



Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο



Μηχανήματα

Συμπύκνωσης

και

Ξήρανσης

Τροφίμων



Μηχανήματα Συμπύκνωσης και Ξήρανσης Τροφίμων

6.1 Συμπύκνωση υγρών τροφίμων

Η συμπύκνωση υγρών τροφίμων, όπως γάλακτος, χυμών φρούτων κτλ, είναι η διεργασία εκείνη κατά την οποία απομακρύνεται μια ποσότητα νερού από τα τρόφιμα με αποτέλεσμα να γίνονται πυκνότερα. Η συμπύκνωση γίνεται για διάφορους λόγους κυριότεροι των οποίων είναι : 1) να μειωθεί ο όγκος και το βάρος του προϊόντος, έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος συσκευασίας, μεταφοράς και αποθήκευσης, 2) να αυξηθεί η περιεκτικότητα του προϊόντος σε διαλυτά στερεά και επομένως να αυξηθεί η σταθερότητα του προϊόντος και 3) σε υγρά προϊόντα που πρόκειται να ξηρανθούν, π.χ. σκόνη γάλακτος, στιγμιαίος καφές κ.ά., να απομακρυνθεί η μεγαλύτερη ποσότητα νερού με τη διεργασία της συμπύκνωσης, η οποία είναι πιο αποδοτική από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας απ' ό,τι η ξήρανση.

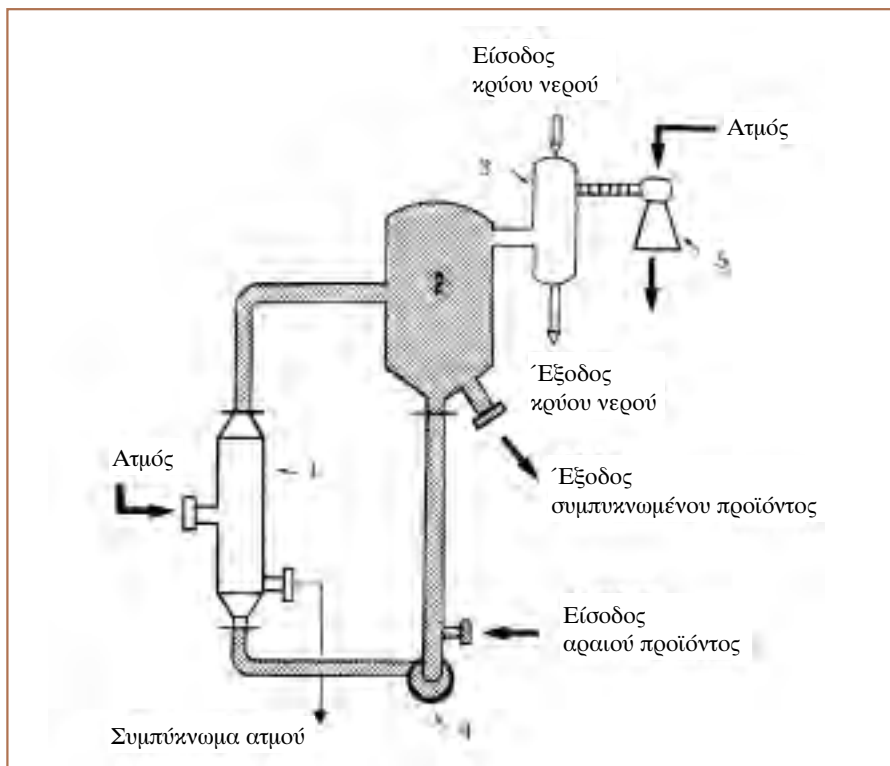
Η συμπύκνωση στη βιομηχανία τροφίμων γίνεται κυρίως με εξάτμιση του νερού. Άλλοι τρόποι που επίσης χρησιμοποιούνται είναι η συμπύκνωση με κατάψυξη, η υπερδιήθηση και η αντίστροφη ώσμωση.

6.1.1. Συμπύκνωση με Εξάτμιση

Η συμπύκνωση με εξάτμιση γίνεται στους εξατμιστήρες. Ένας εξατμιστήρας αποτελείται από τα εξής τρία κύρια μέρη (Σχ. 6.1) : 1) τον εναλλάκτη θερμότητας, στον οποίο γίνεται η θέρμανση του προϊόντος χρησιμοποιώντας ατμό ως θερμαντικό μέσο, 2) το διαχωριστήρα υγρού-υδρατμών για το διαχωρισμό των παραγόμενων υδρατμών από το συμπυκνούμενο υγρό και 3) το συμπυκνωτήρα για την υγροποίηση των υδρατμών. Άλλα βοηθητικά εξαρτήματα, όπως αντλίες, σύστημα δημιουργίας κενού, όργανα μέτρησης και ελέγχου, είναι επίσης απαραίτητα για τη λειτουργία του εξατμιστήρα. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελεί έναν **εξατμιστήρα μιας βαθμίδας**.

Αρχή λειτουργίας του εξατμιστήρα

Το προϊόν στον εξατμιστήρα βράζει, οπότε μια ποσότητα νερού εξατμίζεται και το προϊόν συμπυκνώνεται, η συγκέντρωση δηλαδή των διαλυτών ουσιών του αυξάνεται. Ως θερμαντικό μέσο χρησιμοποιείται ατμός. Οι παραγόμενοι υδρατμοί από το βρασμό διαχωρίζονται από το υγρό στο δοχείο διαχωρισμού υγρού-υδρατμών και στη συνέχεια κατευθύνονται προς ένα εναλλάκτη θερμότητας στον οποίο κυκλοφορεί κρύο νερό, όπου και υγροποιούνται. Το σύστημα δημιουργίας κενού απομακρύνει τον αέρα από τον εξατμιστήρα προκειμένου ο βρασμός να γίνεται σε χαμηλή πίεση και άρα σε χαμηλή θερμοκρασία για να μην έχουμε υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος από τις υψηλές θερμοκρασίες.



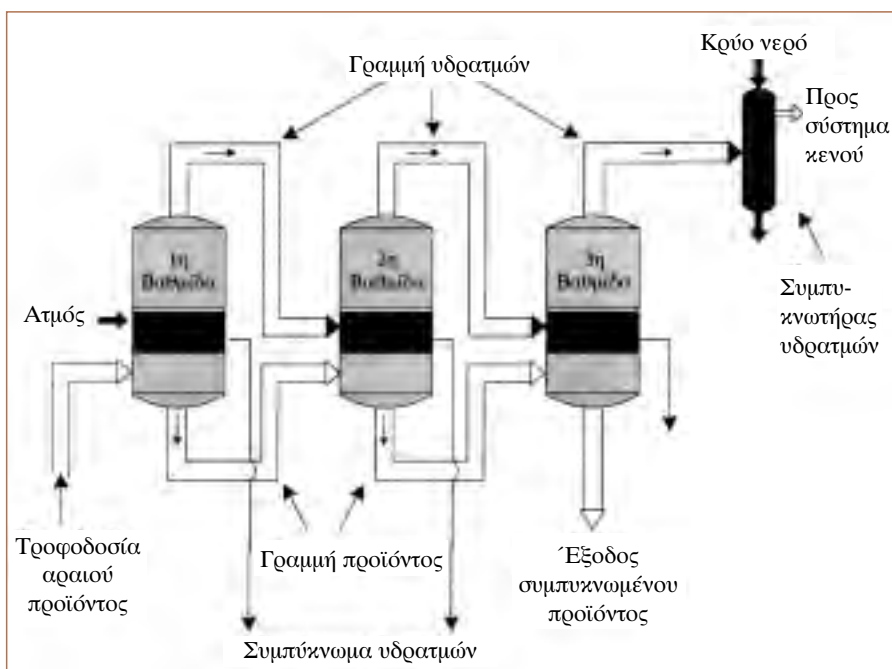
Σχήμα 6.1 Εξατμιστήρας μιας βαθμίδας

Εάν ο εξατμιστήρας έχει περισσότερες από μία βαθμίδες συνδεδεμένες κατάλληλα μεταξύ τους, τότε ονομάζεται **εξατμιστήρας πολλαπλών βαθμίδων ή πολυβάθμιος εξατμιστήρας**. Στον εξατμιστήρα πολλαπλών βαθμίδων το προϊόν διοχετεύεται σε μια βαθμίδα όπου συμπυκνώνεται μερικώς, στη συνέχεια διοχετεύεται στην επόμενη βαθμίδα όπου συμπυκνώνεται περαιτέρω κ.ο.κ., μέχρις ότου βγει από την τελευταία βαθμίδα στην επιθυμητή συγκέντρωση. Οι υδρατμοί, που παράγονται στην κάθε βαθμίδα από το βρασμό του προϊόντος, χρησιμοποιούνται ως θερμαντικό μέσο στην επόμενη βαθμίδα. Με αυτόν τον τρόπο μόνο στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιείται ατμός από τον ατμολέβητα, πετυχαίνοντας έτσι σημαντική οικονομία ατμού και επομένως οικονομία σε καύσιμα που απαιτούνται για την παραγωγή ατμού στον ατμολέβητα.

Η ενεργειακή κατανάλωση ενός εξατμιστήρα εκφράζεται με τον όρο **οικονομία ατμού**, που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ποσότητας νερού που εξατμίζεται δια της ποσότητας ατμού που καταναλώνεται. Έτσι π.χ. σε ένα εξατμιστήρα 4 βαθμίδων η οικονομία ατμού είναι περίπου 3,3

kg νερού/kg ατμού, ενώ σε ένα εξατμιστήρα 1 βαθμίδας είναι περίπου 0,8 kg νερού/kg ατμού.

Η συνολική ποσότητα νερού που εξατμίζεται σε ένα εξατμιστήρα εκφράζεται με τον όρο **εξατμιστική ικανότητα** του εξατμιστήρα. Η εξατμιστική ικανότητα των εξατμιστήρων που συναντώνται στη βιομηχανία τροφίμων κυμαίνεται από λίγα kg νερού/h μέχρι και 100 000 kg νερού/h. Η **δυναμικότητα** αναφέρεται στην ποσότητα του προϊόντος που επεξεργάζεται ανά ώρα.



