



# ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

## Ενότητα 6: Ψυχομετρία

Κωνσταντίνος Παπακώστας  
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

Ψυχομετρία

# Γενικά (1/2)

- Η ψυχομετρία είναι η μελέτη των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του υγρού αέρα και η ανάλυση των διεργασιών με υγρό αέρα στον κλιματισμό.
- Η ψυχομετρία και οι διεργασίες τις οποίες περιλαμβάνει, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των συσκευών σε μία εγκατάσταση κλιματισμού.
- Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη μετατροπή των ψυκτικών ή θερμικών φορτίων των χώρων σε αντίστοιχες παροχές αέρα προσαγωγής, με τις κατάλληλες συνθήκες, και στη συνέχεια τη διαστασιολόγηση του εξοπλισμού της εγκατάστασης κλιματισμού.



# Γενικά (2/2)

- Οι επιθυμητές συνθήκες στους κλιματιζόμενους χώρους επιτυγχάνονται με τη διοχέτευση κλιματισμένου αέρα κατάλληλης παροχής και κατάλληλης θερμοκρασίας ξηρού και υγρού θερμομέτρου.
- Ο αέρας προσαγωγής φθάνει στις κατάλληλες συνθήκες, αφού υποστεί τις απαραίτητες διεργασίες μέσα στην κεντρική μονάδα κλιματισμού.



# Ορισμοί (1/9)

- Αισθητή θερμότητα: Είναι η θερμότητα που μεταβάλλει τη θερμοκρασία του αέρα χωρίς να αλλάζει το περιεχόμενό του σε υγρασία. Η θερμότητα που προστίθεται στον αέρα από έναν εναλλάκτη θερμότητας αέρα- νερού, αποτελεί ένα παράδειγμα της αισθητής θερμότητας.
- Θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου (DB ή Ξ.Θ.): Η θερμοκρασιακή ένδειξη κοινού θερμομέτρου σε [°C].



# Ορισμοί (2/9)

- Ισοθερμική διεργασία: Η διεργασία κατά την οποία δεν υπάρχει μεταβολή στη θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου.
- Ειδικός όγκος  $v$ : Ο όγκος του αέρα ανά μονάδα μάζας [ $m^3 / kg$  ξ. α.]. Η αντίστροφη τιμή είναι η πυκνότητα  $\rho$  σε [ $kg / m^3$  ξ. α.]. Για παράδειγμα, ο ειδικός όγκος 0.90 [ $m^3 / kg$  ξ. α.] έχει μια πυκνότητα 1.11 [ $kg / m^3$  ξ. α.]





# Ορισμοί (3/9)

- Θερμοκρασία σημείου υγροποιήσεως ή σημείο δρόσου (DP): Η θερμοκρασία σε [°C] στην οποία οι υδρατμοί που περιέχονται στον αέρα αρχίζουν να σχηματίζουν σταγονίδια και συμπυκνώνονται σε επιφάνειες που είναι ψυχρότερες από τον αέρα. Όσο περισσότερη υγρασία περιέχει ο αέρας, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του σημείου υγροποιήσεως.



# Ορισμοί (4/9)

- Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (WB ή ΥΘ): Είναι η ένδειξη της θερμοκρασίας σε  $[^{\circ}\text{C}]$  σε ένα θερμόμετρο του οποίου ο βολβός περιτυλίγεται με ένα υγρό πανί και εκτίθεται σε μια ροή αέρα ταχύτητας περίπου  $4.6 \text{ m/s}$ .  
Με την εξάτμιση του νερού η ένδειξη της θερμοκρασίας είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου κατά ένα ποσό ανάλογο με το περιεχόμενο του αέρα σε υγρασία. Όταν η θερμοκρασία ισορροπήσει, η ένδειξη που προκύπτει είναι η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου.



# Ορισμοί (5/9)

- Κορεσμός: Είναι μία κατάσταση (θερμοκρασίας και πίεσης) στην οποία ο αέρας δεν μπορεί να συγκρατήσει περισσότερη υγρασία.
- Περιεχόμενο σε υγρασία (απόλυτη υγρασία)  $W$  σε  $[g \text{ H}_2\text{O}/kg \text{ ξ. α.}]$ : Είναι η ποσότητα του νερού που περιέχεται σε μια μονάδα μάζας ξηρού αέρα.



# Ορισμοί (6/9)

- Πυκνότητα του αέρα  $\rho$  σε  $[kg/m^3 \text{ ξ. α.}]$  : Η μάζα του αέρα ανά μονάδα όγκου.
- Σχετική υγρασία ( $\phi$  ή RH): Είναι ο λόγος του ποσού υγρασίας που περιέχεται στον αέρα προς το μέγιστο ποσό υγρασίας που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Η σχετική υγρασία εκφράζεται σε ποσοστό κορεσμού [%] . Για παράδειγμα, ο αέρας με σχετική υγρασία 35% έχει το 35% της μέγιστης ποσότητας υγρασίας (περίπτωση κορεσμού) που θα μπορούσε να έχει σε αυτή τη θερμοκρασία και πίεση.



# Ορισμοί (7/9)

- Λανθάνουσα θερμότητα: Είναι η θερμότητα που χρειάζεται για τη μεταβολή του νερού σε υδρατμό, χωρίς να μεταβληθεί η θερμοκρασία ή η πίεση. Η λανθάνουσα θερμότητα λέγεται και «θερμότητα ατμοποίησης». Όταν το νερό ατμοποιείται, απορροφά θερμότητα η οποία γίνεται λανθάνουσα θερμότητα. Όταν ο ατμός συμπυκνώνεται, απελευθερώνεται η λανθάνουσα θερμότητα αποδίδοντας συνήθως αισθητή θερμότητα.



# Ορισμοί (8/9)

- Αδιαβατική διαδικασία: Η διαδικασία κατά την οποία δεν υπάρχει ροή θερμότητας προς το περιβάλλον δηλαδή δεν παρατηρείται ούτε απώλεια, ούτε κέρδος στην ολική θερμότητα. Η θερμότητα του συστήματος απλώς μεταβάλλεται από αισθητή σε λανθάνουσα θερμότητα ή από λανθάνουσα σε αισθητή.



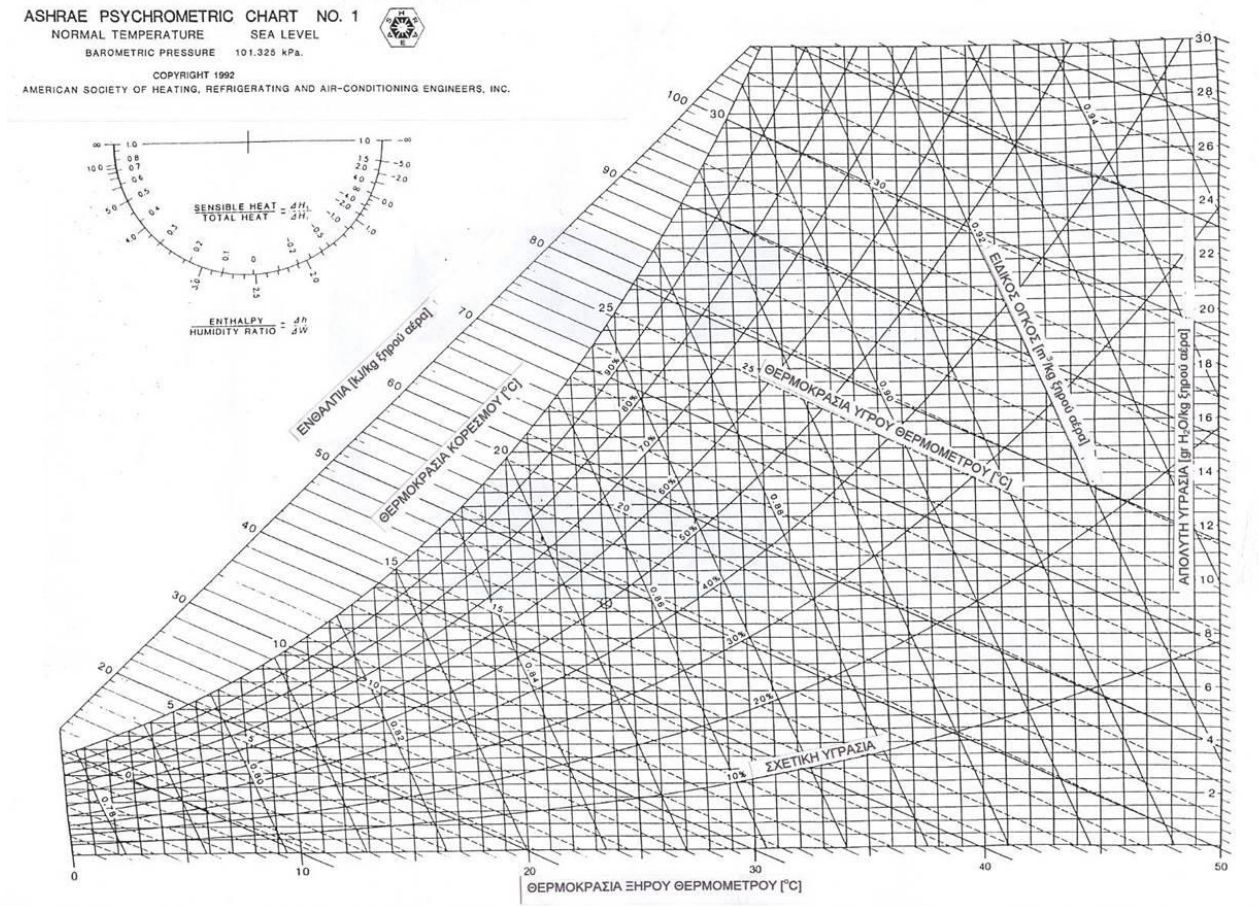
# Ορισμοί (9/9)

- Ολική θερμότητα (ενθαλπία): Το ποσό αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας εκφρασμένο σε kilojoules (kJ) ανά μονάδα μάζας του αέρα. Η ολική θερμότητα ή ενθαλπία συνήθως μετριέται με αφετηρία τους 0°C για τον αέρα.



