



Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός II

Ψυχομετρία

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης



Ξηρός και υγρός ατμοσφαιρικός αέρας

Ξηρός και υγρός ατμοσφαιρικός αέρας

- Ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας:

ο απαλλαγμένος από τους υδρατμούς ατμοσφαιρικός αέρας, αποτελείται δε από μίγμα των αερίων αζώτου, οξυγόνου, αργού, διοξειδίου του άνθρακα και ιχνών των αερίων ηλίου, υδρογόνου, ξένου, κρυπτού κλπ.

- Υγρός ατμοσφαιρικός αέρας:

ο πραγματικός ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος περιέχει μικρή ποσότητα υδρατμών, που στις κανονικές συνθήκες μπορεί να φθάσει έως 3% κατά μάζα, συνεπώς ο υγρός ατμοσφαιρικός αέρας είναι μίγμα ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα και υδρατμών.

Πίεση υγρού ατμοσφαιρικού αέρα

- Νόμος μερικών πιέσεων του Dalton:

Η συνολική πίεση ενός μίγματος αερίων είναι ίση με το άθροισμα των μερικών πιέσεων των αερίων που το αποτελούν.

- Μερική πίεση στοιχείου μίγματος:

Είναι η πίεση που έχει το στοιχείο του μίγματος, όταν στην ίδια θερμοκρασία με το μίγμα καταλαμβάνει όγκο ίσο με το συνολικό όγκο μίγματος.

- Πίεση υγρού ατμοσφαιρικού αέρα:

Ισούται με το άθροισμα των μερικών πιέσεων του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα P_α και των υδρατμών P_w :

$$P = P_\alpha + P_w$$

Πίεση υγρού ατμοσφαιρικού αέρα

- Σε συνήθεις εφαρμογές, και ιδιαίτερα όταν ο υγρός ατμοσφαιρικός αέρας είναι σε κατάσταση ξηρότερη από το σημείο δρόσου, η μερική πίεση των υδρατμών είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτή του υγρού ατμοσφαιρικού αέρα, δηλαδή: $P_w < 0,05 \cdot P$.
- Στην περίπτωση αυτή ο υγρός ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να θεωρηθεί ότι συμπεριφέρεται ως τέλειο αέριο κατά προσέγγιση, και, συνεπώς, ισχύουν οι νόμοι των τελείων αερίων και η γενική καταστατική εξίσωση:
 - $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$, $R = 8,314 \text{ Joule/mole} \cdot \text{K}$ στο S.I. η παγκόσμια σταθερά ιδανικών αερίων
 - $P \cdot V = n \cdot M \cdot R' \cdot T$, $R' = R/M$, η σταθερά του αερίου
 - $P \cdot V = m \cdot R' \cdot T$ ($m = nM$)
 - $P = \rho \cdot R' \cdot T$ ($\rho = m/V$).

Μάζα και όγκος ατμοσφαιρικού αέρα

- Συνολική μάζα υγρού ατμοσφαιρικού αέρα:

$$m_{\text{υα}} = m_{\alpha} + m_w$$

- Συνολικός όγκος υγρού ατμοσφαιρικού αέρα:

$$V_{\text{υα}} = V_{\alpha} + V_w$$

Ορισμοί

- Ειδική υγρασία ή λόγος υγρότητας ή περιεχόμενο υγρασίας:

Ονομάζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών προς τη μάζα του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα στην οποία περιέχεται. Συμβολίζεται με w και μετριέται σε kg υδρατμού προς kg ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα:

$$w = m_w / m_a$$

- Απόλυτη υγρασία:

Ονομάζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών που περιέχεται στον όγκο του ατμοσφαιρικού αέρα προς τον όγκο αυτό. Μετριέται σε kg ή gr υδρατμών προς m^3 υγρού ατμοσφαιρικού αέρα: $u = m_w / V_{ua}$

Ορισμοί

- Κατάσταση κορεσμού υγρού ατμοσφαιρικού αέρα:

Είναι η κατάσταση στην οποία μπορεί να βρεθεί ο υγρός ατμοσφαιρικός αέρας, κατά την οποία έστω και η ελάχιστη ψύξη του προκαλεί υγροποίηση μέρους των υδρατμών που περιέχει. Συνεπώς, η επιφάνεια ψυχρότερων αντικειμένων που τοποθετούνται εντός του κορεσμένου ατμοσφαιρικού αέρα καλύπτεται από δρόσο.

Ορισμοί

- Σημείο δρόσου υγρού ατμοσφαιρικού αέρα:
 - Αν σε μη κορεσμένο υγρό αέρα τοποθετηθεί στερεό σώμα, του οποίου η θερμοκρασία μειώνεται συνεχώς, τη στιγμή που πάνω στην επιφάνεια του στερεού σώματος εμφανιστούν σταγονίδια υγροποιημένου υδρατμού, τότε η θερμοκρασία αυτή είναι το σημείο δρόσου του αέρα αυτού.
 - Είναι φανερό ότι όταν ο αέρας είναι κορεσμένος, το σημείο δρόσου του συμπίπτει με τη θερμοκρασία του.
 - Γι' αυτό, όταν ο κορεσμένος αέρας ψυχθεί έστω και λίγο, οπότε η θερμοκρασία του πέσει κάτω από το σημείο δρόσου του, τότε δημιουργούνται σταγονίδια που αιωρούνται μέσα στον κορεσμένο αέρα και δημιουργούν ομίχλη.

Ορισμοί

- Σχετική υγρασία:
 - Είναι ο λόγος της μερικής πίεσης υδρατμών που περιέχονται σε υγρό ατμοσφαιρικό αέρα προς τη μερική πίεση των υδρατμών στον ίδιο αέρα όταν αυτός είναι κορεσμένος (για τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας). Συμβολίζεται με ϕ .
 - Για θερμοκρασίες αέρα μικρότερες των 150°F (65°C) και πίεση κανονική, ο ανωτέρω ορισμός είναι ισοδύναμος με τον ορισμό κατά τον οποίο σχετική υγρασία είναι ο λόγος της απόλυτης υγρασίας του αέρα προς την απόλυτη υγρασία του αέρα όταν είναι κορεσμένος (για τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας).
 - $\Theta(^{\circ}\text{C}) = [\Theta(^{\circ}\text{F}) - 32] \cdot 5/9$ & $\Theta(^{\circ}\text{F}) = 9/5 \cdot \Theta(^{\circ}\text{C}) + 32$.

Ορισμοί

- Βαθμός ή λόγος κορεσμού:
 - Ονομάζεται ο λόγος της ειδικής υγρασίας του αέρα προς την ειδική υγρασία του αέρα όταν είναι κορεσμένος (για τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας). Συμβολίζεται με μ .
 - Επειδή η μερική πίεση υδρατμών είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με την πίεση του μίγματος, μπορεί να γίνει δεκτό ότι ο βαθμός κορεσμού ισούται με τη σχετική υγρασία του αέρα.

Ορισμοί

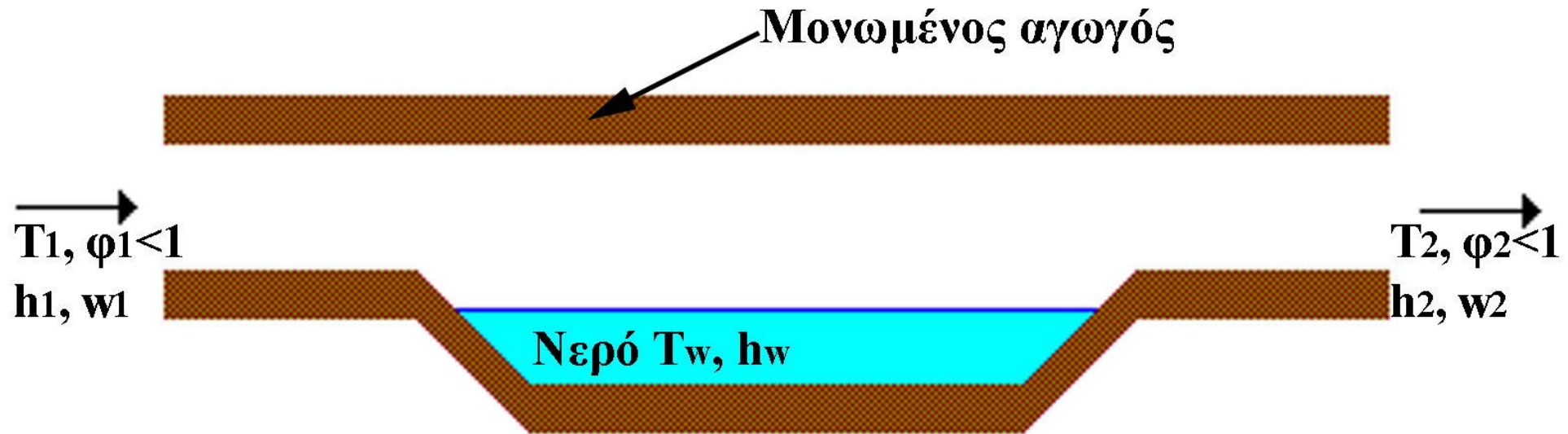
- Ειδικός όγκος αέρα:
 - Ονομάζεται ο λόγος του όγκου του υγρού αέρα προς τη μάζα του ξηρού αέρα και μετριέται σε m^3 υγρού αέρα προς kg ξηρού αέρα. Συμβολίζεται με $u = V_{\text{υ.α.}}/m_{\text{ξ.α.}}$.
- Ανηγμένος όγκος αέρα:
 - Ονομάζεται ο λόγος του όγκου του υγρού αέρα προς τη μάζα του υγρού αέρα και μετριέται σε m^3 υγρού αέρα προς kg υγρού αέρα.

Οι δύο ανωτέρω όγκοι διαφέρουν μεταξύ τους μόνο ως προς την ποσότητα υδρατμών που περιέχεται στον υγρό αέρα, η οποία όμως είναι πολύ μικρή. Συνεπώς, κατά προσέγγιση μπορεί να γίνει δεκτό ότι είναι ίσοι.

Ορισμοί

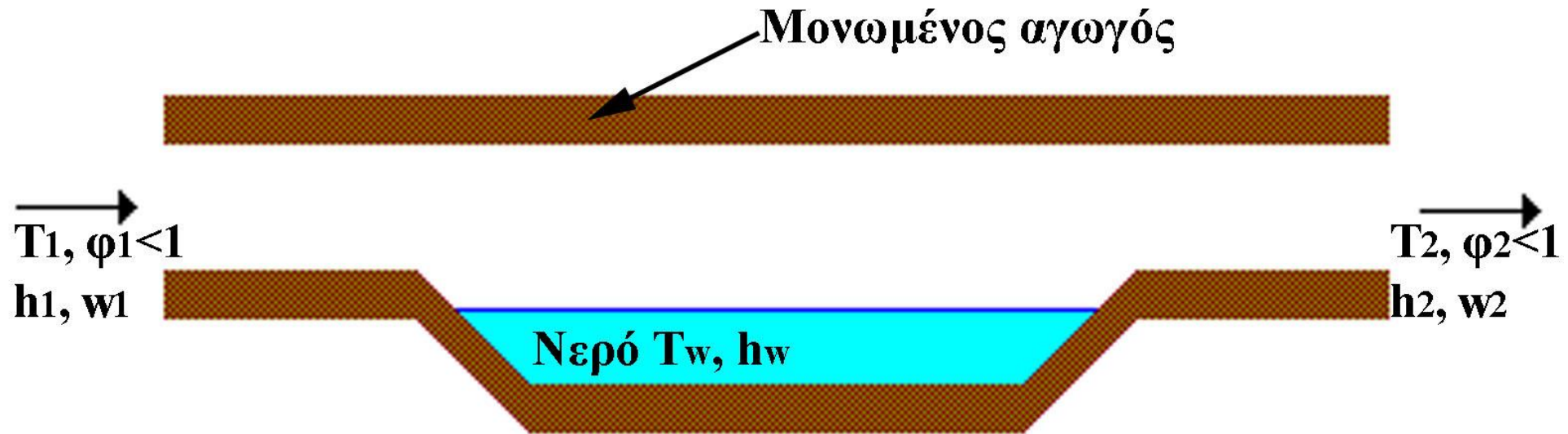
- Ανηγγμένη ή ειδική ενθαλπία:
 - Ονομάζεται ο λόγος της ενθαλπίας του υγρού αέρα προς τη μάζα του ξηρού αέρα και μετριέται σε Joule προς kg ξηρού αέρα.
- Ενθαλπία:
 - Ενθαλπία είναι το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας ενός σώματος και του γινομένου της εξωτερικής πίεσης επί του όγκου που καταλαμβάνει μια ουσία:
$$H = U + p \cdot V$$
 - Με τον όρο Ενθαλπία, που προέρχεται από το ρήμα ενθάλπω = ζεσταίνω, περιθάλπω, χαρακτηρίζεται η ενέργεια που προσφέρεται κατά τη θέρμανση ουσιών και που εγκλωβίζεται στα μόριά τους. Συνέπεια αυτού είναι ότι τα μόρια αυτά έχουν μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο από τα αρχικά μόρια. Έτσι με την ενθαλπία εκφράζεται το θερμικό περιεχόμενο κάθε χημικού συστήματος και συμβολίζεται με το γράμμα H.
 - Η ενέργεια αυτή οφείλεται στις δυνάμεις των χημικών δεσμών που συγκρατούν τα άτομα μέσα στο μόριο, αλλά και στη κίνηση των ατόμων, των ηλεκτρονίων καθώς και του ίδιου του μορίου.

Αδιαβατική ύγρανση



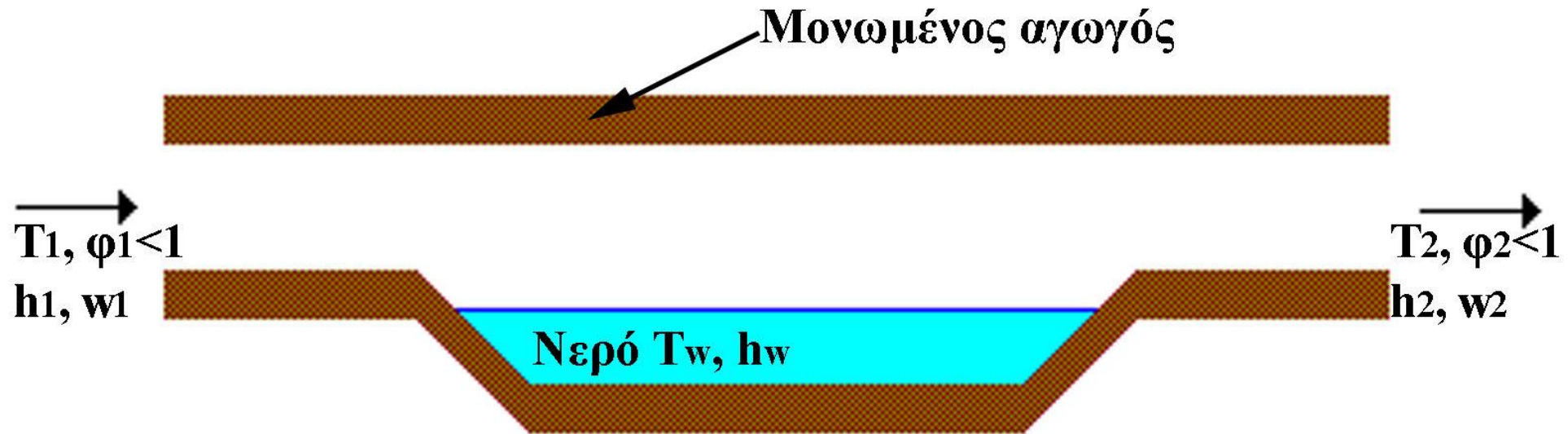
- Έστω υγρός, μη κορεσμένος αέρας αρχικής κατάστασης 1 (θερμοκρασίας T_1 και σχετικής υγρασίας $\phi_1 < 1$) που διέρχεται όπως στο σχήμα πάνω από μεγάλη επιφάνεια νερού θερμοκρασίας $T_w = T_1$.
- Όλο το σύστημα θεωρείται θερμικά απομονωμένο από το περιβάλλον.

Αδιαβατική ύγρανση



- Λόγω της μεγάλης επιφάνειας του νερού και επειδή ο αέρας δεν είναι κορεσμένος, θα αρχίσει η ύγρανσή του λόγω της εξάτμισης νερού, απορροφώντας θερμότητα το νερό από τον αέρα.
- Κατά την εξέλιξη του φαινομένου, η κατάσταση 2 στην έξοδο του αέρα θα είναι $T_2 < T_w < T_1$.

Αδιαβατική ύγρανση



- Η θερμοκρασία του νερού T_w μειώνεται με την εξάτμιση, συνεπώς μειώνεται και ο ρυθμός της εξάτμισης.
- Κάποια στιγμή σταματά η περαιτέρω πτώση της θερμοκρασίας του νερού και η απαιτούμενη θερμότητα εξάτμισης δίνεται πλέον από τον αέρα.

Θερμοκρασία υγρού και ξηρού βολβού

- Θερμοκρασία υγρού βολβού:
 - Η τελική θερμοκρασία του υγρού αέρα στην έξοδο από την αδιαβατική ύγρανση ονομάζεται Θερμοκρασία Υγρού Βολβού. Η φυσική της σημασία είναι ότι είναι η ελάχιστη θερμοκρασία που μπορεί να φτάσει η θερμοκρασία υγρού αέρα αποκλειστικά λόγω της εξάτμισης νερού. Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι αυτή που αισθανόμαστε όταν εκθέσουμε κάποιο σημείο μουσκεμένου ανθρώπινου σώματος σε διερχόμενο ρεύμα αέρα. Συμβολίζεται με T_{WB} .
- Θερμοκρασία ξηρού βολβού:
 - Ονομάζεται έτσι η συνήθης θερμοκρασία του υγρού αέρα, για να διακρίνεται από τη θερμοκρασία υγρού βολβού (T_{dB}).

Μέτρηση θερμοκρασίας υγρού και ξηρού βολβού

- Θερμοκρασία ξηρού βολβού:
 - Μετριέται με τα συνήθη υδραργυρικά θερμοόμετρα. Κατά τη μέτρηση αυτή θα πρέπει ο βολβός του θερμομέτρου (δεξαμενή υδραργύρου) να είναι ξηρός, δηλαδή απαλλαγμένος από υγρασία. Επίσης δεν θα πρέπει να είναι εκτεθειμένος σε ακτινοβολία. Και στις δύο περιπτώσεις η μέτρηση θα είναι λανθασμένη.
- Θερμοκρασία υγρού βολβού:
 - Μετριέται επίσης με τα συνήθη υδραργυρικά θερμοόμετρα, όπου ο βολβός του θερμομέτρου θα πρέπει να περιβληθεί με γάζα νοτισμένη με νερό και να εκτεθεί στη συνέχεια σε ρεύμα αέρα, δηλαδή σε συνθήκες ταχείας εξάτμισης.

