



ΑΣΚΗΣΗ 5

MEMBRANES



Υπεύθυνη Καθηγήτρια: Δρ. Αμανατίδου Ελισάβετ

Εργαστηριακό Προσωπικό:

**Σαμιώτης Γεώργιος
Ζιαγκοβά Μαρία**

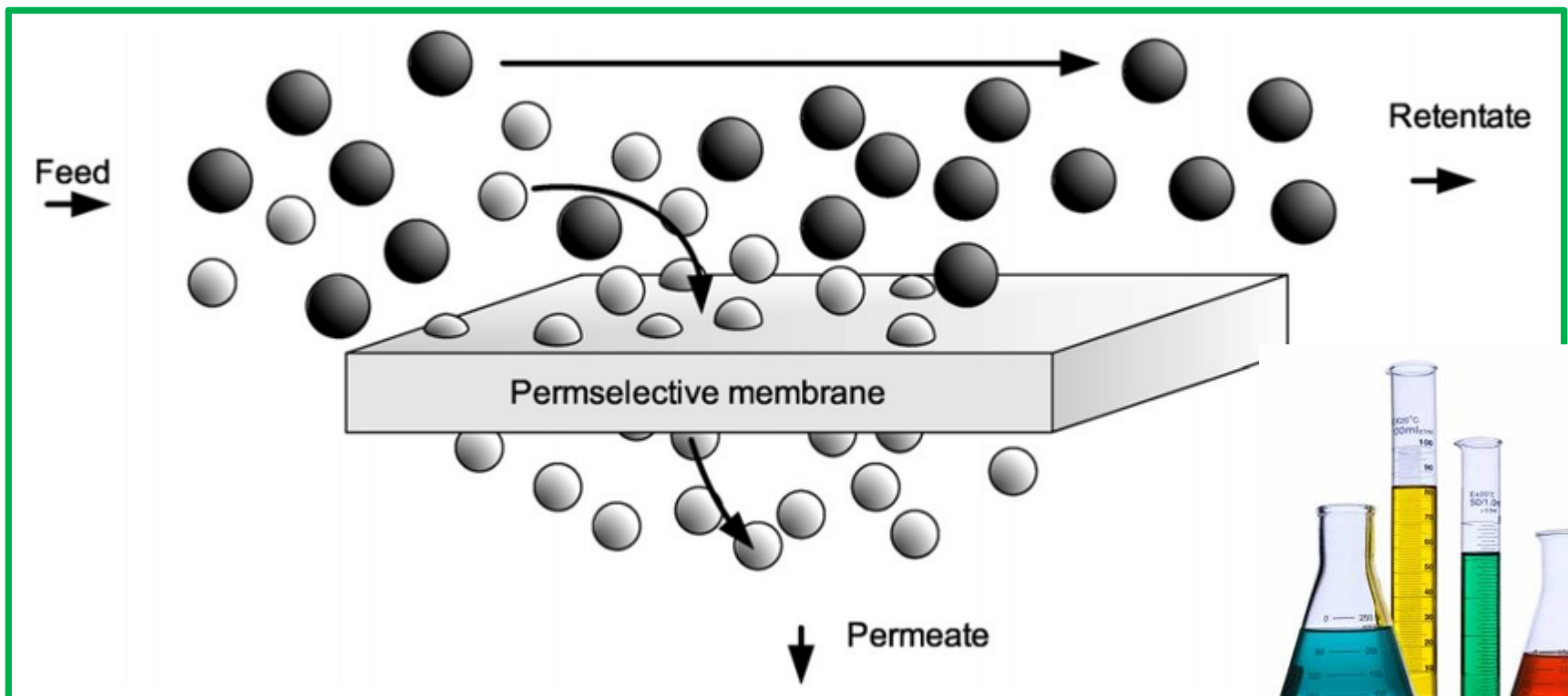
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών
Κοίλα Κοζάνης 50100 | Kozani GR 50100

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

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

Ο διαχωρισμός βασίζεται στο **μέγεθος των σωματιδίων** ή των μορίων

Ωθούσα Δύναμη: Διαμεμβρανική διαφορά Πίεσης



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ

Ο διαχωρισμός βασίζεται στο μέγεθος των σωματιδίων ή των μορίων

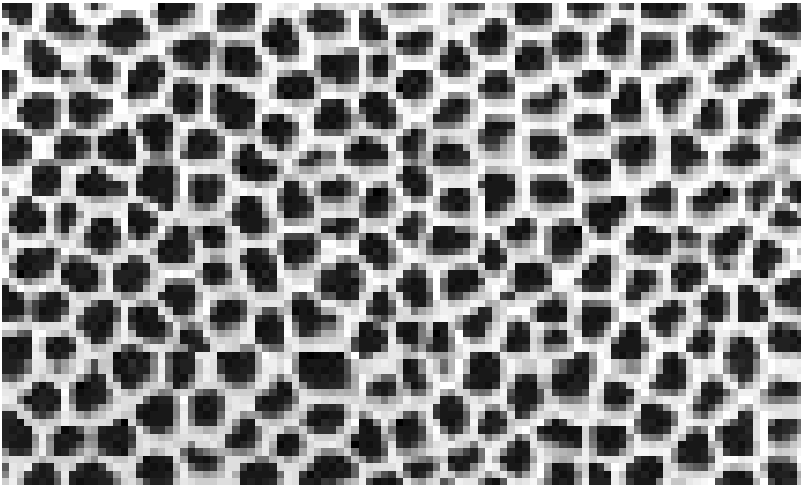
Διαχωρίζονται στερεά μεγέθους από $10\ \mu\text{m}$ έως $5 \times 10^{-4}\ \mu\text{m}$

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



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ

Συμμετρικές μεμβράνες



Surface



Cross section

Ομοιόμορφη δομή σε όλο το πάχος της μεμβράνης:

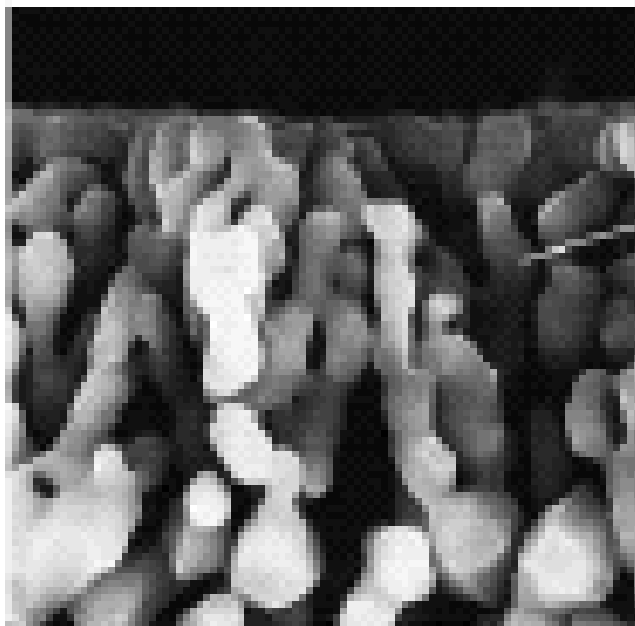
Όταν οι μικροπόροι μιας μεμβράνης είναι συμμετρικοί οδηγούν σε μικρή εκλεκτικότητα και μεγάλη διαπερατότητα.



