



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ενεργειακή Διαχείριση & Εξοικονόμηση Ενέργειας

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

ΕΝΟΤΗΤΑ 03: ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ – ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Άσκηση 1

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

Λύση:

Από το ψυχομετρικό διάγραμμα:

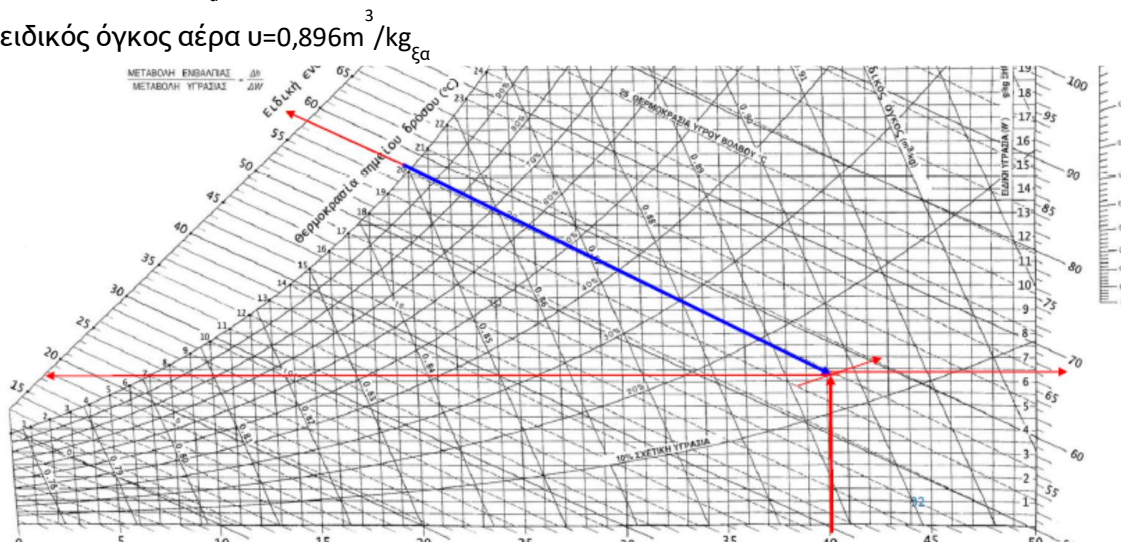
ειδική ενθαλπία $h=58\text{ kJ/kg}_{\xi\alpha}$

σχετική υγρασία $\phi=15\%$

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

σημείο δρόσου $T_d=7\text{ }^{\circ}\text{C}$

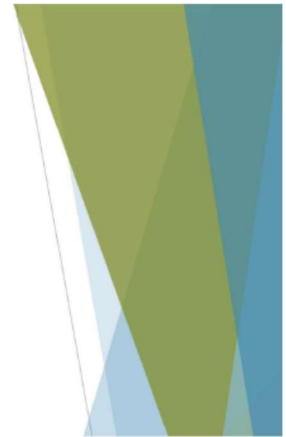
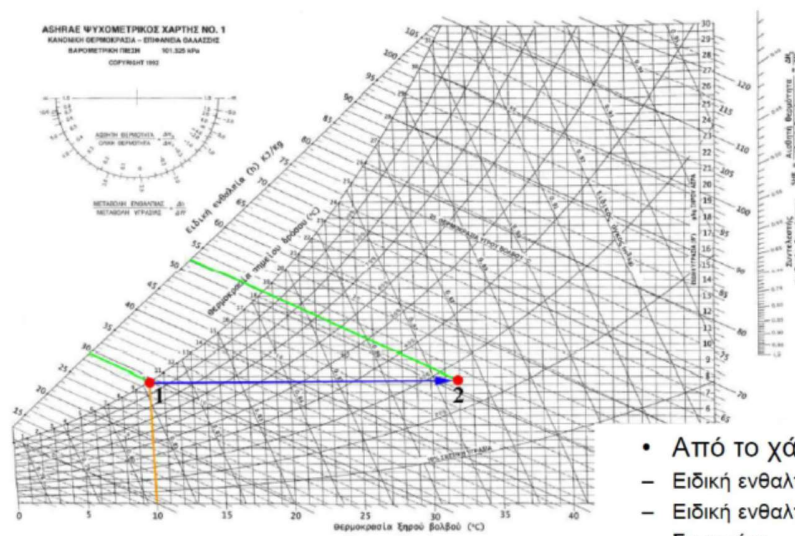
ειδικός όγκος αέρα $u=0,896\text{m}^3/\text{kg}_{\xi\alpha}$