Σχήμα 6.2 Εξατμιστήρας πολλαπλών βαθμίδων.
Α. Διαγραμματική απεικόνιση



Σχήμα 6.2 Εξατμιστήρας πολλαπλών βαθμίδων.
Β. Φωτογραφία

Τύποι Εξατμιστήρων

Εξατμιστήρας ανοικτού δοχείου

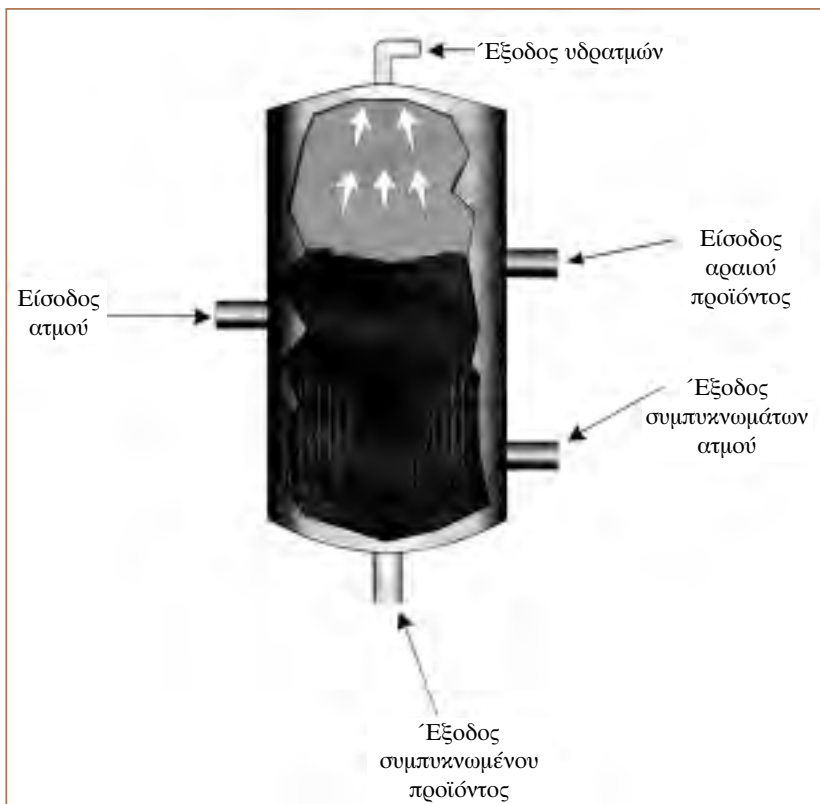
Ο απλούστερος εξατμιστήρας μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι αυτός που αποτελείται από ένα ανοικτό θερμαινόμενο δοχείο μέσα στο οποίο βράζει το προϊόν σε ατμοσφαιρική πίεση. Σε μια τέτοια συσκευή όμως η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγάλη και η θερμοκρασία που αποκτά το προϊόν είναι μεγαλύτερη από 100°C . Έτσι σε ελάχιστες μόνο περιπτώσεις χρησιμοποιείται στη βιομηχανία, π.χ. στην **παρασκευή μαρμελάδων**.

Εξατμιστήρας με κοντούς σωλήνες

Ο εξατμιστήρας με κοντούς σωλήνες αποτελείται από ένα μεγάλο κυλινδρικό δοχείο, στο κάτω άκρο του οποίου υπάρχει ο εναλλάκτης θερμότητας για τη θέρμανση του προϊόντος. Ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελεί-

ται από μια σειρά από κοντούς σωλήνες τοποθετημένους κάθετα. Οι σωλήνες περιβάλλονται από ένα κέλυφος στο οποίο προωθείται ο ατμός θέρμανσης (Σχ. 6.3). Στο εσωτερικό των σωλήνων κυκλοφορεί το προϊόν, το οποίο θερμαινόμενο βράζει και ανέρχεται με φυσική κυκλοφορία. Οι υδρατμοί που δημιουργούνται από το βρασμό ανέρχονται στο επάνω τμήμα του σώματος του εξατμιστήρα, το οποίο αποτελεί και το διαχωριστήρα υγρού-υδρατμών, όπου διαχωρίζονται από το υγρό και κατευθύνονται προς το συμπυκνωτήρα. Το υγρό κατεβαίνει προς τα κάτω από τον κεντρικό αγωγό του εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος είναι και μεγαλύτερης διαμέτρου, προκειμένου να θερμανθεί ξανά και να συνεχιστεί η εξάτμιση. Μια ποσότητα συμπυκνωμένου προϊόντος απομακρύνεται συνέχεια από την έξοδο, ενώ μια ποσότητα αραιού προϊόντος εισέρχεται από την είσοδο έτσι, ώστε να διατηρείται σταθερή η ποσότητα που υπάρχει μέσα στον εξατμιστήρα.

Ο εξατμιστήρας με κοντούς σωλήνες χρησιμοποιείται ακόμη σε πολλά **εργοστάσια ζάχαρης** για τη συμπύκνωση του εκχυλίσματος των ζαχαρότευτλων.



Σχήμα 6.3 Εξατμιστήρας με κοντούς σωλήνες

Εξατμιστήρας αναγκαστικής κυκλοφορίας

Στον εξατμιστήρα αναγκαστικής κυκλοφορίας (Σχ. 6.1) ο εναλλάκτης θερμότητας, στον οποίο θερμαίνεται το προϊόν, βρίσκεται εξωτερικά, ενώ το υγρό ανακυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας αντλίας. Οι παραγόμενοι υδρατμοί διαχωρίζονται από το υγρό στο διαχωριστήρα υγρού-υδρατμών και από εκεί κατευθύνονται προς το συμπυκνωτήρα. Ένα μέρος του συμπυκνωμένου υγρού ανακυκλοφορεί συνεχώς στον εναλλάκτη θερμότητας, ενώ το υπόλοιπο απομακρύνεται από την έξοδο του προϊόντος.

Ο εξατμιστήρας αναγκαστικής κυκλοφορίας χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση παχύρρευστων υγρών ή υγρών που τείνουν να αφήσουν αποθέσεις στους σωλήνες του εναλλάκτη, π.χ. στη συμπύκνωση χυμού τομάτας.

Εξατμιστήρας με μακρούς σωλήνες

Ο εξατμιστήρας αυτός αποτελείται από μια δέσμη από μακρούς κάθετους σωλήνες, που περιβάλλεται από ένα περίβλημα. Στο εξωτερικό των σωλήνων διοχετεύεται ατμός ενώ στο εσωτερικό κυκλοφορεί το προϊόν. Διακρίνονται δυο τύποι: ο εξατμιστήρας ανερχόμενου λεπτού στρώματος και ο εξατμιστήρας κατερχόμενου λεπτού στρώματος.

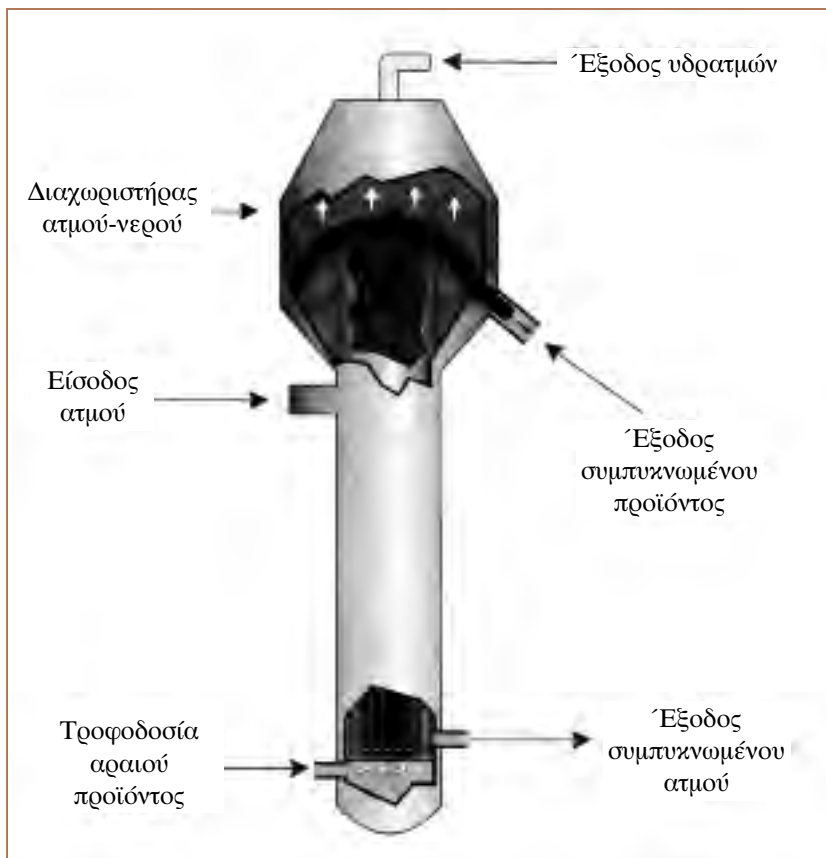
Στον εξατμιστήρα ανερχόμενου λεπτού στρώματος το προϊόν διοχετεύεται στο κάτω μέρος και θερμαινόμενο ανέρχεται. Καθώς ανέρχεται, παράγονται υδρατμοί από το βρασμό οι οποίοι δημιουργούν φυσαλίδες. Οι φυσαλίδες αυτές καταλαμβάνουν το κέντρο του κάθε σωλήνα, ενώ το υγρό σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα στα τοιχώματα του αγωγού, το οποίο συμπαρασύρεται από τους υδρατμούς και ανέρχεται. Στο επάνω μέρος υπάρχει ο διαχωριστήρας υδρατμών στον οποίο διαχωρίζονται οι υδρατμοί από το υγρό.

Στον εξατμιστήρα κατερχόμενου λεπτού στρώματος (Σχ. 6.4) το προϊόν διοχετεύεται στο επάνω μέρος των αγωγών και ρέει προς τα κάτω υπό μορφή λεπτού στρώματος που σχηματίζεται στο εσωτερικό τοίχωμα κάθε σωλήνα. Στο κάτω μέρος υπάρχει ο διαχωριστήρας υδρατμών-υγρού και ο συμπυκνωτήρας υδρατμών.