Ψυχρόμετρα

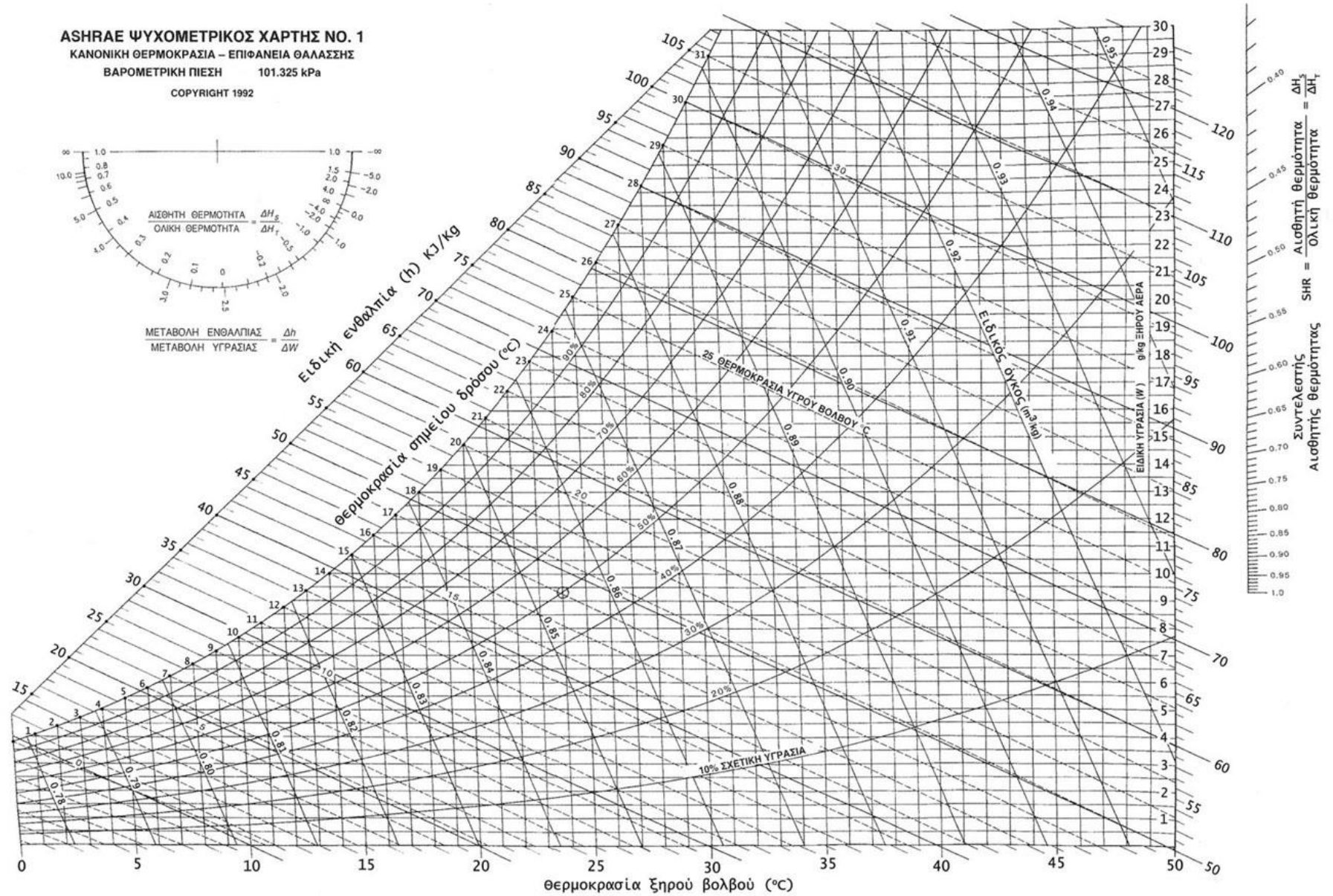
- Το ψυχρόμετρο το εφηύρε το 1890 ο Γερμανός Richard Assman, εξ' ου και το όνομά του «απορροφητικό ψυχρόμετρο Άσμαν». Αποτελείται από ένα ζεύγος υδραργυρικών θερμομέτρων όπου η κάτω άκρη μόνο του ενός, (δηλαδή το δοχείο του υδραργύρου του) σκεπάζεται από ύφασμα μουσελίνας που φέρει φυτίλι, η άκρη του οποίου καταλήγει βυθισμένη σε δοχείο με αποσταγμένο νερό. Έτσι το θερμομέτρο αυτό υγραίνεται συνεχώς σε αντίθεση με το άλλο του ζεύγους, που παραμένει ξηρό.
- Όταν η ατμόσφαιρα είναι υγρή δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο θερμομέτρων του ψυχρόμετρου. Αν όμως είναι ξηρή τότε η εξάτμιση στο υγρό θερμομέτρο είναι μεγάλη με συνέπεια η θερμοκρασία μεταξύ υγρού και ξηρού θερμομέτρου να παρουσιάζει μεγαλύτερη διαφορά.



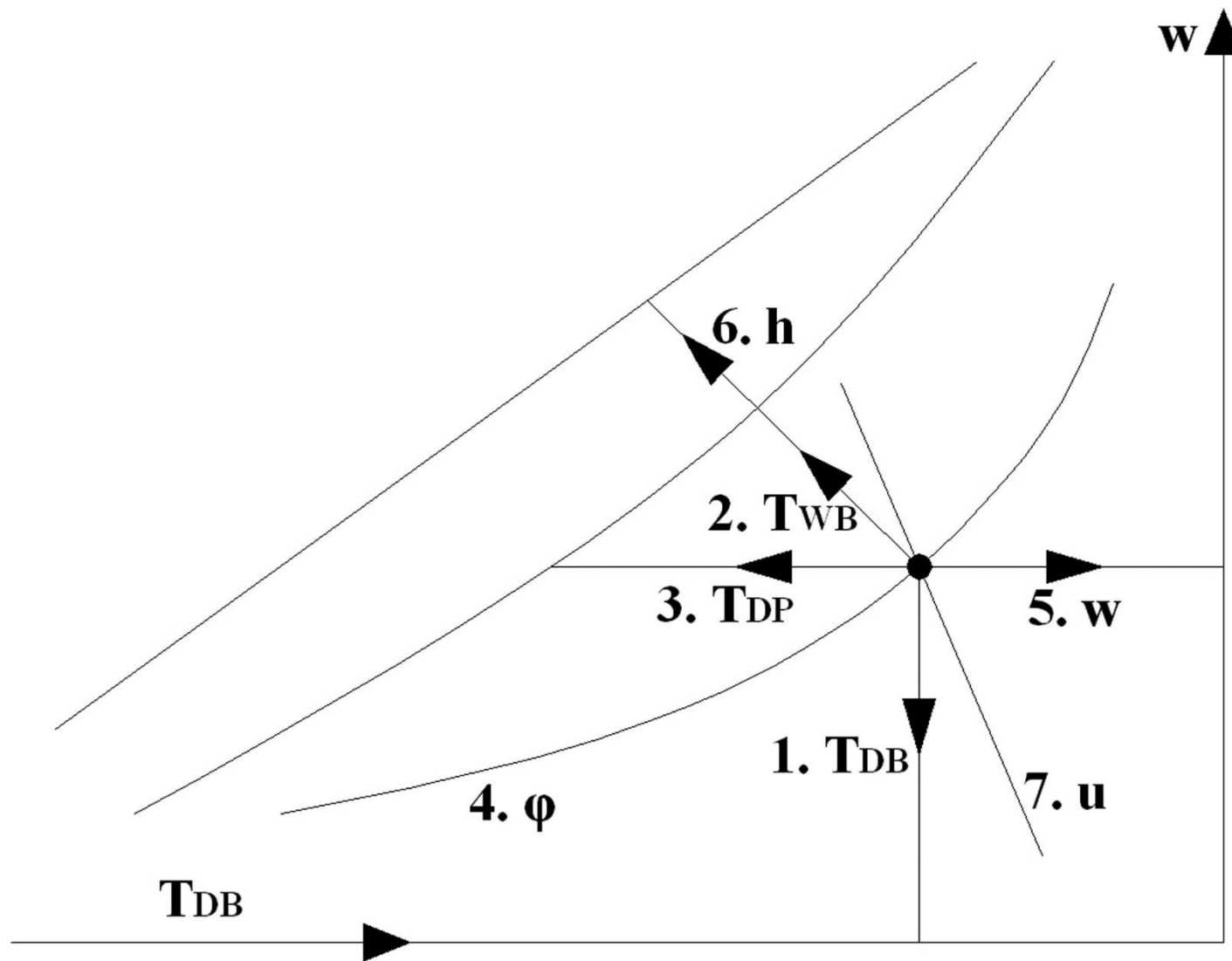


Ψυχομετρικός χάρτης

Ψυχομετρικός χάρτης



Ψυχομετρικός χάρτης



Ψυχομετρικός χάρτης

- Θερμοκρασία ξηρού βολβού (T_{db}):
 - Αναφέρεται στον κάτω οριζόντιο άξονα του χάρτη σε °C, τα δε σημεία του αέρα που έχουν την ίδια θερμοκρασία ξηρού βολβού βρίσκονται σε ευθείες σχεδόν κάθετες προς τον οριζόντιο άξονα.
- Θερμοκρασία υγρού βολβού (T_{wb}):
 - Οι ισοθερμοκρασιακές υγρού βολβού είναι λοξές ευθείες που μετρούνται πάνω στη διαγώνιο καμπύλη κορεσμού του χάρτη.
- Θερμοκρασία σημείου δρόσου (T_{dp}):
 - Δίνεται από οριζόντιες ευθείες και μετριέται μαζί με τη θερμοκρασία υγρού βολβού πάνω στην καμπύλη κορεσμού του χάρτη.

Ψυχομετρικός χάρτης

- Σχετική υγρασία ϕ :
 - Δίνεται από τις καμπύλες του χάρτη σε %.
- Ειδική υγρασία w :
 - Μετριέται στο δεξιό κάθετο άξονα του χάρτη. Οι γραμμές σταθερής ειδικής υγρασίας είναι ευθείες οριζόντιες.
- Ειδική ενθαλπία h :
 - Μετριέται στο αριστερό μέρος του χάρτη, στη διαγώνια κλίμακα. Σημεία με την ίδια ειδική ενθαλπία βρίσκονται πάνω σε λοξές ευθείες. Οι ευθείες αυτές διαφέρουν λίγο ως προς την κλίση από τις ευθείες σταθερής θερμοκρασίας υγρού βολβού.
- Ειδικός όγκος v :
 - Οι ευθείες σταθερού ειδικού όγκου είναι παράλληλες μεταξύ τους και λοξές ως προς την οριζόντια κλίμακα.

Ψυχομετρικός χάρτης

Παράδειγμα:

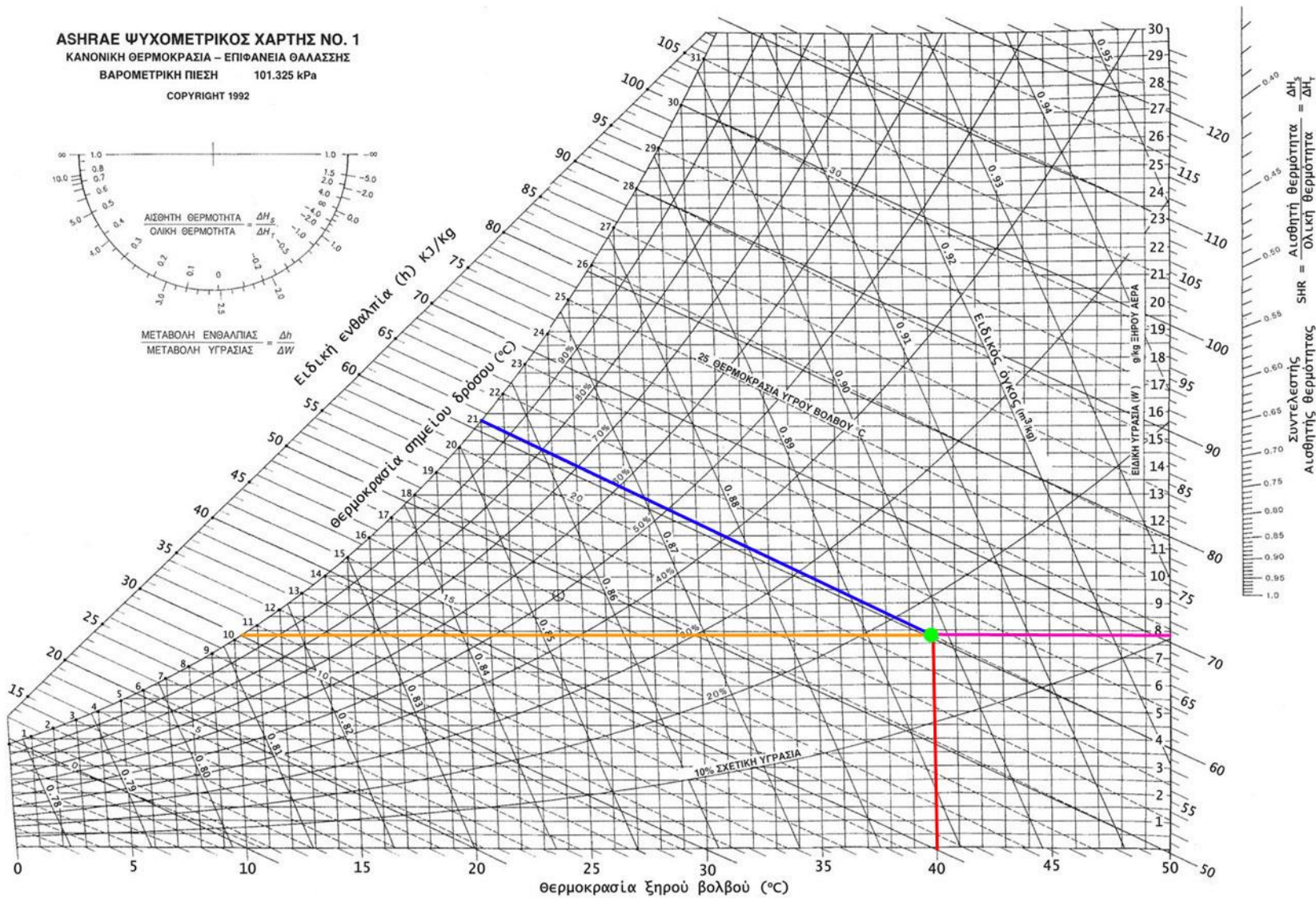
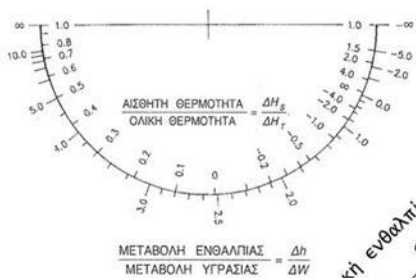
Δίνεται υγρός αέρας θερμοκρασίας ξηρού βολβού $T_{db} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ θερμοκρασίας υγρού βολβού $T_{wb} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$. Να βρεθούν από τον ψυχομετρικό χάρτη τα λοιπά θερμοδυναμικά μεγέθη του υγρού ατμοσφαιρικού αέρα.

Από το χάρτη βρίσκουμε:

- Ειδική ενθαλπία: $h = 61 \text{ KJ/kg}$
- Σχετική υγρασία: $\phi = 17\%$
- Ειδική υγρασία: $w = 7,8 \text{ gr υδρατμών/kg ξηρού αέρα}$
- Σημείο δρόσου: $T_{dp} = 10,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Ειδικός όγκος αέρα: $u = 0,898 \text{ m}^3/\text{kg ξηρού αέρα}$.

Ψυχομετρικός χάρτης

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

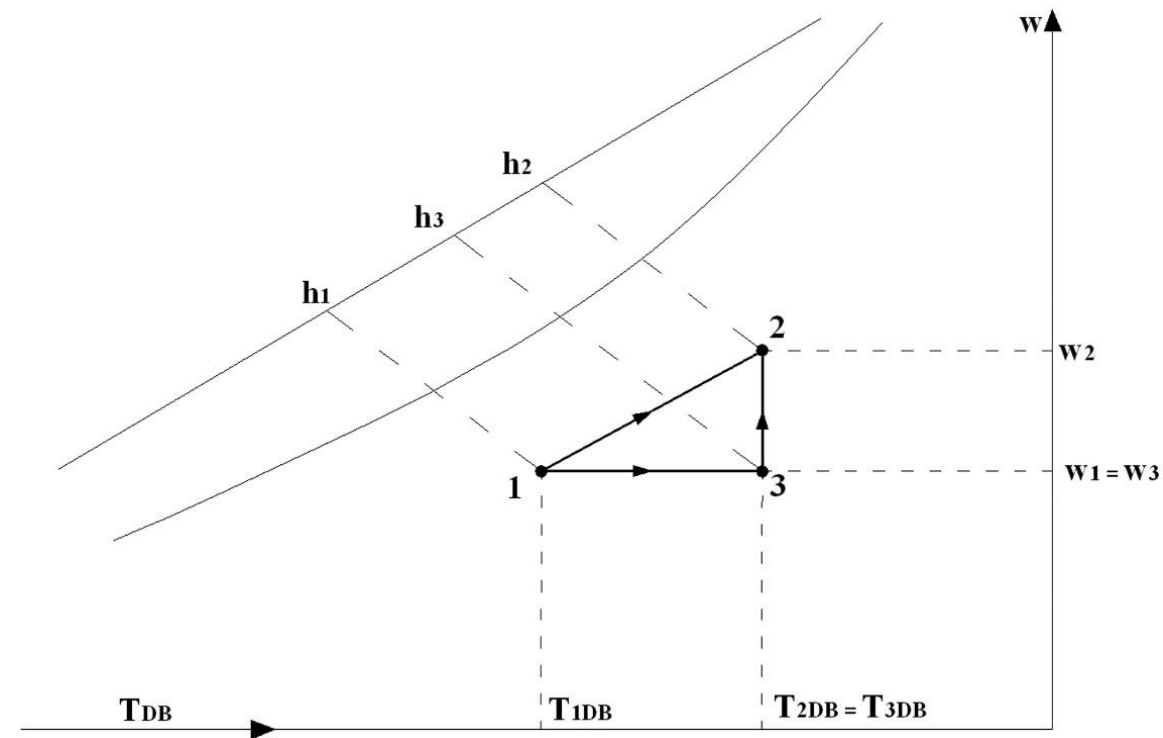




Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα

Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα

- 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 και λανθάνουσα θερμότητα

- Αισθητή θερμότητα:

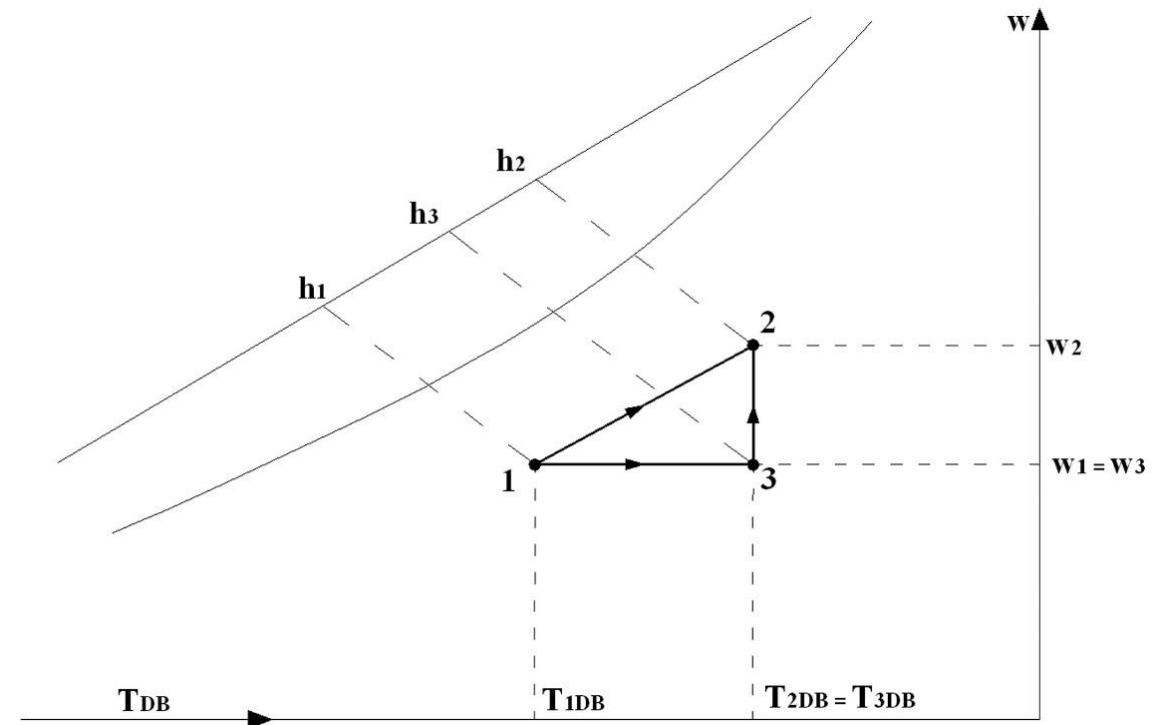
Ονομάζεται η ποσότητα: $q_{\alpha} = h_3 - h_1$,

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:

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.



Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα

- Αισθητή θερμότητα (Sensible Heat):

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 (Latent Heat):

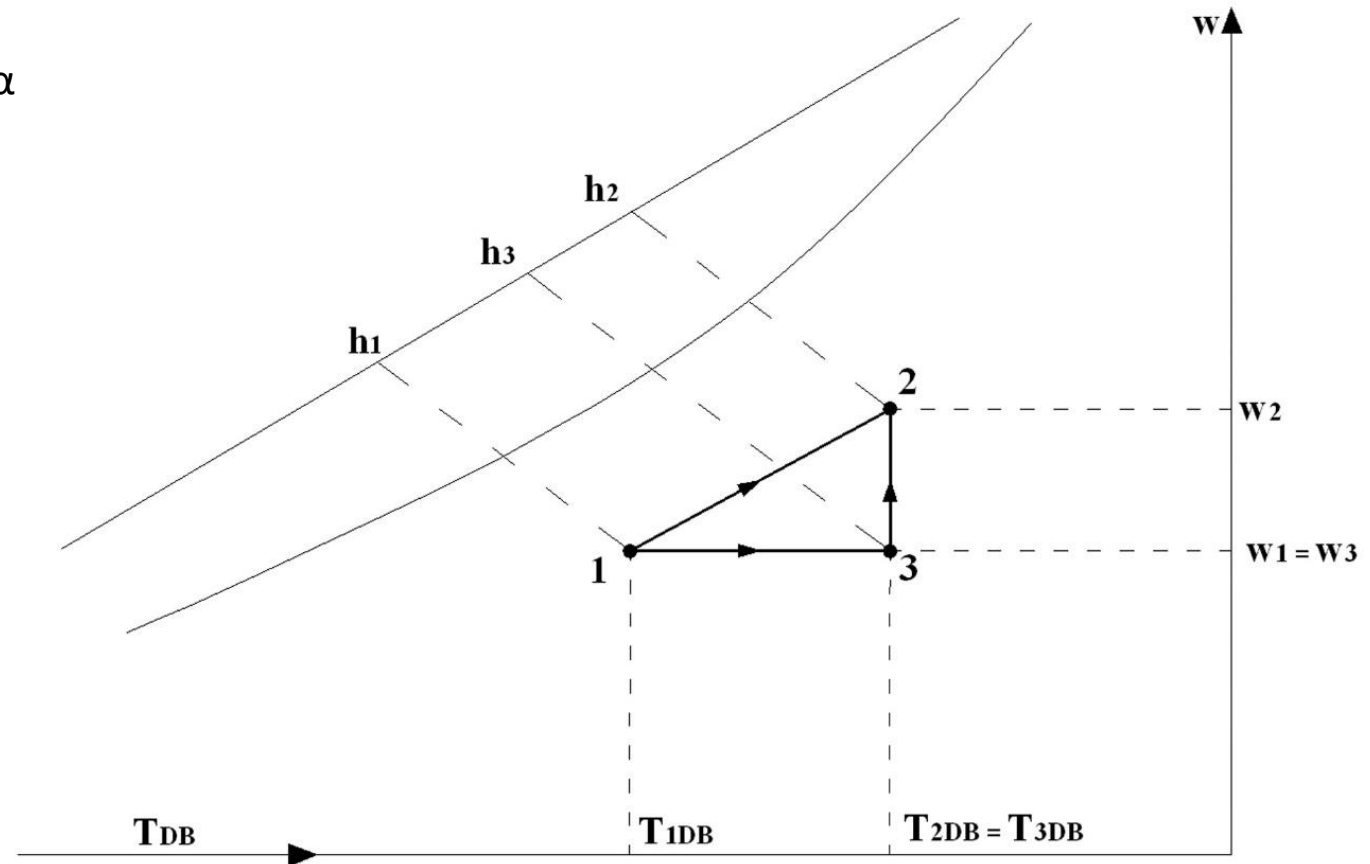
Η λανθάνουσα θερμότητα δεν επηρεάζει τη θερμοκρασία μιας ουσίας - για παράδειγμα, το νερό παραμένει ως έχει στους 100 °C ενώ βράζει. Η θερμότητα που προστίθεται για να συνεχίσει ο βρασμός του νερού είναι λανθάνουσα θερμότητα. Συνεπώς, η θερμότητα που επιφέρει αλλαγή στην κατάσταση αλλά δεν επιφέρει καμία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

Συνολική θερμότητα

- Συνολική θερμότητα:
Ονομάζεται η ποσότητα:

$$q_{\text{συν}} = h_2 - h_1 = (h_2 - h_3) + (h_3 - h_1) = q_{\lambda} + q_{\alpha}$$

δηλαδή το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας της μεταβολής του υγρού αέρα.



Παράγοντας αισθητής θερμότητας

- Παράγοντας αισθητής θερμότητας (Sensible Heat Factor):
Ονομάζεται η ποσότητα:

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

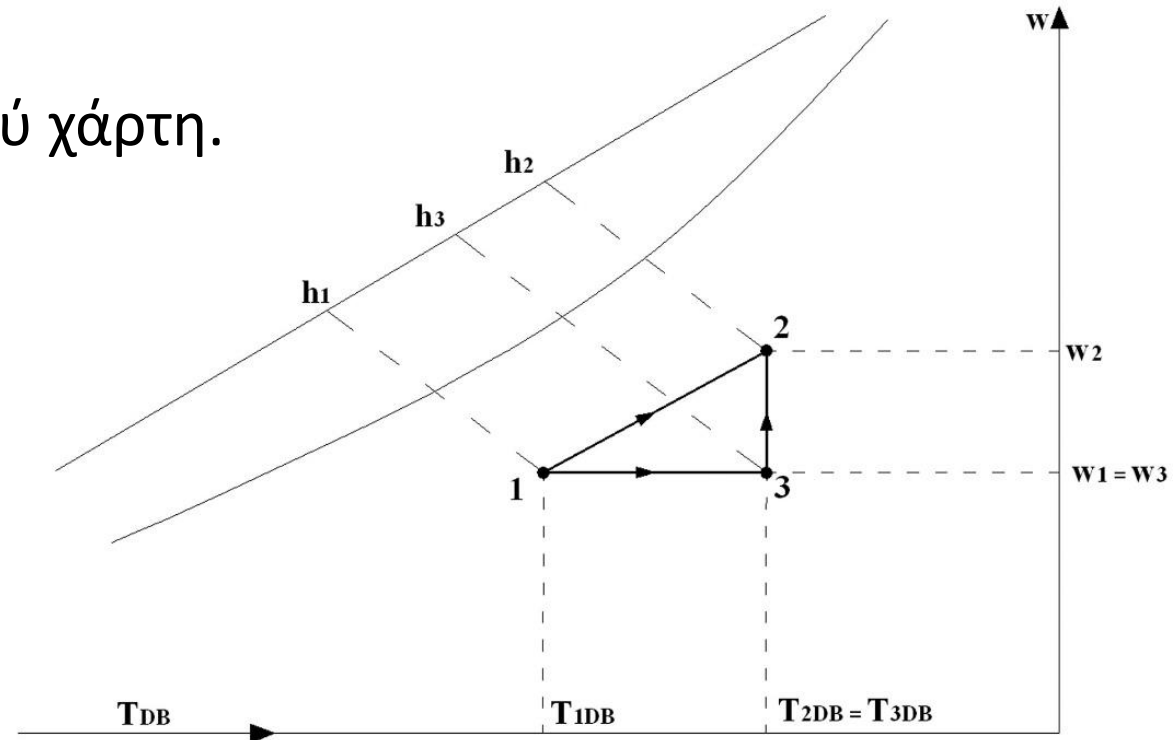
Παράγοντας αισθητής θερμότητας

- Με τον παράγοντα αισθητής θερμότητας ορίζεται η κλίση της καταστατικής ευθείας:

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

- 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:

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





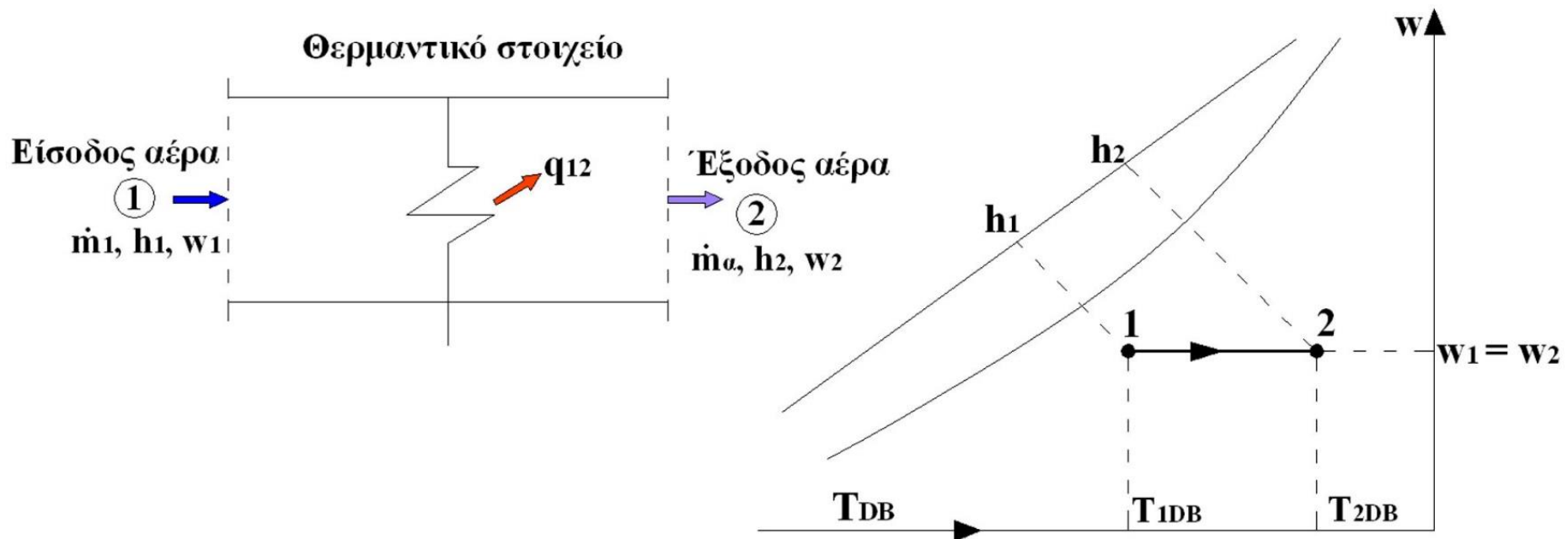
Μεταβολές κατάστασης αέρα

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.

Θέρμανση του 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 ($\Delta w = 0$).



Θέρμανση του αέρα χωρίς μεταβολή της υγρασίας

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

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

- Επίσης ισχύει: $w_1 = w_2$

- Γενικά, τέλος, θα πρέπει να είναι γνωστή η σχέση: $\dot{m}_\alpha = \frac{\dot{V}_\alpha}{u}$

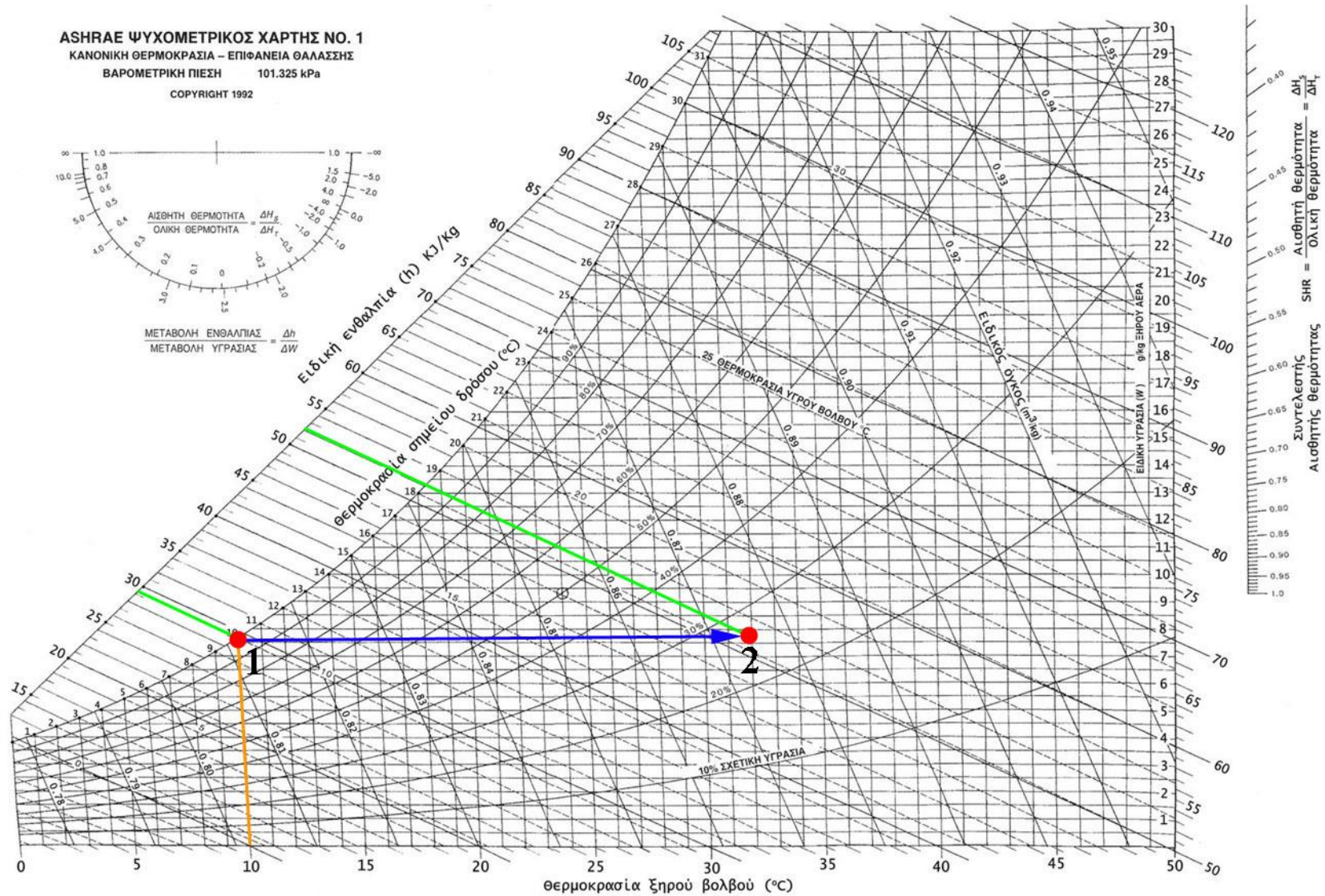
όπου \dot{m} η παροχή μάζας (σε kg/s), \dot{V} η παροχή όγκου (σε m³/s) και u ο ειδικός όγκος του υγρού ατμοσφαιρικού αέρα (m³/kg).



Παράδειγμα θέρμανσης του αέρα χωρίς μεταβολή της υγρασίας

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

Παράδειγμα θέρμανσης του αέρα χωρίς μεταβολή της υγρασίας



Παράδειγμα θέρμανσης του αέρα χωρίς μεταβολή της υγρασίας

- 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:

$$q_{12} = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow q_{12} = 36 \frac{\text{kg}}{3.600 \text{ s}} \cdot (52,2 - 29,4) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Leftrightarrow q_{12} = 228 \text{ W}$$

Ψύξη του αέρα χωρίς αφύγρανση

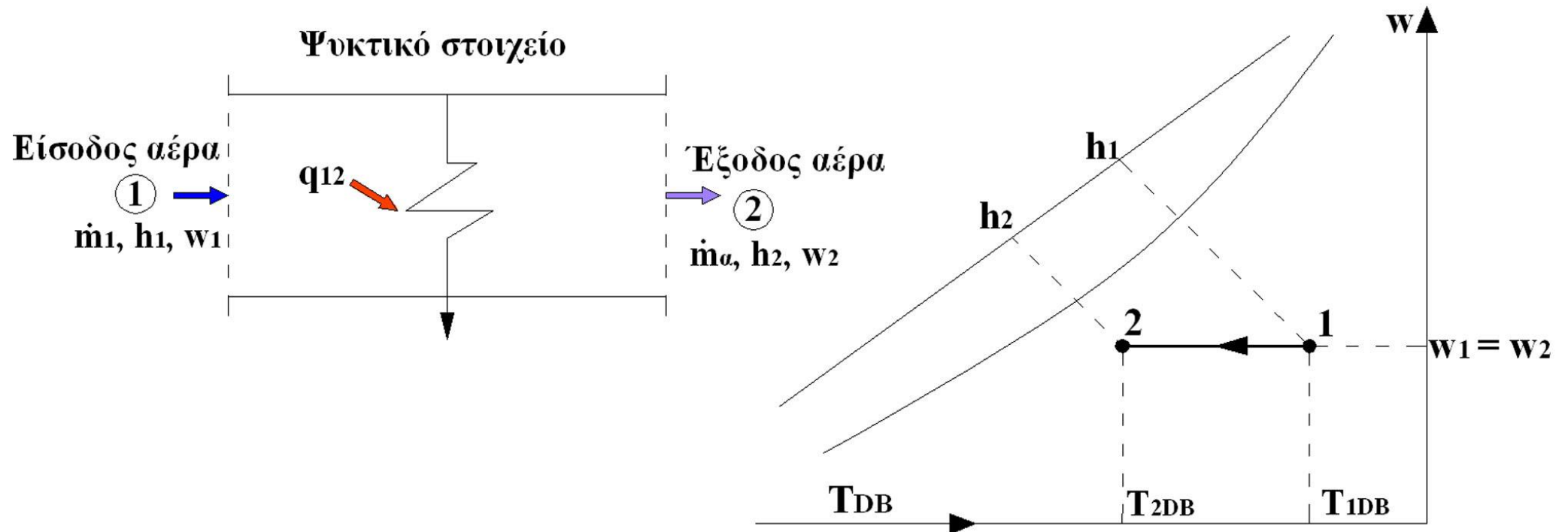
- Η ψύξη χωρίς αφύγρανση μπορεί να θεωρηθεί ως η αντίθετη μεταβολή της αισθητής θέρμανσης.
- Η μεταβολή παριστάνεται στον ψυχομετρικό χάρτη από οριζόντιο ευθύγραμμο τμήμα αντίθετης φοράς από την περίπτωση της θέρμανσης.
- Καθώς δεν υπάρχει αφύγρανση, δηλαδή κορεσμός του αέρα, το ευθύγραμμο τμήμα δεν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

Ψύξη του αέρα χωρίς αφύγρανση

- Κατά τη μεταβολή αυτή ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$w_1 = w_2$$

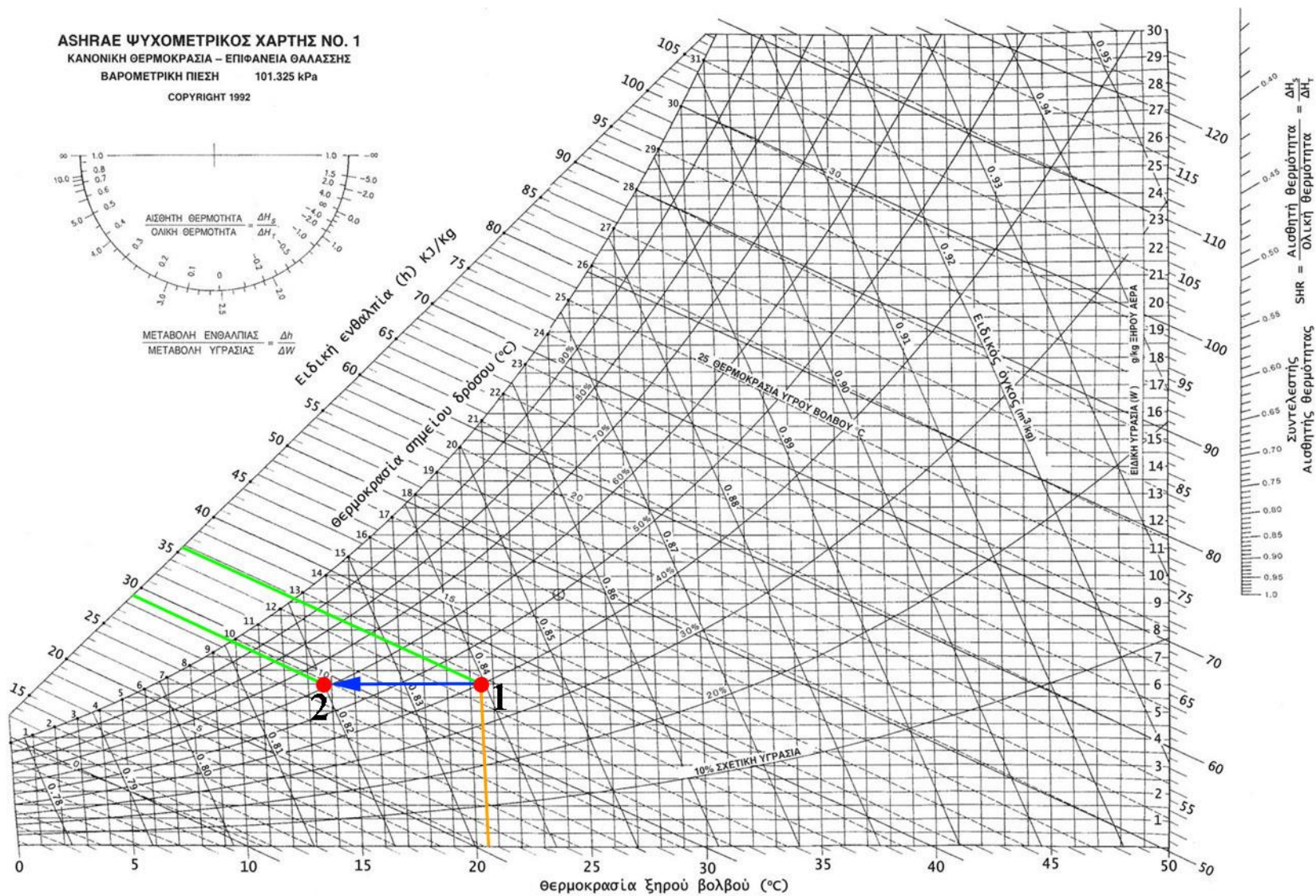
$$\dot{m}_a \cdot h_1 - q_{12} = \dot{m}_a \cdot h_2 \Leftrightarrow q_{12} = \dot{m}_a \cdot (h_1 - h_2)$$