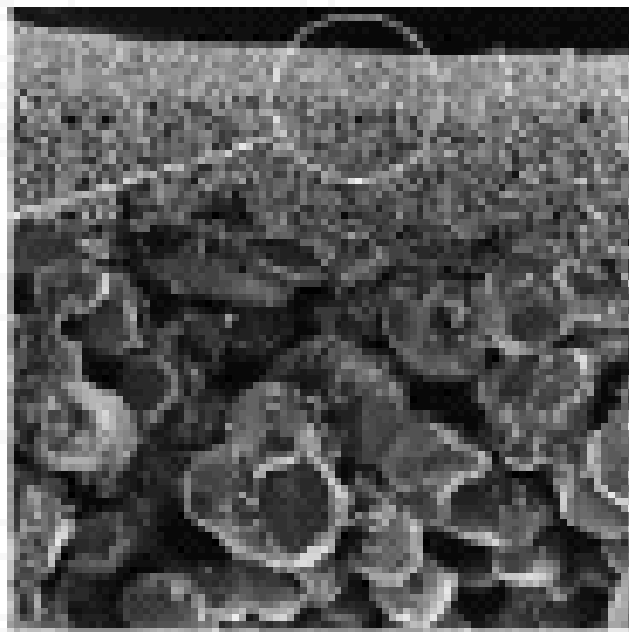
Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών



Ασύμμετρες μεμβράνες



x3000



x500

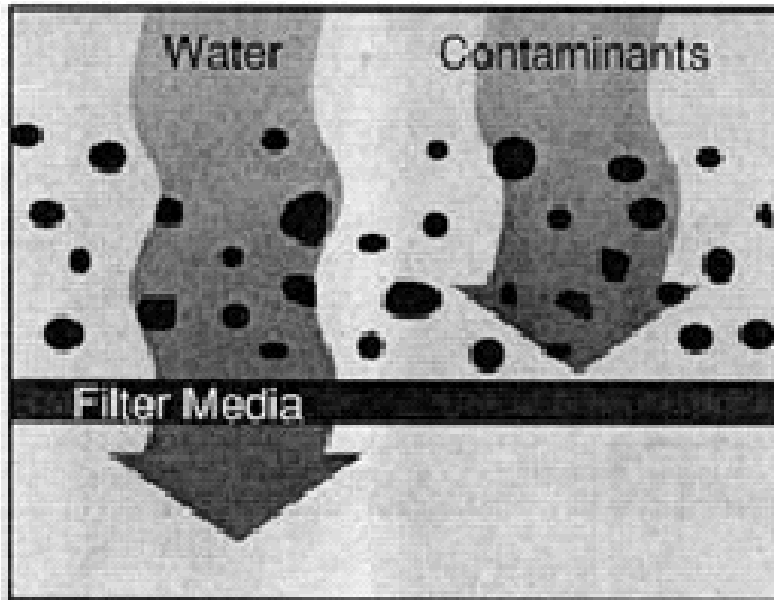
Η μεμβράνη έχει πόρους διαφορετικού μεγέθους
Αυξημένος παράγοντας διαχωρισμού



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



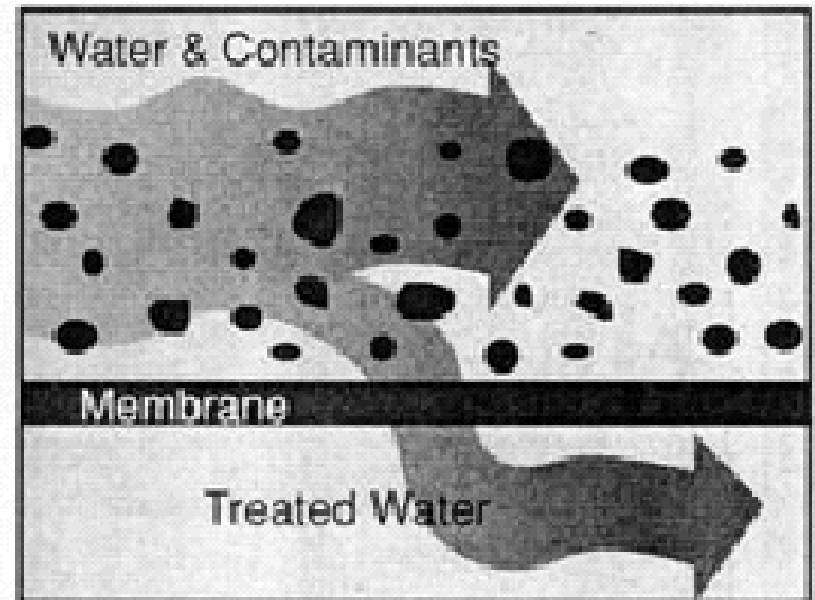
ΕΙΔΟΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ



Dead-end

Κατά μέτωπο διήθηση

MF



Cross-fl

Εφαπτομενική διήθηση

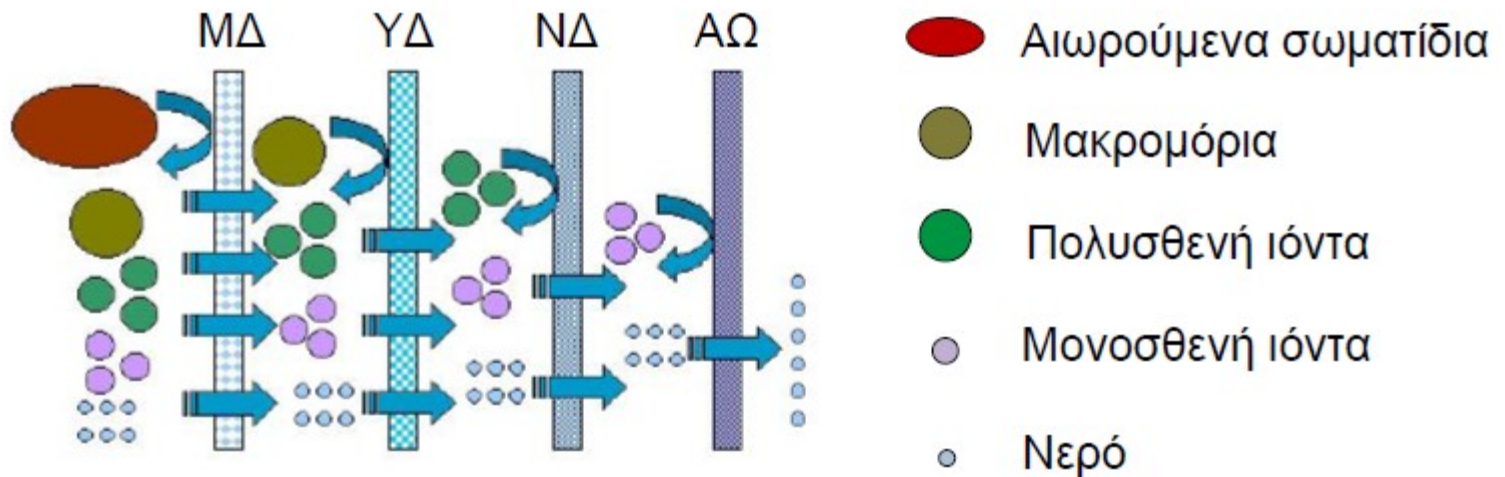
UF/NF/RO



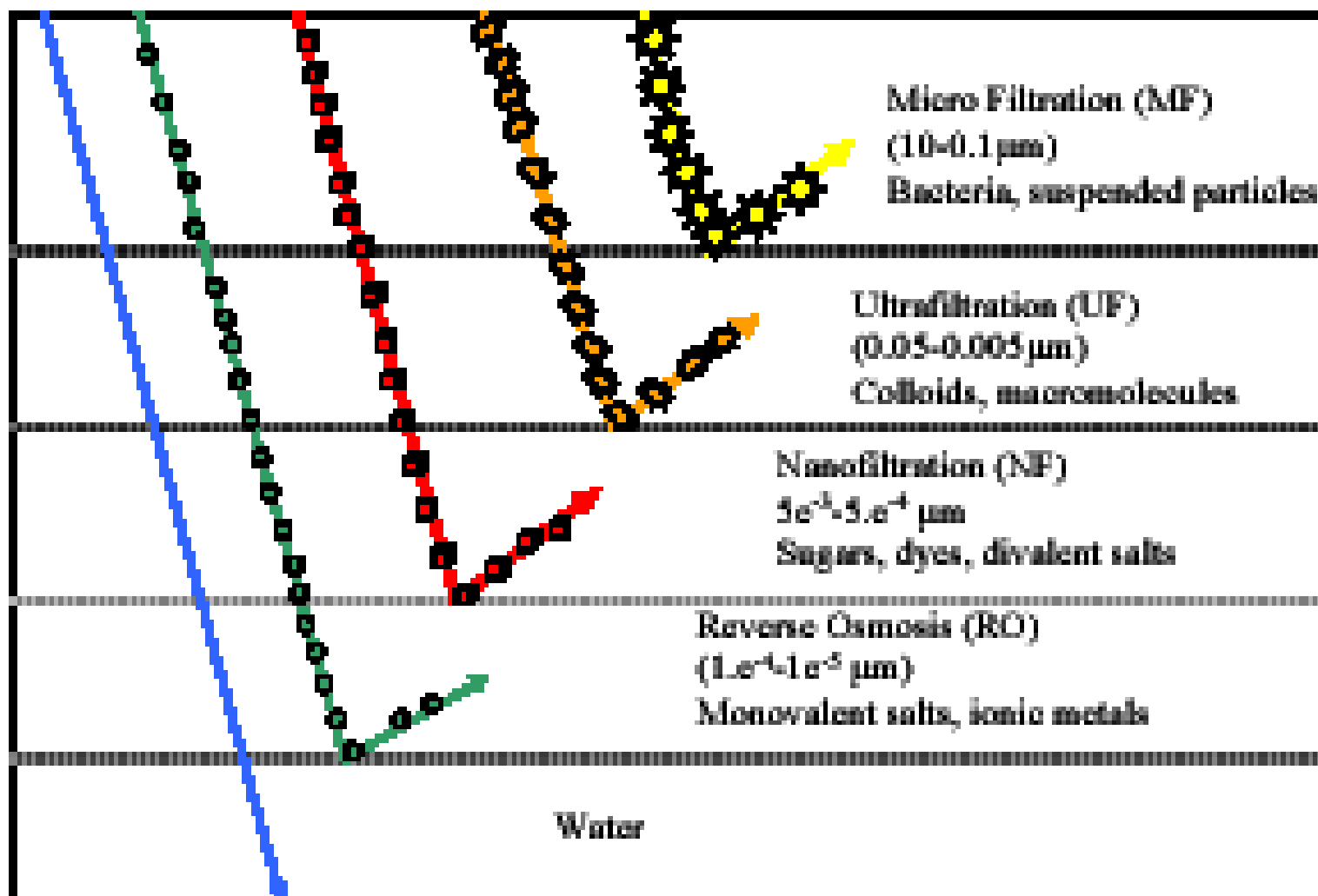
Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



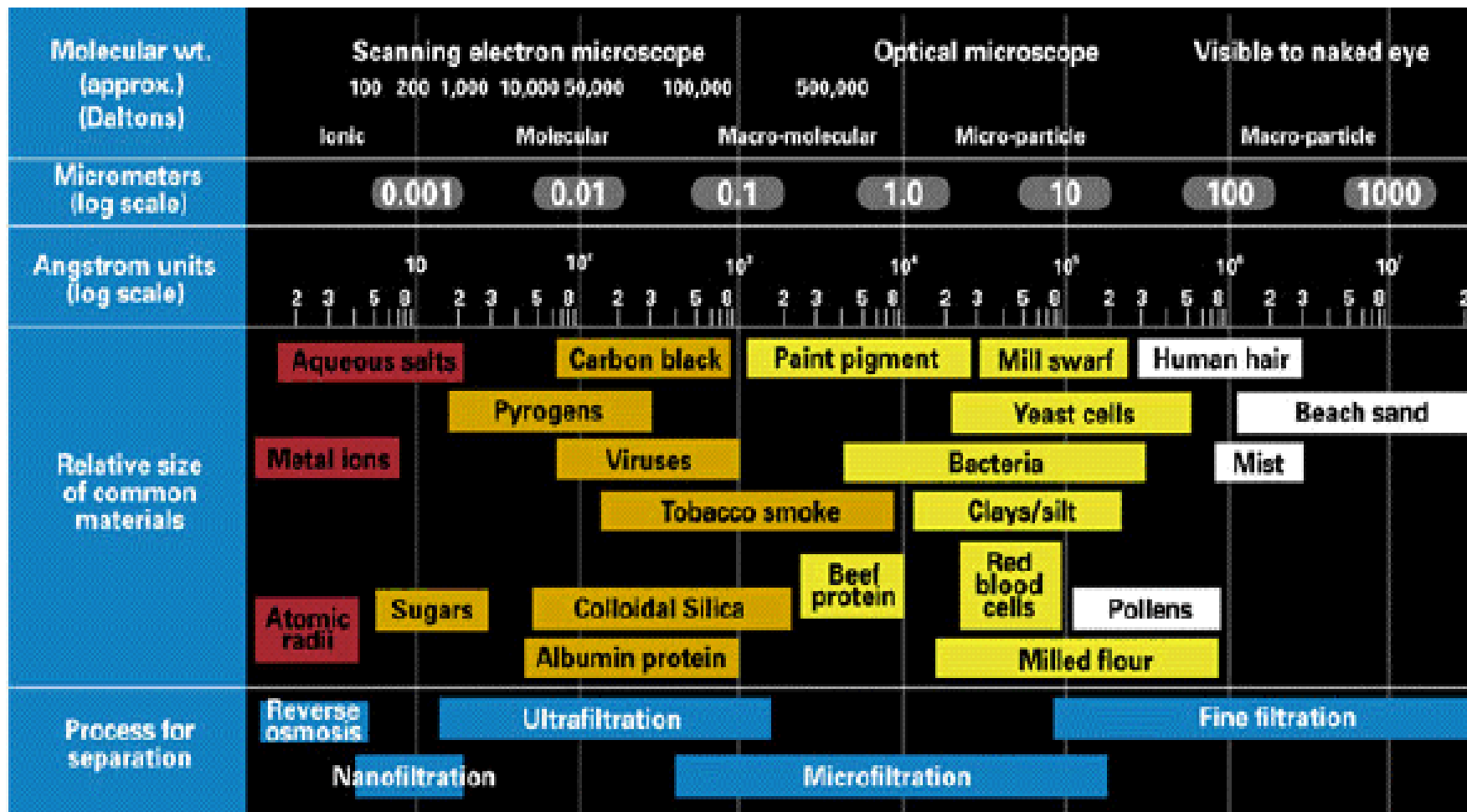
1. Microfiltration (Μικροδιήθηση)
 2. Ultrafiltration (υπερδιήθηση)
 3. Nanofiltration (νανοδιήθηση)
 4. Reverse Osmosis (αντίστροφη όσμωση)
- Πορώδεις Μεμβράνες
- Μη Πορώδεις Μεμβράνες



ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ



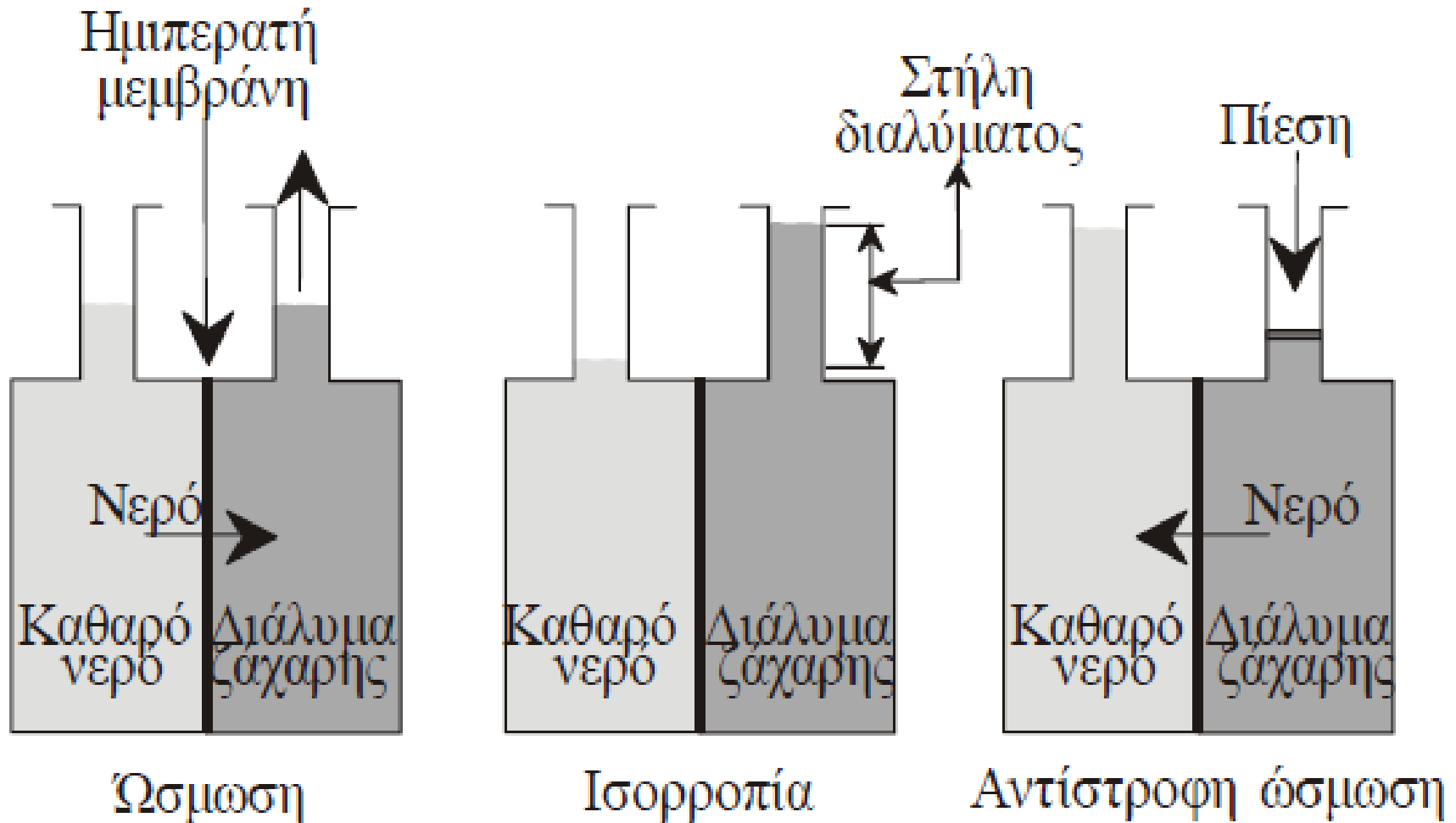
ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών



Αντίστροφη Όσμωση-Αρχή λειτουργίας

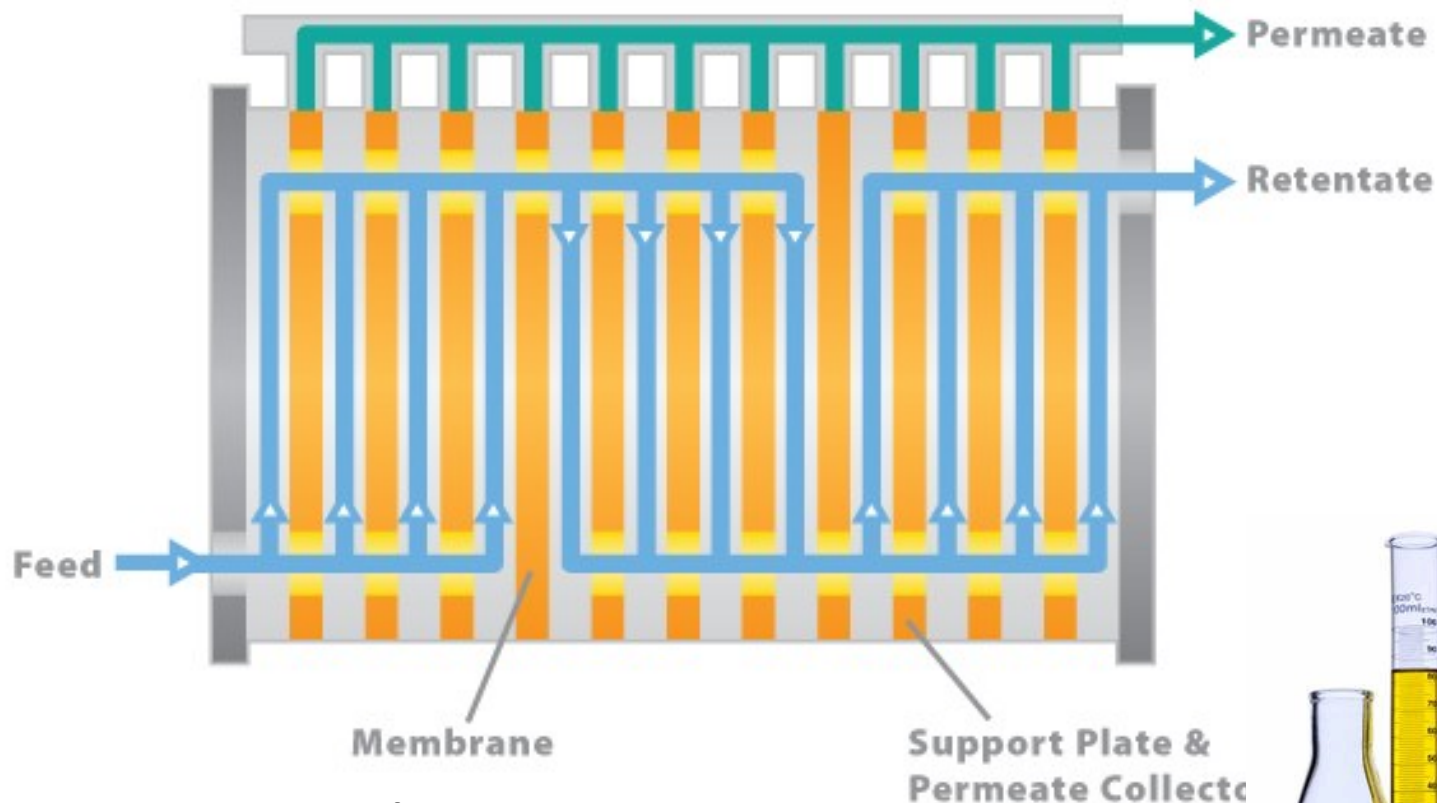


Συγκεντρώνεται
περισσότερο H_2O στη μία
πλευρά της μεμβράνης



ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ- Πλακών-πλαισίου

MODEL CONFIGURATION - Plate/Frame Model

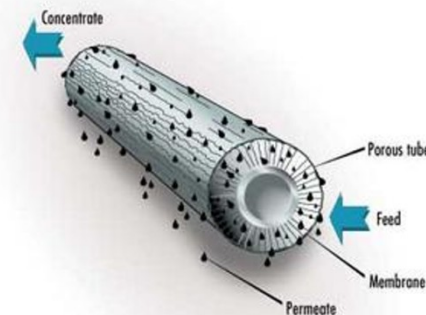
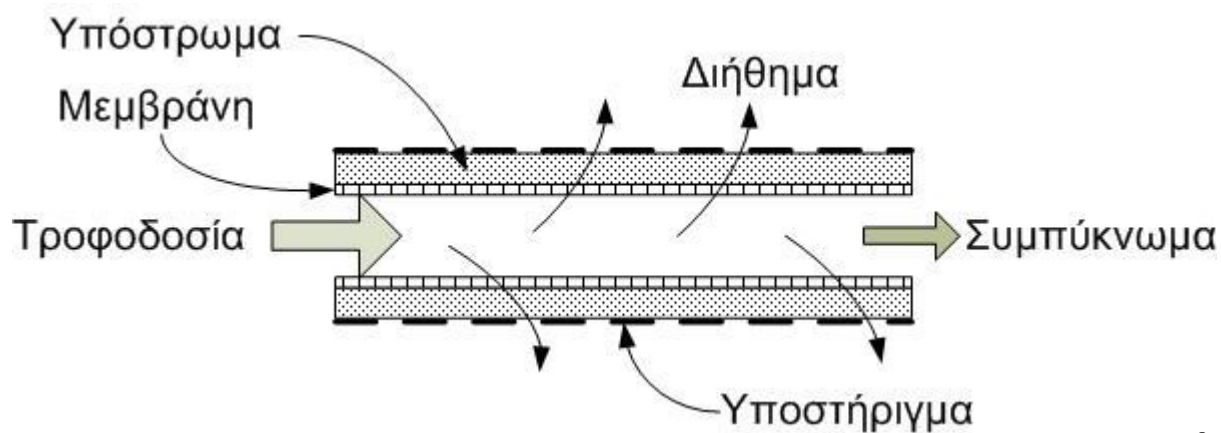


- Λόγος επιφάνειας/όγκο: Μικρός
- Εύκολη η μερική αντικατάσταση μεμβρανών



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ- Σωληνοειδείς-Tubular



Εσωτερική διάμετρος αγωγών: <12.5 mm

❑ Λόγος επιφάνειας/όγκο: Μικρός

❑ Δυνατότητα χρησιμοποίησης σε
διαλύματα με αιωρούμενα σωματίδια

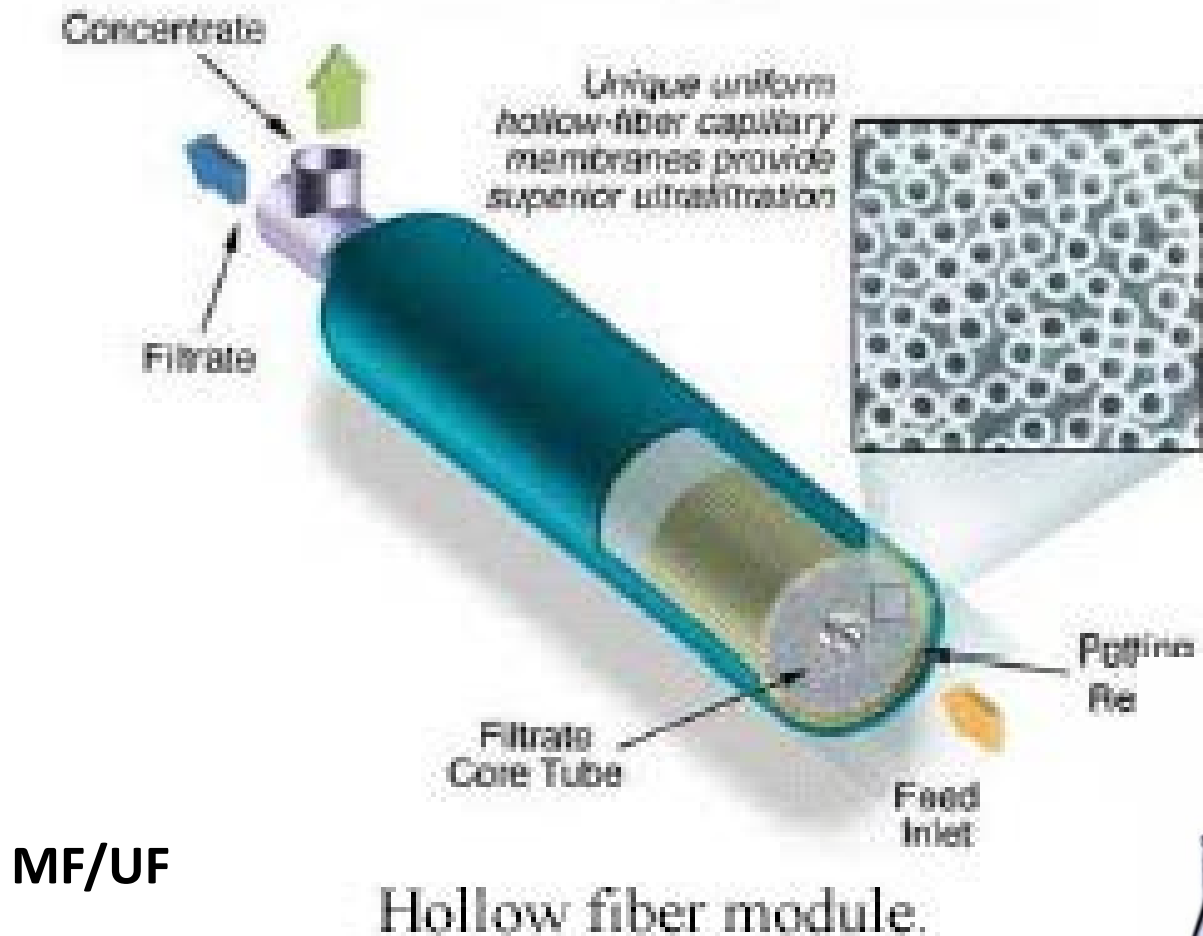


MF/UF



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ- Κοίλων ινών-Hollow fibers



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ- Κοίλων ινών-Hollow fibers

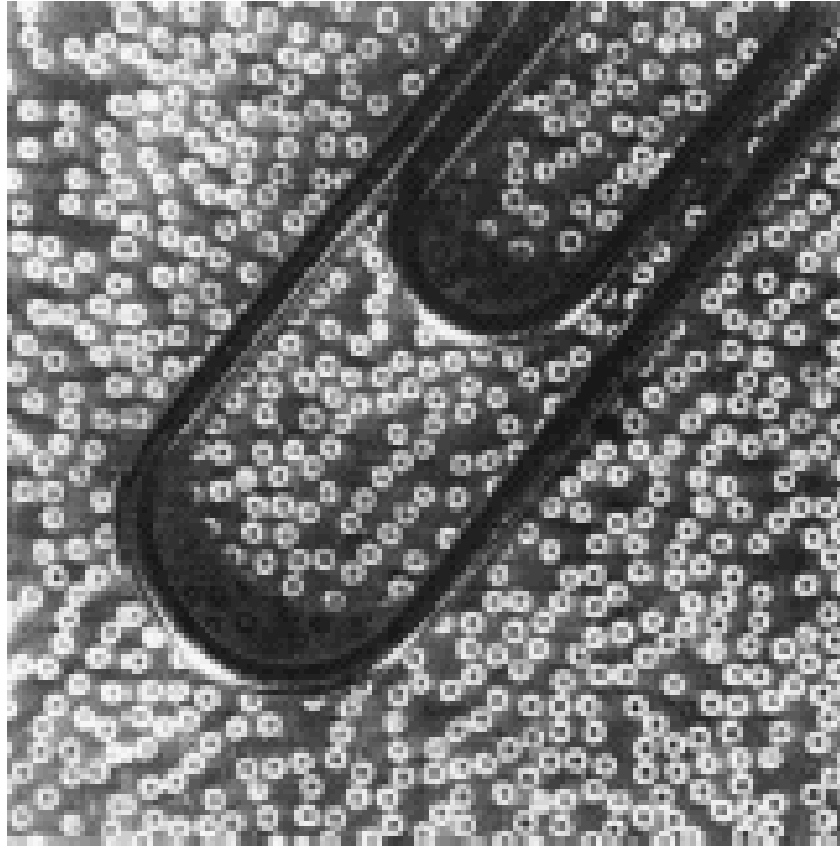


Hollow fiber module.