Άσκηση 2

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

Λύση:



• Από το χάρτη βρίσκουμε:

- Ειδική ενθαλπία αρχικής κατάστασης: $h_1=29,4\text{kJ/kg}$
- Ειδική ενθαλπία τελικής κατάστασης: $h_2=52,2\text{kJ/kg}$
- Συνεπώς:

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

$$q_{12} = 36 \frac{\text{kg}}{3.600\text{sec}} \cdot (52,2 - 29,4) \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \Leftrightarrow q_{12} = 228\text{W}$$

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 $T_{db1}=20,5^\circ\text{C}$ και $T_{wb1}=12,8^\circ\text{C}$. Στην έξοδο της συσκευής δίνεται η θερμοκρασία $T_{wb2}=10^\circ\text{C}$.

Λύση:

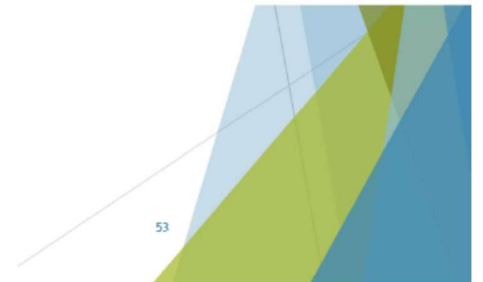
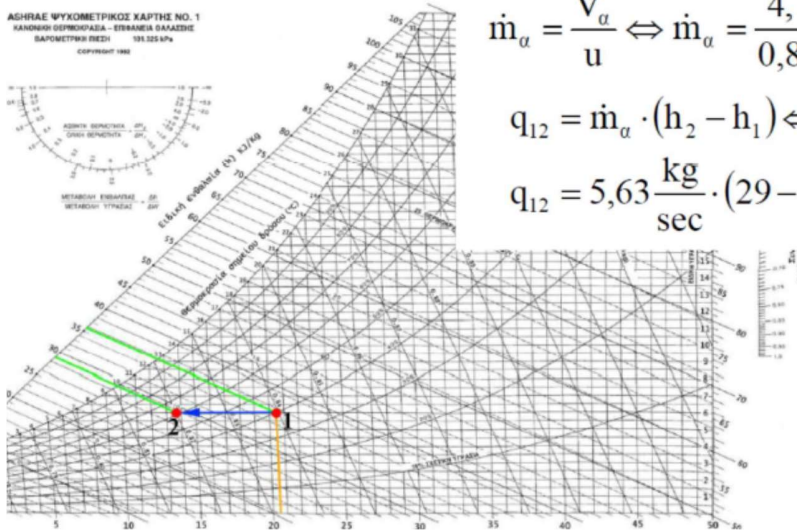
• Από το χάρτη βρίσκουμε:

- 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: $h_2=29\text{KJ/kg}$

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

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

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



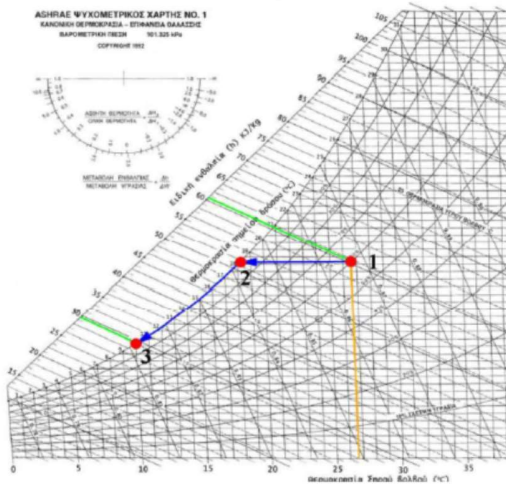
Άσκηση 4

Ρεύμα υγρού αέρα $4,72\text{m}^3/\text{sec}$, θερμοκρασίας $T_{db1}=26,7^\circ\text{C}$ και σχετικής υγρασίας 60% ψύχεται, μέχρι να προκύψει κορεσμένος αέρας με θερμοκρασία $T_{db2}=10^\circ\text{C}$.
 Να βρεθεί η αποβαλλόμενη θερμική ισχύς από τον αέρα στη συσκευή.