Παράδειγμα ψύξης του αέρα χωρίς αφύγρανση

Ρεύμα αέρα $4,72 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 $T_{db1} = 20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ και $T_{wb1} = 12,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Στην έξοδο της συσκευής δίνεται η θερμοκρασία $T_{wb2} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Παράδειγμα ψύξης του αέρα χωρίς αφύγρανση



Παράδειγμα ψύξης του αέρα χωρίς αφύγρανση

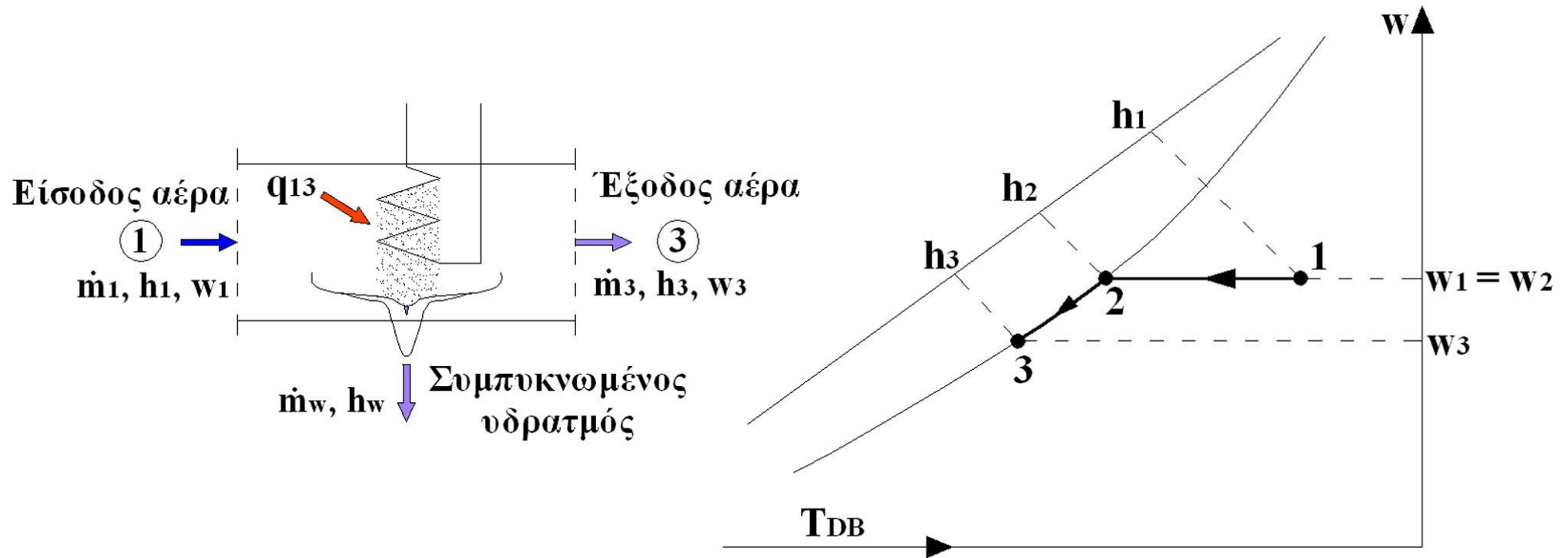
- Από το χάρτη βρίσκουμε:
 - Ειδική ενθαλπία κατάστασης 1: $h_1 = 35,8 \text{ kJ/kg}$
 - Ειδικός όγκος αέρα κατάστασης 1: $u_1 = 0,839 \text{ m}^3/\text{kg}$
 - Ειδική ενθαλπία κατάστασης 2: $h_2 = 29 \text{ kJ/kg}$

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

$$q_{12} = \dot{m}_\alpha \cdot (h_1 - h_2) \Rightarrow q_{12} = 5,63 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (35,8 - 29) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Leftrightarrow q_{12} = -38,284 \text{ kW}$$

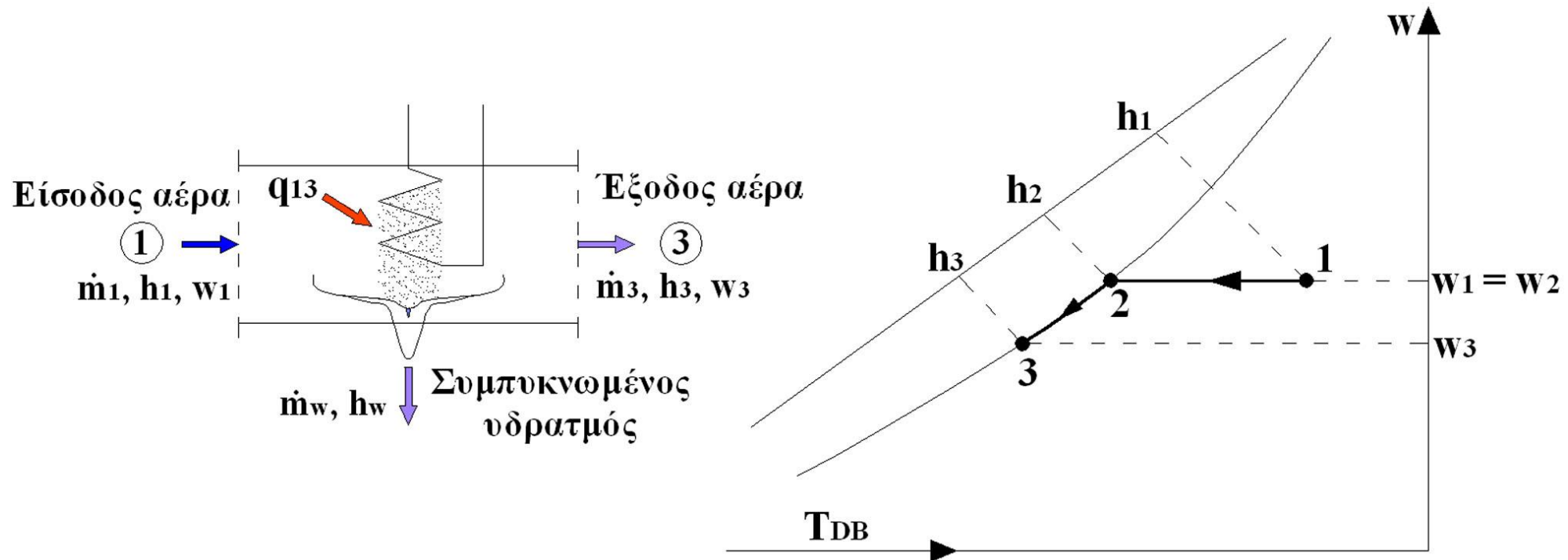
Ψύξη του αέρα με αφύγρανση

- 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.



Ψύξη του αέρα με αφύγρανση

- 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 $w_3 < w_1$.



Ψύξη του αέρα με αφύγρανση

- Ισχύουν οι σχέσεις:

Ισολογισμός μάζας νερού:

$$\dot{m}_a \cdot w_1 - \dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot w_3 \Leftrightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot (w_1 - w_3)$$

Ισολογισμός ισχύος:

$$\dot{m}_a \cdot h_1 - q_{13} - \dot{m}_w \cdot h_w = \dot{m}_a \cdot h_3 \Leftrightarrow q_{13} = \dot{m}_a \cdot (h_1 - h_3) - \dot{m}_w \cdot h_w$$

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

Κατά προσέγγιση: $h_w = 4,187 \cdot T_w \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

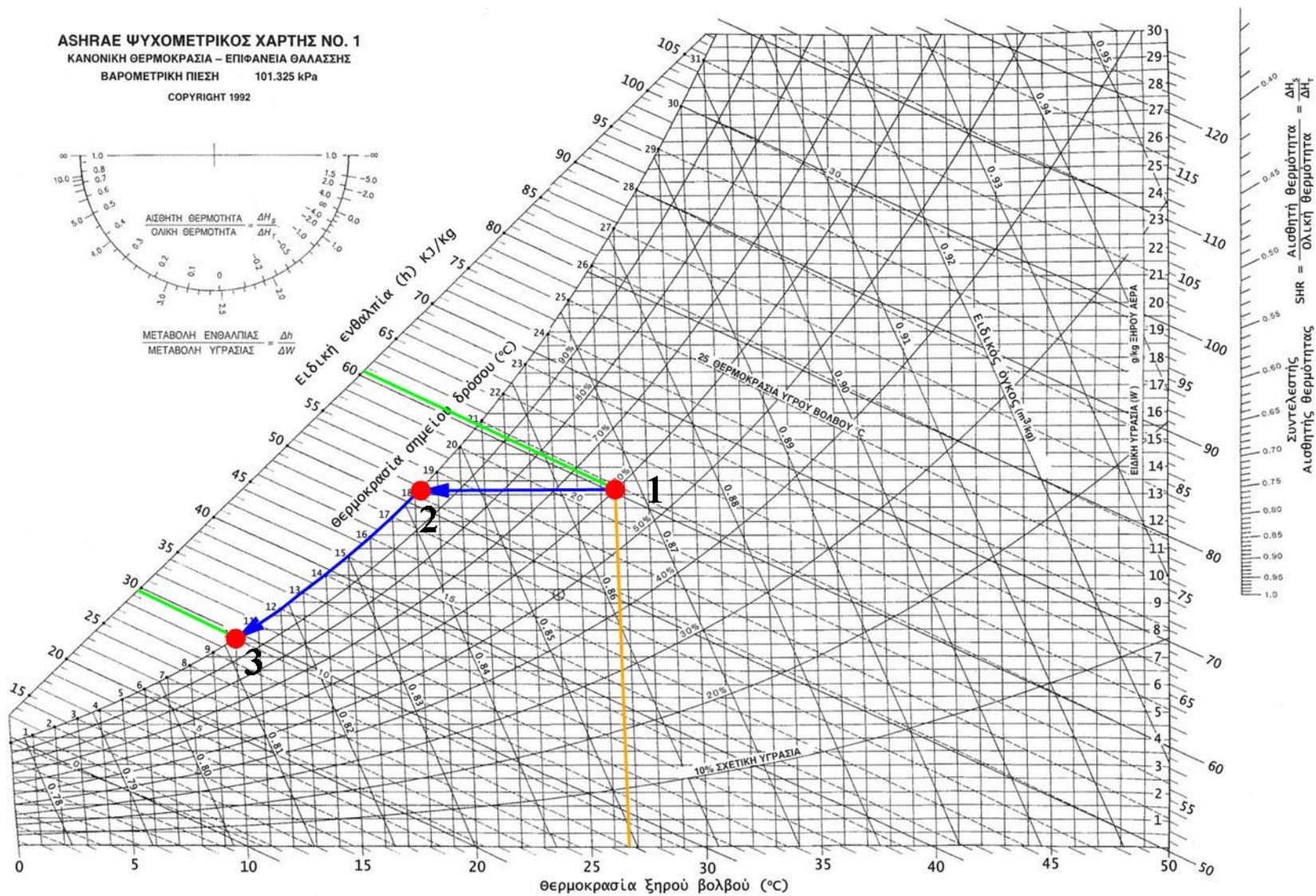
όπου T_w η θερμοκρασία των συμπυκνωμάτων σε °C, η οποία συνήθως λαμβάνεται ίση με τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα μετά την ψύξη.



Παράδειγμα ψύξης του αέρα με αφύγρανση

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

Παράδειγμα ψύξης του αέρα με αφύγρανση



Παράδειγμα ψύξης του αέρα με αφύγρανση

- 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: $T_w = T_{db3} = 10 \text{ }^\circ\text{C.}$

Παράδειγμα ψύξης του αέρα με αφύγρανση

- Ενθαλπία υδρατμών:

$$h_w = T_w \cdot 4,187 \text{ kJ/kg} \Leftrightarrow h_w = 41,87 \text{ kJ/kg}$$

- Παροχή μάζας αέρα:

$$\dot{m}_\alpha = \frac{\dot{V}_\alpha}{u} \Rightarrow \dot{m}_\alpha = \frac{4,72 \text{ m}^3/\text{s}}{0,868 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_\alpha = 5,44 \text{ kg/s}$$

- Ισολογισμός μάζας υδρατμών:

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

$$\dot{m}_w = 5,44 \frac{\text{kg}_{\xi.\alpha.}}{\text{s}} \cdot (13,3 - 7,8) \frac{\text{gr}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\xi.\alpha.}} \Leftrightarrow \dot{m}_w = 29 \frac{\text{gr}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\xi.\alpha.}}$$

Παράδειγμα ψύξης του αέρα με αφύγρανση

- Αποβαλλόμενη θερμική ισχύς:

$$q_{13} = \dot{m}_a \cdot (h_1 - h_3) - \dot{m}_w \cdot h_w \Rightarrow$$

$$q_{13} = 5,44 \frac{\text{kg}_{\xi.\alpha.}}{\text{s}} \cdot (60,5 - 29,7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\xi.\alpha.}} - 0,029 \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{s}} \cdot 41,87 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}} \Leftrightarrow$$

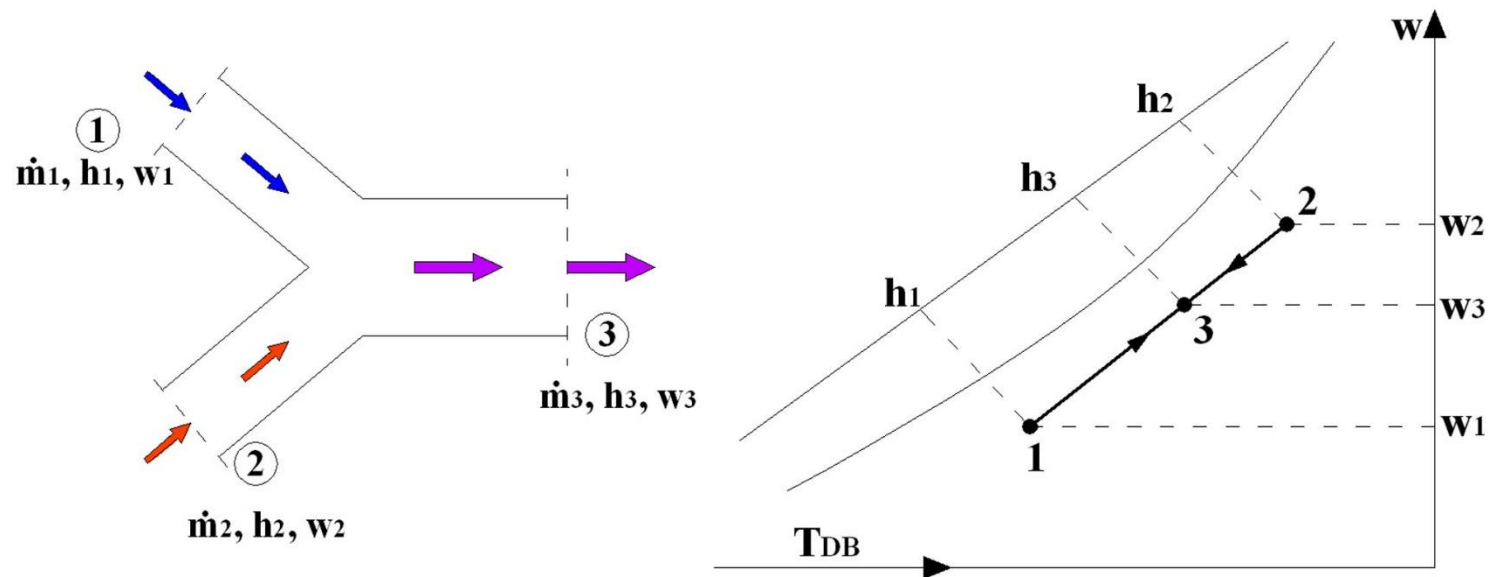
$$q_{13} = 166,34 \text{ kW}$$

Αδιαβατική ανάμιξη δύο 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 υδρατμών:
 $\dot{m}_1 \cdot w_1 + \dot{m}_2 \cdot w_2 = \dot{m}_3 \cdot w_3$
- Ισολογισμός θερμικής ισχύος:
 $\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{m}_3 \cdot h_3$

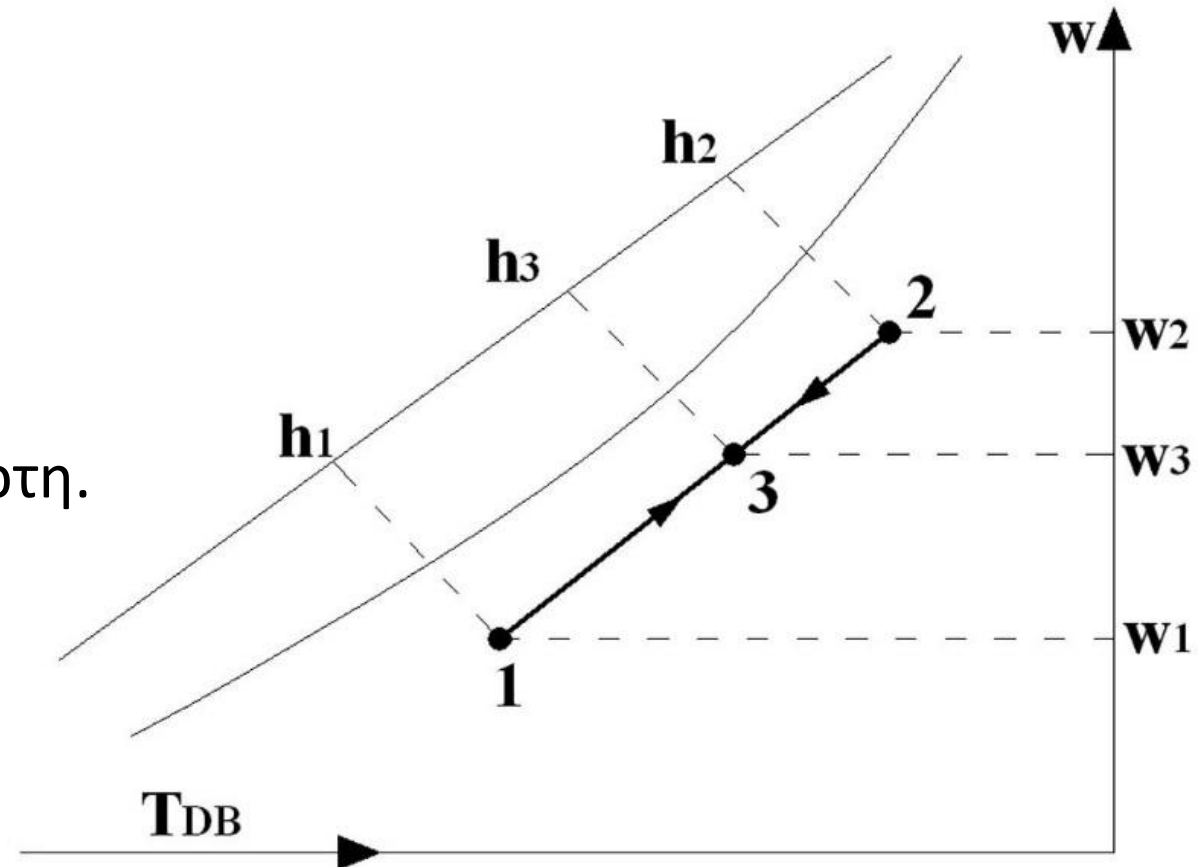


Αδιαβατική ανάμιξη δύο ρευμάτων υγρού αέρα

- Από τις ανωτέρω σχέσεις προκύπτει:

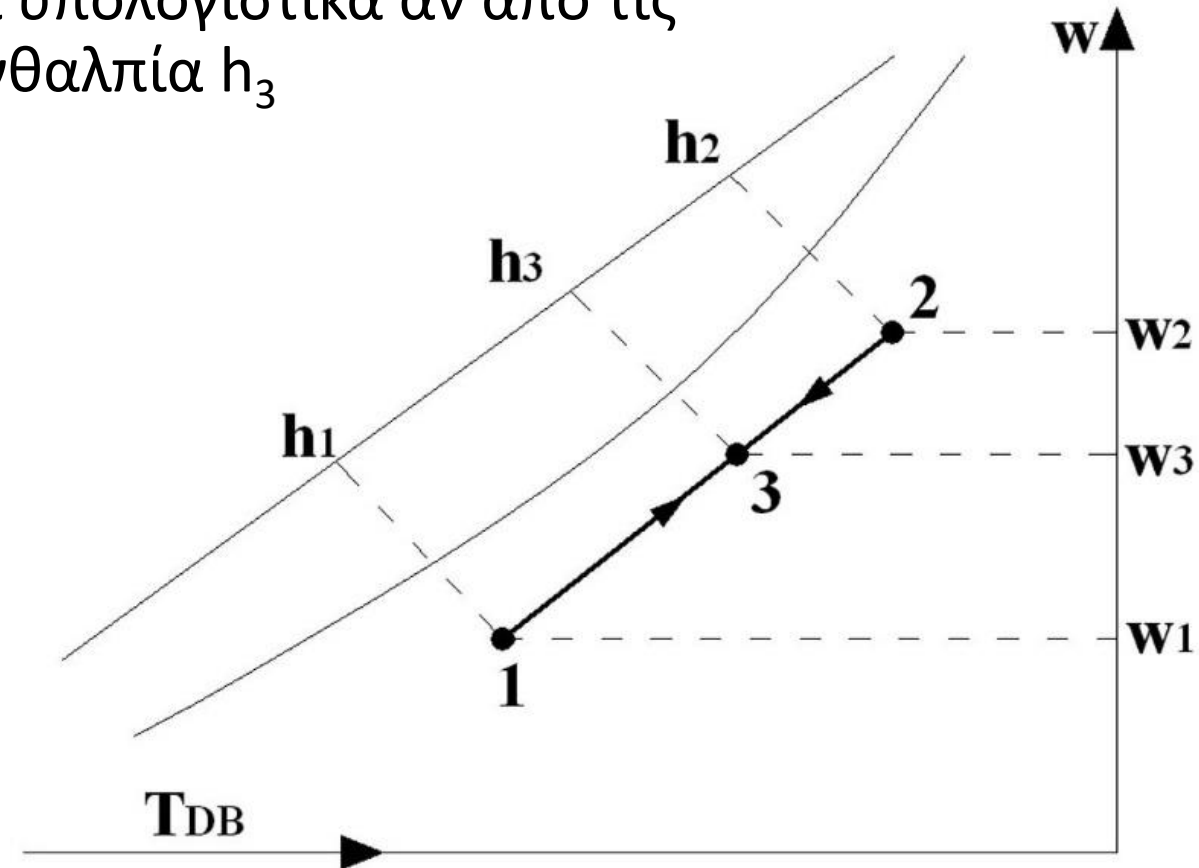
$$\frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}$$

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



Αδιαβατική ανάμιξη δύο ρευμάτων υγρού αέρα

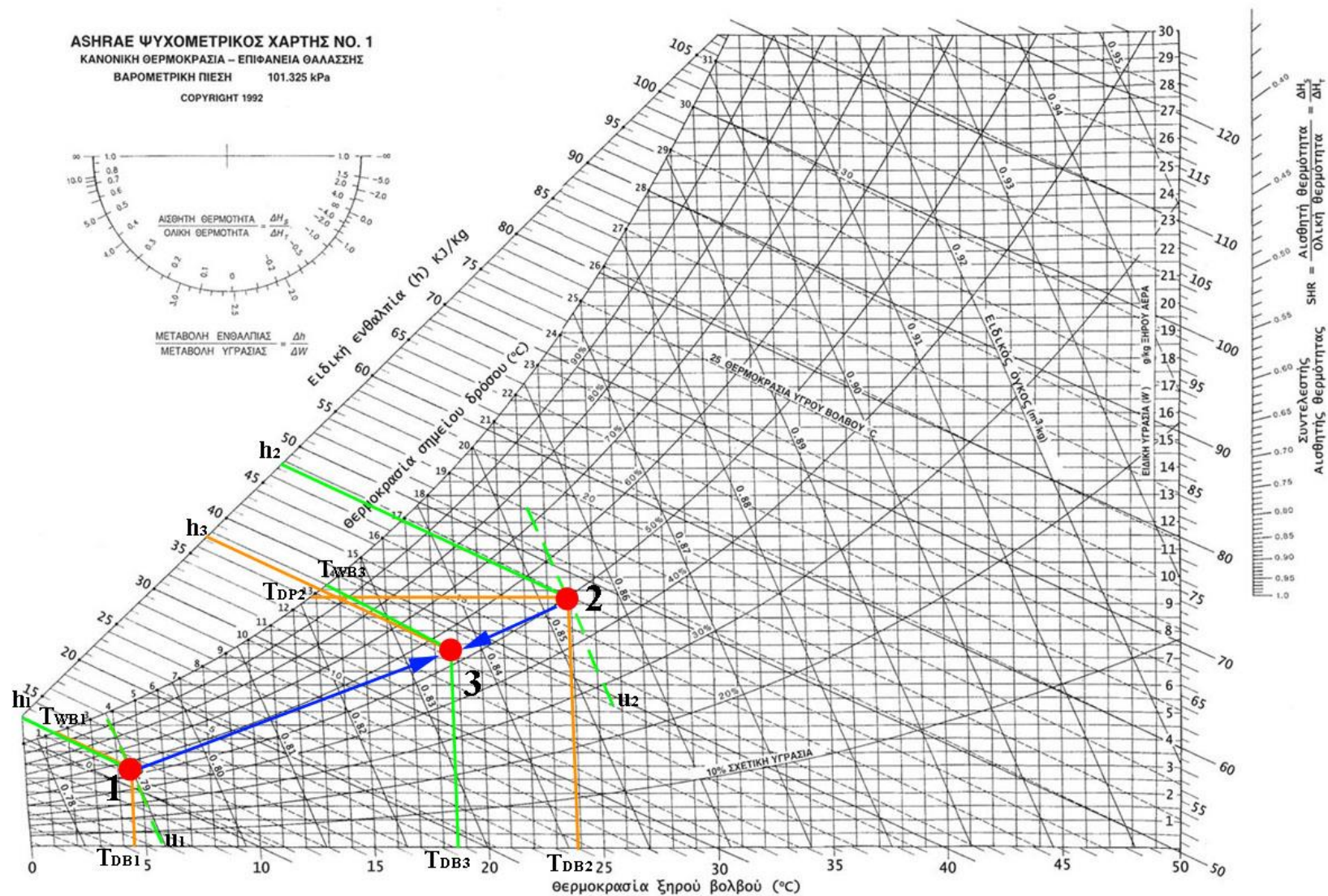
- Το σημείο 3 βρίσκεται μεταξύ των σημείων 1 και 2, πλησιέστερα στο σημείο του μεγαλύτερου ρεύματος αέρα.
- Η θέση του σημείου 3 μπορεί να βρεθεί υπολογιστικά αν από τις προηγούμενες σχέσεις υπολογιστεί η ενθαλπία h_3 ή η ειδική υγρασία του μίγματος w_3 .
- Η θέση του σημείου 3 εντοπίζεται γραφικά, κατά αναλογία με τις παροχές των ρευμάτων.



Παράδειγμα αδιαβατικής ανάμιξης δύο ρευμάτων υγρού αέρα

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

Παράδειγμα αδιαβατικής ανάμιξης δύο ρευμάτων υγρού αέρα



Παράδειγμα αδιαβατικής ανάμιξης δύο ρευμάτων υγρού αέρα

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

- Παροχή μάζας ρεύματος 2: $\dot{m}_2 = \frac{\dot{V}_2}{u_2} \Rightarrow \dot{m}_2 = \frac{5,67 \text{ m}^3/\text{s}}{0,854 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_2 = 6,64 \text{ kg/s}$

Παράδειγμα αδιαβατικής ανάμιξης δύο ρευμάτων υγρού αέρα

- 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:
 $T_{db_3} = 18,9 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{wb_3} = 13,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Παράδειγμα αδιαβατικής ανάμιξης δύο ρευμάτων υγρού αέρα

- Εναλλακτικά, μπορούμε να εφαρμόσουμε ισολογισμό θερμικής ισχύος:

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{m}_3 \cdot h_3 \Leftrightarrow h_3 = \frac{\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2}{\dot{m}_3}$$

- Από τον ισολογισμό παροχής μάζας ξηρού αέρα, υπολογίζεται η παροχή μάζας μίγματος:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \Leftrightarrow \dot{m}_3 = (2,40 + 6,64) \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 9,04 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Παράδειγμα αδιαβατικής ανάμιξης δύο ρευμάτων υγρού αέρα

- Από τον ψυχομετρικό χάρτη βρίσκουμε τις ειδικές ενθαλπίες των αρχικών ρευμάτων αέρα:

$$h_1 = 13 \text{ kJ/kg και } h_2 = 48 \text{ kJ/kg}$$

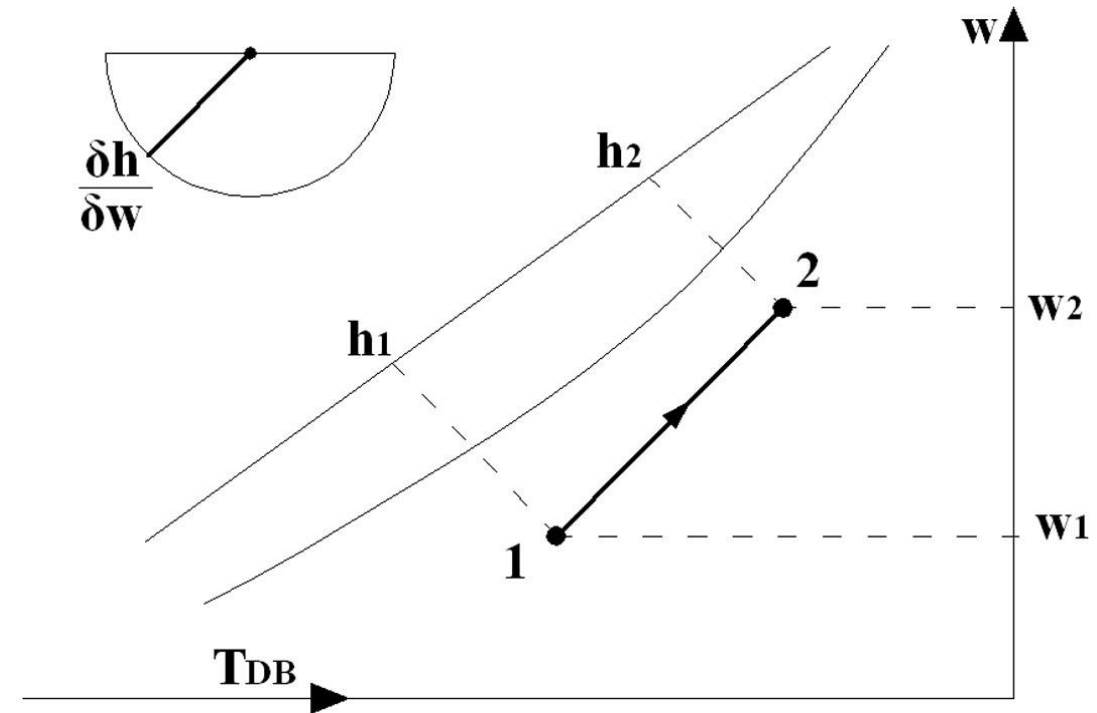
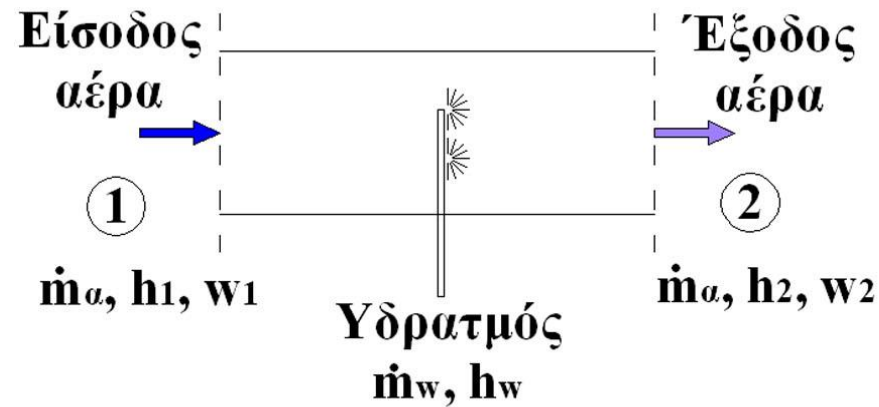
- Από τον ισολογισμό θερμικής ισχύος έχουμε:

$$h_3 = \frac{\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2}{\dot{m}_3} = \frac{2,40 \text{ kg/s} \cdot 13 \text{ kJ/kg} + 6,64 \text{ kg/s} \cdot 48 \text{ kJ/kg}}{9,04 \text{ kg/s}} \Leftrightarrow h_3 = 38,7 \text{ kJ/kg}$$

- Τελικά το σημείο 3 εντοπίζεται στον ψυχομετρικό χάρτη ως το σημείο τομής της ευθείας 1-2 και της ισενθαλπικής ευθείας $h_3 = 38,7 \text{ kJ/kg}$.

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).



Αδιαβατική ύγρανση ρεύματος αέρα

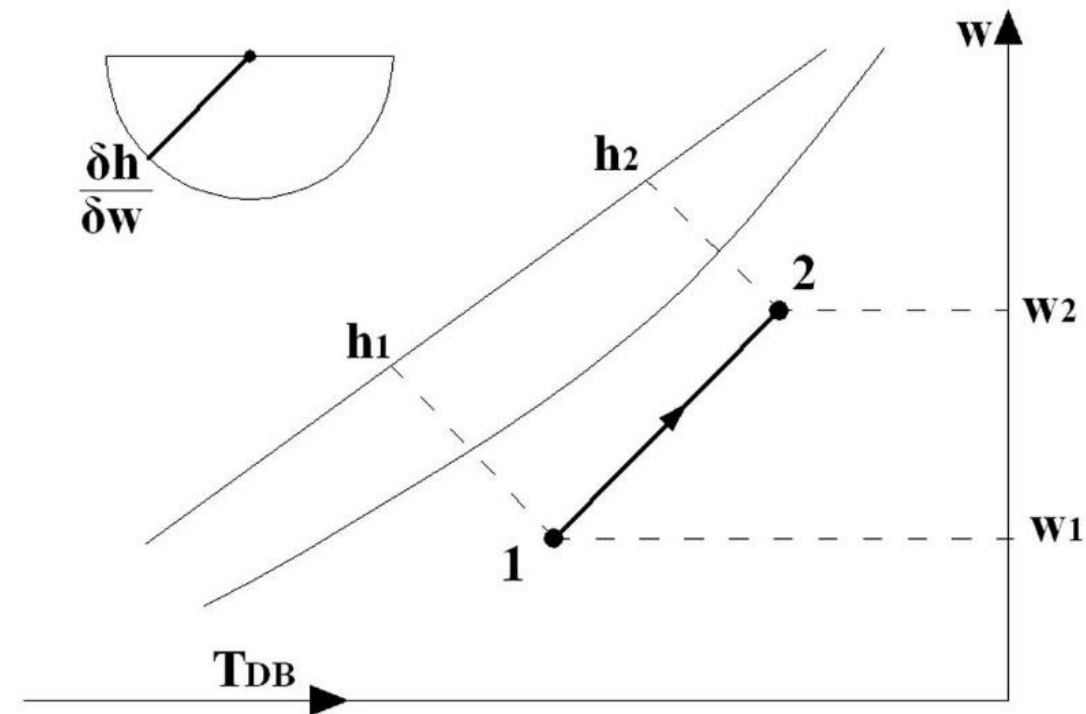
- Αν \dot{m}_w και h_w είναι η παροχή μάζας και η ειδική ενθαλπία του εγχυόμενου νερού στο ρεύμα, τότε ισχύουν οι εξισώσεις:

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

- 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:

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

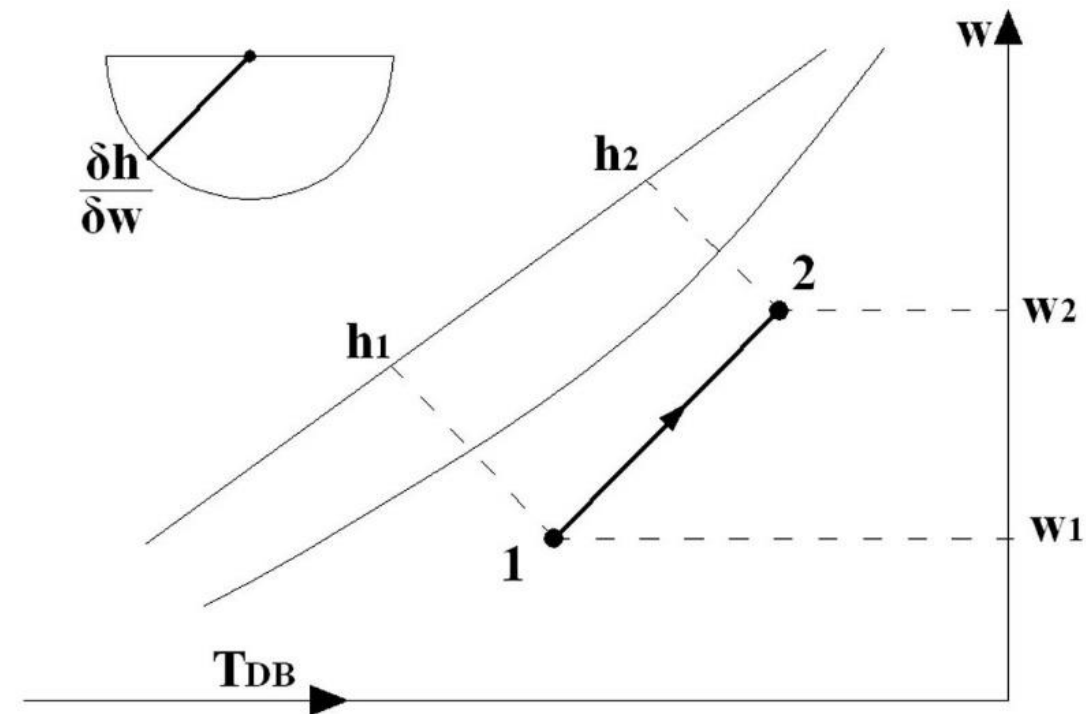


Αδιαβατική ύγρανση ρεύματος αέρα

- 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:

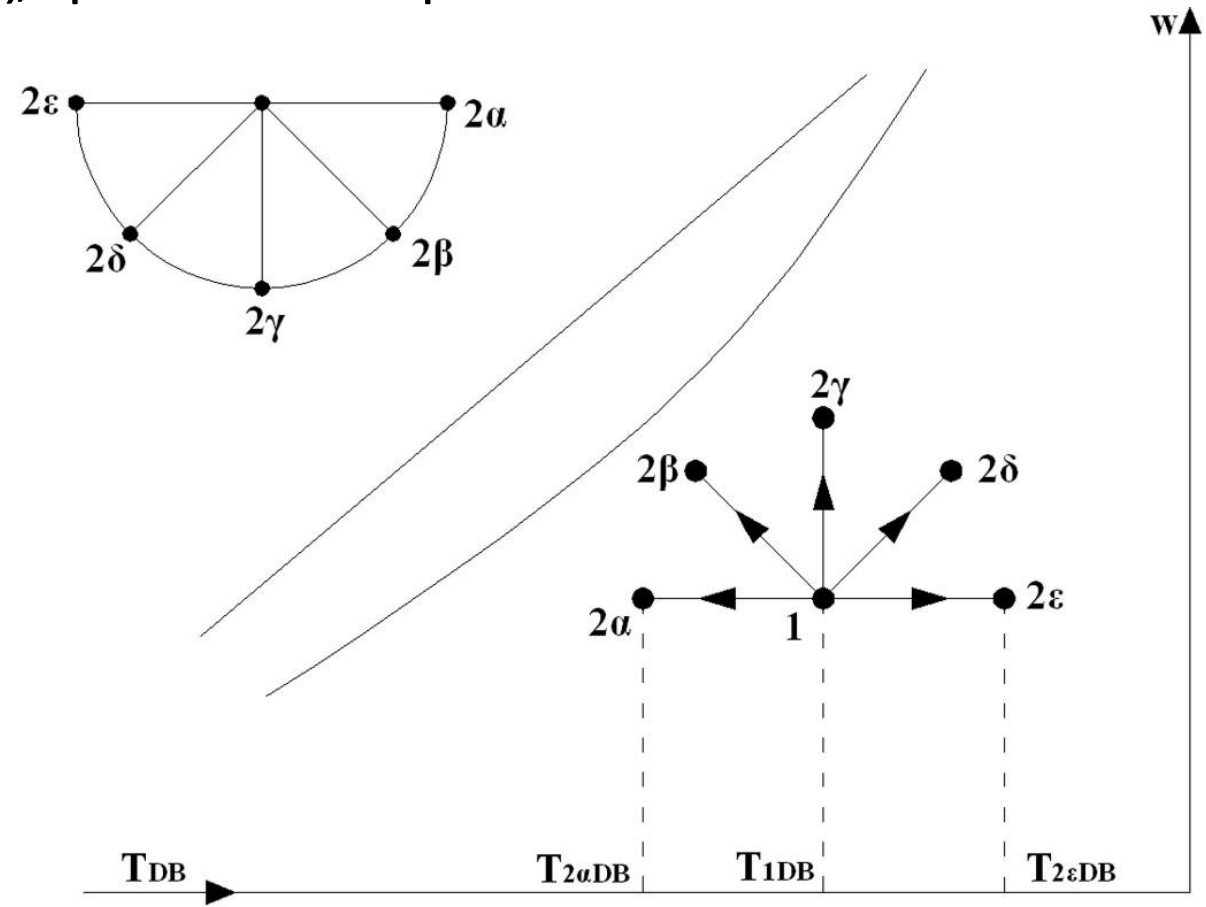
$$h_w = 4,187 \cdot T_w \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

όπου T_w η θερμοκρασία του νερού σε $^{\circ}\text{C}$.
Στην περίπτωση υδρατμών,
η ενθαλπία h_w λαμβάνεται
από πίνακες ή διαγράμματα.