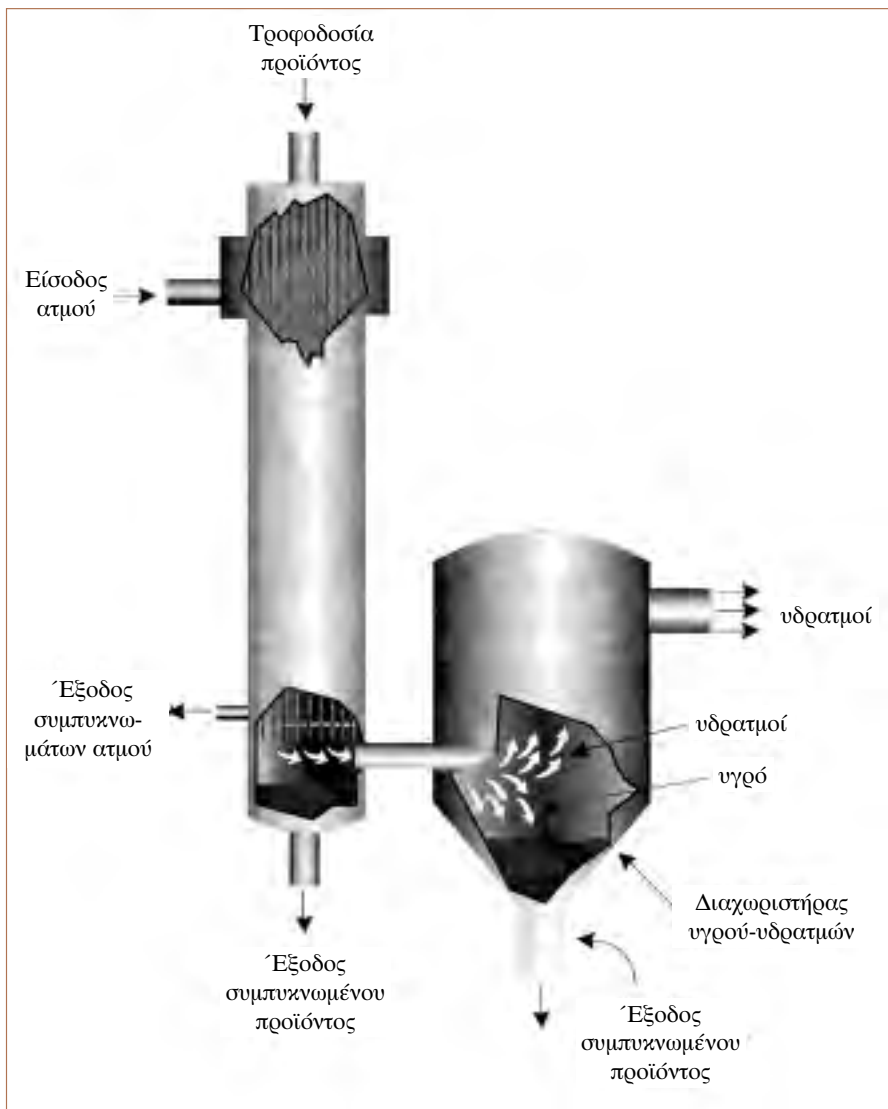
Οι εξατμιστήρες με μακρούς σωλήνες χρησιμοποιούνται συχνά στις βιομηχανίες τροφίμων για τη συμπύκνωση προϊόντων ευαίσθητων στη θερμοκρασία, όπως οι χυμοί φρούτων και το γάλα.

Εξατμιστήρας με πλάκες

Οι εξατμιστήρες με πλάκες λειτουργούν με την ίδια αρχή που λειτουργούν και οι εξατμιστήρες ανερχόμενου ή κατερχόμενου λεπτού στρώματος με τη διαφορά ότι, αντί για σωλήνες, χρησιμοποιούνται πλάκες μικρού σχετικά ύψους σε σχηματισμό όμοιο με εναλλάκτη θερμότητας με πλάκες. **Χρησιμοποιούνται για συμπύκνωση υγρών ευαίσθητων στη θερμοκρασία, όπως το γάλα και οι χυμοί.**



Σχήμα 6.4 Εξατμιστήρες με μακρούς σωλήνες
Α. Ανερχόμενου λεπού στρώματος



Σχήμα 6.4 Εξατμιστήρες με μακρούς σωλήνες
 Β. Κατερχόμενου λεπτού στρώματος

6.1.2. Συμπύκνωση με κατάψυξη

Η συμπύκνωση με κατάψυξη είναι μια άλλη μέθοδος συμπύκνωσης, η οποία **χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση ευαίσθητων στη θερμοκρασία προϊόντων, π.χ. χυμών φρούτων, μπύρας, κρασιού κ.ά.**

Αρχή της μεθόδου

Στη συμπύκνωση με κατάψυξη το προϊόν καταψύχεται μέχρι μια ορισμένη θερμοκρασία, οπότε μια ποσότητα από το νερό που περιέχει γίνεται πάγος. Εάν διαχωρίσουμε τον πάγο που σχηματίστηκε, το υγρό που απομένει θα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση σε διαλυτά στερεά, θα έχει δηλαδή συμπυκνωθεί. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία στην οποία καταψύχεται το υγρό, τόσο περισσότερο νερό γίνεται πάγος και τόσο περισσότερο συμπυκνώνεται το προϊόν.

Τα πλεονεκτήματα της συμπύκνωσης με κατάψυξη είναι ότι: α) έχουμε καλύτερη διατήρηση του αρώματος και της γεύσης σε σύγκριση με άλλες μεθόδους συμπύκνωσης, β) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συμπύκνωση αλκοολούχων ποτών χωρίς τον κίνδυνο απώλειας αλκοόλης και γ) δεν υποβαθμίζεται το προϊόν (π.χ. διατήρηση όλων των βιταμινών). Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι έχει υψηλό κόστος και γι' αυτό δεν εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι δεν διαχωρίζεται εύκολα ο πάγος από το υγρό με αποτέλεσμα, εάν δεν λειτουργεί σωστά το σύστημα, μια μικρή ποσότητα προϊόντος να παραμένει ανάμεσα στους κρυστάλλους του πάγου και να χάνεται μαζί με τον πάγο που διαχωρίζεται.

Ένα σύστημα συμπύκνωσης με κατάψυξη αποτελείται από τα εξής μέρη: 1) το ψυκτικό συγκρότημα για την παραγωγή της ψύξης, 2) τη μονάδα κρυστάλλωσης του προϊόντος, 3) το δοχείο ωρίμανσης των κρυστάλλων και 4) τη μονάδα διαχωρισμού των κρυστάλλων. Άλλα βοηθητικά εξαρτήματα, όπως αντλίες, όργανα μετρήσεως και ελέγχου, είναι επίσης απαραίτητα.

Στη μονάδα κρυστάλλωσης το υγρό προϊόν ψύχεται και παγώνει, οπότε σχηματίζονται μικροί κρύσταλλοι πάγου. Η μονάδα κρυστάλλωσης είναι συνήθως ένας εναλλάκτης θερμότητας αποξέομενης επιφάνειας.

Το δοχείο ωρίμανσης είναι ένα δοχείο με αναδευτήρα, στο οποίο παραμένει το μείγμα κρυστάλλων-υγρού για κάποιο χρονικό διάστημα προκειμένου να ωριμάσουν οι κρύσταλλοι, δηλαδή οι πολύ μικροί κρύσταλλοι λιώνουν, ενώ οι μεγαλύτεροι κρύσταλλοι αυξάνουν σε μέγεθος. Όσο με-

γαλύτεροι είναι οι κρύσταλλοι, τόσο μεγαλύτερα είναι τα διάκενα που σχηματίζονται ανάμεσά τους, οπότε είναι ευκολότερος ο διαχωρισμός των κρυστάλλων από το συμπυκνωμένο προϊόν.

Ο διαχωρισμός των κρυστάλλων από το συμπυκνωμένο διάλυμα γίνεται με ένα φίλτρο, συνήθως φυγοκεντρικό. Για πληρέστερο διαχωρισμό συνιστάται οι κρύσταλλοι να ξεπλένονται με νερό σε μια στήλη έκπλυσης για να φύγει το συμπυκνωμένο προϊόν που είναι παγιδευμένο ανάμεσα τους. Η στήλη έκπλυσης είναι ένα κατακόρυφο δοχείο στον πυθμένα του οποίου τροφοδοτούνται οι κρύσταλλοι. Στην κορυφή του δοχείου υπάρχει ένα θερμαντικό σώμα, το οποίο θερμαίνει τους κρυστάλλους στην επάνω επιφάνεια της στήλης. Από τη θέρμανση αυτή, ένας αριθμός κρυστάλλων λιώνει και το νερό που προκύπτει ρέει προς τα κάτω, ξεπλένοντας τους κρυστάλλους και εκτοπίζοντας το προϊόν που υπάρχει ανάμεσά τους. Οι κρύσταλλοι που δεν λιώνουν αποβάλλονται από την κορυφή της στήλης.

6.1.3. Συμπύκνωση με μεμβράνες

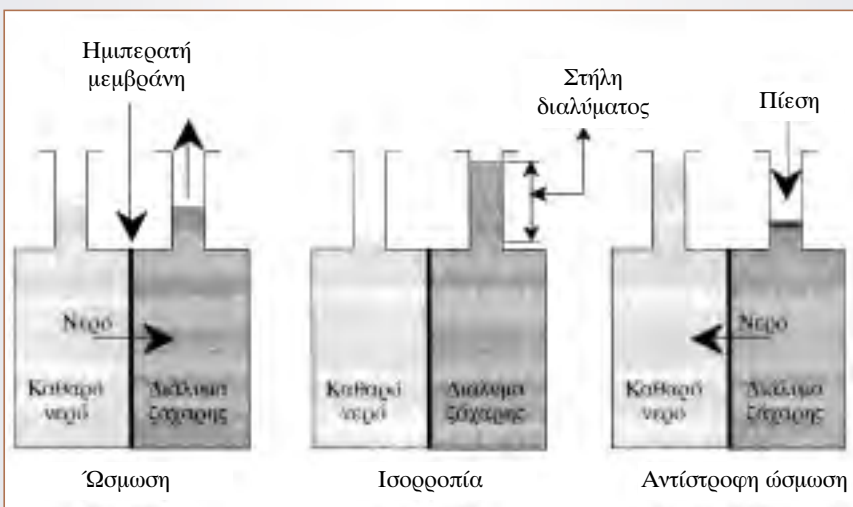
Για τη συμπύκνωση υγρών τροφίμων μπορεί να χρησιμοποιηθούν ημιπερατές μεμβράνες, μεμβράνες δηλαδή που επιτρέπουν επιλεκτικά σε ορισμένες ουσίες να περάσουν μέσα από αυτές, ενώ δεν επιτρέπουν τη διέλευση σε άλλες ουσίες.

