

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην βιομηχανία τροφίμων προκύπτουν ερωτήματα για:

- Πληροφορίες για τις απαιτήσεις σε υλικά και πρώτες ύλες
- Πληροφορίες για τον όγκο παραγωγής
- Πληροφορίες για την ανακύκλωση παραπροϊόντων
- Εκτίμηση των αναγκών σε εγκαταστάσεις για την επεξεργασία κοινών και τοξικών αποβλήτων
- Προσδιορισμός ή έλεγχος προδιαγραφών
- Προσδιορισμός αναγκών σε αποθηκευτικούς χώρους
- Ενεργειακές ανάγκες
- Κοστολόγηση

Προσδιορισμός ισοζυγίων μάζας

Κατά τον προσδιορισμό των ισοζυγίων μάζας γίνεται εφαρμογή του νόμου διατήρησης της μάζας.

Σε καθημερινό επίπεδο τα ισοζύγια αφορούν:

- ✓ στον σχεδιασμό νέων επεξεργασιών
- ✓ στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας
- ✓ στον υπολογισμό της απόδοσης
- ✓ στον προσδιορισμό συνθέσεων

Αρχή διατήρησης της μάζας

- * Η ύλη δεν μπορεί να δημιουργηθεί - από το μηδέν - ούτε να καταστραφεί ολοσχερώς (*Lavoisier*), ειδικότερα:
 - * Η μάζα είναι αναλλοίωτο μέγεθος
 - * Η μάζα ενός αντικειμένου είναι ίση με το άθροισμα των μαζών των συστατικών του (Κάποιες εξαφάνσεις αφορούν την πυρηνική φυσική)

- * Με βάση την αρχή διατήρησης της μάζας, η ροή πρώτων υλών, προϊόντων και παραπροϊόντων σε μια διεργασία, περιγράφεται από την εξίσωση:
Σύνολο πρώτων υλών = σύνολο προϊόντων, παραπροϊόντων, αποβλήτων + σύνολο συσσωρευμένων υλικών.
- * Αν η συσσώρευση είναι μηδενική τότε η διαδικασία λειτουργεί υπό σταθερή (μόνιμη) κατάσταση (steady state) και ισχύει ότι:
εισερχόμενα υλικά = εξερχόμενα υλικά
- * Αν η συσσώρευση δεν είναι μηδενική τότε γίνεται λόγος για επεξεργασία υπό ασταθή κατάσταση (unsteady state).

Διαδικασία σύνταξης ισοζυγίων

- * Ορισμός συστήματος (τι μετράμε?)
- * Καθορισμός ορίων συστήματος (πού το μετράμε?)
- * Καθορισμός βάσης υπολογισμών (πώς το μετράμε?)

Ορισμοί

- * **Σύστημα:** Όλη η διεργασία ή τμήμα μιας διεργασίας την οποία εξετάζουμε για κάποιο χρονικό διάστημα και η οποία περικλείεται ανάμεσα σε κάποια νοητά όρια (όρια συστήματος). Η επιλογή του συστήματος γίνεται αυθαίρετα ή βάση εμπειρίας.
 - * **Ανοικτό Σύστημα:** Ροή- μεταφορά μάζας δια μέσου των άκρων (ή ορίων) του συστήματος
 - * **Κλειστό Σύστημα:** Χωρίς ροή-μεταφορά μάζας δια μέσου των ορίων του συστήματος

1^η Προϋπόθεση για την σύνταξη και επίλυση ισοζυγίων μάζας

- * Η επιλογή του συστήματος στο οποίο αναφέρεται το ισοζύγιο
 - * Ποιο τμήμα από το σύνολο των τμημάτων που αποτελούν μια «γραμμή παραγωγής» θα αναλυθεί κάθε φορά.
 - * Τα όρια επιλέγονται ώστε να περιλαμβάνουν τις διαδρομές ενός υλικού που παρουσιάζει ενδιαφέρον και μας δίνει αρκετά δεδομένα για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου διαγράμματος ροής.

2^η προϋπόθεση για την σύνταξη και επίλυση ισοζυγίων μάζας

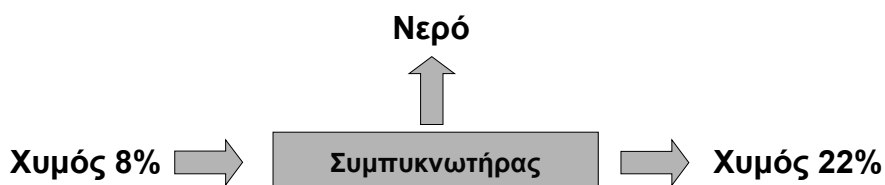
- * Η επιλογή της βάσης των υπολογισμών
 - * Σε ποιες ποσότητες θα αναφέρεται (ή τι μονάδες θα αφορά) η εκτίμηση του ισοζυγίου.
 - * Συχνά σαν βάση χρησιμοποιείται ένα ορισμένο βάρος ενός υλικού που εισέρχεται στο σύστημα (εάν είναι δυνατόν από μία διαδρομή) ή κάποια χρονική περίοδος λειτουργίας της γραμμής επεξεργασίας.

Για την επίλυση ενός ισοζυγίου:

- * Απαιτείται η δημιουργία συστήματος εξισώσεων
 - * μία για κάθε άγνωστη ποσότητα που πρέπει να προσδιορισθεί και
 - * μία επιπλέον εξίσωση για το σύνολο των υλικών

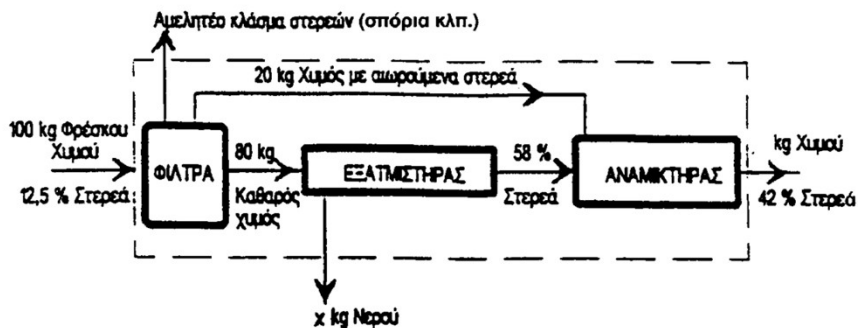
Παράδειγμα 1

- * Σε ένα συμπυκνωτήρα, χυμός με 8% στερεά συμπυκνώνεται για παραγωγή χυμού με 22% στερεά. Πόσο νερό πρέπει να εξατμισθεί για να πραγματοποιηθεί η συμπύκνωση του;



Παράδειγμα 3

- * Κατά την συμπύκνωση πορτοκαλοχυμού με εξάτμιση, παρατηρείται απώλεια αρωματικών συστατικών με αποτέλεσμα να παράγεται χαμηλής ποιότητας συμπυκνωμένος χυμός (χωρίς άρωμα). Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι η συμπύκνωση του χυμού μέχρι περιεκτικότητας 58% σε στερεά σε εξατμιστήρες κενού και η ανάμειξη του μείγματος με φρέσκο, ασυμπύκνωτο χυμό, για παραγωγή μείγματος με 42% στερεά. Αναλυτικότερα, ο φρέσκος χυμός με 12,5% στερεά περνά από ειδικά φίλτρα όπου χωρίζεται σε στραγγισμένο χυμό, σε χυμό που περιέχει διαλυτά και αιωρούμενα στερεά (πούλπα - pulp) και σε άλλα κλάσματα (σπόρια, φλούδες). Από τον φρέσκο χυμό που τροφοδοτεί τα φίλτρα, 80% κατά βάρος περνά στους εξατμιστήρες κενού. Το υπόλοιπο 20% περίπου του χυμού που δεν περνά στους εξατμιστήρες (χυμός με πούλπα) χρησιμοποιείται για διάλυση του συμπυκνωμένου χυμού (58% στερεά) μέχρι επίτευξης της τελικής επιθυμητής περιεκτικότητας σε στερεά (42% στερεά). Να υπολογισθούν: α) το βάρος του εξατμιζόμενου νερού ανά 100Kg φρέσκου χυμού που τροφοδοτείται στο σύστημα, β) η περιεκτικότητα σε στερεά κάθε ρεύματος που βγαίνει από τα φίλτρα, γ) η αναλογία βάρους συμπυκνωμένου προς ασυμπύκνωτο χυμό στο τελικό προϊόν.

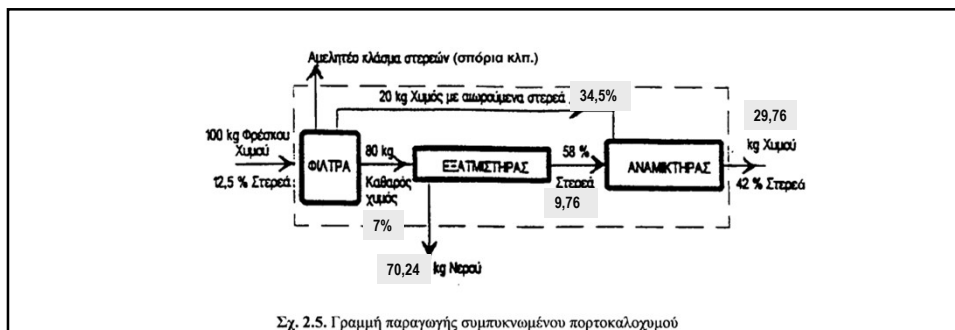
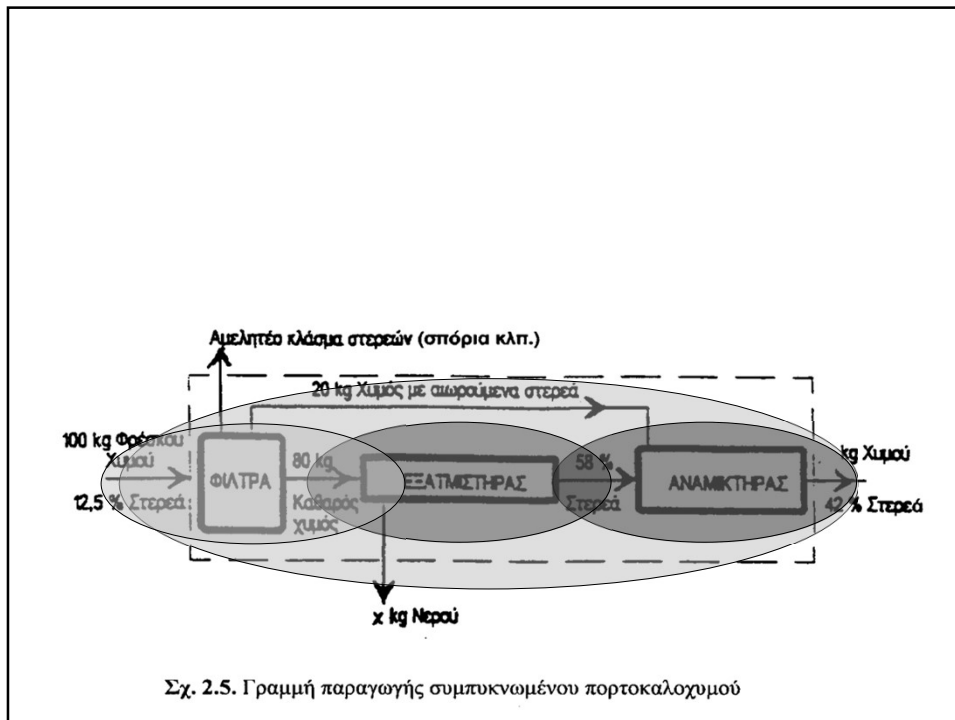


Σχ. 2.5. Γραμμή παραγωγής συμπυκνωμένου πορτοκαλοχυμού

Για όλα τα παραπάνω εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα θα πρέπει να υπολογιστούν τόσο η μάζα, όσο και η περιεκτικότητα σε στερεά.

Απάντηση

- ✱ Το πρόβλημα το αντιμετωπίζουμε σαν ένα «άθροισμα προβλημάτων» ανάλογων του προβλήματος που λύσαμε αρχικά.
- ✱ Δηλαδή, θα βρούμε τόσο τις ποσότητες όσο και τις περιεκτικότητες κάθε κλάσματος του χυμού στα διάφορα σημεία επεξεργασίας του από την είσοδο έως την έξοδο.



Απαντήσεις προβλήματος:

- 1) Βάρος εξατμιζόμενου νερού: 70,24Kg
- 2) Περιεκτικότητα σε στερεά κάθε ρεύματος που βγαίνει από τα φίλτρα: 7% και 34,5%
- 3) Αναλογία βάρους συμπυκνωμένου προς ασυμπύκνωτο χυμό στο τελικό προϊόν: $9.76\text{Kg}/20\text{Kg} \approx 1:2$

Προσδιορισμός ισοζυγίων ενέργειας

- ✱ Προσδιορισμός ισοζυγίων ενέργειας είναι η εφαρμογή του νόμου διατήρησης της ενέργειας στην επίλυση προβλημάτων που αφορούν τον προσδιορισμό των διαφορών ροών ενέργειας γύρω από μια γραμμή επεξεργασίας.
- ✱ Εδώ έχουμε εφαρμογή του νόμου διατήρησης της ενέργειας:
Συνολικά εισερχόμενη ενέργεια =
Συνολικά εξερχόμενη ενέργεια

Χαρακτηριστικά ενέργειας

- ✱ Εσωτερική ενέργεια (E) δηλ. μοριακή, ατομική, χημική, θερμική
- ✱ Εξωτερική ενέργεια (E')
Ενέργεια θέσης - δυναμική (E'_p) = $m \cdot g \cdot h$
Ενέργεια κίνησης (E'_k) = $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Όπου m = μάζα (Kg), g = επιτάχυνση βαρύτητας (m/s^2), h = η κατακόρυφη απόσταση και V = η ταχύτητα (m/s)

Μεταβολές ενέργειας

- * Στην βιομηχανία τροφίμων δεν έχουν σημασία οι απόλυτες τιμές της ενέργειας αλλά οι μεταβολές της ανάμεσα σε διάφορες καταστάσεις:

$$\Delta E'_p = mgh_2 - mgh_1 = mg(h_2 - h_1) = mg\Delta h$$

$$\Delta E'_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)$$

Η μεταβολή της συνολικής ενέργειας είναι:

$$\Delta E_T = \Delta E + \Delta E' = \Delta E + \Delta E'_p + \Delta E'_k$$

Εκτίμηση μεταβολών ενέργειας

- * Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής η μεταβολή της ολικής ενέργειας ενός κλειστού συστήματος ισούται με την θερμική ενέργεια που προστίθεται στο σύστημα μείον το έργο που εκτελείται από το σύστημα ($\Delta E_T = Q - W$) και με την χρήση της ενθαλπίας :

$$\Delta H = \Delta E + \Delta(PV) = Q + W_f + \int VdP$$

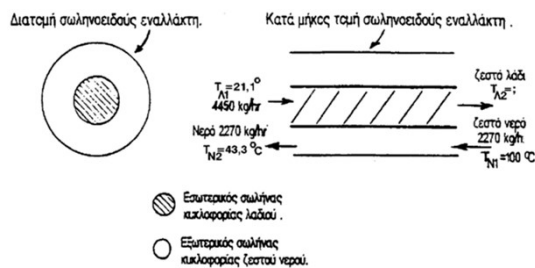
(όπου W_f το έργο μείον τις τριβές, V και P ο όγκος και η πίεση του συστήματος)

- * Υπό σταθερή πίεση και με μηδενικές τριβές η παραπάνω εξίσωση γίνεται : $\Delta H = Q$

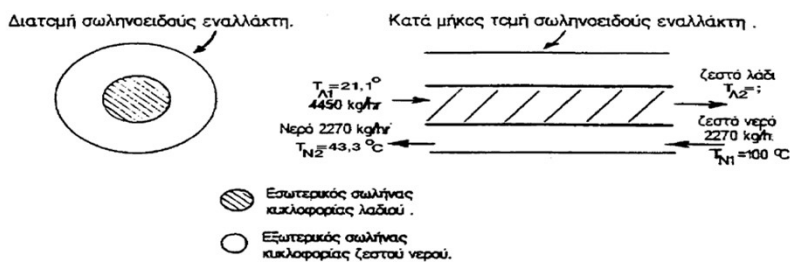
(άρα όλα ανάγονται στην εκτίμηση της μεταβολής της ποσότητας της θερμότητας, τουλάχιστον στις θερμικές διεργασίες).

Παράδειγμα 4

- Σε μια γραμμή απόσχισης λαδιών, το ακατέργαστο λάδι προθερμαίνεται σε ένα σωληνοειδή εναλλάκτη με αντιρροή. Το θερμαντικό είναι συμπυκνώματα ατμού με παροχή 2270 kg/h. Το ακατέργαστο λάδι μπαίνει στον εναλλάκτη με θερμοκρασία 21,1°C και παροχή 4450 kg/h. Αν η θερμοκρασία εισόδου του ζεστού νερού είναι 100°C και η θερμοκρασία εξόδου του είναι 43,3°C ποια θα είναι η θερμοκρασία εξόδου του λαδιού από τον εναλλάκτη;
- Ειδική θερμότητα λαδιού : 0,5 kcal/kg°C και νερού: 1 kcal/kg°C



Σχ. 2.8. Ισοζύγιο ενέργειας γύρω από εναλλάκτη θερμότητας



Σχ. 2.8. Ισοζύγιο ενέργειας γύρω από εναλλάκτη θερμότητας

- Εδώ ισχύει ότι: η εισερχόμενη ενθαλπία θα είναι ίση με την εξερχόμενη ενθαλπία δηλ. η Ενθαλπία του εισερχόμενου λαδιού + ενθαλπία εισερχόμενου νερού = ενθαλπία του εξερχόμενου λαδιού + εξερχόμενου νερού
- Σαν βάση υπολογισμών λαμβάνουμε τους 21,1°C που είναι η μικρότερη τιμή στο σύστημα!

Μικτά ισοζύγια μάζας - ενέργειας

- * Στην πράξη συχνά η επίλυση ενός ισοζυγίου ενέργειας προσπαθεί την γνώση στοιχείων από την επίλυση ισοζυγίων μάζας.
- * Στην βιομηχανία τροφίμων οι ανάγκες επίλυσης ισοζυγίων αφορούν κυρίως τα μικτά ισοζύγια.
- * Τις επιλύσεις αναλαμβάνουν πολύπλοκα λογισμικά τα οποία συνήθως και αυτοτροφοδοούνται με δεδομένα από αισθητήρες και μετρητές κατάλληλα κατανεμημένους στις γραμμές επεξεργασίας.

Άσκηση

- * Οινοποιείο διαθέτει τρεις ποιότητες κρασιών, που οι περιεκτικότητές τους σε αλκοόλη και ζάχαρα δίνονται στον παρακάτω πίνακα, και θέλει να παράγει ένα τσέρυ με 15 % αλκοόλη και 2% ζάχαρα. Ζητείται η αναλογία τροφοδοσίας των 3 κρασιών προς τον αναμικτήρα για την παραγωγή του προϊόντος.

Τύπος	% αλκοόλη	%ζάχαρα
Κρασί Α	14,6	0,2
Κρασί Β	16,7	1
Κρασί Γ	17	12