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).

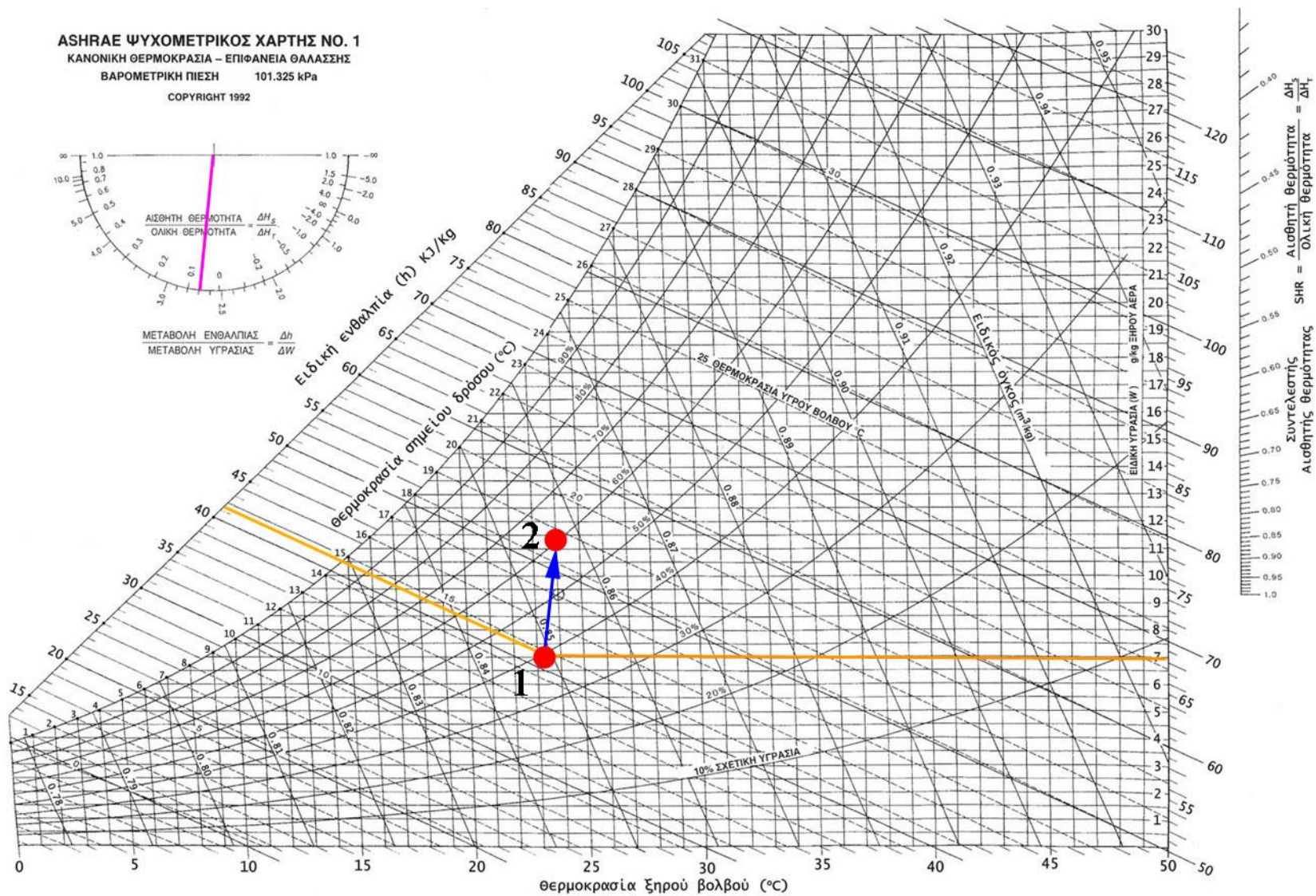




Παράδειγμα αδιαβατικής ύγρυνσης ρεύματος αέρα

Υγρός αέρας ειδικής υγρασίας $w_1 = 7$ gr υδρατμών / kg ξηρού αέρα και ειδικής ενθαλπίας $h_1 = 41,4$ kJ/kg υγραίνεται με υδρατμό θερμοκρασίας $T_w = 132$ °C και ειδικής ενθαλπίας $h_w = 2.690$ kJ/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 $1,20$ m³/s.

Παράδειγμα αδιαβατικής ύγρανσης ρεύματος αέρα



Παράδειγμα αδιαβατικής ύγρυνσης ρεύματος αέρα

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

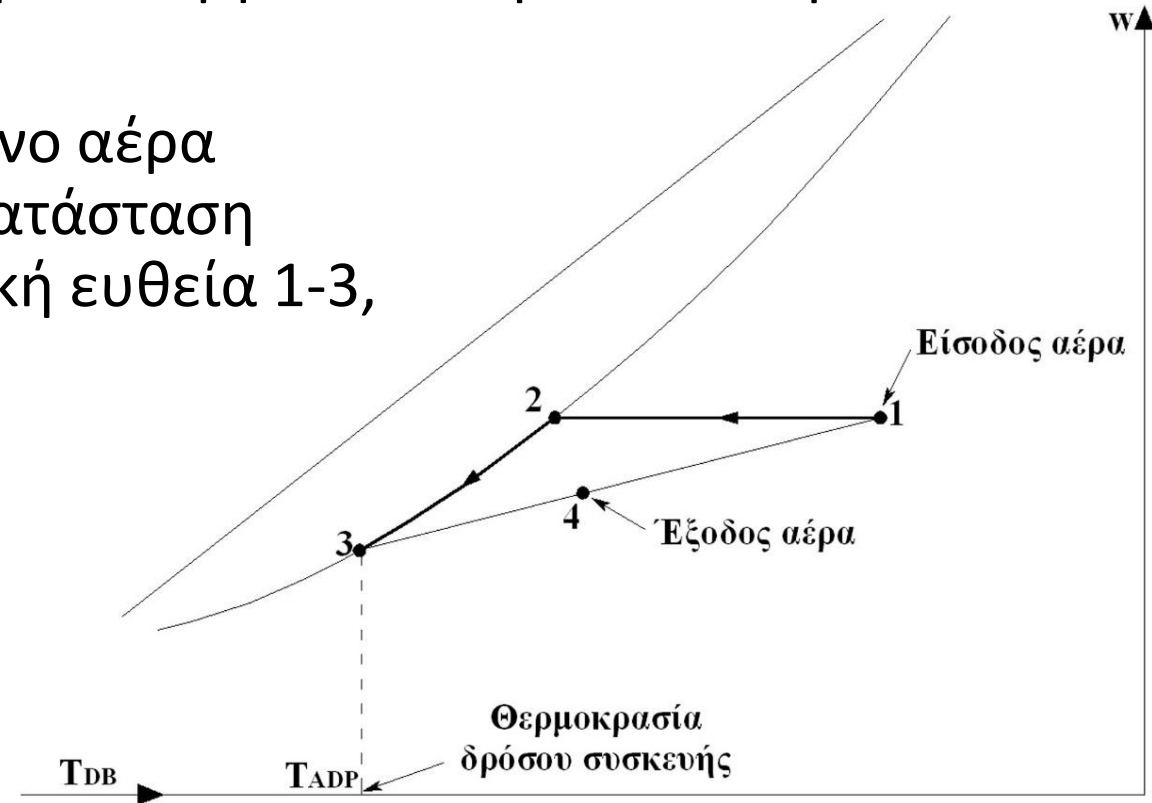
Παράδειγμα αδιαβατικής ύγρυνσης ρεύματος αέρα

- Παροχή μάζας υδρατμού:

$$\dot{m}_\alpha \cdot w_1 + \dot{m}_w = \dot{m}_\alpha \cdot w_2 \Leftrightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_\alpha \cdot (w_2 - w_1) \Leftrightarrow \dot{m}_w = \frac{\dot{V}_\alpha}{u} \cdot (w_2 - w_1) \Rightarrow$$
$$\dot{m}_w = \frac{1,20 \text{ m}^3/\text{s}}{0,845 \text{ m}^3/\text{kg}} \cdot (11,4 - 7) \frac{\text{gr H}_2\text{O}}{\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_w = 6,2 \frac{\text{gr}}{\text{s}}$$

Ψύξη αέρα με αφύγρανση που καταλήγει σε μη κορεσμένο αέρα

- Στην πράξη η ψύξη του αέρα με αφύγρανση δεν οδηγεί ολοκληρωτικά σε κορεσμένο αέρα, για τεχνικούς λόγους που αφορούν στη λειτουργία και στην απόδοση των ψυκτικών μηχανών.
- 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.



Ψύξη αέρα με αφύγρανση που καταλήγει σε μη κορεσμένο αέρα

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

$$\text{B.F.} = \frac{\text{συνολική παροχή μάζας αέρα που παρακάπτει τη συσκευή}}{\text{συνολική παροχή μάζας αέρα που περνάει από τη συσκευή}}$$

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

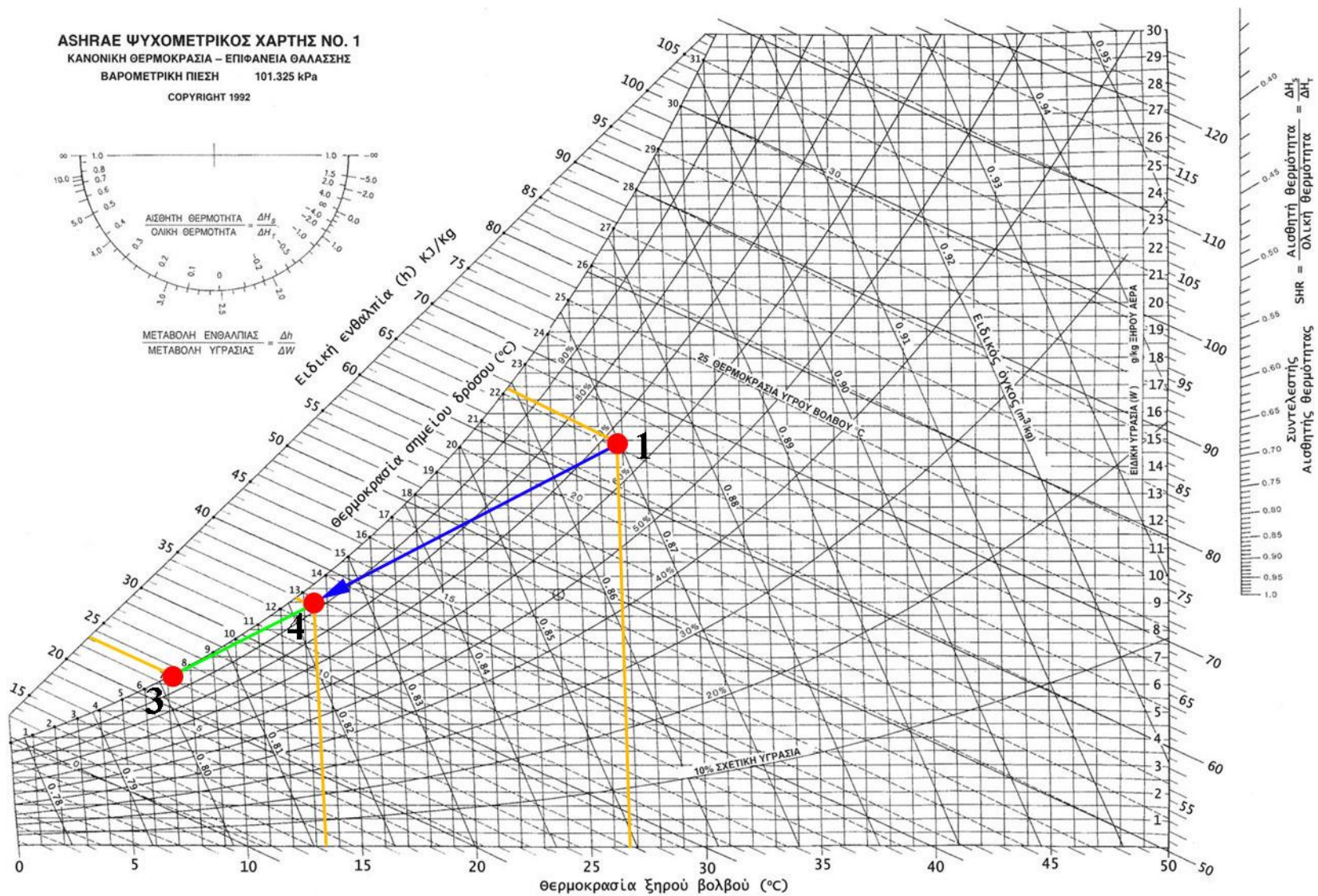
- Όπως φαίνεται από τον ορισμό, ο συντελεστής παράκαμψης αέρα προσδιορίζει το ποσοστό του αέρα που παρακάμπτει άψυκτο τη συσκευή.

Παράδειγμα ψύξης αέρα με αφύγρανση σε μη κορεσμένο αέρα

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

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

Παράδειγμα ψύξης αέρα με αφύγρανση σε μη κορεσμένο αέρα



Παράδειγμα ψύξης αέρα με αφύγρανση σε μη κορεσμένο αέρα

- Από το χάρτη βρίσκουμε:
 - Ειδικός όγκος στην κατάσταση 1: $u_1 = 0,869 \text{ m}^3/\text{kg}$
 - Ειδική ενθαλπία στην κατάσταση 1: $h_1 = 65,3 \text{ kJ/kg}$
 - Ειδική υγρασία στην κατάσταση 1: $w_1 = 14,9 \text{ gr υδρ. /kg ξ.α.}$
 - Ειδική ενθαλπία στην κατάσταση 4: $h_4 = 35,8 \text{ kJ/kg}$
 - 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:
 $T_{\text{adp}} = 7,22^\circ\text{C}.$

Παράδειγμα ψύξης αέρα με αφύγρανση σε μη κορεσμένο αέρα

- Παροχή μάζας εισερχόμενου αέρα:

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

- Αποβαλλόμενη θερμική ισχύς:

$$q_{14} = \dot{m}_\alpha \cdot (h_1 - h_4) \Rightarrow q_{14} = 0,23 \frac{\text{kg}_{\xi.\alpha.}}{\text{s}} \cdot (65,3 - 35,8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\xi.\alpha.}} \Leftrightarrow$$

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

Παράδειγμα ψύξης αέρα με αφύγρανση σε μη κορεσμένο αέρα

- Αποβαλλόμενο ποσό νερού:

$$\dot{m}_a \cdot w_1 - \dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot w_4 \Leftrightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot (w_1 - w_4) \Leftrightarrow \dot{m}_w = 0,23 \frac{\text{kg}_{\xi.\alpha.}}{\text{s}} \cdot (14,9 - 9) \frac{\text{gr}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\xi.\alpha.}} \Leftrightarrow$$
$$\dot{m}_w = 1,357 \frac{\text{gr}}{\text{s}}$$

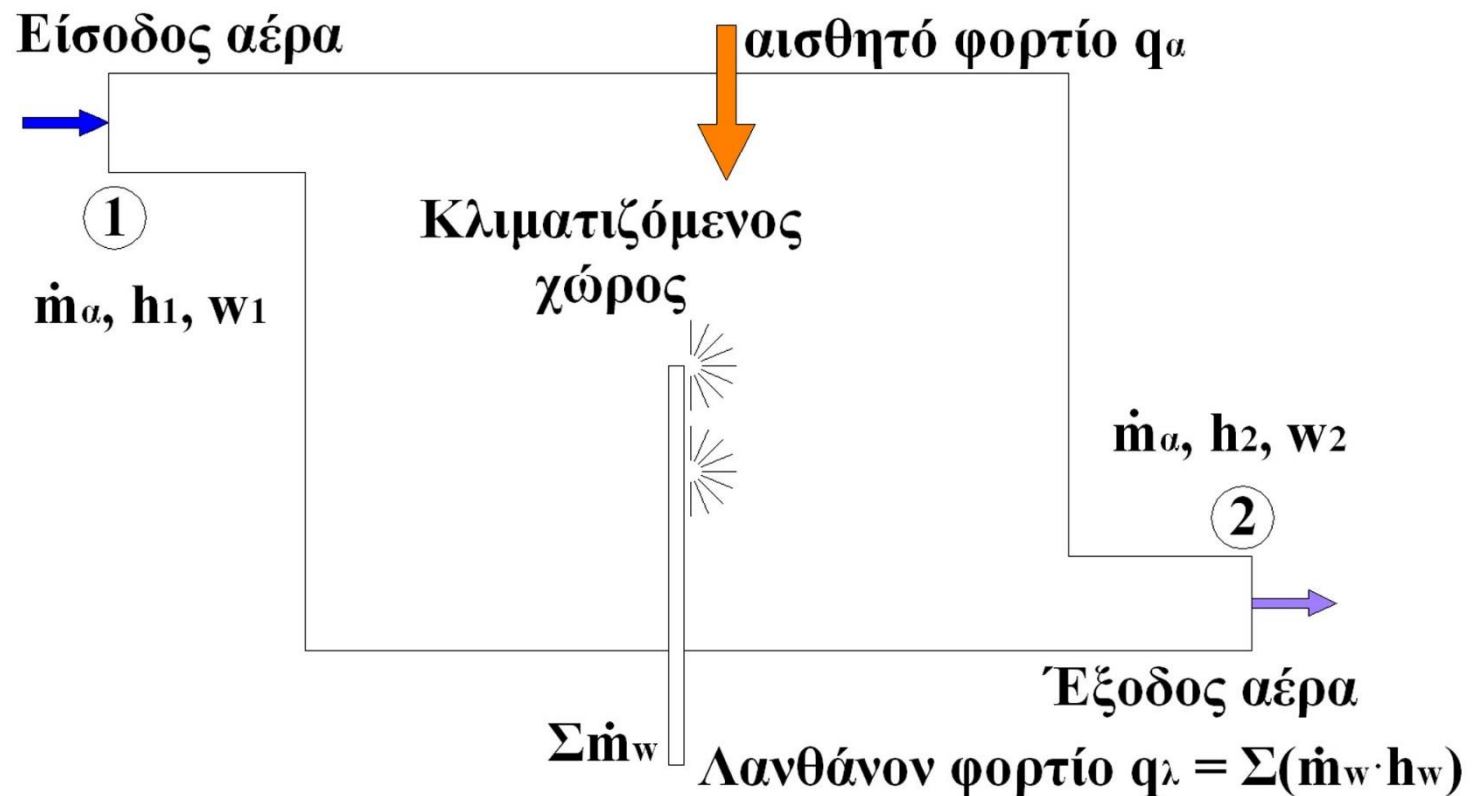
- Συντελεστής B.F.:

$$\text{B.F.} = \frac{h_4 - h_3}{h_1 - h_3} = \frac{35,8 - 23,1}{65,3 - 23,1} \Leftrightarrow \text{B.F.} = 30,10\%$$

Γενική περίπτωση θερινού κλιματισμού

- Η θερμότητα και η υγρασία που εισέρχονται ή παράγονται σε ένα χώρο κατά τη θερινή περίοδο αντισταθμίζονται από ψυχρό αέρα που εισάγεται μέσα στο χώρο με αντίστοιχη εξαγωγή θερμού αέρα.

- Έστω ο κλιματιζόμενος χώρος που απεικονίζεται στο σχήμα τη θερινή περίοδο. Στο χώρο αυτό έστω ότι εισέρχεται αισθητή θερμική ισχύς q_a (από δομικά στοιχεία, άτομα, συσκευές κλπ) καθώς και λανθάνουσα θερμότητα $q_l = \sum \dot{m}_w \cdot h_w$, που οφείλεται στις παντός είδους εξατμίσεις νερού (αναπνοές ατόμων, εφίδρωση, βραστήρες κλπ).



