



Βασικές Διεργασίες Μηχανικής Τροφίμων

Ενότητα 2:

Ψυχομετρία, 1ΔΩ

Τμήμα: Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής Του Ανθρώπου

Σταύρος Π. Γιαννιώτης, Καθηγητής Μηχανικής Τροφίμων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





Μαθησιακοί Στόχοι

- Υπολογισμός των ιδιοτήτων μίγματος ξηρού αέρα – υδρατμών
- Προσδιορισμός των ιδιοτήτων μίγματος ξηρού αέρα – υδρατμών από το ψυχομετρικό διάγραμμα



Λέξεις Κλειδιά

- Ξηρός αέρας
- Απόλυτη υγρασία
- Σχετική υγρασία
- Υγρή θερμότητα
- Υγρός όγκος
- Ενθαλπία
- Θερμοκρασία υγρού βολβού
- Αδιαβατική θερμοκρασία
- Ψυχομετρικό διάγραμμα



Ορισμοί ^{1/5}

Απόλυτη Υγρασία

$$Y = \frac{m_Y}{m_A} = \frac{18y_Y}{29y_A} = \frac{18}{29} \frac{p_Y/P}{(P - p_Y)/P} = \frac{18}{29} \frac{p_Y}{P - p_Y}$$

όπου:

Y απόλυτη υγρασία, kg νερού/kg ξηρού αέρα

m_Y μάζα υδρατμών, kg

m_A μάζα ξηρού αέρα, kg

y_Y γραμμομοριακός λόγος υδρατμών

y_A γραμμομοριακός λόγος ξηρού αέρα

p_Y μερική πίεση υδρατμών στο μίγμα αέρα-υδρατμών, Pa

P ολική πίεση, Pa



Ορισμοί 2/5

Σχετική Υγρασία

$$\Sigma Y = \frac{y_Y}{y_w} = \frac{\cancel{p_Y} / P}{\cancel{p_w} / P} = \frac{p_Y}{p_w} \quad \text{ή} \quad \Sigma Y \% = 100 \frac{p_Y}{p_w}$$

Υπενθύμιση: $a_w = \frac{p_Y}{p_w}$

όπου:

y_Y γραμμομοριακός λόγος υδρατμών στον αέρα

y_w γραμμομοριακός λόγος υδρατμών στον αέρα για την τάση ατμών του καθαρού νερού

p_Y μερική πίεση υδρατμών στο μίγμα αέρα-υδρατμών, Pa

p_w τάση ατμών του καθαρού νερού, Pa

P ολική πίεση, Pa

a_w ενεργότητα του νερού



Ορισμοί 3/5

Υγρή Θερμότητα

$$c_s = 1,005 + 1,88Y$$

όπου:

c_s υγρή θερμότητα, kJ/kg ξηρού αέρα^oC

Y απόλυτη υγρασία, kg νερού/kg ξηρού αέρα



Ορισμοί 4/5

Υγρός όγκος

$$v_H = \frac{22,4 \text{ T}}{273} \left(\frac{1}{29} + \frac{Y}{18} \right) = \left(2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} Y \right) \text{ T}$$

όπου:

v_H υγρός όγκος, m^3/kg ξηρού αέρα

Y απόλυτη υγρασία, kg νερού/ kg ξηρού αέρα

T απόλυτη θερμοκρασία του αέρα, K



Ορισμοί 5/5

Ενθαλπία

$$H = c_s(T - T_0) + Y \lambda_0 = (1,005 + 1,88Y) T + 2501 Y$$

όπου:

c_s υγρή θερμότητα, kJ/kg ξηρού αέρα $^{\circ}\text{C}$

Y απόλυτη υγρασία, kg νερού/kg ξηρού αέρα

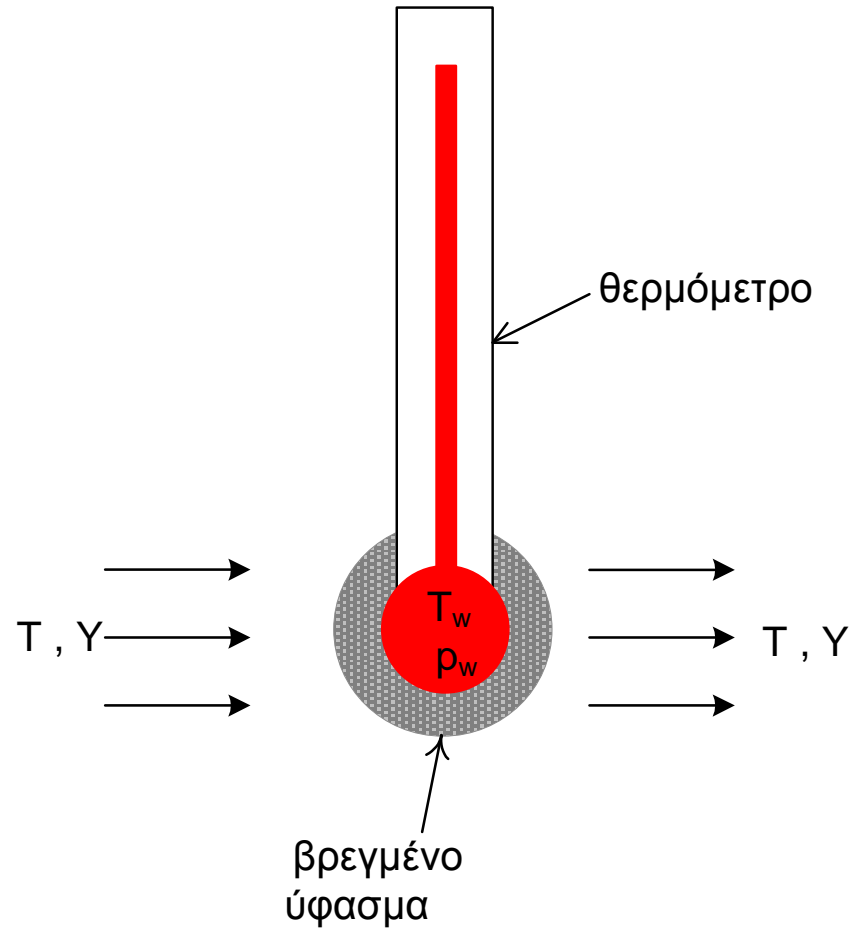
T θερμοκρασία του αέρα, $^{\circ}\text{C}$

T_0 θερμοκρασία αναφοράς, $^{\circ}\text{C}$

λ_0 λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού στη θερμοκρασία T_0 , kJ/kg

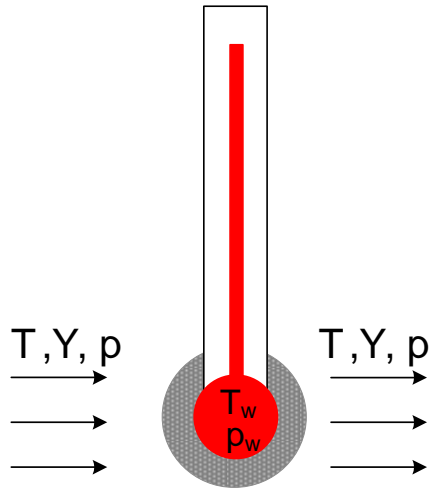


Θερμοκρασία Υγρού Βολβού





Θερμοκρασία Υγρού Βολβού, T_w 1/4



- Ροή θερμότητας από τον αέρα προς το ύφασμα:

$$q_a = hA(T - T_w)$$

- Εξάτμιση νερού από το ύφασμα:

$$N_w = k_G A(p_w - p) \approx k_y A(y_w - y)$$

όπου:

T θερμοκρασία του αέρα, °C

T_w θερμοκρασία υγρού βολβού, °C

h συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, $W/m^2\text{°C}$

A επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας και μάζας, m^2

N_w ρυθμός ροής μάζας των υδρατμών, $kmol/s$

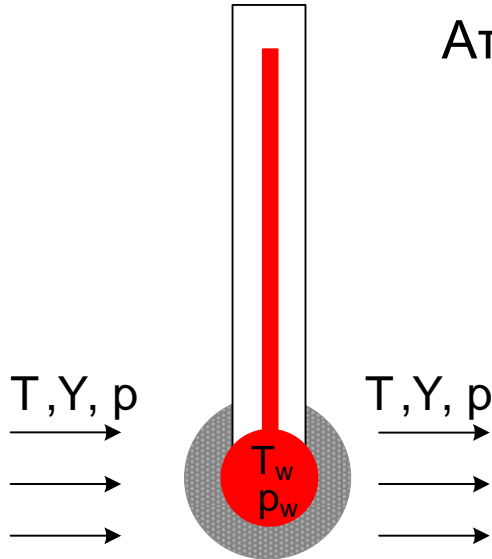
k_G και k_y συντελεστής μεταφοράς μάζας, $kmol/s\ m^2Pa$ ή $kmol/s\ m^2$ μοριακό κλάσμα

