

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΜ. ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# Ενεργειακή Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας

**ΔΙΑΛΕΞΗ 03: ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑ- ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ**

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

# Α' ΜΕΡΟΣ

# ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΑ

Βιβλιογραφία:

1. Δ. Κατσαπρακάκης, Ψυχομετρία, Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός II Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, ΕΛΜΕΠΑ.
2. Κ. Παπακώστας, Κλιματισμός, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.
3. ΤΕΙ Καλαμάτας <https://slideplayer.gr/slide/11247388/>

## Ψυχρομετρία (1/2)

- ▶ 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.

## Ψυχρομετρία (2/2)

- ▶ Η ψυχρομετρία είναι η μελέτη των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του υγρού αέρα και η ανάλυση των διεργασιών με υγρό αέρα στον κλιματισμό.
- ▶ Η ψυχρομετρία 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.

# Ο ατμοσφαιρικός αέρας

- ▶ Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ένα μίγμα αερίων και υδρατμών
- ▶ Αποτελείται από οξυγόνο ( $O_2$ ) κατά 21%, άζωτο ( $N_2$ ) κατά 78% και άλλα αέρια κατά 1%
- ▶ Οι υδρατμοί είναι νερό, που έχει εξατμιστεί και σε αέρια πλέον κατάσταση περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα
- ▶ Σε θερμοκρασία  $0^\circ C$  και υψόμετρο 0 m (επιφάνεια της θάλασσας), ο ατμοσφαιρικός αέρας έχει πίεση:
- ▶  **$P = 1.013 \text{ bar} = 760 \text{ mmHg}$  και πυκνότητα  $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$**
- ▶ Η πίεση σε αυτές τις συνθήκες ονομάζεται κανονική ατμοσφαιρική πίεση

# Υγρασία στον ατμοσφαιρικό αέρα

- ▶ Η ποσότητα υδρατμών που περιέχεται στον αέρα κυμαίνεται από το μηδέν (ξηρός αέρας) μέχρι μια μέγιστη τιμή, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα
- ▶ Η παρουσία υδρατμών μέσα στη μάζα του αέρα ονομάζεται **υγρασία**
- ▶ Όσο θερμότερος είναι ο αέρας, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υγρασίας μπορεί να συγκρατήσει στη μάζα του

## Κορεσμός

- ▶ Όταν η απορροφούμενη ποσότητα υδρατμών φτάσει στη μέγιστη τιμή της, ο ατμοσφαιρικός αέρας βρίσκεται σε *κατάσταση κορεσμού*
- ▶ **Κορεσμός:** Είναι μία κατάσταση (θερμοκρασίας και πίεσης) στην οποία ο αέρας δεν μπορεί να συγκρατήσει περισσότερη υγρασία.

# Θερμοδυναμικά Χαρακτηριστικά ατμοσφαιρικού αέρα

- Τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ατμοσφαιρικού αέρα, που ονομάζονται και *ψυχομετρικά χαρακτηριστικά*, είναι τα παρακάτω 7 στοιχεία που έχουν σχέση με τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα:

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

# 1. Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού ( $t_{db}$ )

- ▶ Η θερμοκρασία ξηρού βολβού (dry bulb temperature) ονομάζεται εναλλακτικά και *θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου* ή *θερμοκρασία* ή *θερμοκρασιακή ένδειξη κοινού θερμομέτρου σε [°C]*.
- ▶ Είναι η θερμοκρασία που δείχνει ένα κοινό θερμόμετρο όταν εκτεθεί στον αέρα
- ▶ Συμβολισμός:  $t_{db}$
- ▶ Μονάδες: °C

## 2. Θερμοκρασία Υγρού Βολβού ( $t_{wb}$ )

- ▶ Η θερμοκρασία υγρού βολβού (wet bulb temperature) ονομάζεται εναλλακτικά και *θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου*
- ▶ Είναι η θερμοκρασία που δείχνει ένα θερμόμετρο αν τυλίξουμε το βολβό του με ένα υγρό κομμάτι ύφασμα και το τοποθετήσουμε μπροστά στο ρεύμα αέρα (ταχύτητας περίπου  $4,6 \text{ m/s}$ ), το οποίο δημιουργείται από έναν ανεμιστήρα
- ▶ Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι *μικρότερη* από τη θερμοκρασία ξηρού βολβού, γιατί ο αέρας που περνάει από ένα βρεγμένο ύφασμα προκαλεί την εξάτμιση του νερού
- ▶ Η θερμότητα που αφαιρείται από το ύφασμα για την εξάτμιση της μάζας του νερού προκαλεί τη ψύξη του βολβού, και κατά συνέπεια την πτώση της θερμοκρασίας
- ▶ Η εξάτμιση θα σταματήσει όταν ο αέρας που περνάει από το ύφασμα περιέχει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα υγρασίας
- ▶ Συμπερασματικά, όσο ξηρότερος είναι ο αέρας του χώρου, τόσο περισσότερο θα μειώνεται η θερμοκρασία υγρού βολβού
- ▶ Συμβολισμός:  $t_{wb}$
- ▶ Μονάδες:  $^{\circ}\text{C}$

### 3. Ειδικός Όγκος ( $v$ ή $u$ )

- ▶ Ειδικός όγκος  $v$  ή  $u$  (specific volume): 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. ]
- ▶ Συμβολισμός:  $v$  ή  $u$
- ▶ Μονάδες:  $m^3/kg$

## 4. (Ειδική) Ενθαλπία ( $h$ )

- ▶ Η ειδική ενθαλπία (specific enthalpy) αναφέρεται συχνά και ως *ενθαλπία*
- ▶ Είναι το ποσό της θερμότητας που περιέχεται σε 1kg αέρα
- ▶ Συμβολισμός:  $h$
- ▶ Μονάδες: kJ/kg

## 5. Ειδική Υγρασία( $w$ )

- ▶ Η ειδική υγρασία (humidity ratio) είναι η ποσότητα νερού (υδρατμών) που περιέχεται σε 1kg ξηρού αέρα
- ▶ Συμβολισμός:  $w$
- ▶ Μονάδες: g/kg

## Απόλυτη υγρασία (W)

- ▶ Ονομάζεται απόλυτη υγρασία ο λόγος της μάζας των υδρατμών ( $m_u$ ) προς τον όγκο  $V$  του αέρα μέσα στον οποίο περιέχονται οι υδρατμοί αυτοί.
- ▶ Με άλλα λόγια η απόλυτη υγρασία και η πυκνότητα των υδρατμών είναι έννοιες ταυτόσημες μια και οι υδρατμοί, ως αέριο, καταλαμβάνουν ολόκληρο τον όγκο  $V$  που τους προσφέρεται.
- ▶ Είναι δηλαδή η ποσότητα νερού (υδρατμών) που περιέχεται σε  $1m^3$  ξηρού αέρα
- ▶ Μονάδες:  $g/m^3$

## 6. Σχετική Υγρασία ( $\varphi\%$ )

- ▶ Η σχετική υγρασία (relative humidity - RH) είναι το πηλίκο της ποσότητας των υδρατμών που περιέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα, προς τη μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να απορροφήσει ο αέρας (για τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης), όταν βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού
- ▶ Συμβολισμός:  $rh$  ή  $\varphi$
- ▶ Είναι αδιάστατο μέγεθος
- ▶ Για κεκορεσμένο αέρα:  $\varphi=100\%$

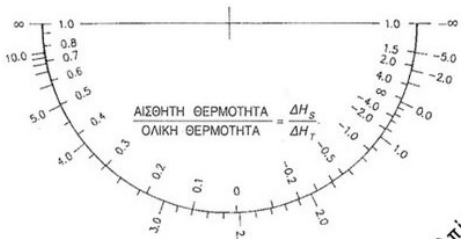
## 7. Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου ( $t_{dp}$ )

- ▶ Η θερμοκρασία σημείου δρόσου (dew point temperature - DPT) ονομάζεται εναλλακτικά και *σημείο δρόσου*
- ▶ Είναι η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, στην οποία αρχίζει το φαινόμενο της συμπύκνωσης (υγροποίησης) των υδρατμών
- ▶ Στη θερμοκρασία σημείου δρόσου έχουμε δηλαδή σταγόνες νερού στις εσωτερικές επιφάνειες του χώρου (τοίχοι, οροφή, παράθυρα) και η σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα είναι πάντοτε  $\varphi = 100\%$
- ▶ Συμβολισμός:  $t_{dp}$
- ▶ Μονάδες: °C
- ▶ Συνθήκη επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών:
  - ▶ Η επιφανειακή εσωτερική θερμοκρασία του τοιχώματος πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση της θερμοκρασίας σημείου δρόσου

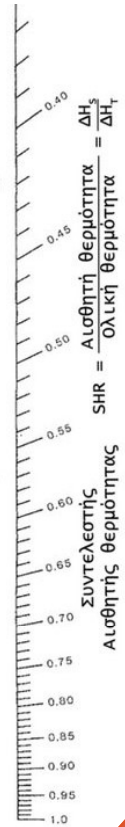
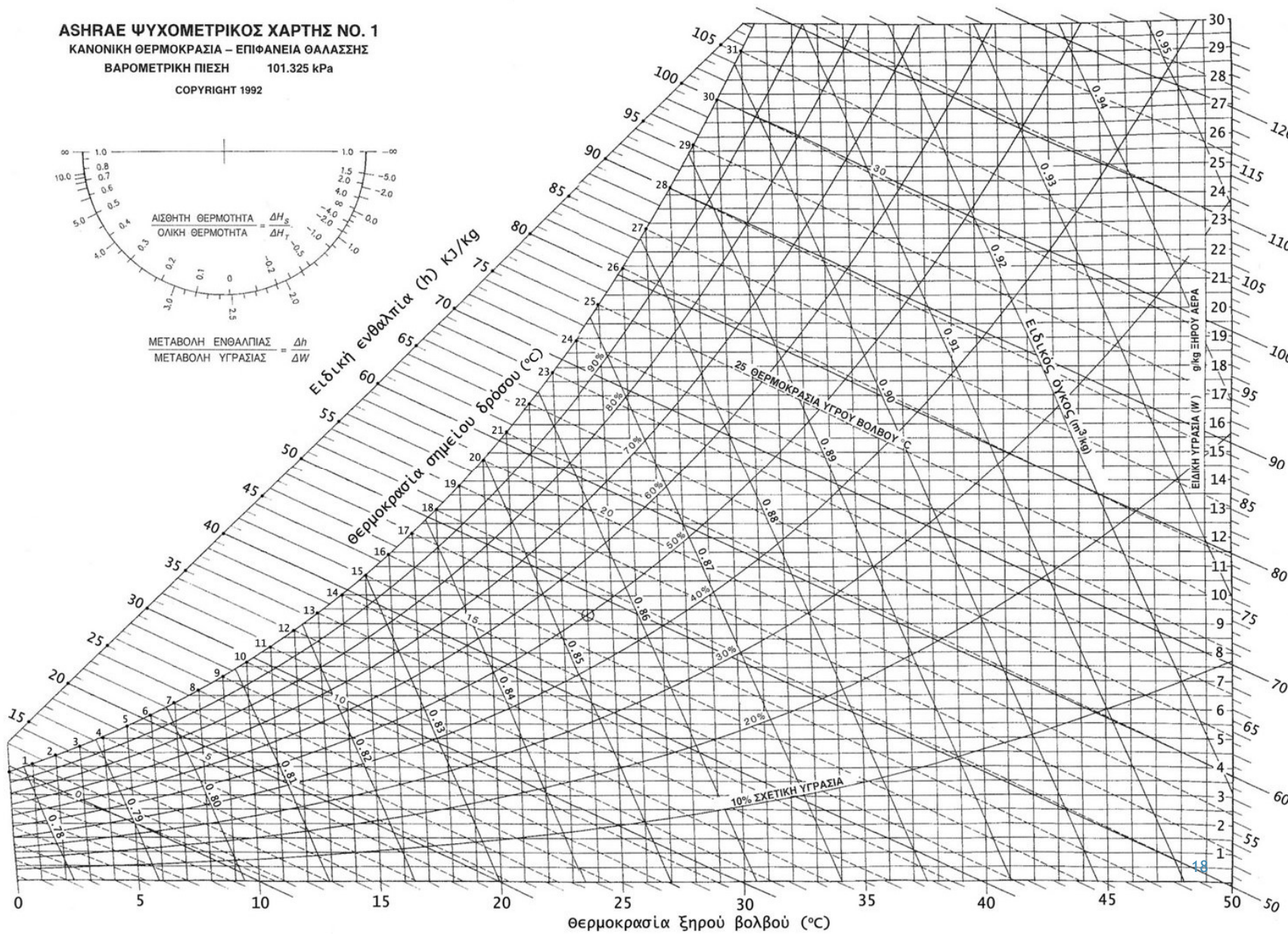
# Ψυχομετρικό διάγραμμα - χάρτης

- ▶ Η γραφική απεικόνιση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του αέρα γίνεται στο ψυχομετρικό διάγραμμα, που επινοήθηκε από τον Carrier
- ▶ Η σημασία του διαγράμματος: γνωρίζοντας μόλις δύο (2) θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του αέρα μπορούμε να υπολογίσουμε τα υπόλοιπα (5) πέντε.
- ▶ Η ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) έχει συντάξει 7 ψυχομετρικά διαγράμματα, που αναφέρονται σε διαφορετικά υψόμετρα και εύρη θερμοκρασιών.

**ΑΣΗΡΑΕ ΨΥΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1**  
 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ  
 ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ 101.325 kPa  
 COPYRIGHT 1992



ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ  $\frac{\Delta h}{\Delta W}$   
 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



Υπάρχει σε αρχείο .JPG στο eclass του μαθήματος

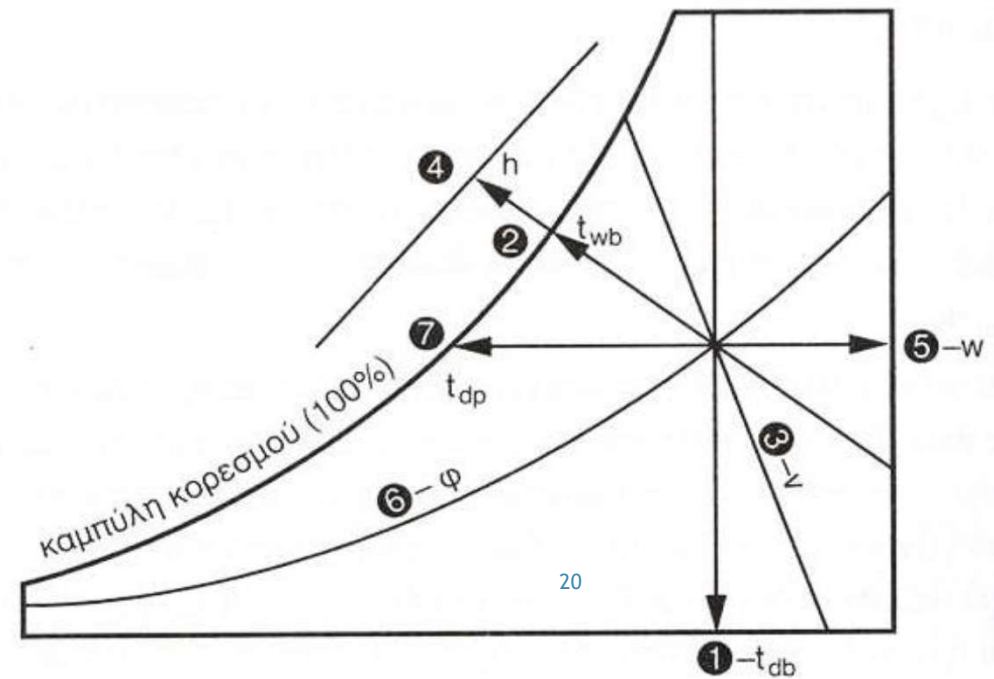
# Αρχές Ψυχομετρικού Διαγράμματος

Το ψυχομετρικό διάγραμμα βασίζεται σε 3 βασικές αρχές:

1. Ο αέρας στο εσωτερικό ενός κτιρίου είναι προϊόν ανάμειξης ξηρού αέρα και υδρατμών
2. Υπάρχει ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας σε αυτή την ανάμειξη, σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης
3. Υπάρχει ένα μέγιστο όριο στη ποσότητα των υδρατμών στον αέρα σε κάθε συγκεκριμένη θερμοκρασία

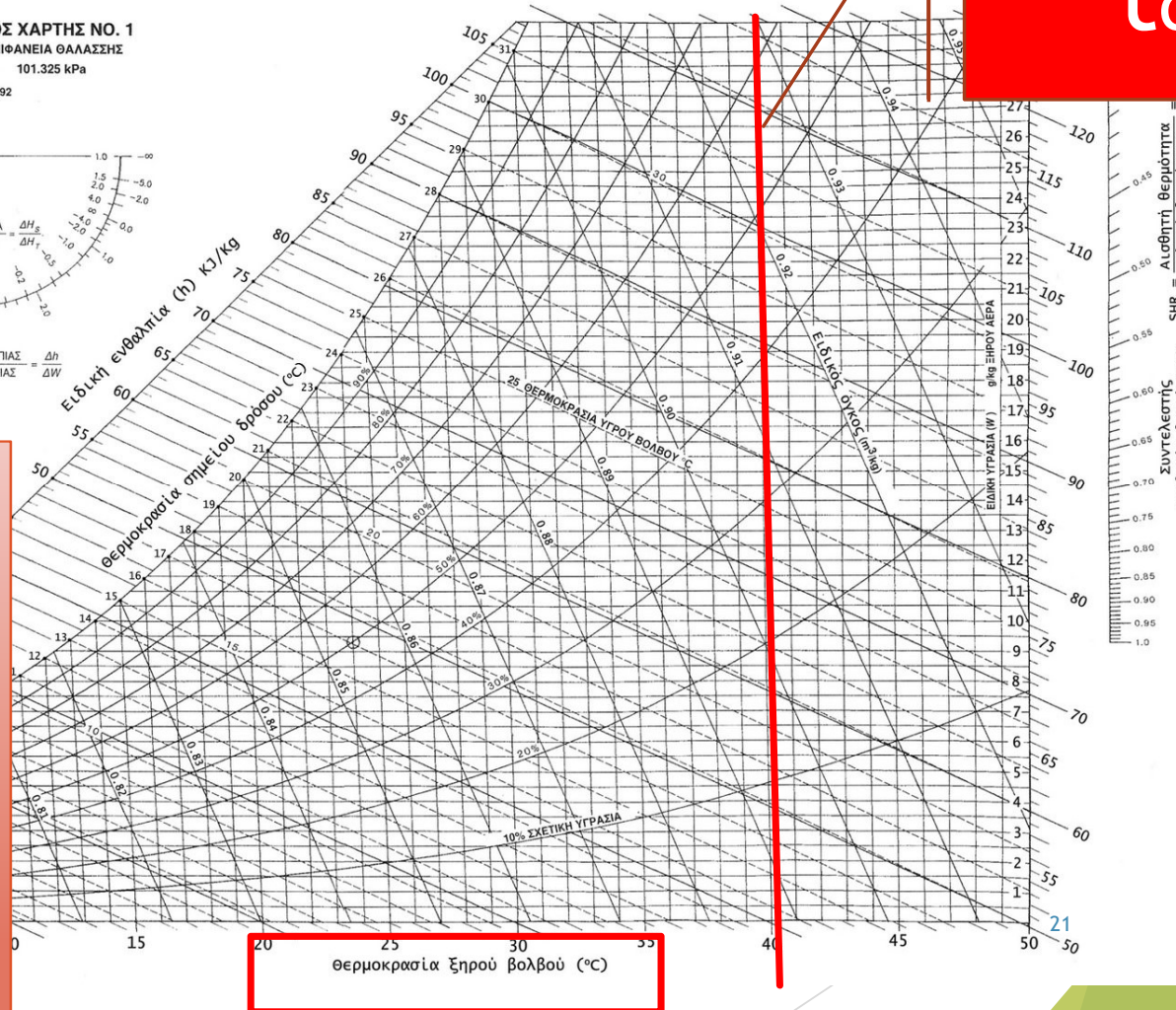
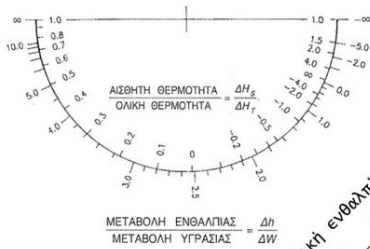
## Οι γραμμές στον ψυχομετρικό χάρτη

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	$t_{dp}$	$^{\circ}\text{C}$



# Γραμμές Θερμοκρασίας Ξηρού Βολβού

ASHRAE ΨΥΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1  
ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ  
ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ 101.325 kPa  
COPYRIGHT 1992



**t<sub>db</sub>**

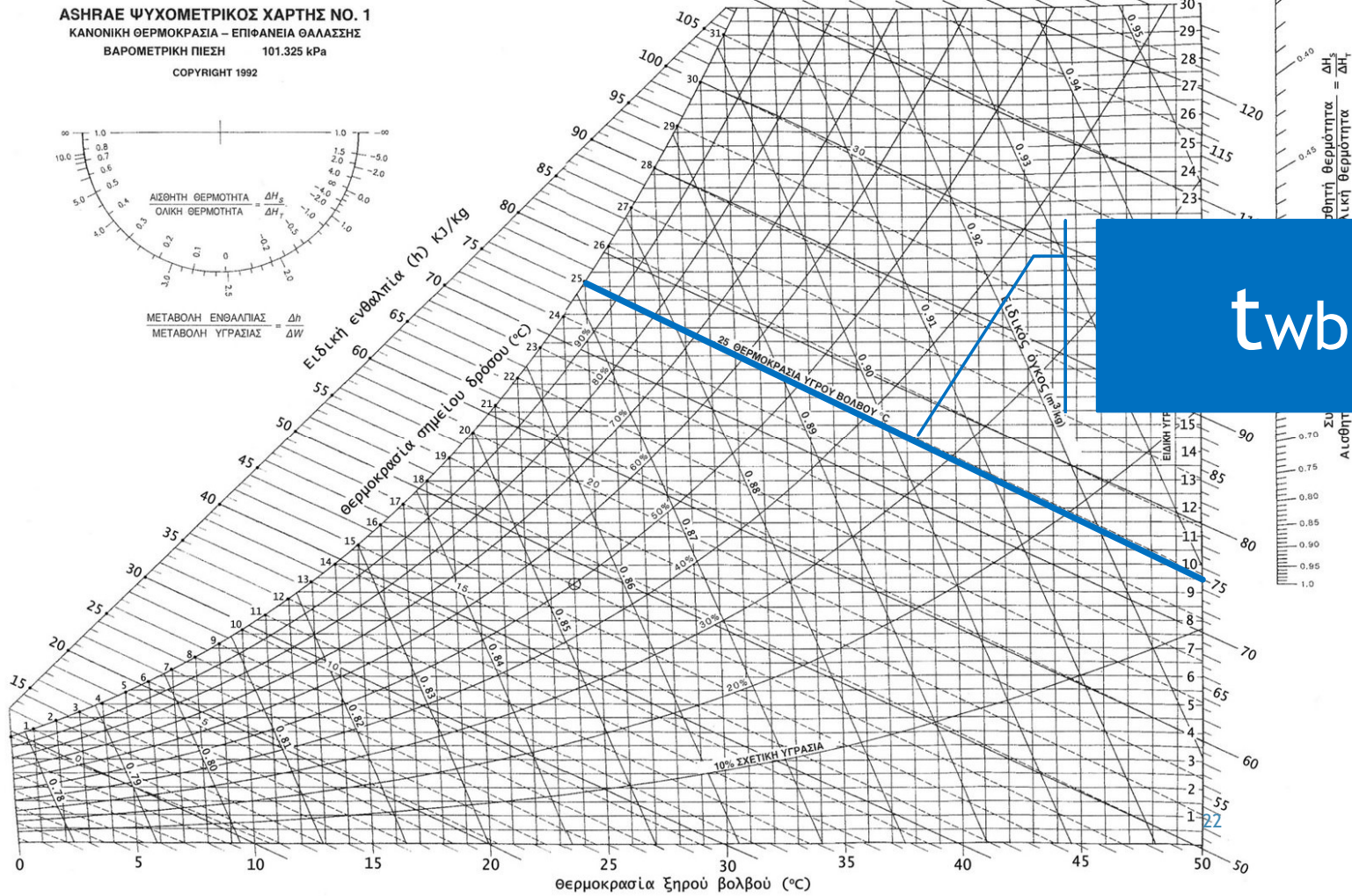
Σε οποιαδήποτε μεταβολή κατά μήκος των γραμμών, η θερμοκρασία του ξηρού βολβού παραμένει σταθερή ενώ μεταβάλλεται η ειδική υγρασία του αέρα.