# Ψυχομετρικός χάρτης (1/2)

Εικ.31: Ψυχομετρικός χάρτης της ASHRAE

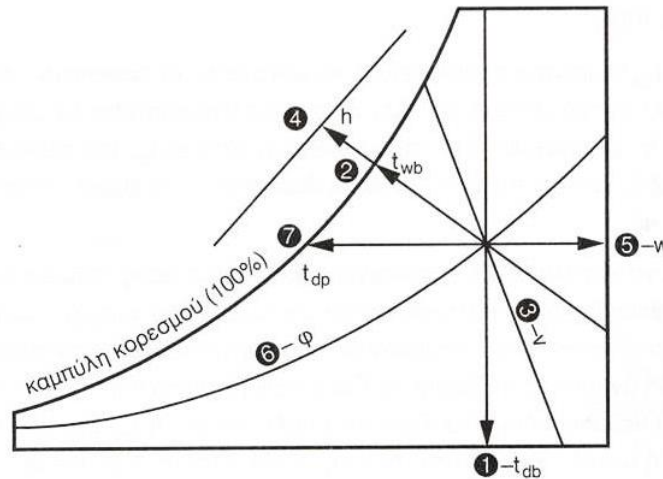




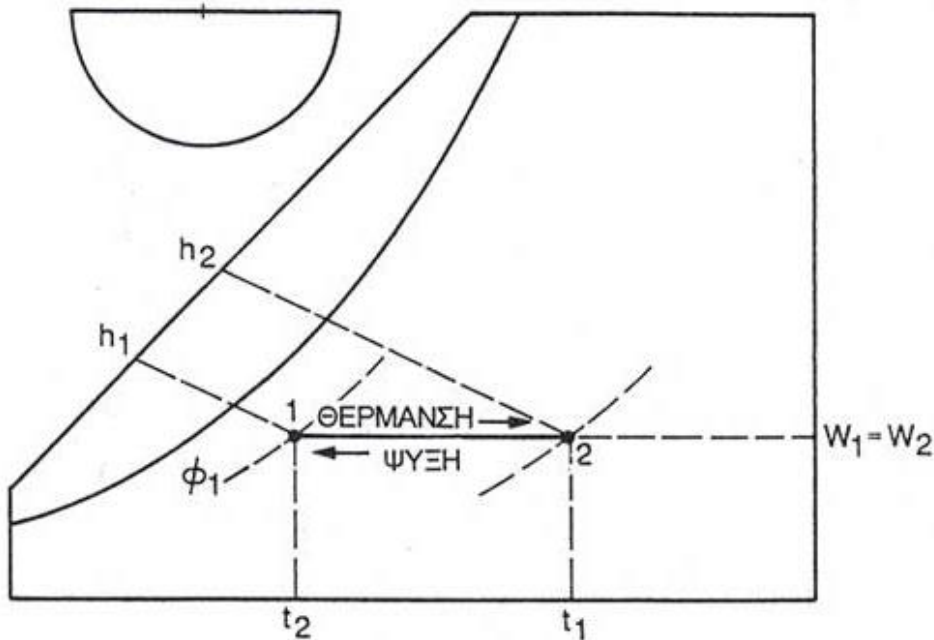
# Ψυχομετρικός χάρτης (2/2)

Εικ.2: Οι γραμμές πάνω στο ψυχομετρικό χάρτη

Γραμμή	Περιγραφή	Συμβολισμός	Μονάδες
1	Θερμοκρασία ξηρού βολβού	$t_{db}$	$^{\circ}\text{C}$
2	Θερμοκρασία υγρού βολβού	$t_{wb}$	$^{\circ}\text{C}$
3	Ειδικός όγκος	$v$	$\text{m}^3/\text{kg}$
4	Ενθαλπία	$h$	$\text{kJ}/\text{kg}$
5	Ειδική υγρασία	$W$	$\text{g}/\text{Kg}$
6	Σχετική υγρασία	$\varphi$	%
7	Σημείο δρόσου	$t_{dp}$	$^{\circ}\text{C}$



# Αισθητή Θέρμανση

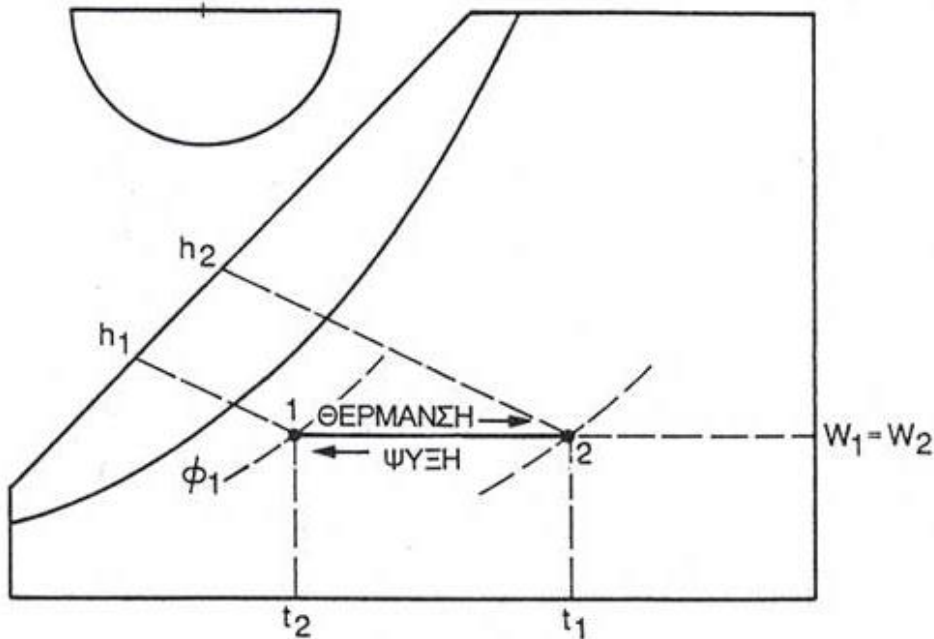


- Εικ.3: Ο αέρας εισέρχεται στα θερμαντικά στοιχεία στην κατάσταση 1 και θερμαίνεται, χωρίς την πρόσθεση ή αφαίρεση υγρασίας. Ο αέρας εξέρχεται από τα θερμαντικά στοιχεία στην κατάσταση 2.
- Η ανταλλαγή θερμότητας στη διεργασία αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$q = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \\ = \dot{m}_a c_p(t_2 - t_1)$$



# Αισθητή ψύξη



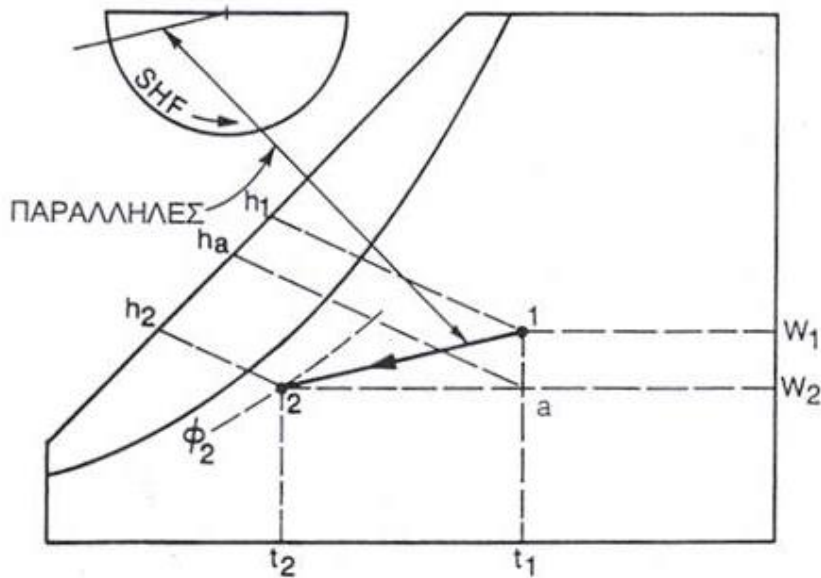
- Εικ.4: Ο αέρας εισέρχεται στο ψυκτικό στοιχείο στην κατάσταση 2 και ψύχεται, χωρίς την πρόσθεση ή αφαίρεση υγρασίας. Ο αέρας εξέρχεται από στο ψυκτικό στοιχείο στην κατάσταση 1.