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ- Κοίλων ινών-Hollow fibers



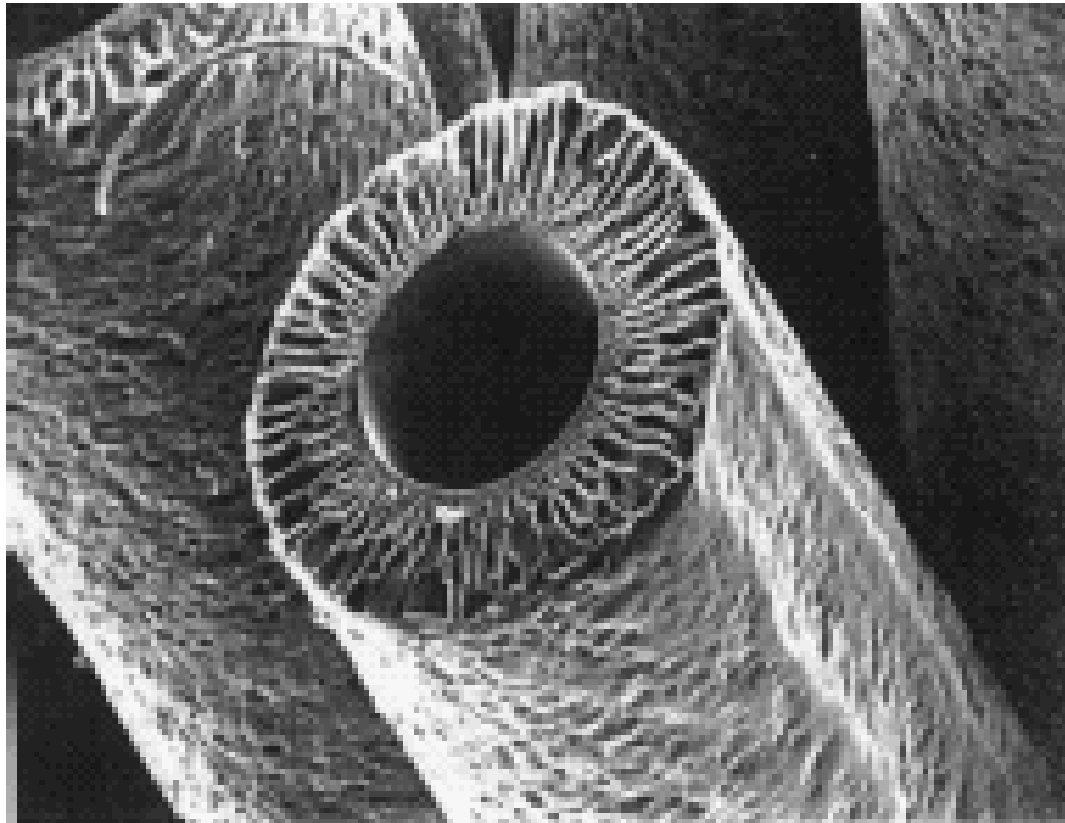
Cross section of hollow fiber (Monsan)
Comparison with a clip.



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ- Κοίλων ινών-Hollow fibers



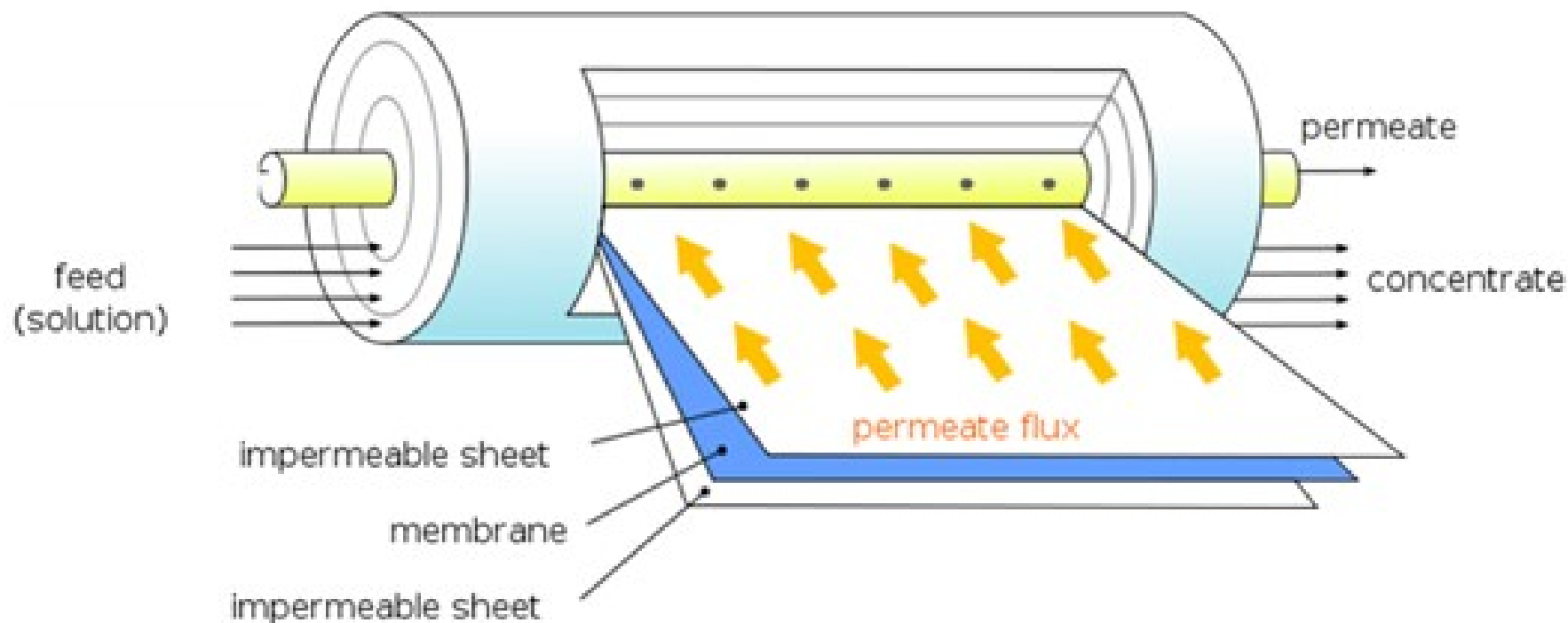
Hollow fiber made of polysulfone
($\varnothing = 1$ mm) for UF (detail).



