68	55/55	75/63	90/74
W	10/8	56/44	95/61	70/53	23/22

↑
Θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου (°F)



Θερμοσωλήνες- Heat pipes (1/5)

- Το σύστημα αυτό είναι μια συστοιχία πτερυγιοφόρων σωλήνων που περιέχουν ένα ρευστό και χωρίζονται σε δύο μέρη (χωρίς να συνδέονται μεταξύ τους).
- 1) Το τμήμα εξάτμισης που όταν διαρρέεται από ρεύμα θερμού αέρα, εξατμίζεται το ρευστό. Η εξάτμιση έχει ως αποτέλεσμα την μετακίνηση του ρευστού προς το άλλο τμήμα των θερμοσωλήνων, το τμήμα συμπύκνωσης.



Θερμοσωλήνες- Heat pipes (2/5)

- 2) Το τμήμα συμπύκνωσης όπου αποβάλλεται η μεταφερόμενη θερμότητα στο ψυχρό ρεύμα αέρα, μέσω της συμπύκνωσης.

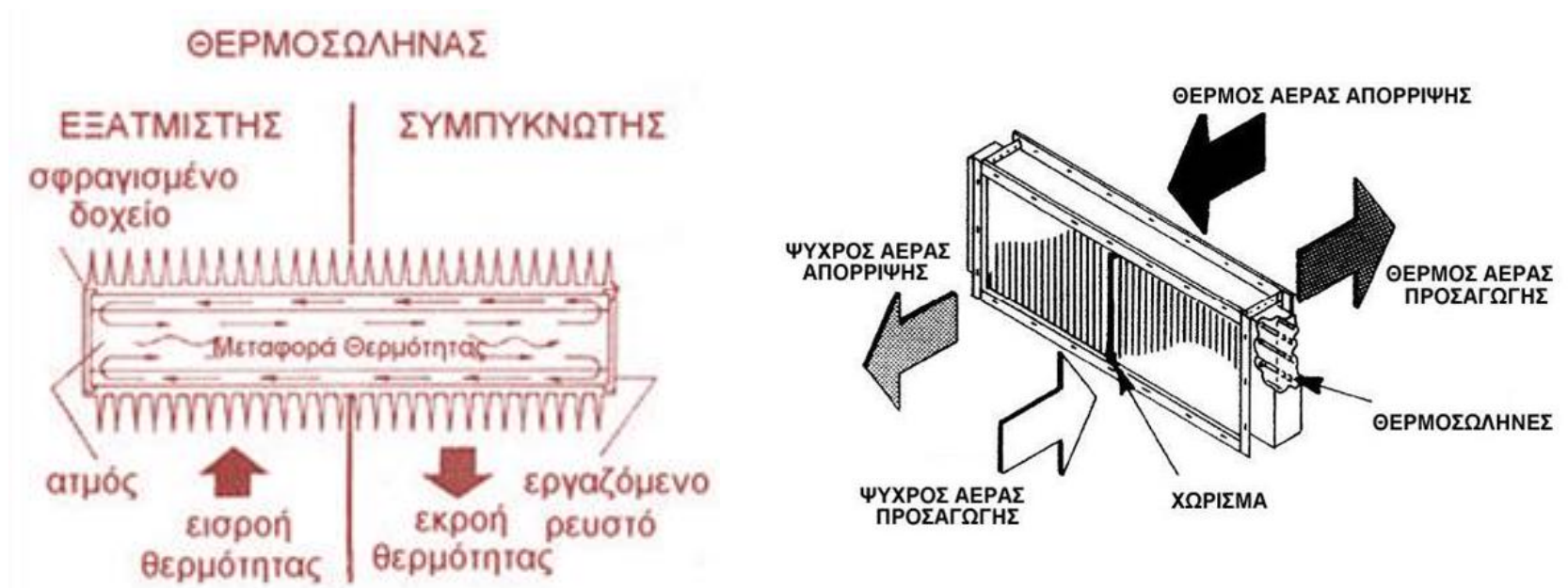
Το ρευστό στη συνέχεια επιστρέφει στο τμήμα εξάτμισης και επαναλαμβάνεται η διαδικασία εξάτμισης-συμπύκνωσης.

Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται όσο υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο τμημάτων των θερμοσωλήνων



Θερμοσωλήνες- Heat pipes (3/5)

Εικ.21: Θερμοσωλήνες



Θερμοσωλήνες- Heat pipes (4/5)

- Οι εναλλάκτες αυτοί προορίζονται συνήθως μόνο για ανάκτηση αισθητής θερμότητας.
- Αν οι συνθήκες του αέρα επιτρέπουν την συμπύκνωση υδρατμών στην επιφάνεια των σωλήνων, μπορεί να υπάρξει και μεταφορά λανθάνουσας θερμότητας και συνεπώς αυξημένη απόδοση.
- Ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 45% και 65%.



Θερμοσωλήνες- Heat pipes (5/5)

Η απόδοση του εναλλάκτη εξαρτάται από:

- Τον αριθμό των σειρών των θερμοσωλήνων,
- Την θερμοκρασία περιβάλλοντος,
- Την ταχύτητα του αέρα,
- Τον λόγο των ροών μάζας των δύο ρευμάτων αέρα.

Με αυξημένο αριθμό σειρών, αυξάνεται και η απόδοση.



Χρήση συσκευών ανάκτησης θερμότητας

Εικ.22: Παράγοντες που ευνοούν την τοποθέτηση συσκευών ανάκτησης θερμότητας σε ΚΚΜ

ΕΥΝΟΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ	
Η διάρκεια χρήσης ενός κτιρίου	Κτίρια, τα οποία κατοικούνται πολλές ώρες στη διάρκεια της ημέρας (πολυκαταστήματα, νοσοκομεία, εστιατόρια) συνήθως παρέχουν περισσότερες δυνατότητες για ανάκτηση θερμότητας.
Η απαίτηση για φρέσκο αέρα	Κτίρια, τα οποία απαιτούν μεγάλα ποσά φρέσκου εξωτερικού αέρα (νοσοκομεία, εργαστήρια, θέατρα, χώροι συγκεντρώσεων, κέντρα άθλησης) παρέχουν άριστες δυνατότητες για ανάκτηση θερμότητας.
Τα υψηλά επίπεδα κατοίκησης και φωτισμού	Κτίρια με υψηλά εσωτερικά θερμικά φορτία παρέχουν πολλές δυνατότητες για ανάκτηση θερμότητας, ιδιαίτερα όταν συμπίπτουν οι απαιτήσεις για θερμότητα με την απορριπτόμενη θερμότητα τόσο χρονικά όσο και ποσοτικά.



Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας

- Παράλληλα με την ραγδαία ανάπτυξη του κλιματισμού αυξήθηκε και η ζήτηση ενέργειας, κυρίως ηλεκτρικής, με αποτέλεσμα την δημιουργία αιχμών ζήτησης, οι οποίες πολλές φορές είναι δύσκολο να αντιμετωπισθούν.
- Νέα συστήματα και συσκευές εμφανίζονται για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Μερικά από τα συστήματα αυτά είναι:



Αποθήκευση θερμότητας με πάγο (1/8)

1) Αποθήκευση θερμότητας με πάγο

- Η αρχή λειτουργίας αυτού του συστήματος βασίζεται στην παραγωγή πάγου, κατά τις ώρες που υπάρχει μικρή ή μηδενική απαίτηση φορτίου.
- Ο πάγος στην συνέχεια χρησιμοποιείται για ψύξη τις ώρες που παρατηρείται αιχμή του ψυκτικού φορτίου.
- Η παραγωγή πάγου γίνεται κυρίως τις νυκτερινές ώρες, οπότε και το τιμολόγιο του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να είναι μειωμένο.