Αρχή της μεθόδου

Έστω ένα δοχείο που χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα από μια ημιπερατή μεμβράνη. Εάν στο ένα διαμέρισμα υπάρχει καθαρό νερό και στο άλλο υπάρχει ένα διάλυμα ζάχαρης, μόρια νερού θα περνούν μέσα από τη μεμβράνη από την πλευρά του καθαρού νερού προς την πλευρά του διαλύματος. Η κίνηση αυτή των μορίων θα συνεχιστεί μέχρις ότου η πίεση που θα αναπτυχθεί από το ύψος της στήλης του διαλύματος είναι ίση με την ωσμωτική πίεση του διαλύματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ώσμωση**.

Εάν ασκήσουμε πίεση στο διάλυμα μεγαλύτερη από την ωσμωτική του πίεση, τότε μόρια νερού από την πλευρά του διαλύματος θα περνούν μέσα από την μεμβράνη προς το χώρο του καθαρού νερού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **αντίστροφη ώσμωση**.

Η αρχή της αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιείται στη συμπύκνωση υγρών τροφίμων με μεμβράνες. Στη μέθοδο αυτή, το υγρό τρόφιμο τροφοδοτείται με πίεση σε ένα σύστημα με ημιπερατή μεμβράνη. Τα μόρια του νερού ή και άλλα μικρά μόρια περνούν από τη μεμβράνη και διαχωρίζονται, οπότε το υγρό που απομένει συμπυκνώνεται.



Η συμπύκνωση με μεμβράνες διακρίνεται σε **υπερδιήθηση** και σε **αντίστροφη ώσμωση**.

Στην **υπερδιήθηση** οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται επιτρέπουν στο νερό, τα σάκχαρα και τα άλατα να περάσουν μέσα απ' αυτές, δεν επιτρέπουν όμως στα μεγάλα μόρια, όπως είναι οι πρωτεΐνες, να περάσουν. Οι μεμβράνες δηλαδή στην υπερδιήθηση δρουν κατά κάποιο τρόπο σαν κόσκινα. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν **στη συμπύκνωση του ορού του γάλακτος**, το διαχωρισμό δηλαδή των πρωτεϊνών του ορού του γάλακτος, **στη συμπύκνωση του γάλακτος** που προορίζεται **για παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων**, π.χ. **τυριού**, και αλλού. Η πίεση που εφαρμόζεται στην υπερδιήθηση είναι μικρότερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος (συνήθως 1-7 bar).

Στην **αντίστροφη ώσμωση** οι μεμβράνες επιτρέπουν μόνο στα μόρια του νερού να περάσουν, ενώ δεν επιτρέπουν σε άλατα, σάκχαρα, πρωτεΐνες και άλλα μόρια. **Μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη συμπύκνωση χυμών φρούτων, αυγού (ασπράδι), αφαλάτωση θαλασσινού νερού κ.α.**

Στην αντίστροφη ώσμωση πρέπει να εφαρμοστεί πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος που πρόκειται να συμπυκνωθεί. Η πίεση αυτή είναι τουλάχιστον 20-50 bar.

Η συμπύκνωση με μεμβράνες έχει το πλεονέκτημα ότι το προϊόν δε θερμαίνεται και επομένως δεν υποβαθμίζεται ποιοτικά, καθώς επίσης και ότι χρειάζεται λιγότερη ενέργεια απ' ό,τι η συμπύκνωση με εξάτμιση. Το βασικό μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος που έχει η μέθοδος αυτή.

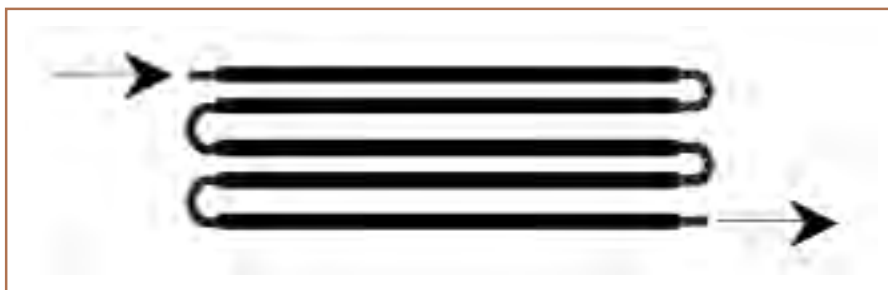
Οι μεμβράνες μπορεί να είναι κατασκευασμένες από οξική κυτταρίνη ή μπορεί να είναι μη-κυτταρινικής σύνθεσης, π.χ. μεμβράνη από πολυαμίδια. Το πάχος των μεμβρανών είναι πολύ μικρό (0,1 –1 μm) και γι' αυτό τοποθετούνται συνήθως επάνω σε ένα πορώδες υπόστρωμα προκειμένου να αυξηθεί η μηχανική αντοχή τους.

Συστήματα συμπύκωσης με μεμβράνες

Σωληνωτό σύστημα

Στο σωληνωτό σύστημα η μεμβράνη τοποθετείται στην εσωτερική επιφάνεια ενός πορώδους σωλήνα. Κατά τη λειτουργία, το υγρό διοχετεύεται με πίεση στο εσωτερικό των σωλήνων. Μια ποσότητα νερού ή και άλλων μικρών μορίων εάν πρόκειται για υπερδιήθηση, περνούν από τη μεμβράνη προς την εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα, ενώ το υπόλοιπο προϊόν συμπυκνωμένο πια εξέρχεται από την άλλη άκρη του σωλήνα.

Το σωληνωτό σύστημα μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο σωλήνα ή πολλοί τέτοιοι σωλήνες τοποθετούνται σε ένα κυλινδρικό περίβλημα σχηματίζοντας έτσι μία συσκευή που μοιάζει με εναλλάκτη θερμότητας με κέλυφος και αυλούς (Σχ. 6.5).



Σχήμα 6.5 Σωληνωτό σύστημα μεμβρανών

Σπειροειδές σύστημα

Το σπειροειδές σύστημα σχηματίζεται από τέσσερις στρώσεις (φύλλα), που με τη σειρά είναι μεμβράνη-πορώδες διαχωριστικό-μεμβράνη-δικτυωτό πλέγμα. Οι επίπεδες αυτές στρώσεις διπλώνονται όλες μαζί γύρω από ένα πλαστικό σωλήνα σχηματίζοντας ένα κύλινδρο. Ολόκληρος αυτός ο κύλινδρος τοποθετείται μέσα σε ένα κυλινδρικό περίβλημα το οποίο έχει ανοίγματα εισόδου και εξόδου κατάλληλα τοποθετημένα (Σχ.6.6).

Κατά τη λειτουργία, το υγρό διοχετεύεται από τη μια επίπεδη πλευρά του κυλίνδρου και ρέει κατά μήκος ανάμεσα από τις δύο διαδοχικές μεμβράνες στο χώρο που υπάρχει το δικτυωτό πλέγμα. Το συμπυκνωμένο προϊόν συλλέγεται και βγαίνει από την αντίθετη πλευρά του κυλίνδρου. Το νερό και οι άλλες ουσίες, που περνούν από τις μεμβράνες και μέσα από το πορώδες διαχωριστικό στρώμα, συλλέγονται στον κεντρικό σωλήνα απ' όπου και βγαίνουν έξω.

Το **σπειροειδές σύστημα** έχει το πλεονέκτημα ότι έχει μεγάλη επιφάνεια μεμβρανών σε μικρό όγκο συσκευής. Χρησιμοποιείται στη **συμπύκνωση γάλακτος, ορού του γάλακτος, χυμών και αλλού.**



Σχήμα 6.6 Σπειροειδές σύστημα μεμβρανών

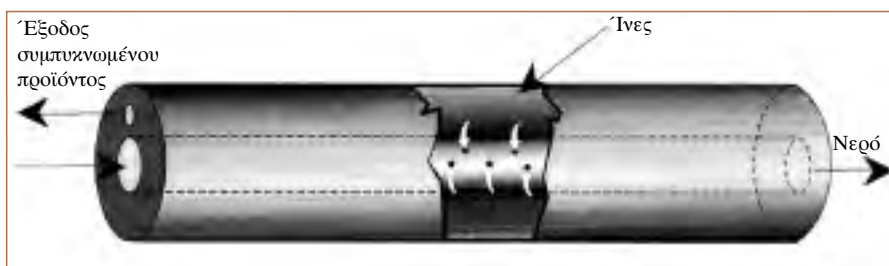
Σύστημα με λεπτές κοίλες ίνες

Στο σύστημα αυτό οι μεμβράνες είναι κατασκευασμένες σε μορφή πολύ λεπτών κοίλων ινών που μοιάζουν με λεπτές τρίχες. Ένας μεγάλος αριθμός τέτοιων ινών τοποθετείται σε ένα κυλινδρικό περιβλήμα με ανοίγματα εισόδου και εξόδου (Σχ. 6.7).

Στην περίπτωση της αντίστροφης ώσμωσης, το προϊόν διοχετεύεται στο εσωτερικό του περιβλήματος και, λόγω της πίεσης που ασκείται από την αντλία, τα μόρια του νερού περνούν από τα τοιχώματα των ινών και εισέρχονται στο εσωτερικό τους απ' όπου ρέουν προς την έξοδο.

