

ΑΣΚΗΣΗ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ



Απομάκρυνση Ιόντων

1. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ [1,2,3,4]

1.1. Εισαγωγή

Η χρήση μεμβρανών για το διαχωρισμό δύο ειδών / ουσιών, είναι γνωστή από πολύ καιρό (Διάλυσis 1854). Η ανακάλυψη των πολυμερών και η παρασκευή τους σε λεπτά φιλμ επέτρεψε εδώ και τριάντα χρόνια την ευρεία χρήση των διαδικασιών με μεμβράνες στο διαχωρισμό, για να καλύψει τις ανάγκες της παραγωγής γλυκού και πόσιμου νερού, σύμφωνα με τα όλο και πιο αυστηρά πρότυπα, καθώς επίσης και για επεξεργασία κάποιων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων.

Μία ημιπερατή μεμβράνη είναι ένα λεπτός υμένας που προβάλλει μια αντίσταση, (**εκλεκτικό εμπόδιο**), στη μεταφορά συστατικών που περιέχονται στο ρευστό. Αυτές μπορεί να είναι στερεές, υγρές και αέριες.

Η εκλεκτική μεταφορά μπορεί να άγεται από τη διαφορετικές δυνάμεις που αντιστοιχούν σε διαφορά μιας ή πολλών παραμέτρων ανάμεσα στα δύο μέσα που διαχωρίζει η μεμβράνη, όπως: διαφορά πίεσης, χημικό δυναμικό, ηλεκτρικό δυναμικό, θερμοκρασία.

Οι διαχωρισμοί με μεμβράνες βασίζονται στην ιδιότητα μιας ημιπερατής μεμβράνης να επιτρέπει τη διέλευση μιας ουσίας μέσα από τους πόρους της, ενώ συγχρόνως εμποδίζει τη διέλευση άλλων ουσιών, που αποτελούσαν με την πρώτη ένα διάλυμα ή μίγμα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η διεργασία στηρίζεται στη διαφορά μεγέθους των διαφόρων σωματιδίων, ώστε άλλα να διαπερνούν από τους πόρους και άλλα όχι. Βέβαια σε ορισμένες περιπτώσεις επιδρούν και άλλα φαινόμενα (π.χ. δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης, δυνάμεις Van der Waals κλπ).

Οι διαχωρισμοί αυτοί είναι φυσικοί, αφού αποτελούν διεργασίες μεταφοράς μάζας.

Με τις μεμβράνες διαχωρίζονται στερεά μεγέθους $5 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ έως $10 \mu\text{m}$. Το κάτω όριο υπάρχει λόγω μη δυνατότητας κατασκευής κατάλληλης μεμβράνης, ενώ το άνω όριο διότι είναι προτιμότερη η χρήση της απλής διήθησης στα μεγαλύτερα αιωρούμενα στερεά. Το βασικό πλεονέκτημα των διαχωριστικών με μεμβράνες είναι η μικρή κατανάλωση ενέργειας.

1.2. Χαρακτηριστικά Μεμβρανών

Οι μεμβράνες που παρασκευάζονται συνήθως σε πάχος 0,01 - 0,2 mm, μπορεί να έχουν στην επιφάνεια τους μακροπόρους, μικροπόρους ή και πόρους μεγέθους μοριακής τάξεως. Αν οι πόροι στην επιφάνεια της μεμβράνης έχουν διάμετρο $d_p \leq 2 \text{ nm}$, τότε η μεμβράνη χαρακτηρίζεται συνήθως ως μη πορώδης.

Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι η μεμβράνη παρουσιάζει μόνο πόρους μοριακής τάξεως. Οι πορώδης αντίθετα μεμβράνες παρουσιάζουν στην επιφάνεια τους πόρους, τους οποίους ανάλογα με την περίπτωση, χαρακτηρίζουμε ως μακρο- ή μικροπόρους.

Ανάλογα με τη δομή της μεμβράνης, αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί:

- ↗ **συμμετρική (για ομοιόμορφη δομή σε όλο το πάχος της μεμβράνης) ή**
- ↗ **ασύμμετρη (όταν η μεμβράνη έχει δύο πλευρές με διαφορετικού μεγέθους πόρους).**

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των μεμβρανών είναι η **ηλεκτροχημική τους συμπεριφορά** και συγκεκριμένα η ιονική (φορτισμένη) ή μη ιονική (αφόρτιστη) κατάσταση τους, ανάλογα αν περιέχουν ή δεν περιέχουν πολυμερή με ιονικές ομάδες. Ιονικές μεμβράνες χρησιμοποιούνται κυρίως στην ηλεκτροδιαπίδυση αλλά και σε άλλες επίσης διεργασίες διαχωρισμού.

