

Ισοζύγιο ενέργειας και μάζας του αέρα στο θερμοκήπιο

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών
και Ελέγχου Περιβάλλοντος

Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Αισθητή και Λανθάνουσα ενέργεια

Αισθητή καλούμε την ενέργεια που απορροφάται ή ελευθερώνεται κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός υλικού.

Λανθάνουσα καλούμε την ενέργεια που απορροφάται ή ελευθερώνεται κατά την αλλαγή φάσης ενός υλικού.

Λανθάνουσα ενέργεια

Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού ισούται με 2500 kJ kg^{-1} στους 0°C και μειώνεται κατά $0.23883 \text{ kJ kg}^{-1}$ για κάθε $^\circ\text{C}$ άνοδο της θερμοκρασίας (T) πάνω από τους 0°C .

Ισχύει δηλαδή η ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = 2500 - 2.385 \cdot T \quad (\text{kJ kg}^{-1})$$

Ενθαλπία

Η ενθαλπία (h) ενός συστήματος αντιστοιχεί σε όλη την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα με διάφορες μορφές.

Στην περίπτωση του ελεύθερου ατμοσφαιρικού αέρα, η ολική ενέργεια που περιέχει κάθε στιγμή ισούται με το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας.

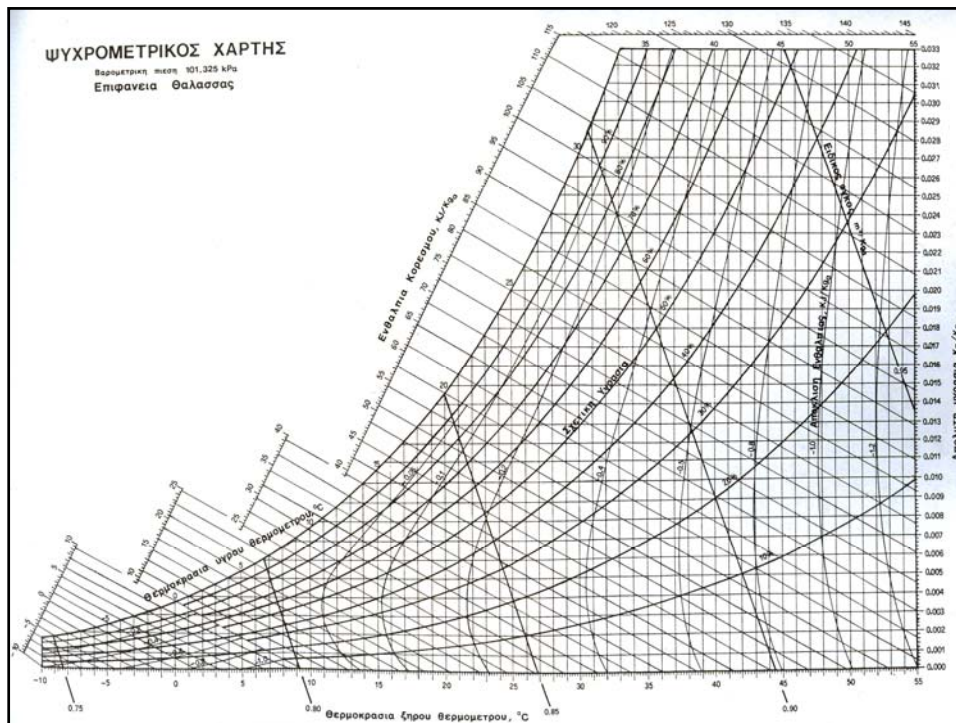
Ενθαλπία

Οι εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης που θα συναντήσουμε βασίζονται στην αρχή της διατήρησης της ενθαλπίας και στις μετατροπές μεταξύ αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας.

Ενθαλπία

Οι μεταβολές λανθάνουσας θερμότητας προέρχονται από την εξατμισοδιαπνοή, τη συμπύκνωση υδρατμών σε κατασκευαστικά στοιχεία με χαμηλή θερμοκρασία, τον αερισμό και το δροσισμό με εξάτμιση νερού.

