



Βασικές Διεργασίες Μηχανικής Τροφίμων

Ενότητα 5:

Διαχωρισμός με Μεμβράνες, 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



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





Μαθησιακοί Στόχοι

- Αρχή διαχωρισμού με ημιπερατές μεμβράνες
- Τύποι μεμβρανών
- Υπολογισμός ωσμωτικής πίεσης
- Υπολογισμός ρυθμού ροής μέσα από μεμβράνη
- Συστήματα διαχωρισμού
- Εφαρμογές



Λέξεις Κλειδιά

- Μικροδιήθηση
- Υπερδιήθηση
- Νανοδιήθηση
- Αντίστροφη ώσμωση
- Νόμος Van'd Hoff
- Εξίσωση Morse
- Απόδοση μεμβράνης
- Πόλωση της συγκέντρωσης
- Επικαθίσεις
- Διεξάτμιση



Διαχωρισμός με Μεμβράνες

Ο διαχωρισμός με μεμβράνες βασίζεται στη χρήση ημιπερατών μεμβρανών οι οποίες επιτρέπουν τη δίοδο σε ορισμένες ουσίες, ενώ δεν την επιτρέπουν σε άλλες.

Ο διαχωρισμός βασίζεται είτε:

- στο μέγεθος των σωματιδίων ή των μορίων
- στη διαλυτότητα των μορίων στη μεμβράνη
- στο ηλεκτρικό τους φορτίο



Σύγκριση Μεγεθών

ΥΛΙΚΟ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (μm)
Ανθρώπινη τρίχα	80
Αλεύρι	40
Ζύμες	3
Βακτήρια	1



Συστήματα Διαχωρισμού με Μεμβράνες

1) Κινητήρια δύναμη η **διαφορά πίεσης**

- Αντίστροφη ώσμωση (ΑΩ)
- Νανοδιήθηση (ΝΔ)
- Υπερδιήθηση (ΥΔ)
- Μικροδιήθηση (ΜΔ)

2) Κινητήρια δύναμη η **διαφορά συγκέντρωσης**

- Διεξάτμιση (per evaporation)
- Διαχωρισμός αερίων
- Διάλυση

3) Κινητήρια δύναμη η **διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού**

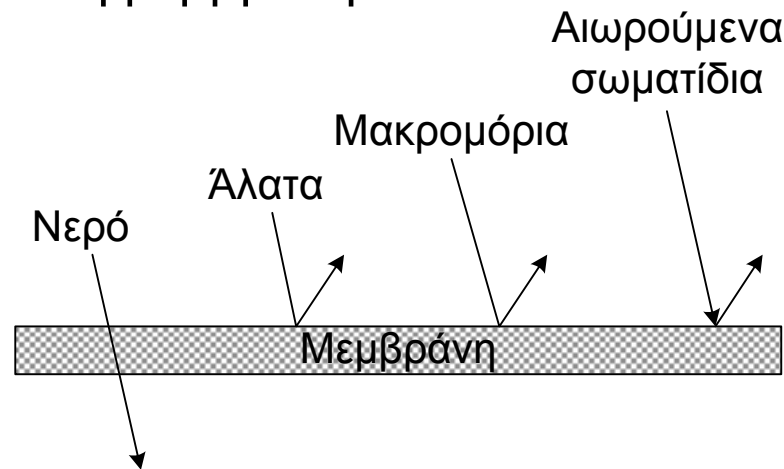
- Ηλεκτροδιάλυση



Αντίστροφη Ώσμωση 1/2

Οι μεμβράνες της ΑΩ έχουν ένα λεπτό ενεργό στρώμα μεμβράνης πάχους περίπου 0.25 μm επικαθήμενο σε πορώδες στρώμα υποστήριξης με μέγεθος πόρων 5-10 Angstrom.

Από τη μεμβράνη δεν μπορούν να περάσουν μεγάλα μόρια ούτε και ιόντα, π.χ. Cl^- και Na^+ που έχουν το ίδιο περίπου μέγεθος με το μόριο του νερού, αλλά απωθούνται από την μεμβράνη, ενώ τα μόρια του νερού προσροφώνται στην επιφάνεια της μεμβράνης και στη συνέχεια υπό την επίδραση της πίεσης κινούνται μέσα στη μεμβράνη





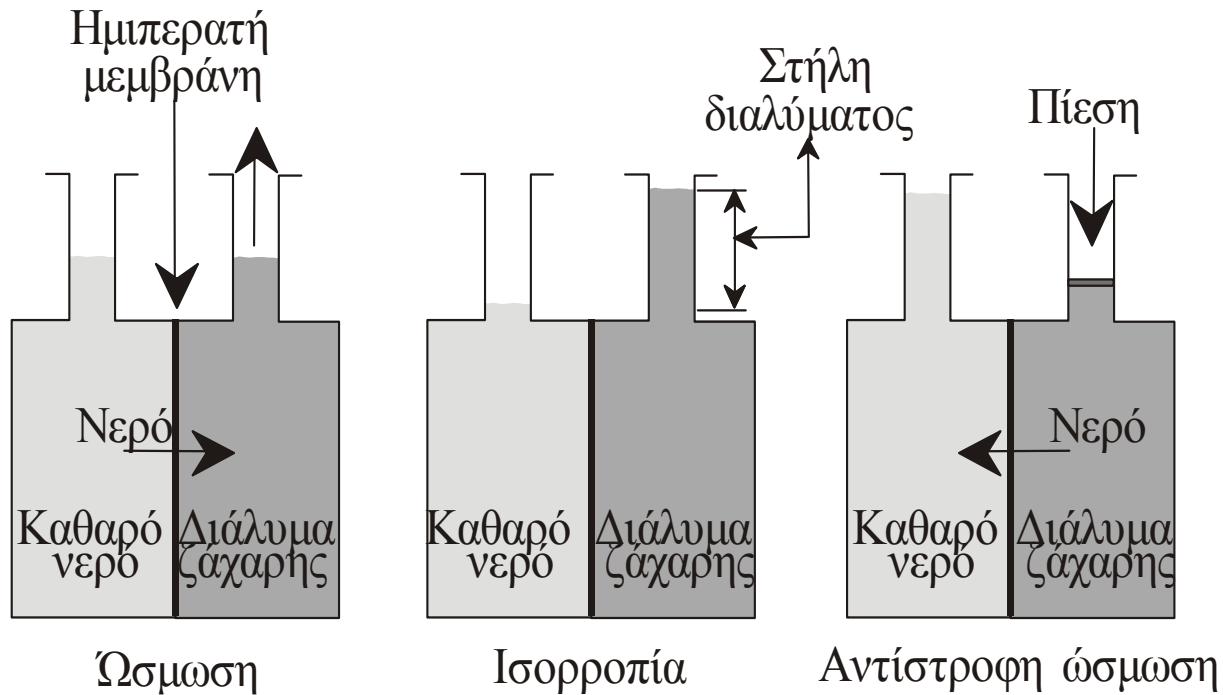
Αντίστροφη Ώσμωση 2/2

Εφαρμογές

- Αφαλάτωση θαλασσινού νερού
- Συμπύκνωση χυμών
- Συμπύκνωση γάλακτος
- Συμπύκνωση του διηθήματος της υπερδιήθησης του ορού του γάλακτος για συμπύκνωση της λακτόζης