Η θερμότητα που εκλύεται ή απορροφάται είναι η λανθάνουσα θερμότητα  $Q_{\lambda} = h_2 - h_1$

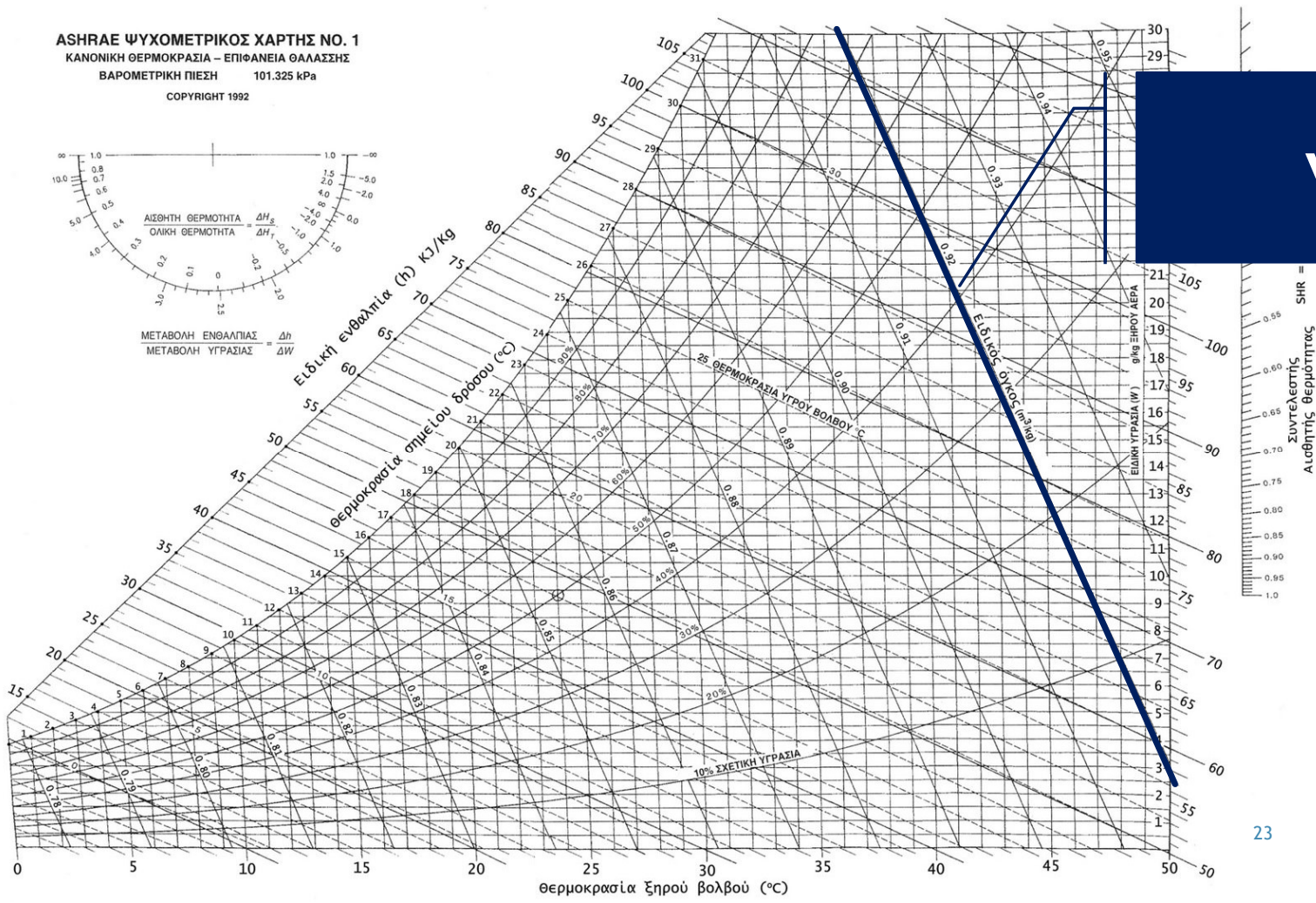
Αισθητή θερμότητα = Ολική θερμότητα  
SHR =  $\frac{\text{Αισθητή θερμότητα}}{\text{Ολική θερμότητα}}$

Συντελεστής Αισθητής θερμότητας

# Γραμμές Θερμοκρασίας Υγρού Βολβού

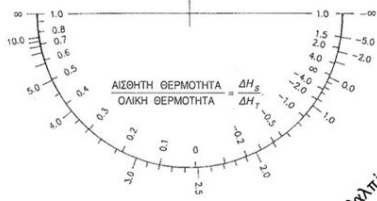


# Γραμμές Ειδικού Όγκου

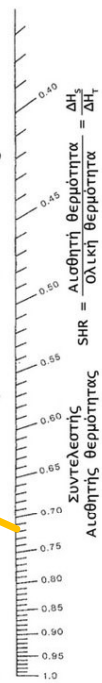
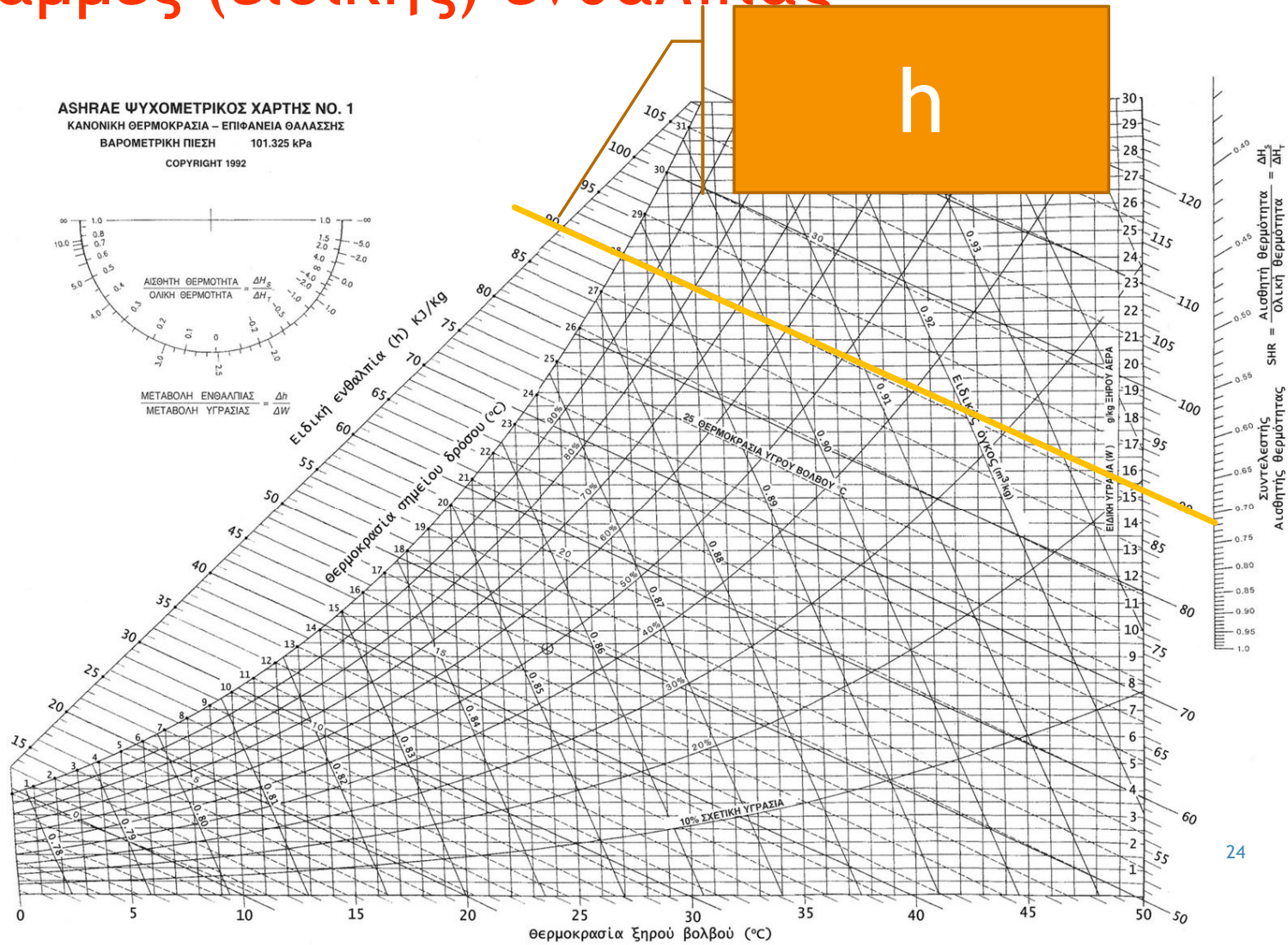


# Γραμμές (ειδικής) ενθαλπίας

ASHRAE ΨΥΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1  
 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ  
 ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ 101.325 kPa  
 COPYRIGHT 1992



ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ  $\frac{\Delta h}{\Delta W}$   
 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ  $\frac{\Delta W}{\Delta h}$

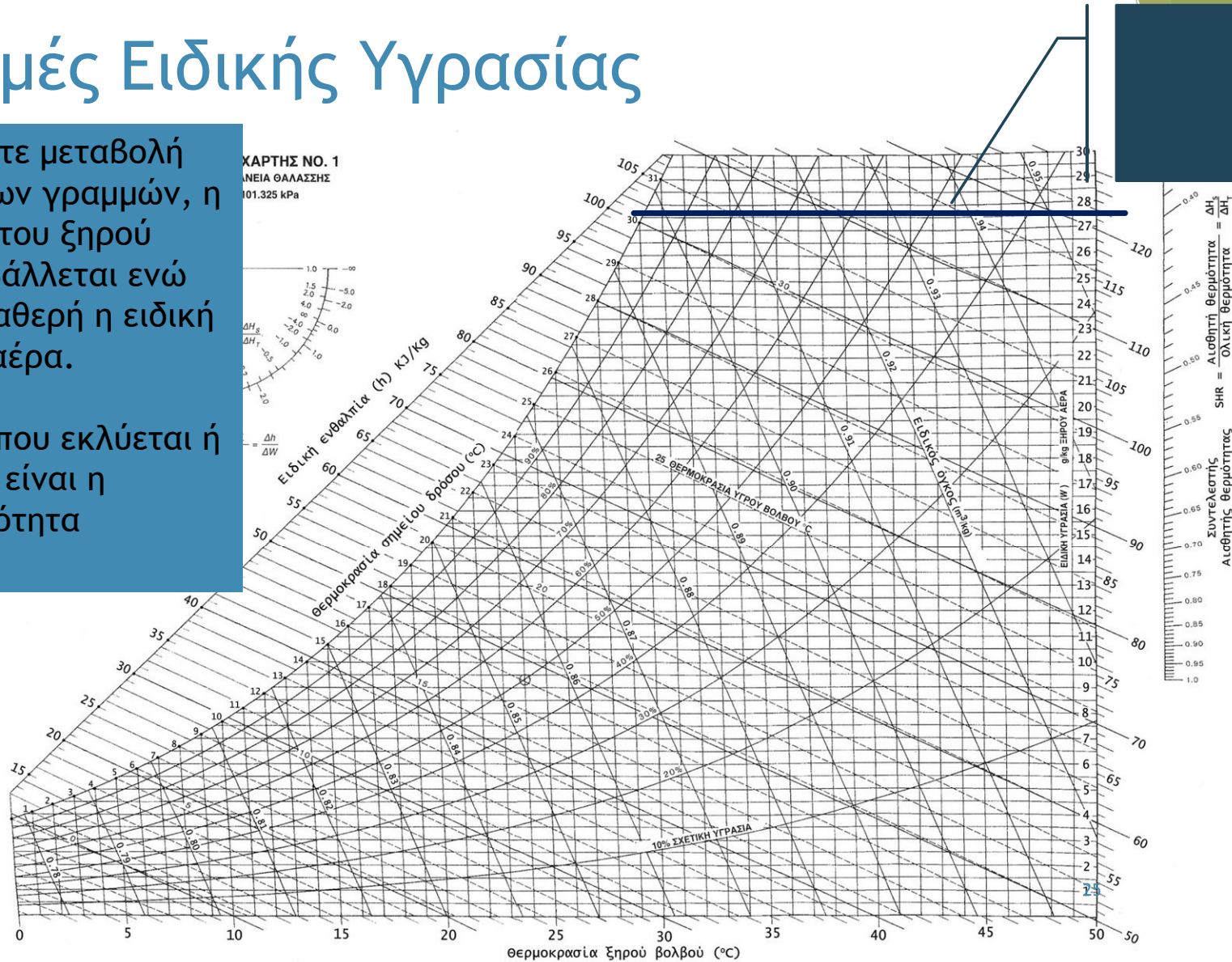


# Γραμμές Ειδικής Υγρασίας

Σε οποιαδήποτε μεταβολή κατά μήκος των γραμμών, η θερμοκρασία του ξηρού βολβού μεταβάλλεται ενώ παραμένει σταθερή η ειδική υγρασία του αέρα.

Η θερμότητα που εκλύεται ή απορροφάται είναι η αισθητή θερμότητα  $Q_a = h_2 - h_1$

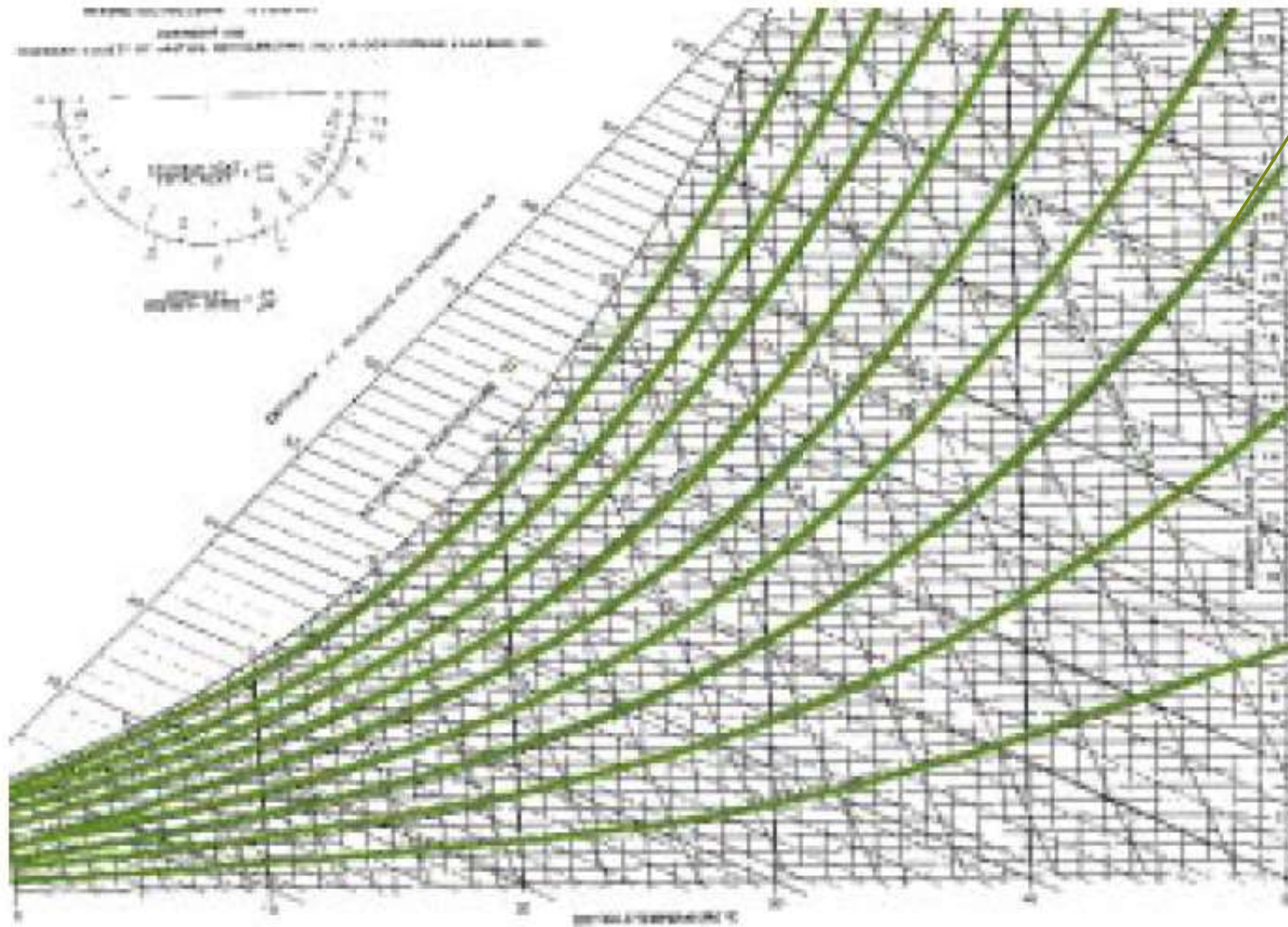
ΧΑΡΤΗΣ NO. 1  
ΛΙΝΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ  
101.325 kPa



$$\text{SHR} = \frac{\Delta h_2 - \Delta h_1}{\Delta h_2 - \Delta h_1} = \frac{\Delta h_2 - \Delta h_1}{\Delta h_2 - \Delta h_1}$$