1.3. Παρασκευή Μεμβρανών

Το 1845 ο Schoenbein παρασκεύασε την πρώτη συνθετική μεμβράνη από νιτροκυτταρίνη. Από τότε διάφορα υλικά ακόμα από ανόργανες ουσίες μικρού μοριακού βάρους μέχρι οργανικά πολυμερή, έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς για την Παρασκευή τους. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων υλικών είναι:

- Οι πυριτικές ενώσεις
- Το Al_2O_3
- Το γυαλί
- Το παλλάδιο
- Τα παράγωγα της κυτταρίνης (οξική(CA), τριοξική(CTA), νιτρική(CN))
- Τα πολυαμίδια (PA)
- Η πολυσουλφόνη (PSU)
- Η πολυβινυλική αλκοόλη (PVA)
- Το πολυαιθυλένιο (LDPE και HDPE)
- Το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)
- Το πολυστυρόλιο (PS)
- Το τεχνητό καουτσούκ

1.3.1. Γεωμετρία και Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά Μεμβρανών

Ανάλογα με τη γεωμετρική τους κατασκευή οι μεμβράνες έχουν επίπεδη ή σωληνοειδή μορφή.

1.3.2. Κριτήρια Επιλογής Μεμβρανών

Οι μεμβράνες κατασκευάζονται σε **τέσσερα** διαφορετικά σχήματα (διάταξη πλακών και πλαισίων, διάταξη κοίλων ινών, σωληνοειδείς - tubular, φυσίγγια και διάταξη σπειροειδών μεμβρανών, όπως περιγράφονται παρακάτω) και τα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη για ένα σύστημα είναι τα εξής:

- Η (μεγάλη) επιφάνεια της μεμβράνης σε σχέση με τον όγκο του ακατέργαστου υγρού
- Η καλή μηχανική αντοχή και μεγάλος χρόνος ζωής
- Η υψηλή σταθερότητα ροής και υψηλή υδραυλική διαπερατότητα
- Η αντίσταση στο φράξιμο
- Οι απαιτήσεις προκατεργασίας
- Ο εύκολος ο καθαρισμός με backwashing
- Η μικρή κατανάλωση σε ενέργεια
- Οι υψηλοί ρυθμοί filtraρίσματος σε σχέση με τον όγκο της εγκατάστασης
- Το χαμηλό κόστος

1.4. Παρουσίαση διαδικασιών με μεμβράνες

Οι διάφορες διαδικασίες με μεμβράνες μπορούν να διαχωριστούν σε συνάρτηση με την αιτία που προκαλεί στη μεταφορά ύλης και σε συνάρτηση με το μέγεθος των προς διαχωρισμό συστατικών (σχήμα 2, πίνακες 1 & 2).

Η ωθούσα δύναμη (driving force) για τη μεταφορά μιας ουσίας δια μέσου της μεμβράνης ποικίλει. Σε όλες τις διεργασίες με μεμβράνες το νερό είναι το κατ' εξοχή συστατικό, το οποίο περνά τη μεμβράνη. Επίσης πραγματοποιείται η ωθούσα δύναμη (με εξαίρεση την ηλεκτροδιαπίδυση) μέσω μιας διαμεμβρανικής διαφοράς πίεσης. Οι διεργασίες διαφοροποιούνται με την τιμή της διαφοράς πίεσης και με είδος των χρησιμοποιούμενων μεμβρανών.

Μπορούν να διαχωριστούν ακόμη ανάλογα με τη δομή τους, τη λειτουργικότητα τους καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά τους (πίνακες 3,4 & 5).

Για τις διεργασίες μικροδιήθησης και υπερδιήθησης πρόκειται για πορώδεις μεμβράνες, για αυτές της νανοδιήθησης, αντίστροφης ώσμωσης και υγρών μεμβρανών πρόκειται για μη-πορώδεις μεμβράνες και δρουν βάσει της αρχής της διάλυσης/διάχυσης στη μεμβρανική φάση.

α) Υπερδιήθηση (Ultrafiltration- UF)

β) Μικροδιήθηση (Microfiltration -MF)

γ) Νανοδιήθηση (Nanofiltration – NF)

δ) Αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis)

ε) (Gas Permeation –GP)

στ) (Pervaporation –PV)

ζ) Διάλυσις (Dialysis -D)

η) Ηλεκτροδιάλυσις (electrodialysis -ED)

ι) Υγρές μεμβράνες (Liquid Membranes –LM) [3]

Οι παραπάνω διαδικασίες μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες βάσει της φύσης του μέσου που υπόκειται σε επεξεργασία και της φύσης των συστατικών που μεταφέρονται διαμέσου των μεμβρανών.