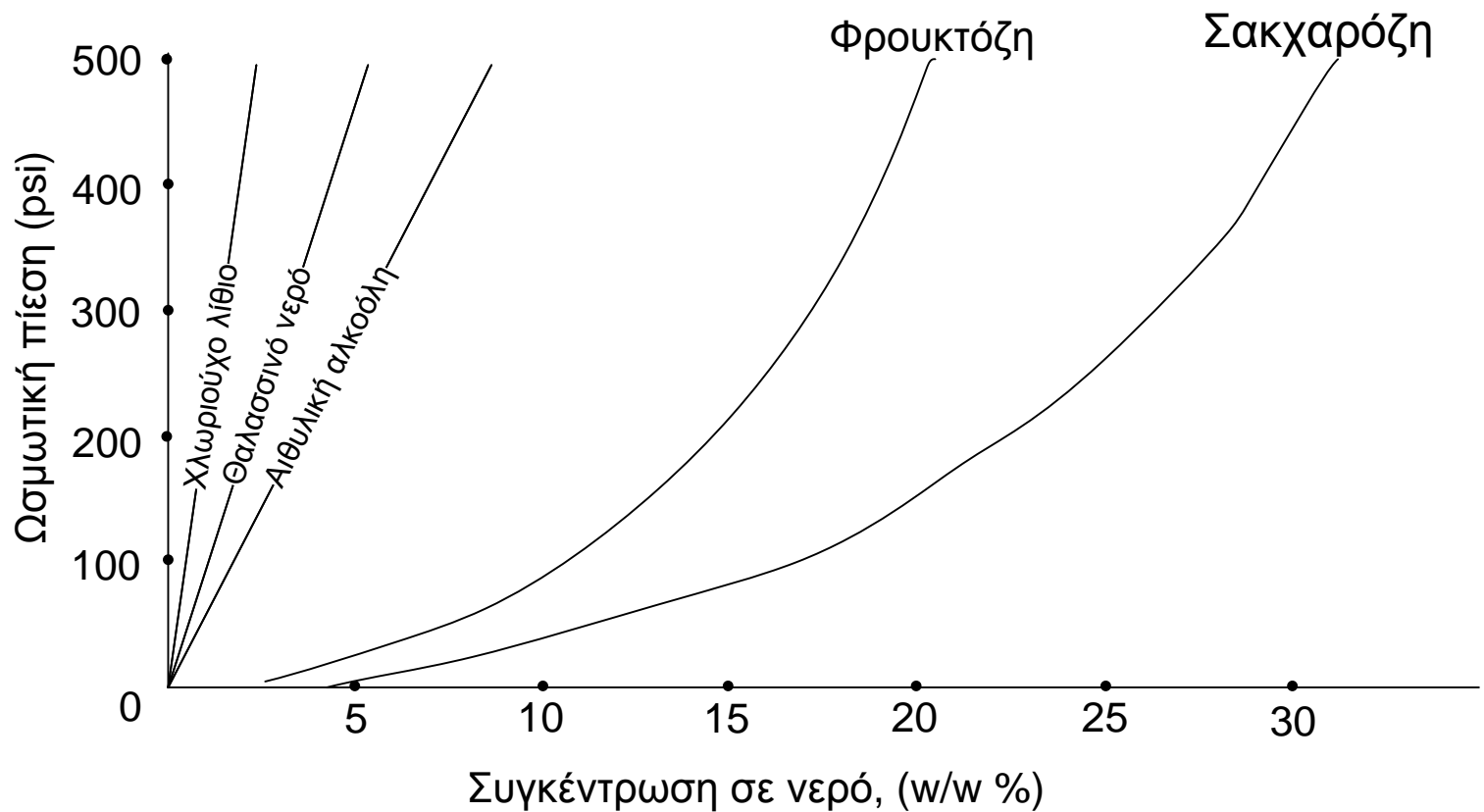


Αρχή Λειτουργίας ΑΩ





Ωσμωτική Πίεση Διαλυμάτων Συναρτήσεις της Συγκέντρωσης





Ωσμωτική Πίεση Διαλύματος 1/5

Για ιδανικά διαλύματα ισχύει ότι:

$$\bar{V}_0 \pi + RT \ln X = 0$$

όπου:

$$\bar{V}_0 = \frac{\text{όγκος καθαρά διαλύτη}}{\text{mol καθαρά διαλύτη}}$$

π ωσμωτική πίεση

X γραμμομοριακός λόγος του διαλύτη

T θερμοκρασία

R παγκόσμιος σταθερά των αερίων

Για μη ιδανικά διαλύματα

$$\bar{V}_0 \pi + RT \ln a = 0$$

όπου a ενεργότητα του διαλύτη



Ωσμωτική Πίεση Διαλύματος 2/5

Νόμος Van't Hoff

Για αραιά διαλύματα ισχύει ότι

$$-\ln X_w = -\ln(1 - X_s) \approx X_s \quad \text{και} \quad \bar{V} \approx V$$

όπου X_s mol διαλυμένης ουσίας / mol διαλύματος
 V όγκος διαλύματος / mol διαλύματος

άρα $\pi V \approx X_s RT$

ή $\pi \approx \frac{n}{V} RT$ ή $\pi V \approx nRT$ (Νόμος Van't Hoff)

όπου

π ωσμωτική πίεση, atm

V όγκος διαλύματος, l

n συνολικός αριθμός γραμμομορίων διαλυμένων ουσιών ή ιόντων

R παγκόσμιος σταθερά των αερίων, 0.082057 l·atm/(mol·K)

T θερμοκρασία, K



Ωσμωτική Πίεση Διαλύματος ^{3/5}

Εξίσωση Morse

Για σχετικώς πυκνά διαλύματα δεν ισχύει ο νόμος του Van't Hoff.

Καλύτερα αποτελέσματα δίνει η εξίσωση Morse.

$$\pi V_s \approx nRT$$

όπου

V_s όγκος του διαλύτη, l



Ωσμωτική Πίεση Διαλύματος 4/5

Παράδειγμα

Να υπολογιστεί η ωσμωτική πίεση του θαλασσινού νερού και διαλύματος γλυκόζης με συγκέντρωση 3.5 % στους 25°C.

Λύση

Εάν θεωρήσουμε ότι το θαλασσινό νερό έχει συγκέντρωση 3.5% σε NaCl θα έχουμε 35 g NaCl/l. Το μοριακό βάρος του NaCl είναι 58,44 και επομένως θα έχουμε 0,599 mol NaCl στο διάλυμα. Εάν υποθέσουμε πλήρη διάσπαση του NaCl, θα έχουμε 0,599 mol Na⁺/kg νερού και 0,599 mol Cl⁻/kg νερού.