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ



ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ- Σπειροειδείς-Spiral

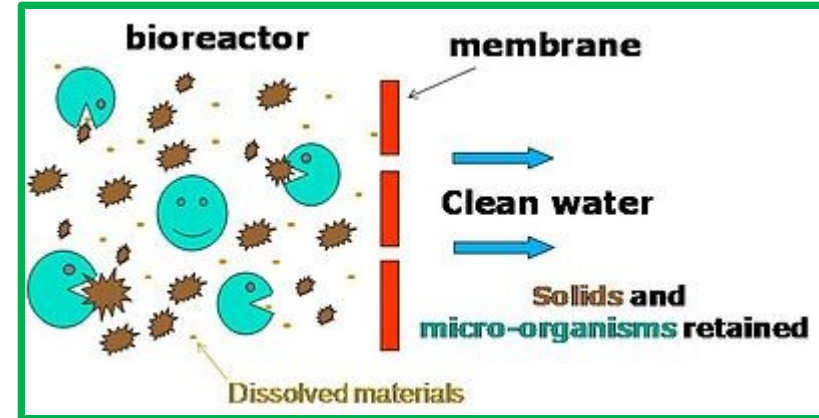
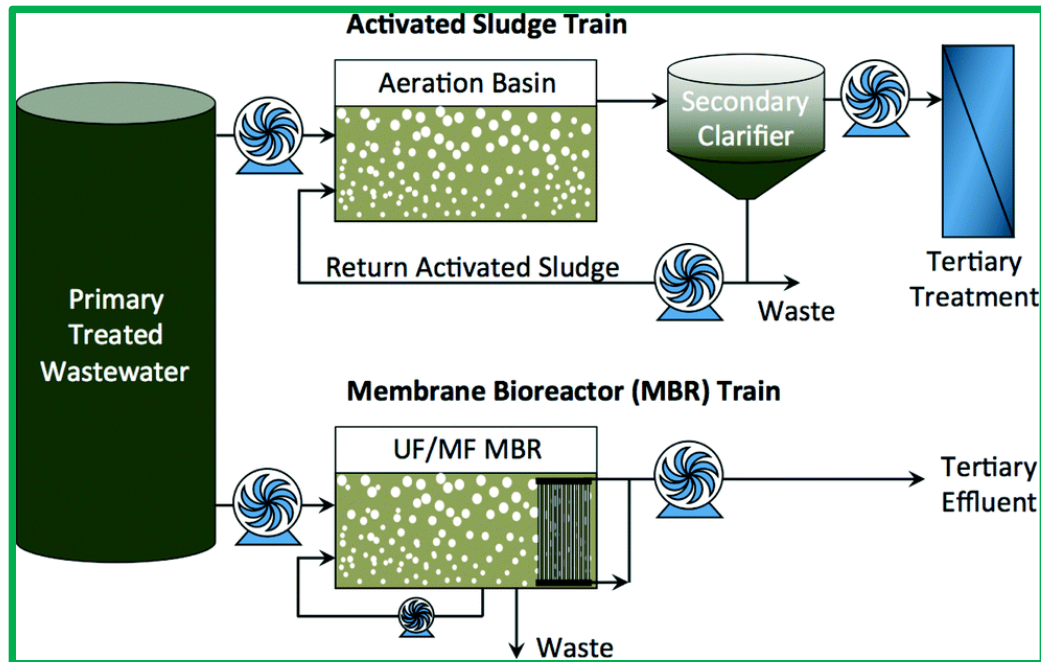


NF/RO



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών

ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ-

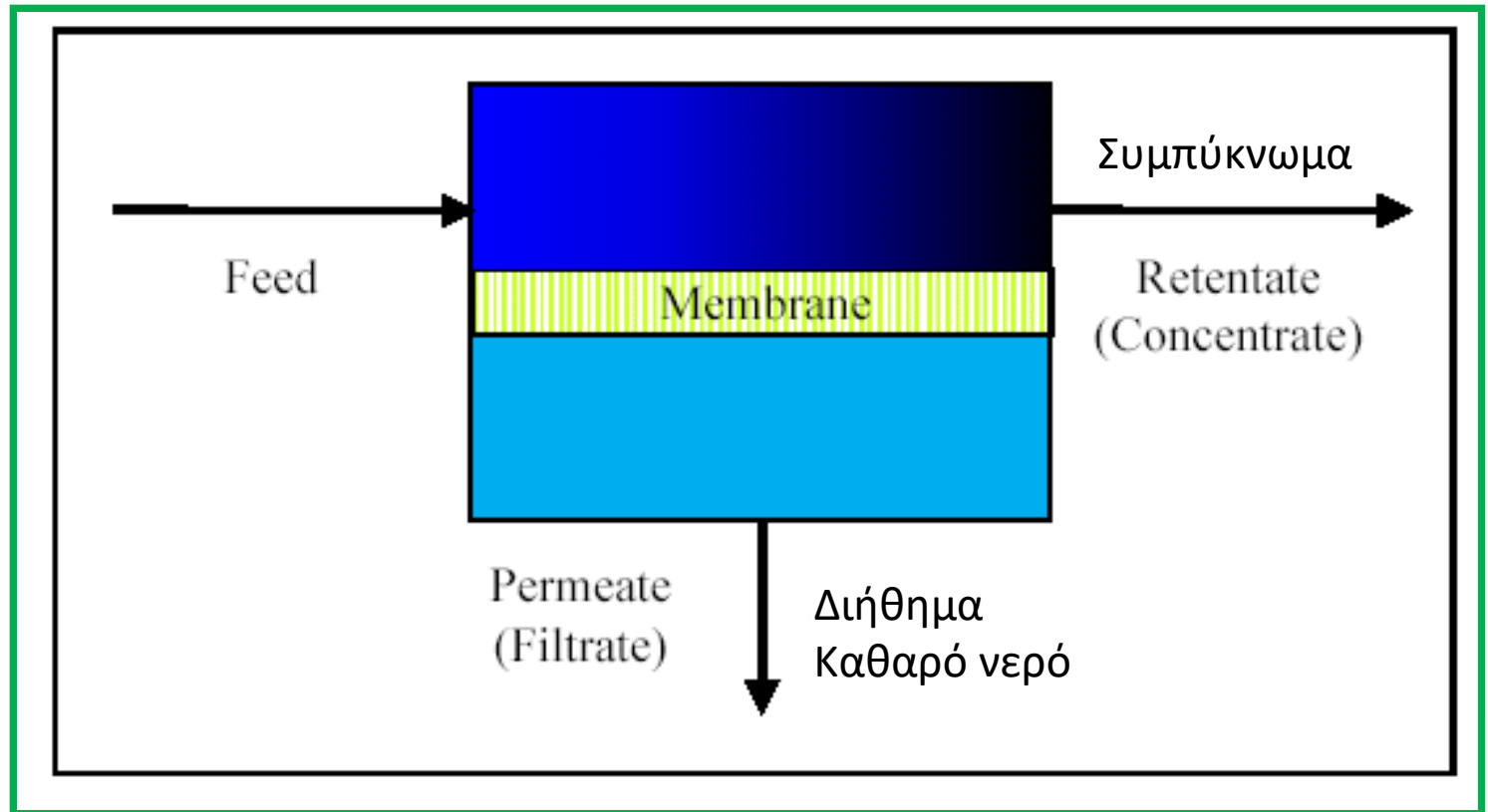


MF/UF
Κοιλων Ινών
Πλακών-πλασίου
Σωληνοειδής



Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρ

Διάγραμμα στοιχείου μεμβράνης



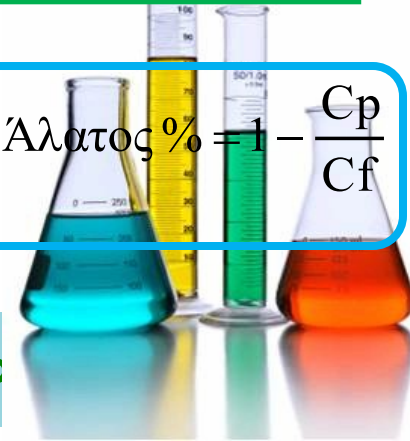
$$\text{Αννάκτης \%} = \frac{Q_p}{Q_f}$$