Στην περίπτωση της υπερδιήθησης, οι ίνες είναι μεγαλύτερης διαμέτρου. Αποτελούνται από ένα πορώδες υπόστρωμα σε σχήμα κοίλης ίνας, στην εσωτερική ή στην εξωτερική επιφάνεια της οποίας υπάρχει η μεμβράνη σαν λεπτό δέρμα. Εάν η μεμβράνη είναι τοποθετημένη στην εξωτερική επιφάνεια, το υγρό διοχετεύεται από την πλευρά αυτή και οι ουσίες που περνούν συλλέγονται στο εσωτερικό της ίνας και ρέουν προς την έξοδο, ενώ το υγρό που παραμένει ρέει προς την άλλη άκρη του περιβλήματος απ' όπου και βγαίνει συμπυκνωμένο. Εάν η μεμβράνη είναι τοποθετημένη στην εσωτερική πλευρά κάθε ίνας, το υγρό διοχετεύεται στο εσωτερικό των ινών και οι ουσίες που περνούν ρέουν προς τα έξω και συλλέγονται στην εξωτερική πλευρά των ινών απ' όπου και βγαίνουν από το περιβλήμα. Το υγρό που απομένει στο εσωτερικό των ινών ρέει κατά μήκος και βγαίνει από την άλλη άκρη συμπυκνωμένο.

Το σύστημα με κοίλες ίνες έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι έχει μεγάλη επιφάνεια μεμβρανών σε μικρό όγκο συσκευής. Χρησιμοποιείται συχνά στην **αφαλάτωση θαλασσινού νερού**.



Σχήμα 6.7 Σύστημα μεμβρανών με λεπτές κοίλες ίνες

6.2

Ξήρανση τροφίμων

Η ξήρανση χρησιμοποιείται από τα πολύ παλιά χρόνια ως μέθοδος συντήρησης των τροφίμων. Ο άνθρωπος ξήραινε φρούτα, λαχανικά, καρπούς, κρέας, ψάρι και άλλα προϊόντα την εποχή που υπήρχαν σε αφθονία, προκειμένου να τα διατηρήσει για περιόδους που θα είχε έλλειψη τροφής. Και σήμερα η ξήρανση χρησιμοποιείται ως μέθοδος συντήρησης προκειμένου να είναι δυνατή η ασφαλής αποθήκευση και η εύκολη διακίνηση των προϊόντων.

Η ξήρανση ως μέθοδος συντήρησης βασίζεται στην απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους του νερού από το τρόφιμο, ούτως ώστε να μην είναι διαθέσιμο για την ανάπτυξη των παθογόνων και των αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Επιπλέον, ο ρυθμός πολλών χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στα τρόφιμα κατά την αποθήκευσή τους και οδηγούν σε αλλοιώσεις, μειώνεται όσο μειώνεται η διαθέσιμη υγρασία του προϊόντος. Ένα μέγεθος που εκφράζει το κατά πόσο είναι διαθέσιμο το νερό που υπάρχει σ' ένα προϊόν τόσο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών όσο και για τις χημικές αντιδράσεις, είναι η **ενεργότητα του νερού**. Η ενεργότητα του νερού μεταβάλλεται από 0 έως 1. Τα παθογόνα μικρόβια χρειάζονται ενεργότητα νερού μεγαλύτερη από 0,90 προκειμένου να αναπτυχθούν και να παράγουν τοξίνες. Οι μύκητες αναπτύσσονται σε τιμές ενεργότητας μέχρι περίπου 0,80, ενώ ορισμένες ωσμώφιλες ζύμες μπορούν να αναπτυχθούν σε ενεργότητα νερού μέχρι περίπου 0,60. Κάτω από αυτή την τιμή δεν αναπτύσσεται κανένας μικροοργανισμός. Τα τρόφιμα που έχουν ξηρανθεί επαρκώς έχουν τιμές ενεργότητας νερού μικρότερες από 0,60 και γι' αυτό μπορούν να αποθηκευτούν χωρίς τον κίνδυνο αλλοιώσεων.

Αρχή της ξήρανσης

Ένα προϊόν χάνει υγρασία, εάν η ενεργότητα νερού που έχει είναι μεγαλύτερη από το 1/100 της σχετικής υγρασίας του χώρου στον οποίο βρίσκεται. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τιμών, δηλαδή μεταξύ της ενεργότητας νερού και της σχετικής υγρασίας του αέρα τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ταχύτητα ξήρανσης. Έτσι, εάν αφήσουμε ένα λαχανικό π.χ. μαρούλι σ' ένα δωμάτιο, το μαρούλι μαραίνεται γιατί η ενεργότητα νερού που έχει είναι μεγαλύτερη από το 1/100 της σχετικής υγρασίας του δωματίου και επομένως το μα-

ρούλι μαραίνεται γιατί η ενεργότητα νερού που έχει είναι μεγαλύτερη από το 1/100 της σχετικής υγρασίας του δωματίου και επομένως το μαρούλι χάνει υγρασία. Εάν το ίδιο προϊόν το βάλουμε μέσα σ' ένα ζεστό φούρνο, θα ξηρανθεί πολύ πιο γρήγορα γιατί στο φούρνο μέσα, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, επικρατεί πολύ χαμηλή σχετική υγρασία.

Εάν η ενεργότητα του νερού ενός προϊόντος είναι μικρότερη από το 1/100 της σχετικής υγρασίας του χώρου στον οποίο βρίσκεται, το προϊόν θα πάρει υγρασία από το περιβάλλον, π.χ. εάν αφήσουμε ένα μπισκότο έξω από τη συσκευασία του, το μπισκότο θα πάρει υγρασία από το περιβάλλον και θα μαλακώσει. Όσο πιο μεγάλη σχετική υγρασία έχει το περιβάλλον τόσο πιο πολλή υγρασία θα πάρει το προϊόν.

Τύποι ξηραντηρίων

Ο απλούστερος τρόπος για ξήρανση ενός προϊόντος είναι η έκθεσή του στον ήλιο. Ο τρόπος αυτός είναι ο παλαιότερος, χρησιμοποιείται όμως ακόμη και σήμερα για την ξήρανση ορισμένων προϊόντων, π.χ. σταφίδες, σύκα. Έχει το μειονέκτημα ότι διαρκεί πολλές ημέρες και το προϊόν εκτίθεται στις συνθήκες του περιβάλλοντος (τυχόν κακές καιρικές συνθήκες, διακύμανση της θερμοκρασίας, σκόνη, έντομα).

Σήμερα η ξήρανση γίνεται συνήθως σε συσκευές που λέγονται ξηραντήρια. Η αφυδάτωση στα ξηραντήρια πραγματοποιείται συνήθως με την έκθεση του προϊόντος σε ρεύμα ζεστού και ξηρού αέρα. Ο αέρας αυτός αφενός μεταφέρει την απαιτούμενη θερμότητα προκειμένου να εξατμιστεί το νερό από το προϊόν και αφετέρου απομακρύνει τους υδρατμούς που παράγονται από την εξάτμιση αυτή του νερού.

Ξηραντήριο θαλάμου

Το ξηραντήριο θαλάμου αποτελείται από ένα θάλαμο ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου, στον οποίο τοποθετούνται δίσκοι (ταψιά) σε αλληπάλλληλες στρώσεις. Ένας ανεμιστήρας εξασφαλίζει την κίνηση του αέρα στην επιφάνεια των δίσκων και τη συνεχή ανανέωση μιας ποσότητας αέρα. Εισέρχεται δηλαδή συνεχώς μια ποσότητα φρέσκου αέρα στο ξηραντήριο, ενώ συγχρόνως εξέρχεται μια ίση ποσότητα υγρού αέρα από το ξηραντήριο, ούτως ώστε η σχετική υγρασία μέσα στο ξηραντήριο να παραμένει χαμηλή. Ο αέρας του ξηραντηρίου θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας.



Σχήμα 6.8 Ξηραντήριο θαλάμου

Κατά τη λειτουργία, το προϊόν φορτώνεται στους δίσκους σε ποσότητα περίπου $5-10 \text{ kg/m}^2$, το ξηραντήριο κλείνει και τίθεται σε λειτουργία. Όταν το προϊόν αφυδατωθεί, το ξηραντήριο ανοίγει και ξεφορτώνεται.

Τα ξηραντήρια θαλάμου χρησιμοποιούνται συχνά για ξήρανση φρούτων και λαχανικών.

Ξηραντήριο τύπου σήραγγας

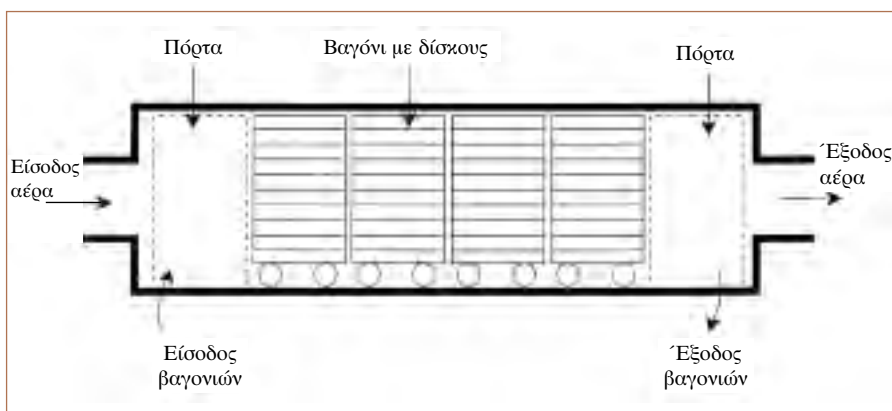
Το ξηραντήριο τύπου σήραγγας αποτελείται από ένα μακρόστενο θάλαμο σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου μήκους μέχρι και 12 m. Στο εσωτερικό του θαλάμου τοποθετούνται πλαίσια με κατάλληλες υποδοχές στις οποίες μπαίνουν δίσκοι (ταψιά) που περιέχουν το προϊόν. Τα πλαίσια έχουν τροχούς για να είναι εύκολη η μετακίνησή τους κατά μήκος του ξηραντηρίου γι' αυτό ονομάζονται και βαγόνια.