Επειδή η ωσμωτική πίεση είναι προσθετική ιδιότητα (colligative property) και επομένως εξαρτάται από τον συνολικό αριθμό 'σωματιδίων' και όχι από το είδος, στον υπολογισμό θα ληφθεί υπ' όψη ο συνολικός αριθμός γραμμομορίων, δηλαδή 0,599+0,599=1,198 mols ιόντων Na⁺ και Cl⁻.

Άρα:





Ωσμωτική Πίεση Διαλύματος 5/5

$$\pi \approx \frac{n}{V} RT = \frac{1.198 \text{ mol}}{1 \text{ l}} 0.082057 \frac{\text{l atm}}{\text{mol K}} 298 \text{ K} = 29.3 \text{ atm}$$

Σημείωση

Στην πραγματικότητα, επειδή δεν έχουμε πλήρη διάσταση του άλατος, ο συνολικός αριθμός γραμμομορίων είναι περίπου $0.599 \cdot 1.8$ και όχι $0.599 \cdot 2$, οπότε η ωσμωτική πίεση θα είναι 26.4 atm.

Για τη γλυκόζη θα έχουμε:

$$n = \frac{35}{180} = 0.194 \text{ mol}$$

$$\pi \approx \frac{n}{V} RT = \frac{0.194 \text{ mol}}{1 \text{ l}} 0.082057 \frac{\text{l atm}}{\text{mol K}} 298 \text{ K} = 4.75 \text{ atm}$$



Ρυθμός Ροής του Νερού

Ο ρυθμός ροής του νερού μέσα από τη μεμβράνη μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$N_w = \frac{c_w D_w V_w}{RTz} (\Delta p - \Delta \pi) = K (\Delta p - \Delta \pi)$$

όπου:

N_w ρυθμός ροής του νερού, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

D_w συντελεστής διάχυσης στη μεμβράνη, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$

c_w μέση συγκέντρωση νερού στη μεμβράνη, kg m^{-3} (~ 0.2)

V_w μερικός μοριακός όγκος του νερού, $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$

ΔP διαφορά πίεσης, Pa

R παγκόσμιος σταθερά των αερίων, $8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

T θερμοκρασία, K

$\Delta \pi$ ωσμωτική πίεση, Pa

z πάχος της μεμβράνης, m

K συντελεστής περατότητας της μεμβράνης στο νερό



Ρυθμός Ροής της Διαλυμένης Ουσίας

Ο ρυθμός ροής της διαλυμένης ουσίας μέσα από τη μεμβράνη μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$N_s = \frac{D_s S_s}{z} \Delta c_s = B \Delta c_s$$

όπου:

N_s ροή διαλυμένης ουσίας, $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$

D_s συντελεστής διάχυσης, $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$

S_s συντελεστής διαλυτότητας

c_s διαφορά συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας μεταξύ των δύο παρειών της μεμβράνης, kg m^{-3}

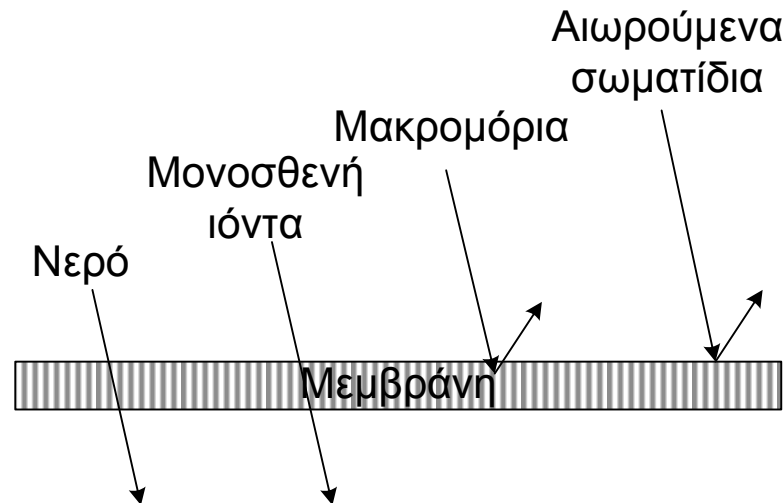
z πάχος της μεμβράνης, m

B συντελεστής περατότητας της μεμβράνης στη διαλυτή ουσία



Νανοδιήθηση 1/2

- Ουσίες με $MB > 100-500$ καθώς και τα πολυσθενή ιόντα αποβάλλονται (μέγεθος πόρων 1-2 nm)
- Τα μονοσθενή κατιόντα και ανιόντα προσροφώνται κατά προτίμηση στη μεμβράνη έναντι των δισθενών και διέρχονται μέσα από τη μεμβράνη
- Η πίεση που αναπτύσσεται είναι μικρότερη από εκείνη που αναπτύσσεται στην ΑΩ





Νανοδιήθηση ^{2/2}

Εφαρμογές

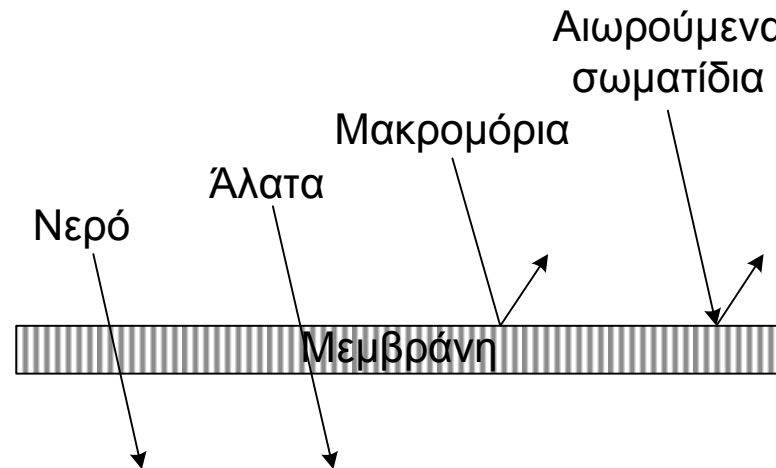
- Μερική αφαλάτωση ορρού γάλακτος
- Αφαλάτωση ζελατίνης
- Μερικός αποχρωματισμός υγρών



Υπερδιήθηση 1/2

Βασίζεται στη διήθηση μέσα από το πορώδες της μεμβράνης. Τα μακρομόρια δεν περνάνε από τη μεμβράνη (μέγεθος πόρων 1-100 nm)

Η πίεση που απαιτείται είναι χαμηλότερη από ότι στην ΑΩ και οφείλεται εξ ολοκλήρου στις απώλειες λόγω τριβών





Υπερδιήθηση ^{2/2}

Εφαρμογές

Κυρίως στη βιομηχανία γάλακτος :