Αισθητή θερμότητα  
ολική θερμότητα

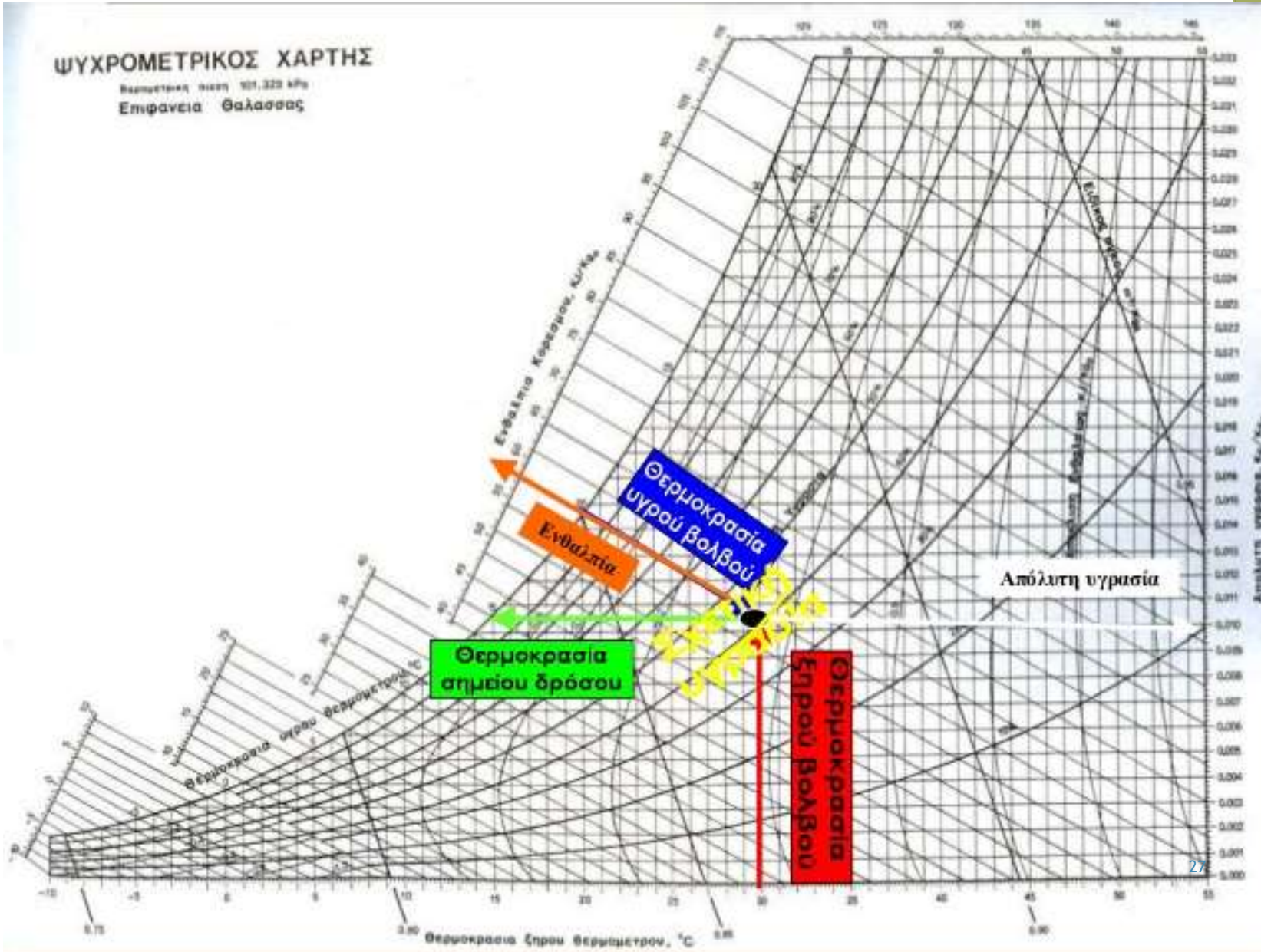
# Γραμμές Σχετικής Υγρασίας



rh

# ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Βαρομετρική πίεση 101,325 kPa  
Επιφάνεια Θαλάσσης

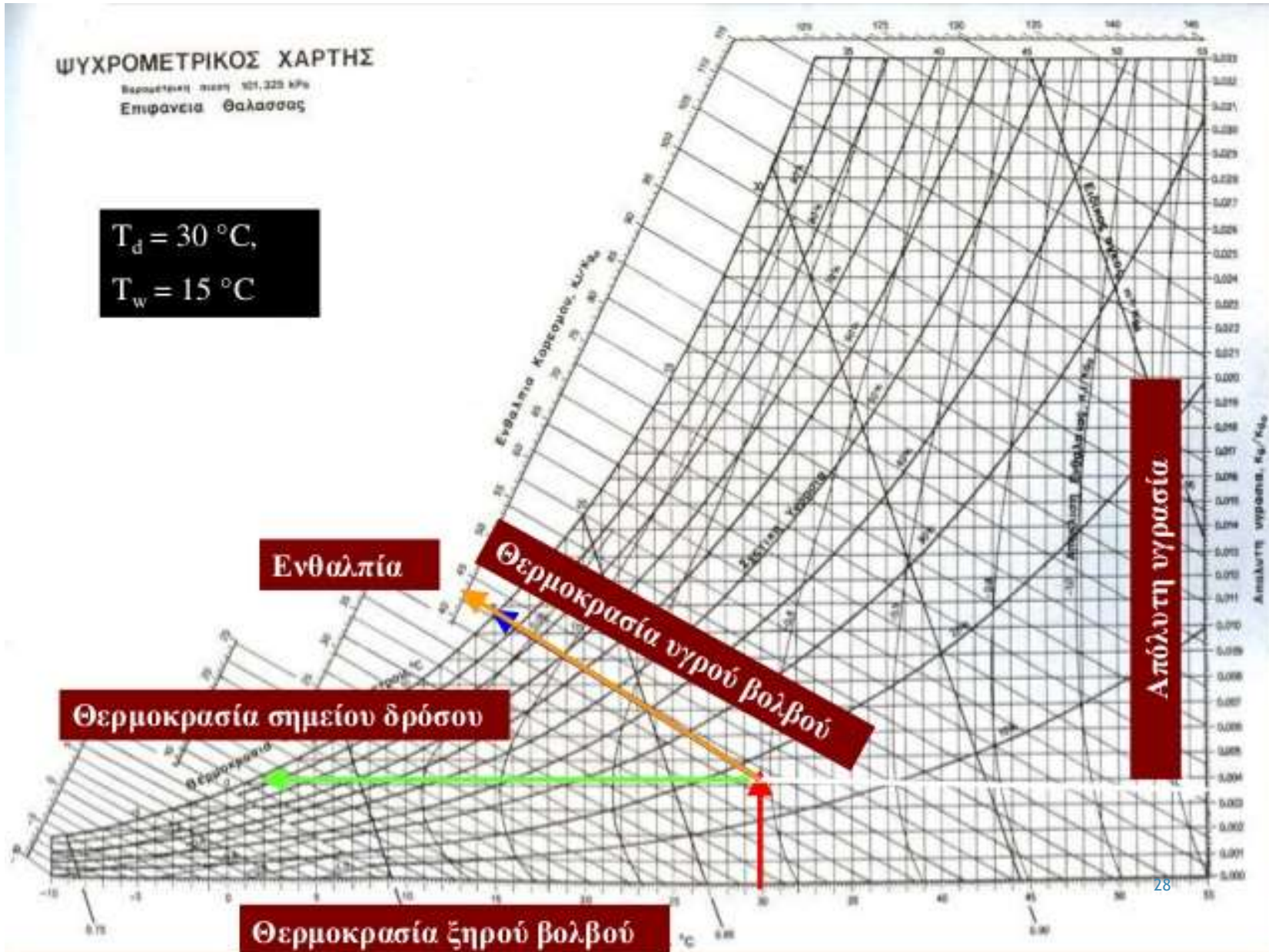


# ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Βαροσφαιρική πίεση 101,325 hPa  
Επιφάνεια θαλάσσης

$T_d = 30\text{ }^\circ\text{C}$ ,

$T_w = 15\text{ }^\circ\text{C}$



Ενθαλπία

Θερμοκρασία υγρού βολβού

Απόλυτη υγρασία

Θερμοκρασία σημείου δρόσου

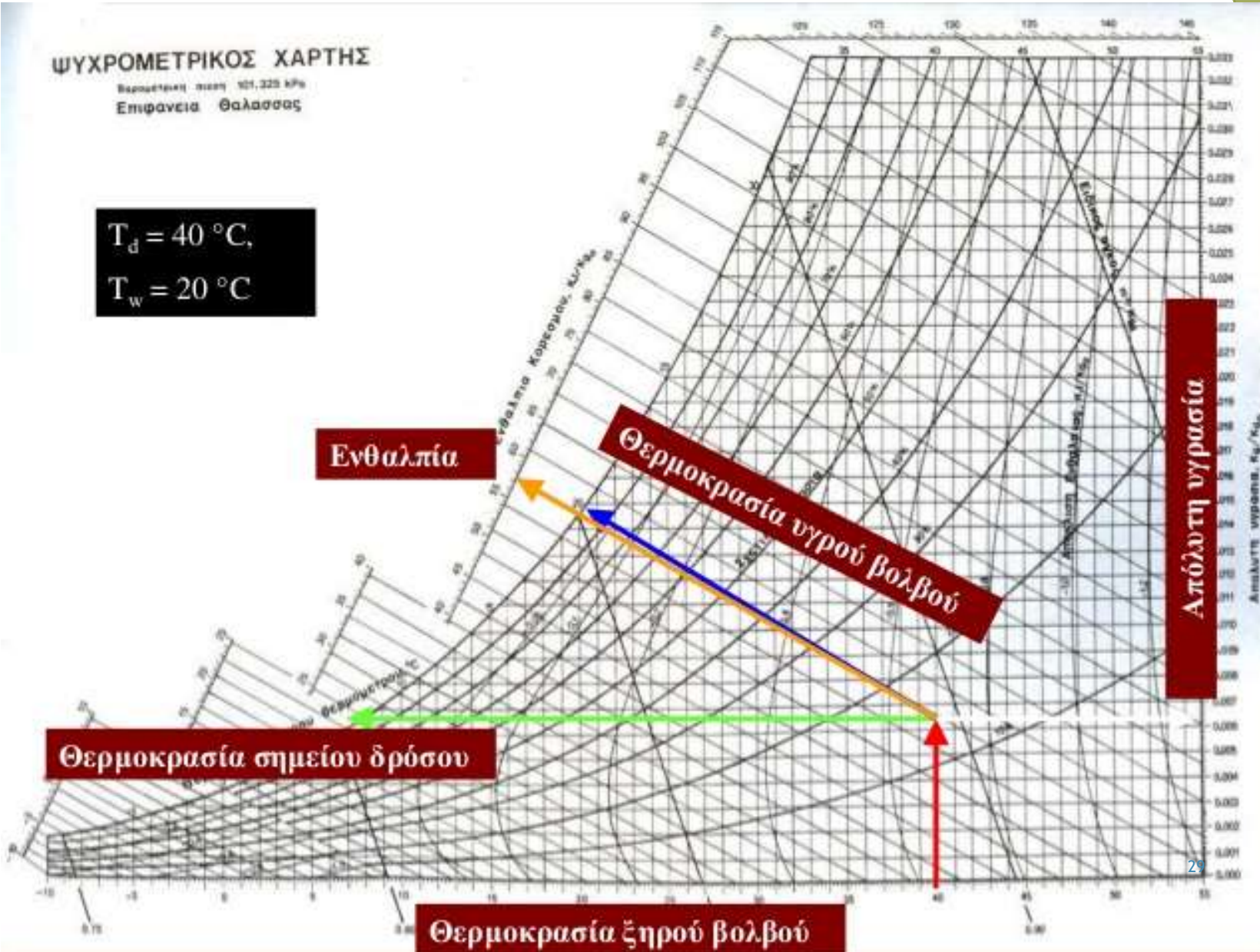
Θερμοκρασία ξηρού βολβού

# ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Βαρομετρική πίεση 101,325 kPa  
Επιφάνεια Θαλάσσης

$$T_d = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_w = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$



Ενθαλπία

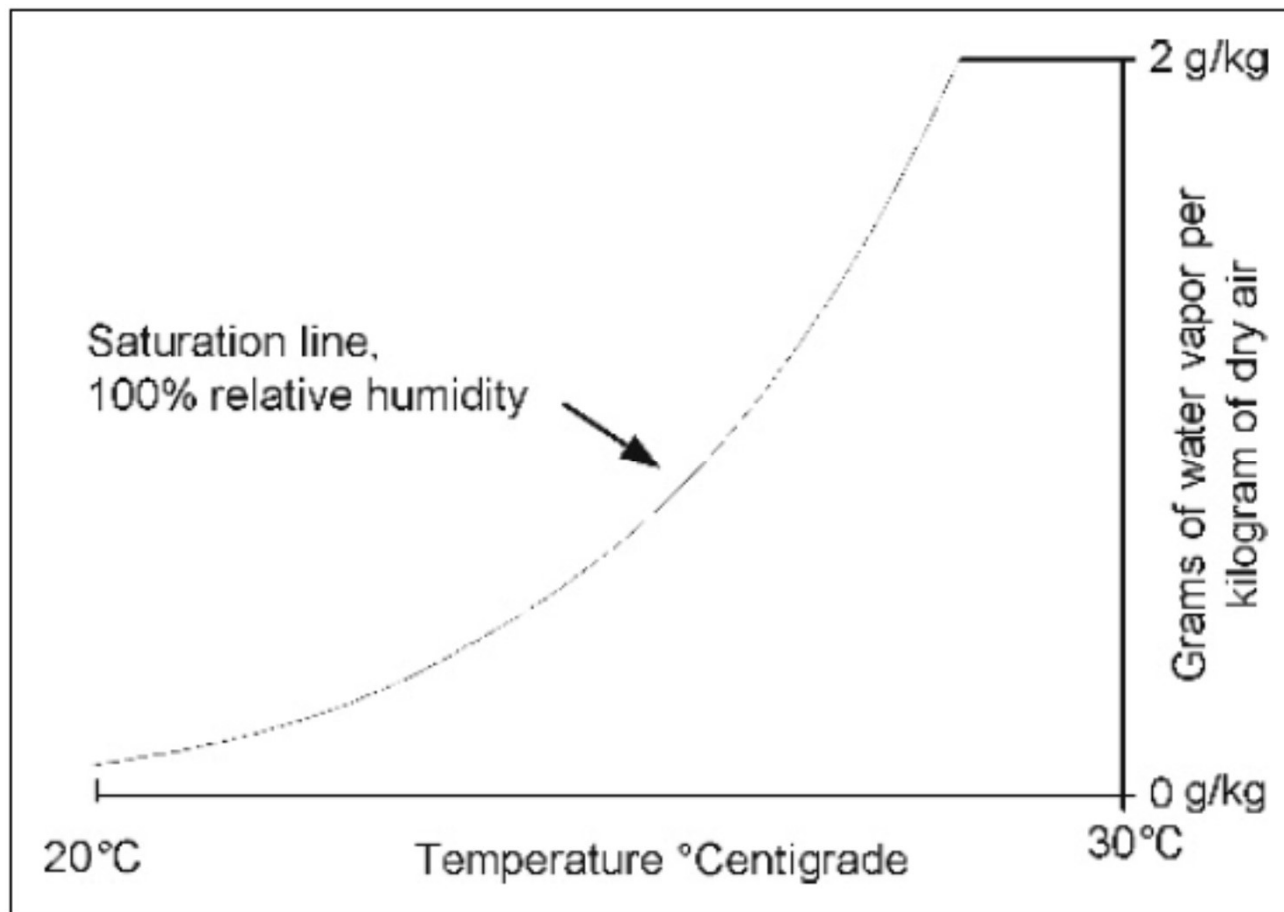
Θερμοκρασία υγρού βολβού

Απόλυτη υγρασία

Θερμοκρασία σημείου δρόσου

Θερμοκρασία ξηρού βολβού

# Γραμμή Κορεσμού



## Άσκηση 1

- ▶ Δίνεται υγρός αέρας θερμοκρασίας ξηρού βολβού  $T_{db}=40^{\circ}\text{C}$  θερμοκρασίας υγρού βολβού  $T_{wb}=20^{\circ}\text{C}$ .
- ▶ Να βρεθούν από τον ψυχομετρικό χάρτη τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά μεγέθη: ειδική ενθαλπία  $h$ , σχετική υγρασία  $\varphi$ , ειδική υγρασία  $W$ , σημείο δρόσου  $T_d$  και ειδικός όγκος αέρα  $v$ .

**ΛΥΣΗ:**

Από το ψυχομετρικό διάγραμμα:

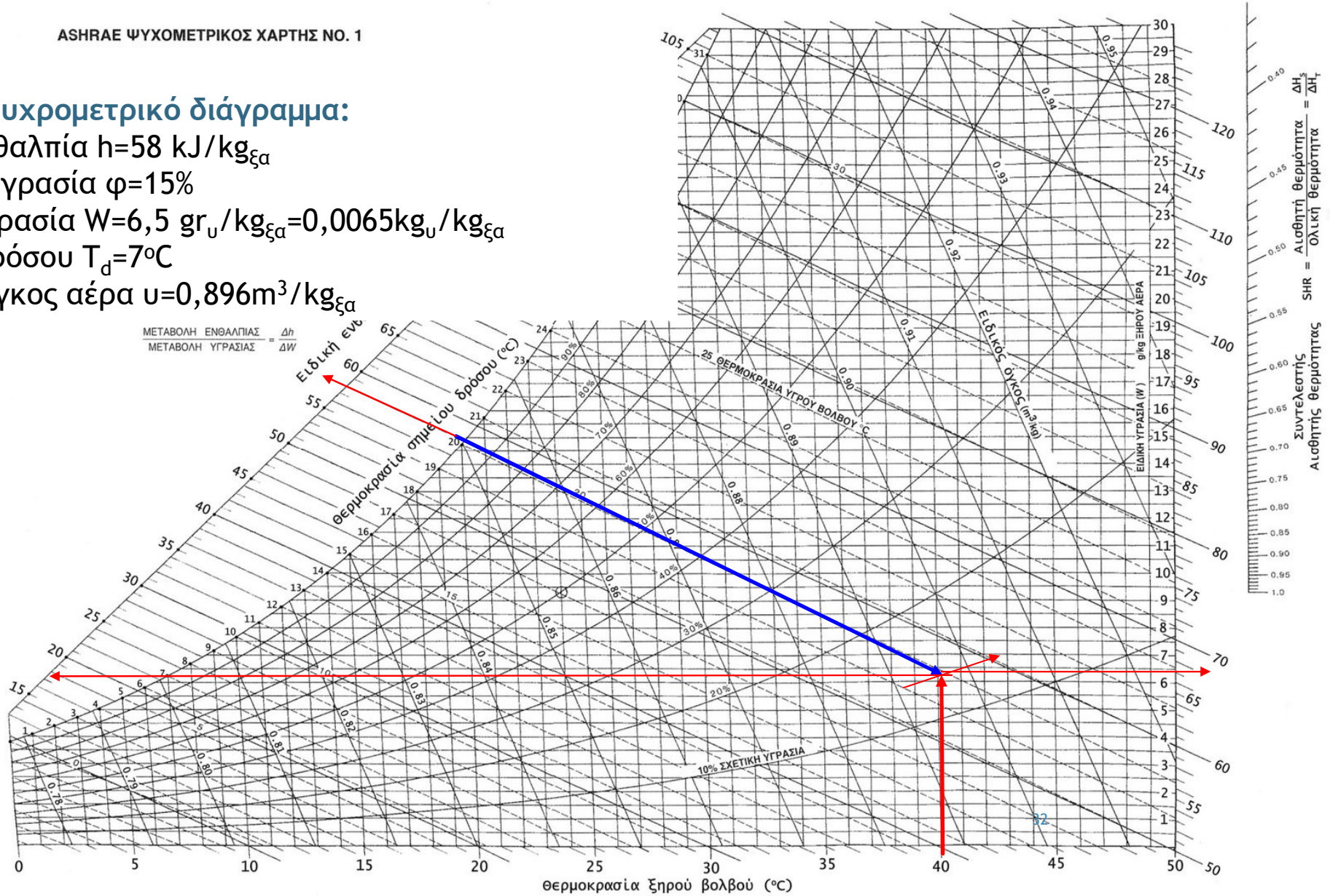
ειδική ενθαλπία  $h=58 \text{ kJ/kg}_{\xi\alpha}$

σχετική υγρασία  $\phi=15\%$

ειδική υγρασία  $W=6,5 \text{ gr}_U/\text{kg}_{\xi\alpha}=0,0065\text{kg}_U/\text{kg}_{\xi\alpha}$

σημείο δρόσου  $T_d=7^\circ\text{C}$

ειδικός όγκος αέρα  $v=0,896\text{m}^3/\text{kg}_{\xi\alpha}$



## Αισθητή & Λανθάνουσα θερμότητα (1/2)

- ▶ Έστω αέρας αρχικής κατάστασης 1 που υφίσταται μεταβολή στη θερμική του κατάσταση και τελικά μεταβαίνει στην κατάσταση 2.
- ▶ Η μεταβολή αυτή παριστάνεται στον ψυχομετρικό χάρτη με το ευθύγραμμο τμήμα 1-2, αν και δεν είναι απαραίτητο η μετάβαση από την κατάσταση 1 στη 2 να ακολουθήσει τα σημεία του ευθυγράμμου τμήματος.
- ▶ Η ευθεία 1-2 ονομάζεται καταστατική.
- ▶ Από τα σημεία 1 και 2 χαράσσονται ευθείες παράλληλες προς τους άξονες του χάρτη, οι οποίες τέμνονται στο σημείο 3.

## Αισθητή & Λανθάνουσα θερμότητα (2/2)

- **Αισθητή θερμότητα:**

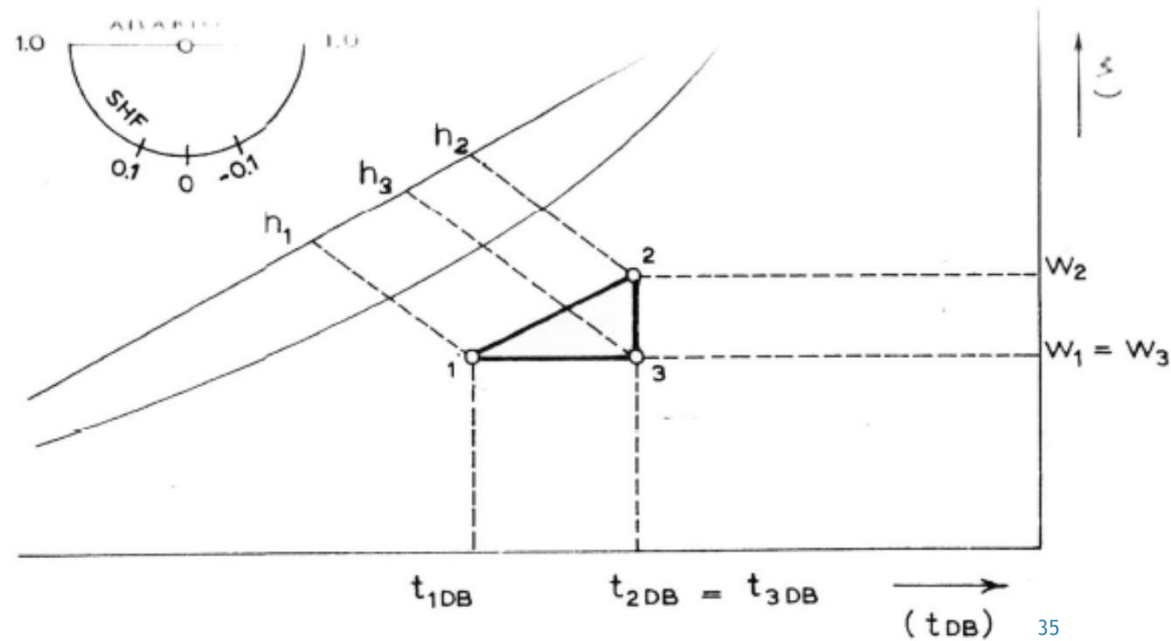
Όταν θερμαίνεται ένα αντικείμενο, η θερμοκρασία του ανεβαίνει καθώς προστίθεται θερμότητα. Η αύξηση της θερμότητας ονομάζεται αισθητή θερμότητα. Ομοίως, όταν η θερμότητα αφαιρείται από ένα αντικείμενο και η θερμοκρασία του μειώνεται, η θερμότητα που αφαιρείται ονομάζεται αισθητή. Συνεπώς, η θερμότητα που προκαλεί αλλαγές στη θερμοκρασία ενός αντικειμένου ονομάζεται αισθητή θερμότητα.

- **Λανθάνουσα θερμότητα:**

Η λανθάνουσα θερμότητα δεν επηρεάζει τη θερμοκρασία μιας ουσίας - για παράδειγμα, το νερό παραμένει ως έχει στους 100°C ενώ βράζει. Η θερμότητα που προστίθεται για να συνεχίσει ο βρασμός του νερού είναι λανθάνουσα θερμότητα. Συνεπώς, η θερμότητα που επιφέρει αλλαγή στην κατάσταση αλλά δεν επιφέρει καμία αλλαγή στη θερμοκρασία ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα.

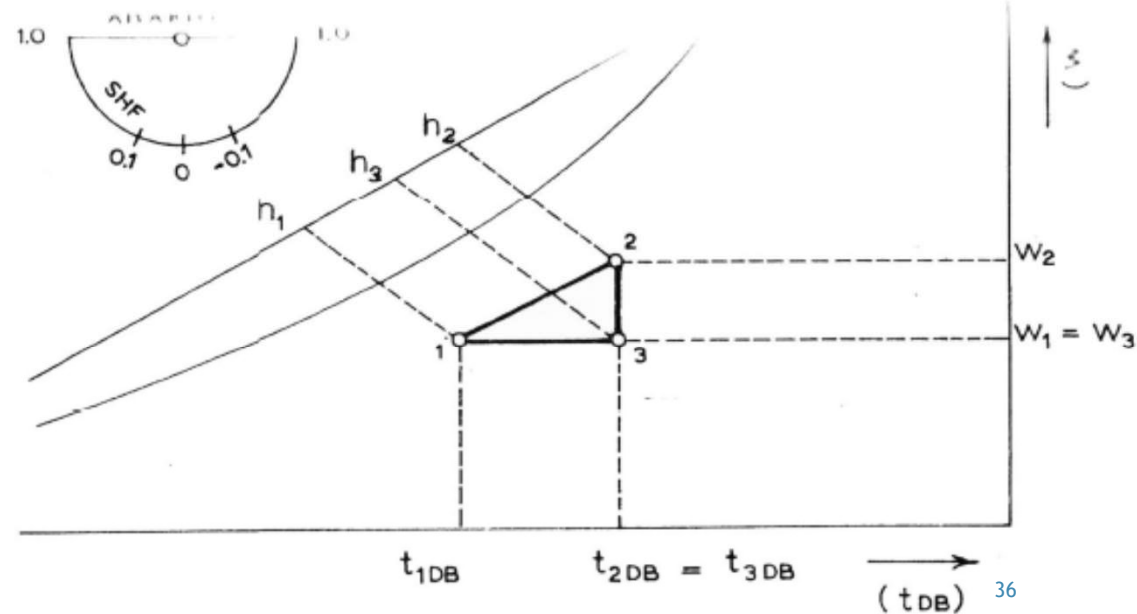
# Αισθητή θερμότητα

Ονομάζεται η ποσότητα:  $q_a = h_3 - h_1$ ,  
δηλαδή η θερμότητα η οποία αντιστοιχεί στη θερμοδυναμική μεταβολή 1-3, κατά την οποία μεταβάλλεται η θερμοκρασία ξηρού βολβού ενώ παραμένει σταθερή η ειδική υγρασία του αέρα.