-Για τις διαδικασίες UF, MF, RO, NF: **συμπυκνώνουν** τα διαλύματα με **απομάκρυνση του διαλύτη**.

-Για τη D, **επεξεργάζεται** το απόβλητο με **απομάκρυνση της διαλυμένης ουσίας**.

-Για την PG, **κλασματοποιεί** ένα μίγμα με **εκλεκτική μεταφορά** ενός από τα συστατικά

Στους πίνακες 1, 2, 3, & 4 που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών.

Πίνακας 1. Εφαρμογές διαδικασιών με μεμβράνες ανάλογα με το είδος των προς διαχωρισμό συστατικών

	MF	UF	NF	RO
ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ		✓	✓	✓
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ			✓	✓
ΜΕΤΑΛΛΑ			✓	✓
ΝΙΤΡΙΚΑ			✓	✓
ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ			✓	✓
TDS			✓	✓
TSS	✓	✓		
ΒΑΚΤΗΡΙΑ	✓	✓	✓	✓
ΙΟΙ			✓	✓

Πίνακας 2. Διαχωρισμός διαδικασιών με μεμβράνες ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων των προς διαχωρισμό συστατικών και την πίεση λειτουργίας

	ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (μm)	ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (KPa)
MF	0.08 - 2	7 – 100(0.07-1atm)
UF	0.005 – 0.2	70 – 700(0.7-7atm)
NF	0.001 – 0.01	500 – 1000(5-10atm)
RO	0.0001 – 0.001	850 – 7000(8.5-70atm)

Πίνακας 3. Διαχωρισμός διαδικασιών με μεμβράνες ανάλογα με την παροχή διήθησης

	ΠΑΡΟΧΗ ΔΙΗΘΗΣΗΣ(l/m ² *d)
MF	405 – 1600
UF	405 – 815
NF	200 – 815
RO	320 – 490

Πίνακας 4. Διαχωρισμός διαδικασιών με μεμβράνες ανάλογα με την ωθούσα δύναμη, τη δυνατότητα διαχωρισμού και τα συστατικά που απομακρύνονται

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ MEMBRANΩΝ	ΩΘΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ($\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$)	ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΠΟΥ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΟΝΤΑΙ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
ΜΙΚΡΟΔΙΗΘΗΣΗ	Υδροστατική πίεση ή κενό	0.08 - 2	TSS, Θολότητα, Πρωτόζωα, Βακτήρια	Χρησιμοποιείται ως προεπεξεργασία πριν την εφαρμογή της NF και της RO
ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗ	Υδροστατική πίεση	0.005 – 0.2	Κολλοειδή, Πρωτόζωα, Βακτήρια	Χρησιμοποιείται σε παρόμοιες εφαρμογές με την μικροδιήθηση. Δεν απομακρύνει ζάχαρη, άλατα (ιόντα). Χρησιμοποιείται σε προεπεξεργασμένο υγρό απόβλητο (π.χ. με μικροδιήθηση για απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών) για απομάκρυνση επιλεγμένων ιόντων κυρίως των πολυσθενών, όπως αυτά της σκληρότητας Τα πλεονεκτήματα της NF
NANOΔΙΗΘΗΣΗ	Υδροστατική πίεση	0.001 – 0.01	Μικρά μόρια, Σκληρότητα, Ιοί	Χρησιμοποιείται για απομάκρυνση όλων των ιόντων. Η πιο συνηθισμένη χρήση της παγκοσμίως είναι η αφαλάτωση. Συγκριτικά με τις άλλες μεμβράνες απαιτεί υψηλή πίεση λειτουργίας.
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ	Υδροστατική πίεση	0.0001 – 0.001	Πολύ μικρά μόρια, Σκληρότητα, Χρώμα, Νιτρικά, Θειικά, Ιόντα	
ΔΙΑΛΥΣΗ	Διαφορά συγκέντρωσης	-	Κολλοειδή, Ιοί, Πρωτεΐνες, Βακτήρια	
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ	Ηλεκτρικό δυναμικό	-	Ιόντα	

1.5. Διατάξεις Μεμβρανών (Membranes Modules)

Οι κυριότεροι τύποι των διατάξεων μεμβρανών είναι οι εξής:

- Διάταξη Κοίλων Ινών (Hollow -Fiber Modules-HF)
- Διάταξη Σπειροειδών Μεμβρανών (Spiral-Wound Modules)
- Μεμβράνες Φυσιγγίων (Membrane Cartridges -CAR -MCF)

1.6. Είδη Διήθησης με Μεμβράνες (Types of Membrane Filtration)

Στις εφαρμογές επεξεργασίας πόσιμου νερού, κάθε ένας από τους τέσσερις παραδοσιακούς τύπους διαδικασίας υπό πίεση (δηλ., MF, UF, NF, και RO) συνδέεται γενικά με έναν ενιαίο τύπο συστήματος διήθησης μεμβρανών που σχεδιάζεται γύρω από έναν συγκεκριμένο τύπο μοντέλου.