p τάση υδρατμών, Pa

y γραμμομοριακός λόγος υδρατμών



Θερμοκρασία Υγρού Βολβού, T_w 2/4



Από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει:

$$N_w = k_y A \left(\frac{Y_w / 18}{1/29 + Y_w / 18} - \frac{Y / 18}{1/29 + Y / 18} \right) \approx \frac{29}{18} k_y A (Y_w - Y)$$

και

$$q_\lambda = 18 N_w \lambda_w = 29 k_y \lambda_w A (Y_w - Y) = k'_y \lambda_w A (Y_w - Y)$$

όπου

q_λ ροή θερμότητας ως λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, kW

λ_w λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού, kJ/kg

k'_y συντελεστής μεταφοράς μάζας, kg/s m² ΔY

Y απόλυτη υγρασία, kg νερού/kg ξηρού αέρα



Θερμοκρασία Υγρού Βολβού, T_w

3/4

Σε σταθερή κατάσταση:

$$q_a = q_\lambda$$

Επομένως: $hA(T - T_w) = 29k_y \lambda_w A(Y_w - Y) = k'_y \lambda_w A(Y_w - Y)$

$$\text{ή} \quad \frac{Y - Y_w}{T - T_w} = - \frac{h/29k_y}{\lambda_w} = - \frac{h/k'_y}{\lambda_w}$$

$$\text{ή} \quad T - T_w = \frac{\lambda_w}{h/k'_y} (Y_w - Y)$$



Θερμοκρασία Υγρού Βολβού, T_w 4/4

Επειδή για το μίγμα αέρα-υδρατμών:

$$\frac{h}{k'_y} = \frac{h}{29k_y} \approx c_s$$

Ψυχομετρικός λόγος

και $c_s \approx 0,96-1,005$ (για το μίγμα αέρα υδρατμών)

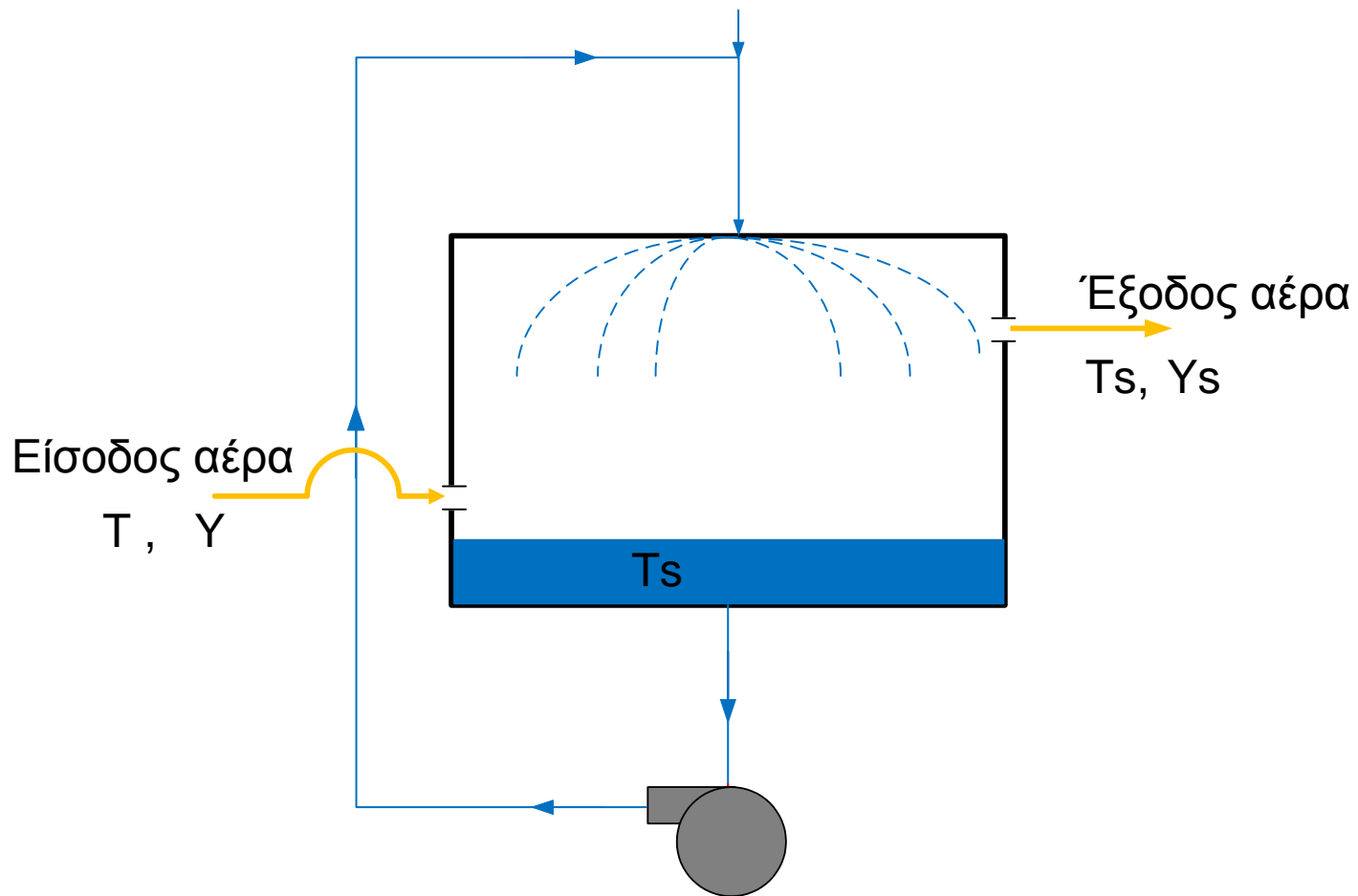
έχουμε: $\frac{h}{k_y} \approx 0,96 - 1,005$