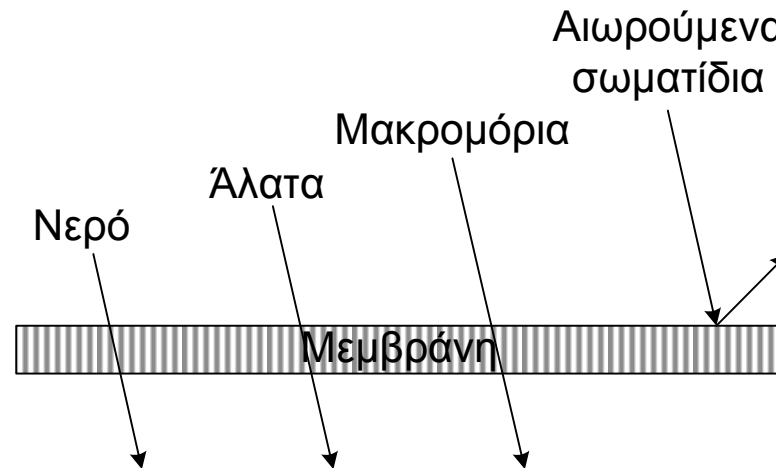
- Με την υπερδιήθηση συγκρατούνται οι πρωτεΐνες και το λίπος ενώ περνάνε το νερό, η λακτόζη, τα μέταλλα και οι βιταμίνες
- Γίνεται συμπύκνωση πρωτεϊνών ορρού γάλακτος



Μικροδιήθηση ^{1/2}

Βασίζεται καθαρά στη διήθηση μέσα από το πορώδες της μεμβράνης (μέγεθος πόρων 0,1-1 μm)

Η πίεση που απαιτείται είναι μικρότερη από ότι στην ΑΩ και οφείλεται εξ ολοκλήρου στις απώλειες λόγω τριβών





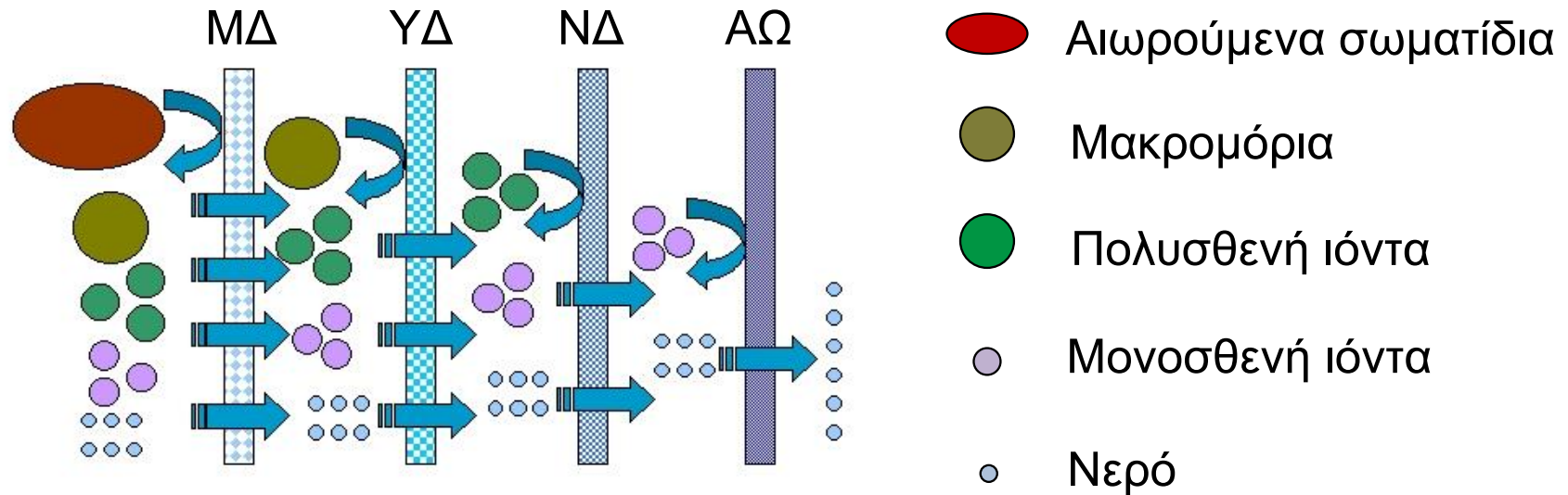
Μικροδιήθηση

Εφαρμογές

- Καθαρισμός νερού
- Διαύγαση κρασιού, μπύρας, χυμών
- Απομάκρυνση μικροοργανισμών από υγρά τρόφιμα (ψυχρή αποστείρωση-παστερίωση π.χ. μπύρα)
- Διαχωρισμός λίπους από νερό
- Καθαρισμός αέρα για αποστειρωμένους χώρους

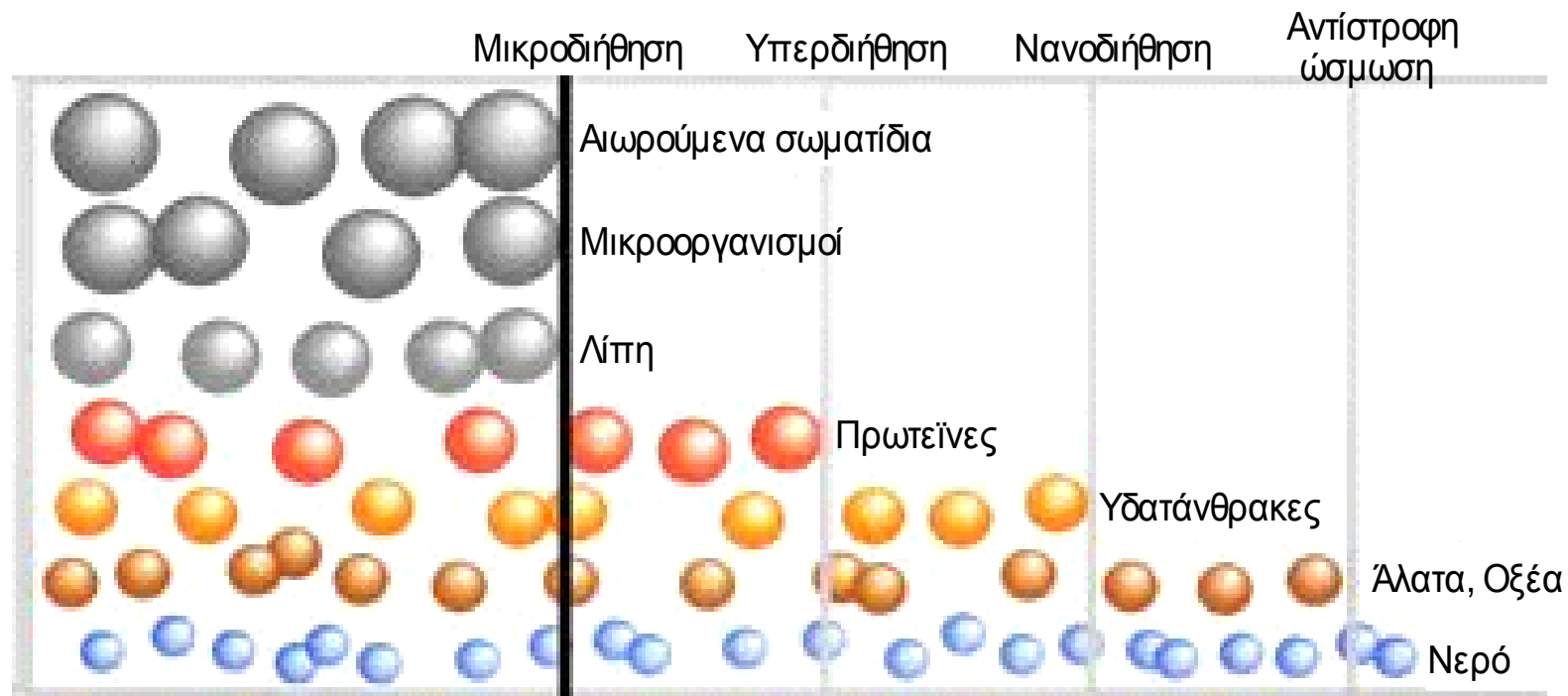


Ανακεφαλαίωση 1/3





Ανακεφαλαίωση 2/3





Ανακεφαλαίωση 3/3

Χαρακτηριστικά Μεμβρανών

	Διάμετρος σωματιδίων	Πίεση λειτουργίας (bar)	Ανάκτηση τροφοδοσίας (%)	Αποβαλλόμενες ουσίες
ΜΔ	0,1-1 μm	0.5-2	90-99.99	Σωματίδια, βακτήρια, ζύμες, σπόρια
ΥΔ	1-100 nm	1-5	80-98	Πρωτεΐνες, ιοί
ΝΔ	1-2 nm	3-20	50-95	Σάκχαρα, δισθενή ιόντα, παρασιτοκτόνα
ΑΩ	<1nm	10-80	30-90	Άλατα, σάκχαρα



Διεξάτμιση

Αρχή λειτουργίας

Αφορά το διαχωρισμό υγρών με μερική εξάτμιση στην επιφάνεια της μεμβράνης ουσιών που διέρχονται μέσα από τη μεμβράνη.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση:

- Νερού με τη βοήθεια υδρόφιλων μεμβρανών π.χ. συμπύκνωση αρώματος, συμπύκνωση χυμών, αύξηση συγκέντρωσης αλκοόλης πέραν του αζεοτροπικού διαλύματος
- Οργανικών ουσιών με χρήση υδρόφοβων μεμβρανών π.χ. απομάκρυνση αλκοόλης από το κρασί



Ηλεκτροδιάλυση

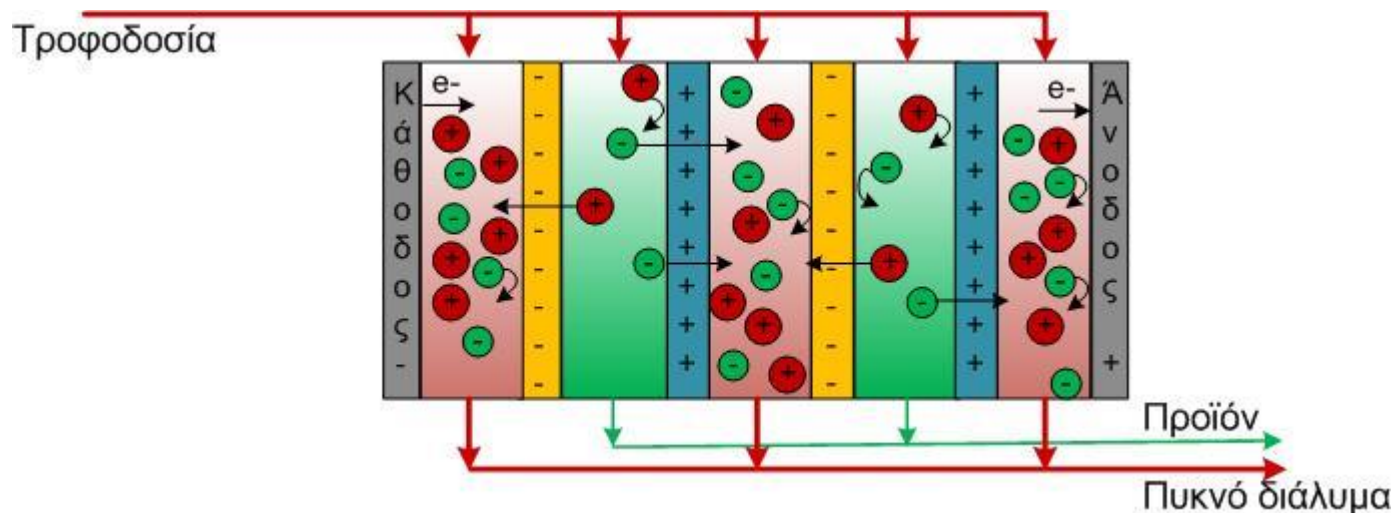
Αρχή λειτουργίας

Σύστημα από αλληπάλληλες ημιπερατές μεμβράνες που είναι περατές σε ανιόντα και κατιόντα εναλλάξ. Τα ιόντα διέρχονται υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου

που εφαρμόζεται στις μεμβράνες με αποτέλεσμα τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Οι μεμβράνες δεν επιτρέπουν τη δίοδο του νερού.

Εφαρμογές

Αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, μείωση της οξύτητας χυμών, αφαλάτωση τυρογάλακτος πριν τη συμπύκνωση.





Διαχωρισμός αερίων

Χαρακτηριστικά

- Χρησιμοποιούνται μη-πορώδεις μεμβράνες υψηλής πυκνότητας
- Η μεταφορά γίνεται με διάλυση και διάχυση
- Χρησιμοποιούνται πιέσεις 1-20 atm

Εφαρμογές

- Διαχωρισμός οξυγόνου και αζώτου από αέρα
- αφύγρανση αέρα
- ξήρανση



Διάλυση

Χαρακτηριστικά

- Ενώσεις μικρού μοριακού βάρους διαχέονται μέσω μιας πορώδους μεμβράνης λόγω διαφοράς συγκέντρωσης μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης
- Υπάρχει μικρή ή καμία διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης.

Εφαρμογές

Καθαρισμός του αίματος (τεχνητό νεφρό).



Πόλωση της Συγκέντρωσης

Η **πόλωση της συγκέντρωσης** (concentration polarization) δημιουργεί αύξηση της συγκέντρωσης στην επιφάνεια της μεμβράνης των ουσιών που δεν μπορούν να περάσουν σε σύγκριση με τη μέση συγκέντρωση τους με αποτέλεσμα να δημιουργούν μια επιπλέον αντίσταση στη μεταφορά μάζας. Στην περίπτωση της αντίστροφης ώσμωσης αυτό δημιουργεί επιπλέον αύξηση της ωσμωτικής πίεσης στην επιφάνεια της μεμβράνης και μείωση της κινητήριας δύναμης για τη μεταφορά του διαλύτη μέσω της μεμβράνης και επομένως τη μείωση της ροής. Επιπλέον λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης των διαλυτών ουσιών στην επιφάνεια της μεμβράνης αυξάνεται η ροή τους μέσω της μεμβράνης.



ΕΠΙΚΑΘΪΣΕΙΣ

Οι επικαθΪσεις μπορεί να οφείλονται:

- Στην κατακρήμνιση διαλυτών ουσιών λόγω κορεσμού (scaling)
- Στην εναπόθεση πρωτεΪνών ή αδιάλυτων σωματιδίων (fouling)
- Στη δημιουργία biofilm από μικροοργανισμούς (fouling)
- Οι επικαθΪσεις:
 - Δημιουργούν αντίσταση στη μεταφορά μάζας
 - Μειώνουν τη ροή μέσω της μεμβράνης
 - Μειώνουν την επιλεκτικότητα της μεμβράνης



Πλεονεκτήματα Συστημάτων Διαχωρισμού με Μεμβράνες

- Συνεχής λειτουργία
- Το προϊόν δεν θερμαίνεται και επομένως διατηρεί τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά και τη θρεπτική του αξία
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αφού δεν απαιτείται θέρμανση και αλλαγή φάσης (εξάτμιση)
 - Εξατμιστήρας 5-7 βαθμίδων: 37-53 kWh/1000 kg εξατμιζόμενου νερού
 - Αντίστροφη ώσμωση: 5-20 kWh/1000 kg νερού που απομακρύνεται
- Εύκολη η μεταβολή της δυναμικότητας (modular design).



Μειονεκτήματα Συστημάτων Διαχωρισμού με Μεμβράνες

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης
- Μέγιστη συγκέντρωση έως περίπου 30% σε στερεά
- Προβλήματα επικαθίσεων και πύλωσης της συγκέντρωσης



Απόδοση της Μembrάνης ^{1/2}

Η απόδοση της μεμβράνης μπορεί να υπολογιστεί:

- τον Συντελεστή Κατακράτησης (R_f) της διαλυτής ουσίας

$$R_f = \frac{C_i - C_o}{C_i} = 1 - \frac{C_o}{C_i}$$

- Από το Συντελεστή Ανάκτησης Τροφοδοσίας (M)

$$M = \frac{\dot{m}_o}{\dot{m}_i} \times 100$$

όπου:

C_i συγκέντρωση διαλυτής ουσίας στην τροφοδοσία, kg m^{-3}

C_o συγκέντρωση της διαλυτής ουσίας στο διήθημα, kg m^{-3}

\dot{m}_i ρυθμός ροής τροφοδοσίας, kg s^{-1}

\dot{m}_o ρυθμός ροής διηθήματος, kg s^{-1}



Απόδοση της Μembrάνης ^{2/2}

Η απόδοση της μεμβράνης επηρεάζεται από την:

- Περρατότητα της μεμβράνης
- Επιλεκτικότητα της μεμβράνης
- Πόλωση της συγκέντρωσης
- Επικαθίσεις στη μεμβράνη
- Πίεση λειτουργίας
- Επιφάνεια της μεμβράνης



Χαρακτηριστικά των Μεμβρανών

- Περρατότητα της μεμβράνης (ελέγχει το ρυθμό ροής)
- Επιλεκτικότητα της μεμβράνης (ελέγχει το συντελεστή κατακράτησης)
- Τοξικότητα (δεν πρέπει να είναι τοξική)
- Χημική σταθερότητα
- Αντοχή στη θερμοκρασία
- Αντοχή σε χαμηλό-υψηλό pH
- Αντοχή σε υλικά καθαρισμού
- Αντοχή σε Cl⁻
- Αντοχή σε μικρόβια (κάποια ένζυμα μπορεί να διαλύουν τη μεμβράνη)
- Αντοχή σε καταπόνηση



Τύποι Μεμβρανών ^{1/2}

1) Ισοτροπικές

- Μικροπορώδεις - πόροι διαμέτρου από 0.01-10 μm
Διαχωρισμός των διαλυμένων ουσιών γίνεται με βάση το μοριακό βάρος και την κατανομή του μεγέθους των πόρων.
- Πυκνές μη πορώδεις (κινητήρια δύναμη: Διάχυση και διαλυτότητα).
- Ηλεκτρικά φορτισμένες, μικροπορώδεις.



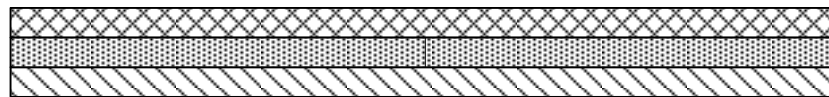
Τύποι Μεμβρανών 2/2

2) Ανισοτροπικές

- Λεπτό ενεργό στρώμα μεμβράνης επικαθήμενο σε πορώδες στρώμα υποστήριξης



- Σύνθετο (στρώσεις από διαφορετικά πολυμερή)



- Κεραμικές κ.ά.



Υλικά Κατασκευής των Μembrανών

- Οργανικά πολυμερή
 - Πολυακρυλονιτρίλιο (Polyacrylonitrile, PAN)
 - Πολυαμίδια
 - Συμπολυμερή PVC/PAN
 - Πολυσουλφόνη (Polysulphone)
 - Διφθοροπολυβινυλιδένιο (polyvinylidene difluoride, PVDF)
 - Πολυαιθέρας σουλφόνης (polyethersulfone, PES)
- Οξική κυτταρίνη (Cellulose acetate)
- Κεραμικά
 - Ζιρκόνια
 - Οξείδιο του αργιλίου



Μηχανισμοί Μεταφοράς μέσω των Μεμβρανών

- Διάλυση-διάχυση (παρατηρείται σε πυκνές μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης)
- Μαζική ροή
Η ουσία προσροφάται επιλεκτικά στην επιφάνεια της μεμβράνης και από εκεί ρέει μέσα στα τριχοειδή λόγω διαφοράς πίεσης.



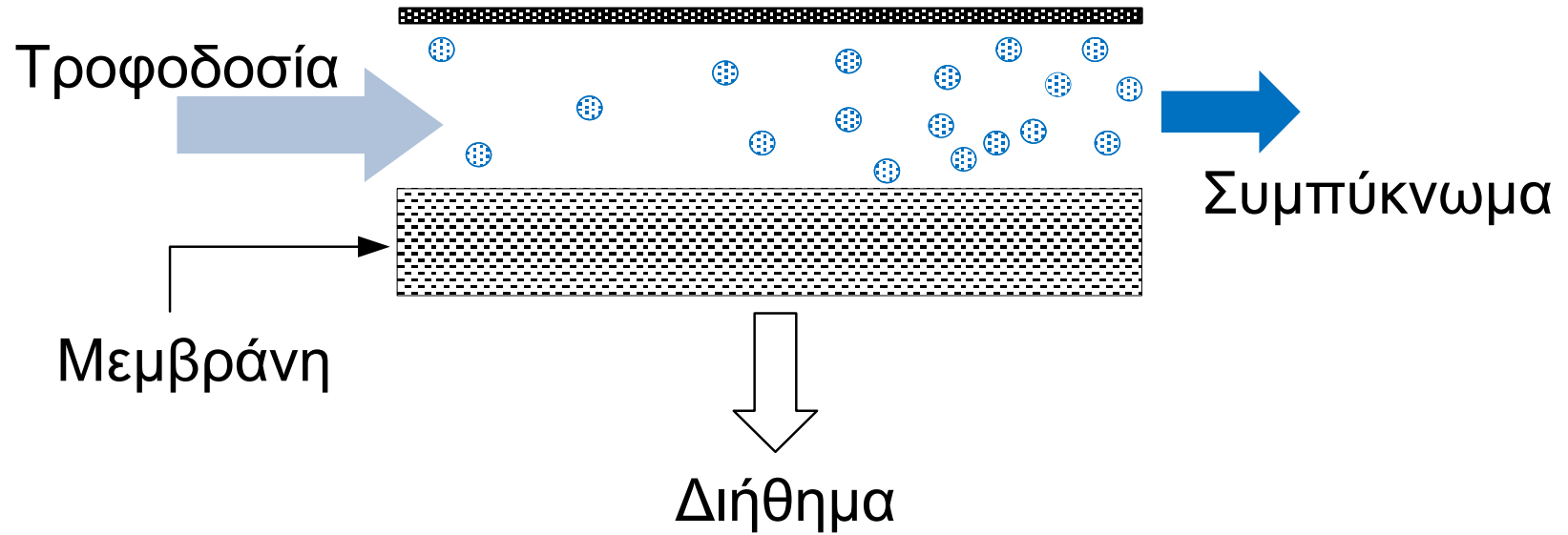
Μοντέλα Μεταφοράς μέσω των Μεμβρανών

- Νόμος του Fick (μοντέλο διάλυσης-διάχυσης)
 - Τα μόρια κινούνται ανάμεσα από τις αλυσίδες του πολυμερούς (μεμβράνες μεγάλης πυκνότητας).
 - Η επιλεκτικότητα της μεμβράνης οφείλεται στη σχετική διαλυτότητα και το μέγεθος του συντελεστή διάχυσης των διαφόρων μορίων στη μεμβράνη
- Νόμος του Darcy (Μοντέλο ροής μέσα από τα τριχοειδή)

Υπάρχουν πόροι αλληλοσυνδεδεμένοι μέσω των οποίων κινούνται τα μόρια (πορώδεις μεμβράνες).



Σύστημα Ροής





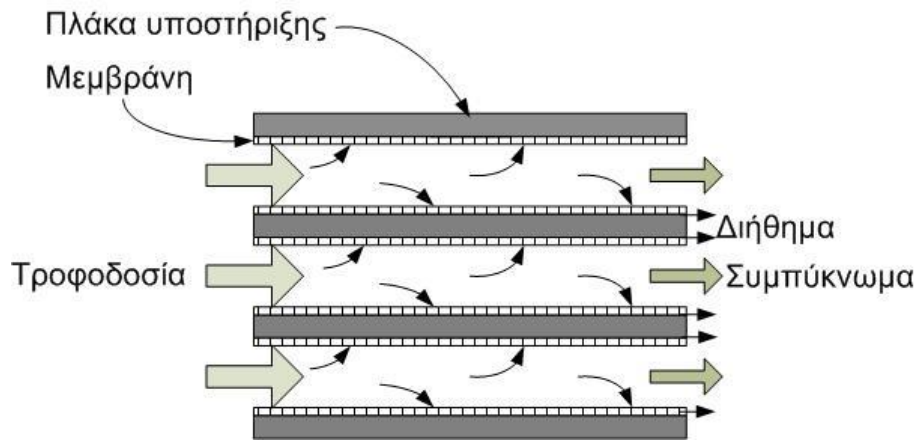
Συστήματα Μεμβρανών

Κύρια συστήματα

- Με πλάκες και πλαίσια
- Με τριχοειδείς ίνες
- Σωληνωτό
- Σπειροειδές

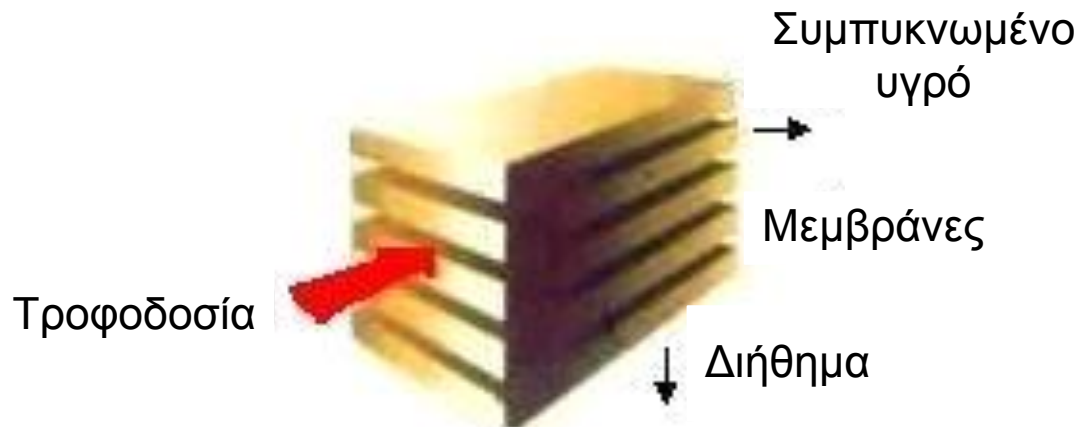


Σύστημα με Πλάκες και Πλαίσια



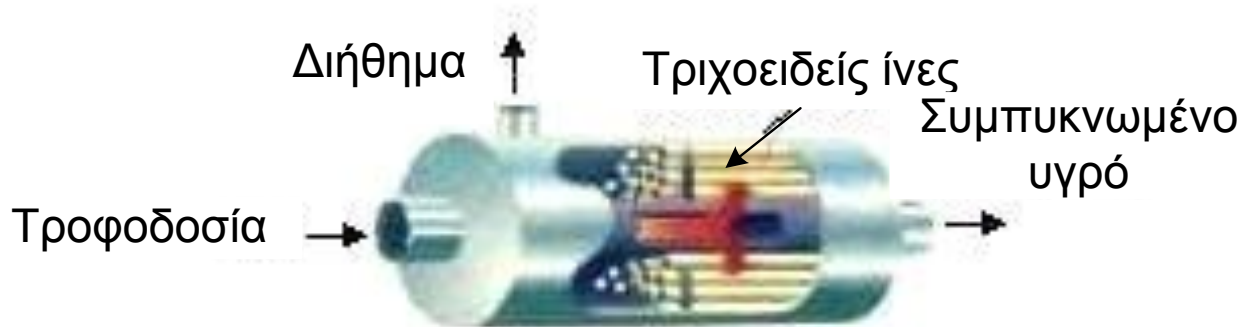
Χαρακτηριστικά

- Απόσταση μεταξύ των πλακών: $< 1.5 \text{ mm}$
- Ροή: Γραμμική
- Λόγος επιφάνειας/όγκο: Μικρός
- Εύκολη η μερική αντικατάσταση μεμβρανών





Σύστημα με Τριχοειδείς Ίνες



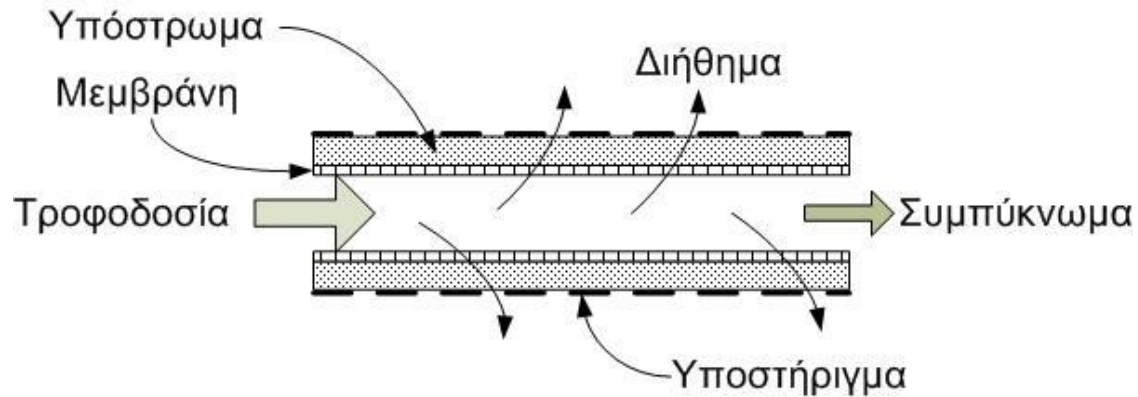
Χαρακτηριστικά

- -Εσωτερική διάμετρος ινών: 0.04-1.9 mm
- -Ροή: Γραμμική
- -Λόγος επιφάνειας/όγκο: πολύ μεγάλος
- -Καθαρισμός: Δύσκολος



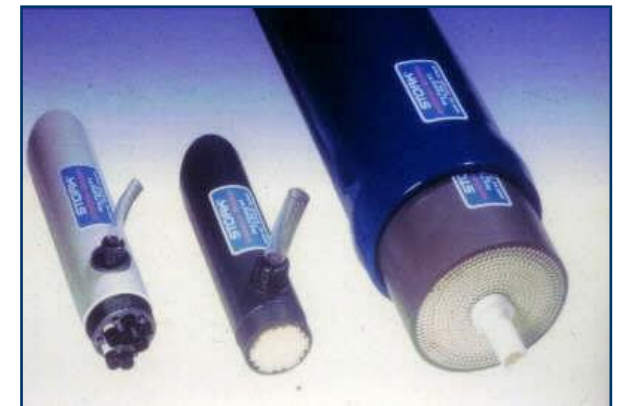


Σωληνωτό Σύστημα



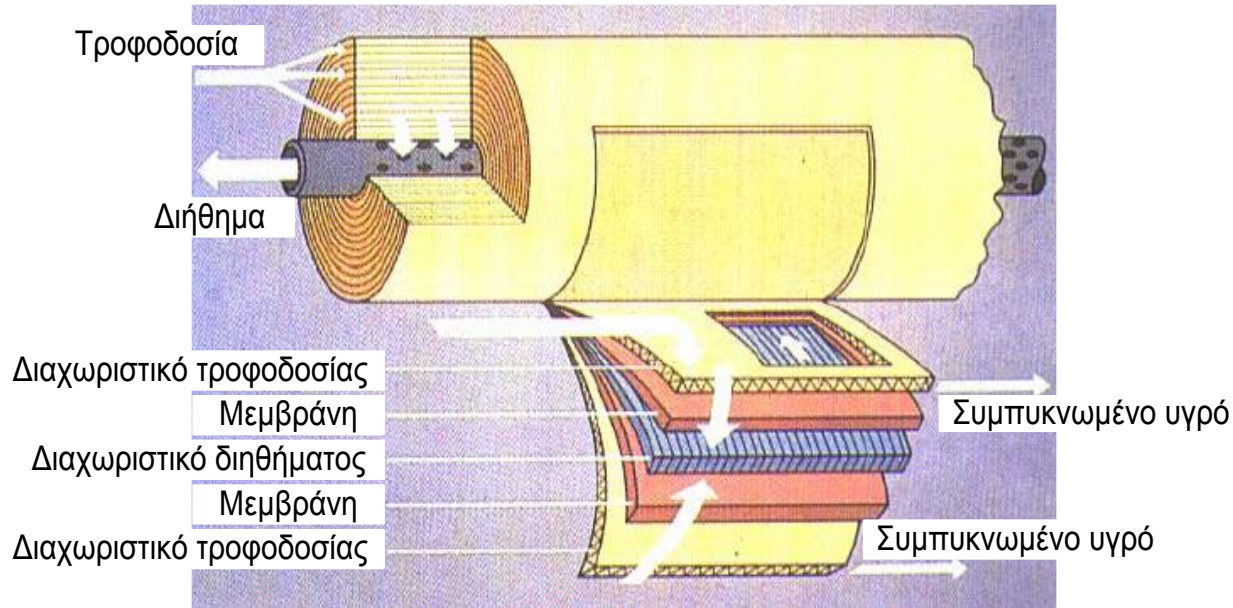
Χαρακτηριστικά

- Εσωτερική διάμετρος αγωγών: <math>< 12.5 \text{ mm}</math>
- Ροή: Τυρβώδης
- Λόγος επιφάνειας/όγκο: Μικρός
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης σε διαλύματα με αιωρούμενα σωματίδια





Σπειροειδές Σύστημα



Χαρακτηριστικά

- Απόσταση μεταξύ των μεμβρανών: $< 1.5 \text{ mm}$
- Ροή: Τυρβώδης
- Λόγος επιφάνειας/όγκο: Μεγάλος
- Καθαρισμός: Δύσκολος





Βιομηχανική Εγκατάσταση Σπειροειδούς Συστήματος ΥΔ





Σύστημα ΥΔ





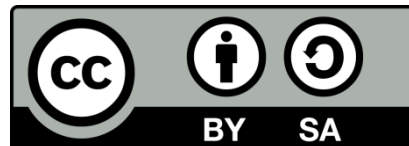
Βιβλιογραφία

- Σ. Γιαννιώτη, Παραδόσεις Μηχανικής Τροφίμων
- P.R.Singh & D.R. Heldman, Introduction to Food Engineering, Academic Press
- D.R. Heldman and D.B. Lund, Handbook of Food Engineering, Marcel Dekker, Inc.



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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



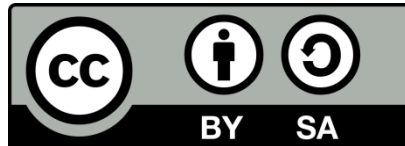
Σημείωμα Αναφοράς

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.