$$\text{Διέλευση Άλατος \%} = \frac{C_p}{C_f}$$

$$\text{Απόρριψη Άλατος \%} = 1 - \frac{C_p}{C_f}$$

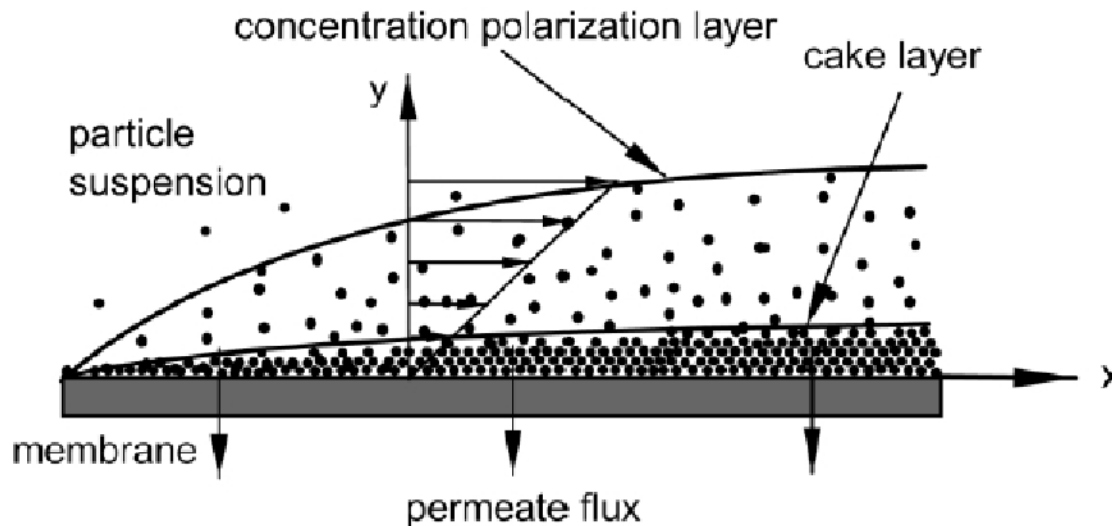


Προχωρημένες και Σύγχρονες Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών



Η πόλωση συγκέντρωσης (concentration polarization) δημιουργεί αύξηση της συγκέντρωσης στην επιφάνεια της μεμβράνης των ουσιών που δεν μπορούν να περάσουν με αποτέλεσμα να δημιουργούν μια επιπλέον αντίσταση στη μεταφορά μάζας.

cake Formation ($N_F > N_{Fc}$)



Στην περίπτωση της αντίστροφης ώσμωσης δημιουργεί επιπλέον αύξηση της οσμωτικής πίεσης στην επιφάνεια της μεμβράνης και μείωση της κινητήριας δύναμης για τη μεταφορά του διαλύτη μέσω της μεμβράνης και επομένως τη μείωση της ροής.



Οι επικαθίσεις μπορεί να οφείλονται:

- ❑ Στην **κατακρήμνιση** διαλυτών ουσιών λόγω κορεσμού (scaling)
- ❑ Στην **εναπόθεση πρωτεϊνών ή αδιάλυτων σωματιδίων** (fouling)
- ❑ Στη δημιουργία biofilm από **μικροοργανισμούς** (fouling)

Οι επικαθίσεις:

- ❑ Δημιουργούν αντίσταση στη μεταφορά μάζας
- ❑ **Μειώνουν τη ροή** μέσω της μεμβράνης
- ❑ **Μειώνουν την επιλεκτικότητα** της μεμβράνης



Ασκηση 1

Οι απαιτήσεις σε νερό μιας πόλης είναι $26500 \text{ m}^3/\text{d}$. Να βρεθεί η παροχή τροφοδοσίας μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης με ανάκτηση 98% για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις σε νερό των κατοίκων

$$\text{Ποσοστό ανάκτησης} = \frac{Q_p}{Q_f}$$

$$\begin{aligned} Q_f &= (26,500 \text{ m}^3/\text{d}) / 0.98 \\ &= 27,000 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$



Μία μονάδα επεξεργασίας νερού, χρειάζεται μεμβράνες υπερδιήθησης ώστε να παράγει $19.000 \text{ m}^3 / \text{d}$ επεξεργασμένου νερού. Κάθε στοιχείο μεμβράνης UF λειτουργεί με ροή $100 \text{ L} / \text{m}^2\text{-h}$ σε 20°C με κύκλο λειτουργίας 75 min . Ο κατασκευαστής μεμβρανών UF προτείνει το ακόλουθο σύστημα λειτουργίας σε πλήρη κλίμακα:

- Αριθμός στοιχείων μεμβρανών (modules) ανά διάταξη (rack): 90
- Επιφάνεια στοιχείου μεμβράνης: 90 m^2
- Χρόνος αντίστροφης πλύσης: 1 min
- Ροή αντίστροφής πλύσης: $2810 \text{ L} / \text{m}^2\text{-h}$

1. Επιφάνεια μεμβράνης

$$Q = \left(\frac{19,000 \text{ m}^3}{\text{day}} \right) \left(\frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{\text{day}}{24 \text{ h}} \right) = 791,667 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Η απαραίτητη επιφάνεια θα είναι:

$$\frac{791,666.67 \text{ L/h}}{100 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}} = 7916.667 \text{ m}^2$$



Συστοιχία μεμβρανών



2. Συστοιχία μεμβρανών

Ελάχιστος αριθμός στοιχείων μεμβρανών : $\frac{7916.67 \text{ m}^2}{(15 \text{ m}^2/\text{modules})} = 527.78 \text{ modules} \approx 528 \text{ modules}$
που απαιτείται (modules)

Συστοιχία μεμβρανών: $\frac{528 \text{ modules}}{(90 \text{ modules/rack})} = 5.86 \text{ racks} \approx 6 \text{ racks}$
(racks)

Συνολικός αριθμός στοιχείων μεμβρανών = $(6 \text{ racks}) \left(90 \frac{\text{modules}}{\text{rack}} \right) = 540 \text{ modules}$
που απαιτείται (modules)

3. Συνολική επιφάνεια της μεμβράνης: $= (540 \text{ modules}) \left(\frac{15 \text{ m}^2}{\text{modules}} \right) = 8100 \text{ m}^2$

4. Ροή διαμέσου της μεμβράνης: $= \frac{791,667 \text{ L/h}}{8100 \text{ m}^2} = 97.74 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$

5. Παροχή επεξεργασμένου νερού:

$$\left(\frac{97.748}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right) \left(\frac{15 \text{ m}^2}{\text{modules}} \right) \left(\frac{90 \text{ modules}}{\text{rack}} \right) (75 \text{ min}) \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) = 164,931 \frac{\text{L}}{\text{rack}}$$



6. Απαιτούμενος όγκος νερού αντίστροφης πλύσης

$$\left(\frac{280 \text{ L}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}\right) \left(\frac{15 \text{ m}^2}{\text{modules}}\right) \left(\frac{90 \text{ modules}}{\text{rack}}\right) (1 \text{ min}) \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}}\right) = 6300 \frac{\text{L}}{\text{rack}}$$

7. Το καθαρό νερό που παράγεται ως ποσοστό του συνολικού

$$\left(\frac{(164.931 \text{ L/rack}) - (6300 \text{ L/rack})}{(164.931 \text{ L/rack})}\right) = 0.96$$