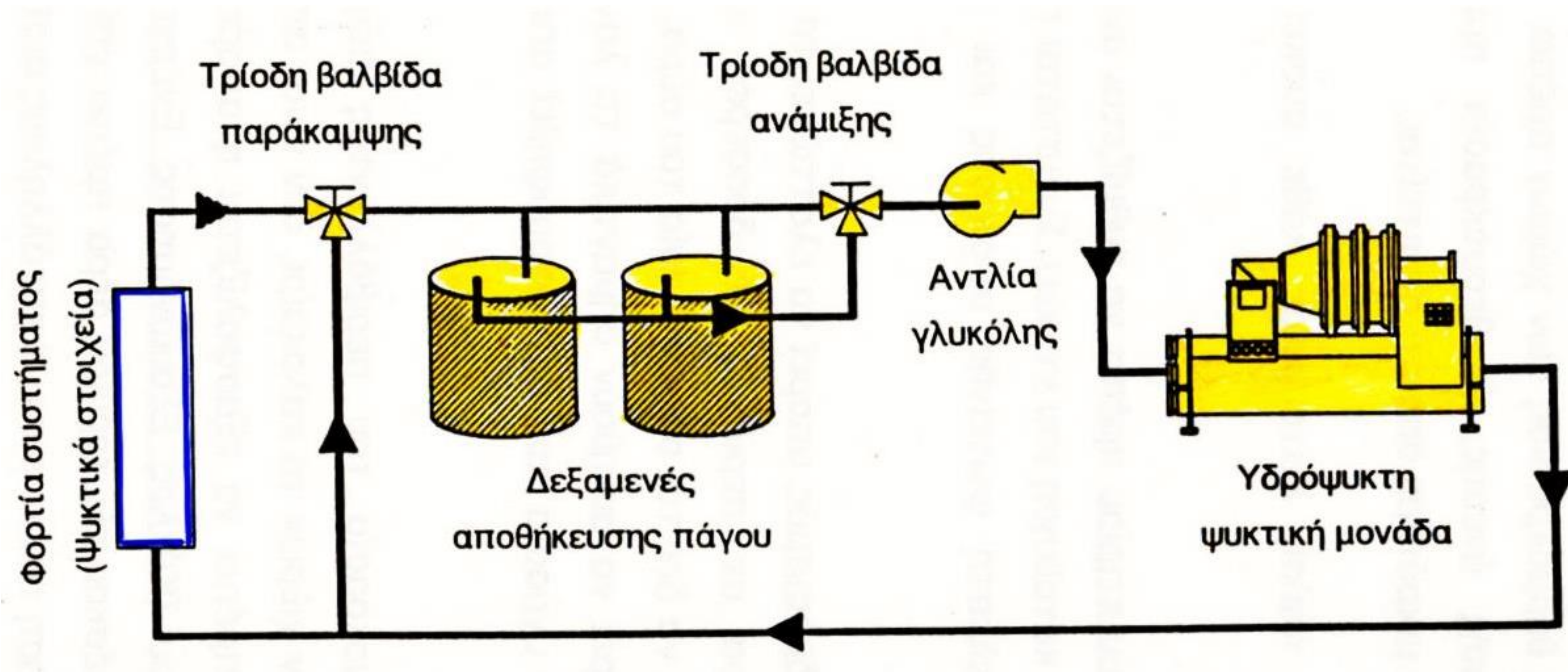
Αποθήκευση θερμότητας με πάγο (2/8)

- Η αποθήκευση του πάγου γίνεται μέσα σε δεξαμενές κατάλληλης χωρητικότητας.
- Η παραγωγή πάγου γίνεται με την ψύξη ενός μίγματος γλυκόλης-νερού από την ψυκτική μονάδα, το οποίο κυκλοφορεί στην συνέχεια μέσα σε σωλήνες που είναι εγκατεστημένοι στις δεξαμενές αποθήκευσης και παράγει πάγο.



Αποθήκευση θερμότητας με πάγο (3/8)

Εικ.23: Σύστημα κλιματισμού με αποθήκευση θερμότητας με πάγο



Αποθήκευση θερμότητας με πάγο (4/8)

- Όταν δημιουργείται ζήτηση φορτίου το μίγμα γλυκόλης-νερού, θερμαινόμενο από τα φορτία του κτιρίου, τήκει τον πάγο, επαναψύχεται, καλύπτει τα φορτία κ.ο.κ.
- Το σύστημα παρουσιάζει αυξημένο αρχικό κόστος για την εγκατάσταση των δεξαμενών αποθήκευσης. Το αρχικό κόστος όμως μειώνεται λόγω της εγκατάστασης ψυκτικής μονάδας μικρότερης ισχύος.