- Η ανταλλαγή θερμότητας στη διεργασία αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$q = \dot{m}_a (h_2 - h_1) \\ = \dot{m}_a c_p (t_2 - t_1)$$



# Αφύγρανση



- Εικ.5: Η αφύγρανση του κλιματιζόμενου αέρα γίνεται με τη συμπύκνωση της υγρασίας του αέρα επάνω στα ψυκτικά στοιχεία. Αυτό συμβαίνει όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας των ψυκτικών στοιχείων είναι χαμηλότερη από το σημείο δρόσου του αέρα.
- Η διεργασία αυτή συνήθως λαμβάνει χώρα συγχρόνως με τη ψύξη του αέρα. Το ενεργειακό ισοζύγιο είναι:

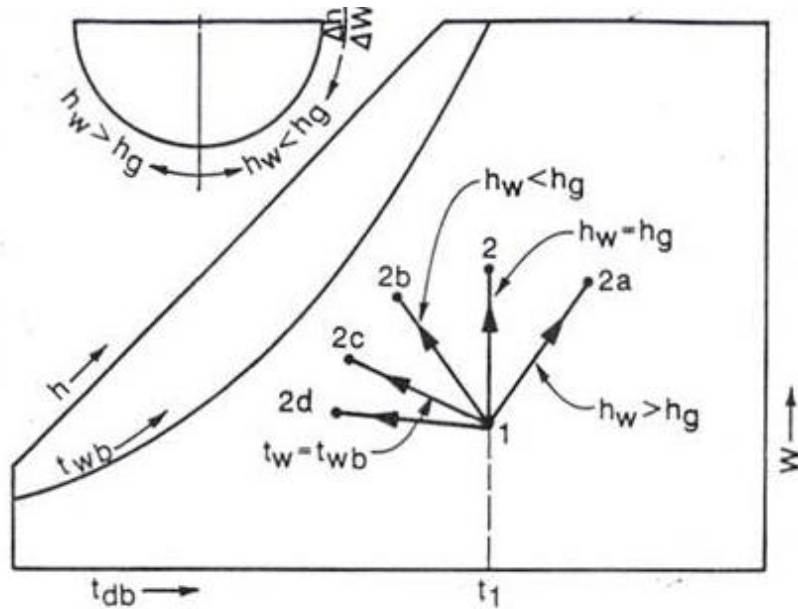
$$\begin{aligned} \dot{q} &= \dot{m}_a (h_2 - h_1) - (\dot{m}_w h_w) \\ &= \dot{m}_a (c_p (t_2 - t_1) \\ &\quad + h_{fg} (W_2 - W_1)) - \dot{m}_w h_w \end{aligned}$$



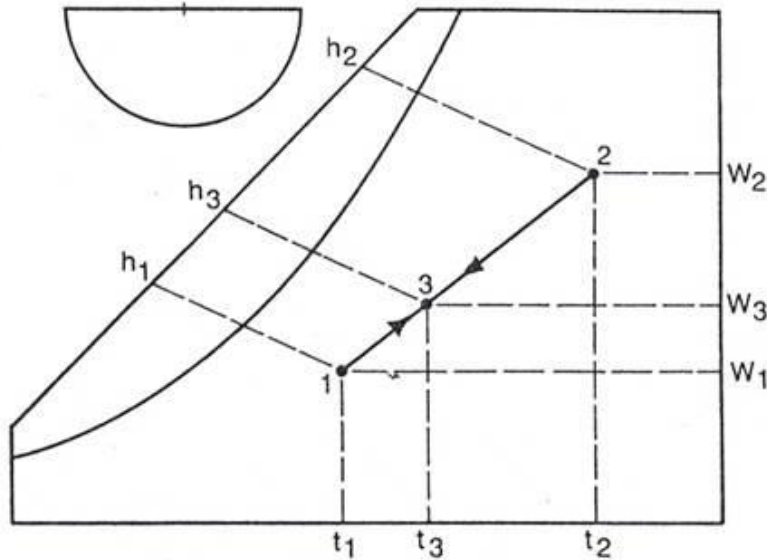
# Ύγρανση

- Εικ.6: Η ύγρανση του αέρα γίνεται με την προσθήκη υγρασίας στο ρεύμα του αέρα προσαγωγής. Η εξίσωση ενέργειας στην περίπτωση αυτή είναι:

$$\frac{h_2 - h_1}{W_2 - W_1} = h_w = \frac{\Delta h}{\Delta W}$$



# Ανάμειξη δύο ρευμάτων αέρα (1/2)



- Εικ.7: Σε ένα συνηθισμένο σύστημα κλιματισμού μόνο με αέρα, ένα μεγάλο τμήμα του αέρα που προσάγεται στο κτίριο επιστρέφει στην κεντρική μονάδα κλιματισμού και ανακυκλοφορεί. Συγχρόνως εισάγεται στη μονάδα και φρέσκος εξωτερικός αέρας από το περιβάλλον.
- Η διεργασία ανάμειξης των δύο ρευμάτων αέρα γίνεται αδιαβατικά και με σταθερές συνθήκες ροής του αέρα. Η κατάσταση 3 βρίσκεται επάνω στην ευθεία που ενώνει τις καταστάσεις 1 και 2. Ισχύει:

$$\frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} = \frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}}$$



# Ανάμιξη δύο ρευμάτων αέρα (2/2)

- Η κατάσταση του ρεύματος ανάμιξης προκύπτει και από τις σχέσεις:
- $$T_3 = \frac{\dot{m}_{a1}T_1 + \dot{m}_{a2}T_2}{\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}}$$
- $$W_3 = \frac{\dot{m}_{a1}W_1 + \dot{m}_{a2}W_2}{\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}}$$
- $$h_3 = \frac{\dot{m}_{a1}h_1 + \dot{m}_{a2}h_2}{\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}}$$
- Σημείωση: Οι ροές μάζας στις παραπάνω εξισώσεις μπορούν να αντικατασταθούν με τις αντίστοιχες ροές όγκου του αέρα, χωρίς μεγάλη απόκλιση στο αποτέλεσμα.







# Η διεργασία θερινού κλιματισμού ενός χώρου (2/2)

- Εάν θεωρηθεί ότι οι επιθυμητές συνθήκες του αέρα (σημείο 2) είναι σταθερές, τότε τα ψυκτικά φορτία ενός χώρου (ζώνης) θα απορροφηθούν ομοιόμορφα από αέρα οποιασδήποτε κατάστασης επάνω στην ευθεία 1-2.
- Φυσικά σε κάθε κατάσταση του αέρα, αντιστοιχεί μία διαφορετική παροχή του αέρα προσαγωγής. Όσο το σημείο 1 πλησιάζει στο σημείο 2, τόσο περισσότερος αέρας απαιτείται και αντίθετα.
- Η ευθεία συνθηκών ενός χώρου χαράσσεται υπολογίζοντας το συντελεστή αισθητού φορτίου (sensible heat factor, SHF), με τη βοήθεια της πυξίδας που υπάρχει σε κάθε ψυχομετρικό χάρτη.
- Ο SHF είναι ο λόγος του αισθητού φορτίου προς το άθροισμα του αισθητού και λανθάνοντος φορτίου ενός χώρου (ζώνης):

$$SHF = \frac{(q_{SRI})^S}{(q_{SRI})^S + (q_{LRI})^S}$$



# Διεργασίες πλήρους κλιματισμού

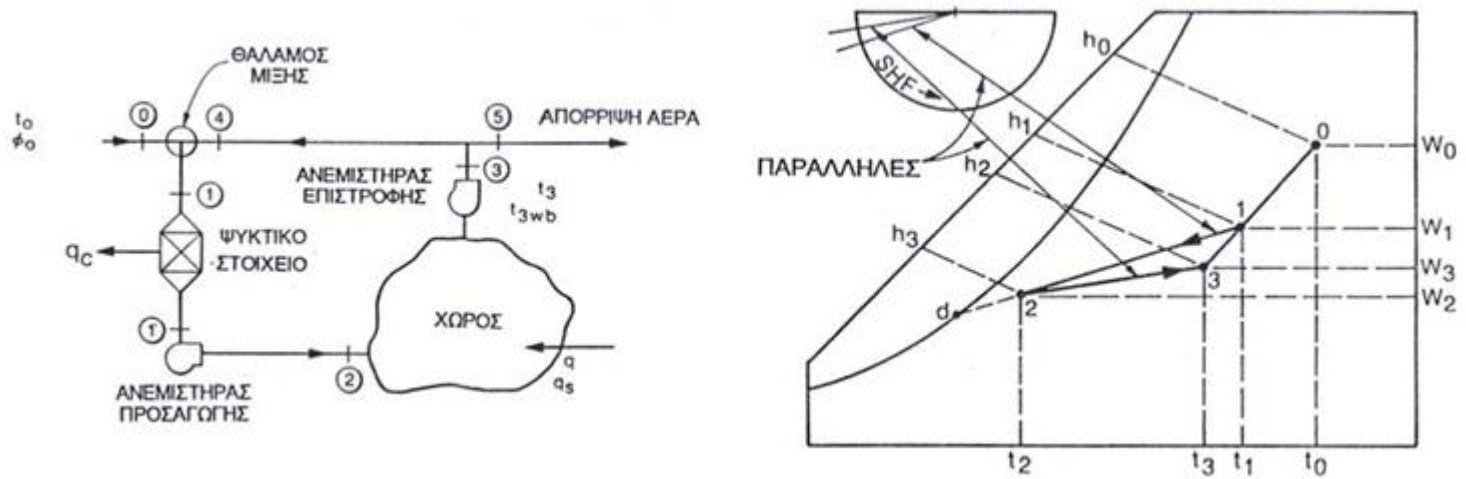
- Ένα σύστημα πλήρους κλιματισμού με αέρα περιλαμβάνει δύο ή περισσότερες από τις διεργασίες, που περιγράφηκαν. Η λειτουργία του συστήματος εξαρτάται από τις απαιτήσεις φορτίου των χώρων του κτιρίου.
- Διακρίνονται δύο καταστάσεις λειτουργίας:
  1. Η κατάσταση πλήρους φορτίου
  2. Η κατάσταση μερικού φορτίου