- 1 Τα συστήματα MF και UF χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά κοίλες ίνες.
- 2 Τα συστήματα NF και RO χρησιμοποιούν διατάξεις σπειροειδών μεμβρανών.

1.6.1. Βασικοί Όροι Διήθησης με Μεμβράνες

Η διαδικασία Διήθησης με Μεμβράνες (Membrane Filtration-M.F) προσδιορίζεται από δύο βασικά κριτήρια:

3. Το σύστημα διήθησης πρέπει να λειτουργεί με πίεση ή υπό κενό για να απομακρύνει εκάστοτε υλικά μεγαλύτερα του 1μm χρησιμοποιώντας μη ινώδη, μηχανικά φράγματα με τη χρήση ενός πρωτογενούς μηχανισμού αποκλεισμού.
4. Η διαδικασία πρέπει να έχει μια μετρήσιμη ικανότητα απομάκρυνσης για έναν οργανισμό ο οποίος μπορεί να επαληθευθεί μέσω μιας άμεσης και έγκυρης διαδικασίας.

2. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

2.1. Γενικά θεωρητικά στοιχεία

Στην **αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis)** ο διαλύτης αναγκάζεται, υπό την επίδραση μιας εξωτερικής εφαρμοζόμενης πίεσης, να διαχωριστεί από το διάλυμα και να διέλθει μέσα από μια μη πορώδη ημιπερατή μεμβράνη, ενώ η διαλυμένη ουσία (π.χ. άλας) συγκρατείται από τη μεμβράνη στην πλευρά του συμπυκνωμένου πλέον διαλύματος.

Η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης αποτελεί την κατηγορία διαδικασιών μεμβρανών που συχνότερα χρησιμοποιείται μέσα από εφαρμογές που απαιτούν την αφαίρεση των διαλυμένων μολυσματικών παραγόντων, όπως στην περίπτωση της αποσκλήρυνσης και αφαλάτωσης.

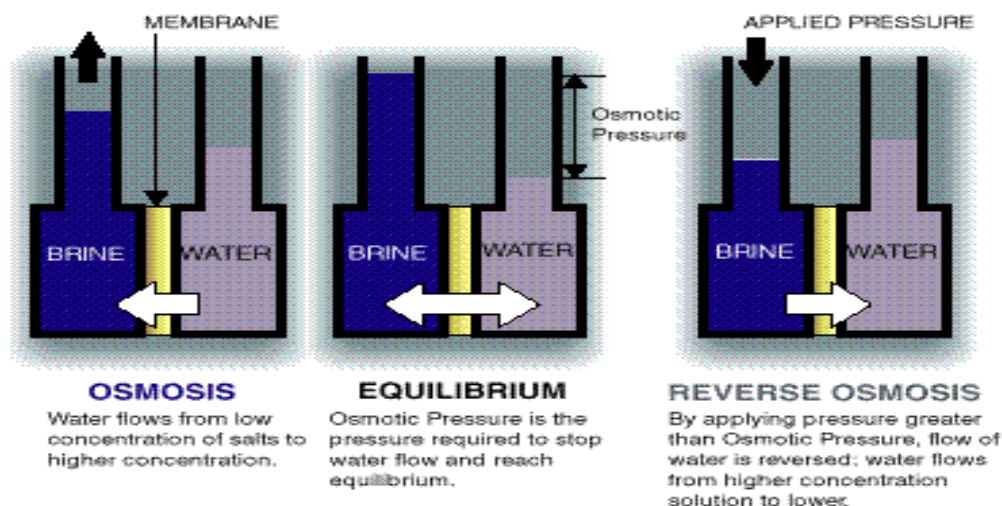
Η μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης μερικές φορές αναφέρονται ως "φίλτρα" των διαλυμένων στερεών, λόγω του ότι χρησιμοποιούν ημιπερατές μεμβράνες που δεν έχουν προσδιορισμένους πόρους. Οι μεμβράνες σχεδιάζονται για να αφαιρέσουν τα διαλυμένα στερεά μέσω της διαδικασίας της αντίστροφης όσμωσης. Η όσμωση είναι η φυσική ροή ενός διαλύτη, όπως το ύδωρ, μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης (που ενεργεί ως εμπόδιο στα διαλυμένα στερεά). Αυτή η ροή θα συνεχιστεί μέχρι οι συγκεντρώσεις και στις δύο πλευρές της μεμβράνης να είναι ίσες. Το σύνολο της πίεσης που πρέπει να εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη λύση για να σταματήσει αυτήν την ροή του ύδατος λέγεται ωσμωτική πίεση. Μια κατά προσέγγιση εμπειροτεχνική μέθοδος για την ωσμωτική πίεση φρέσκου ή υφάλμυρου νερού είναι περίπου 1 psi για κάθε 100 mg/L στα συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS) συγκέντρωση, στις αντίθετες πλευρές της μεμβράνης. Η αντίστροφη όσμωση, όπως διευκρινίζεται στο σχήμα, είναι η αντίστροφη της φυσικής ωσμωτικής διαδικασίας, που ολοκληρώνεται με το να εφαρμοστεί πίεση παραπάνω από την ωσμωτική πίεση. Αυτή η πίεση αναγκάζει το νερό να περνά μέσω της μεμβράνης ενάντια στη φυσική ωσμωτική κλίση, με αυτόν τον τρόπο συγκεντρώνοντας όλο και περισσότερο το νερό σε μια πλευρά της μεμβράνης με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του ύδατος μέσω μιας χαμηλότερης συγκέντρωσης των διαλυμένων στερεών πάνω στην αντίθετη πλευρά (το διήθημα)