Σχέση Lewis



Θερμοκρασία Αδιαβατικού Κορεσμού, T_s ^{1/2}

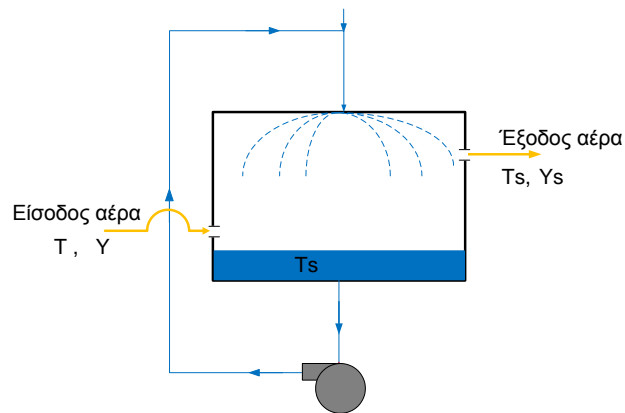
Νερό αναπλήρωσης, T_s





Θερμοκρασία Αδιαβατικού Κορεσμού, T_s 2/2

Νερό αναπλήρωσης, T_s



Ισοζύγιο ενθαλπίας στον αέρα: $H_{in} = H_{out}$

ή

$$c_s(T - T_s) + Y\lambda_s = c_s(T_s - T_s) + Y_s\lambda_s$$

ή

$$c_s(T - T_s) = (Y_s - Y)\lambda_s$$

ή

$$\frac{Y - Y_s}{T - T_s} = -\frac{c_s}{\lambda_s} = \frac{1,005 + 1,88Y}{\lambda_s}$$



Σύγκριση T_w και T_s

Από τα προηγούμενα έχουμε:

- Θερμοκρασία υγρού βολβού

$$\frac{Y - Y_w}{T - T_w} = - \frac{h / k'_y}{\lambda_w}$$

- Θερμοκρασία αδιαβατικού κορεσμού

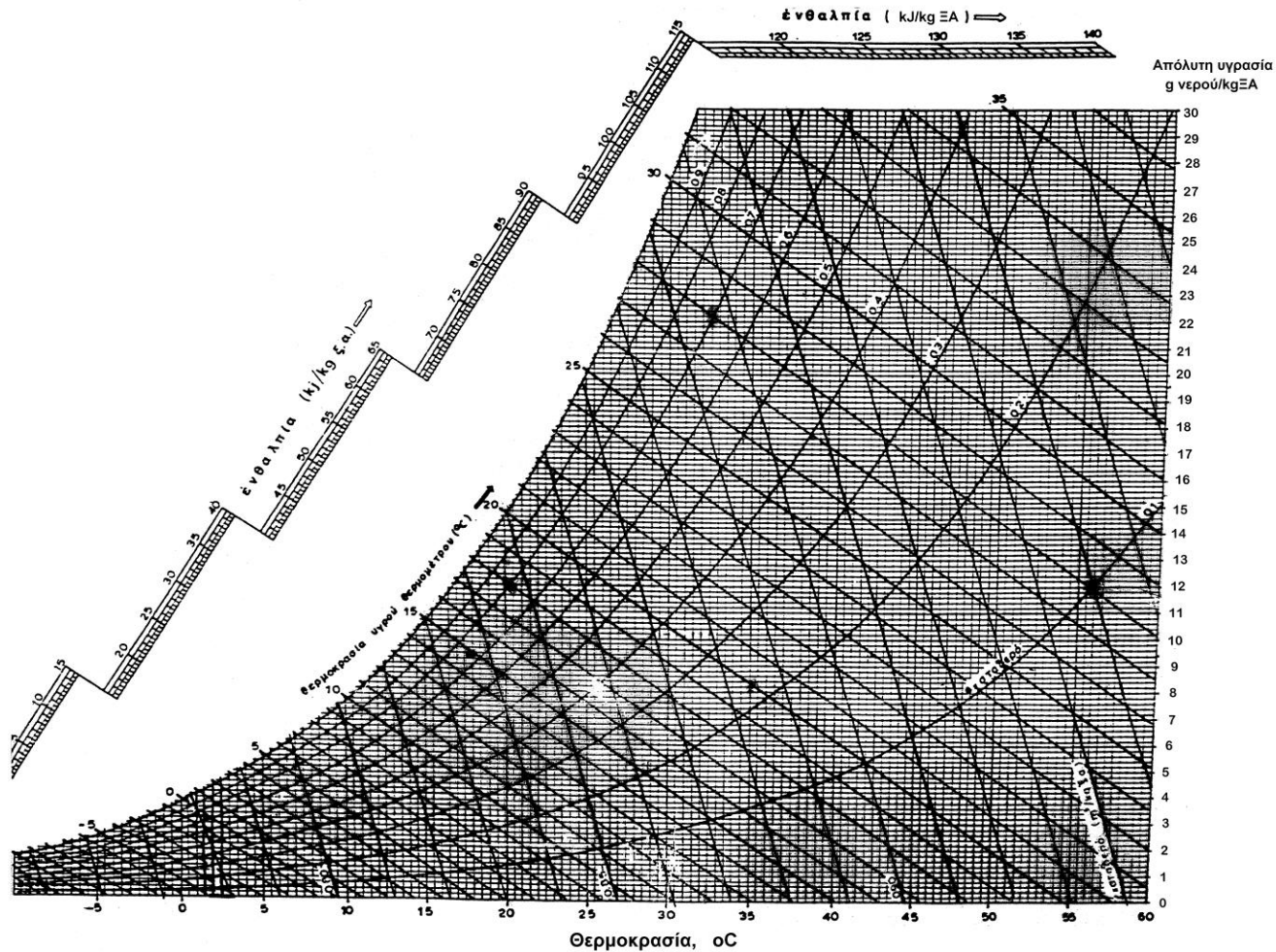
$$\frac{Y - Y_s}{T - T_s} = - \frac{c_s}{\lambda_s}$$

και επειδή $\frac{h}{k'_y} = \frac{h}{29k_y} \approx c_s$ και $\lambda_w \approx \lambda_s$

προκύπτει: $T_w \approx T_s$

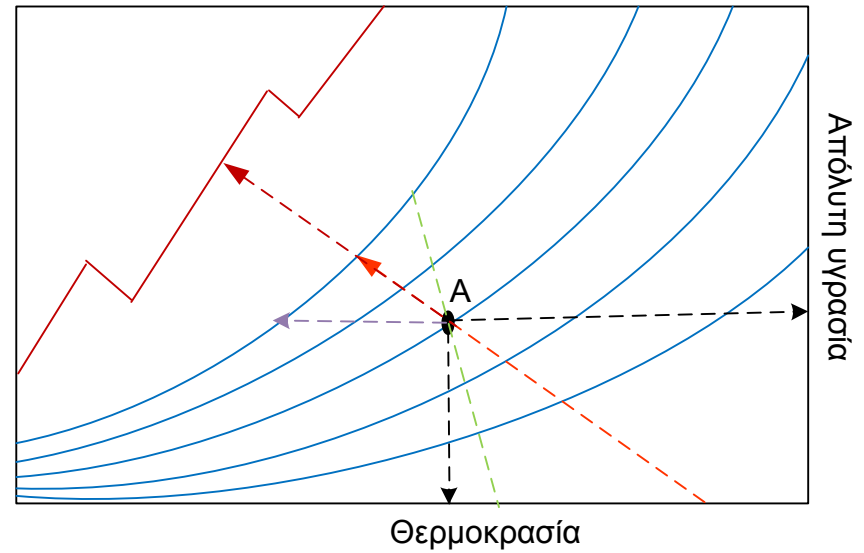
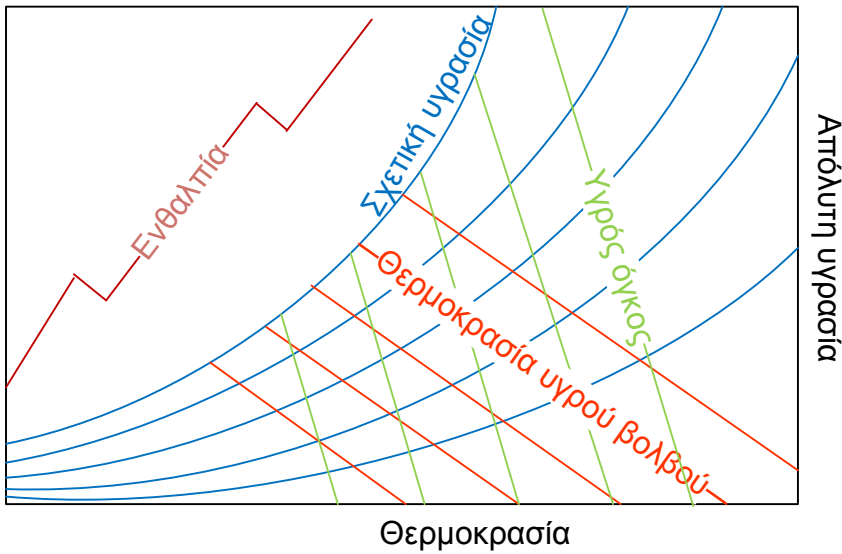