Κατά τη λειτουργία του ξηραντηρίου, το προϊόν φορτώνεται στους δίσκους οι οποίοι στη συνέχεια τοποθετούνται στα βαγόνια. Σε τακτά χρονικά διαστήματα ένα βαγόνι τοποθετείται στη σήραγγα από τη θύρα τροφοδοσίας, ενώ συγχρόνως όλα τα άλλα βαγόνια που βρίσκονται ήδη μέσα στο ξηραντήριο προωθούνται κατά μία θέση προς την έξοδο. Όταν το ξηραντήριο γεμίσει με βαγόνια, κάθε φορά που ένα βαγόνι περνά από την είσοδο ένα άλλο απομακρύνεται από την έξοδο. Ο ρυθμός τροφοδοσίας της σήραγγας ρυθμίζεται έτσι ώστε ο χρόνος που παραμένει το κάθε βαγόνι μέσα στο ξηραντήριο να είναι αρκετός προκειμένου να ξηρανθεί το προϊόν.

Ο αέρας ξήρανσης θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας. Για τη δη-

μιουργία του ρεύματος του αέρα ξήρανσης, χρησιμοποιείται ένας ανεμιστήρας. Η κατεύθυνση ροής του αέρα μέσα στο ξηραντήριο μπορεί να είναι ίδια με την κατεύθυνση κινήσεως των βαγονιών (ομορροή) ή αντίθετη (αντιρροή).

Το ξηραντήριο τύπου σήραγγας χρησιμοποιείται για την ξήρανση φρούτων και λαχανικών.

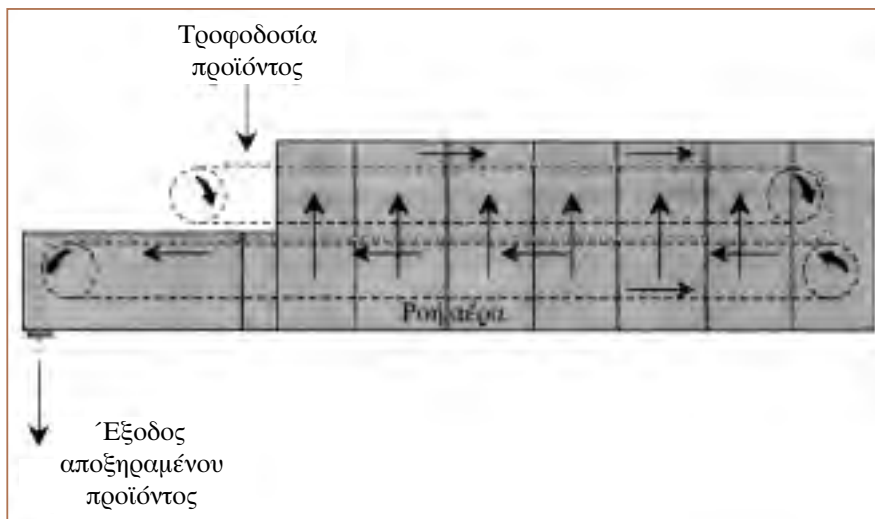


Σχήμα 6.9 Ξηραντήριο τύπου σήραγγας

Ξηραντήριο με μεταφορική ταινία

Το ξηραντήριο με μεταφορική ταινία αποτελείται από ένα μακρόστενο θάλαμο σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, όπως και στο ξηραντήριο τύπου σήραγγας. Στο εσωτερικό του θαλάμου και κατά μήκος υπάρχει μια διάτρητη ατέρμων μεταφορική ταινία. Ο αέρας ξήρανσης θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας και ρέει με τη βοήθεια ενός ή περισσότερων ανεμιστήρων.

Κατά τη λειτουργία, το προϊόν τοποθετείται επάνω στη μεταφορική ταινία σε μια λεπτή στρώση και καθώς η ταινία προχωρεί σιγά-σιγά μέσα στο ξηραντήριο, το προϊόν ξηραίνεται. Η ταχύτητα κίνησης της ταινίας ρυθμίζεται, έτσι ώστε ο χρόνος που παραμένει το προϊόν μέσα στο ξηραντήριο να είναι αρκετός για να αφυδατωθεί το προϊόν, μέχρι την επιθυμητή τελική υγρασία. Ο αέρας ξήρανσης μπορεί να ρέει κατ' ομορροή ή κατ' αντιρροή στην επιφάνεια του προϊόντος ή και σε εγκάρσια ροή, δηλαδή κάθετα προς τη μεταφορική ταινία. Στην περίπτωση της εγκάρσιας ροής είναι δυνατόν ο αέρας ξήρανσης να θερμαίνεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες στα διάφορα τμήματα του ξηραντηρίου. Επίσης, επειδή ο αέρας περνάει μέσα από τη μάζα του προϊόντος, εξασφαλίζεται πιο ομοιόμορφη ξήρανση.



Σχήμα 6.10 Ξηραντήριο με μεταφορική ταινία

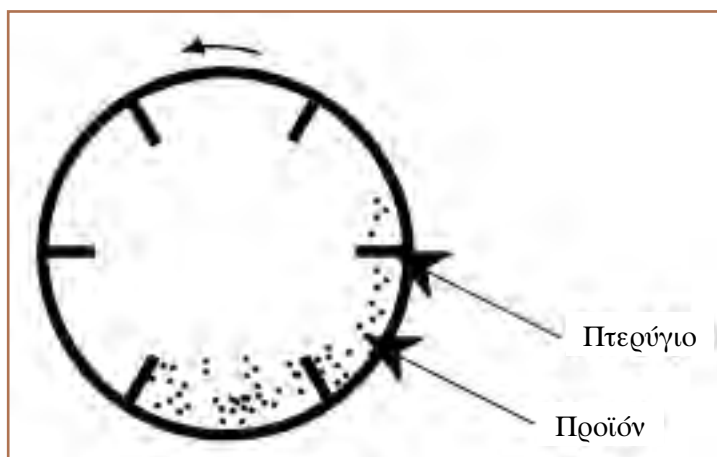
Ορισμένα ξηραντήρια αυτού του τύπου έχουν δύο μεταφορικές ταινίες, έτσι ώστε σε κάποιο σημείο της διαδρομής το προϊόν αδειάζει από την επάνω ταινία στην κάτω ταινία, προκειμένου να γίνει ανακατανομή του προϊόντος και να εκτεθούν κατά το δυνατόν όλες οι πλευρές του στο ρεύμα του αέρα ξήρανσης. Οι δύο ταινίες μπορεί να είναι ακριβώς η μια πάνω από την άλλη και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Στην περίπτωση αυτή το προϊόν φορτώνεται στην επάνω ταινία στην είσοδο του ξηραντηρίου και όταν φθάσει στην άλλη άκρη του ξηραντηρίου αδειάζει στην από κάτω ταινία, η οποία κινείται με αντίθετη φορά από την επάνω (Σχ. 6.10). Το πλεονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι το συνολικό μήκος του ξηραντηρίου είναι περίπου το μισό.

Το ξηραντήριο με μεταφορική ταινία χρησιμοποιείται για την ξήρανση φρούτων, λαχανικών και άλλων προϊόντων.

Περιστρεφόμενο ξηραντήριο

Το περιστρεφόμενο ξηραντήριο αποτελείται από ένα μακρύ περιστρεφόμενο κύλινδρο με μικρή κλίση κατά μήκος, στο εσωτερικό του οποίου είναι προσαρμοσμένα κοντά πτερύγια. Τα πτερύγια χρησιμεύουν στο να αναδεύουν το προϊόν και να το προωθούν κατά μήκος από την είσοδο προς την έξοδο. Η προώθηση του προϊόντος διευκολύνεται και από την κλίση που έχει το ξηραντήριο κατά μήκος.

Κατά τη λειτουργία, ο κύλινδρος περιστρέφεται με αργή ταχύτητα. Το προϊόν τοποθετείται στη μία άκρη του κυλίνδρου και κινείται σιγά-σιγά με τη βοήθεια των περυγίων προς την έξοδο που ευρίσκεται στην άλλη άκρη του κυλίνδρου. Ο αέρας ξήρανσης θερμαίνεται σε ένα εναλλάκτη θερμότητας ή με άμεση καύση υγραερίου και ανάμειξη των καυσαερίων με τον αέρα. Ρέει στο εσωτερικό του κυλίνδρου συνήθως σε ομορροή με το προϊόν.



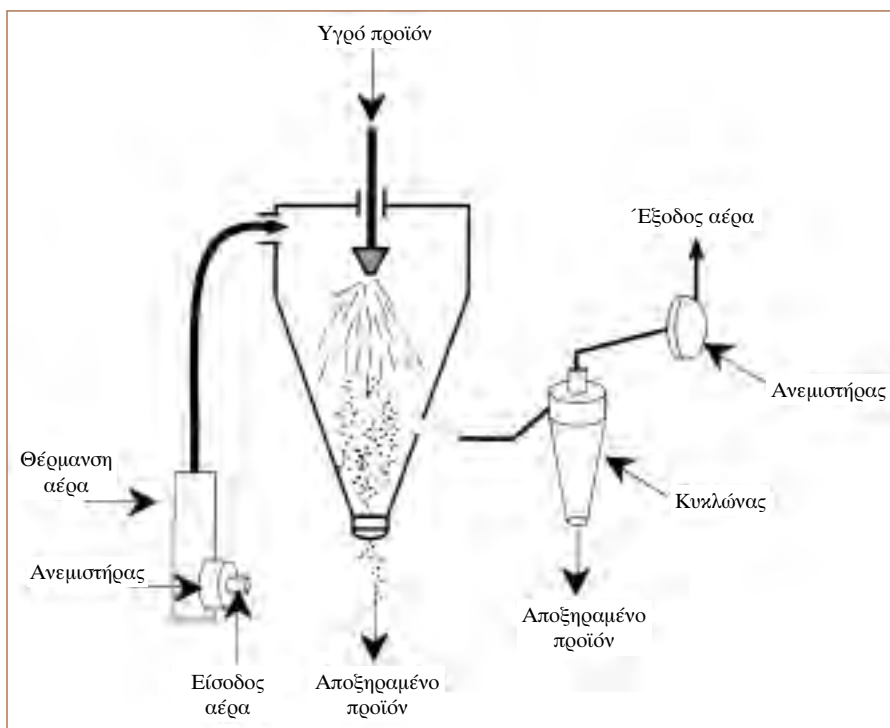
Σχήμα 6.11 Περιστρεφόμενο ξηραντήριο

Το περιστρεφόμενο ξηραντήριο χρησιμοποιείται συνήθως για την ξήρανση υποπροϊόντων βιομηχανιών τροφίμων που προορίζονται για ζωοτροφές π.χ. σε εργοστάσια χυμοποίησης εσπεριδοειδών για την ξήρανση των φλοιών, των μεμβρανών και των σπόρων.