Γενική περίπτωση θερινού κλιματισμού

- Το συνολικό θερμικό φορτίο του χώρου αποτελείται από το άθροισμα αισθητής και λανθάνουσας θερμικής ισχύος και απορροφάται από τον κλιματιζόμενο αέρα, εξερχόμενο από μία κλιματιστική συσκευή, που εισέρχεται στο χώρο σε κατάσταση 1 και «εξέρχεται» σε κατάσταση 2.
- Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει κάποια εξαγωγή αέρα από το χώρο. Απλώς ο εισερχόμενος ψυχρός αέρας θερμαίνεται, λόγω του αισθητού φορτίου του χώρου, και υγραίνεται, λόγω του λανθάνοντος φορτίου του χώρου έτσι, ώστε να καταλήξει τελικά σε μια κατάσταση 2, που βέβαια είναι ίδια με την επιθυμητή κατάσταση του αέρα του χώρου.

Γενική περίπτωση θερινού κλιματισμού

- Για την περίπτωση θερινού κλιματισμού ισχύουν οι σχέσεις:
 - Ισολογισμός θερμικής ισχύος:

$$\dot{m}_\alpha \cdot h_1 + q_\alpha + \sum (\dot{m}_w \cdot h_w) = \dot{m}_\alpha \cdot h_2 \Leftrightarrow q_\alpha + \sum (\dot{m}_w \cdot h_w) = q_\alpha + q_\lambda = \dot{m}_\alpha \cdot (h_2 - h_1)$$

- Ισολογισμός μάζας υδρατμών:

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

- Διαιρώντας τις ανωτέρω σχέσεις κατά μέλη έχουμε:

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

- Με βάση την τελευταία σχέση, από το ημικύκλιο του ψυχομετρικού χάρτη μπορεί να υπολογιστεί η κλίση της καταστατικής ευθείας $\Delta h / \Delta w$.

Γενική περίπτωση θερινού κλιματισμού

- 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 ημικύκλιο:

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

Παράδειγμα υπολογισμού γενικής περίπτωσης θερινού κλιματισμού

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

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

Να υποτεθεί ότι το εισερχόμενο στο χώρο ρεύμα αέρα παραλαμβάνει πλήρως τα αισθητά και λανθάνοντα φορτία του χώρου.

Παράδειγμα υπολογισμού γενικής περίπτωσης θερινού κλιματισμού

- Το σημείο που αναπαριστά την τελική κατάσταση του ρεύματος ατμοσφαιρικού αέρα στον ψυχομετρικό χάρτη (συνθήκες κλιματιζόμενου χώρου) εντοπίζεται από την τομή της ισοθερμοκρασιακής ξηρού βολβού $T_{DB2} = 27,8 \text{ }^\circ\text{C}$ και της ισοθερμοκρασιακής υγρού βολβού $T_{WB2} = 19,4 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Για την κατάσταση του αέρα εισόδου στον κλιματιζόμενο χώρο (έξοδος από την ψυκτική συσκευή) δίνεται μόνο η θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_{DB1} = 16,7^\circ\text{C}$.
- Με βάση τα δεδομένα που έχουμε όμως μπορούμε να υπολογίσουμε την κλίση της καταστατικής ευθείας 1-2. Το συνολικό φορτίο του χώρου ισούται με:

$$q_{\text{συν.}} = q_{\alpha} + q_{\lambda} = 11,72 \text{ kW} + 2,58 \text{ kW} = 14,30 \text{ kW}$$

- Η κλίση της καταστατικής ευθείας 1-2 ισούται με:

$$\text{SHF} = \frac{q_{\alpha}}{q_{\text{συν}}} = \frac{11,72}{14,30} = 0,82$$

Παράδειγμα υπολογισμού γενικής περίπτωσης θερινού κλιματισμού

- Χαράζουμε την κλίση της καταστατικής ευθείας στο ημικύκλιο του ψυχομετρικού χάρτη, βρίσκοντας στην εσωτερική πλευρά του την τομή $SHF = 0,82$.
- Στη συνέχεια μεταφέρουμε στον ψυχομετρικό χάρτη την κλίση της καταστατικής ευθείας στο σημείο 2. Προεκτείνοντας την καταστατική ευθεία από το σημείο 2 έως την ισοθερμοκρασιακή ξηρού βολβού $T_{DB1} = 16,7 \text{ }^\circ\text{C}$ εντοπίζεται η θέση του σημείου 1.
- Έχοντας εντοπίσει τις θέσεις της αρχικής και τελικής κατάστασης αέρα στον ψυχομετρικό χάρτη, διαβάζουμε:
 - θερμοκρασία υγρού βολβού κατάστασης 1: $T_{WB1} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
 - ειδικός όγκος αέρα κατάστασης 1: $u_1 = 0,834 \text{ m}^3/\text{kg}$
 - ειδική ενθαλπία αέρα κατάστασης 1: $h_1 = 42,0 \text{ kJ/kg}$
 - ειδική ενθαλπία αέρα κατάστασης 2: $h_2 = 55,8 \text{ kJ/kg}$

Παράδειγμα υπολογισμού γενικής περίπτωσης θερινού κλιματισμού

Στη συνέχεια υπολογίζουμε:

- Από ισολογισμό θερμικής ισχύος την παροχή μάζας αέρα:

$$q_{\alpha} + q_{\lambda} = q_{\text{συν.}} = \dot{m}_{\alpha} \cdot (h_2 - h_1) \Leftrightarrow \dot{m}_{\alpha} = \frac{q_{\text{συν.}}}{h_2 - h_1} \Rightarrow \dot{m}_{\alpha} = \frac{14,3 \text{ kJ/s}}{(55,8 - 42) \text{ kJ/kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_{\alpha} = 1,036 \text{ kg/s}$$

- Παροχή όγκου αέρα:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{V}_1}{u_1} \Leftrightarrow \dot{V}_1 = \dot{m}_1 \cdot u_1 \Rightarrow \dot{V}_1 = 1,036 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 0,834 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{V}_1 = 0,864 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 864 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Γενική περίπτωση χειμερινού κλιματισμού

- 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

- 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.

Γενική περίπτωση χειμερινού κλιματισμού

- Για την περίπτωση χειμερινού κλιματισμού ισχύουν οι σχέσεις:
 - Ισολογισμός θερμικής ισχύος:

$$\dot{m}_\alpha \cdot h_1 = \dot{m}_\alpha \cdot h_2 + q_\alpha \Leftrightarrow q_\alpha = q_{\text{συν.}} = \dot{m}_\alpha \cdot (h_1 - h_2)$$

- Ισολογισμός μάζας υδρατμών:

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

Παράδειγμα υπολογισμού γενικής περίπτωσης χειμερινού κλιματισμού

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 $T_{DB2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, 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 $T_{DB1} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, 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;

Παράδειγμα υπολογισμού γενικής περίπτωσης χειμερινού κλιματισμού

- Από την τομή της ισοθερμοκρασιακής ξηρού βολβού $T_{DB1} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ 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: $w_2 = 5,8 \text{ gr/kg}$.

Παράδειγμα υπολογισμού γενικής περίπτωσης χειμερινού κλιματισμού

- Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή μάζας ξηρού αέρα από τον ισολογισμό θερμικής ισχύος:

$$q_{\alpha} = \dot{m}_{\alpha} \cdot (h_1 - h_2) \Leftrightarrow \dot{m}_{\alpha} = \frac{q_{\alpha}}{h_1 - h_2} \Rightarrow \dot{m}_{\alpha} = \frac{17,25 \text{ kJ/s}}{(49,0 - 34,8) \text{ kJ/kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_{\alpha} = 1,215 \text{ kg/s}$$

- 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 ξηρανθεί σταδιακά ο κλιματιζόμενος χώρος, ο εισερχόμενος αέρας χρειάζεται ύγρανση. Η απαιτούμενη παροχή μάζας υδρατμών δίνεται από τον αντίστοιχο ισολογισμό:

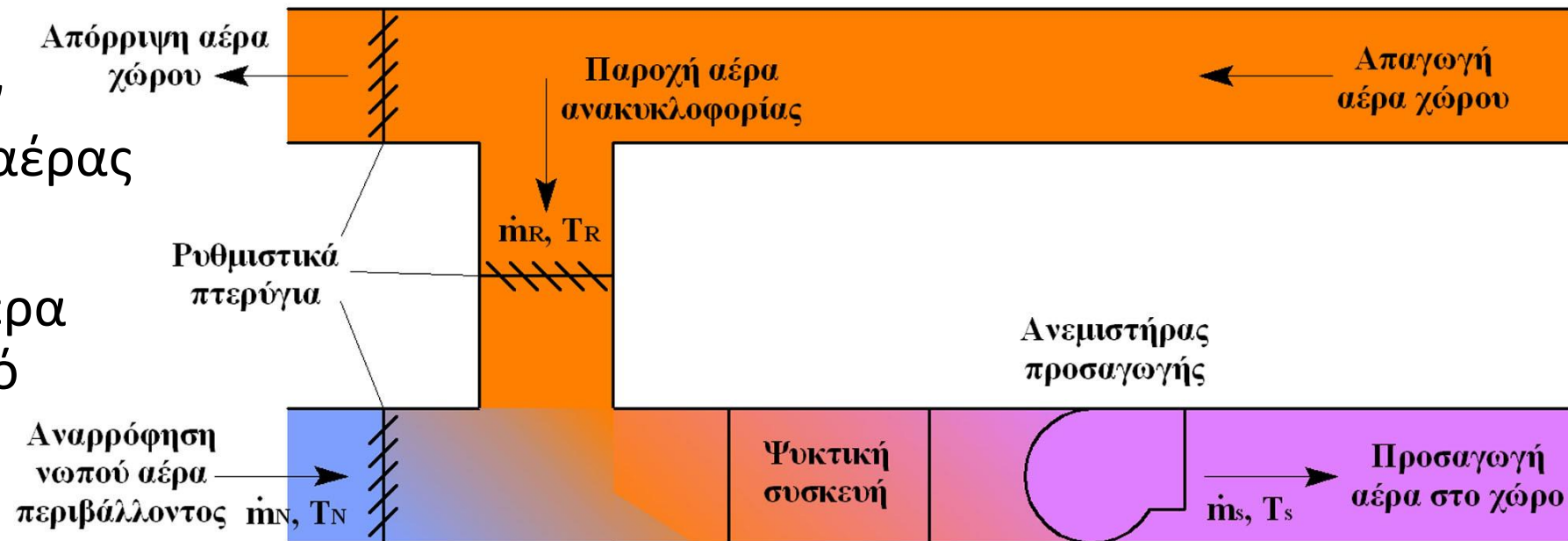
$$\dot{m}_{\alpha} \cdot w_1 + \sum \dot{m}_w = \dot{m}_{\alpha} \cdot w_2 \Leftrightarrow \sum \dot{m}_w = \dot{m}_{\alpha} \cdot (w_2 - w_1) \Rightarrow$$

$$\sum \dot{m}_w = 1,215 \frac{\text{kg}_{\xi.\alpha}}{\text{s}} \cdot (5,8 - 5,3) \frac{\text{gr}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\xi.\alpha}} \Leftrightarrow \sum \dot{m}_w = 0,6075 \frac{\text{gr}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{s}}$$

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Στην πραγματικότητα κατά το χειμερινό ή θερινό κλιματισμό ενός χώρου ο αέρας που εισέρχεται στο ψυκτικό ή θερμαντικό στοιχείο της κλιματιστικής συσκευής δεν αποτελείται μόνο από αέρα που έχει αναρροφηθεί από τον κλιματιζόμενο χώρο.
- Αντιθέτως, λόγω των απαιτήσεων του κλιματιζόμενου χώρου για ανανέωση του αέρα με φρέσκο αέρα περιβάλλοντος, ο αέρας που τελικά οδηγείται στην κλιματιστική συσκευή αποτελεί το μίγμα της αδιαβατικής ανάμιξης δύο ρευμάτων αέρα:

- ρεύματος αέρα που αναρροφάται από τον κλιματιζόμενο χώρο (αέρας ανακυκλοφορίας)
- ρεύματος φρέσκου αέρα που αναρροφάται από το περιβάλλον, (νωπός αέρας).



Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Η παροχή μάζας \dot{m}_N νωπού αέρα καθορίζεται από τις ανάγκες ανανέωσης του χώρου σε φρέσκο αέρα (αριθμός ανανεώσεων ανά μονάδα χρόνου).
- Η συνολική παροχή μάζας \dot{m}_M του μίγματος αέρα που διέρχεται από την κλιματιστική συσκευή προσδιορίζεται από το θερμικό ή ψυκτικό φορτίο που αναλαμβάνει η συσκευή.
- Η παροχή μάζας \dot{m}_R του αέρα ανακυκλοφορίας προκύπτει από τον ισολογισμό μάζας που ισχύει κατά την αδιαβατική ανάμιξη των ρευμάτων αέρα:

$$\dot{m}_M = \dot{m}_R + \dot{m}_N$$

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Κατά την αδιαβατική ανάμιξη των ρευμάτων νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας ισχύει επίσης ο ισολογισμός θερμικής ισχύος και ο ισολογισμός μάζας υδρατμών:

$$\dot{m}_R \cdot h_R + \dot{m}_N \cdot h_N = \dot{m}_M \cdot h_M$$

$$\dot{m}_R \cdot w_R + \dot{m}_N \cdot w_N = \dot{m}_M \cdot w_M$$

όπου οι δείκτες M, R και N συμβολίζουν αντίστοιχα την κατάσταση του μίγματος αμέσως μετά την ανάμιξη των δύο ρευμάτων, του αέρα ανακυκλοφορίας και του νωπού αέρα.

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Στη συνέχεια το μίγμα αέρα εξερχόμενο από το κιβώτιο ανάμιξης της κλιματιστικής συσκευής εισέρχεται στο ψυκτικό ή θερμαντικό στοιχείο της συσκευής, όπου ψύχεται ή θερμαίνεται αντίστοιχα προκειμένου να παραλάβει τα φορτία του χώρου.
- Το επεξεργασμένο μίγμα ρευμάτων εξέρχεται τελικά από την κλιματιστική συσκευή και εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο σε κατάσταση που αναπαρίσταται στον ψυχομετρικό χάρτη με το σημείο S.
- Το συνολικό θερμικό ή ψυκτικό φορτίο που αναλαμβάνει η κλιματιστική συσκευή θα ισούται πλέον με το άθροισμα του φορτίου του αέρα ανακυκλοφορίας και του φορτίου νωπού αέρα. Το φορτίο αυτό αποτελεί το συνολικό φορτίο του χώρου:

$$q_s = q_R + q_N$$

όπου q_s το φορτίο της κλιματιστικής συσκευής, q_R το φορτίο του κλιματιζόμενου χώρου και q_N το φορτίο του νωπού αέρα.

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Καθώς το μίγμα αέρα εισέρχεται στο θερμικό ή ψυκτικό στοιχείο σε κατάσταση M, όπως αυτή προκύπτει μετά την ανάμιξη των ρευμάτων, και εξέρχεται από αυτήν σε κατάσταση S, το συνολικό θερμικό ή ψυκτικό φορτίο που αναλαμβάνει η κλιματιστική συσκευή προκύπτει από τον ισολογισμό ισχύος ανάμεσα στις καταστάσεις του αέρα M και S.
- Λαμβάνοντας υπόψη ότι η παροχή του αέρα μίγματος ισούται με \dot{m}_M ο ισολογισμός ισχύος θα έχει ως εξής:
 - Φορτίο συσκευής κατά την περίπτωση χειμερινού κλιματισμού (θέρμανση):
$$\dot{m}_M \cdot h_M + q_S = \dot{m}_M \cdot h_S \Leftrightarrow q_S = \dot{m}_M \cdot (h_S - h_M)$$
 - Φορτίο συσκευής κατά την περίπτωση θερινού κλιματισμού (ψύξη):
$$\dot{m}_M \cdot h_S + q_S = \dot{m}_M \cdot h_M \Leftrightarrow q_S = \dot{m}_M \cdot (h_M - h_S)$$

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Το αισθητό και το λανθάνον φορτίο της συσκευής προκύπτει αν φέρουμε από τα σημεία M και S τις παράλληλες προς τον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα του χάρτη αντίστοιχα, οπότε αυτές θα τέμνονται σε ένα νέο σημείο M'.
- Στην περίπτωση αυτή, το αισθητό και λανθάνον φορτίο της συσκευής θα είναι αντίστοιχα για την περίπτωση της ψύξης (για την περίπτωση της θέρμανσης δεν υπάρχουν λανθάνοντα φορτία):
 - Αισθητό φορτίο συσκευής:
 $q_{s\alpha} = \dot{m}_M \cdot (h_{M'} - h_s)$
 - Λανθάνον φορτίο συσκευής:
 $q_{s\lambda} = \dot{m}_M \cdot (h_M - h_{M'})$

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Το φορτίο του νωπού αέρα προκύπτει από τη μεταβολή της καταστάσεως νωπού αέρα N έως την κατάσταση κλιματιζόμενου χώρου R.
- Τούτο γίνεται αντιληπτό αν σκεφτούμε ότι δεν θα είχαμε φορτίο νωπού αέρα αν αυτός βρισκόταν σε κατάσταση ίδια με την κατάσταση R του κλιματιζόμενου χώρου.
- Συνεπώς, το φορτίο νωπού αέρα προκύπτει αν εφαρμόσουμε ισολογισμό θερμικής ισχύος μεταξύ των δύο καταστάσεων R και N, λαμβάνοντας υπόψη ότι η παροχή νωπού αέρα είναι \dot{m}_N .
 - Φορτίο νωπού αέρα για την περίπτωση χειμερινού κλιματισμού (θέρμανση):
$$\dot{m}_N \cdot h_N + q_N = \dot{m}_N \cdot h_R \Leftrightarrow q_N = \dot{m}_N \cdot (h_R - h_N)$$
 - Φορτίο νωπού αέρα για την περίπτωση θερινού κλιματισμού (ψύξη):
$$\dot{m}_N \cdot h_R + q_N = \dot{m}_N \cdot h_N \Leftrightarrow q_N = \dot{m}_N \cdot (h_N - h_R)$$

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Τέλος, το φορτίο του χώρου ή φορτίο αέρα ανακυκλοφορίας προκύπτει αν σκεφτούμε ότι το φορτίο της κλιματιστικής συσκευής θα ήταν ίσο με το φορτίο του αέρα ανακυκλοφορίας, αν δεν υπήρχε αναρρόφηση νωπού αέρα ($q_s = q_R$, $q_N = 0$).
- Στην περίπτωση αυτή, το φορτίο της κλιματιστικής συσκευής θα προέκυπτε αν λάβουμε υπόψη μας ότι ο αέρας εισέρχεται σε αυτό σε κατάσταση R κλιματιζόμενου χώρου και εξέρχεται από αυτή σε κατάσταση S.
- Η παροχή μάζας και στην περίπτωση αυτή θα ήταν ίση με τη συνολική παροχή μάζας μίγματος \dot{m}_M .
 - Φορτίο αέρα ανακυκλοφορίας για την περίπτωση χειμερινού κλιματισμού (θέρμανση):
$$\dot{m}_M \cdot h_R + q_R = \dot{m}_M \cdot h_S \Leftrightarrow q_R = \dot{m}_M \cdot (h_S - h_R)$$
 - Φορτίο αέρα ανακυκλοφορίας για την περίπτωση θερινού κλιματισμού (ψύξη):
$$\dot{m}_M \cdot h_S + q_R = \dot{m}_M \cdot h_R \Leftrightarrow q_R = \dot{m}_M \cdot (h_R - h_S)$$

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Το αισθητό και το λανθάνον φορτίο του χώρου προκύπτει αν φέρουμε από τα σημεία R και S τις ισοθερμοκρασιακές ξηρού βολβού και τις ισοϋγρασιακές ειδικής υγρασίας (οριζόντιες ευθείες) αντίστοιχα, οπότε αυτές θα τέμνονται σε ένα νέο σημείο R'.
- Στην περίπτωση αυτή, το αισθητό και λανθάνον φορτίο του χώρου θα είναι αντίστοιχα για την περίπτωση της ψύξης (για την περίπτωση της θέρμανσης δεν υπάρχουν λανθάνοντα φορτία):
 - Αισθητό φορτίο χώρου:
$$q_{R\alpha} = \dot{m}_M \cdot (h_{R'} - h_S)$$
 - Λανθάνον φορτίο χώρου :
$$q_{R\lambda} = \dot{m}_M \cdot (h_R - h_{R'})$$

Κλιματισμός με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Οι κλίσεις των καταστατικών ευθειών M-S και R-S, που παριστάνουν τα φορτία συσκευής και χώρου (αέρα ανακυκλοφορίας) αντίστοιχα, θα δίνονται από τον παράγοντα αισθητής θερμότητας SHF, δηλαδή θα είναι:
 - κλίση καταστατικής ευθείας M-S:
$$SHF = \frac{q_{s\alpha}}{q_s}$$
 - κλίση καταστατικής ευθείας R-S:
$$SHF = \frac{q_{R\alpha}}{q_R}$$
- Τέλος, προεκτείνοντας την ευθεία M-S έως την καμπύλη κορεσμού, εντοπίζουμε το σημείο δρόσου της συσκευής ADP. Ο συντελεστής παράκαμψης της συσκευής BF θα ισούται με:

$$B.F. = \frac{h_s - h_{ADP}}{h_M - h_{ADP}}$$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

Για τον κλιματισμό μιας μεγάλης αίθουσας γραφείων δημοσίου κτηρίου είναι εγκατεστημένη μια κεντρική κλιματιστική συσκευή (ΚΚΣ). Οι επιθυμητές συνθήκες χώρου είναι $26,5 \text{ }^\circ\text{C DB} / \phi=50\%$, όταν οι συνθήκες αέρα περιβάλλοντος είναι $36 \text{ }^\circ\text{C DB} / 26 \text{ }^\circ\text{C WB}$.