# Κατάσταση πλήρους φορτίου

## Ψύξη και αφύγρανση του αέρα με ανακυκλοφορία (1/2)

Εικ.9: Στην περίπτωση της λειτουργίας ενός συστήματος κλιματισμού μόνο με αέρα σε ψύξη, αέρας από το κτίριο (σημείο 3) επιστρέφει στην κεντρική μονάδα κλιματισμού και αναμιγνύεται με φρέσκο εξωτερικό αέρα (σημείο 0). Το μίγμα των δύο ρευμάτων (σημείο 1) περνά μέσα από τα ψυκτικά στοιχεία, ψύχεται και αφυγραίνεται (διεργασία 1-2, η οποία για λόγους απλότητας απεικονίζεται ως ευθεία). Ο αέρας της κατάστασης 2 στέλνεται στο κτίριο και απορροφά τα αισθητά και λανθάνοντα φορτία των χώρων (διεργασία 2-3).



# Κατάσταση πλήρους φορτίου

## Ψύξη και αφύγρανση του αέρα με ανακυκλοφορία (2/2)

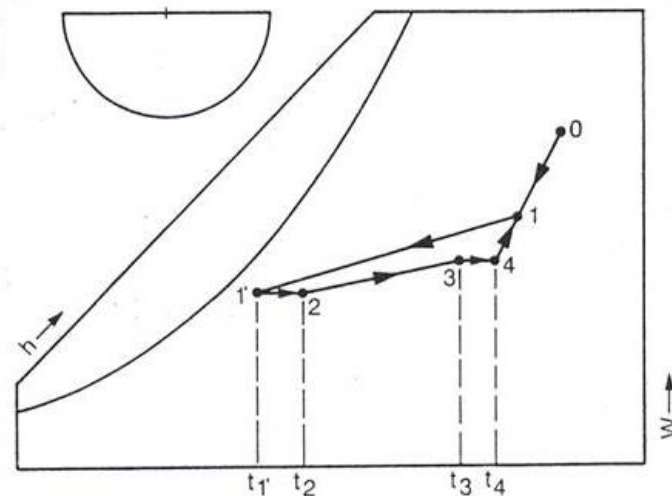
- Η κλίση της διεργασίας 2-3 εξαρτάται από το λόγο των αισθητών φορτίων προς το άθροισμα των αισθητών και λανθανόντων φορτίων.
- Όσο μεγαλύτερα είναι τα λανθάνοντα φορτία ενός χώρου ή μιας ζώνης τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της ευθείας 2-3. Στην περίπτωση ενός χώρου ή ζώνης με μηδενικά λανθάνοντα φορτία η ευθεία 2-3 είναι οριζόντια.
- Δηλαδή, ο αέρας προσαγωγής σε ένα χώρο (ζώνη) του κτιρίου πρέπει να έχει την κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία (σημείο 2) για να απορροφήσει τα συνολικά ψυκτικά φορτία του χώρου (ζώνης). Ο αέρας πρέπει να είναι κατάλληλα ψυχρός, για να απορροφήσει τα αισθητά φορτία, και κατάλληλα ξηρός για να απορροφήσει τα λανθάνοντα φορτία του χώρου (ζώνης).



# Θερμικά κέρδη από ανεμιστήρες και μέσα στους αεραγωγούς

Εικ.10: Οι κινητήρες των ανεμιστήρων του συστήματος κλιματισμού προσθέτουν ένα ποσό θερμότητας στο ρεύμα του αέρα, το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ψυχομετρική ανάλυση. Επίσης ένα ποσό θερμότητας συνήθως προστίθεται στους αεραγωγούς προσαγωγής και επιστροφής, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Οι διεργασίες αυτές είναι διεργασίες απλής θέρμανσης του αέρα.

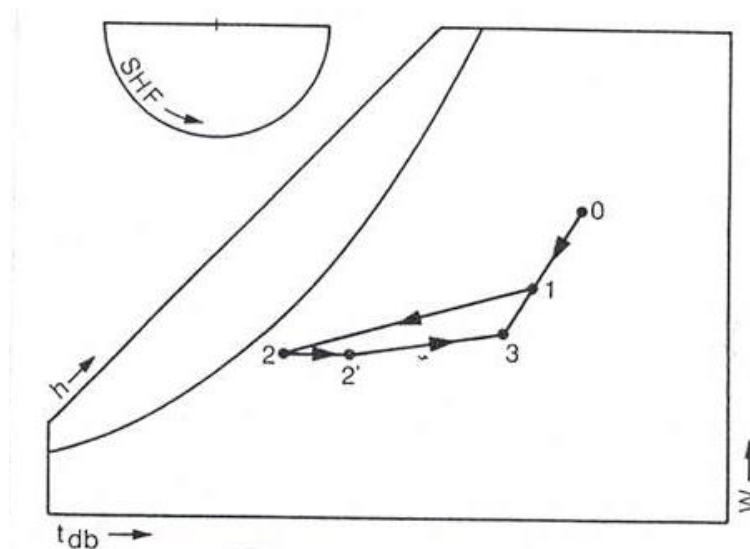
Η επίδραση του ανεμιστήρα προσαγωγής και το θερμικό κέρδος στον αεραγωγό προσαγωγής απεικονίζεται στην εικόνα (διεργασία 1'-2). Επίσης η αντίστοιχη επίδραση του ανεμιστήρα επιστροφής και το θερμικό κέρδος στον αεραγωγό προσαγωγής απεικονίζεται στην εικόνα με τη διεργασία 3-4.



# Ψύξη και αφύγρανση του αέρα με ανακυκλοφορία και μεταθέρμανση

Εικ.11: Όταν τα λανθάνοντα φορτία ενός χώρου ή μιας ζώνης του κτιρίου είναι υψηλά, συνήθως είναι αδύνατο ο αέρας μετά την έξοδό του από τα ψυκτικά στοιχεία να έχει τις κατάλληλες συνθήκες για να απορροφήσει τα αισθητά και λανθάνοντα φορτία του χώρου (ζώνης).

Στην περίπτωση αυτή απαιτείται μία μεταθέρμανση του αέρα (διεργασία 2-2' στην εικόνα) μετά τη ψύξη και την αφύγρανση που υφίσταται στα ψυκτικά στοιχεία (διεργασία 1-2).





# Κατάσταση πλήρους φορτίου

## Θέρμανση και ύγρανση του αέρα με ανακυκλοφορία (2/2)

- Η διεργασία προθέρμανσης του αέρα (0-0') είναι απαραίτητη για την αποφυγή συμπύκνωσης υδρατμών στους αεραγωγούς λήψης του νωπού αέρα ή για την αποφυγή δημιουργίας πάγου στα στοιχεία.
- Το μίγμα των δύο ρευμάτων (σημείο 1) περνά μέσα από τα θερμαντικά στοιχεία, θερμαίνεται (διεργασία 1-1') και στη συνέχεια υφίσταται ύγρανση (διεργασία 1'-2).
- Ο αέρας της κατάστασης 2 στέλνεται στο κτίριο και απορροφά τα αισθητά και λανθάνοντα φορτία των χώρων (διεργασία 2-3).

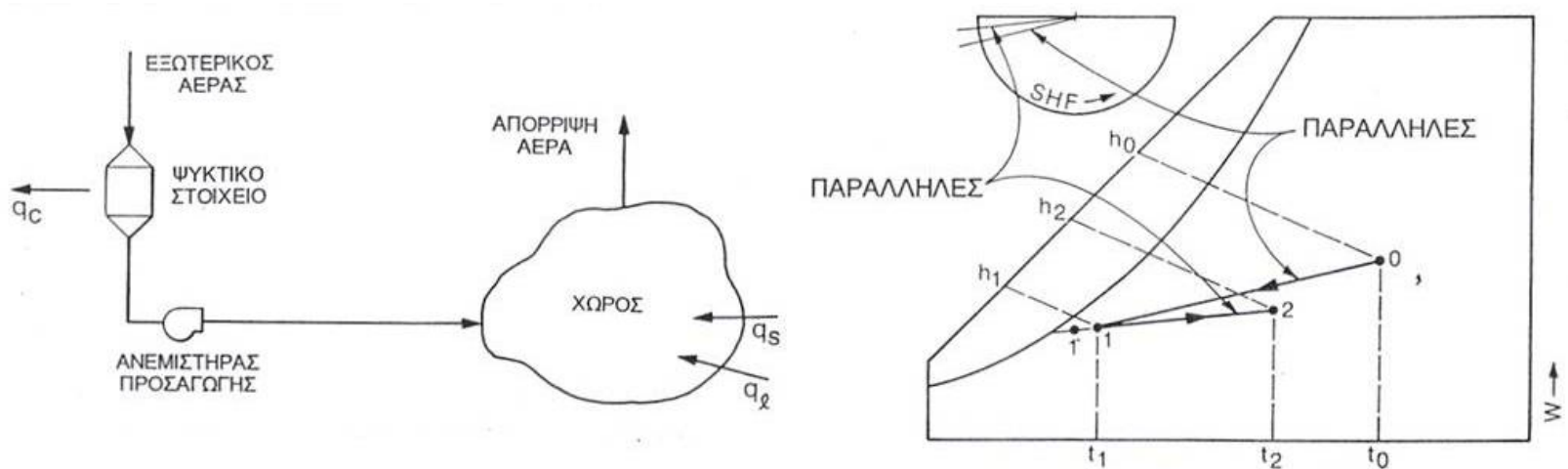




# Ψύξη και αφύγρανση του αέρα χωρίς ανακυκλοφορία

Εικ.13: Σε πολλές περιπτώσεις το κτίριο απαιτεί μεγάλες ποσότητες φρέσκου εξωτερικού αέρα, οπότε το σύστημα κλιματισμού λειτουργεί χωρίς ανακυκλοφορία αέρα από τους χώρους. Η διεργασία αναφέρεται στη λειτουργία του συστήματος σε ψύξη με τη διαφορά ότι δεν συμβαίνει ανάμιξη ρευμάτων αέρα γιατί όλος ο αέρας που επιστρέφει από τους χώρους απορρίπτεται στο περιβάλλον.