Οι μεταβολές αισθητής θερμότητας προέρχονται είτε από μετατροπές λανθάνουσας σε αισθητή και το αντίστροφο είτε από ανταλλαγές θερμότητας με το περιβάλλον.



Εξισώσεις

Απόλυτη υγρασία:

$$w \text{ (kg/kg)} = 0.000046 * RH\% * e^{(T/17)}$$

Ενθαλπία:

$$h \text{ (kJ/kg)} = C_{p_a} \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} T_a \text{ (} ^\circ\text{C)} + C_{p_w} T_a w \text{ (kg/kg)} + \lambda \text{ (kJ/kg)} w$$

Μεταβολή ενέργειας

Η μεταβολή της περιεκτικότητας του αέρα σε ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί από τη διαφορά της ενθαλπίας του αέρα μεταξύ των δύο περιπτώσεων και τη μάζα του αέρα του οποίου μεταβάλλεται η ενέργεια:

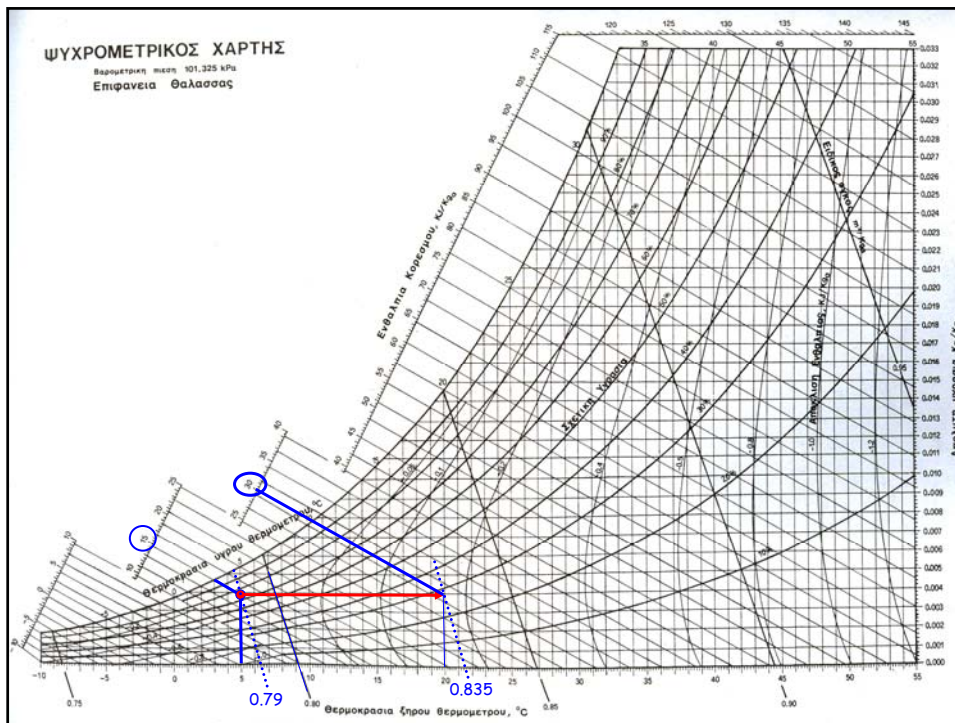
$$q = M_a (h_2 - h_1)$$

όπου M_a (kg) η μάζα του αέρα και h η ενθαλπία του (kJ/kg)

Παράδειγμα 1

Εξωτερικός αέρας με θερμοκρασία ξηρού βολβού 5°C και υγρού βολβού 3°C , μπαίνει σε θερμοκήπιο με τη βοήθεια αερόθερμου με παροχή $80 \text{ m}^3/\text{min}$.