Η συσκευή διαθέτει ψυκτική συσκευή (ΨΣ) και ανεμιστήρα με δυνατότητα μεταβολής της παροχής από $4.800 \text{ m}^3/\text{h}$ έως $5.400 \text{ m}^3/\text{h}$, μέσω συστήματος ρυθμιζόμενης τροχαλίας μετάδοσης κίνησης.

Θεωρείται ότι ο αέρας έχει σταθερό ειδικό όγκο ίσο με $0,84 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Η ΚΚΣ διαθέτει ένα κιβώτιο ανάμειξης, μέσω του οποίου είναι δυνατή η αναρρόφηση νωπού αέρα παροχής $600 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ ταυτόχρονα η παροχή του ανεμιστήρα της ΚΚΣ ρυθμίζεται στη (μέγιστη δυνατή) τιμή των $5.400 \text{ m}^3/\text{h}$. Σε αυτή την περίπτωση τα τεχνικά φυλλάδια του κατασκευαστή δίνουν:

- ολική ψυκτική ισχύς της ΨΣ: 36.800 kcal/h »
- αισθητή ψυκτική ισχύς της ΨΣ: 21.500 kcal/h ».

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

Ζητούνται: (με την προϋπόθεση επίτευξης των συνθηκών χώρου):

- α1. Οι συνθήκες του αέρα μέσα στο κιβώτιο ανάμειξης.
- α2. Το φορτίο λόγω εισόδου νωπού αέρα.
- α3. Οι συνθήκες εξόδου του αέρα από την ΨΣ.
- α4. Το σημείο δρόσου της κλιματιστικής συσκευής και ο συντελεστής παράκαμψης.

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

Για την κατάσταση του νωπού αέρα και του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου δίδονται από δύο καταστατικά μεγέθη (θερμοκρασίες ξηρού βολβού, θερμοκρασία υγρού βολβού και σχετική υγρασία). Συνεπώς είναι δυνατός ο εντοπισμός των αντίστοιχων σημείων N και R στον ψυχομετρικό χάρτη και η ανάγνωση της ειδικής ενθαλπίας των δύο καταστάσεων αέρα.

Κατάσταση αέρα κλιματιζόμενου χώρου (σημείο R στον ψυχομετρικό χάρτη)		Κατάσταση νωπού αέρα (σημείο N στον ψυχομετρικό χάρτη)	
Θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_{R/DB}$ (°C)	Ειδική υγρασία ϕ_R (%)	Θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_{N/DB}$ (°C)	Θερμοκρασία υγρού βολβού $T_{N/WB}$ (°C)
26,5	50,0	36,0	26,0
Ειδική ενθαλπία h_R (kJ/kg)		Ειδική ενθαλπία h_N (kJ/kg)	
54,2		80,0	

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Δίνονται οι παροχές όγκου του μίγματος $\dot{V}_M = 5.400 \text{ m}^3/\text{h}$ και η παροχή του νωπού αέρα $\dot{V}_R = 600 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Η παροχή όγκου του αέρα ανακυκλοφορίας υπολογίζεται από το ισοζύγιο παροχής όγκου:
 $\dot{V}_M = \dot{V}_R + \dot{V}_N \Leftrightarrow \dot{V}_R = \dot{V}_M - \dot{V}_N \Rightarrow \dot{V}_R = (5.400 - 600) \text{ m}^3/\text{h} \Leftrightarrow \dot{V}_R = 4.800 \text{ m}^3/\text{h}$
- Με τον ειδικό όγκο αέρα ανεξάρτητο της κατάστασης ($u = 0,84 \text{ m}^3/\text{kg}$), υπολογίζονται οι παροχές μάζας των τριών ρευμάτων αέρα (νωπού, ανακυκλοφορίας και μίγματος):

$$\dot{m}_M = \frac{\dot{V}_M}{u} \Rightarrow \dot{m}_M = \frac{5.400 \text{ m}^3}{3.600 \text{ s} \cdot 0,84 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_M = 1,786 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{V}_R}{u} \Rightarrow \dot{m}_R = \frac{4.800 \text{ m}^3}{3.600 \text{ s} \cdot 0,84 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_R = 1,587 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_N = \frac{\dot{V}_N}{u} \Rightarrow \dot{m}_N = \frac{600 \text{ m}^3}{3.600 \text{ s} \cdot 0,84 \text{ m}^3/\text{kg}} \Leftrightarrow \dot{m}_N = 0,198 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

α1. Οι συνθήκες του αέρα μέσα στο κιβώτιο ανάμειξης αέρα.

- Το μίγμα αέρα αποτελεί το προϊόν αδιαβατικής ανάμειξης δύο ρευμάτων αέρα. Ο ισολογισμός θερμικής ισχύος κατά την αδιαβατική ανάμιξη αέρα γράφεται:

$$\dot{m}_R \cdot h_R + \dot{m}_N \cdot h_N = \dot{m}_M \cdot h_M \Leftrightarrow h_M = \frac{\dot{m}_R \cdot h_R + \dot{m}_N \cdot h_N}{\dot{m}_M} \Rightarrow h_M = \frac{1,587 \times 54,2 + 0,198 \cdot 80}{1,786} \Leftrightarrow$$
$$h_M = 57,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

- Το σημείο M στον ψυχομετρικό χάρτη θα πρέπει να βρίσκεται πάνω στο ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα σημεία R και N, αφού προκύπτει από την αδιαβατική ανάμιξη των δύο αυτών ρευμάτων αέρα.
- Συνεπώς, ο εντοπισμός του σημείου M στον ψυχομετρικό χάρτη προκύπτει από την τομή της ισενθαλπικής ευθείας των 57,03 kJ/kg με το ευθύγραμμο τμήμα R-N.
- Εντοπίζοντας τη θέση του σημείου M στον ψυχομετρικό χάρτη, διαβάζουμε τις ιδιότητες της κατάστασης του αέρα στο κιβώτιο ανάμιξης:
 - θερμοκρασία ξηρού βολβού: $T_{M/DB} = 27,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - θερμοκρασία υγρού βολβού: $T_{M/WB} = 19,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - σχετική υγρασία: $\phi_M = 50\%$
 - ειδική υγρασία: $w_M = 11,5\text{gr H}_2\text{O/kg ξ.α.}$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

α2. Οι συνθήκες του αέρα μέσα στο κιβώτιο ανάμειξης αέρα.

- Ο νωπός αέρας εισέρχεται στο κιβώτιο ανάμειξης με παροχή \dot{m}_N και με ειδική ενθαλπία h_N .
- Το φορτίο του νωπού αέρα αντιστοιχεί στη θερμική ισχύ που πρέπει να αποβάλλει, ώστε να φτάσει σε κατάσταση αέρα κλιματιζόμενου χώρου, δηλαδή ειδικής ενθαλπίας h_R .
- Ο ισολογισμός θερμικής ισχύος κατά την αδιαβατική ανάμιξη αέρα γράφεται:

$$\dot{m}_N \cdot h_R + q_N = \dot{m}_N \cdot h_N \Leftrightarrow q_N = \dot{m}_N \cdot (h_N - h_R) \Rightarrow q_N = 0,198 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (80,0 - 54,2) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Leftrightarrow$$

$$q_N = 5,11 \text{ kW}$$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

α3. Συνθήκες εξόδου αέρα από το ψυκτικό στοιχείο.

- Το ολικό φορτίο $q_{\psi\Sigma}$ που καλείται να αναλάβει η ψυκτική συσκευή αντιστοιχεί στη μεταβολή της παροχής μάζας μίγματος \dot{m}_M από αρχική κατάσταση M σε τελική κατάσταση S (έξοδος από την ψυκτική συσκευή). Συνεπώς το ολικό φορτίο της ψυκτικής συσκευής γράφεται:

$$\dot{m}_M \cdot h_S + q_S = \dot{m}_M \cdot h_M \Leftrightarrow q_S = \dot{m}_M \cdot (h_M - h_S)$$

- Το ολικό φορτίο της ψυκτικής συσκευής δίνεται $36.800 \text{ kcal/h} = 42,77 \text{ kW}$. Άρα, στην ανωτέρω σχέση είναι όλα τα μεγέθη γνωστά, εκτός από την ειδική ενθαλπία h_S της κατάστασης αέρα στην έξοδο από την ψυκτική συσκευή:

$$q_S = \dot{m}_M \cdot (h_M - h_S) \Leftrightarrow h_S = \frac{\dot{m}_M \cdot h_M - q_S}{\dot{m}_M} \Rightarrow h_S = \frac{1,786 \cdot 57,03 - 42,77 \text{ kJ}}{1,786} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Leftrightarrow h_S = 33,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

α3. Συνθήκες εξόδου αέρα από το ψυκτικό στοιχείο.

- Επιπλέον ως δεδομένο δίνεται η αισθητή ψυκτική ισχύς της ψυκτικής συσκευής, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$q_{s\alpha} = \dot{m}_M \cdot (h_A - h_S)$$

όπου h_A είναι η ειδική ενθαλπία ενός σημείου A που στον ψυχομετρικό χάρτη προκύπτει από την τομή της κατακόρυφης ευθείας από το σημείο M και της οριζόντιας ευθείας από το σημείο S, του οποίου βέβαια η θέση αναζητείται.

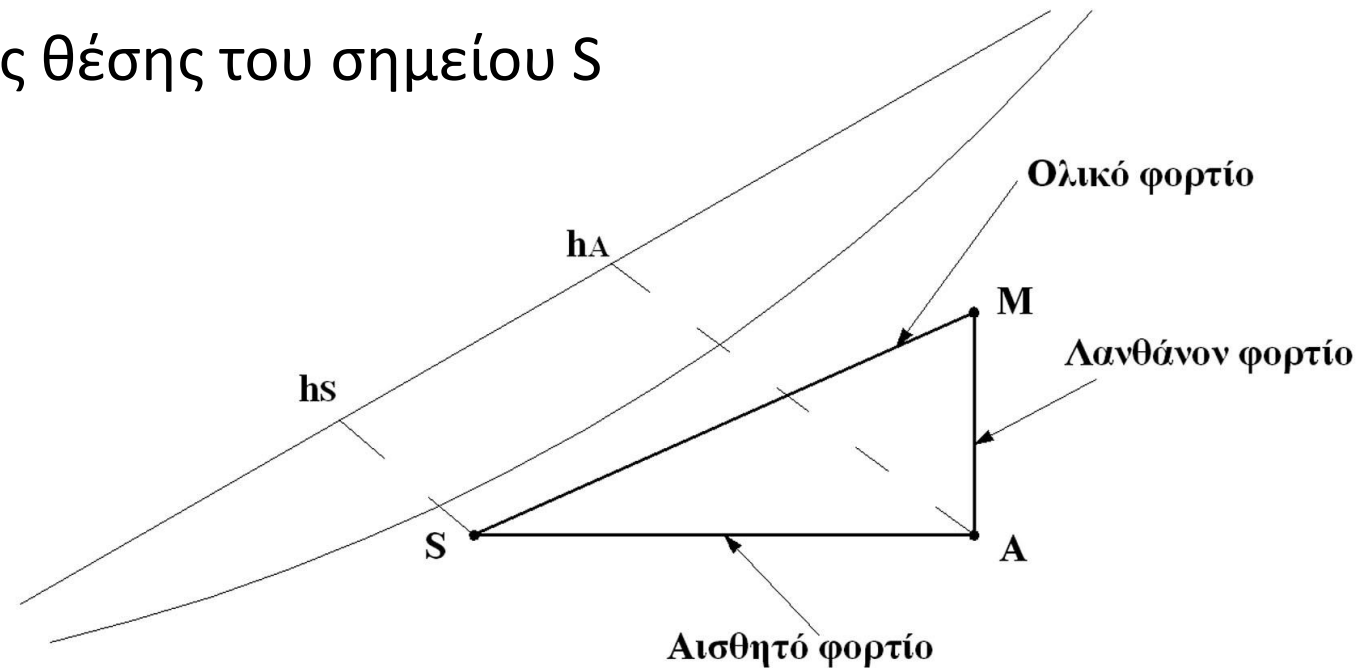
- Η ειδική ενθαλπία του σημείου A υπολογίζεται επιλύνοντας την ανωτέρω σχέση ανάλογα:

$$q_{s\alpha} = \dot{m}_M \cdot (h_A - h_S) \Leftrightarrow h_A = \frac{\dot{m}_M \cdot h_S + q_s}{\dot{m}_M} \Rightarrow h_A = \frac{1,786 \cdot 33,08 + 24,99 \text{ kJ}}{1,786} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Leftrightarrow h_A = 47,10 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

α3. Συνθήκες εξόδου αέρα από το ψυκτικό στοιχείο.

- Η θέση του σημείου A μπορεί πλέον να εντοπιστεί στον ψυχομετρικό χάρτη από την τομή της ισενθαλπικής ευθείας των $47,10 \text{ kJ/kg}$ και της κατακόρυφης ευθείας που διέρχεται από το σημείο M.
- Επιπλέον, είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης του σημείου S στον ψυχομετρικό χάρτη, ως η τομή της οριζόντιας ευθείας που διέρχεται από το σημείο A και της ισενθαλπικής των $33,08 \text{ kJ/kg}$.



Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

α3. Συνθήκες εξόδου αέρα από το ψυκτικό στοιχείο.

Εντοπίζοντας τη θέση του σημείου S διαβάζουμε τελικά από τον ψυχομετρικό χάρτη τις ιδιότητές του:

- θερμοκρασία ξηρού βολβού: $T_{S/DB} = 14,0 \text{ }^\circ\text{C}$
- θερμοκρασία υγρού βολβού: $T_{S/WB} = 11,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- σχετική υγρασία: $\phi_S = 75\%$
- ειδική υγρασία: $w_S = 7,5 \text{ gr H}_2\text{O/kg ξ.α.}$
- σημείο δρόσου: $T_{S/dp} = 9,7 \text{ }^\circ\text{C.}$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

α3. Συνθήκες εξόδου αέρα από το ψυκτικό στοιχείο.

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί ότι η θέση του σημείου S στον ψυχομετρικό χάρτη θα μπορούσε να εντοπιστεί εναλλακτικά χρησιμοποιώντας την κλίση της ευθείας M-S. Δεδομένου του ότι είναι γνωστά το ολικό και το αισθητό ολικό φορτίο της κλιματιστικής συσκευής, είναι δυνατό να υπολογιστεί το παράγοντα αισθητής θερμότητας SHF:

$$SHF = \frac{q_{sa}}{q_s}$$

Με τον παράγοντα αισθητής θερμότητας SHF γνωστό, με τη βοήθεια του ημικυκλίου στο άνω δεξιό μέρος του ψυχομετρικού χάρτη εντοπίζεται η κλίση της ευθείας M-S. Τελικά το σημείο S εντοπίζεται στον ψυχομετρικό χάρτη από την τομή της ισενθαλπικής των 33,08 kJ/kg και της ευθείας που διέρχεται από το σημείο M και έχει κλίση ίση με SHF.

Γίνεται αντιληπτό ότι η συγκεκριμένη μέθοδος είναι απλούστερη, καθώς εμπεριέχει λιγότερους υπολογισμούς. Ωστόσο, παρουσιάζει το μειονέκτημα του σχεδιαστικού σφάλματος, καθώς προϋποθέτει την ακριβή χάραξη από το σημείο M ευθείας παράλληλης με την κλίση που καθορίζεται από τον SHF στο ημικύκλιο του χάρτη.

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας

α4. Το σημείο δρόσου της κλιματιστικής συσκευής και ο συντελεστής παράκαμψης.

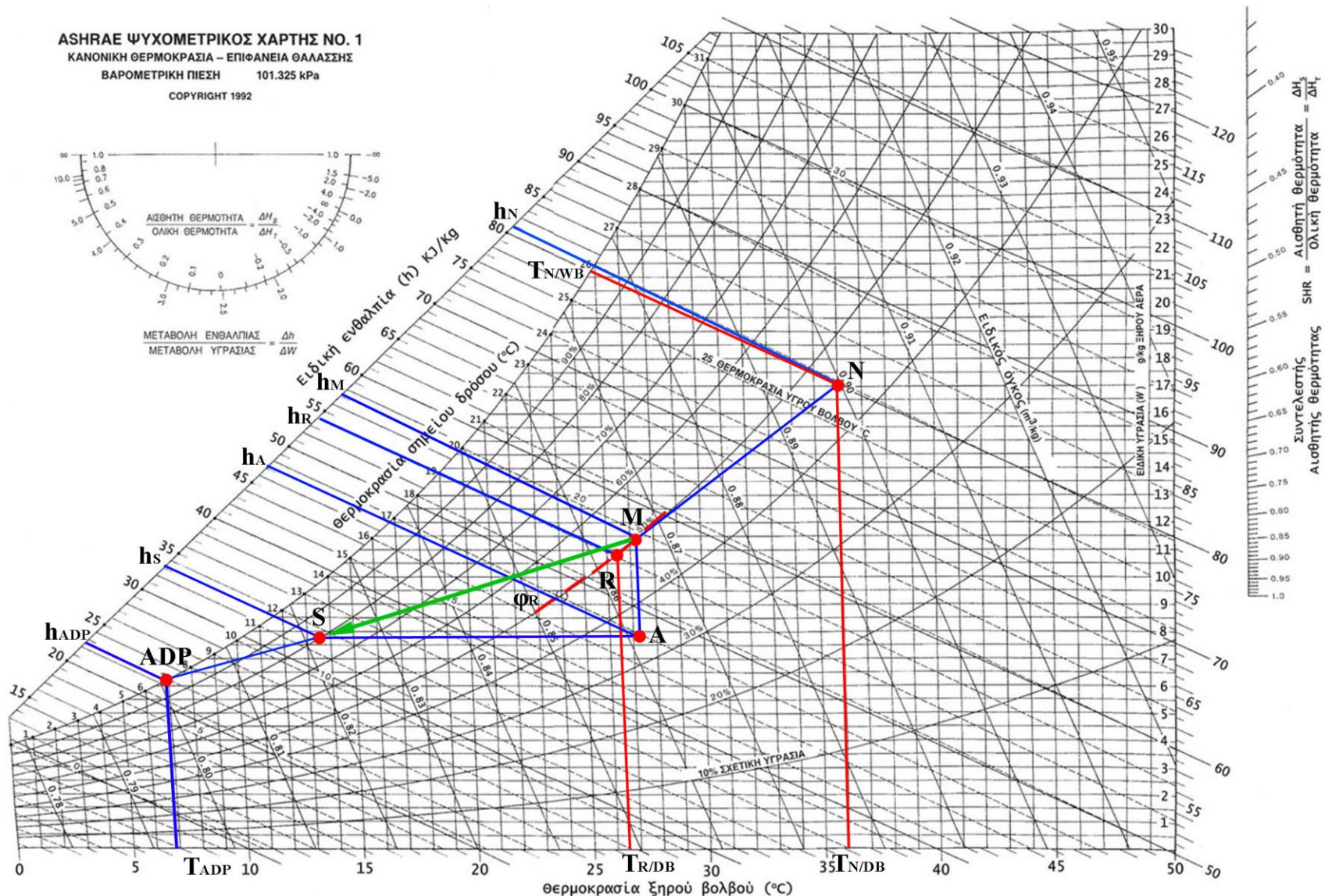
- Το σημείο δρόσου προκύπτει από την τομή της προέκτασης της ευθείας της μεταβολής M-S με την καμπύλη κορεσμού στον ψυχομετρικό χάρτη. Από τον ψυχομετρικό χάρτη τελικά διαβάζουμε:

$$T_{ADP} = 6,9 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

- Τέλος ο συντελεστής παράκαμψης υπολογίζεται από τη σχέση ορισμού του, έχοντας προηγουμένως εκτιμήσει την ειδική ενθαλπία του για το σημείο δρόσου της ψυκτικής συσκευής $h_{ADP} = 22,6 \text{ kJ/kg}$:

$$\text{B.F.} = \frac{h_s - h_{ADP}}{h_M - h_{ADP}} \Rightarrow \text{B.F.} = \frac{33,08 - 22,6}{57,03 - 22,6} \Leftrightarrow \text{B.F.} = 30,44\%$$

Παράδειγμα υπολογισμού κλιματισμού με ανάμιξη νωπού αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας





Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός II

Σας ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης