



Βασικές Διεργασίες Μηχανικής Τροφίμων

Ενότητα 1:

Εξάτμιση (2/2), 2ΔΩ

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





Μαθησιακοί Στόχοι

- Ισοζύγια μάζας και ενέργειας σε εξατμιστήρα
- Υπολογισμός θερμαντικής επιφάνειας βαθμίδων
- Υπολογισμός κατανομής θερμοκρασίας στις βαθμίδες
- Υπολογισμός κατανάλωσης ατμού εξατμιστήρα
- Υπολογισμός εξατμιστικής ικανότητας εξατμιστήρα
- Επίδραση της αύξησης του σημείου βρασμού στη διαθέσιμη διαφορά θερμοκρασίας
- Επίδραση λειτουργικών παραμέτρων επί της συγκέντρωσης του τελικού προϊόντος, της θερμοκρασίας εξαΐτισης, της κατανάλωσης ενέργειας
- Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη συμπύκνωση



Λέξεις Κλειδιά

- Επιφάνεια εξατμιστήρα
- Κατανάλωση ατμού
- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Αύξηση του σημείου βρασμού
- Διαθέσιμη διαφορά θερμοκρασίας
- Θερμική ανασυμπίεση υδρατμών
- Μηχανική ανασυμπίεση υδρατμών



Ανάλυση Εξατμιστήρα





Ισοζύγιο Μάζας & Ενέργειας

α) Ολικό ισοζύγιο μάζας για το προϊόν

$$\dot{M}_{\text{εισ}} = \dot{M}_{\text{εξ}} + \dot{M}_{\text{υ}}$$

β) Μερικό ισοζύγιο μάζας για τα στερεά

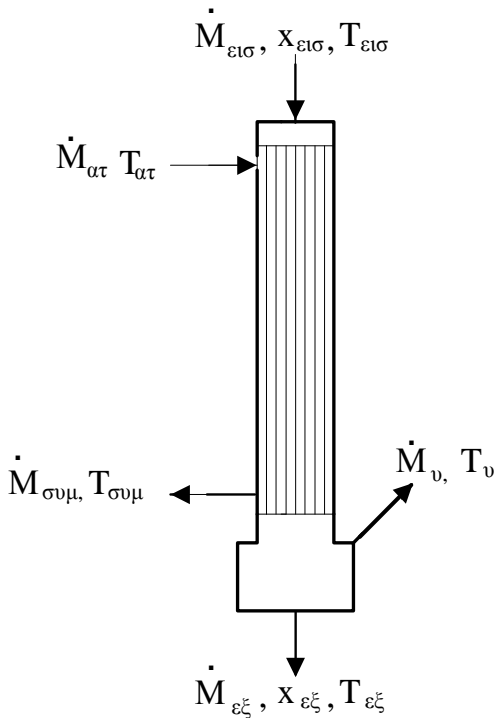
$$\dot{M}_{\text{εισ}} x_{\text{εισ}} = \dot{M}_{\text{εξ}} x_{\text{εξ}}$$

γ) Ολικό ισοζύγιο ενθαλπίας

$$\dot{M}_{\text{εισ}} H_{\text{εισ}} + \dot{M}_{\text{ατ}} H_{\text{ατ}} = \dot{M}_{\text{εξ}} H_{\text{εξ}} + \dot{M}_{\text{συμ}} H_{\text{συμ}} + \dot{M}_{\text{υ}} H_{\text{υ}} + q_{\text{απ}}$$

Εάν $q_{\text{απ}}=0$

$$\dot{M}_{\text{εισ}} c_{p\text{εισ}} T_{\text{εισ}} + \dot{M}_{\text{ατ}} H_{\text{ατ}} = \dot{M}_{\text{εξ}} c_{p\text{εξ}} T_{\text{εξ}} + \dot{M}_{\text{συμ}} c_{p\text{συμ}} T_{\text{συμ}} + \dot{M}_{\text{υ}} H_{\text{υ}}$$



Όπου: \dot{M} =ροή μάζας, H = ενθαλπία, T = θερμοκρασία, c_p = ειδική θερμότητα, $q_{\text{απ}}$ = απώλειες θερμότητας



Κατανάλωση Ατμού

ΟΠΟΤΕ

$$\dot{M}_{\alpha\tau} = \frac{\dot{M}_v H_v - \dot{M}_{\epsilon\text{ισ}} c_{p\epsilon\text{ισ}} T_{\epsilon\text{ισ}} + \dot{M}_{\epsilon\text{ξ}} c_{p\epsilon\text{ξ}} T_{\epsilon\text{ξ}}}{H_{\alpha\tau} - c_{p\sigma\text{υμ}} T_{\sigma\text{υμ}}}$$

Εάν

$$T_{\epsilon\text{ισ}} = T_{\epsilon\text{ξ}} = T_{\beta\rho} \quad \text{και} \quad c_{p\epsilon\text{ισ}} \approx c_{p\epsilon\text{ξ}}$$

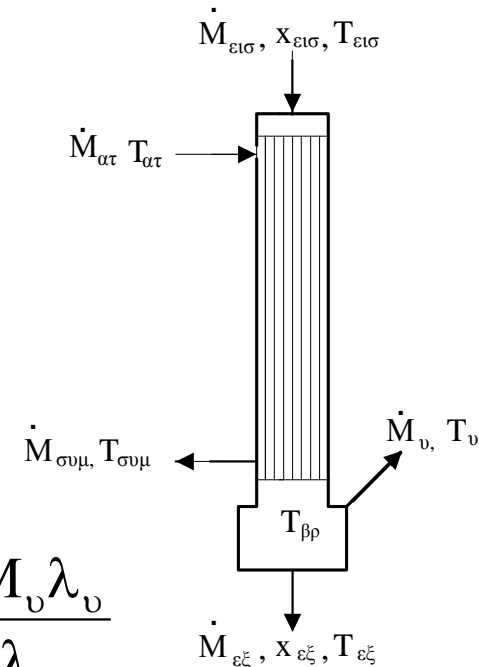
ΤΟΤΕ

$$\dot{M}_{\alpha\tau} = \frac{\dot{M}_v H_v - (\dot{M}_{\epsilon\text{ισ}} - \dot{M}_{\epsilon\text{ξ}}) c_p T_{\beta\rho}}{H_{\alpha\tau} - c_{p\sigma\text{υμ}} T_{\sigma\text{υμ}}} = \frac{\dot{M}_v (H_v - c_p T_{\beta\rho})}{H_{\alpha\tau} - c_{p\sigma\text{υμ}} T_{\sigma\text{υμ}}} = \frac{\dot{M}_v \lambda_v}{\lambda_{\alpha\tau}}$$

και άρα

$$\dot{M}_{\alpha\tau} \lambda_{\alpha\tau} = \dot{M}_v \lambda_v$$

όπου: λ = λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης





Επιφάνεια Εξατμιστήρα και Εξατμιστική Ικανότητα

Εξίσωση ρυθμού μεταφοράς θερμότητας

$$q = UA(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho}) \quad \longrightarrow \quad A = \frac{q}{U(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho})}$$

Επειδή

$$q = \dot{M}_{\alpha\tau} (H_{\alpha\tau} - c_{p\sigma\mu} T_{\sigma\mu}) = \dot{M}_{\alpha\tau} \lambda_{\alpha\tau}$$

Επιφάνεια εξατμιστήρα

$$A = \frac{q}{U(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho})} = \frac{\dot{M}_{\alpha\tau} \lambda_{\alpha\tau}}{U(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho})}$$

Εξατμιστική ικανότητα:

Επειδή $\dot{M}_{\alpha\tau} \lambda_{\alpha\tau} \approx \dot{M}_v \lambda_v \quad \longrightarrow \quad \dot{M}_v = \frac{UA(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho})}{\lambda_v}$



Μονοβάθμιος Εξατμιστήρας ^{1/6}

Παράδειγμα

Ένας μονοβάθμιος εξατμιστήρας χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση 1000 kg/h ενός υγρού τροφίμου από 10% σε 15% διαλυτά στερεά. Να υπολογιστούν:

1. η ποσότητα του παραγόμενου συμπυκνωμένου προϊόντος,
2. η απαιτούμενη ποσότητα ατμού και
3. η απαιτούμενη επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας του εξατμιστήρα, εάν η θερμοκρασία του ατμού είναι 100°C, η πίεση στον εξατμιστήρα είναι 47.39 kPa, η ειδική θερμότητα του προϊόντος στην είσοδο είναι 4 kJ/kg°C και στην έξοδο 3.8 kJ/kg°C, η θερμοκρασία του προϊόντος στην είσοδο είναι 75°C και ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι 800 W/m²°C.





Μονοβάθμιος Εξατμιστήρας ^{2/6}

Λύση

Υποθέσεις:

Οι απώλειες θερμότητας είναι αμελητέες

Η αύξηση του σημείου βρασμού του τροφίμου είναι αμελητέα.





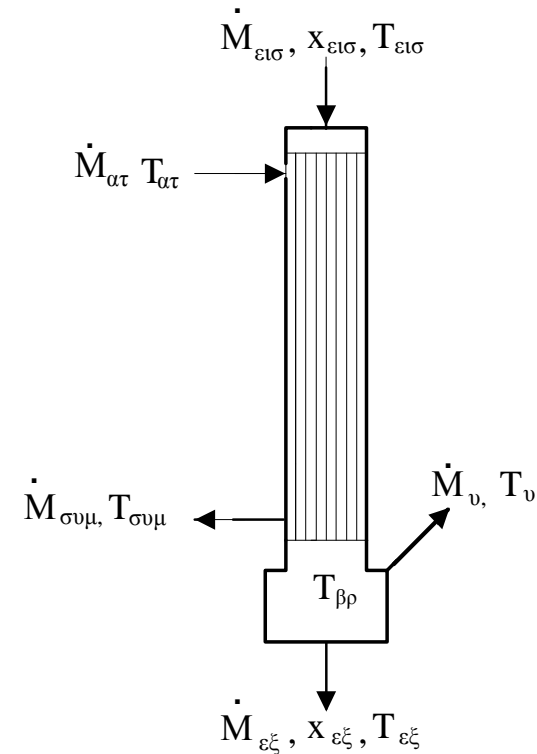
Μονοβάθμιος Εξατμιστήρας 3/6

1. Η ποσότητα του συμπυκνωμένου προϊόντος ευρίσκεται από ένα μερικό ισοζύγιο μάζας ως προς τα στερεά.

$$\dot{M}_{\varepsilon\iota\sigma} X_{\varepsilon\iota\sigma} = \dot{M}_{\varepsilon\xi} X_{\varepsilon\xi}$$

$$1000 \times 0.10 = \dot{M}_{\varepsilon\xi} \times 0.15$$

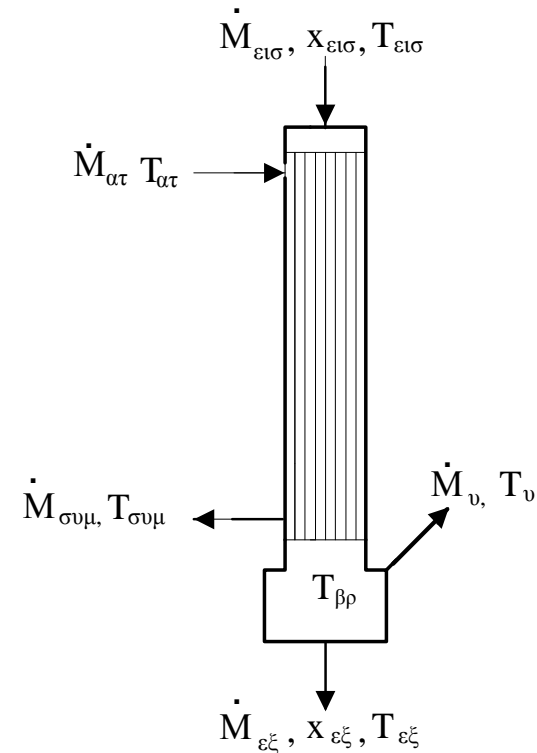
$$\dot{M}_{\varepsilon\xi} = 666.67 \text{ kg / h}$$





Μονοβάθμιος Εξατμιστήρας 4/6

2. Η απαιτούμενη ποσότητα ατμού θα ευρεθεί από το ισοζύγιο ενθαλπίας.
Δοθέντος ότι η πίεση είναι 47.39 kPa, η θερμοκρασία βρασμού θα είναι ίση με 80°C, η ενθαλπία των υδρατμών που παράγονται από το βρασμό ίση με 2643.7 kJ/kg και η ενθαλπία του ατμού στους 100°C ίση με 2676.1 kJ/kg. Η θερμοκρασία του συμπυκνώματος θα είναι ίση με τη θερμοκρασία του ατμού και η θερμοκρασία του προϊόντος στην έξοδο ίση με τη θερμοκρασία βρασμού του προϊόντος



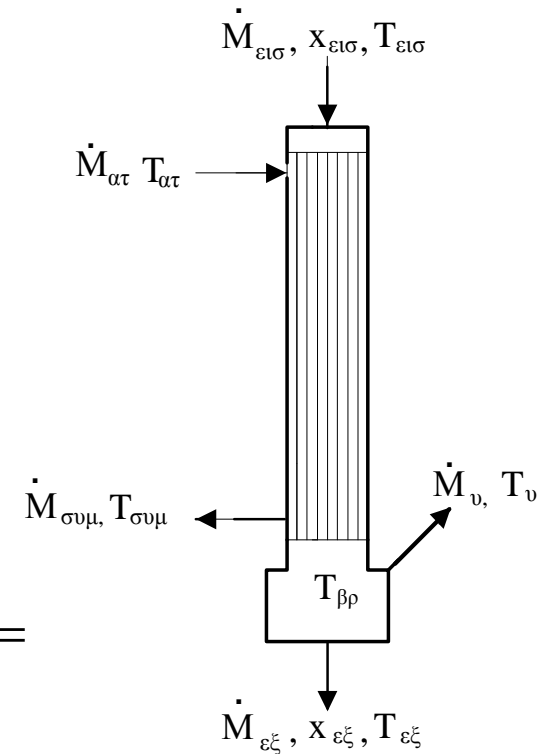


Μονοβάθμιος Εξατμιστήρας 5/6

$$\dot{M}_{\alpha\tau} = \frac{\dot{M}_v H_v - \dot{M}_{\epsilon\iota\sigma} c_{p\epsilon\iota\sigma} T_{\epsilon\iota\sigma} + \dot{M}_{\epsilon\xi} c_{p\epsilon\xi} T_{\epsilon\xi}}{H_{\alpha\tau} - c_{p\sigma\upsilon\mu} T_{\sigma\upsilon\mu}}$$

$$\dot{M}_{\alpha\tau} = \frac{333.33 \times 2643.7 - 1000 \times 4 \times 75 + 666.67 \times 3.8 \times 80}{2676.1 - 4.18 \times 100} =$$

$$= 347.1 \text{ kg/h} = 0.0964 \text{ kg/s}$$



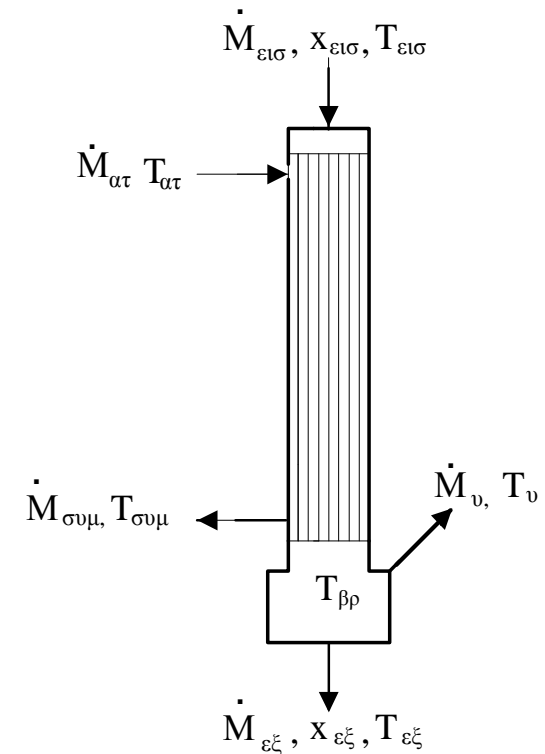


Μονοβάθμιος Εξατμιστήρας 6/6

3. Απαιτούμενη επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας

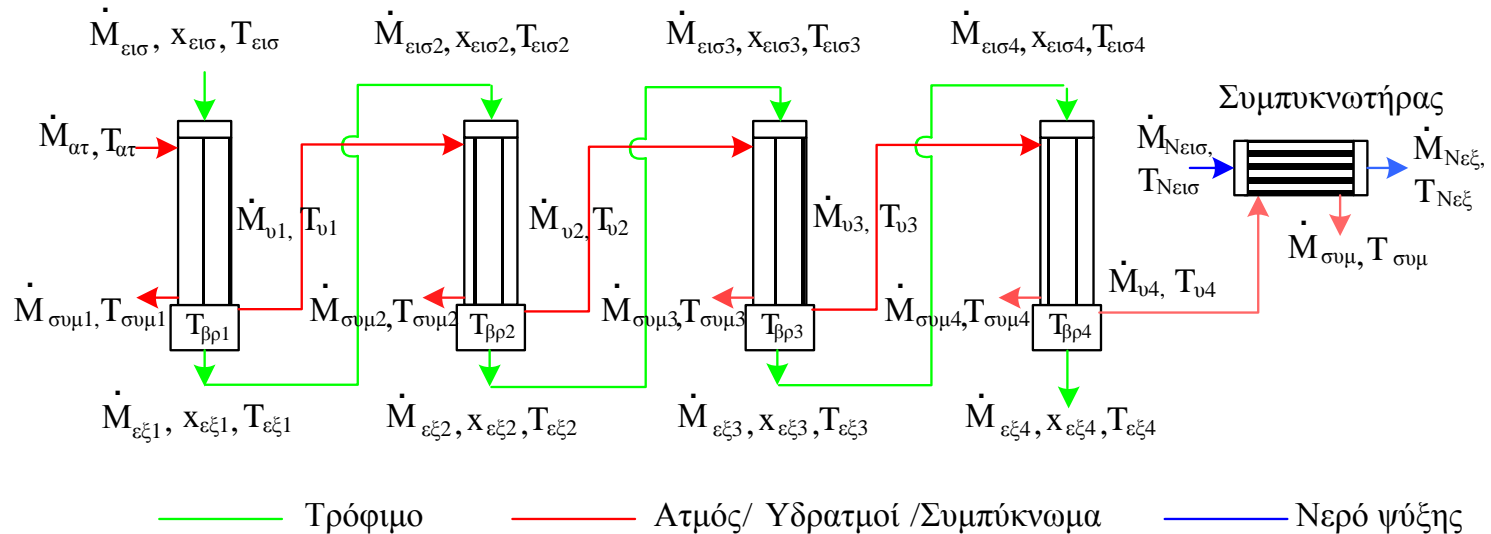
$$A = \frac{q}{U(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho})} = \frac{\dot{M}_{\alpha\tau} \lambda_{\alpha\tau}}{U(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho})}$$

$$A = \frac{0.0964 \times (2676.1 - 419)}{0.8 \times (100 - 80)} = 13.6 \text{ m}^2$$





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 1/12



Σε ένα εξατμιστήρα 4 βαθμίδων θα έχουμε:

$$q_1 = U_1 A_1 \Delta T_1 \quad q_2 = U_2 A_2 \Delta T_2 \quad q_3 = U_3 A_3 \Delta T_3 \quad q_4 = U_4 A_4 \Delta T_4$$

όπου: U =ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας
 A = επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας
 ΔT = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ θερμαντικού μέσου και θερμοκρασίας βρασμού της αντίστοιχης βαθμίδας



Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας ^{2/12}

Επειδή μπορούμε να θεωρήσουμε ότι:

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4$$

προκύπτει ότι:

$$U_1 A_1 \Delta T_1 = U_2 A_2 \Delta T_2 = U_3 A_3 \Delta T_3 = U_4 A_4 \Delta T_4$$



Αντίσταση στη Μεταφορά Θερμότητας

Από τη γενική εξίσωση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας γνωρίζουμε ότι:

$$q = \frac{\Delta T}{R}$$

Για την περίπτωση του εξατμιστήρα 4 βαθμίδων όπου

$$q = q_1 = q_2 = q_3 = q_4$$

θα έχουμε:

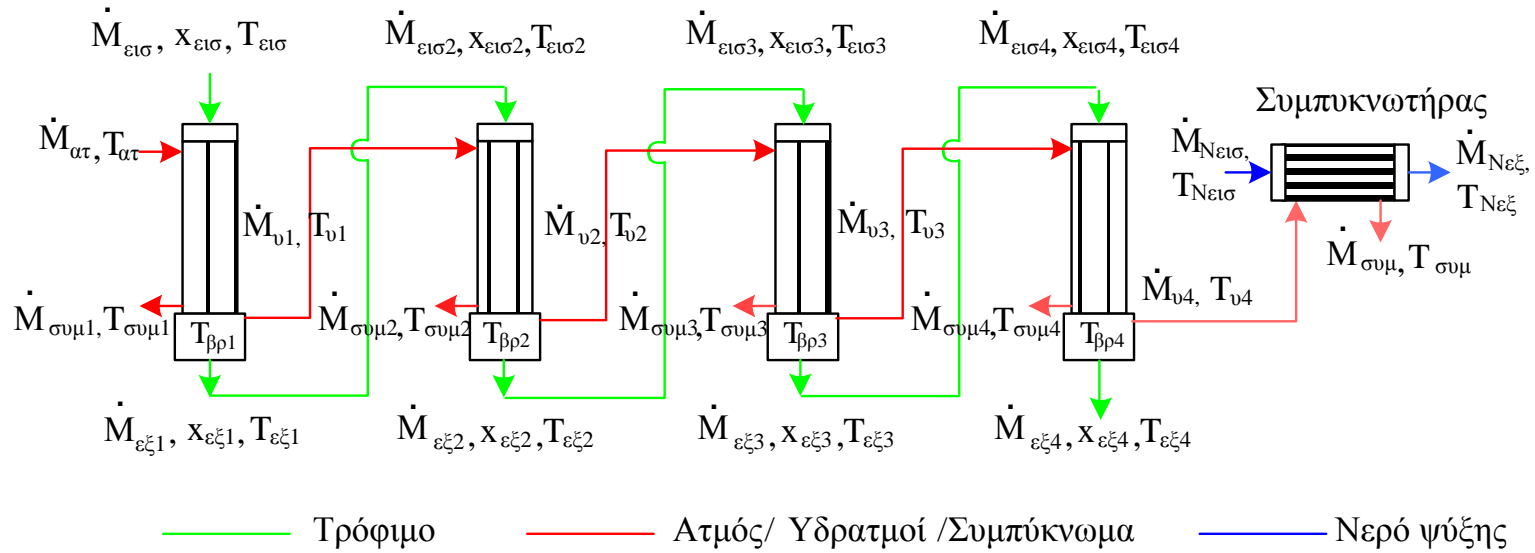
$$q = \frac{\Delta T_1}{R_1} = \frac{\Delta T_2}{R_2} = \frac{\Delta T_3}{R_3} = \frac{\Delta T_4}{R_4}$$

όπου:

$$R_1 = \frac{1}{U_1 A_1} \quad R_2 = \frac{1}{U_2 A_2} \quad R_3 = \frac{1}{U_3 A_3} \quad R_4 = \frac{1}{U_4 A_4}$$



Διαφορά Θερμοκρασίας



$$T_{\alpha\tau} - T_{\sigma\upsilon\mu} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 = \sum \Delta T_i = \Delta T_{\omicron\lambda}$$



Θερμοκρασία Βαθμίδων 1/2

Γνωρίζουμε ότι στην περίπτωση αντιστάσεων ‘εν σειρά’

$$\frac{R_i}{\sum R_i} = \frac{\Delta T_i}{\Delta T_{ολ}}$$

και επομένως:

$$\Delta T_i = \frac{R_i}{\sum R_i} \Delta T_{ολ}$$

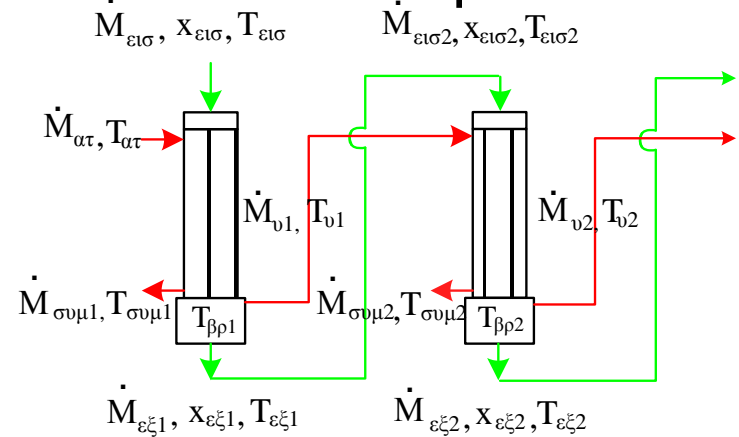
Εάν θέσουμε:

$$T_{\beta\rho 1} = T_1 = T_{\upsilon 1}, \quad T_{\beta\rho 2} = T_2 = T_{\upsilon 2}, \quad T_{\beta\rho 3} = T_3 = T_{\upsilon 3}, \quad T_{\beta\rho 4} = T_4 = T_{\upsilon 4}$$

τότε:

$$\Delta T_1 = T_{\alpha\tau} - T_1$$

$$T_1 = T_{\alpha\tau} - \Delta T_1 = T_{\alpha\tau} - \frac{R_1}{\sum R_i} \Delta T_{ολ}$$

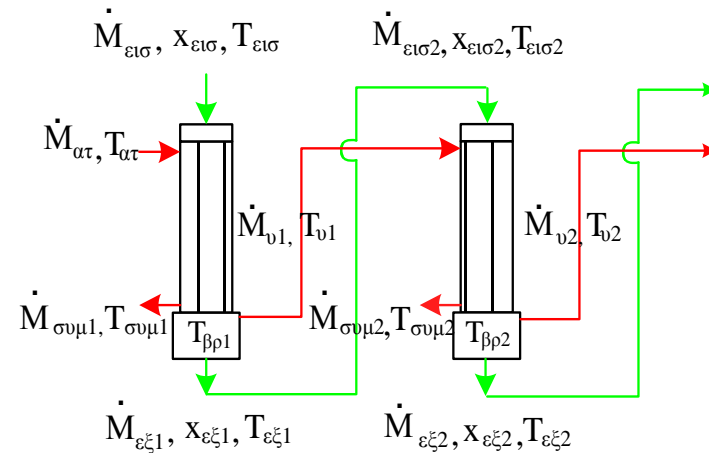




Θερμοκρασία Βαθμίδων 2/2

Ομοίως:

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2$$



απ' όπου:

$$T_2 = T_1 - \Delta T_2 = T_1 - \frac{R_2}{\sum R_i} \Delta T_{ολ} = T_{\alpha\tau} - \frac{R_1 + R_2}{\sum R_i} \Delta T_{ολ}$$

Ομοίως:

$$T_3 = T_{\alpha\tau} - \frac{R_1 + R_2 + R_3}{\sum R_i} \Delta T_{ολ} \quad \text{και} \quad T_4 = T_{\alpha\tau} - \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{\sum R_i} \Delta T_{ολ}$$



Εξατμιστική Ικανότητα 1/2

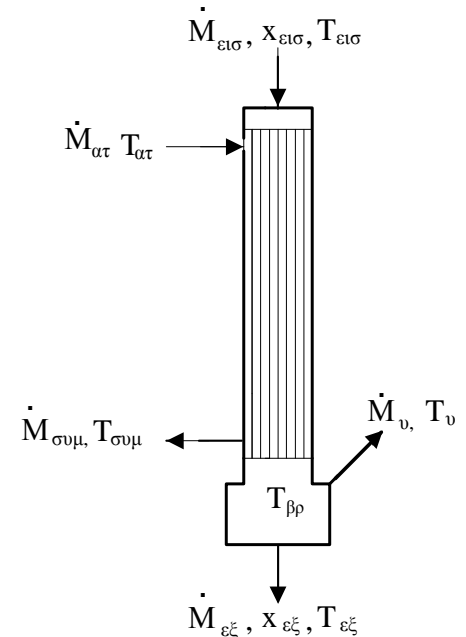
- Για μονοβάθμιο εξατμιστήρα

$$q = UA(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho}) = \dot{M}_{\alpha\tau} \lambda_{\alpha\tau} \approx \dot{M}_v \lambda_v$$

$$\dot{M}_v = \frac{UA(T_{\alpha\tau} - T_{\beta\rho})}{\lambda_v}$$

- Για πολυβάθμιο εξατμιστήρα

$$\dot{M}_v = \dot{M}_{v1} + \dot{M}_{v2} + \dot{M}_{v3} + \dot{M}_{v4} = \frac{U_1 A_1 \Delta T_1}{\lambda_{v1}} + \frac{U_2 A_2 \Delta T_2}{\lambda_{v2}} + \frac{U_3 A_3 \Delta T_3}{\lambda_{v3}} + \frac{U_4 A_4 \Delta T_4}{\lambda_{v4}}$$





Εξατμιστική Ικανότητα 2/2

Εάν υποθέσουμε ότι:

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 = U_3 A_3 = U_4 A_4 = UA$$

και $\lambda_{v1} \approx \lambda_{v2} \approx \lambda_{v3} \approx \lambda_{v4} \approx \lambda_v$

τότε:

$$M_v = \frac{UA}{\lambda_v} \Delta T$$

- Για μονοβάθμιο εξατμιστήρα
- Για πολυβάθμιο

$$M_v = \frac{UA}{\lambda_v} (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4) = \frac{UA}{\lambda_v} \Delta T_{ολ}$$



Επίδραση Αύξησης του Σημείου Βρασμού

$$T_1 = T_{\text{κρ1}} + \text{ΑΣΒ}_1$$

$$\Delta T_1 = T_{\text{ατ}} - T_1$$

$$\Delta T_2 = [(T_1 - \text{ΑΣΒ}_1) - T_2]$$

$$\Delta T_3 = [(T_2 - \text{ΑΣΒ}_2) - T_3]$$

$$\Delta T_4 = [(T_3 - \text{ΑΣΒ}_3) - T_4]$$

$$T_4 = T_{\text{συμ}} + \text{ΑΣΒ}_4$$

όπου:

ΑΣΒ Αύξηση του Σημείου Βρασμού

$T_{\text{κρ1}}$ Θερμοκρασία κορεσμού της 1ης βαθμίδας

$T_{\text{ατ}}$ Θερμοκρασία ατμού

$T_{\text{συμ}}$ Θερμοκρασία συμπυκνωτήρα

$$\Delta T_{\text{διαθέσιμη}} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 = T_{\text{ατ}} - T_{\text{συμ}} - (\text{ΑΣΒ}_1 + \text{ΑΣΒ}_2 + \text{ΑΣΒ}_3 + \text{ΑΣΒ}_4)$$



Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας ^{1/9}

Παράδειγμα

Ένας τριβάθμιος εξατμιστήρας χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση 0.4 kg/s ενός υγρού τροφίμου με 10% διαλυτά στερεά. Να υπολογιστούν:

1. η θερμοκρασία βρασμού σε κάθε βαθμίδα,
2. η οικονομία ατμού και
3. η συγκέντρωση του τελικού προϊόντος, εάν η θερμοκρασία του ατμού είναι 100°C , η θερμοκρασία στο συμπυκνωτή είναι 55°C , ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι 1000, 800 και $500 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ στην 1η, 2η και 3η βαθμίδα αντίστοιχα και η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας της κάθε βαθμίδας είναι 20 m^2 .





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 2/9

Λύση

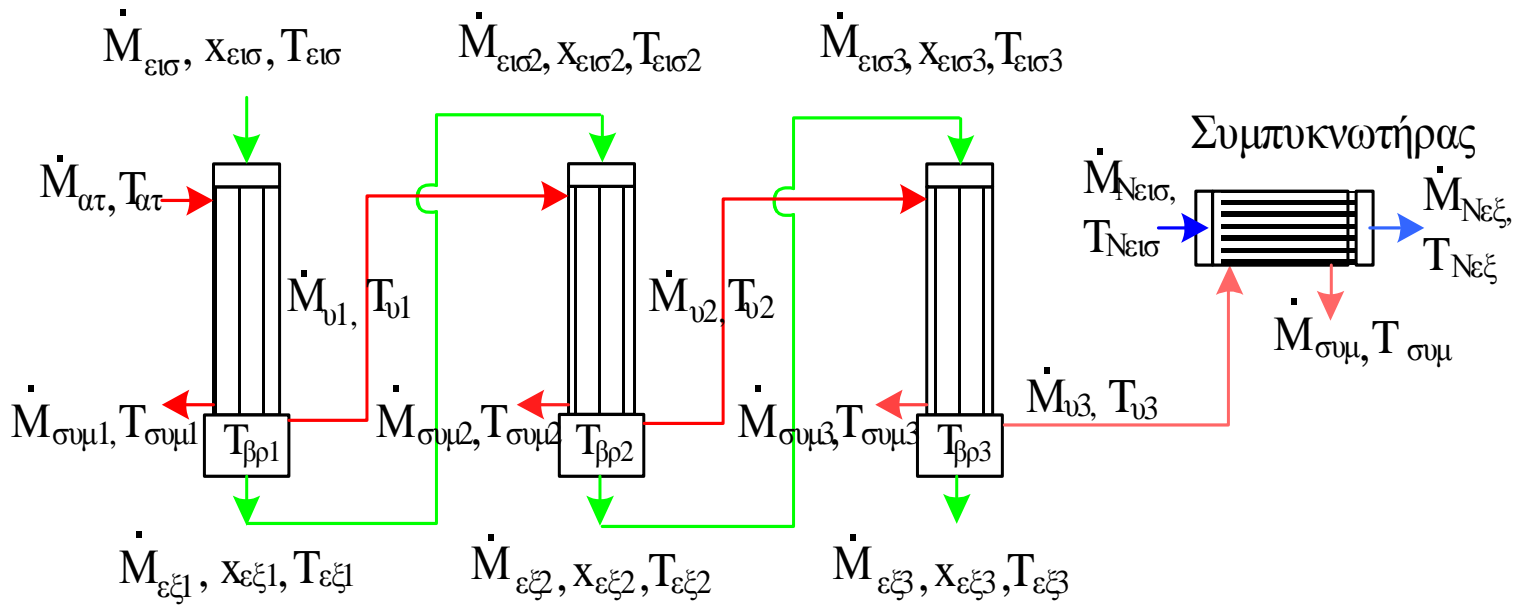
Υποθέσεις:

- Οι απώλειες θερμότητας είναι αμελητέες
- Η αύξηση του σημείου βρασμού του τροφίμου είναι αμελητέα





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 3/9



— Τρόφιμο

— Ατμός/ Υδρατμοί /Συμπύκνωμα

— Νερό ψύξης





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 4/9

Η συνολική διαφορά θερμοκρασίας θα είναι:

$$\Delta T_{ολ} = T_{ατ} - T_{συμ} = 100 - 55 = 45^{\circ}\text{C}$$

Η αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας στην κάθε βαθμίδα είναι:

$$R_1 = \frac{1}{U_1 A_1} = \frac{1}{1.0 \times 20} = 0.05^{\circ}\text{C/kW}$$

$$R_2 = \frac{1}{U_2 A_2} = \frac{1}{0.8 \times 20} = 0.0625^{\circ}\text{C/kW}$$

$$R_3 = \frac{1}{U_3 A_3} = \frac{1}{0.5 \times 20} = 0.1^{\circ}\text{C/kW}$$





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 5/9

Η συνολική αντίσταση θα είναι:

$$R_{ολ} = R_1 + R_2 + R_3 = 0.05 + 0.0625 + 0.1 = 0.2125 \text{ } ^\circ\text{C/kW}$$

Η διαφορά θερμοκρασίας στην κάθε βαθμίδα είναι:

$$\Delta T_1 = \frac{R_1}{\sum R} \Delta T_{ολ} = \frac{0.05}{0.2125} \times 45 = 10.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = \frac{R_2}{\sum R} \Delta T_{ολ} = \frac{0.0625}{0.2125} \times 45 = 13.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_3 = \frac{R_3}{\sum R} \Delta T_{ολ} = \frac{0.1}{0.2125} \times 45 = 21.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 6/9

Η θερμοκρασία βρασμού στην κάθε βαθμίδα είναι:

$$T_{\beta\rho 1} = T_{\alpha\tau} - \Delta T_1 = 100 - 10.6 = 89.4^\circ \text{C}$$

$$T_{\beta\rho 2} = T_{\beta\rho 1} - \Delta T_2 = 89.4 - 13.2 = 76.2^\circ \text{C}$$

$$T_{\beta\rho 3} = T_{\beta\rho 2} - \Delta T_3 = 76.2 - 21.2 = 55^\circ \text{C}$$

Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης στις θερμοκρασίες T_1 , T_2 , T_3 είναι:

$$\lambda_{u1} = 2284.7 \text{ kJ/kg,}$$

$$\lambda_{u2} = 2318.4 \text{ kJ/kg,}$$

$$\lambda_{u3} = 2370.7 \text{ kJ/kg}$$





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 7/9

Η εξατμιστική ικανότητα στην κάθε βαθμίδα είναι:

$$\dot{M}_{v1} = \frac{U_1 A_1 \Delta T_1}{\lambda_{v1}} = \frac{1.0 \times 20 \times 10.6}{2284.7} = 0.093 \text{ kg / s}$$

$$\dot{M}_{v2} = \frac{U_2 A_2 \Delta T_2}{\lambda_{v2}} = \frac{0.8 \times 20 \times 13.2}{2318.4} = 0.091 \text{ kg / s}$$

$$\dot{M}_{v3} = \frac{U_3 A_3 \Delta T_3}{\lambda_{v3}} = \frac{0.5 \times 20 \times 21.2}{2370.7} = 0.089 \text{ kg / s}$$

Η συνολική εξατμιστική ικανότητα είναι:

$$\dot{M}_v = 0.093 + 0.091 + 0.089 = 0.273 \text{ kg / s}$$





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 8/9

Η κατανάλωση ατμού στην 1η βαθμίδα είναι:

$$\dot{M}_{\alpha\tau} = \frac{U_1 A_1 (T_{\alpha\tau} - T_1)}{\lambda_{\alpha\tau 1}} = \frac{1.0 \times 20 \times (100 - 89.4)}{2676.1 - 419} = 0.094 \text{ kg / s}$$

Η οικονομία ατμού είναι:

$$OA = \frac{\dot{M}_v}{\dot{M}_{\alpha\tau}} = \frac{0.273}{0.094} = 2.9 \frac{\text{kg νερού}}{\text{kg ατμού}}$$





Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 9/9

Η ροή μάζας του προϊόντος στην έξοδο της 3ης βαθμίδας είναι:

$$\dot{M}_{\varepsilon\xi 3} = \dot{M}_{\varepsilon\iota\sigma 1} - \dot{M}_v = (0.4 - 0.273) \text{ kg / s} = 0.127 \text{ kg / s}$$

Η συγκέντρωση του τελικού προϊόντος στην έξοδο της 3ης βαθμίδας ευρίσκεται από ισοζύγιο στερεών:

$$x_{\varepsilon\xi 3} = \frac{0.4 \times 0.1}{0.127} = 0.31$$



Παράμετροι που Επηρεάζουν τη Λειτουργία του Εξατμιστήρα

- Παροχή τροφοδοσίας
 - Αύξηση της παροχής μειώνει τη συγκέντρωση του τελικού προϊόντος
- Πίεση του ατμού
 - Αύξηση της πίεσης αυξάνει τη συγκέντρωση του τελικού προϊόντος
- Πίεση στο συμπυκνωτήρα
 - Αύξηση της πίεσης μειώνει τη συγκέντρωση του τελικού προϊόντος
- Θερμοκρασία του προϊόντος στην είσοδο του εξατμιστήρα
 - Αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τη συγκέντρωση του τελικού προϊόντος
- Αύξηση του σημείου βρασμού
 - Αύξηση της ΑΣΒ μειώνει τη συγκέντρωση του τελικού προϊόντος
- Αποθέσεις στην επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας
 - Αύξηση των αποθέσεων μειώνει τη συγκέντρωση του τελικού προϊόντος



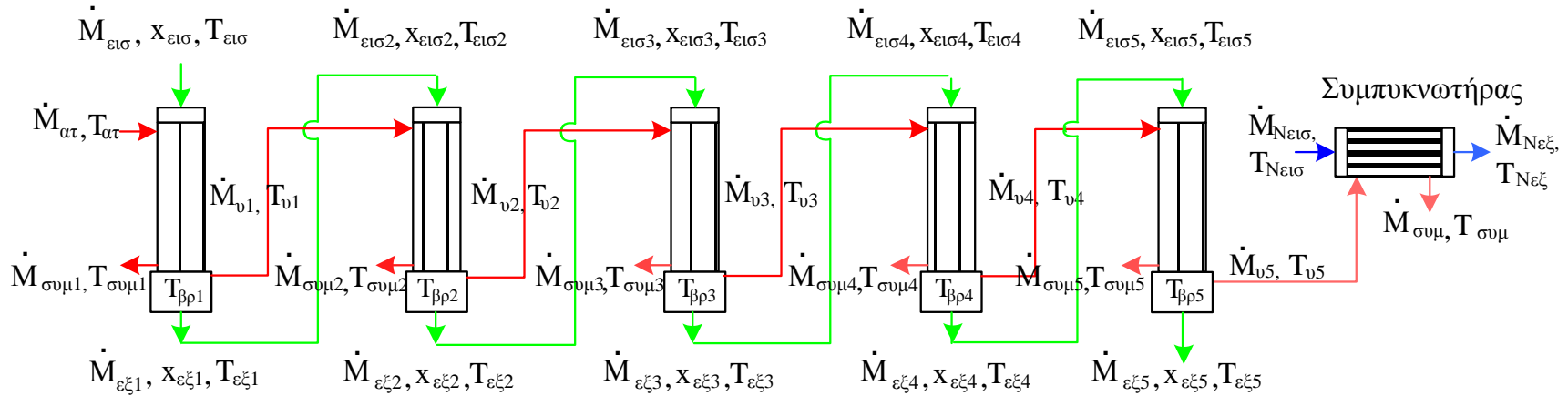
Εξοικονόμηση Ενέργειας

- Μέτρα μικρού κόστους (προσθήκη μόνωσης, συχνός καθαρισμός, απομάκρυνση μη-συμπυκνούμενων αερίων)
- Ανάκτηση θερμότητας
- Αύξηση του αριθμού των βαθμίδων
- Θερμική ανασυμπύεση των υδρατμών
- Μηχανική ανασυμπύεση των υδρατμών



Πολυβάθμιος Εξατμιστήρας 12/12

Εξατμιστήρας 5 βαθμίδων



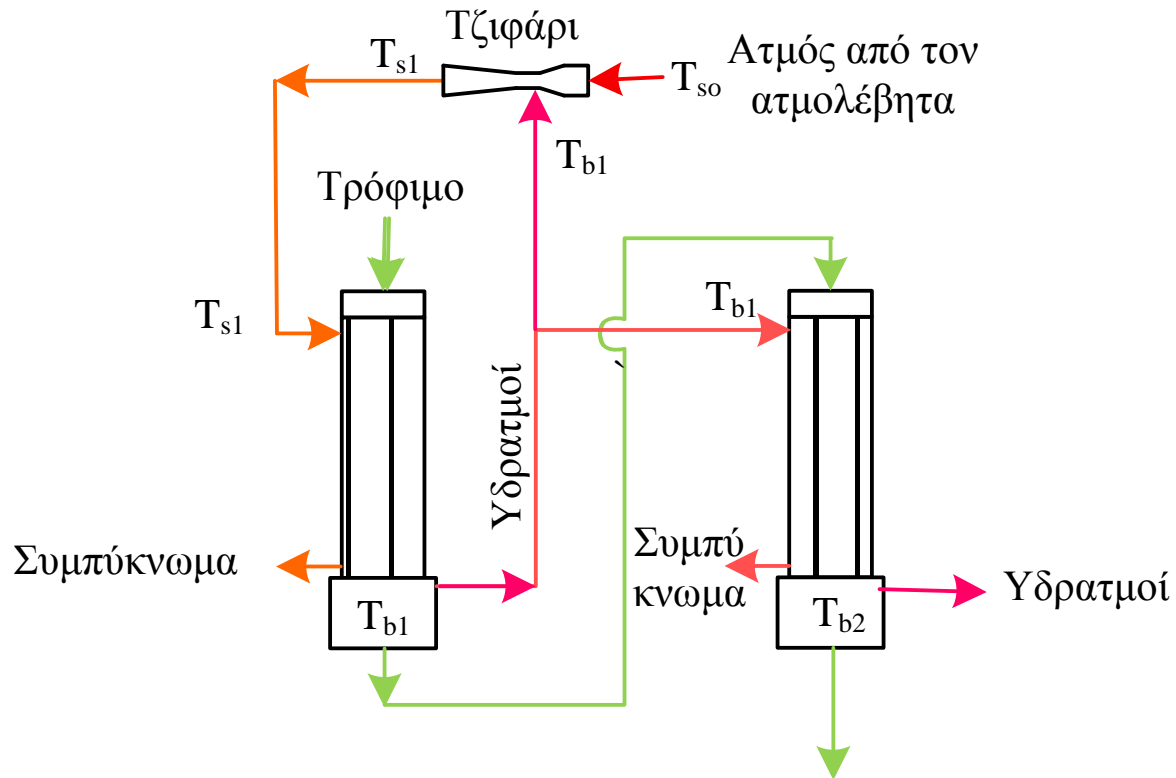
— Τρόφιμο

— Ατμός/ Υδρατμοί /Συμπύκνωμα

— Νερό ψύξης

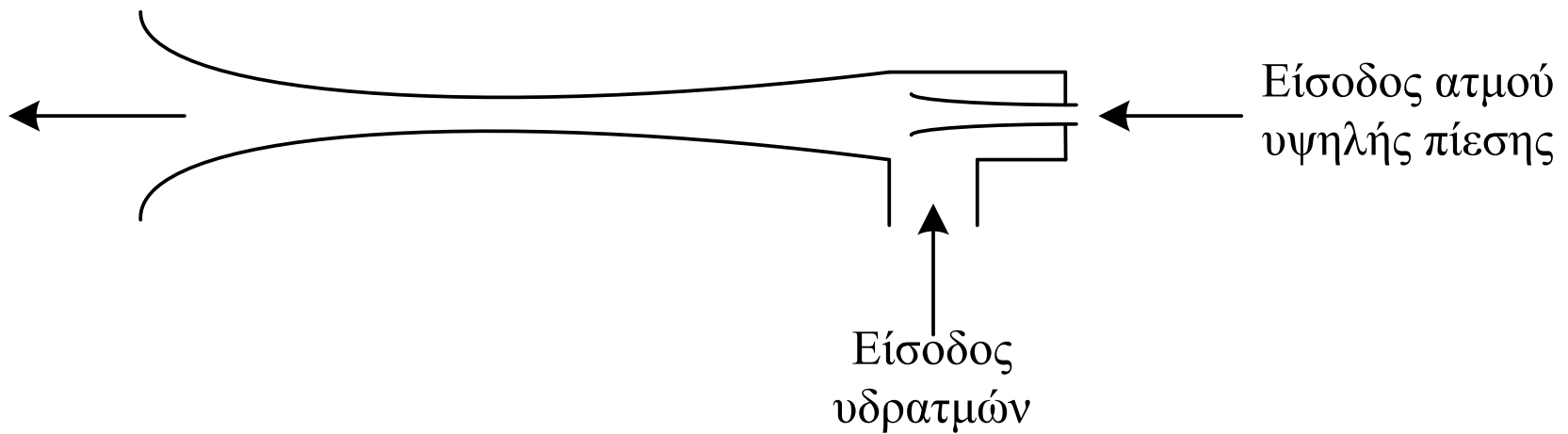


Θερμική Ανασυμπύεση Υδρατμών (TVR)



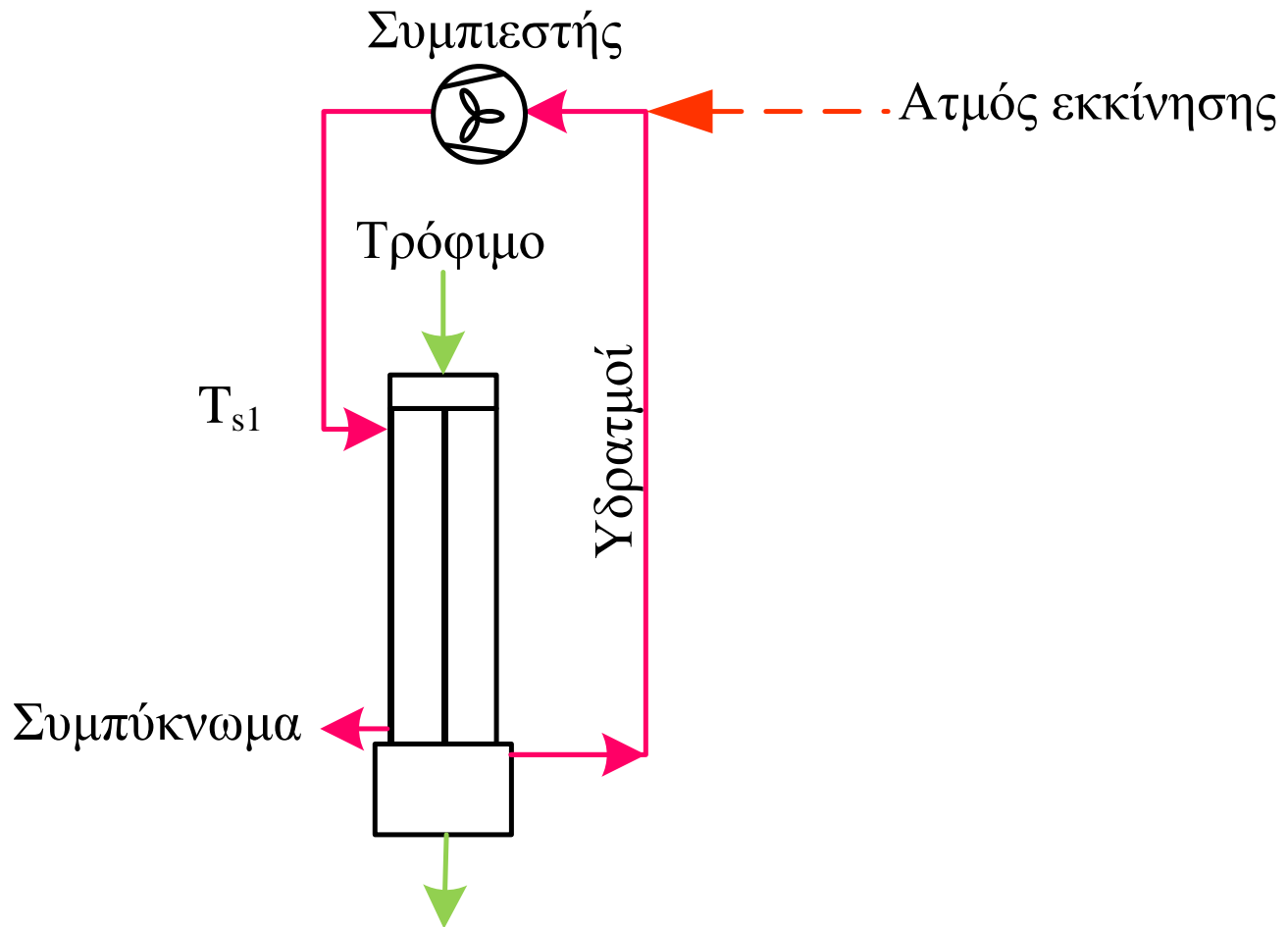


Ακροφύσιο Ατμού ή Τζιφάρι



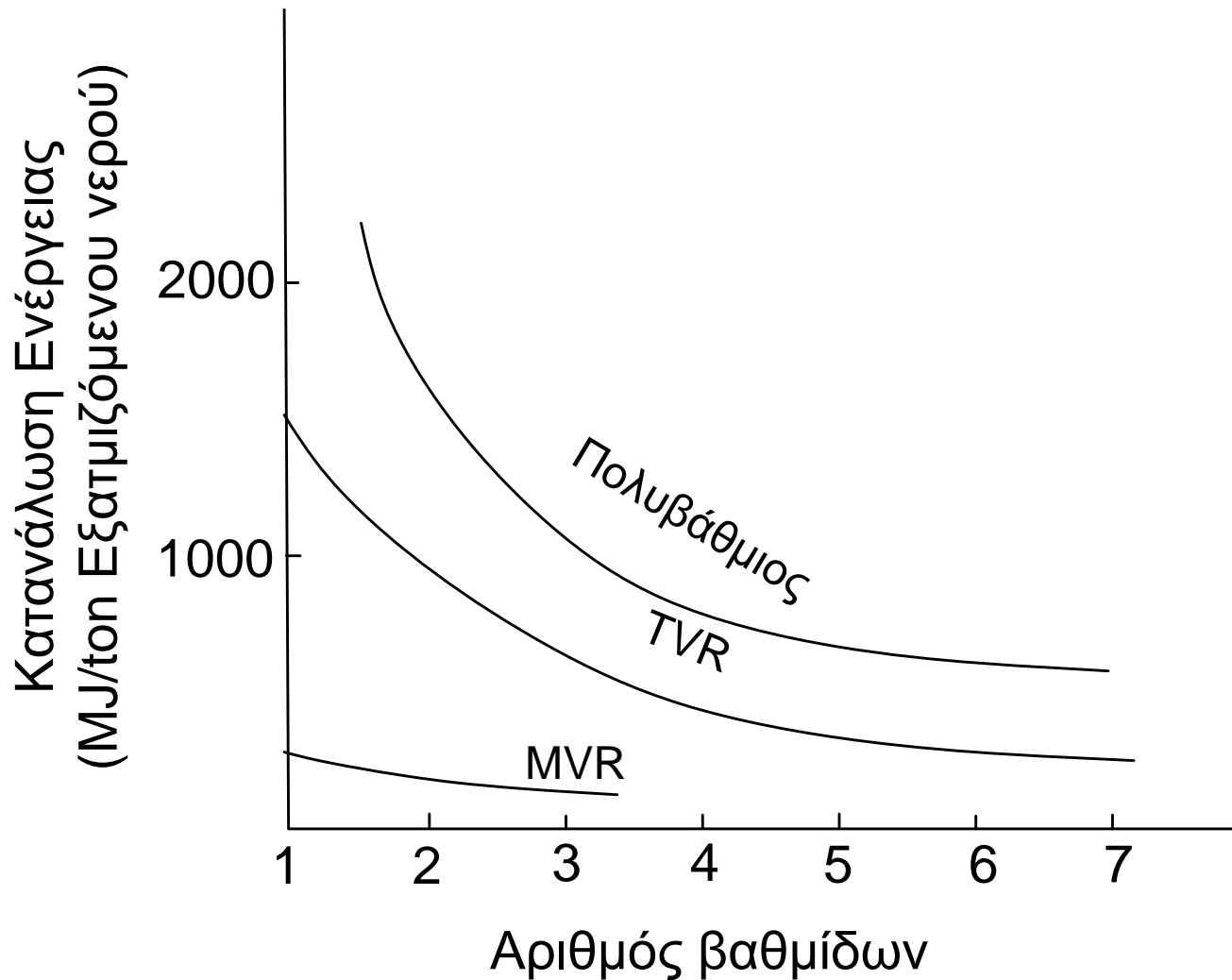


Μηχανική Ανασυμπίεση Υδρατμών (MVR)



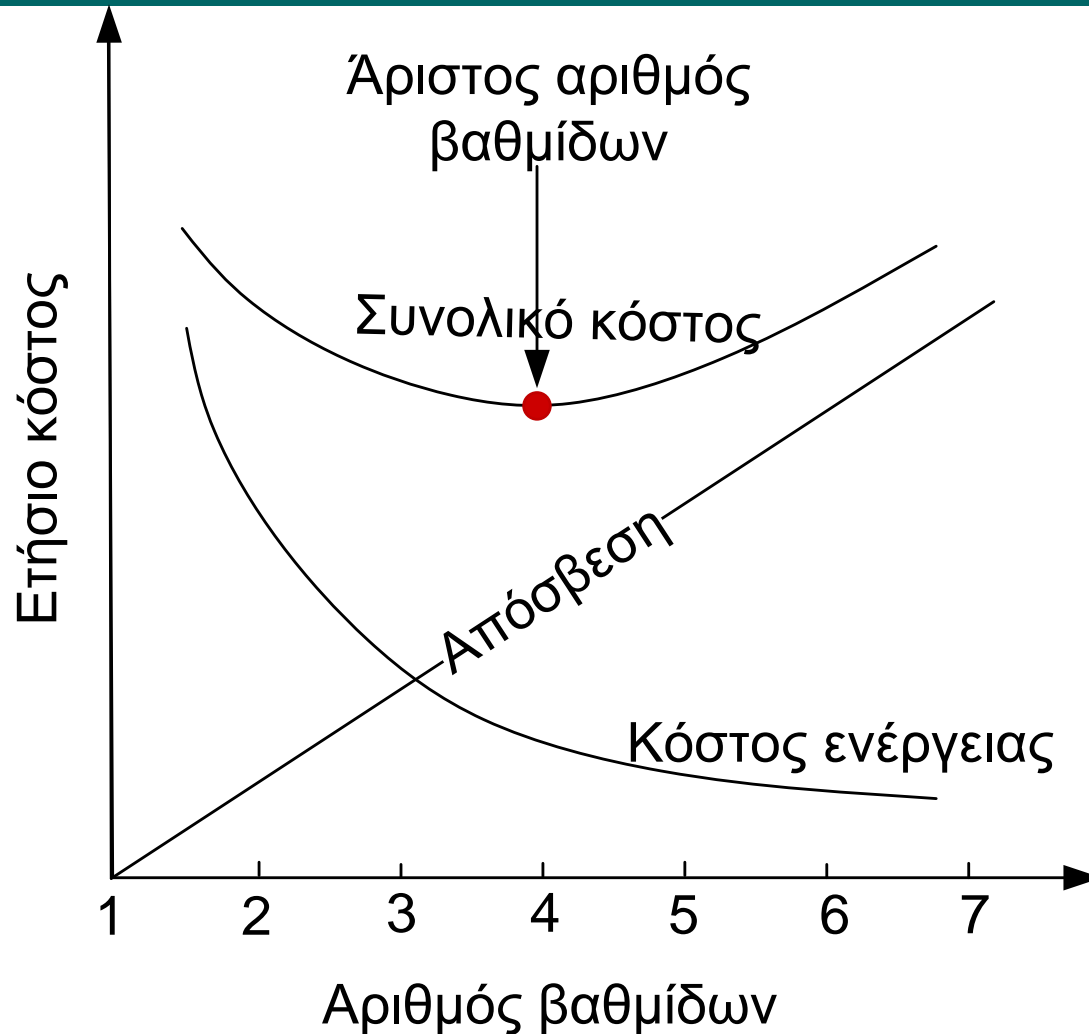


Κατανάλωση Ενέργειας





Επιλογή Αριθμού Βαθμίδων





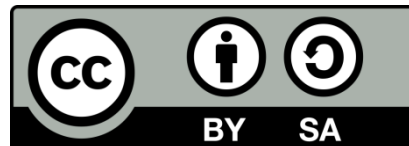
Βιβλιογραφία

- Σ. Γιαννιώτη, Παραδόσεις Μηχανικής Τροφίμων
- S. Yanniotis, Solving Problems in Food Engineering, Springer
- Χ. Λαζαρίδης, Μηχανική Τροφίμων
- 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



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.





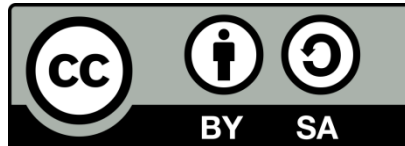
Σημείωμα Αναφοράς

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.