Ο φρέσκος εξωτερικός αέρας περνά από τα ψυκτικά στοιχεία, ψύχεται και αφυγραίνεται (διεργασία 0-1). Στη συνέχεια απορροφά τα αισθητά και λανθάνοντα φορτία των χώρων (διεργασία 1-2) και απορρίπτεται.



# Η κατάσταση μερικού φορτίου

- Τα συστήματα κλιματισμού λειτουργούν τις περισσότερες ώρες το χρόνο υπό μερικό φορτίο.
- Τα αισθητά και λανθάνοντα φορτία των χώρων ενός κτιρίου μόνο λίγες ώρες το χρόνο συμπίπτουν με τα μέγιστα, με αποτέλεσμα να απαιτείται συνήθως μόνο ένα ποσοστό της ισχύος του εξοπλισμού της εγκατάστασης.
- Το σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου αναλαμβάνει να ισορροπήσει τις απαιτήσεις φορτίου με την λειτουργία του εξοπλισμού της εγκατάστασης, μεταβάλλοντας μία ή περισσότερες παραμέτρους.
- Οι τρόποι με τους οποίους αντιμετωπίζονται οι καταστάσεις μερικού φορτίου είναι:



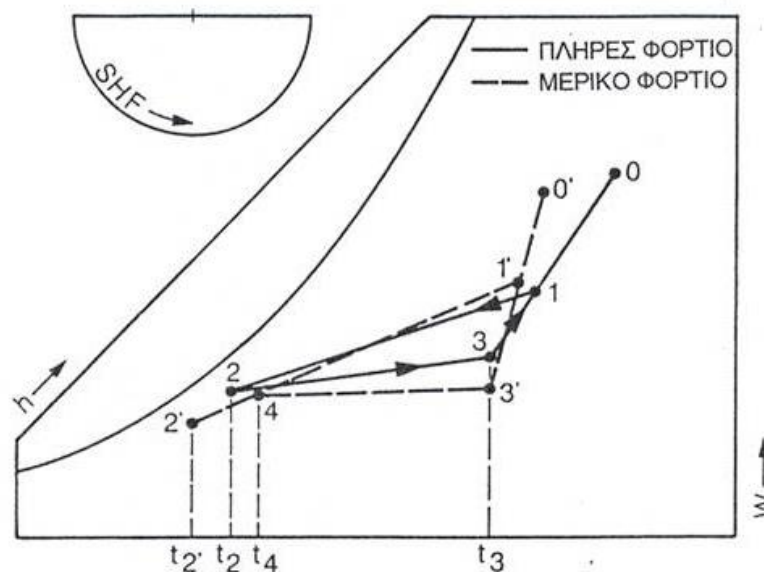


# Κατάσταση μερικού φορτίου

## Παράκαμψη του ψυκτικού στοιχείου (1/2)

Εικ.15: Με τον τρόπο αυτό ελέγχου, η παροχή του αέρα προσαγωγής στους χώρους (ζώνες) είναι σταθερή αλλά στην περίπτωση μερικού φορτίου ένα τμήμα του αέρα ανάμιξης παρακάμπτει τα ψυκτικά στοιχεία.

Η τελική κατάσταση του αέρα μετά τα στοιχεία (σημείο 4) προκύπτει από την ανάμιξη αέρα κατάστασης 1' και αέρα κατάστασης 2'. Ο αέρας στην κατάσταση 4 μπορεί να απορροφήσει ομοιόμορφα τα αισθητά και τα λανθάνοντα φορτία του χώρου (ζώνης).



# Κατάσταση μερικού φορτίου

## Παράκαμψη του ψυκτικού στοιχείου (2/2)

- Σε πολλές περιπτώσεις όμως το περιεχόμενο σε υγρασία του αέρα στην κατάσταση 4 μπορεί να είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από αυτό που απαιτείται, με αποτέλεσμα η κατάσταση 3' να διαφέρει από τις επιθυμητές συνθήκες του χώρου.
- Ιδιαίτερα στην περίπτωση πολύ χαμηλών φορτίων χώρου, το σημείο 4 μπορεί να πλησιάσει πολύ στο σημείο 1' και η σχετική υγρασία στο χώρο να γίνει πολύ υψηλή.
- Και στις περιπτώσεις αυτές ο πλήρης έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας του χώρου επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της παροχής του ψυχρού νερού μέσα από τα ψυκτικά στοιχεία.

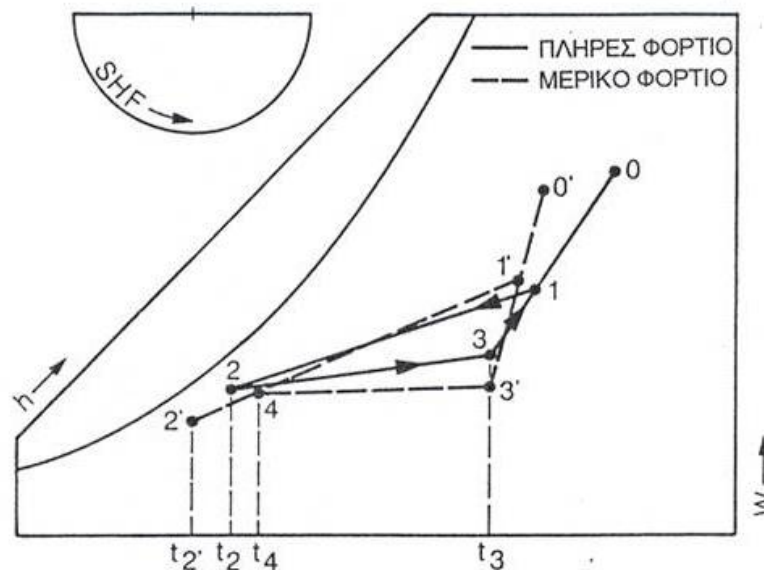


# Κατάσταση μερικού φορτίου

## Μεταβολή της παροχής του νερού ψύξης (1/2)

Εικ.16: Με τον τρόπο αυτό ελέγχου, η παροχή του αέρα προσαγωγής στους χώρους (ζώνες) είναι σταθερή αλλά στην περίπτωση μερικού φορτίου ελαττώνεται η παροχή του νερού ψύξης μέσα από τα ψυκτικά στοιχεία.

Συνήθως η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα μετά τα ψυκτικά στοιχεία (σημείο 2') είναι υψηλότερες από την κατάσταση του αέρα στη διεργασία πλήρους φορτίου (σημείο 2). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διεργασία 2'-3' να μη καταλήγει στις επιθυμητές συνθήκες του χώρου (σημείο 3) και να ανέρχεται η θερμοκρασία και η υγρασία στους χώρους (ζώνες).



# Κατάσταση μερικού φορτίου

## Μεταβολή της παροχής του νερού ψύξης (2/2)

- Για το λόγο αυτό ο τρόπος αυτός ελέγχου συνήθως συνδυάζεται με μεταβολή της παροχής του αέρα προσαγωγής ή με παράκαμψη των ψυκτικών στοιχείων.
- Επίσης μπορεί να συνδυαστεί και με μεταθέρμανση του αέρα μετά τα ψυκτικά στοιχεία, ώστε η κατάσταση του αέρα προσαγωγής να είναι η κατάλληλη για την ομοιόμορφη απορρόφηση του αισθητού και του λανθάνοντος φορτίου.



# Κατάσταση μερικού φορτίου

## Κύκλος εξοικονόμησης (1/3)

- Ο κύκλος εξοικονόμησης χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μερικού ψυκτικού φορτίου, όταν οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του εξωτερικού αέρα είναι κατάλληλες για να καλύψουν πλήρως ή μερικώς τα ψυκτικά φορτία των χώρων του κτιρίου.
- Στην περίπτωση του θερινού κλιματισμού, όταν η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του εξωτερικού αέρα είναι χαμηλότερη από την απαραίτητη θερμοκρασία προσαγωγής στους χώρους (ζώνες), τα ψυκτικά φορτία μπορούν να καλυφθούν με χρήση αποκλειστικά εξωτερικού αέρα ή με μίξη κατάλληλης ποσότητας ψυχρού εξωτερικού αέρα με αέρα ανακυκλοφορίας.