Ξηραντήριο ψεκασμού

Το ξηραντήριο ψεκασμού αποτελείται συνήθως από έναν κατακόρυφο κυλινδρικό θάλαμο, ο οποίος στο κάτω μέρος καταλήγει σε κωνικό σχήμα. Στην κορυφή του θαλάμου υπάρχει ένα σύστημα ψεκασμού με τη βοήθεια του οποίου το προϊόν διασπάται σε μικρές σταγόνες. Ο αέρας ξήρανσης τροφοδοτείται στο ξηραντήριο με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα αφού πρώτα θερμανθεί σε εναλλάκτη θερμότητας. Ο αέρας ξήρανσης ρέει συνήθως σε ομορροή με το προϊόν.

Κατά τη λειτουργία, μια αντλία διοχετεύει το προϊόν στο σύστημα ψεκασμού το οποίο το ψεκάζει μέσα στο ρεύμα του αέρα ξήρανσης. Μέχρι οι σταγόνες να πέσουν από την οροφή στον πυθμένα του ξηραντηρίου αφυδατώνονται. Έτσι, από κάθε σταγόνα υγρού προκύπτει και ένας μικρός κόκκος στερεού. Το τελικό προϊόν σε μορφή σκόνης συλλέγεται στο κάτω κωνικό άκρο του ξηραντηρίου και εξέρχεται από το άνοιγμα εξόδου. Ο αέρας ξήρανσης εξέρχεται από άλλο άνοιγμα συμπαρασύροντας μια μικρή ποσότητα λεπτόκοκκου προϊόντος. Η ποσότητα αυτή προϊόντος διαχωρίζεται από τον αέρα σε ένα κυκλώνα.



Σχήμα 6.12 Ξηραντήριο ψεκασμού

Η ποιότητα των προϊόντων που αφυδατώνονται στα ξηραντήρια ψεκασμού είναι πολύ καλή, γιατί το προϊόν υφίσταται την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών μόνο για λίγο χρόνο (μερικά δευτερόλεπτα). **Χρησιμοποιούνται για την ξήρανση υγρών τροφίμων, π.χ. γάλακτος, στιγμιαίου καφέ, αυγού, χυμών κ.ά.**

Ξηραντήριο τυμπάνου

Το ξηραντήριο τυμπάνου αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο οριζόντιο μεταλλικό κύλινδρο στιβαρής κατασκευής. Το εσωτερικό του κυλίνδρου τροφοδοτείται ατμός με πίεση, ο οποίος θερμαίνει τη μεταλλική κυλινδρική επιφάνεια, στην εξωτερική πλευρά της οποίας είναι απλωμένο το προϊόν σε μια λεπτή στρώση. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του τυμπάνου, το νερό εξατμίζεται και το προϊόν ξηραίνεται σε μια διαδρομή 300° περίπου, από το σημείο δηλαδή της τροφοδοσίας μέχρι το σημείο που το προϊόν αποξέεται από την επιφάνεια.

Ορισμένα ξηραντήρια αυτού του τύπου με μεγάλη δυναμικότητα αποτελούνται από δύο παράλληλα τύμπανα που σχεδόν εφάπτονται κατά μήκος και περιστρέφονται με αντίθετη φορά.

Χρησιμοποιείται για την ξήρανση παχύρρευστων υγρών ή προϊόντων σε μορφή πουρέ, π.χ. λαχανικά, πατάτες κ.ά.



Σχήμα 6.13 Ξηραντήριο τυμπάνου

Ξηραντήριο κενού

Προϊόντα τα οποία είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία μπορεί να ξηρανθούν σε συνθήκες υποπίεσης, όπου η εξάτμιση του νερού γίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Η ξήρανση σε τέτοιες συνθήκες γίνεται στα ξηραντήρια κενού.

Τα ξηραντήρια κενού αποτελούνται από κυλινδρικούς οριζόντιους μεταλλικούς θαλάμους, που αντέχουν στη διαφορά πίεσης που υπάρχει μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης που επικρατεί στο εξωτερικό και της υποπίεσης που επικρατεί στο εσωτερικό του θαλάμου. Στο εσωτερικό του θαλάμου υπάρχουν ράφια επάνω στα οποία τοποθετούνται οι δίσκοι με τα προϊόντα. Το περίβλημα του ξηραντηρίου ή και τα ράφια είναι κατασκευασμένα με διπλά τοιχώματα, ώστε ενδιάμεσα να κυκλοφορεί το θερ-

μαντικό μέσο που είναι ζεστό νερό ή ατμός.

Κατά τη λειτουργία, το προϊόν φορτώνεται σε δίσκους οι οποίοι στη συνέχεια τοποθετούνται στα ράφια και το ξηραντήριο κλείνει ερμητικά. Μια αντλία κενού απομακρύνει τον αέρα, ενώ το νερό θέρμανσης ή ο ατμός αρχίζει να κυκλοφορεί στα θερμαντικά στοιχεία. Οι υδρατμοί που παράγονται από την εξάτμιση του νερού συμπυκνώνονται σε ένα συμπυκνωτήρα.

Υπάρχουν και ξηραντήρια κενού συνεχούς λειτουργίας τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για την ξήρανση υγρών. Αποτελούνται από ένα κυλινδρικό οριζόντιο δοχείο στο εσωτερικό του οποίου κυκλοφορεί ένας ατέρμων μεταλλικός ιμάντας. Κατά τη λειτουργία, και ενώ στο ξηραντήριο επικρατεί υποπίεση, ψεκάζεται το προϊόν στην επιφάνεια του ιμάντα. Η απότομη αλλαγή της πίεσης προκαλεί απαέρωση του προϊόντος, φεύγει δηλαδή ο αέρας που είναι διαλυμένος στο υγρό, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αφρού, ο οποίος αυξάνει την επιφάνεια του προϊόντος και διευκολύνει την ξήρανση.

Τα ξηραντήρια κενού είναι υψηλού κόστους και γι αυτό δε χρησιμοποιούνται συχνά.

Ξήρανση υπό κατάψυξη

Στα ξηραντήρια που αναπτύχθηκαν μέχρι τώρα το νερό από την υγρή φάση εξατμίζεται και έτσι ξηραίνεται το προϊόν. Σε μια άλλη μέθοδο ξήρανσης, τη **λυοφιλίωση**, το προϊόν πρώτα καταψύχεται και στη συνέχεια ξηραίνεται. Η πίεση που επικρατεί στη λυοφιλίωση είναι πολύ χαμηλή (περίπου 0,0001 bar), οπότε το νερό από τη στερεή φάση που βρίσκεται στο προϊόν (υπό μορφή πάγου) εξαχνώνεται, μεταφέρεται δηλαδή στην αέρια φάση χωρίς να περάσει από την υγρή φάση. Το προϊόν επομένως κατά τη διάρκεια της αφυδάτωσης βρίσκεται κατεψυγμένο γι' αυτό και η λυοφιλίωση λέγεται και ξήρανση υπό κατάψυξη.

Τα ξηραντήρια στα οποία γίνεται η λυοφιλίωση αποτελούνται από ένα κυλινδρικό οριζόντιο μεταλλικό θάλαμο στιβαρής κατασκευής, για να αντέχει στη διαφορά πίεσης μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου υπάρχουν ράφια κατασκευασμένα με διπλά τοιχώματα, έτσι ώστε να κυκλοφορεί στο εσωτερικό τους ζεστό νερό ως θερμαντικό μέσο του προϊόντος. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου υπάρχει ακόμη ένας συμπυκνωτήρας, ο οποίος ψύχεται με ψυκτικό υγρό θερμοκρασίας -30°C έως -50°C με τη βοήθεια ενός ψυκτικού συγκροτήματος. Το ξηραντήριο είναι εφοδιασμένο επίσης με μια αντλία κενού για την απομάκρυνση του αέρα και τη δημιουργία της απαιτούμενης υποπίεσης.

Κατά τη λειτουργία, το προϊόν καταψύχεται και φορτώνεται στους δίσκους οι οποίοι τοποθετούνται στα ράφια μέσα στο ξηραντήριο. Το ξηρα-

ντήριο κλείνει ερμητικά, η αντλία κενού δημιουργεί την απαιτούμενη υποπίεση, ενώ τα ράφια αρχίζουν να θερμαίνονται με το ζεστό νερό που κυκλοφορεί. Τίθεται επίσης σε λειτουργία και το ψυκτικό μηχάνημα για την ψύξη του συμπυκνωτήρα.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο πάγος εξαχνώνεται από το προϊόν και οι παραγόμενοι υδρατμοί συμπυκνώνονται στην επιφάνεια του συμπυκνωτήρα δημιουργώντας μια στρώση πάγου. Μετά από αρκετές ώρες λειτουργίας, για τα περισσότερα προϊόντα μετά από 8 έως 12 ώρες, η ξήρανση έχει ολοκληρωθεί, οπότε σταματά η λειτουργία του συστήματος. Ο θάλαμος ανοίγει, οι δίσκοι απομακρύνονται, ενώ γίνεται και απόψυξη στο συμπυκνωτήρα.

Τα κύρια πλεονεκτήματά της είναι ότι: α) το προϊόν διατηρεί τους οργανοληπτικούς του χαρακτήρες και κυρίως το άρωμά του, β) τα στερεά τρόφιμα δεν συρρικνώνονται αλλά διατηρούν το σχήμα τους και γ) το τελικό προϊόν ενυδατώνεται εύκολα όταν θέλουμε να το καταναλώσουμε.

Η μέθοδος της λυοφιλίωσης δίνει προϊόντα πολύ καλής ποιότητας, είναι όμως η πιο ακριβή μέθοδος αφυδάτωσης και γι' αυτό δε χρησιμοποιείται συχνά. Μπορεί πάντως να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση τόσο στερεών, π.χ. ευαίσθητων φρούτων, όσο και υγρών, π.χ. στιγμιαίου καφέ.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό μάθαμε για τη συμπύκνωση και την ξήρανση των τροφίμων.

Η συμπύκνωση είναι η διεργασία εκείνη κατά την οποία αφαιρείται μια ποσότητα νερού από ένα υγρό τρόφιμο. Μπορεί να γίνει **με βρασμό του προϊόντος και εξάτμιση του νερού, με κατάψυξη του προϊόντος και διαχωρισμό του πάγου και τέλος με τη χρήση ημιπερατών μεμβρανών.**

Η εξάτμιση γίνεται στους εξατμιστήρες. Η βασική μονάδα του εξατμιστήρα είναι η βαθμίδα. Οι εξατμιστήρες που χρησιμοποιούνται σήμερα έχουν περισσότερες βαθμίδες, συνήθως 4-6, γιατί **οι πολυβάθμιοι εξατμιστήρες έχουν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.**

Υπάρχουν διάφοροι τύποι εξατμιστήρων. Οι εξατμιστήρες ανοικτού δοχείου που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή μαρμελάδας, οι εξατμιστήρες αναγκαστικής κυκλοφορίας, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τομάτας, οι εξατμιστήρες με κοντούς σωλήνες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ζάχαρης, οι εξατμιστήρες ανερχόμενου λεπτού στρώματος, οι εξατμιστήρες κατερχόμενου λεπτού στρώματος και οι εξατμιστήρες με πλάκες, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία γάλακτος και χυμών.

Οι εξατμιστήρες λειτουργούν σε υποπίεση προκειμένου ο βρασμός να γίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία και έτσι να περιορίζεται η υποβάθμιση του προϊόντος.

Η συμπύκνωση με κατάψυξη δίνει προϊόν ανώτερης ποιότητας επειδή η συμπύκνωση γίνεται δίχως να θερμαίνεται το προϊόν. Δε χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα επειδή είναι ακριβή μέθοδος.

Η συμπύκνωση με μεμβράνες βασίζεται στην ιδιότητα που έχουν ορισμένες μεμβράνες να επιτρέπουν τη διέλευση των μορίων ορισμένων ουσιών, ενώ δεν επιτρέπουν τη διέλευση άλλων. Διακρίναμε την υπερδιήθηση και την αντίστροφη ώσμωση. Στην υπερδιήθηση περνούν από την ημιπερατή μεμβράνη τα μόρια του νερού και άλλων μικρών μορίων, π.χ. της γλυκόζης, του χλωριούχου νατρίου και άλλων. Στην αντίστροφη ώσμωση περνούν από τη μεμβράνη μόνο τα μόρια του νερού. Επίσης στην αντίστροφη ώσμωση πρέπει να ασκηθεί πίεση στο υγρό μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος, ενώ στην υ-

περδιήθησιν δε χρειάζεται τόσο υψηλή πίεση. Τα σπυδαϊότερα συστήματα που χρησιμοποιούνται στη συμπύκνωση με μεμβράνες είναι το σωληνωτό σύστημα, το σπειροειδές σύστημα και το σύστημα με λεπτές κοίλες ίνες.

Η ξήρανση των τροφίμων γίνεται κυρίως για να μπορούν να συντηρηθούν αυτά για μεγάλο χρονικό διάστημα σε συνθήκες περιβάλλοντος. Σημαντική παράμετρος στην ξήρανση αλλά και γενικότερα στη συντήρηση των τροφίμων είναι η ενεργότητα του νερού.

Υπάρχουν πολλοί τύποι ξηραντηρίων. Εμείς μάθαμε για το ξηραντήριο θαλάμου, το ξηραντήριο σήραγγας, το ξηραντήριο με μεταφορική ταινία, το περιστρεφόμενο ξηραντήριο, το ξηραντήριο ψεκασμού το ξηραντήριο τυμπάνου, το ξηραντήριο κενού και το ξηραντήριο για τη λυοφιλίωση. Τα περισσότερα από αυτά τα ξηραντήρια λειτουργούν με ρεύμα ζεστού αέρα, ο οποίος θερμαίνει το προϊόν, εξατμίζει το νερό και το απομακρύνει από το προϊόν. Υπάρχουν ξηραντήρια, όπως αυτό της λυοφιλίωσης που λειτουργούν υπό κενό. Στην περίπτωση της λυοφιλίωσης το προϊόν πρώτα καταψύχεται και κατεψυγμένο όπως είναι αποξηραίνεται. Η μέθοδος αυτή δίνει πολύ καλής ποιότητας προϊόν αλλά είναι πολύ ακριβή και γι' αυτό δε χρησιμοποιείται συχνά.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1) Τι λέγεται συμπύκνωση υγρών τροφίμων και για ποιους κυρίως λόγους γίνεται αυτή η διεργασία στα τρόφιμα ;
- 2) Να σημειώσετε σε κάθε κενό δεξιά των προτάσεων της στήλης Α, τον αντίστοιχο αριθμό της στήλης Β.

A

Ο εξατμιστήρας με
κοντούς σωλήνες ...

Ο εξατμιστήρας
αναγκαστικής κυκλοφορίας ...

Ο εξατμιστήρας
με μακρούς σωλήνες ...

B

1. χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση χυμών φρούτων και γάλακτος

2. χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση στα εργοστάσια ζάχαρης

3. χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση χυμού τομάτας

4. χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση μαρμελάδας

- 3) Ποια είναι η αρχή λειτουργίας του εξατμιστήρα μιας βαθμίδας;
- 4) Από ποια μέρη αποτελείται ένας πολυβάθμιος εξατμιστήρας; Να εξηγήσετε τη λειτουργία του.
- 5) Να συμπληρώσετε τον παρακάτω πίνακα

Είδος εξατμιστήρα	Ομοιότητες	Διαφορές
Με κοντούς σωλήνες		
Με μακρούς σωλήνες		

- 6) Σε καθεμία από τις παρακάτω ασκήσεις να επιλέξετε τις κατάλ-

ληλες από τις λέξεις που δίνονται κάθε φορά και να συμπληρώσετε τα κενά του κειμένου που ακολουθεί. Να τις προσαρμόσετε γραμματικά κατάλληλα.

- α)** ευαίσθητος, παχύρρευστος, ατμός, νερό, στερεός, πυκνός, υγρός.
 Η συμπύκνωση τροφίμων, όπως γάλακτος, χυμών φρούτων κτλ., αναφέρεται στη διεργασία εκείνη κατά την οποία απομακρύνεται μια ποσότητα από το τρόφιμο, με αποτέλεσμα αυτό να γίνει
- β)** υγρό, μονάδα, ατμολέβητας, βαθμίδα, καυστήρας, καύσιμο.
 Με αυτόν τον τρόπο μόνο στην πρώτη χρησιμοποιείται ατμός από τον πετυχαίνοντας έτσι σημαντική οικονομία σε για την παραγωγή ατμού.
- 7) Να αναφέρετε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συμπύκνωσης με κατάψυξη.
- 8) Από ποια μέρη αποτελείται ένα σύστημα συμπύκνωσης με κατάψυξη και τι γίνεται στο καθένα;
- 9) Ποιες διαφορές υπάρχουν μεταξύ υπερδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης;
- 10) Γιατί όταν αφήσουμε ένα μπισκότο έξω από τη συσκευασία του μαλακώνει;
- 11) Ποιοι είναι οι τύποι ξηραντηρίων που μάθαμε και πού χρησιμοποιείται ο καθένας;
- 12) Τι γνωρίζετε για τη μέθοδο της ξήρανσης υπό κατάψυξη (λυοφιλίωση);

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Πρώτο εργαστήριο

Ξήρανση αρωματικών φυτών

Σκοπός:

- Η εξοικείωση του μαθητή με τη διεργασία αφυδάτωσης φυτικού υλικού.
- Η παρατήρηση της μείωσης του βάρους και της αύξησης του χρόνου διατήρησης των αφυδατωμένων προϊόντων.

Απαιτούμενα υλικά και μέσα

Ένας ζυγός

Ένας θερμοθάλαμος 45 - 50°C

Ένα ψυγείο.

Κάψες πορσελάνης.

Αρωματικά φυτά 100g από το κάθε είδος.

Διαφανής μεμβράνη.

Πορεία του πειράματος

- 1) Σε πρώτη φάση επιλέγουμε τα φρέσκα αρωματικά φυτά που θα χρησιμοποιήσουμε π.χ. μαϊντανός, δυόσμος και μαντζουράνα. Παίρνουμε περίπου 100g από το καθένα και ξεχωρίζουμε τα φύλλα τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε.
- 2) Ζυγίζουμε 20g φύλλα από το κάθε αρωματικό φυτό μέσα στην κάψα, αφού πρώτα πάρουμε το απόβαρο. Μ' αυτόν τον τρόπο ετοιμάζουμε 3 δείγματα από το κάθε αρωματικό φυτό.
- 3) Τοποθετούμε την πρώτη σειρά δειγμάτων από το κάθε αρωματικό φυτό μέσα στο θερμοθάλαμο και ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία στους 45°-50°C. Τη δεύτερη σειρά δειγμάτων την τοποθετούμε στο ψυγείο αφού πρώτα τυλίξουμε κάθε κάψα πορσελάνης με πλαστικό φιλμ..
- 4) Την τρίτη σειρά δειγμάτων την αφήνουμε στο εργαστήριο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- 5) Καθημερινά ελέγχεται το βάρος των δειγμάτων μέχρι να σταθεροποιηθεί, τότε θεωρούμε ότι ολοκληρώθηκε η αφυδάτωση.

Σημείωση: Το δείγμα που βρίσκεται στο θερμοθάλαμο θα αφυδατωθεί σε λίγες ώρες.

6) Καταγράφουμε τα αποτελέσματα σε πίνακα.

Θερμοκρασία	Βάρος	Χρόνος αφυδάτωσης
45° - 50°C		
20°C		
≅ 4°C		

Παρατηρήσεις

- 1) Συγκρίνουμε και σχολιάζουμε τα αποτελέσματα.
- 2) Να παρατηρήσετε, αν υπάρχουν διαφορές μεταξύ φρέσκου και αποξηραμένου φυτού, όσον αφορά την εμφάνιση (χρώμα) και το άρωμά του.