Η θερμοκρασία του αέρα μετά το αερόθερμο είναι 20°C . Να υπολογιστεί το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται ανά ώρα και η ισχύς του αερόθερμου.



Λύση

$$q = M_a (h_2 - h_1)$$

παροχή ανά ώρα (m³/h)

$$M_a \text{ (kg/h)} = \text{-----} \Rightarrow$$

ειδικός όγκος (kg/m³)

$$M_a = 80 \cdot 60 / 0.79 = 6075 \text{ kg/h}$$

Λύση

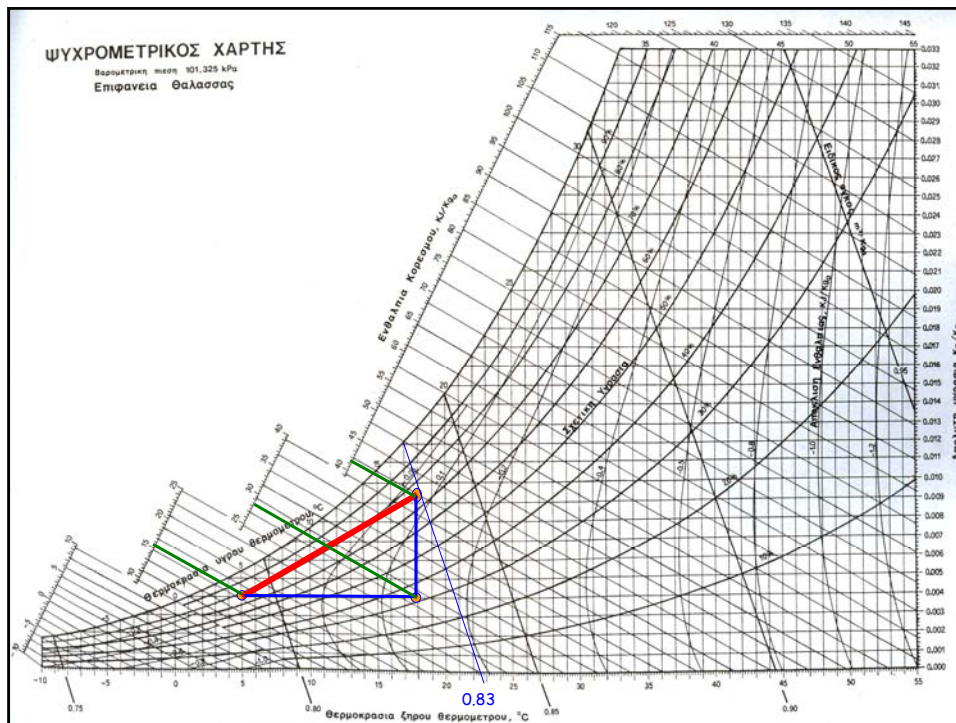
$$q = M_a (h_2 - h_1) \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} q &= 6075 \text{ (kg/h)} * (30 - 15) \text{ (kJ/kg)} = \\ &91125 \text{ kJ/h} = \\ &25.3 \text{ kJ/s} = \\ &25.3 \text{ kW} \end{aligned}$$

Παράδειγμα 2

Εξωτερικός αέρας με θερμοκρασία ξηρού βολβού 5°C και σχετική υγρασία 80%, μπαίνει σε χοιροτροφείο. Ο αέρας βγαίνει από το χοιροτροφείο με ανεμιστήρα παροχής $300 \text{ m}^3/\text{min}$ σε θερμοκρασία ξηρού βολβού 18°C και υγρού βολβού 15°C .

Να υπολογιστεί το ποσό της αισθητής και λανθάνουσας ενέργειας που προστίθεται στο χώρο από τα ζώα ανά ώρα.



Λύση

$$M_a = 300 \cdot 60 / 0.83 = 21\,530 \text{ kg/h}$$

$$q_{\text{ολικό}} = M_a (h_2 - h_1) \Rightarrow$$

$$q = 21530 \cdot (42 - 16) = 559\,800 \text{ kJ/h}$$

$$\text{Αισθητή: } q = 21530 \cdot (29 - 16) = 279\,900$$

$$\text{Λανθάνουσα: } q = 21530 \cdot (42 - 29) = 279\,900$$

Ψύξη με εξάτμιση (Παράδειγμα 3)

Εξωτερικός αέρας με θερμοκρασία ξηρού βολβού 35°C και σχετική υγρασία 40%, μπαίνει σε θερμοκήπιο περνώντας από σύστημα ψύξης με εξάτμιση με παροχή $800\text{ m}^3/\text{min}$.

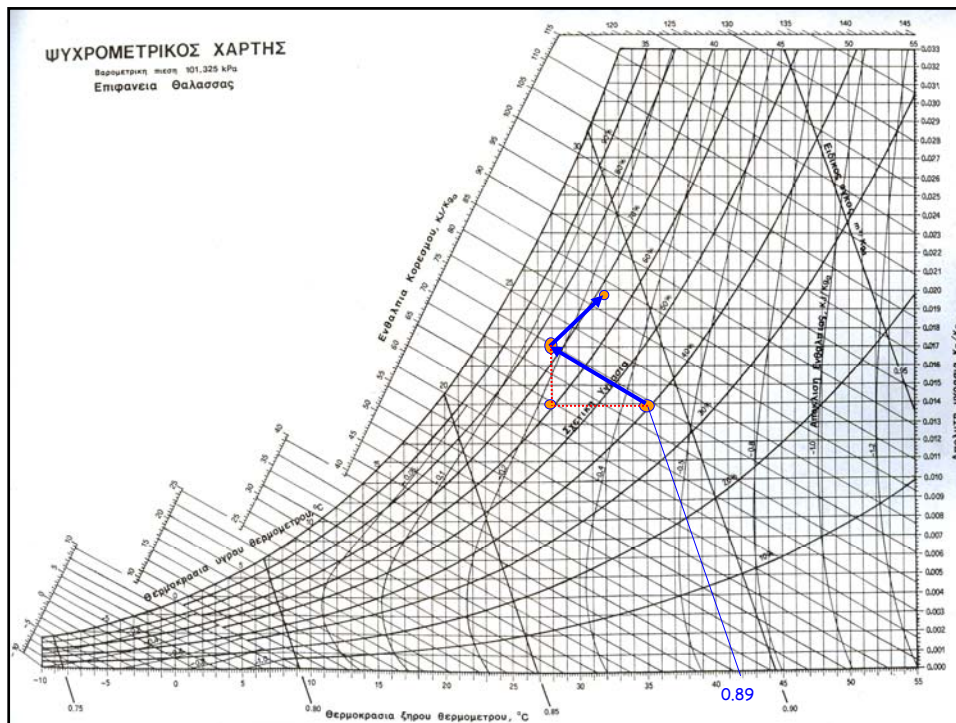
Μετά το σύστημα ψύξης έχει θερμοκρασία ξηρού βολβού 28°C και υγρού βολβού 24°C .

Ο αέρας βγαίνει από το θερμοκήπιο με θερμοκρασία ξηρού βολβού 32°C και υγρού βολβού 26.5°C .

Ψύξη με εξάτμιση

Να υπολογιστεί:

- A) Το ποσό της αισθητής ενέργειας που μετατρέπεται σε λανθάνουσα με το σύστημα ψύξης με εξάτμιση.
- B) Το ποσό της ενέργειας που προστίθεται στον αέρα καθώς αυτός περνά μέσα από το θερμοκήπιο.



Λύση

Η διαφορά αισθητής ενέργειας του αέρα πριν και μετά την ψύξη του είναι:

$$q = M_a (h_2 - h_1)$$

$$\text{Είναι } M_a = 800 \cdot 60 / 0.89 = 53900 \text{ kg/h}$$

$$h_1 = 64.5, h_2 = 72.2$$

Άρα:

$$q = 415\,030 \text{ kJ/h}$$

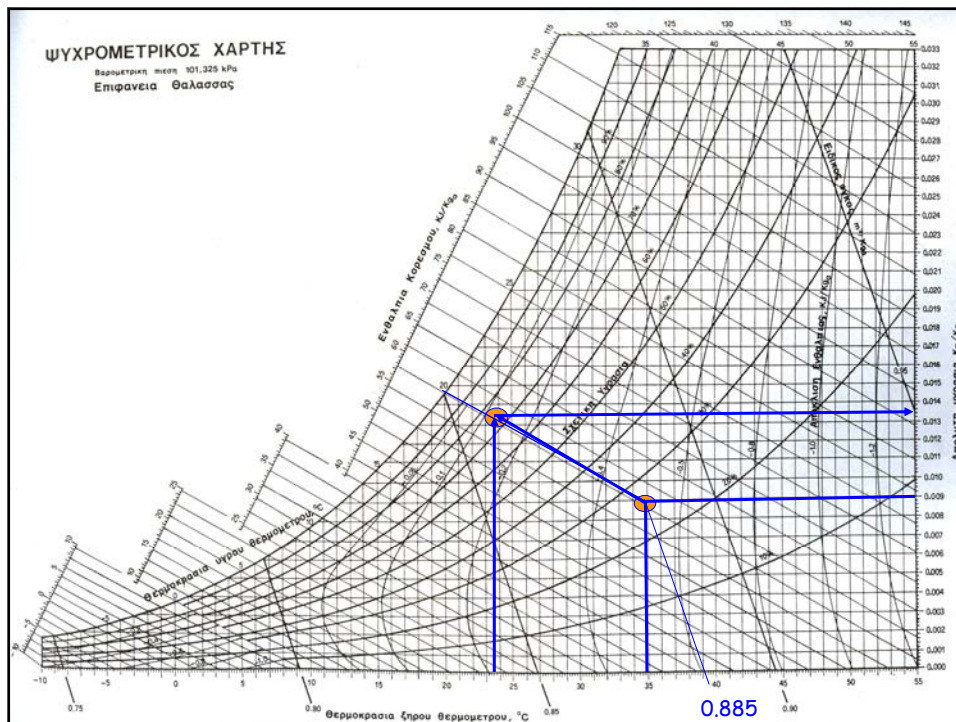
Η συνολική ενέργεια που προστίθεται στον αέρα καθώς αυτός περνά μέσα από το Θερμοκήπιο είναι:

$$q = 53900 (82.5 - 72.2) = 555\,170 \text{ kJ/h}$$

Παράδειγμα 4

Αέρας με θερμοκρασία 35°C και σχετική υγρασία 25% εισέρχεται στο θερμοκήπιο μέσα από βρεγμένο τοίχωμα με αποτελεσματικότητα ψύξης 75%.

Να υπολογιστεί η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται από το τοίχωμα ανά m^3 αέρα που εισέρχεται στο θερμοκήπιο.



Λύση

$$T_{d,o} = 35^{\circ}\text{C}$$

$$\text{RH} = 25\%$$

$$T_{w,o} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\text{SpVol} = 0.885 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$$

$$w_o = 0.009 \text{ kg/kg}$$



$$T_{d,i} =$$

$$T_{d,o} - 0.75 \cdot (T_{d,o} - T_{w,o}) =$$
$$= 23.75^{\circ}\text{C}$$

$$w_i = 0.0135 \text{ kg/kg}$$

1 m³ αέρα ζυγίζει:

$$1 \text{ m}^3 / 0.885 \text{ m}^3/\text{kg} =$$

$$1.13 \text{ kg αέρα}$$

$$\Delta w_{i-o} = 0.00444 \text{ kg/kg}$$

$$\text{Άρα } X = 1.13 \cdot 0.0044 =$$

$$= 0.005017 \text{ kg}$$