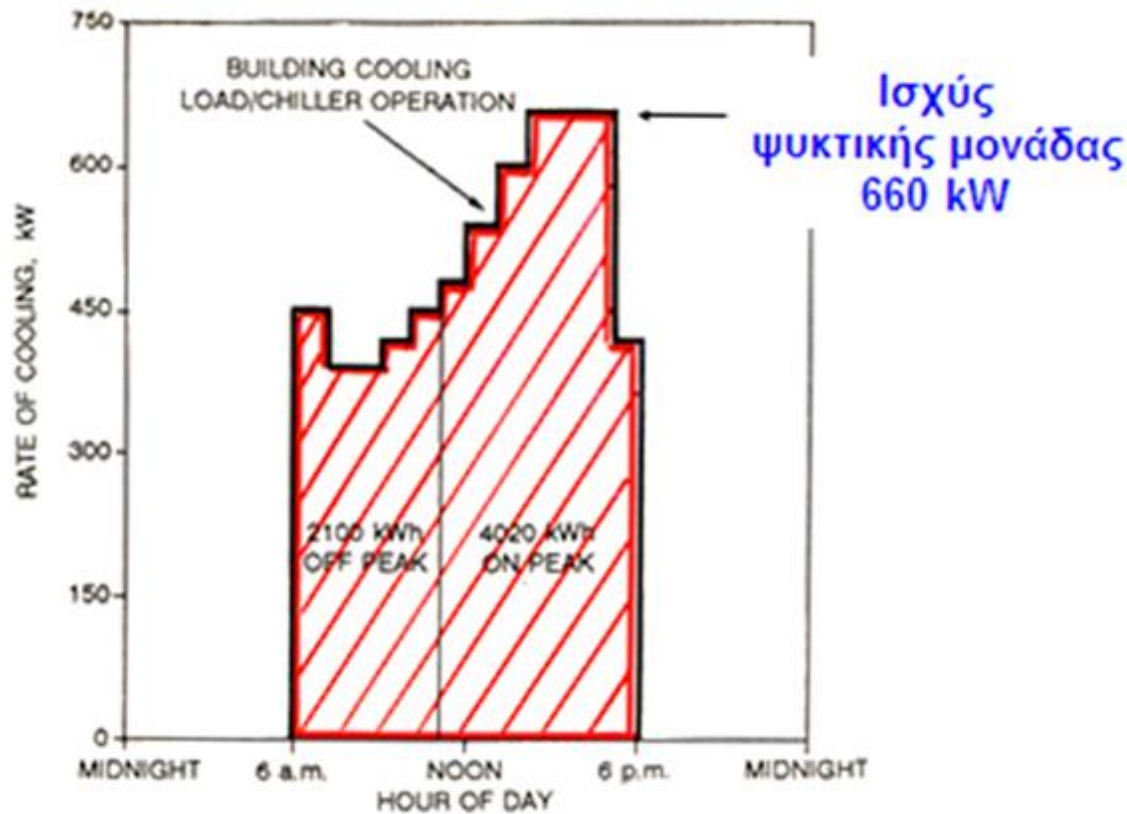
Αποθήκευση θερμότητας με πάγο (5/8)

- Σημαντική εξοικονόμηση γίνεται εάν ισχύει μειωμένο τιμολόγιο ηλεκτρικού ρεύματος στην διάρκεια της νύχτας.
- Ενδείκνυται για κτίρια που χρησιμοποιούν το σύστημα κλιματισμού λίγες ώρες την εβδομάδα (π.χ. αίθουσες σπόρ, εκκλησίες κ.λ.π.).



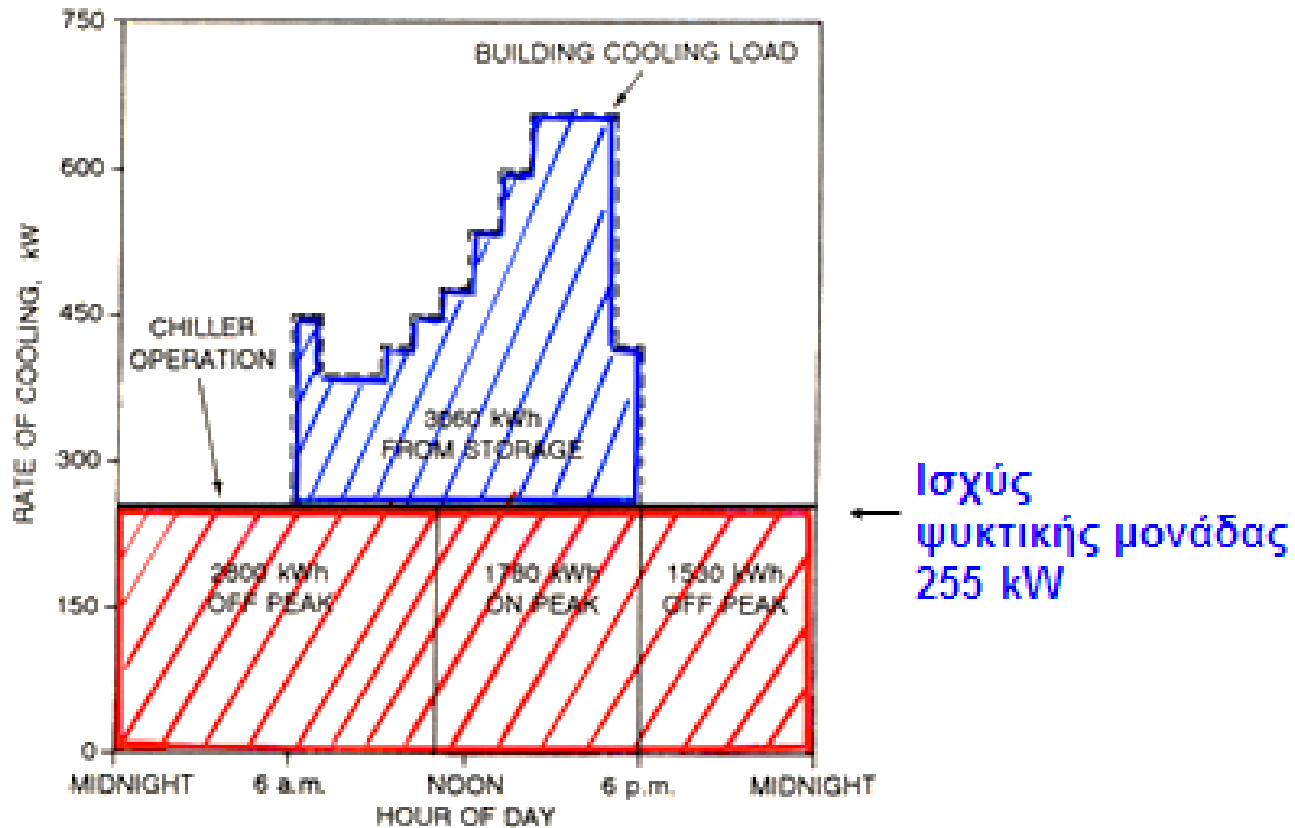
Αποθήκευση θερμότητας με πάγο (6/8)

Εικ.24: Ψύξη χωρίς αποθήκευση – αντιμετώπιση αιχμών φορτίου από την ψυκτική μονάδα



Αποθήκευση θερμότητας με πάγο (7/8)

Εικ.25: Ψύξη με αποθήκευση – αντιμετώπιση αιχμών φορτίου από την αποθήκη

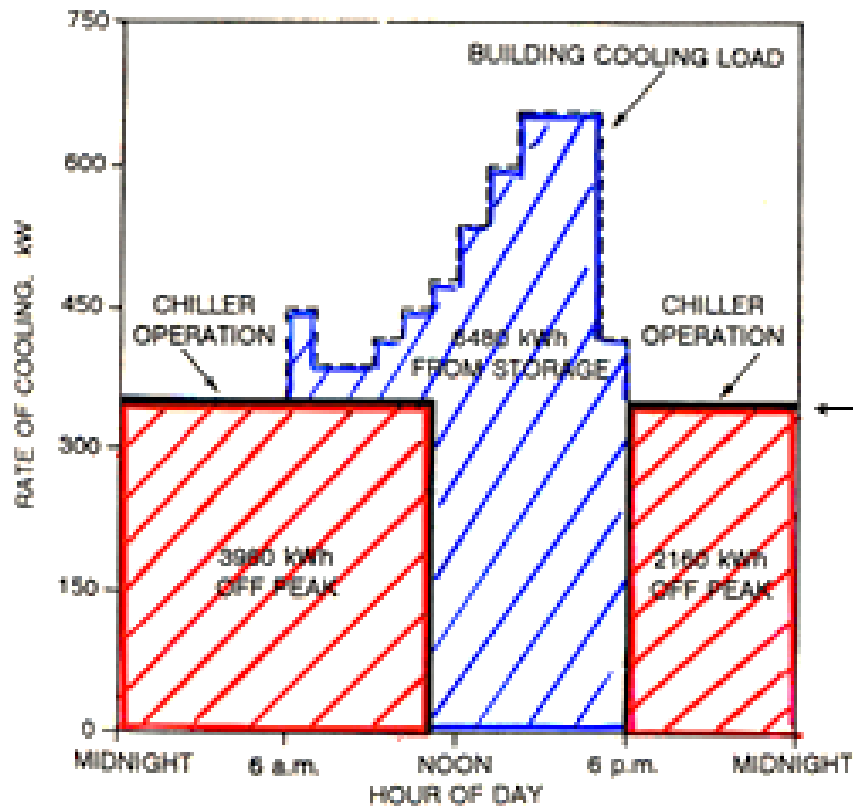


Ισχύς ψυκτικής μονάδας 255 kW



Αποθήκευση θερμότητας με πάγο (8/8)

Εικ.26: Ψύξη με αποθήκευση – αντιμετώπιση φορτίου και αιχμών φορτίου από την αποθήκη



Ισχύς
ψυκτικής μονάδας
360 kW



Συστήματα συμπαραγωγής ενέργειας (1/3)

- 2) Συστήματα συμπαραγωγής ενέργειας με εκμετάλλευση της απόβλητης θερμότητας.
 - Τα συστήματα συμπαραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με παράλληλη εκμετάλλευση της απόβλητης θερμότητας για θέρμανση ή για ψύξη.



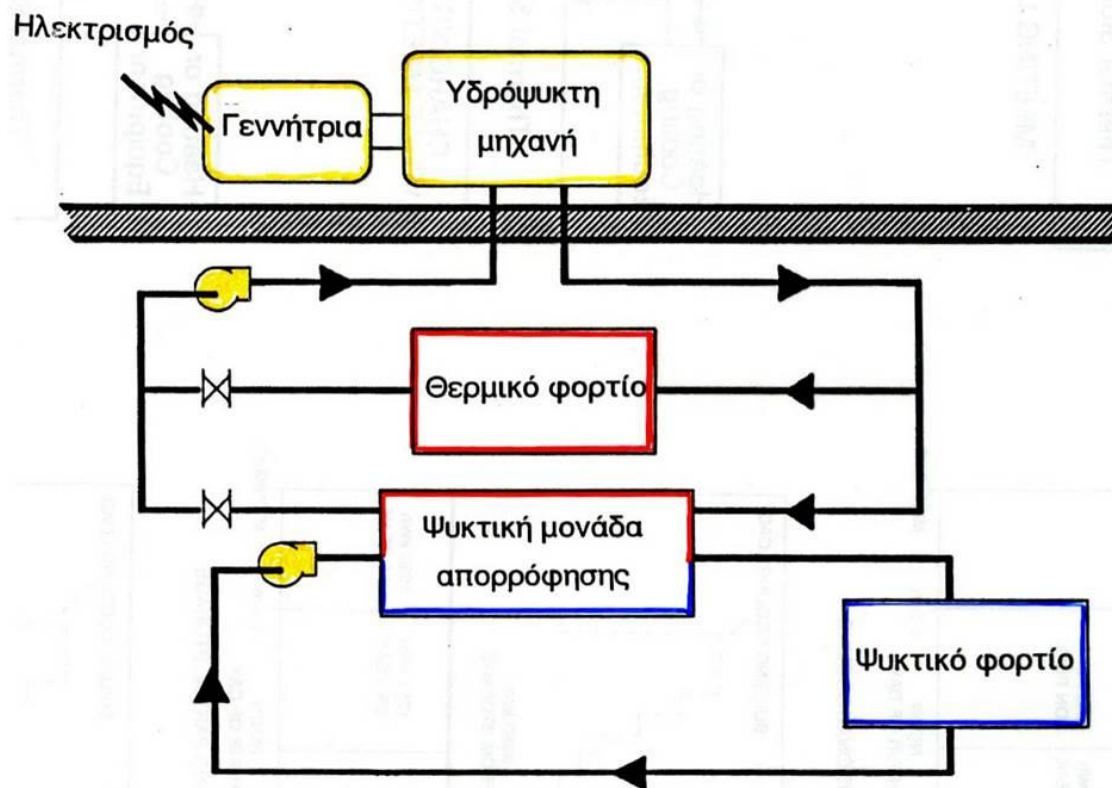
Συστήματα συμπαραγωγής ενέργειας (2/3)

- Επειδή το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως μεγαλύτερο από αυτό της δημόσιας επιχείρησης, το οικονομικό όφελος συνήθως προκύπτει από την κατάλληλη εκμετάλλευση της απόβλητης θερμότητας για παραγωγή θερμού νερού χρήσης, για θέρμανση και για ψύξη με την εγκατάσταση μιας ψυκτικής μονάδας απορρόφησης



Συστήματα συμπαραγωγής ενέργειας (3/3)

Εικ.27: Σύστημα συμπαραγωγής με εκμετάλλευση της απόβλητης θερμότητας για θέρμανση και ψύξη



Συνδυασμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας (1/5)

- 3) Συνδυασμένα συστήματα με αποθήκευση ενέργειας και ψυκτικές μονάδες απορρόφησης.
- Τα συνδυασμένα συστήματα αποτελούνται από ψυκτικές μονάδες απορρόφησης, από ηλεκτρικές ψυκτικές μονάδες και από δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας.



Συνδυασμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας (2/5)

- Οι ψυκτικές μονάδες απορρόφησης λειτουργούν στην διάρκεια αιχμών του ψυκτικού φορτίου είτε αυτόνομα για την κάλυψη των φορτίων είτε σε συνδυασμό με ηλεκτρικές ψυκτικές μονάδες για πρόψυξη του νερού, το οποίο στην συνέχεια ψύχεται από τις ηλεκτροκίνητες ψυκτικές μονάδες στην κατάλληλη θερμοκρασία.



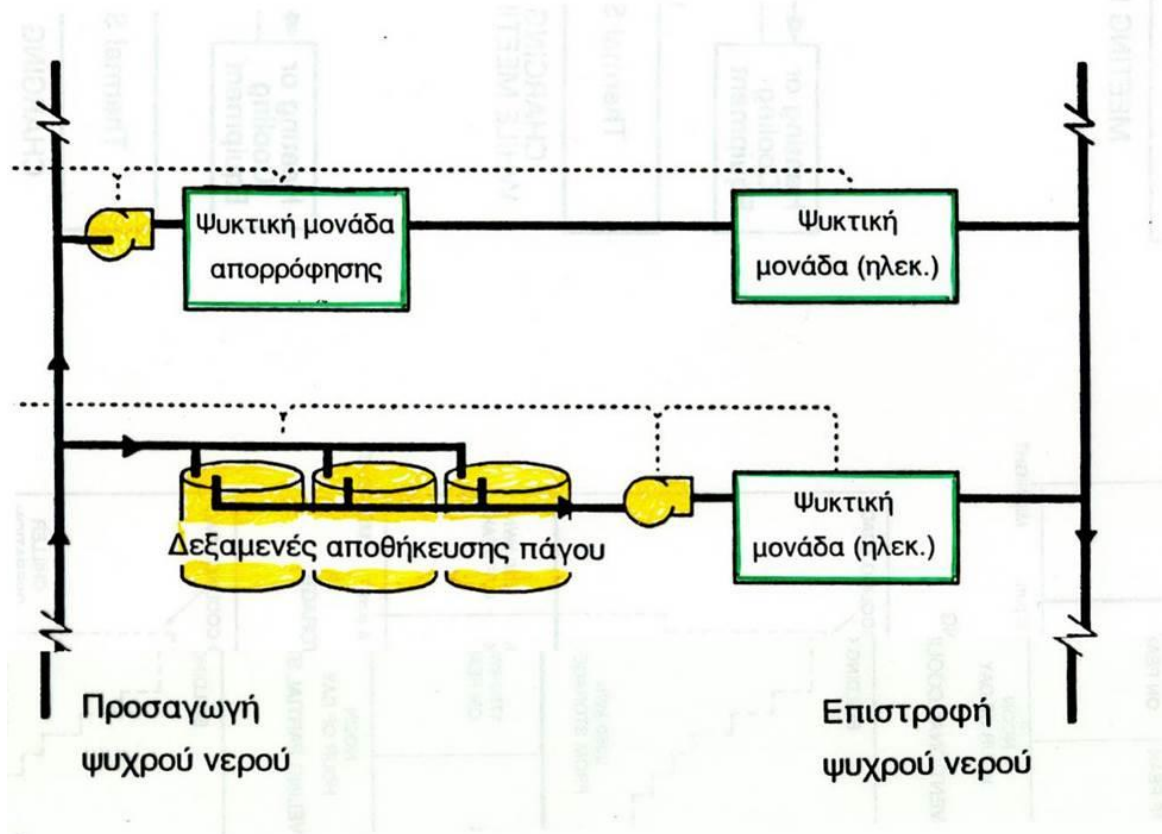
Συνδυασμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας (3/5)

- Σε άλλη παραλλαγή του συστήματος, τις ώρες που υπάρχει μικρή ή μηδενική απαίτηση φορτίου, οι ηλεκτροκίνητες ψυκτικές μονάδες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πάγου στις δεξαμενές. Τα φορτία αιχμής καλύπτονται από τις ψυκτικές μονάδες απορρόφησης σε συνδυασμό με την αποφόρτιση των δεξαμενών.
- Οι ψυκτικές μονάδες απορρόφησης στην εφαρμογή αυτή συνήθως χρησιμοποιούν φυσικό αέριο.



Συνδυασμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας (4/5)

Εικ.28: Σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας με αποθήκευση θερμότητας, ηλεκτροκίνητες ψυκτικές μονάδες συμπίεσης και ψυκτικές μονάδες απορρόφησης



Συνδυασμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας (5/5)

- Τα ποσοστά συμμετοχής ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου και το μέγεθος των δεξαμενών αποθήκευσης είναι συνάρτηση της κάθε εφαρμογής και προκύπτουν από τεχνοοικονομική ανάλυση.
- Οι παράγοντες που καθορίζουν τη βέλτιστη λύση είναι τα χαρακτηριστικά του φορτίου, οι ώρες λειτουργίας του κτιρίου και το κόστος απόκτησης, λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1: Σχεδιάστηκε από τον διδάσκοντα
- Εικόνα 2: Από το διαδίκτυο, άγνωστη πηγή
- Εικόνα 3: Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες, Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας ESEA, Aeroklima Air Conditioning
- Εικόνα 4: Προσωπική φωτογραφία του διδάσκοντα
- Εικόνα 5: Α. Ασημακόπουλος, Κ. Διακουμάκος, Ν. Σεκεριάδης, Εγκαταστάσεις Κλιματισμού II, ΥΠΕΠΘ, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, ΟΕΔΒ, 2002
- Εικόνα 6: Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας Lennox
- Εικόνα 7: Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας ANNEXAIR
https://www.annexair.com/Portals/0/Our%20Products/PDF/ERU-FPlate_erv.pdf



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 8: Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας ANNEXAIR
https://www.annexair.com/Portals/0/Our%20Products/PDF/ERU-FPlate_hc.pdf
- Εικόνα 9: Σχεδιάστηκε από τον διδάσκοντα
- Εικόνα 10: Σχεδιάστηκε από τον διδάσκοντα
- Εικόνα 11: Σχεδιάστηκε από τον διδάσκοντα
- Εικόνα 12: Σχεδιάστηκε από τον διδάσκοντα
- Εικόνα 13: Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας WOLF GmbH
- Εικόνα 15: ASHRAE Handbook 2000 HVAC Systems and Equipment, ASHRAE Atlanta, USA



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 16: α) ASHRAE Handbook 2000 HVAC Systems and Equipment, ASHRAE Atlanta, USA
β) Εικόνα από το διαδίκτυο
http://www.iklimnet.com/expert_hvac/heat_recovery_wheels.html
γ) Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας WOLF
- Εικόνα 17: α) Προσωπική φωτογραφία του διδάσκοντα
β) Εικόνα από το διαδίκτυο
http://airwoods.en.alibaba.com/product/575708952-210837714/Sensible_air_system_heat_recovery_wheel.html
- Εικόνα 18: Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας WOLF
- Εικόνα 19: Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας ANNEXAIR
<https://www.annexair.com/Portals/0/Our%20Products/PDF/ERU-EW-erv.pdf>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

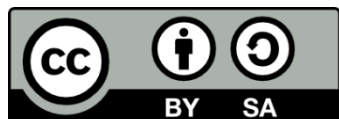
- Εικόνα 20: Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας ANNEXAIR
https://www.annexair.com/Portals/0/Our%20Products/PDF/ERU-EW-hw_hc.pdf
- Εικόνα 21: α) Εικόνα από το διαδίκτυο
β) ASHRAE Handbook 2000 HVAC Systems and Equipment, ASHRAE Atlanta, USA
- Εικόνες 22, 27, 28: Σχεδιάστηκαν από τον διδάσκοντα
- Εικόνα 23: TRANE, Ice Storage Systems, Applications Engineering Manual, The Trane Company La Crosse, USA
- Εικόνες 24, 25, 26: ASHRAE Handbook 1995 HVAC Applications, ASHRAE Atlanta, USA





Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Χριστόφορος Μωραΐτης
Θεσσαλονίκη, 30/06/2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