Λύση:

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

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



• 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:

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

• Αποβαλλόμενη θερμική ισχύς:

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

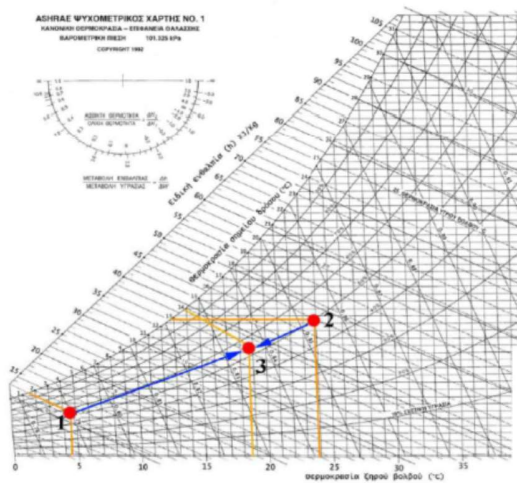
$$q_{13} = 5,44 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \cdot \left[(60,5 - 29,7) \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} - 41,84 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \cdot (0,0133 - 0,0078) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

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

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.

Λύση:



- 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:

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

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

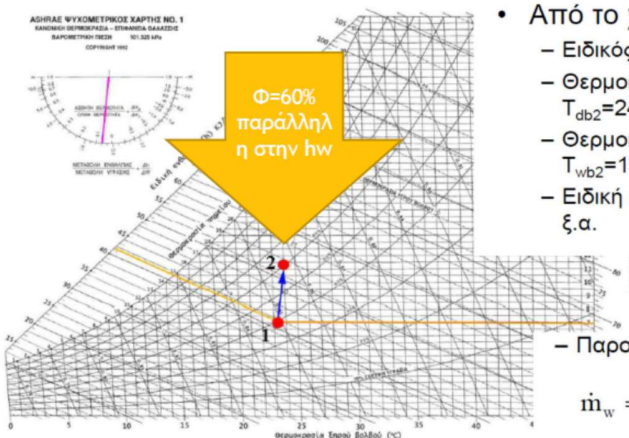
$$T_{db3}=18,9^\circ\text{C}$$

$$T_{wb3}=13,8^\circ\text{C}$$

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 $1,20\text{m}^3/\text{sec}$.

Λύση:



- 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:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot (w_2 - w_1) \Leftrightarrow \dot{m}_w = \frac{\dot{V}_a}{u_1} \cdot (w_2 - w_1) \Leftrightarrow$$
$$\dot{m}_w = \frac{1,20\text{ m}^3/\text{sec}}{0,845\text{ m}^3/\text{kg}} \cdot (0,0114 - 0,007) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \Leftrightarrow$$
$$\dot{m}_w = 0,0062 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \Leftrightarrow \dot{m}_w = 6,2 \frac{\text{gr}}{\text{sec}}$$

Άσκηση 7:

Σε ψυκτική συσκευή εισέρχονται $0,20\text{m}^3/\text{sec}$ αέρα θερμοκρασίας ξηρού βολβού $T_{db1}=26,7^\circ\text{C}$ και υγρού βολβού $T_{wb1}=22,1^\circ\text{C}$ και εξέρχονται σε θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_{db4}=13,3^\circ\text{C}$ και υγρού βολβού $T_{wb4}=12,8^\circ\text{C}$.

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.

Λύση:

- 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: $T_{adp}=7,22^\circ\text{C}$.

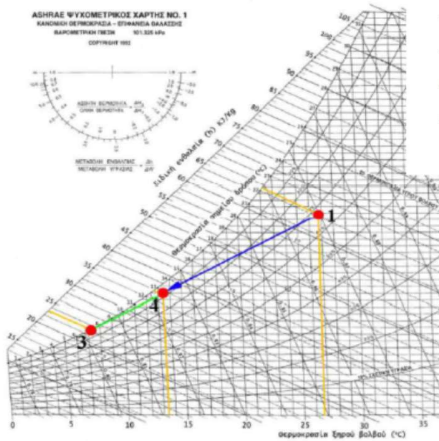
- Παροχή μάζας εισερχόμενου αέρα:

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

- Αποβαλλόμενη θερμική ισχύς:

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

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



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.

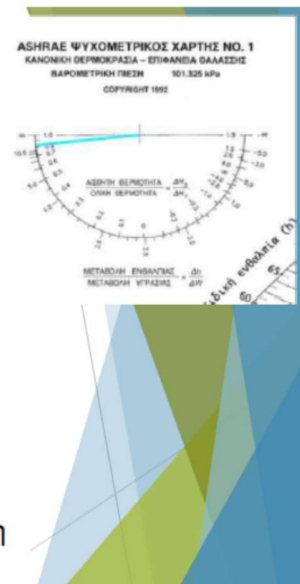
Λύση:

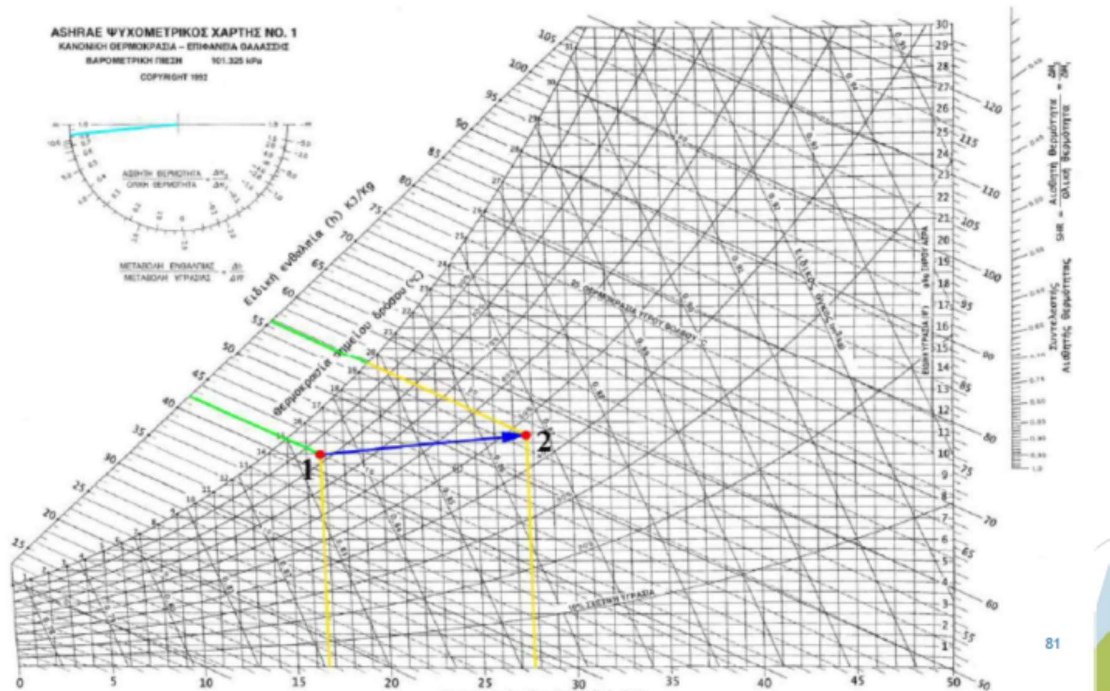
- Με βάση τα δεδομένα έχουμε:

$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = \frac{q_a + \sum(\dot{m}_w \cdot h_w)}{\sum \dot{m}_w} \Leftrightarrow \frac{\Delta h}{\Delta w} = \frac{11,72 + 2,58 \text{ kJoule/sec}}{0,001 \text{ kg/sec}} \Leftrightarrow$$
$$\frac{\Delta h}{\Delta w} = 14.300 \frac{\text{kJoule}}{\text{kg}}$$

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

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





- 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: $h_1 = 42 \text{ kJoule/kg}$
- Ειδική ενθαλπία αέρα κατάστασης 2: $h_2 = 55,8 \text{ kJoule/kg}$

- Παροχή μάζας αέρα:

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

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

- Παροχή όγκου αέρα:

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

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

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 $\varphi_2=40\%$. 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 $\varphi_1=20\%$. 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 $\varphi_1=20\%$ 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 $\varphi_2=40\%$ 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:

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

Παρατηρούμε ότι το σημείο 2, που αναπαριστά την επιθυμητή κατάσταση κλιματιζόμενου χώρου, παρουσιάζει υψηλότερη ειδική υγρασία $w_2=5,8\text{gr/kg}$ από την ειδική υγρασία $w_1=5,3\text{gr/kg}$ του θερμού αέρα που εισέρχεται στο χώρο από την κλιματιστική συσκευή. Συνεπώς, προκειμένου να μην ξηραθεί σταδιακά ο κλιματιζόμενος χώρος, ο εισερχόμενος αέρας χρειάζεται ύγρανση. Η απαιτούμενη παροχή μάζας υδρατμών δίνεται από τον αντίστοιχο ισολογισμό:

$$\dot{m}_a w_1 + \sum \dot{m}_w = \dot{m}_a w_2 \Leftrightarrow \sum \dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot (w_2 - w_1) \Leftrightarrow \sum \dot{m}_w = 1,215 \frac{\text{kg}_{\xi a}}{\text{s}} \cdot (5,8 - 5,3) \frac{\text{gr}_{\text{υδρ}}}{\text{kg}_{\xi a}} \Leftrightarrow \sum \dot{m}_w = 0,6075 \frac{\text{gr}_{\text{υδρ}}}{\text{s}}$$