Ψυχομετρικό Διάγραμμα 1/6





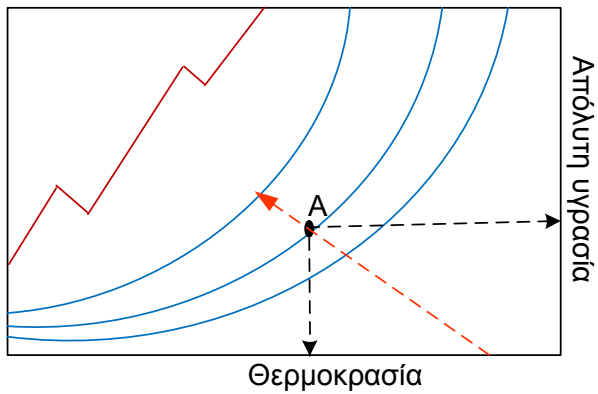
Ψυχομετρικό Διάγραμμα 2/6



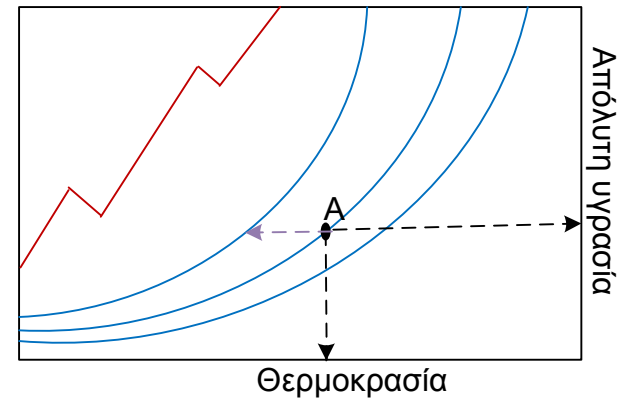


Ψυχομετρικό Διάγραμμα 3/6

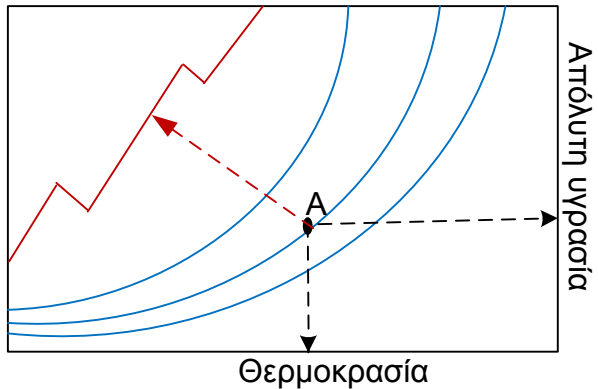
α) Προσδιορισμός θερμοκρασίας υγρού βολβού



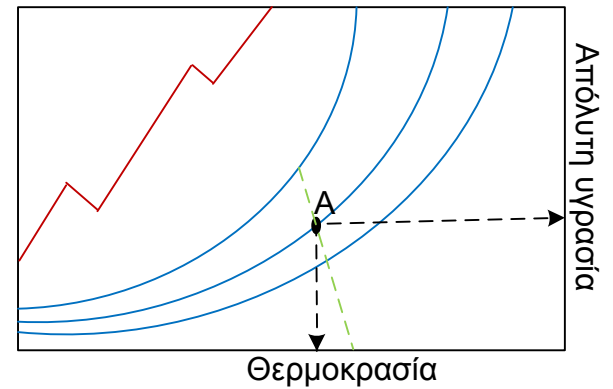
β) Προσδιορισμός θερμοκρασίας δρόσου



γ) Προσδιορισμός Ενθαλπίας




δ) Προσδιορισμός υγρού όγκου





Ψυχομετρικό Διάγραμμα 4/6

Παράδειγμα

Είκοσι χιλιάδες m^3/h αέρας με θερμοκρασία $25^\circ C$ και σχετική υγρασία 50% θερμαίνεται σε ένα εναλλάκτη θερμότητας μέχρι τους $55^\circ C$. Στη συνέχεια τροφοδοτείται σε ένα ξηραντήριο απ' όπου εξέρχεται με σχετική υγρασία 40%. Να ευρεθούν οι ιδιότητες του αέρα στην είσοδο και στην έξοδο του ξηραντηρίου από το ψυχομετρικό διάγραμμα και να υπολογιστεί: α) πόση ενέργεια απαιτείται για να θερμανθεί ο αέρας πριν τροφοδοτηθεί στο ξηραντήριο και β) πόσα kg νερό απομακρύνονται από το τρόφιμο στο ξηραντήριο. 



Ψυχομετρικό Διάγραμμα 5/6

Λύση

Ο αέρας θερμαίνεται με σταθερή απόλυτη υγρασία από τους 25° στους 55°C και στη συνέχεια κινείται ισενθαλπικά μέσα στο ξηραντήριο. Οι ιδιότητές του είναι:

	Είσοδος	Έξοδος
Απόλυτη υγρασία (g νερού/kg ΞΑ)	10	17
Σχετική υγρασία (%)	9	40
Θερμοκρασία υγρού βολβού (°C)	26.6	26.6
Ενθαλπία (kJ/kg ΞΑ)	84.5	84.5
Θερμοκρασία δρόσου (°C)	14	22.8
Υγρός όγκος (m ³ /kg ΞΑ)	0.944	0.96





Ψυχομετρικό Διάγραμμα 6/6

Ο ειδικός όγκος του αέρα πριν θερμανθεί είναι $0.858 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ ΞΑ}$ και η ενθαλπία του είναι $51.5 \text{ kJ/kg} \text{ ΞΑ}$. Επομένως:

Η ροή μάζας του αέρα είναι:

$$\dot{m} = \frac{20000}{0.858} \frac{\text{m}^3 / \text{h}}{\text{m}^3 / \text{kg} \text{ ΞΑ}} = 23310 \text{ kg} \text{ ΞΑ} / \text{h}$$

Η απαιτούμενη ενέργεια είναι:

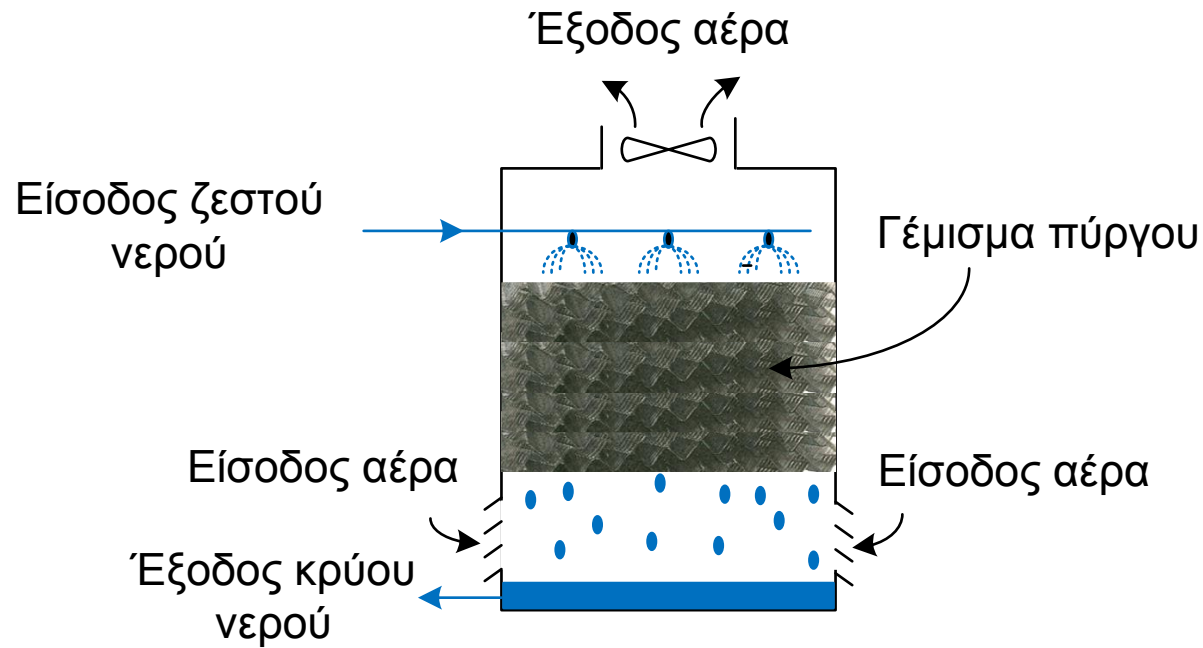
$$E = \dot{m}(H_2 - H_1) = 23310(84.5 - 51.5) = 769231 \text{ kJ} / \text{h}$$

Η ποσότητα νερού που θα απομακρυνθεί από το προϊόν είναι:

$$N = \frac{\dot{m}(Y_2 - Y_1)}{1000} = 23310(17 - 10) = 163.17 \text{ kg} / \text{h}$$



Πύργος Ψύξεως





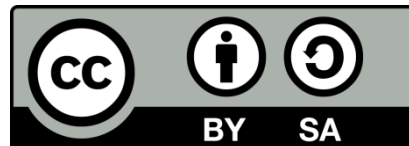
Βιβλιογραφία

- Σ. Γιαννιώτη, Παραδόσεις Μηχανικής Τροφίμων
- S. Yanniotis, Solving Problems in Food Engineering, Springer
- Χ. Λαζαρίδης, Μηχανική Τροφίμων, Γιαχούδη-Γιαπουλή
- P.R.Singh & D.R. Heldman, Introduction to Food Engineering, Academic Press
- Mac Cabe & Smith, Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής
- C. Geankoplis, Transport Processes and Unit Operations
- Trayball, Mass Trasfer Operations



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





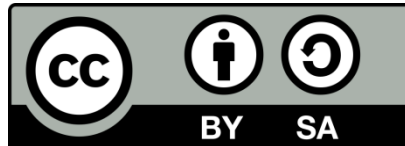
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, Στάυρος Π. Γιαννιώτης. «Βασικές Διεργασίες Μηχανικής Τροφίμων». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/OCDFSHN108/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων, π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
 - το Σημείωμα Αδειοδότησης
 - τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
 - το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)
- μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.