## Λανθάνουσα θερμότητα (1/2)

Ονομάζεται η ποσότητα:  $q_{\lambda} = h_2 - h_3$ ,  
δηλαδή η θερμότητα η οποία αντιστοιχεί στη θερμοδυναμική μεταβολή 2-3, κατά την οποία δεν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ξηρού βολβού ενώ μεταβάλλεται η ειδική υγρασία του αέρα.

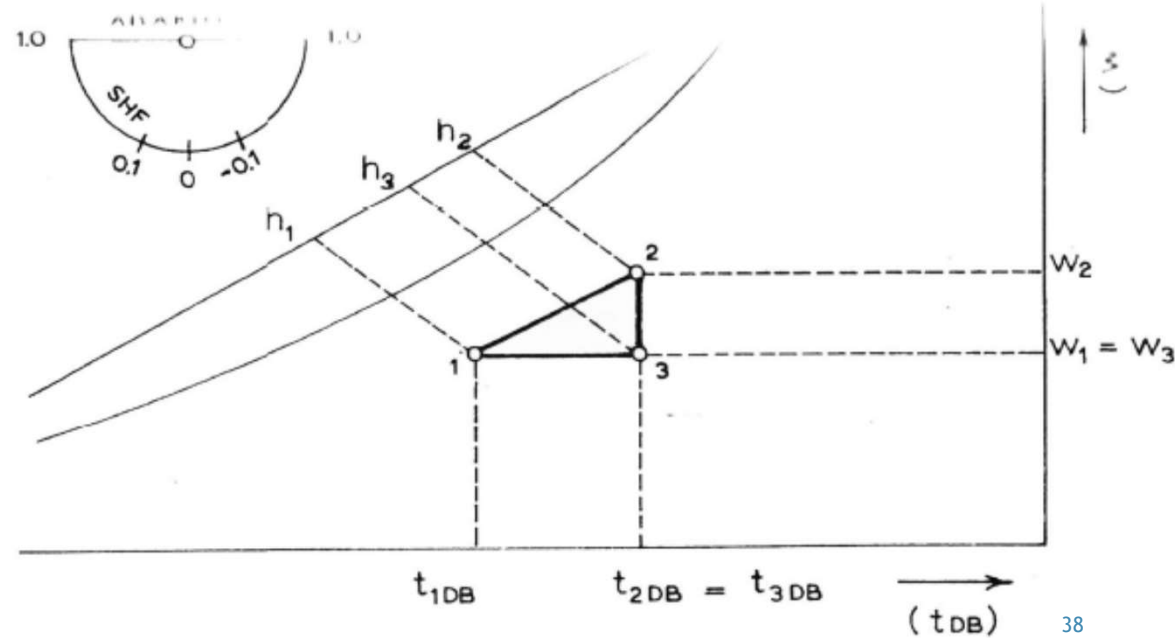


## Λανθάνουσα θερμότητα (2/2)

- ▶ **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.

## Ολική θερμότητα (ενθαλπία) (1/2)

Ονομάζεται η ποσότητα:  $q_{\text{συν}} = q_{\alpha} + q_{\lambda} = h_2 - h_1$ ,  
δηλαδή το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας  
θερμότητας της μεταβολής του υγρού αέρα.

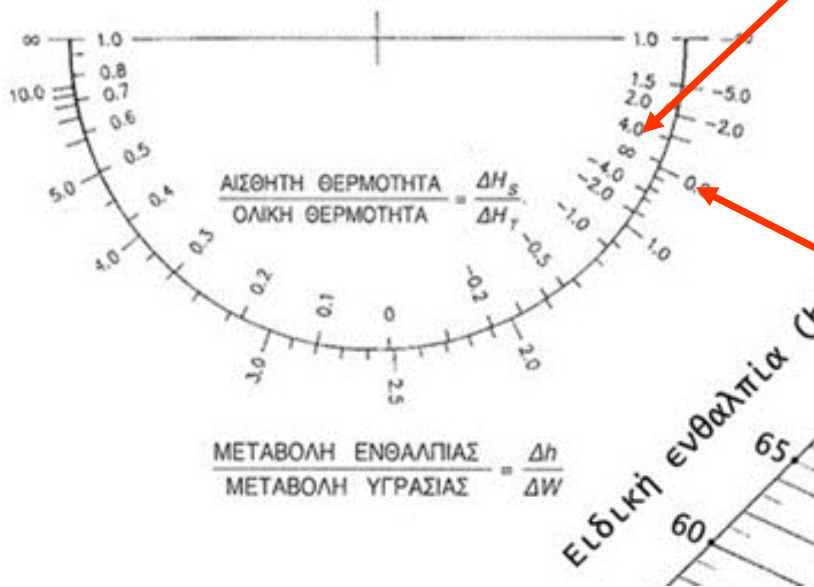


## Ολική θερμότητα (ενθαλπία) (2/2)

- ▶ 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.

# Παράγοντας αισθητής θερμότητας (1/2)

ΑΣΗΡΑΕ ΨΥΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1  
ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ  
ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ 101.325 kPa  
COPYRIGHT 1992



(Sensible Heat Factor):

Ονομάζεται η ποσότητα: 
$$SHF = \frac{q_a}{q_{\text{συν}}} = \frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_1}$$

Με τον παράγοντα αισθητής θερμότητας ορίζεται η κλίση της καταστατικής ευθείας.

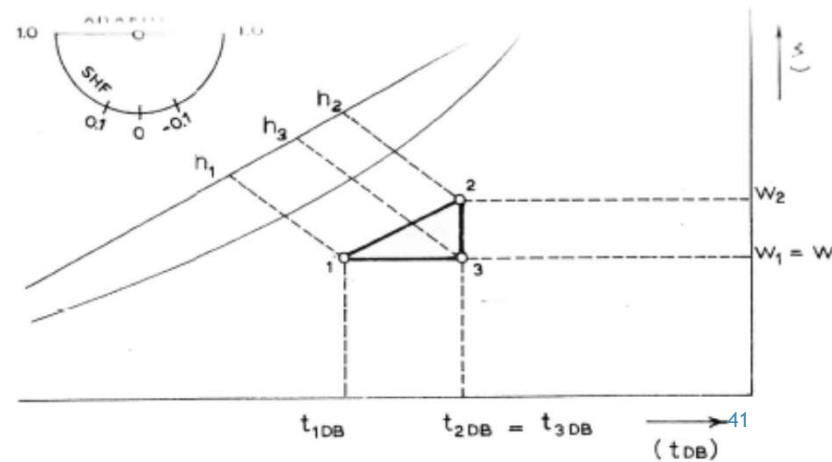
Λόγος μεταβολής της κατάστασης του αέρα

## Παράγοντας αισθητής θερμότητας (2/2)

- Με τον παράγοντα αισθητής θερμότητας ορίζεται η κλίση της καταστατικής ευθείας.
- Η τιμή του SHF δίνεται από το ημικύκλιο στο άνω αριστερό άκρο του ψυχομετρικού χάρτη.
- Από το ίδιο ημικύκλιο δίνεται και ο λόγος της μεταβολής της κατάστασης αέρα, δηλαδή:

$$SHF = \frac{q_a}{q_{\text{συν}}} = \frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_1}$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1}$$



## Αδιαβατική διαδικασία

- ▶ **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.

# Ψυχομετρικοί όροι - σύνοψη

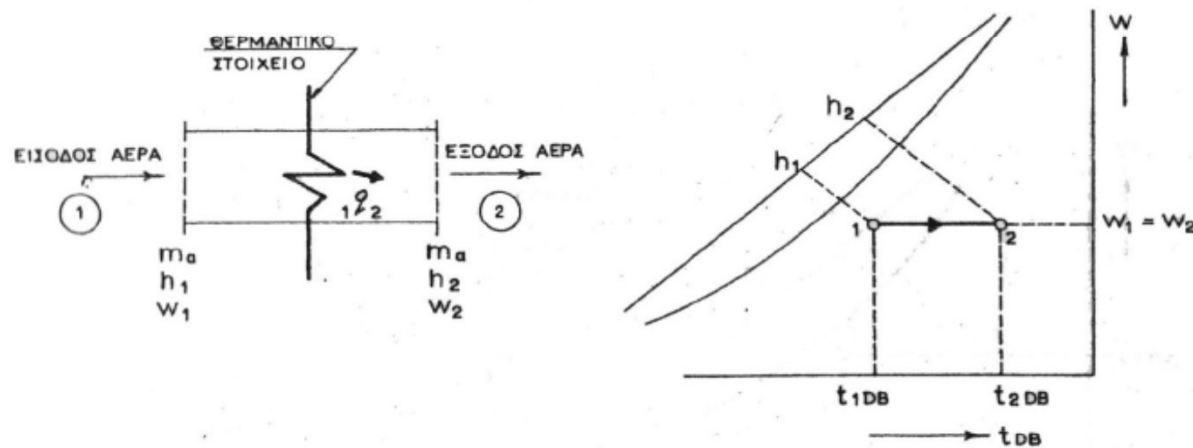
- ▶ Ειδική υγρασία (specific humidity)  $W$ :  $W = m_u / m_{\xi\alpha}$  (kg υδρατμών/kg ξηρού αέρα)
- ▶ Σχετική υγρασία (relative humidity)  $\phi(\%)$ ,  $\phi = m_u / m_k$  (kg υδρατμών/kg κορεσμένου μίγματος στην ίδια θερμοκρασία)
- ▶ Αισθητή θερμότητα είναι η θερμότητα που μεταβάλλει τη θερμοκρασία του αέρα χωρίς να αλλάζει το περιεχόμενό του σε υγρασία
- ▶ Λανθάνουσα θερμότητα είναι η θερμότητα που απαιτείται για την αλλαγή φάσης των υδρατμών, χωρίς να μεταβληθεί η θερμοκρασία ή η πίεση του αέρα
- ▶ Ενθαλπία είναι το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας, εκφράζει την εσωτερική ενέργεια ενός σώματος
- ▶ Ειδική ενθαλπία  $h$ , (ολική θερμότητα kJ/kg ξηρού αέρα)
- ▶ Ειδικός όγκος αέρα  $u$ ,  $u = V/m$  (όγκος υγρού αέρα  $m^3/kg$  ξηρού αέρα)
- ▶ Σημείο δρόσου (dew point temperature)  $T_d$  ( $^{\circ}C$ ) είναι η θερμοκρασία κατά την οποία αρχίζει η υγροποίηση των υδρατμών (συμπύκνωση υδρατμών), έχουμε αποβολή της υγρασίας υπό μορφή σταγόνων νερού.

## Μεταβολές κατάστασης αέρα

- Στον κλιματισμό εμφανίζεται το πρόβλημα του υπολογισμού των θερμικών και υγρασιακών μεταβολών του υγρού ατμοσφαιρικού αέρα.
- Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη.
- Στη συνέχεια δίνεται ο τρόπος υπολογισμού των συνηθέστερων από τις μεταβολές αυτές.

# 1. Θέρμανση αέρα χωρίς μεταβολή της υγρασίας

- Κατά τη μεταβολή αυτή ο ατμοσφαιρικός αέρας απλώς θερμαίνεται, χωρίς να μεταβληθεί η περιεχόμενη σε αυτόν ποσότητα υδρατμών (π.χ. θέρμανση του αέρα με ηλεκτρική αντίσταση).
- Επειδή  $w_1 = w_2$ , η μεταβολή αυτή παριστάνεται στον ψυχομετρικό χάρτη με μία οριζόντιο ευθεία ( $\Delta w = 0$ ).



# 1. Θέρμανση αέρα χωρίς μεταβολή της υγρασίας

- Ισολογισμός θερμικής ισχύος στην είσοδο και στην έξοδο της θερμαντικής συσκευής:

$$\dot{m}_a \cdot h_1 + q_{12} = \dot{m}_a \cdot h_2 \Leftrightarrow q_{12} = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1)$$

- Επίσης ισχύει:  $w_1 = w_2$
- Γενικά, τέλος, θα πρέπει να είναι γνωστή η σχέση:

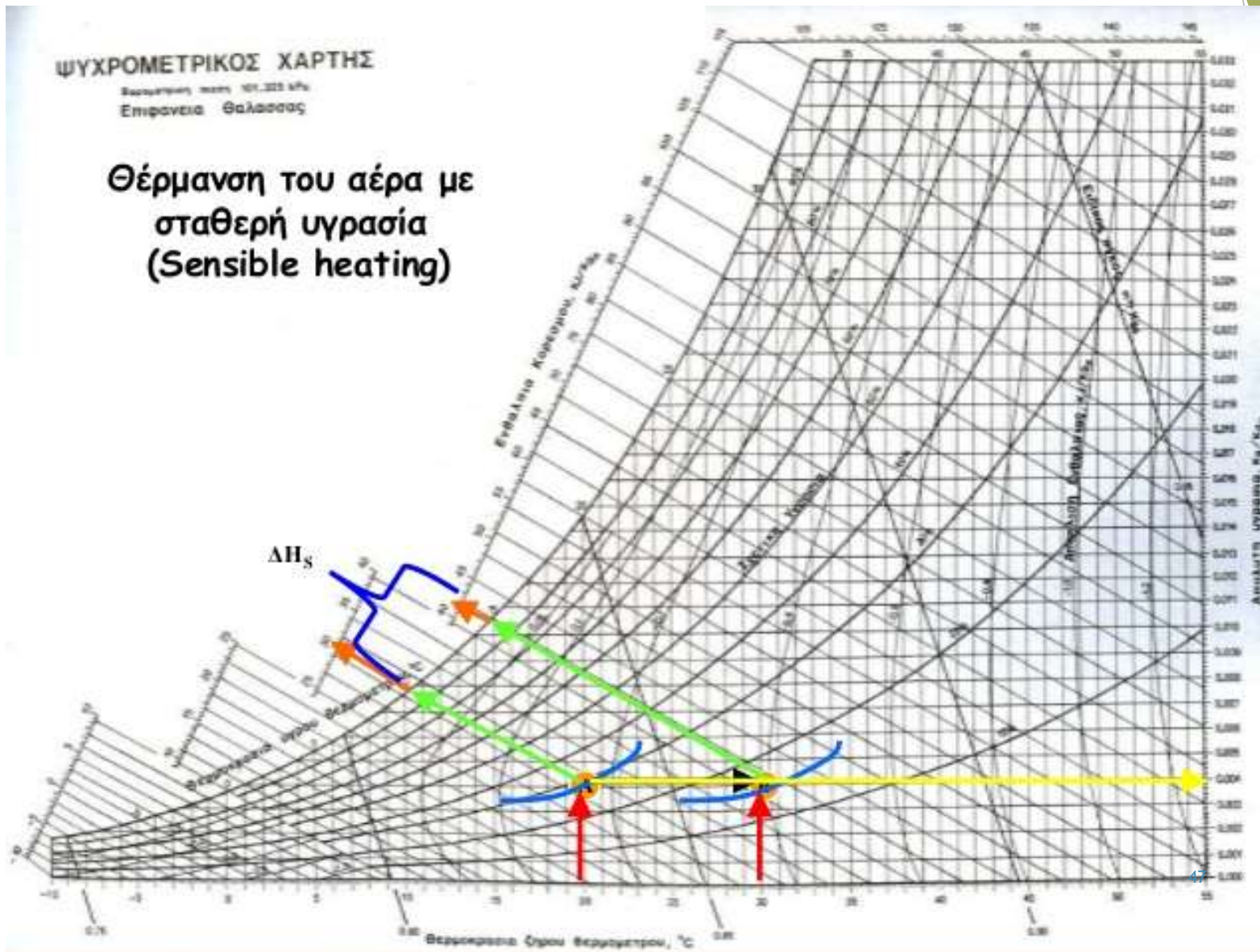
$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{u}$$

όπου  $\dot{m}$  η παροχή μάζας (σε kg/sec),  $\dot{V}$  η παροχή όγκου (σε m<sup>3</sup>/sec) και  $u$  ο ειδικός όγκος του υγρού ατμοσφαιρικού αέρα (m<sup>3</sup>/kg).

# ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Βαρομετρική πίεση 101.325 kPa  
Επιφανειακή Θάλασσας

Θέρμανση του αέρα με  
σταθερή υγρασία  
(Sensible heating)



## Άσκηση 2

Να υπολογιστεί η θερμική ισχύς που πρέπει να δοθεί σε ρεύμα κορεσμένου αέρα για να θερμανθεί μέχρι θερμοκρασίας  $32^{\circ}\text{C}$ , χωρίς μεταβολή της ειδικής υγρασίας. Δίνεται η θερμοκρασία του αέρα  $10^{\circ}\text{C}$  στην είσοδο της θερμαντικής συσκευής και η παροχή μάζας αέρα  $36\text{kg/h}$ .



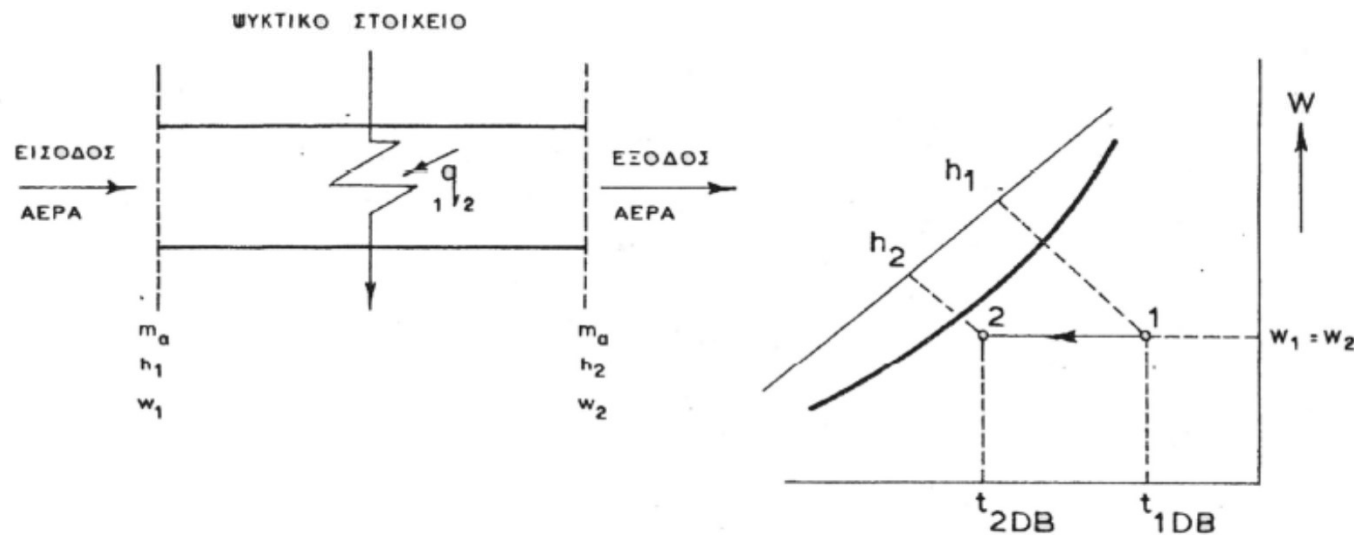
## 2. Ψύξη του αέρα χωρίς αφύγρανση

- Η ψύξη χωρίς αφύγρανση μπορεί να θεωρηθεί ως η αντίθετη μεταβολή της αισθητής θέρμανσης.
- Η μεταβολή παριστάνεται στον ψυχομετρικό χάρτη από οριζόντιο ευθύγραμμο τμήμα αντίθετης φοράς από την περίπτωση της θέρμανσης.
- Καθώς δεν υπάρχει αφύγρανση, δηλαδή κορεσμός του αέρα, το ευθύγραμμο τμήμα δεν συναντά την καμπύλη κορεσμού στο χάρτη.

## 2. Ψύξη του αέρα χωρίς αφύγρανση

- Κατά τη μεταβολή αυτή ισχύουν οι προηγούμενες σχέσεις:

$$W_1 = W_2 \text{ και } q_{12} = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) < 0$$



## Άσκηση 3

Ρεύμα αέρα  $4,72\text{m}^3/\text{sec}$  εισάγεται σε ψυκτική συσκευή και ψύχεται χωρίς αφύγρανση. Να υπολογιστεί η αποβαλλόμενη θερμική ισχύς από τον αέρα. Δίνονται οι θερμοκρασίες αέρα στην είσοδο της συσκευής  $T_{\text{db}1}=20,5^\circ\text{C}$  και  $T_{\text{wb}1}=12,8^\circ\text{C}$ . Στην έξοδο της συσκευής δίνεται η θερμοκρασία  $T_{\text{wb}2}=10^\circ\text{C}$ .

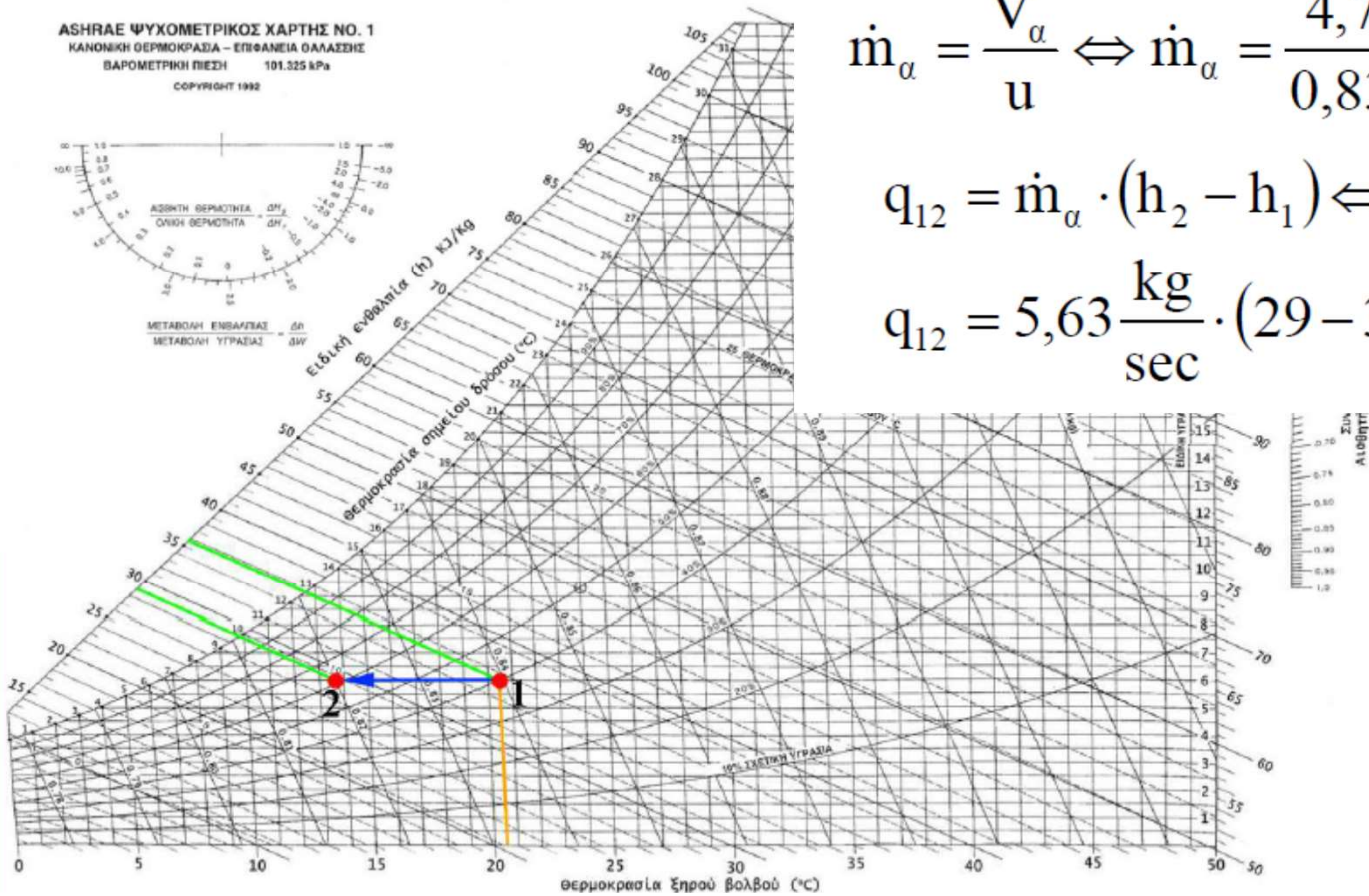
• Από το χάρτη βρίσκουμε:

- Ειδική ενθαλπία κατάστασης 1:  $h_1=35,8\text{KJ/kg}$
- Ειδικός όγκος αέρα κατάστασης 1:  $u_1=0,839\text{m}^3/\text{kg}$
- Ειδική ενθαλπία κατάστασης 2:  $h_2=29\text{KJ/kg}$

$$\dot{m}_\alpha = \frac{\dot{V}_\alpha}{u} \Leftrightarrow \dot{m}_\alpha = \frac{4,72 \text{ m}^3/\text{sec}}{0,839 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_\alpha = 5,63\text{kg}/\text{sec}$$

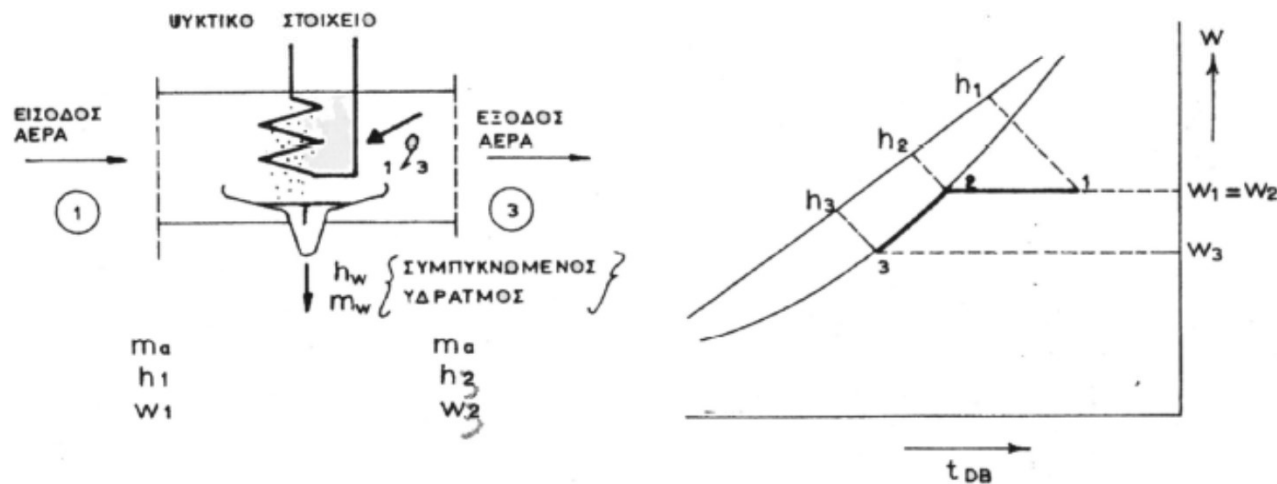
$$q_{12} = \dot{m}_\alpha \cdot (h_2 - h_1) \Leftrightarrow$$

$$q_{12} = 5,63 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \cdot (29 - 35,8) \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \Leftrightarrow q_{12} = -38,284\text{kW}$$



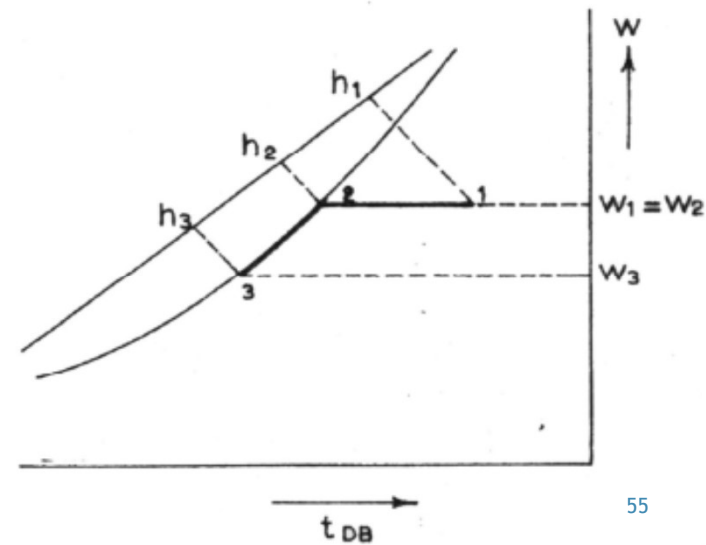
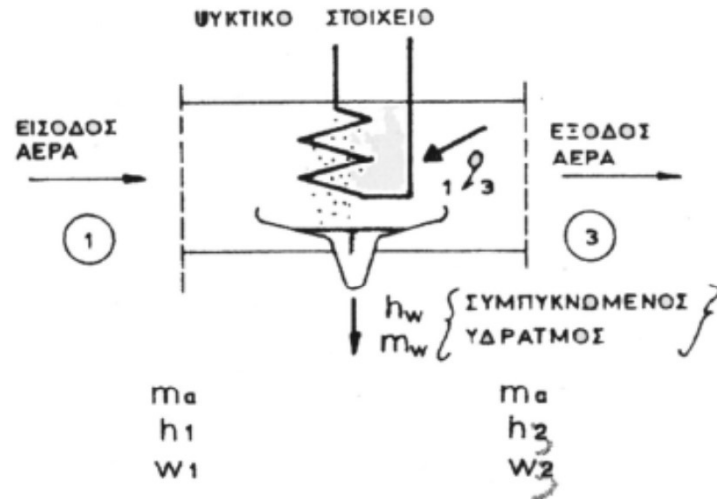
## 3. Ψύξη του αέρα με αφύγρανση (1/2)

- Κατά τη μεταβολή αυτή ο ψυχόμενος αέρας φθάνει μέχρι την καμπύλη κορεσμού, όπου μέρος του υδρατμού που υπάρχει στον αέρα υγροποιείται.
- Η μεταβολή παριστάνεται στον ψυχομετρικό χάρτη από το οριζόντιο ευθύγραμμο τμήμα 1-2 και από το τμήμα 2-3 πάνω στην καμπύλη κορεσμού.



## 3. Ψύξη του αέρα με αφύγρανση (2/2)

- Κατά τη μεταβολή 1-2 δεν αποβάλλεται νερό, οπότε  $W_1 = W_2$ .
- Ο υδρατμός υγροποιείται κατά τη μεταβολή 2-3 κατά την οποία η ειδική υγρασία μειώνεται, δηλαδή  $w_3 < w_1$ .



### 3. Ψύξη του αέρα με αφύγρανση

- Ισχύουν οι σχέσεις:  
Ισολογισμός μάζας νερού:

$$\dot{m}_\alpha \cdot w_1 = \dot{m}_\alpha \cdot w_3 + \dot{m}_w \Leftrightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_\alpha \cdot (w_1 - w_3)$$

Ισολογισμός ισχύος:

$$\dot{m}_\alpha \cdot h_1 = \dot{m}_\alpha \cdot h_3 + \dot{m}_w \cdot h_w + q_{13} \Leftrightarrow$$

$$q_{13} = \dot{m}_\alpha \cdot [(h_1 - h_3) - h_w \cdot (w_1 - w_3)]$$

όπου  $\dot{m}_w$  η παροχή μάζας των συμπυκνωμένων υδρατμών και  $h_w$  η ειδική ενθαλπία τους.

Κατά προσέγγιση:  $h_w = (T_w - 32^\circ\text{F}) \cdot 2,3244 \text{kJoule/kg}$   
όπου  $T_w$  η θερμοκρασία των συμπυκνωμάτων σε  $^\circ\text{F}$ ,  
η οποία συνήθως λαμβάνεται ίση με τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα μετά την ψύξη.

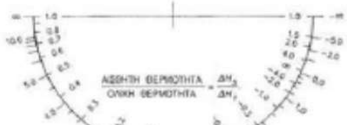
## Άσκηση 4

Ρεύμα υγρού αέρα  $4,72\text{m}^3/\text{sec}$ , θερμοκρασίας  $T_{\text{db}1}=26,7^\circ\text{C}$  και σχετικής υγρασίας 60% ψύχεται, μέχρι να προκύψει κορεσμένος αέρας με θερμοκρασία  $T_{\text{db}2}=10^\circ\text{C}$ . Να βρεθεί η αποβαλλόμενη θερμική ισχύς από τον αέρα στη συσκευή.

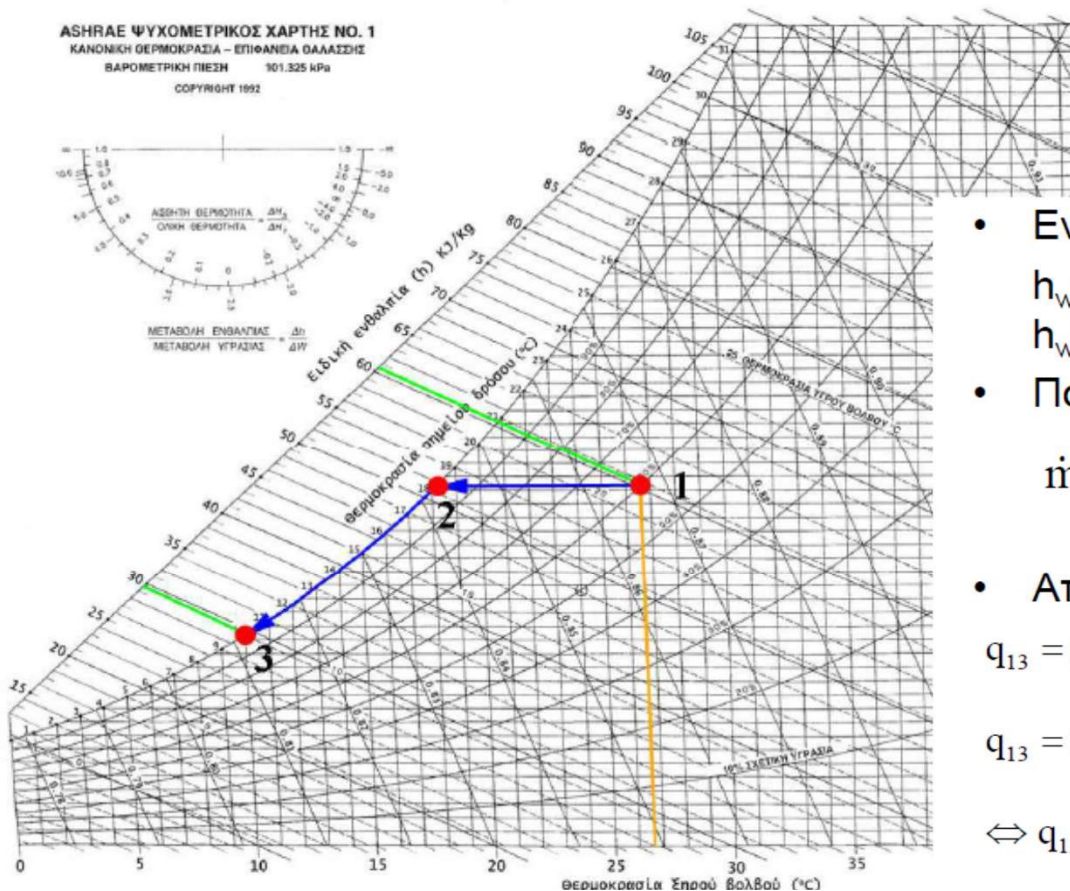
$$^{\circ}C = (^{\circ}F - 32) \cdot \frac{5}{9}$$

$$^{\circ}F = ^{\circ}C \cdot \frac{9}{5} + 32$$

ΑΣΗΡΑΕ ΨΥΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1  
ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ  
ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ 101.325 kPa  
COPYRIGHT 1992



ΜΕΤΑΒΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑ  $\frac{\Delta h}{\Delta w}$   
ΜΕΤΑΒΛΗ ΥΓΡΑΣΙΑ



- Από το χάρτη βρίσκουμε:
  - Ειδική ενθαλπία κατάστασης 1:  $h_1=60,5\text{KJ/kg}$
  - Ειδικός όγκος αέρα κατάστασης 1:  $u_1=0,868\text{m}^3/\text{kg}$
  - Ειδική υγρασία κατάστασης 1:  $w_1=13,3\text{gr υδ./kg ξ.α.}$
  - Ειδική ενθαλπία κατάστασης 3:  $h_3=29,7\text{KJ/kg}$
  - Ειδική υγρασία κατάστασης 3:  $w_3=7,8\text{gr υδ./kg ξ.α.}$
  - Θερμοκρασία υδρατμών:  $T_w=T_{db3}= 10^{\circ}\text{C}= 50^{\circ}\text{F.}$

- Ενθαλπία υδρατμών:

$$h_w=(T_w-32^{\circ}\text{F}) \cdot 2,3244\text{kJoule/kg} \Leftrightarrow$$

$$h_w=(50-32^{\circ}\text{F}) \cdot 2,3244\text{kJoule/kg} \Leftrightarrow h_w=41,84\text{kJoule/kg}$$

- Παροχή μάζας αέρα:

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_a}{u} \Leftrightarrow \dot{m}_a = \frac{4,72 \text{ m}^3/\text{sec}}{0,868 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_a = 5,44\text{kg/sec}$$

- Αποβαλλόμενη θερμική ισχύς:

$$q_{13} = \dot{m}_a \cdot [(h_1 - h_3) - h_w \cdot (w_1 - w_3)] \Leftrightarrow$$

$$q_{13} = 5,44 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \cdot \left[ (60,5 - 29,7) \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} - 41,84 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \cdot (0,0133 - 0,0078) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

$$\Leftrightarrow q_{13} = 166,30\text{kW}$$

## 4. Αδιαβατική ανάμιξη 2 ρευμάτων υγρού αέρα

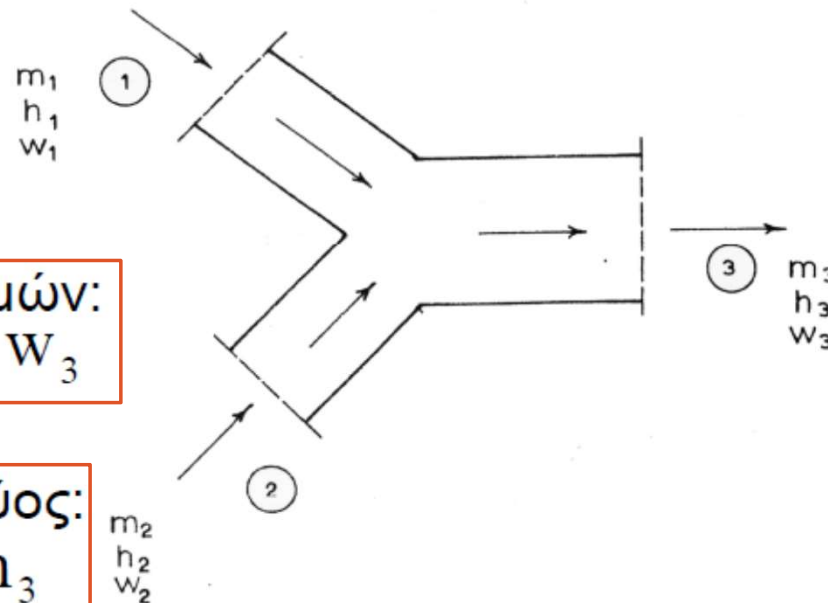
α. Κατά τη μεταβολή αυτή δύο αρχικά ανεξάρτητα ρεύματα αέρα (1) και (2) αναμιγνύονται αδιαβατικά (δεν υπάρχει μεταφορά θερμότητας) για να προκύψει τελικά ένα νέο ρεύμα (3).

β. Ισχύουν οι σχέσεις:

– Ισολογισμός μάζας:  
 $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$

– Ισολογισμός μάζας υδατμών:  
 $\dot{m}_1 \cdot w_1 + \dot{m}_2 \cdot w_2 = \dot{m}_3 \cdot w_3$

– Ισολογισμός θερμικής ισχύος:  
 $\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{m}_3 \cdot h_3$

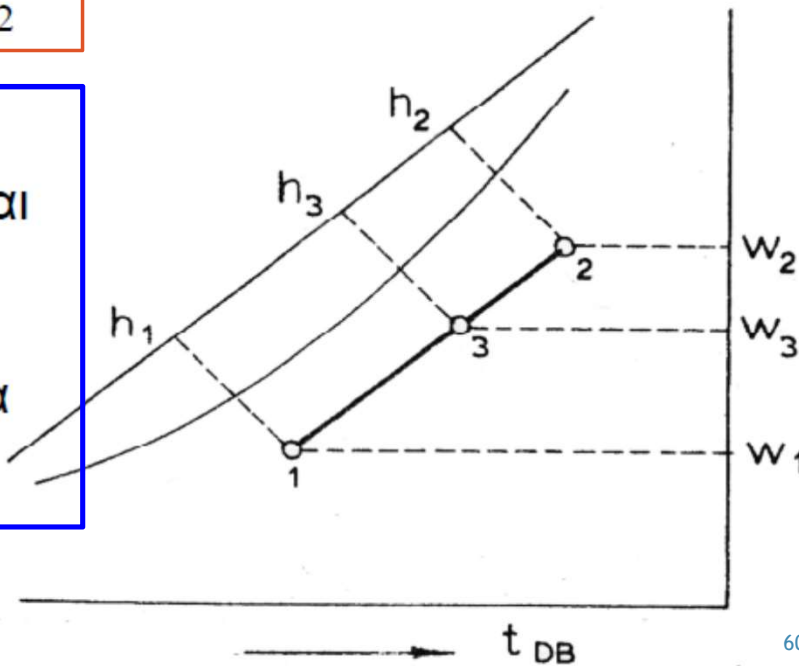


## 4. Αδιαβατική ανάμιξη 2 ρευμάτων υγρού αέρα

– Από τις ανωτέρω σχέσεις προκύπτει:

$$\frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}$$

– Από την ανωτέρω σχέση συνεπάγεται (αποδεικνύεται γεωμετρικά), ότι τα σημεία 1, 2 και 3 βρίσκονται στην ίδια ευθεία του ψυχομετρικού χάρτη.

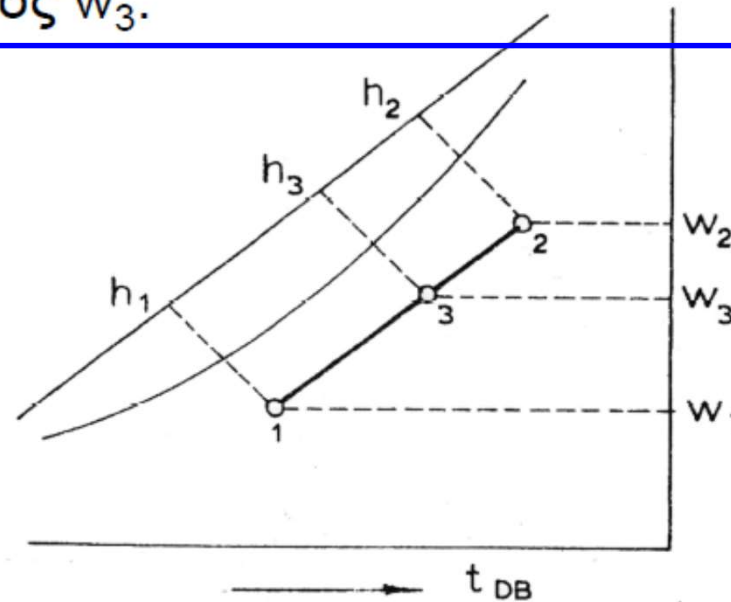


## 4. Αδιαβατική ανάμιξη 2 ρευμάτων υγρού αέρα

- Το σημείο 3 βρίσκεται μεταξύ των σημείων 1 και 2, πλησιέστερα στο σημείο του μεγαλύτερου ρεύματος αέρα.

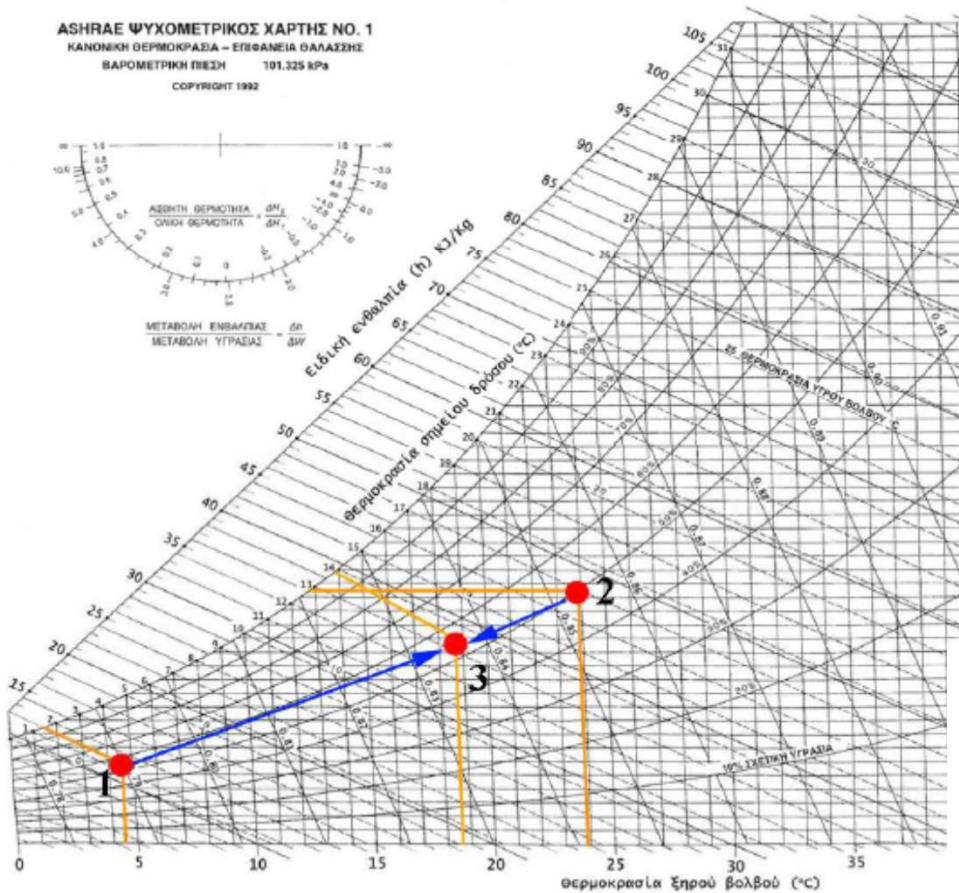
- Η θέση του σημείου 3 μπορεί να βρεθεί υπολογιστικά αν από τις προηγούμενες σχέσεις υπολογιστεί η ενθαλπία  $h_3$  ή η ειδική υγρασία του μίγματος  $w_3$ .

- Η θέση του σημείου 3 εντοπίζεται γραφικά, κατά αναλογία με τις παροχές των ρευμάτων.



## Άσκηση 5

Ρεύμα αέρα  $1,89\text{m}^3/\text{sec}$ , θερμοκρασίας ξηρού βολβού  $T_{db1}=4,5^\circ\text{C}$  και θερμοκρασίας υγρού βολβού  $T_{wb1}=1,5^\circ\text{C}$  αναμιγνύεται αδιαβατικά με ρεύμα αέρα  $5,67\text{m}^3/\text{sec}$ , θερμοκρασίας ξηρού βολβού  $T_{db2}=23,9^\circ\text{C}$  και θερμοκρασίας σημείου δρόσου  $T_{dp2}=12,8^\circ\text{C}$ . Να βρεθούν οι θερμοκρασίες υγρού και ξηρού βολβού του μίγματος που θα προκύψει.



- Από το χάρτη βρίσκουμε:

- Ειδικός όγκος ρεύματος 1:  $u_1 = 0,789 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Ειδικός όγκος ρεύματος 2:  $u_2 = 0,854 \text{ m}^3/\text{kg}$

- Παροχή μάζας ρεύματος 1:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{V}_1}{u_1} \Leftrightarrow \dot{m}_1 = \frac{1,89 \text{ m}^3/\text{sec}}{0,789 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_1 = 2,40 \text{ kg/sec}$$

- Παροχή μάζας ρεύματος 2:

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{V}_2}{u_2} \Leftrightarrow \dot{m}_2 = \frac{5,67 \text{ m}^3/\text{sec}}{0,854 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_2 = 6,64 \text{ kg/sec}$$

- Το σημείο 3 εντοπίζεται πάνω στο χάρτη στο ευθύγραμμο τμήμα 1-2 αναλογικά με τις παροχές μάζας. Ο λόγος των παροχών μάζας είναι:

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{1}{3}$$

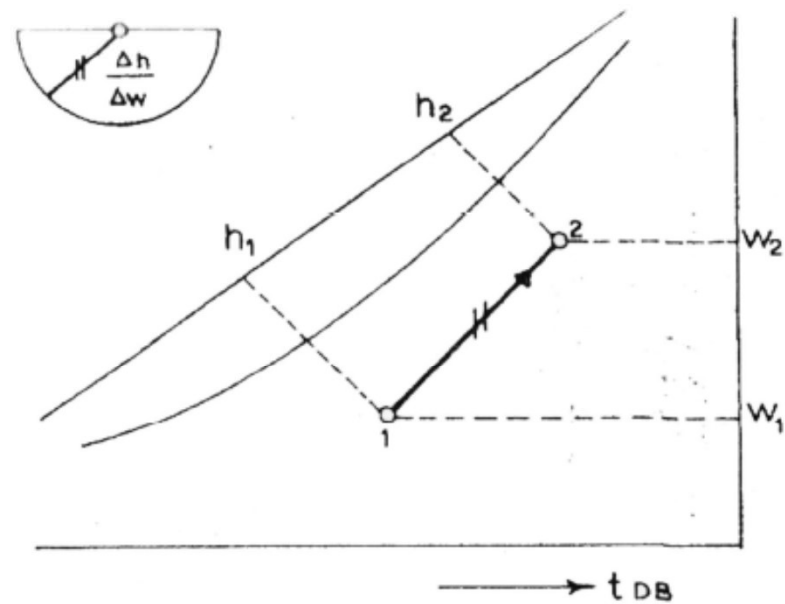
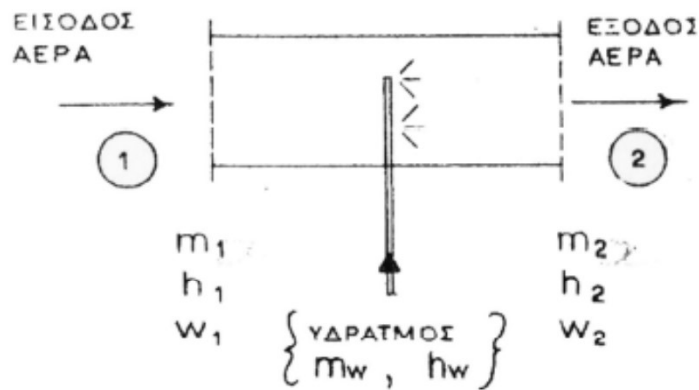
- Τελικά από το χάρτη προκύπτει:

$$T_{db_3} = 18,9^\circ\text{C}$$

$$T_{wb_3} = 13,8^\circ\text{C}$$

## 5. Αδιαβατική ύγρανση ρεύματος αέρα

- Κατά τη μεταβολή αυτή νερό ή υδρατμός διασκορπίζεται σε ρεύμα αέρα, το οποίο υγραίνεται αδιαβατικά (χωρίς τη συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον).



## 5. Αδιαβατική ύγρανση ρεύματος αέρα

- Αν  $\dot{m}_w$  και  $h_w$  είναι η παροχή μάζας και η ειδική ενθαλπία του εγχυόμενου νερού στο ρεύμα, τότε ισχύουν οι εξισώσεις:

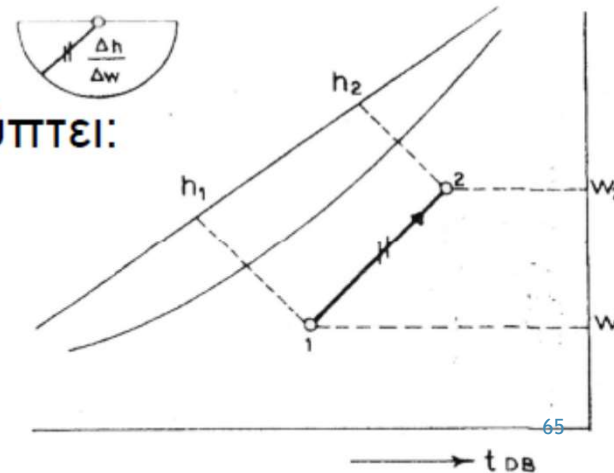
– Ισολογισμός μάζας:  $\dot{m}_a \cdot w_1 + \dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot w_2$

- Ισολογισμός θερμικής ισχύος:

$$\dot{m}_a \cdot h_1 + \dot{m}_w \cdot h_w = \dot{m}_a \cdot h_2$$

- Από τις ανωτέρω σχέσεις προκύπτει:

$$h_w = \frac{h_1 - h_2}{w_1 - w_2} \Leftrightarrow h_w = \frac{\Delta h}{\Delta w}$$



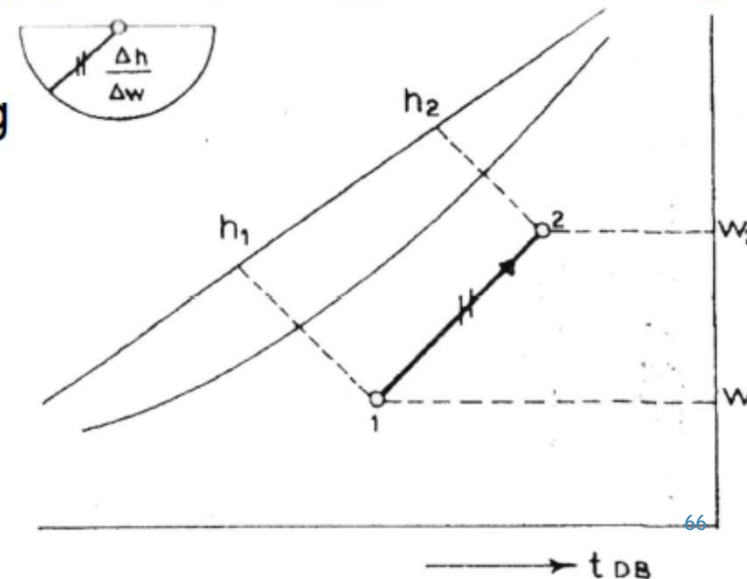
## 5. Αδιαβατική ύγρανση ρεύματος αέρα

- Από την τελευταία σχέση φαίνεται ότι η κλίση της καταστατικής ευθείας 1-2 του αέρα στον ψυχομετρικό χάρτη εξαρτάται από την ενθαλπία  $h_w$  του νερού ή του υδρατμού που εγχύεται στο ρεύμα του αέρα.
- Η ενθαλπία  $h_w$  για νερό υπολογίζεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$h_w = (T_w - 32^\circ\text{F}) \cdot 2,3244 \text{kJoule/kg}$$

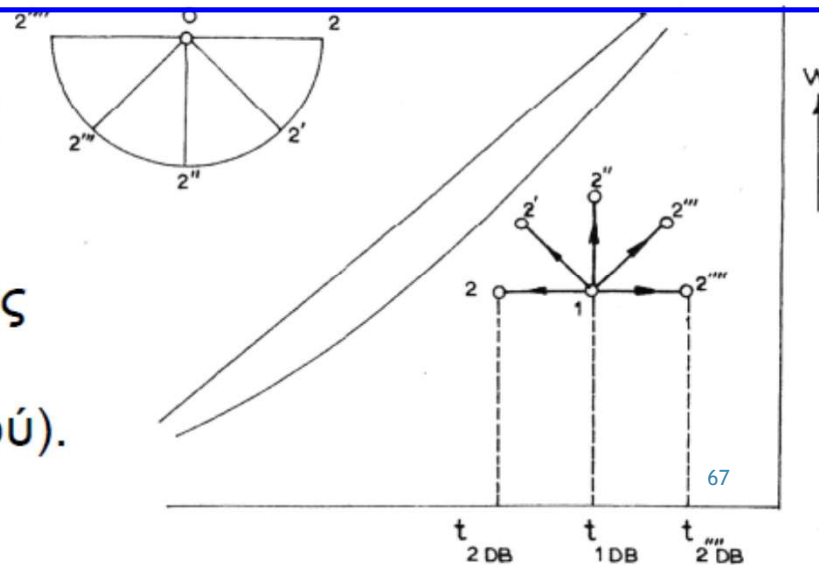
όπου  $T_w$  η θερμοκρασία του νερού σε  $^\circ\text{F}$ .

Στην περίπτωση υδρατμών, η ενθαλπία  $h_w$  λαμβάνεται από πίνακες ή διαγράμματα.



## 5. Αδιαβατική ύγρανση ρεύματος αέρα

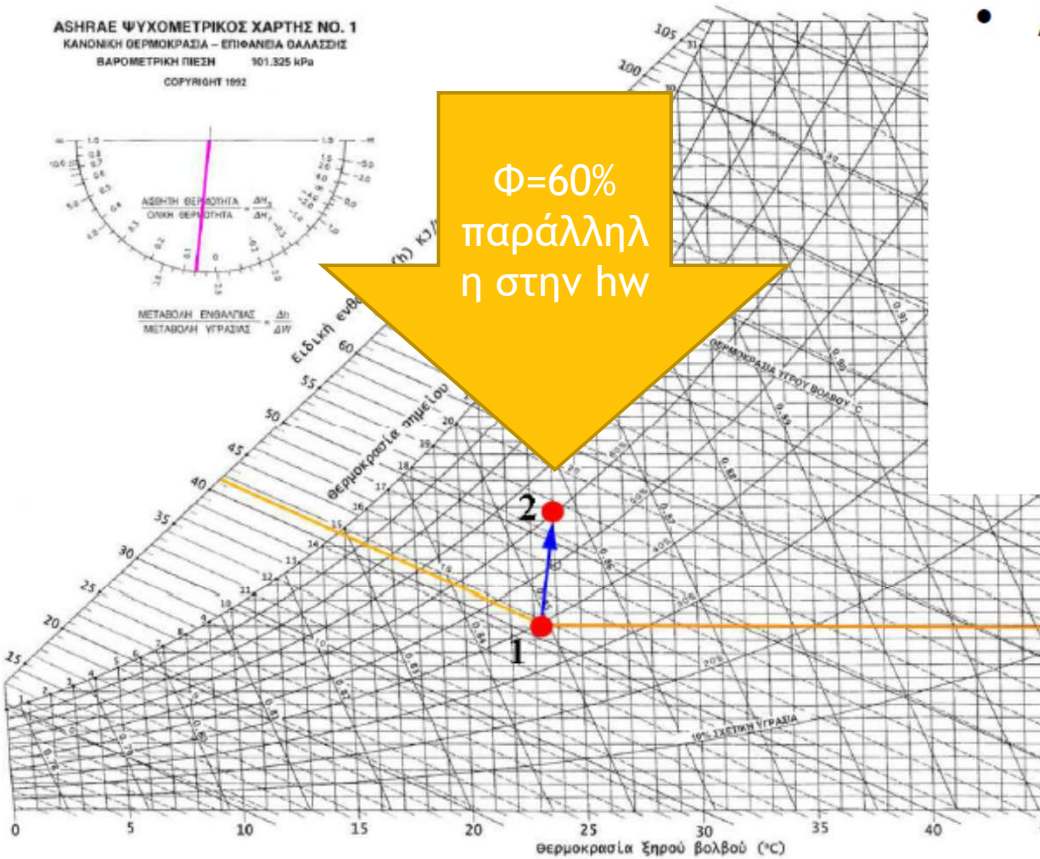
- Το ημικύκλιο στο άνω αριστερό μέρος του ψυχομετρικού χάρτη δίνει και την κλίση  $\Delta h/\Delta w$ .
- Στην περίπτωση της αδιαβατικής ύγρανσης, η καταστατική ευθεία 1-2 θα είναι παράλληλη με την ευθεία στο ημικύκλιο του χάρτη που έχει τιμή  $h_w = \Delta h/\Delta w$ .
- Συναρτήσει της τιμής  $h_w$ , με την αδιαβατική ύγρανση είναι δυνατή η ψύξη ή η θέρμανση του αέρα (μεταβολές προς μικρότερες ή μεγαλύτερες αντίστοιχα θερμοκρασίες ξηρού βολβού).



## Άσκηση 6

Υγρός αέρας ειδικής υγρασίας  $w_1=7\text{gr υδρατμών / kg ξηρού αέρα}$  και ειδικής ενθαλπίας  $h_1=41,4\text{kJoule/kg}$  υγραίνεται με υδρατμό θερμοκρασίας  $T_w=132^\circ\text{C}$  και ειδικής ενθαλπίας  $h_w=2.690\text{kJoule/kg}$  μέχρι να προκύψει αέρας σχετικής υγρασίας  $\phi=60\%$ . Να βρεθούν οι θερμοκρασίες υγρού και ξηρού βολβού του αέρα στην έξοδο της συσκευής και η παροχή ατμού αν στην είσοδο της συσκευής η παροχή αέρα είναι  $1,20\text{m}^3/\text{sec}$ .

ASHRAE ΨΥΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1  
ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ  
ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ 101.325 kPa  
COPYRIGHT 1992



• Από το χάρτη βρίσκουμε:

- Ειδικός όγκος στην κατάσταση 1:  $u_1=0,845\text{m}^3/\text{kg}$
- Θερμοκρασία ξηρού βολβού στην κατάσταση 2:  $T_{db2}=24^\circ\text{C}$
- Θερμοκρασία υγρού βολβού στην κατάσταση 2:  $T_{wb2}=18,7^\circ\text{C}$
- Ειδική υγρασία στην κατάσταση 2:  $w_2=11,4\text{ gr υδρ. /kg ξ.α.}$

- Παροχή μάζας υδρατμού:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot (w_2 - w_1) \Leftrightarrow \dot{m}_w = \frac{\dot{V}_a}{u_1} \cdot (w_2 - w_1) \Leftrightarrow$$

$$\dot{m}_w = \frac{1,20 \text{ m}^3/\text{sec}}{0,845 \text{ m}^3/\text{kg}} \cdot (0,0114 - 0,007) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \Leftrightarrow$$

$$\dot{m}_w = 0,0062 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \Leftrightarrow \dot{m}_w = 6,2 \frac{\text{gr}}{\text{sec}}$$



## 6. Ψύξη αέρα με αφύγρανση που καταλήγει σε μη κορεσμένο αέρα (2/3)

- Σε σχέση με την ψύξη που οδηγεί σε κορεσμένο αέρα (μεταβολή 1-2-3) στην πράξη η πραγματική κατάσταση θα είναι ένα σημείο (4) πάνω στην καταστατική ευθεία 1-3, το οποίο θα προκύπτει με βάση την ανάμιξη ρευμάτων αέρα (1) και (3).
- Το σημείο (3) ονομάζεται σημείο δρόσου της συσκευής και η αντίστοιχη θερμοκρασία συμβολίζεται με  $T_{adp}$ . Επιδιώκεται πάντα να είναι  $T_{adp} > 0^{\circ}\text{C}$  για να αποφεύγεται ο σχηματισμός πάγου πάνω στα ψυκτικά στοιχεία της μηχανής.

## 6. Ψύξη αέρα με αφύγρανση που καταλήγει σε μη κορεσμένο αέρα (3/3)

- Ονομάζεται συντελεστής παράκαμψης της συσκευής (by pass factor) ο λόγος των μαζών του αέρα:

$$B.F. = \frac{\text{συνολική μάζα αέρα που παρακάμπτει τη συσκευή}}{\text{συνολική μάζα αέρα που περνάει από τη συσκευή}}$$

$$\Leftrightarrow B.F. = \frac{\dot{m}_{\alpha 1}}{\dot{m}_{\alpha 1} + \dot{m}_{\alpha 3}} \Leftrightarrow B.F. = \frac{h_4 - h_3}{h_1 - h_3} = \frac{w_4 - w_3}{w_1 - w_3}$$

Όπως φαίνεται από τον ορισμό, ο συντελεστής παράκαμψης αέρα προσδιορίζει το ποσοστό του αέρα που παρακάμπτει άψυκτο τη συσκευή.

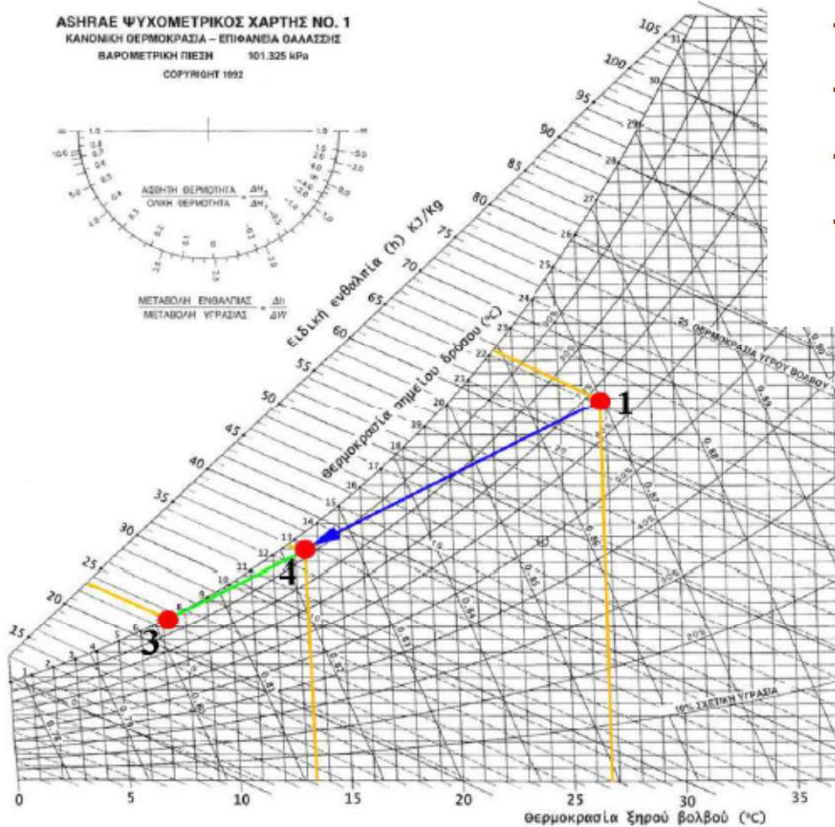
## Άσκηση 7

Σε ψυκτική συσκευή εισέρχονται  $0,20\text{m}^3/\text{sec}$  αέρα θερμοκρασίας ξηρού βολβού  $T_{\text{db}1}=26,7^\circ\text{C}$  και υγρού βολβού  $T_{\text{wb}1}=22,1^\circ\text{C}$  και εξέρχονται σε θερμοκρασία ξηρού βολβού  $T_{\text{db}4}=13,3^\circ\text{C}$  και υγρού βολβού  $T_{\text{wb}4}=12,8^\circ\text{C}$ .

Να βρεθεί το σημείο δρόσου της συσκευής, η απορροφούμενη θερμική ισχύς από τον αέρα, το αποβαλλόμενο ποσό νερού καθώς και ο συντελεστής παράκαμψης της συσκευής.

- Από το χάρτη βρίσκουμε:

- Ειδικός όγκος στην κατάσταση 1:  $u_1=0,869\text{m}^3/\text{kg}$
- Ειδική ενθαλπία στην κατάσταση 1:  $h_1=65,3\text{kJoule/kg}$
- Ειδική υγρασία στην κατάσταση 1:  $w_1=14,9 \text{ gr υδρ. /kg ξ.α.}$
- Ειδική ενθαλπία στην κατάσταση 4:  $h_4=35,8\text{kJoule/kg}$
- Ειδική υγρασία στην κατάσταση 4:  $w_4=9,0 \text{ gr υδρ. /kg ξ.α.}$
- Με προέκταση της ευθείας 1-4 έως την καμπύλη κορεσμού βρίσκουμε το σημείο 3:  $T_{\text{adp}}=7,22^\circ\text{C}$ .



- Παροχή μάζας εισερχόμενου αέρα:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{V}_1}{u_1} \Leftrightarrow \dot{m}_1 = \frac{0,20 \text{ m}^3/\text{sec}}{0,869 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_1 = 0,23\text{kg}/\text{sec}$$

- Αποβαλλόμενη θερμική ισχύς:

$$q_{14} = \dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_4) \Leftrightarrow q_{14} = 0,23 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \cdot (65,3 - 35,8) \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \Leftrightarrow$$

$$q_{14} = 6,785\text{kW}$$

- Αποβαλλόμενο ποσό νερού:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_1 \cdot (w_1 - w_4) \Leftrightarrow \dot{m}_w = 0,23 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \cdot (0,0149 - 0,009) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \Leftrightarrow$$

$$\dot{m}_w = 0,001357 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \Leftrightarrow \dot{m}_w = 1,357 \frac{\text{gr}}{\text{sec}}$$

- Συντελεστής B.F: Συντελεστής παράκαμψης

$$\text{B.F} = \frac{h_4 - h_3}{h_1 - h_3} \Leftrightarrow \text{B.F} = \frac{35,8 - 23,1}{65,3 - 23,1} \Leftrightarrow$$

$$\text{B.F} = 30,10\%$$

## Γενική περίπτωση θερινού κλιματισμού (1/3)

- Έστω  $q_a$  η αισθητή θερμική ισχύς σε ένα χώρο και  $q_l = \sum \dot{m}_w h_w$  η λανθάνουσα θερμική ισχύς που οφείλεται σε κάθε είδους εξατμίσεις νερού.
- Το συνολικό θερμικό φορτίο του χώρου αποτελείται από το άθροισμα αισθητής και λανθάνουσας θερμικής ισχύος και απορροφάται από τον κλιματιζόμενο αέρα, παραγόμενος από μία κλιματιστική συσκευή, που εισέρχεται στο χώρο σε κατάσταση 1 και εξέρχεται σε κατάσταση 2.
- Η κατάσταση 2 εξαγωγής είναι η ίδια με την κατάσταση του αέρα του χώρου.

## Γενική περίπτωση θερινού κλιματισμού (2/3)

- Ισχύουν οι σχέσεις:

- Ισολογισμός ισχύος:

$$\dot{m}_a h_1 + q_a + \sum (\dot{m}_w \cdot h_w) = \dot{m}_a h_2 \Leftrightarrow$$

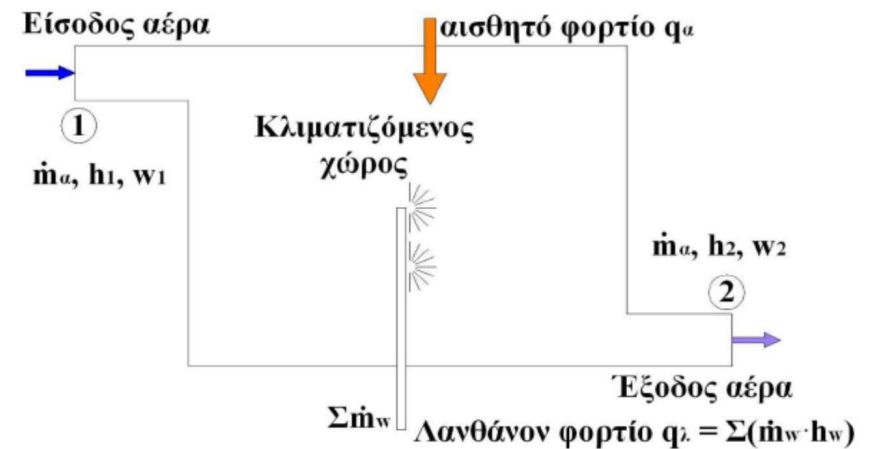
$$\dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) = q_a + \sum (\dot{m}_w \cdot h_w) = q_a + q_\lambda$$

- Ισολογισμός μάζας υδρατμών:

$$\dot{m}_a w_1 + \sum \dot{m}_w = \dot{m}_a w_2 \Leftrightarrow \sum \dot{m}_w = \dot{m}_a (w_2 - w_1)$$

- Διαιρώντας τις ανωτέρω σχέσεις κατά μέλη:

$$\frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1} = \frac{q_a + \sum (\dot{m}_w \cdot h_w)}{\sum \dot{m}_w} = \frac{\Delta h}{\Delta w}$$



Σχήμα 4.19: Σκαρίφημα ροής θερμικής ισχύος κατά το θερινό κλιματισμό χώρου.

## Γενική περίπτωση θερινού κλιματισμού (3/3)

- Με βάση την τελευταία σχέση, από το ημικόκλιο του ψυχομετρικού χάρτη μπορεί να υπολογιστεί η κλίση της καταστατικής ευθείας  $\Delta h/\Delta w$  αν είναι γνωστός ο αντίστοιχος όρος:

$$\frac{q_\alpha + \sum (\dot{m}_w \cdot h_w)}{\sum \dot{m}_w}$$

- Συνήθως είναι γνωστά τα αισθητά και λανθάνοντα φορτία ενός χώρου. Συνεπώς, είναι πιο βολικό να υπολογιστεί η κλίση της καταστατικής ευθείας από τον παράγοντα αισθητής θερμότητας SHF, που επίσης δίνεται από το ίδιο ημικόκλιο:

$$SHF = \frac{q_\alpha}{q_{\text{συν}}} = \frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_1}$$

## Άσκηση 8

Σε κλιματιζόμενο χώρο το αισθητό φορτίο είναι 11,72kW και το λανθάνον φορτίο, που οφείλεται σε εξάτμιση υδρατμού 0,001kg/sec, είναι ίσο με 2,58kW. Η θερμοκρασία ξηρού βολβού του εισερχόμενου αέρα ισούται με  $T_{db1}=16,7^{\circ}\text{C}$  ενώ οι θερμοκρασίες ξηρού και υγρού βολβού στην έξοδο του αέρα ισούνται με  $T_{db2}=27,8^{\circ}\text{C}$  και  $T_{wb2}=19,4^{\circ}\text{C}$ .

Να υπολογιστεί η παροχή μάζας και όγκου του εισερχόμενου στο χώρο κλιματιζόμενου αέρα καθώς και η θερμοκρασία υγρού βολβού αυτού.

- Με βάση τα δεδομένα έχουμε:

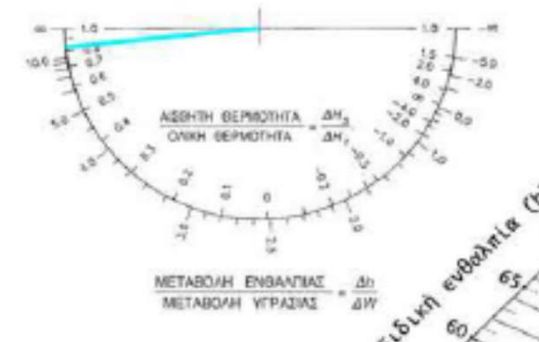
$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = \frac{q_a + \sum (\dot{m}_w \cdot h_w)}{\sum \dot{m}_w} \Leftrightarrow \frac{\Delta h}{\Delta w} = \frac{11,72 + 2,58 \text{ kJoule/sec}}{0,001 \text{ kg/sec}} \Leftrightarrow$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = 14.300 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$$

$$\text{SHF} = \frac{q_a}{q_{\text{συν}}} = \frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_1} \Leftrightarrow \text{SHF} = \frac{11,72}{14,3} \Leftrightarrow \text{SHF} = 0,82$$

Με οποιοδήποτε από τους δύο λόγους χαράζουμε την κλίση της καταστατικής ευθείας στο ημικύκλιο του χάρτη.

ASHRAE ΨΥΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ NO. 1  
ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΣ  
ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ 101.325 kPa  
COPYRIGHT 1992





- Στο χάρτη μεταφέρουμε την καταστατική ευθεία στο σημείο 2 και την προεκτείνουμε ως το σημείο 1.

Τελικά βρίσκουμε:

- Θερμοκρασία υγρού βολβού κατάστασης 1:  $T_{wb1}=15^{\circ}\text{C}$ .
  - Ειδικός όγκος αέρα κατάστασης 1:  $u_1=0,834\text{m}^3/\text{kg}$
  - Ειδική ενθαλπία αέρα κατάστασης 1:  $h_1=42\text{kJoule}/\text{kg}$
  - Ειδική ενθαλπία αέρα κατάστασης 2:  $h_2=55,8\text{kJoule}/\text{kg}$
- Παροχή μάζας αέρα:

$$\dot{m}_\alpha = \frac{Q_\alpha + Q_\lambda}{h_2 - h_1} \Leftrightarrow \dot{m}_\alpha = \frac{11,72 + 2,58 \text{ kJoule}/\text{sec}}{55,8 - 42 \text{ kJoule}/\text{kg}} \Leftrightarrow$$

$$\dot{m}_\alpha = 1,036\text{kg}/\text{sec}$$

- Παροχή όγκου αέρα:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{V}_1}{u_1} \Leftrightarrow \dot{V}_1 = \dot{m}_1 \cdot u_1 \Leftrightarrow$$

$$\dot{V}_1 = 1,036\text{kg/sec} \cdot 0,834\text{m}^3/\text{kg} \Leftrightarrow \dot{V}_1 = 0,864\text{m}^3/\text{sec}$$

## Γενική περίπτωση χειμερινού κλιματισμού (1/2)

Στην περίπτωση του χειμερινού κλιματισμού, θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο χάνεται με τη μορφή απωλειών προς το περιβάλλον (μέσω των αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων, λόγω αερισμού, απωλειών χαραμάδων κλπ). Η θερμότητα αυτή θα πρέπει να αντισταθμιστεί από θερμό αέρα, που εισάγεται μέσα στο χώρο με αντίστοιχη εξαγωγή κρύου αέρα.

Στην περίπτωση του χειμερινού κλιματισμού συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη φορτία λόγω λανθάνουσας θερμότητας, ακόμα και αν παράγονται υδρατμοί εντός του χώρου. Επειδή ο θερμός αέρας που εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο από την κλιματιστική συσκευή είναι συνήθως ξηρότερος των απαιτήσεων του χώρου σε υγρασία, απαιτείται ύγρανση του αέρα αυτού. Τούτο επιτυγχάνεται με τον ψεκασμό του εισερχόμενου αέρα με υδρατμούς από έναν υγραντήρα που βρίσκεται ενσωματωμένος στην κλιματιστική συσκευή. Οι τυχόν υδρατμοί που μπορεί να παράγονται από άλλες πηγές εντός του χώρου συμβάλλουν στον περιορισμό της λειτουργίας του υγραντήρα.

## Γενική περίπτωση χειμερινού κλιματισμού (2/2)

Στα προβλήματα υπολογισμού χειμερινού κλιματισμού συνήθως απαιτείται, μαζί με τον υπολογισμό της απαιτούμενης θερμικής ισχύος της κλιματιστικής συσκευής, και ο υπολογισμός της παροχής υδρατμών με την οποία πρέπει να εμπλουτιστεί ο εισερχόμενος στο χώρο θερμός αέρας, προκειμένου να διατηρηθεί η υγρασία του κλιματιζόμενου χώρου στα επιθυμητά επίπεδα και να αποφευχθεί η ξήρανσή του.

Ο θερμός αέρας εξέρχεται από την κλιματιστική συσκευή και εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο σε κατάσταση 1, ενώ «εξέρχεται» από αυτόν σε κατάσταση 2. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει κάποια εξαγωγή αέρα από το χώρο. Απλώς ο εισερχόμενος θερμός αέρας ψύχεται, λόγω των απωλειών του χώρου (θερμικά φορτία) έτσι, ώστε τελικά να καταλήγει σε μία κατάσταση 2, η οποία βέβαια είναι ίδια με την κατάσταση του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου.

Για την περίπτωση αυτή ισχύουν οι σχέσεις:

- Ισολογισμός ισχύος στον κλιματιζόμενο χώρο:

$$\dot{m}_a h_1 = \dot{m}_a h_2 + q_a \Leftrightarrow \dot{m}_a \cdot (h_1 - h_2) = q_a = q_{\text{συν}}$$

- Ισολογισμός μάζας υδρατμών στην κλιματιστική συσκευή:

$$\dot{m}_a w_1 + \sum \dot{m}_w = \dot{m}_a w_2 \Leftrightarrow \sum \dot{m}_w = \dot{m}_a (w_2 - w_1).$$

## Άσκηση 9

Για το χειμερινό κλιματισμό ενός εσωτερικού χώρου θα χρησιμοποιηθεί μια κεντρική κλιματιστική συσκευή εφοδιασμένη με θερμαντικό στοιχείο και ανεμιστήρα.

Η επιθυμητή θερμοκρασία ξηρού βολβού του κλιματιζόμενου χώρου είναι  $T_{DB2}=20^{\circ}\text{C}$ , ενώ η αντίστοιχη σχετική υγρασία  $\phi_2=40\%$ . Με τις συνθήκες αυτές ο αέρας επιστρέφει στο θερμαντικό στοιχείο της κλιματιστικής συσκευής. Η θερμοκρασία ξηρού βολβού προσαγωγής του θερμού αέρα από την κλιματιστική συσκευή είναι  $T_{DB1}=35^{\circ}\text{C}$ , ενώ η σχετική υγρασία του ισούται με  $\phi_1=20\%$ . Η θερμική ισχύς του θερμαντικού στοιχείου δίνεται  $17,25\text{kW}$ . Ζητείται η παροχή αέρα της κλιματιστικής συσκευής. Χρειάζεται ύγρανση ο αέρας πριν εισέλθει στο χώρο; Αν ναι πόση πρέπει να είναι η ικανότητα παροχής του υγραντήρα;

### Λύση

Από την τομή της ισοθερμοκρασιακής ξηρού βολβού  $T_{DB1}=35^{\circ}\text{C}$  και της σχετικής υγρασίας  $\phi_1=20\%$  εντοπίζεται η θέση του σημείου 1 στον ψυχομετρικό χάρτη.

Ομοίως, από την τομή της ισοθερμοκρασιακής ξηρού βολβού  $T_{DB2}=20^{\circ}\text{C}$  και της σχετικής υγρασίας  $\phi_2=40\%$  εντοπίζεται η θέση του σημείου 2 στον ψυχομετρικό χάρτη.

Έχοντας εντοπίσει τις θέσεις των σημείων 1 και 2 στον ψυχομετρικό χάρτη, διαβάζουμε:

- ειδική ενθαλπία κατάστασης 1:  $h_1=49,0\text{kJ/kg}$
- ειδική υγρασία κατάστασης 1:  $w_1=5,3\text{gr/kg}$
- ειδική ενθαλπία κατάστασης 2:  $h_2=34,8\text{kJ/kg}$
- ειδική υγρασία κατάστασης 2:  $w_2=5,8\text{gr/kg}$ .

Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε:

- Ισολογισμός ισχύος:

$$\dot{m}_a h_1 = \dot{m}_a h_2 + q_{\text{συν}} \Leftrightarrow \dot{m}_a = \frac{q_{\text{συν}}}{h_1 - h_2} \Leftrightarrow \dot{m}_a = \frac{17,25\text{kW}}{(49,0 - 34,8)\text{kJ/kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_a = 1,215\text{kg/s}.$$



Β' ΜΕΡΟΣ

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ

# Εσωκλίμα

- ▶ Η βιολογική & ψυχολογική ισορροπία του ανθρώπου
  - ▶ εξασφαλίζεται από την επιτυχή προσαρμογή του στο φυσικό περιβάλλον
- ▶ Η θερμική, η οπτική & η ακουστική άνεση:
  - ▶ επηρεάζουν την ευεξία του ανθρώπου
  - ▶ εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το κέλυφος του κτιρίου και τα συστήματα ελέγχου του εσωκλίματος.



# Θερμική άνεση (thermal comfort)

## ► Ορισμός θερμικής άνεσης:

- η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

## ► Παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική άνεση:

### 1. Φυσικές παράμετροι

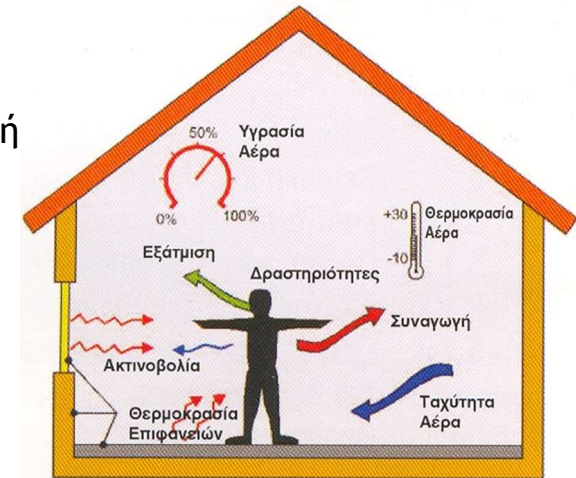
- Θερμοκρασία του αέρα [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα [Pa]
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα [m/s]
- Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών

### 2. Βιολογικές παράμετροι

- Το φύλλο των χρηστών του χώρου
- Η ηλικία των χρηστών του χώρου
- Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου

### 3. Εξωτερικές παράμετροι.

- Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] (1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup>)
- Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo] (1 clo = 0,155 m<sup>2</sup> °C/W)



# Θερμική άνεση (thermal comfort)

- ▶ Μέθοδοι αξιολόγησης θερμικής άνεσης
  - ▶ Θερμικοί δείκτες
  - ▶ Διάγραμμα θερμικής άνεσης-βιοκλιματικά διαγράμματα
  - ▶ Δείκτες PMV-PPD



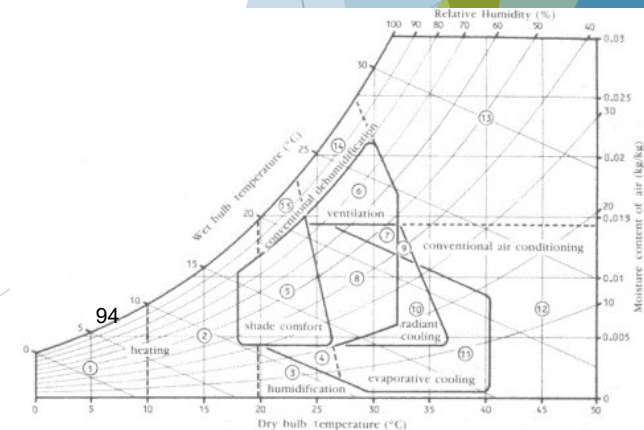
# Θερμική άνεση (thermal comfort)

- ▶ **Θερμικοί δείκτες:** εκφράζουν τη θερμοκρασία που αισθάνεται το άτομο με την επίδραση όλων ή μερικών από τις μεταβλητές παραμέτρους της θερμικής άνεσης.
  - ▶ **Η αισθητή θερμοκρασία** (effective temperature - ET) (Houghton & Yaglou 1923): συνδυάζει μόνο τη θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία
  - ▶ **Η λειτουργική θερμοκρασία** (operative temperature -  $t_o$ ). Είναι η θερμοκρασία που προκύπτει από το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας που ακτινοβολούν οι επιφάνειες. Ισχύει για ταχύτητα ανέμου  $<0.2$  m/s.
  - ▶ **Η διορθωμένη αισθητή θερμοκρασία** (corrected effective temperature - CET). Προκύπτει από το συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα, της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας από τις επιφάνειες, της ταχύτητας του αέρα και της σχετικής υγρασίας, και είναι το αποτέλεσμα πλήθους βελτιώσεων στο δείκτη της αισθητής θερμοκρασίας.
  - ▶ **Η τυπική αισθητή θερμοκρασία** (standard effective temperature - SET). Είναι η θερμοκρασία που προκύπτει από το συνδυασμό και των 4 παραμέτρων που προαναφέρθηκαν, με το δεδομένο της τυπικής ενδυμασίας και δραστηριότητας.

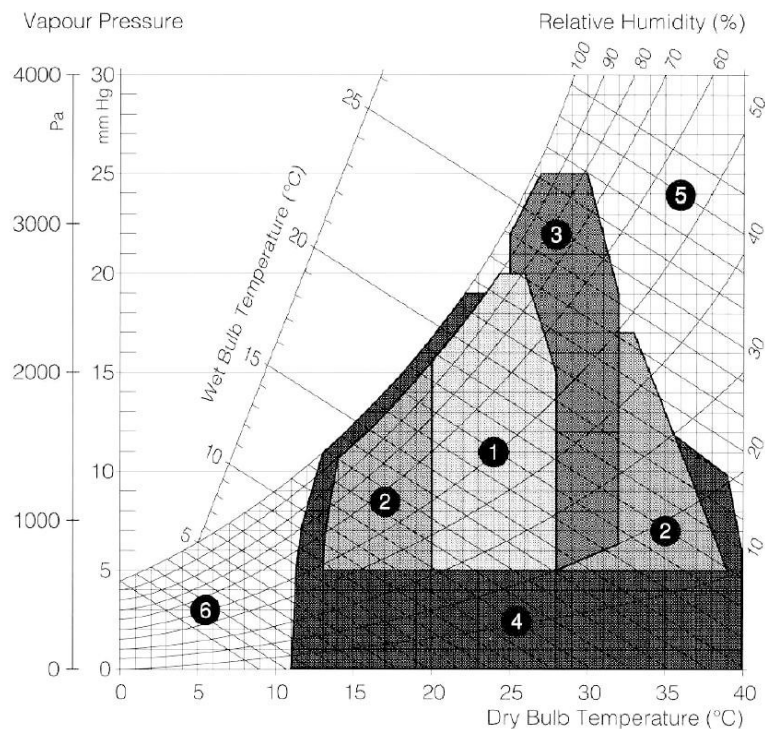
# Θερμική άνεση (thermal comfort)

## ► Βιοκλιματικά διαγράμματα

- Με το βιοκλιματικό χάρτη των Givoni και Watson & Labs, που βασίζεται στο ψυχομετρικό διάγραμμα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία είναι μέσα στα όρια μιας περιοχής που οριοθετεί μια στρατηγική ελέγχου των εσωκλιματικών συνθηκών, τότε, *εάν χρησιμοποιηθεί αυτή η διαδικασία ελέγχου, στο εσωτερικό του κτιρίου θα επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης.*
- Τα απαιτούμενα μετεωρολογικά στοιχεία για την κατασκευή των βιοκλιματικών χαρτών είναι η μέση ωριαία τιμή της θερμοκρασίας του αέρα (θερμομέτρου ξηρού βολβού) και η μέση ωριαία τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα για κάθε μήνα.



# Διάγραμμα Givoni



- (1): Ζώνη άνεσης, (2): Ζώνη επίδρασης θερμικής μάζας,  
(3): Ζώνη επίδρασης αερισμού, (4): Ζώνη επίδρασης δραστηριότητας,  
(5): Ζώνη κλιματισμού, (6): Ζώνη τεχνητής θέρμανσης

# Παραγωγή Μεταβολικής Θερμότητας

Τιμή μεταβολισμού για  
διάφορες δραστηριότητες  
(1 met = 58 W/m<sup>2</sup>)

Δραστηριότητα	W/m <sup>2</sup>	met
Ύπνος	40	0.7
Πλάγιασμα	45	0.8
Κάθισμα, ήσυχα	60	1.0
Διάβασμα σε κάθισμα	55	1.0
Γράψιμο	60	1.0
Πληκτρολόγηση	65	1.1
Περπάτημα, 3 km/h	115	2.0
Περπάτημα, 5 km/h	175	3.0
Τρέξιμο, 10 km/h	465	8.0
Οδήγηση αυτοκινήτου	60-115	1.0-2.0
Οδήγηση βαρέως οχήματος	185	3.2
Μαγείρεμα	95-115	1.6-2.0
Καθάρισμα κατοικίας	115-200	2.0-3.4
Μεταφορά σάκων 50 kg	235	4.0
Σκάψιμο και φτυάρισμα	235-280	4.0-4.8
Χορός	140-255	2.4-4.4
Αερόβικ	175-235	3.0-4.0
Τένις	210-270	3.6-4.0
Μπάσκετ	290-440	5.0-7.6
Πάλη	410-505	7.0-8.7

# Θερμική Μόνωση Ένδυσης

Παρεχόμενη θερμική μόνωση από διάφορα είδη ένδυσης (1 clo = 0.155 m<sup>2</sup>·K/W)

Είδος ενδυμασίας	m <sup>2</sup> ·K/W	clo
Γυμνός	0	0
Ελαφριά ντυμένος (καλοκαιρινή ενδυμασία)	0.08	0.5
Ενδυμασία για ελαφριά δουλειά	0.11	0.7
Τυπική ενδυμασία για εσωτερική δουλειά το χειμώνα	0.16	1.0
Βαριά ντυμένος με παλτό	0.23	1.5
Βαριά ντυμένος για πολύ κρύο καιρό	0.47	3

# Δείκτες Θερμικής Άνεσης

- ▶ Η θερμική άνεση, ως υποκειμενικό συναίσθημα, εκδηλώνεται διαφορετικά από άτομο σε άτομο
- ▶ Παρόλα αυτά έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες για να αναπτυχθούν ακριβείς μέθοδοι υπολογισμού της
- ▶ Η επικρατέστερη μέθοδος βασίζεται στον υπολογισμό της Μέσης Ψήφου (Predicted Mean Vote - PMV), ενός ακεραίου δείκτη που μπορεί να πάρει επτά τιμές και προβλέπει τη μέση τιμή των ψήφων μιας μεγάλης ομάδας ανθρώπων στο διάστημα  $[-3 +3]$ , όπου το  $-3$  αντιπροσωπεύει το πολύ ψυχρό, το  $0$  το ουδέτερο και το  $+3$  το πολύ θερμό

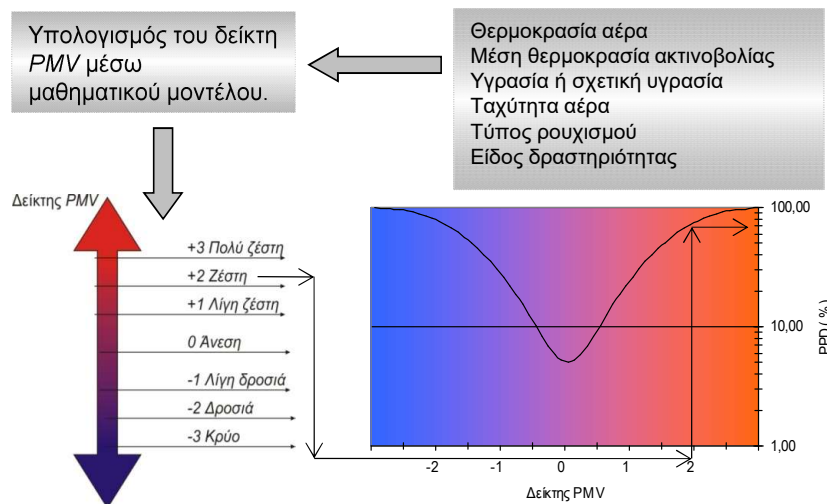
# Δείκτες Θερμικής Άνεσης

- ▶ Λόγω του μεγάλου πλήθους του δείγματος ανθρώπων, παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στους ψήφους τους
- ▶ Γι' αυτό είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε το ποσοστό των ατόμων σε μια ομάδα που πιθανώς θα αισθάνονται ψύχος ή θα θερμαίνονται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, κάτι που μπορεί να βρεθεί με τη χρήση του Δείκτη Δυσανεξίας των ανθρώπων (Predicted Percent of Dissatisfied people - **PPD**)

# Θερμική άνεση (thermal comfort)

## ► Δείκτες PMV - PPD

- Δείκτης PMV (Predicted Mean Vote-Προβλεπόμενης Μέσης Ψήφου) Από Fanger - προτείνεται από τη ASHRAE
- Δείκτης PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied persons- Προβλεπόμενου ποσοστού δυσαρεστημένων)



Με βάση το ISO 7730 η κατάσταση σε ένα χώρο θεωρείται ικανοποιητική όταν:  
PPD < 10%  
-0.5 < PMV < +0.5

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2)}$$

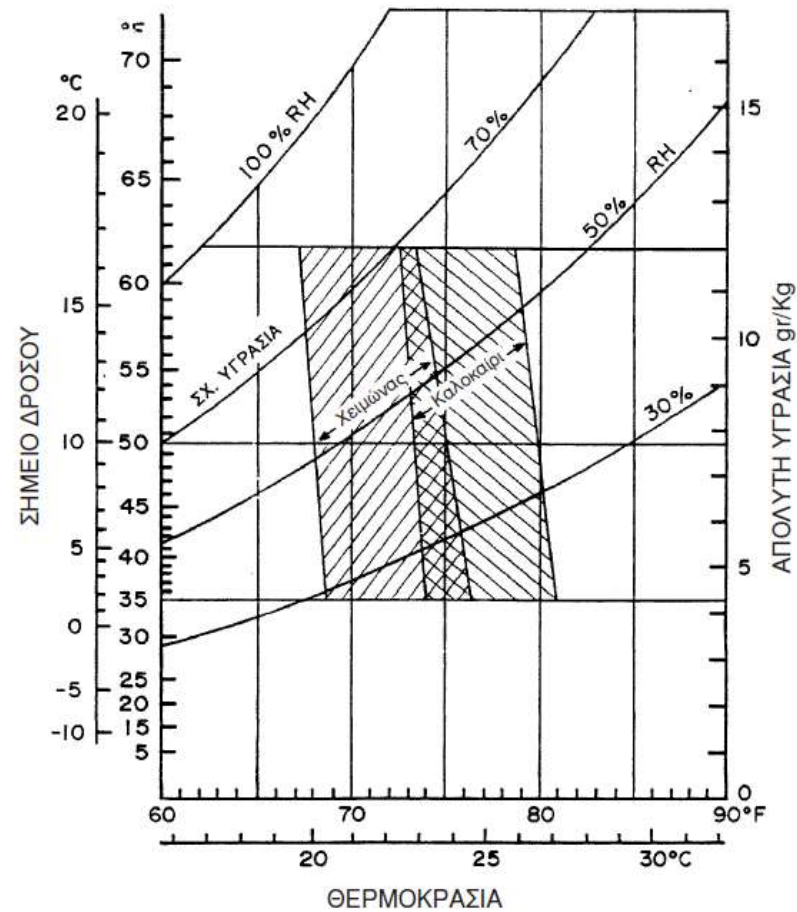
# Συνιστώμενες Συνθήκες Χειμώνα

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ( °C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
Κατοικίες	22	30 - 50
Κτίρια γραφείων	21 - 23	30 - 35
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	20 - 22	40 - 50
Νοσοκομεία	24	30
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	21 - 23	30 - 40

# Συνιστώμενες Συνθήκες Καλοκαιριού

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ( °C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
Κατοικίες	25 - 26	40 - 50
Κτίρια γραφείων	25 - 26	40 - 50
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	22	40 - 55
Εσπιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	23 - 26	50 - 60
Εκπαιδευτικά κτίρια	26	45 - 50
Νοσοκομεία		
Αίθουσες	24	45 - 50
Χειρουργεία	20 - 24	50 - 60
Αναρρωτήρια	24	50 - 60

# Ζώνες Θερμικής Άνεσης στο Ψυχομετρικό Διάγραμμα



## Θερμικές Ζώνες

- ▶ Οι εσωτερικοί χώροι μπορούν να διαιρεθούν σε διακριτές θερμικές ζώνες, με συγκεκριμένες συνθήκες θερμικού περιβάλλοντος η καθεμία
- ▶ Η διαίρεση σε ζώνες απαιτείται σε κτίρια του τριτογενούς τομέα με μεγάλη επιφάνεια δαπέδου (>1000 m<sup>2</sup>) και σε τμήματα κτιρίων μικρού μεγέθους μικτής χρήσης
- ▶ Η κάθε θερμική ζώνη μπορεί είτε να τροφοδοτείται με το δικό της ξεχωριστό σύστημα θέρμανσης-αερισμού-κλιματισμού (HVAC), είτε να τροφοδοτείται από ένα κεντρικό σύστημα HVAC που έχει ξεχωριστό ελεγκτή για κάθε ζώνη

## Κριτήρια Διαίρεσης Χώρου σε Ζώνες

- ▶ Χρειάζεται να ισχύει τουλάχιστον ένα από τα παρακάτω κριτήρια:
  1. Οι εσωτερικές θερμοκρασίες σχεδιασμού διαφορετικών χώρων του κτιρίου διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από  $5^{\circ}\text{C}$ , και οι λόγοι των θερμικών κερδών προς τις θερμικές απώλειες διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 0.4
  2. Οι θύρες μεταξύ διαφορετικών χώρων παραμένουν κλειστές
  3. Η συνένωση παρακείμενων χώρων σε μία θερμική ζώνη θα μπορούσε να επιφέρει σημαντικές αυξήσεις στις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου

## Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα

- ▶ Όταν βρισκόμαστε σε ένα κτίριο, δεν είναι βέβαιο ότι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι απαραίτητα καλύτερη από αυτήν του εξωτερικού αέρα
- ▶ Οι περισσότεροι εσωτερικοί ρύποι δεν προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον, αλλά παράγονται μέσα στο ίδιο το κτίριο
- ▶ Ο εσωτερικός αέρας μπορεί να είναι και μέχρι 10 φορές περισσότερο μολυσμένος από τον αντίστοιχο εξωτερικό
- ▶ Οι περισσότεροι άνθρωποι περνούν περίπου το 60-90% του χρόνου τους μέσα στα κτίρια

# Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα

- ▶ Η κακή ποιότητα του εσωτερικού αέρα επηρεάζει αρνητικά την ανθρώπινη υγεία και αποτελεί το αίτιο των *άρρωστων κτιρίων*, δηλαδή των κτιρίων στα οποία οι ένοικοι παρουσιάζουν ναυτίες, λήθαργο, αλλεργίες του αναπνευστικού συστήματος, δερματικούς ερεθισμούς, πονοκέφαλους, κλπ
- ▶ Το πρόβλημα της ρύπανσης του εξωτερικού αέρα οξύνθηκε μετά το 1970, όταν η εξοικονόμηση ενέργειας έγινε επιτακτική ανάγκη
- ▶ Αυτό οδήγησε στη διάδοση συστημάτων για την ανακύκλωση του αέρα, τη μείωση του φυσικού αερισμού και τη χρήση πλαισίων αλουμινίου στα ανοίγματα

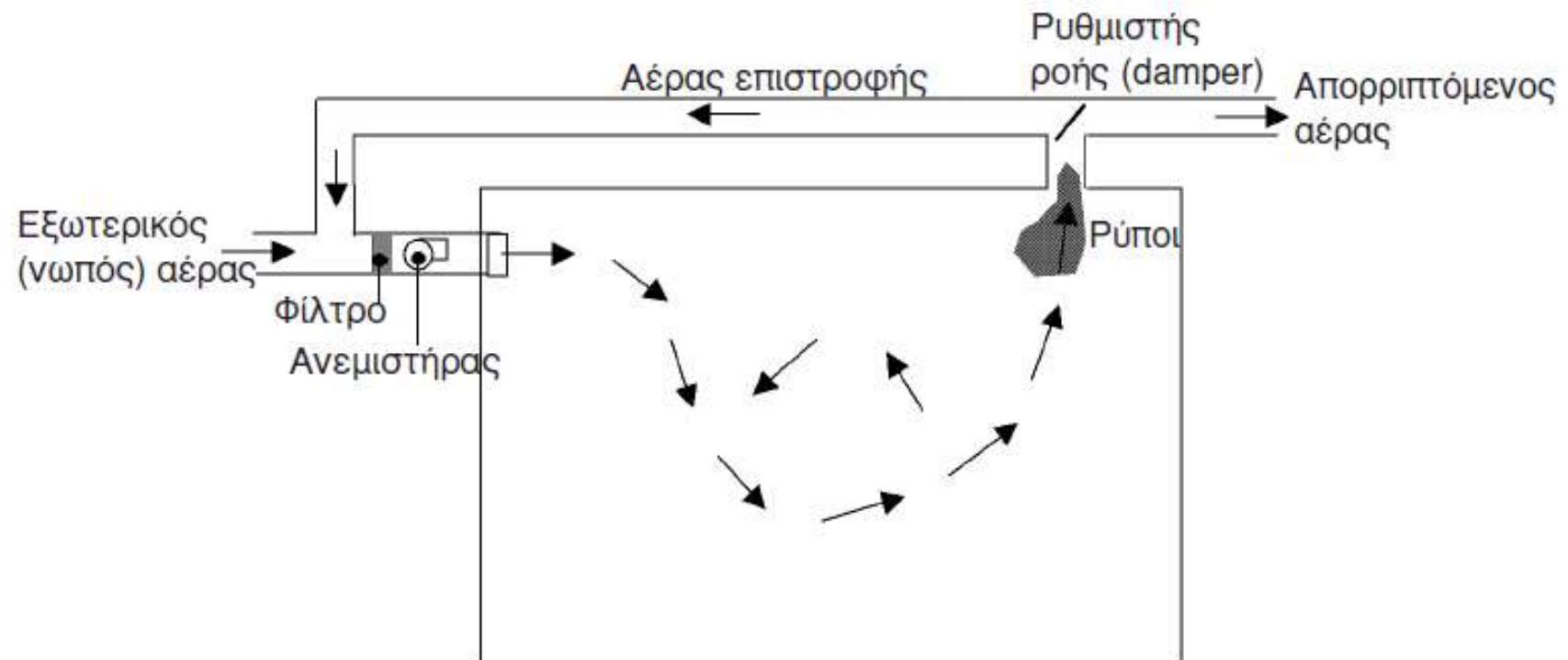
# Ποιότητα Εσωτερικού Αέρα

- ▶ Τα πλαίσια αλουμινίου έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα ξύλινα (ευκολία κατασκευής, έλλειψη συντήρησης, ελάχιστες θερμικές απώλειες, κλπ), αλλά δεν επιτρέπουν τον αερισμό του χώρου με φυσικό τρόπο από τις χαραμάδες
- ▶ Στην περίπτωση αυτή επιβάλλεται το άνοιγμα των παραθύρων τις μεσημεριανές ώρες κατά το χειμώνα και τις πρωινές ή/και βραδινές ώρες κατά το καλοκαίρι, για την ανανέωση του αέρα

## Απαιτήσεις Εξωτερικού (Νωπού) Αέρα

- ▶ Η απαιτούμενη ποσότητα εξωτερικού αέρα εξαρτάται από τη χρήση του χώρου, την ποσότητα και το είδος των ρύπων που βρίσκονται μέσα στο χώρο
- ▶ Εάν επιτρέπεται το κάπνισμα σε ένα κλειστό χώρο, η ποσότητα του εξωτερικού αέρα πρακτικά χρειάζεται να διπλασιαστεί
- ▶ Η ποσότητα αέρα που εισάγεται σε ένα χώρο μπορεί να είναι αποκλειστικά εξωτερικός αέρας, μπορεί όμως να είναι εναλλακτικά μίγμα εξωτερικού αέρα με αέρα επιστροφής (ανακυκλοφορίας) που απάγεται από το χώρο
- ▶ Προϋπόθεση επαναχρησιμοποίησης του εσωτερικού αέρα είναι ο καθαρισμός του από ρύπους, με τα κατάλληλα φίλτρα

# Σύστημα Μίξης Αέρα



## Απαιτούμενη Ποσότητα Εξωτερικού (Νωπού) Αέρα

- ▶ Ο τρόπος υπολογισμού της απαιτούμενης ποσότητας εξωτερικού αέρα ανά ώρα γίνεται με βάση:
  - ▶ Τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται μέσα σε ένα κλειστό χώρο
  - ▶ Τη συγκεκριμένη χρήση του χώρου
- ▶ Σε περιπτώσεις που υπάρχουν και άλλες πηγές ρύπων (οικοδομικά υλικά, έπιπλα, κλπ) οι οποίες απελευθερώνουν επιπλέον ατμοσφαιρικούς ρύπους, μπορεί να αυξηθούν οι απαιτούμενες ποσότητες εξωτερικού αέρα

## Απαιτούμενη Ποσότητα Εξωτερικού (Νωπού) Αέρα

- ▶ Οι τιμές της απαιτούμενης ποσότητας εξωτερικού αέρα δίνονται σε κυβικά μέτρα ( $m^3$ ) εξωτερικού αέρα:
  - ▶ Είτε ανά ώρα και ανά άτομο
  - ▶ Είτε ανά μονάδα επιφάνειας του χώρου
  - ▶ Είτε ανά τυπικό χώρο διαμονής (π.χ. δωμάτιο)
- ▶ Ένα άλλο κριτήριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων εξωτερικού αέρα είναι ο αριθμός των αλλαγών του ανά ώρα (ACH), σύμφωνα με τη χρήση του χώρου

# Απαιτήσεις σε Εξωτερικό Αέρα ( $m^3 / (h \cdot \acute{\alpha}τομο)$ )

Χρήση Χώρου	100 m <sup>2</sup> Δαπέδου(*)	Ελάχιστος	Συνιστώμενος
<b>Κατοικίες</b>			
Καθιστικά, Δωμάτια	5	8,5	12 – 17
Κουζίνες, Μπάνια	--	34	50 – 85
<b>Εκπαιδευτικά Κτίρια</b>			
Αίθουσες	55	17	17 – 26
Εργαστήρια	32	17	17 – 26
Αμφιθέατρα	110	17	26 – 34
Βιβλιοθήκες	22	12	17 – 21
Γραφεία	10	12	17 – 26
Γυμναστήρια	75	34	42 – 51
Εστιατόρια	110	17	26 – 34
<b>Νοσοκομεία</b>			
Αίθουσες αναμονής	55	34	42 – 51
Δωμάτια ασθενών	22	17	26 – 34
Αίθουσες εξετάσεων	10	50	70 – 85
<b>Γραφεία</b>			
Γενικά	10	25,5	25,5 – 42,5
Χώροι αναμονής	32	12	25,5 – 34
Αίθουσες συνδιαλέξεων	65	42,5	51 – 68
Σχεδιαστήρια	22	12	17 – 25,5
Αίθουσες Η/Υ	22	8,5	12 – 17
<b>Ξενοδοχεία</b>			
Υπνοδωμάτια	5	12	17 – 25,5
Κοιν/στοι Χώροι	22	17	25,5 – 34
<b>Οργανισμοί</b>			
Γραφεία	10	17	25,5 – 34
Καταστήματα	32	12	17 – 25,5
<b>Βιομηχανικοί Χώροι</b>			42,5 – 68

# Απαιτήσεις σε Εξωτερικό Αέρα ( $m^3 / (h \cdot \text{άτομο})$ )

Χρήση Χώρου	Εκτιμώμενα Άτομα ανά 100 m <sup>2</sup> Δαπέδου(*)	Ποσότητα εξωτερικού αέρα	
		Καπνίζοντες	Μη Καπνίζοντες
<b>Γραφεία</b>		( $m^3/h \cdot \text{άτομο}$ )	( $m^3/h \cdot \text{άτομο}$ )
Γραφεία	7	70	36
Ατομικά γραφεία		50	30
Χώροι αναμονής	60	60	28,8
Χώροι συνεδριάσεων	50	50	36
<b>Ξενοδοχεία</b>		( $m^3/h \cdot \text{άτομο}$ )	( $m^3/h \cdot \text{άτομο}$ )
Δωμάτια	5	130 ( $m^3/h \cdot \text{δωμάτιο}$ )	54 ( $m^3/h \cdot \text{δωμάτιο}$ )
Μπάνια, τουαλέτες δωματίων		65 για διακοπτόμενη λειτουργία	
Χώροι εισόδου	30	40	28,8
Μικρή αίθουσα συνεδριάσεων	50	50	36
Μεγάλη αίθουσα συγκεντρώσεων	120	40	28,8
Εστιατόρια	70	60	36
Μπαρ	100	54	
<b>Νοσοκομεία</b>		( $m^3/h \cdot \text{άτομο}$ )	( $m^3/h \cdot \text{άτομο}$ )
Δωμάτια ασθενών	10	--	46,8
Χειρουργεία	20	--	54
Εντατική	20	--	28,8
Φυσιοθεραπείας	20	--	28,8
<b>Σχολεία</b>		( $m^3/h \cdot \text{άτομο}$ )	( $m^3/h \cdot \text{άτομο}$ )
Αίθουσες διδασκαλίας	50	-- 114	28,8
Εργαστήρια	30	--	36
Βιβλιοθήκη	20	--	36

# Απαιτήσεις σε Εξωτερικό Αέρα ( $m^3 / (h \cdot \text{άτομο})$ )

Κατοικίες		(m <sup>3</sup> /h.δωμάτιο)	
Υπνοδωμάτιο	2 ή 1		54
Χώροι κατοικίας			54
Κουζίνα		43 ή 180 για διακοπτόμενη λειτουργία	
Λουτρό, τουαλέτα		36 ή 90 για διακοπτόμενη λειτουργία	
Καταστήματα		(m <sup>3</sup> /h.άτομο)	(m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> )
Χώροι πωλήσεων σε ισόγειο	30	45	5,4
Χώροι πωλήσεων σε όροφο	20	40	3,6
Αποθηκευτικοί χώροι	15	--	2,7
Χώροι κίνησης εμπορευμάτων	10	--	2,7
Χώροι καπνίσματος	70	90	--
Αθλητικές Εγκαταστάσεις		(m <sup>3</sup> /h.άτομο)	(m <sup>3</sup> /h.άτομο)
Κερκίδες, θέσεις θεατών	150	40	28,8
Γυμναστήρια, χώρος άθλησης	30	--	36
Κολυμβητήρια, χώρος πισίνας		--	9 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> πισίνας 115
Αποδυτήρια		--	9 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>

## Απαιτήσεις σε Εξωτερικό Αέρα (ACH)

Χρήση Χώρου	Αριθμός αλλαγών αέρα την ώρα (ACH)
Βιβλιοθήκες	4 – 5 φορές
Γραφεία	4 – 8
Αμφιθέατρα	8 – 10
Εμπορικά καταστήματα	4 – 6
Κινηματογράφοι	4 – 6
Αίθουσες συνεδριάσεων	6 – 8
Αίθουσες χειρουργείων	15 – 20
Κολυμβητήρια	3 – 4

# Παράδειγμα

- ▶ Σε ένα γραφείο γενικής χρήσης διαστάσεων 20x10x2.5m εργάζονται 15 άτομα. Να υπολογιστεί η ελάχιστη ποσότητα νωπού αέρα που απαιτείται για το χώρο, η μέγιστη συνιστώμενη ποσότητα, και οι αντίστοιχες (ελάχιστη-μέγιστη) αλλαγές νωπού αέρα ανά ώρα.
- ▶ Συνολικός όγκος γραφείου:  $V = 20\text{m} \cdot 10\text{m} \cdot 2.5\text{m} = 500\text{m}^3$
- ▶ Από πίνακα, για κτίρια γραφείων γενικής χρήσης, η ελάχιστη ποσότητα νωπού αέρα είναι  $25.5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{άτομο})$ , ενώ η μέγιστη είναι  $42.5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{άτομο})$
- ▶ Η ελάχιστη και μέγιστη συνιστώμενη τιμή νωπού αέρα είναι:  
*Ελάχιστη:*  $25.5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{άτομο}) \cdot 15 \text{ άτομα} = 382.5 \text{ m}^3/\text{h}$   
*Μέγιστη:*  $42.5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{άτομο}) \cdot 15 \text{ άτομα} = 637.5 \text{ m}^3/\text{h}$
- ▶ Ο ελάχιστος και μέγιστος αλλαγών νωπού αέρα ανά ώρα (ACH) είναι:  
*Ελάχιστος:*  $382.5 \text{ m}^3/\text{h} \div 500 \text{ m}^3 = 0.76 \text{ ACH}$   
*Μέγιστος:*  $637.5 \text{ m}^3/\text{h} \div 500 \text{ m}^3 = 1.27 \text{ ACH}$