# Κατάσταση μερικού φορτίου

## Κύκλος εξοικονόμησης (2/3)

- Κάτω από ορισμένες συνθήκες, μπορεί η λειτουργία της ψυκτικής μονάδας να μην είναι πλέον απαραίτητη.
- Ακόμη και αν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι υψηλότερη από την απαραίτητη θερμοκρασία προσαγωγής αλλά χαμηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους (ζώνες), η ενέργεια για την ψύξη του αέρα μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά αντικαθιστώντας τον αέρα ανακυκλοφορίας με φρέσκο εξωτερικό αέρα.
- Η παράμετρος η οποία παίζει τον σημαντικότερο ρόλο στην περίπτωση αυτή είναι η υγρασία του εξωτερικού αέρα.



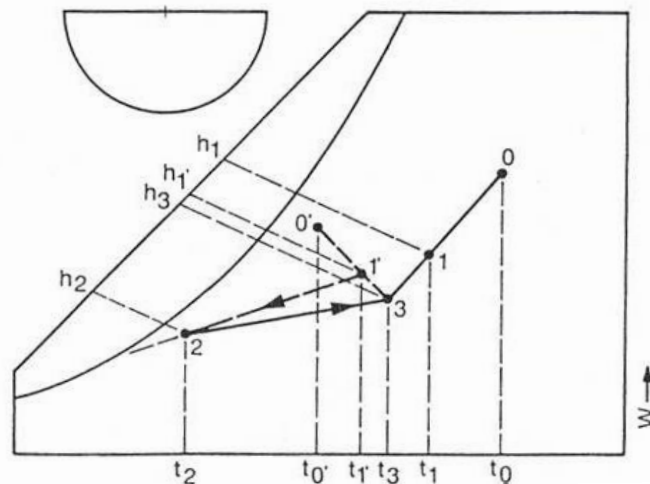
# Κατάσταση μερικού φορτίου

## Κύκλος εξοικονόμησης (3/3)

Εικ.17: Οι ευθείες γραμμές αντιπροσωπεύουν τη λειτουργία υπό πλήρες φορτίο ενώ οι διακεκομμένες τη λειτουργία του συστήματος υπό μερικό φορτίο.

Η διεργασία 2-3 της απορρόφησης των φορτίων των χώρων θεωρείται ότι είναι σταθερή. Η κατάσταση 1', που προκύπτει από την ανάμιξη εξωτερικού αέρα (κατάσταση 0') με αέρα ανακυκλοφορίας (κατάσταση 3), θεωρητικά μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε θέση της ευθείας 0'-3, αλλά ο αέρας προσαγωγής πρέπει να ψυχθεί και να αφυγρανθεί μέχρι την κατάσταση 2.

Είναι φανερό ότι απαιτείται λιγότερη ενέργεια για τη ψύξη του αέρα από την κατάσταση 1' στη 2 παρά από την κατάσταση 1 στη 2.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Θερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 1α

# Θερινός κλιματισμός (1/4)

- Ο αέρας ενός χώρου θέλουμε αν διατηρείται σε θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου  $26^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία 50%. Στο χώρο υπάρχουν 100 άτομα και η απαραίτητη ανανέωση του χώρου είναι  $25 \text{ m}^3 / \text{h}$  ανά άτομο. Το αισθητό ψυκτικό φορτίο του χώρου είναι 28 kW και το λανθάνον φορτίο είναι 12 kW.
- Για το θερινό κλιματισμό του χώρου εγκαθίσταται μία κεντρική κλιματιστική μονάδα με ανεμιστήρα επιστροφής, θάλαμο μίξης, ψυκτικό στοιχείο και ανεμιστήρα προσαγωγής. Ο αέρας στην έξοδο του ψυκτικού στοιχείου έχει σχετική υγρασία 90%.



# Θερινός κλιματισμός (2/4)

- Η παροχή του αέρα προσαγωγής στο χώρο είναι ίση με την παροχή του αέρα επιστροφής. Η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του περιβάλλοντος είναι  $35^{\circ}\text{C}$  και η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου  $24^{\circ}\text{C}$ .

Να υπολογισθούν:

- 1) Οι συνθήκες του αέρα (θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου  $t$ , σχετική υγρασία  $\phi$ , ενθαλπία  $h$ , θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου  $t^*$ , ειδικός όγκος  $v$  και απόλυτη υγρασία  $w$ , μέσα στο χώρο (1), στο περιβάλλον (2), στο θάλαμο μίξης (3) και στην έξοδο του ψυκτικού στοιχείου (4), με χρήση ψυχομετρικού χάρτη.



# Θερινός κλιματισμός (3/4)

- 2) Η απαραίτητη παροχή του αέρα προσαγωγής στο χώρο ώστε αυτός να διατηρείται στις επιθυμητές συνθήκες.
- 3) Η απαραίτητη ισχύς του ψυκτικού στοιχείου στην κεντρική κλιματιστική μονάδα, η ισχύς που απαιτείται για την ψύξη και την αφύγρανση του εξωτερικού αέρα (ξεχωριστά) και ο συντελεστής αισθητού φορτίου της κλιματιστικής συσκευής.



# Θερινός κλιματισμός (4/4)

- Η διεργασία να χαραχθεί στον ψυχομετρικό χάρτη.
- Η άνοδος της θερμοκρασίας του αέρα στους ανεμιστήρες και τα κέρδη θερμότητας στους αεραγωγούς να μη ληφθούν υπόψη.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Θερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 1β



# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (1/14)

1) Οι συνθήκες του χώρου (κατάσταση 1) είναι:  
 $t_1 = 26^\circ\text{C}$  και  $\varphi_1 = 50\%$ .

- Από το ψυχομετρικό χάρτη (με ανάγνωση) προκύπτει:

$$h_1 = 53 \text{ kJ/kg}$$

$$W_1 = 10.5 \text{ grH}_2\text{O/kg} \text{ ξ.α.}$$

$$v_1 = 0.862 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$t^*_1 = 18.8^\circ\text{C}$$



# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (2/14)

- Οι συνθήκες του περιβάλλοντος (κατάσταση 2) είναι:  $t_2 = 35^\circ\text{C}$  και  $t^*_2 = 24^\circ\text{C}$
- Από το ψυχομετρικό χάρτη (με ανάγνωση) προκύπτει:

$$h_2 = 72.2 \text{ [kJ/kg]}$$

$$W_2 = 14.3 \text{ [grH}_2\text{O/kg ξ.α.]}$$

$$v_2 = 0.893 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$\varphi_2 = 41.5\%$$



# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (3/14)

- Η κατάσταση του αέρα μετά το ψυκτικό στοιχείο (κατάσταση 4) προκύπτει ως εξής:
- Υπολογίζουμε το συντελεστή αισθητού φορτίου του χώρου  $RSHF$ .

$$RSHF = \frac{\Delta H_s}{\Delta H_t} = \frac{\dot{q}_s}{\dot{q}_s + \dot{q}_l} = \frac{28}{28 + 12} = 0.7$$





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Θερινός κλιματισμός

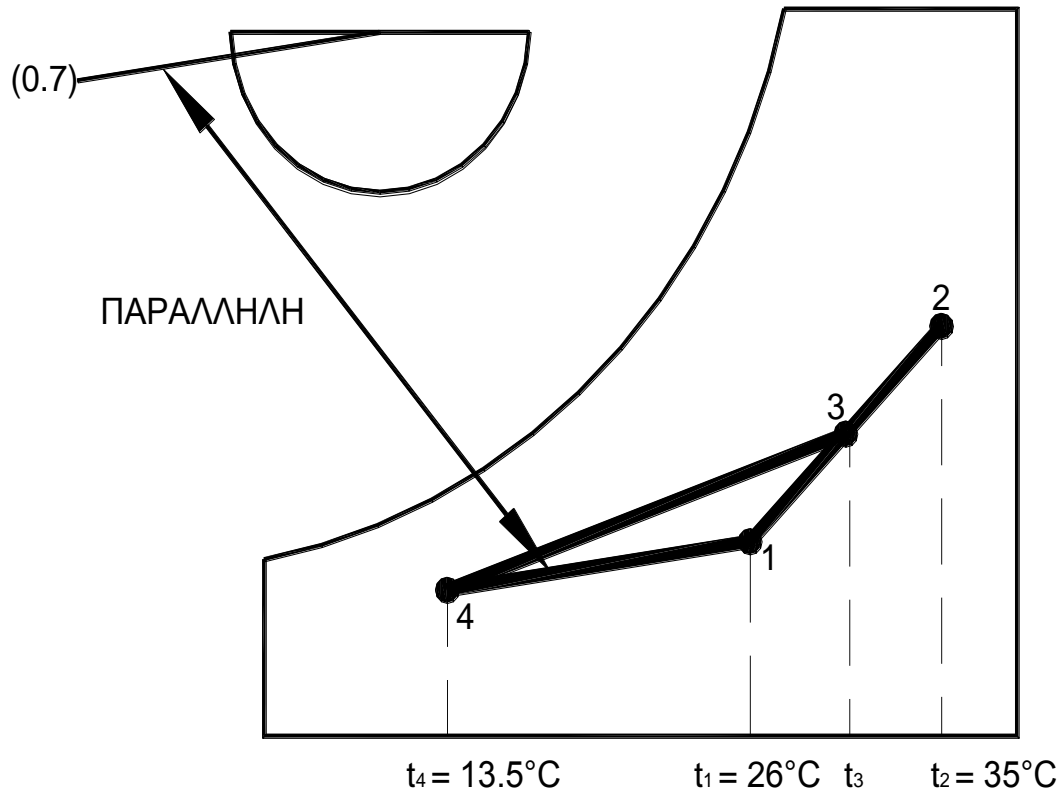
# Εφαρμογή- 1γ

# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (4/14)

- Χαράσσουμε στην πυξίδα ευθεία με κλίση  $\frac{\Delta H_s}{\Delta H_t} = 0.7$
- Από το σημείο (1) φέρνουμε παράλληλη προς την  $\frac{\Delta H_s}{\Delta H_t} = 0.7$
- Το σημείο (4) προκύπτει από την τομή της καμπύλης σχετικής υγρασίας  $\varphi_4 = 90\%$  και της παράλληλης στην ευθεία με κλίση  $RSHF = 0.7$



# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (5/14)



$$\frac{\Delta H_s}{\Delta H_t} = 0.7 = \text{RHSF}$$





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Θερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 1δ

# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (6/14)

- Από το ψυχομετρικό χάρτη προκύπτει:

$$t_4 = 13.5^\circ\text{C} \text{ και } \varphi_4 = 90\%$$

$$h_4 = 35.5 \text{ [kJ/kg]}$$

$$W_4 = 8.75 \text{ [grH}_2\text{O/kg ξ. α.]}$$

$$v_4 = 0.823 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$t^*_4 = 12.5^\circ\text{C}$$

- Για να υπολογισθούν οι συνθήκες στο κιβώτιο μίξης (κατάσταση 3) πρέπει να υπολογισθεί η παροχή του αέρα στο χώρο και η απαραίτητη παροχή του φρέσκου εξωτερικού αέρα.





# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (7/14)

2) Η απαραίτητη παροχή του αέρα στο χώρο υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

- Από το συνολικό ψυκτικό φορτίο του χώρου:

$$\dot{q}_s + \dot{q}_l = \dot{m}_{da4}(h_1 - h_4) \Rightarrow \dot{m}_{da4} = \frac{\dot{q}_s + \dot{q}_l}{h_1 - h_4}$$
$$= \frac{40[kW]}{(53 - 35.5)[kJ/kg]} = 2.286[\frac{kg}{s}]$$

$$\dot{V}_4 = \dot{m}_{da4}U_4 = 2.286[\frac{kg}{s}]0.823[\frac{m^3}{kg}] =$$
$$= 1.881[\frac{m^3}{s}] = 1881[\frac{l}{s}] = 6772[\frac{m^3}{h}]$$

- ( $\dot{m}_{da4}$  : η μάζα του ξηρού αέρα στην έξοδο του ψυκτικού στοιχείου)





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Θερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 1ε

# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (8/14)

- Από αισθητό ψυκτικό φορτίο του χώρου:

$$\begin{aligned}\dot{V}_4 &= \frac{q_s}{\rho c(t_1 - t_4)} = \frac{28[\text{kW}]}{1\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]1.2\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg h}}\right](26 - 13.5)[\text{K}]} = \\ &= 1.866\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right] = 1866\left[\frac{\text{l}}{\text{s}}\right] = 6720\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right]\end{aligned}$$

- Στη συνέχεια θα θεωρήσουμε ότι η απαραίτητη παροχή αέρα στο χώρο είναι:

$$\dot{V}_s = \dot{V}_4 = 6772\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right]$$



# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (9/14)

- Η απαραίτητη παροχή του φρέσκου εξωτερικού αέρα είναι:

$$\dot{V}_a = \dot{V}_2 = 100[\text{άτομα}]25\left[\frac{m^3}{h}\text{άτομο}\right] = 2500\left[\frac{m^3}{h}\right]$$

Ο αέρας προσαγωγής είναι:

$$\dot{V}_s = \dot{V}_4 = 6772\left[\frac{m^3}{h}\right]$$

- Εφόσον η παροχή του αέρα προσαγωγής στο χώρο είναι ίση με την παροχή του αέρα επιστροφής, στην ΚΚΜ το ποσό αέρα που απορρίπτεται στο περιβάλλον είναι ίσο με την παροχή του φρέσκου εξωτερικού αέρα.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Θερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 1στ

# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (10/14)

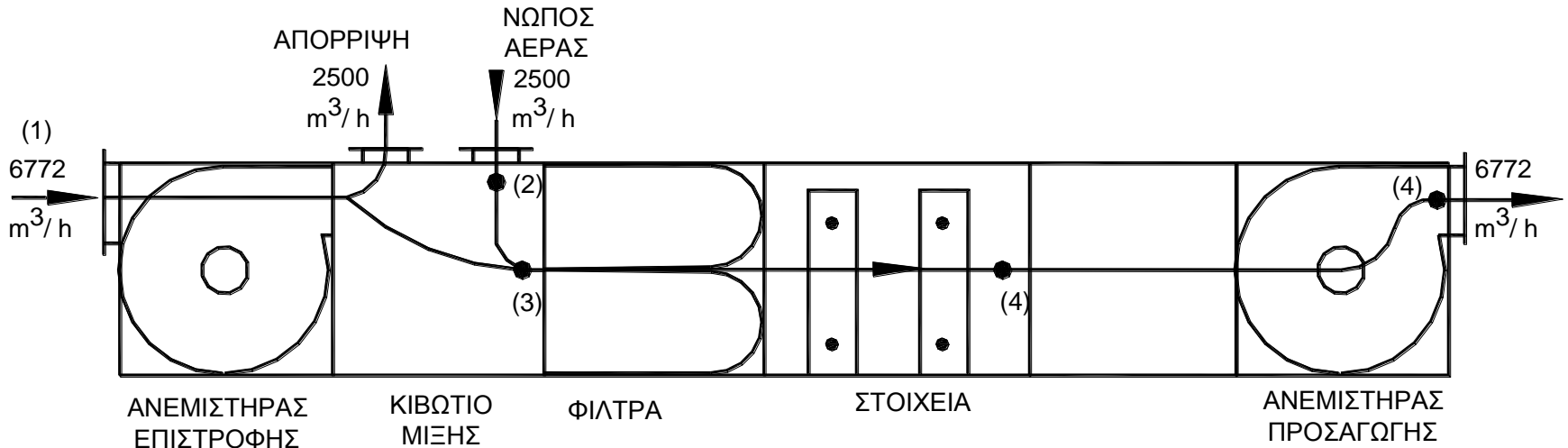
- Διευκρίνιση: Στην κεντρική κλιματιστική μονάδα ισχύει το ισοζύγιο:
- Αέρας επιστροφής + Νωπός εξωτερικός αέρας = Αέρας προσαγωγής + Αέρας απόρριψης
- Επομένως, στο κιβώτιο μίξης αναμιγνύονται ο εξωτερικός αέρας  $\dot{V}_2 = 2500 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  και ο αέρας ανακυκλοφορίας  $\dot{V}_{αν} = 6772 - 2500 = 4272 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$



# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (11/14)

Η θερμοκρασία του σημείου μίξης (κατάσταση 3) είναι:

$$t_3 = \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_2 + \dot{V}_{av}} t_2 + \frac{\dot{V}_{av}}{\dot{V}_2 + \dot{V}_{av}} t_1 = \frac{2500}{6772} 35 + \frac{4272}{6772} 26 = 29.3^\circ\text{C}$$





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Θερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 1ζ



# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (11/14)

- Από το ψυχομετρικό χάρτη προκύπτει:

$$t_3 = 29.3^\circ\text{C} \text{ και } \varphi_3 = 46\%$$

$$W_3 = 12 \text{ [grH}_2\text{O/kg ξ.α.]}$$

$$v_3 = 0.874 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$t_4^* = 21^\circ\text{C}$$

- Η απαραίτητη ισχύς του ψυκτικού στοιχείου είναι:

$$\dot{q}_c = \dot{m}_{da4}(h_3 - h_4) = 2.286(60 - 35.5) = 56 \text{ [kW]}$$

ή (θεωρώντας την πυκνότητα του αέρα σταθερή)

$$\dot{q}_c = \rho \dot{V}_4(h_3 - h_4) = 1.2 \frac{6772}{3600} (60 - 35.5) = 55.3 \text{ [kW]}$$



# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (12/14)

- Η ισχύς που απαιτείται για την ψύξη του εξωτερικού αέρα είναι:
- $\dot{q}_{s,a} = c_p \rho \dot{V}_a (t_2 - t_1) =$   
 $1 \left[ \frac{kJ}{kgK} \right] \frac{2500}{3600} \left[ \frac{m^3}{s} \right] 1.2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] (35 - 26) [K] = 7.5 [kW]$
- Η ισχύς που απαιτείται για την αφύγρανση του εξωτερικού αέρα είναι:
- $\dot{q}_{l,a} = \rho \dot{V}_a (W_2 - W_1) h_{fg} =$   
 $1.2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \frac{2500}{3600} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \frac{14.3 - 10.5}{1000} \left[ \frac{kg H_2O}{kg \xi.a.} \right] 2500 \left[ \frac{kJ}{kg} \right] = 7.92 [kW]$





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Θερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 1η

# Θερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (13/14)

- Ο συντελεστής αισθητού φορτίου της κλιματιστικής συσκευής είναι:

$$GSHF = \frac{\dot{q}_s + \dot{q}_{s,a}}{\dot{q}_s + \dot{q}_{s,a} + \dot{q}_l + \dot{q}_{l,a}} = \frac{28 + 7.5}{28 + 7.5 + 12 + 7.92} = 0.64$$

Επαλήθευση για την ψυκτική ισχύ:

$$\begin{aligned}\dot{q}_c &= \dot{q}_s + \dot{q}_l + \dot{q}_{s,a} + \dot{q}_{l,a} \\ &= 28 + 12 + 7.5 + 7.92 = 55.42 [kW]\end{aligned}$$

Απόκλιση < 1%





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Χειμερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 2α

# Χειμερινός κλιματισμός (1/2)

- Ο χώρος της εφαρμογής 1 διατηρείται το χειμώνα σε θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου  $22^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία 40%.
- Το θερμικό φορτίο του χώρου είναι  $\dot{q}_h = 22.5 \text{ kW}$  και η παραγωγή υγρασίας στο χώρο  $0.25 \text{ [kgH}_2\text{O/kg ξ.α.}$
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι  $2^{\circ}\text{C}$  και η σχετική υγρασία 80%.
- Ο αέρας μετά τη θέρμανση στο θερμικό στοιχείο της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας υφίσταται ύγρανση με κεκορεσμένο ατμό  $110^{\circ}\text{C}$  (ενθαλπία ατμού  $2690 \text{ [kJ/kg]}$ ).



# Χειμερινός κλιματισμός (2/2)

Ζητείται να βρεθούν:

- 1) Οι συνθήκες του αέρα στο χώρο (3), στο περιβάλλον (0), στο θάλαμο μίξης (1), στην έξοδο του θερμικού στοιχείου (1') και στην έξοδο του υγραντήρα.
- 2) Η ισχύς του θερμικού στοιχείου και η παροχή ατμού.
- 3) Η ισχύς που απαιτείται για τη θέρμανση του εξωτερικού αέρα.

Η διεργασία να χαραχθεί στον ψυχομετρικό χάρτη.  
(Η άνοδος της θερμοκρασίας στους ανεμιστήρες και οι απώλειες θερμότητας στους αεραγωγούς να μη ληφθούν υπόψη).





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Χειμερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 2β



# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (1/9)

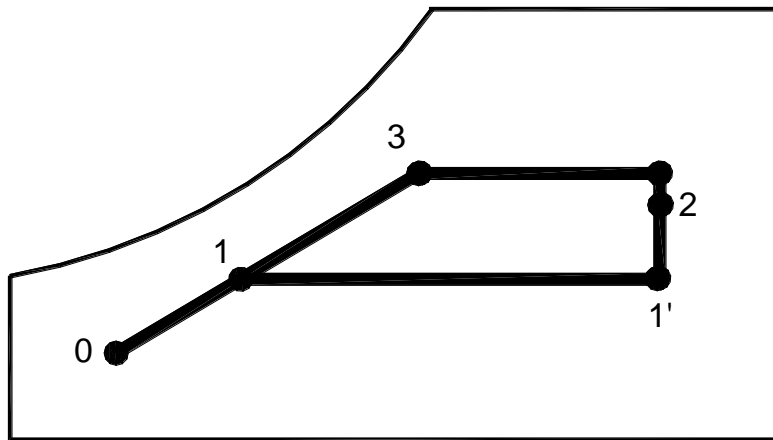
1) Η παροχή του αέρα προσαγωγής, όπως προέκυψε από την άσκηση 1, είναι

$$\dot{V}_2 = 6772 \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 1.881 \left[ \frac{m^3}{s} \right].$$

- Η παροχή αυτή διατηρείται και στη χειμερινή λειτουργία, δεδομένου ότι το σύστημα είναι σταθερής παροχής.



# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (2/9)



- Διεργασίες στον ψυχομετρικό χάρτη:
- 2: Είσοδος αέρα στο χώρο
- 0: Εξωτερικός αέρας
- 3: Χώρος
- 1: Σημείο μίξης
- 1': Έξοδος από θερμαντικό στοιχείο
- Διεργασία 1'-2: ύγρανση
- Διεργασία 1-1': θέρμανση
- Διεργασία 2-3: απορρόφηση φορτίων από το χώρο





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Χειμερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 2γ

# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (3/9)

- Η θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{q}_h}{\rho c_p (t_2 - t_3)} = 1.881 = \frac{22.5}{1.2 \cdot 1 \cdot (t_2 - 22)} \Rightarrow t_2 = 32^\circ\text{C}$$

Όπου:

$\dot{q}_h = 22.5 [\text{kW}]$ , το θερμικό φορτίο χώρου

$\rho = 1.2 [\text{kg}/\text{m}^3]$ , η πυκνότητα του αέρα

$c_p = 1 [\text{kJ}/\text{kgK}]$ , η ειδική θερμότητα του αέρα



# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (4/9)

(Συνέχεια)

$t_3 = 22^\circ\text{C}$  , η θερμοκρασία του αέρα στο χώρο

$t_2 =$  η θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής

Στο κιβώτιο μίξης αναμιγνύονται:

$\dot{V}_\alpha = \dot{V}_0 = 2500[\text{m}^3/\text{h}]$  εξωτερικού αέρα και

$\dot{V}_3 = 6772 - 2500 = 4272[\text{m}^3/\text{h}]$  αέρα

ανακυκλοφορίας





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Χειμερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 2δ

# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (5/9)

- Η θερμοκρασία του αέρα μίξης προκύπτει από τη σχέση:

$$t_1 = \frac{2500}{6772} \cdot t_0 + \frac{4272}{6772} \cdot t_3 = \frac{2500}{6772} \cdot 2 + \frac{4272}{6772} \cdot 22 = 14.6^\circ\text{C}$$

Όπου:

$t_0 = 2^\circ\text{C}$  , η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα

$t_3 = 22^\circ\text{C}$  , η θερμοκρασία αέρα ανακυκλοφορίας  
(χώρου)





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Χειμερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 2ε



# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (6/9)

Ο αέρας στην έξοδο από τον υγραντήρα έχει απόλυτη υγρασία  $W_2 = 6.5 - 0.25 = 6.25 [gr H_2O / kg \text{ ξ.α}]$  (υγρασία του χώρου- παραγωγή υγρασίας χώρου). Κατά τη διεργασία 2-3 παραλαμβάνει τα θερμικά φορτία του χώρου και τη παραγωγή υγρασίας στο χώρο και καταλήγει στην κατάσταση 3.

		Εξωτερικός αέρας	Αέρας χώρου	Αέρας μίξης	Αέρας μετά τα στοιχεία	Αέρας μετά τον υγραντήρα
		(0)	(3)	(1)	(1')	(2)
t	°C	2	22	14.6	32	32
φ	%	80	40	52	19	24
h	$\frac{kJ}{kg}$	10.5	38	29	46	50
W	$\frac{gr H_2O}{kg \text{ ξ.α.}}$	3.6	6.5	5.5	5.5	6.25
u	$\frac{m^3}{kg \text{ ξ.α.}}$	0.784	0.845	0.823	0.872	0.874





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

Χειμερινός κλιματισμός

# Εφαρμογή- 2στ

# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (7/9)

2) Η ισχύς του θερμαντικού στοιχείου προκύπτει από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\dot{q}_{11'} &= \dot{V}_2 \rho c_p (t_{1'} - t_1) \\ &= \frac{6772 [m^3/h]}{3600 [s/h]} 1.2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] 1 \left[ \frac{kJ}{kgK} \right] (32 - 14.6) [K] \\ &= 39.27 [kW]\end{aligned}$$



# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (8/9)

- Η παροχή του ατμού στον υγραντήρα προκύπτει από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\dot{m}_w &= \dot{m}_{a1'}(W_2 - W_{1'}) \\ &= \frac{1.881[m^3/s]}{0.872[m^3/kg]} \left( \frac{6.25 - 5.5}{1000} \right) \left[ \frac{kgH_2O}{kg \xi.a} \right] \\ &= 1.62 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{kg}{s} \right] = 5.82 \left[ \frac{kg}{h} \right]\end{aligned}$$



# Χειμερινός κλιματισμός ΛΥΣΗ (9/9)

3) Η ισχύς που απαιτείται για τη θέρμανση του εξωτερικού αέρα προκύπτει από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\dot{q}_a &= \dot{V}_a \rho c_p (t_3 - t_0) = \frac{2500}{3600} \cdot 1 \cdot 1.2 \cdot (22 - 2) = \\ &= 16.67 [kW]\end{aligned}$$

Επαλήθευση:

(Ισχύς θερμικού στοιχείου = θερμικό φορτίο χώρου + θερμικό φορτίο αερισμού)

$$\dot{q}_{11'} = \dot{q}_h + \dot{q}_a = 22.5 + 16.67 = 39.17 [kW]$$

(Απόκλιση 2‰)



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/1)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1: ASHRAE Handbook 1997 Fundamentals, ASHRAE Atlanta, USA
- Εικόνα 2: Α. Ασημακόπουλος, Κ. Διακουμάκος, Ν. Σεκεριάδης, Εγκαταστάσεις Κλιματισμού II, ΥΠΕΠΘ, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, ΟΕΔΒ, 2002





# Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Χριστόφορος Μωραΐτης  
Θεσσαλονίκη, 30/06/2014