Η απαραίτητη πίεση λειτουργίας ποικίλλει ανάλογα με τα TDS του νερού τροφοδοσίας (δηλ. ωσμωτική δυνατότητα), καθώς επίσης οι ιδιότητες και η θερμοκρασία της μεμβράνης μπορούν να κυμανθούν έως και περισσότερα από 1.000 psi στην RO για αφαλάτωση νερού της θάλασσας (**1bar =15 psig**)

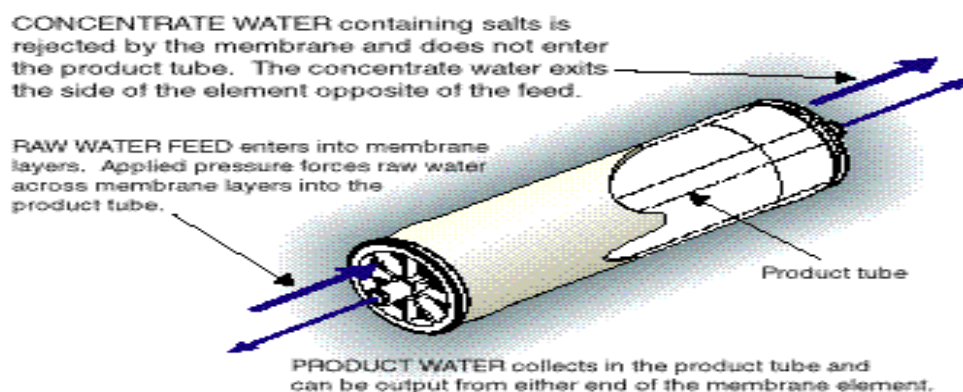
Τα συστατικά που απομακρύνονται είναι τα εξής: βακτήρια, ιοί, βιοαποδομήσιμα οργανικά, σκληρότητα, μέταλλα, νιτρικά, συνθετικά οργανικά, TDS, πολύ μικρά μόρια, χρώμα, θειικά, ιόντα.

Η RO μπορεί να απομακρύνει 95-99% των TDS και 99% όλων των βακτηριδίων, αποδίδοντας ένα ασφαλές καθαρό νερό.

Στο σχήμα 7. φαίνεται η διαδικασία όσμωσης και αντίστροφης όσμωσης, ενώ στο σχήμα 8. παρουσιάζεται στοιχείο αντίστροφης όσμωσης.



Σχήμα 7. Όσμωση και αντίστροφη όσμωση



Σχήμα 8. Στοιχείο αντίστροφης όσμωσης

2.2. Περιγραφή Πιλοτικής Εγκατάστασης εργαστηρίου [5.6]

Η πιλοτική εγκατάσταση του εργαστηρίου διαθέτει:

2.2.1. Μία μεμβράνη αντίστροφης όσμωσης (Reverse Osmosis, RO) τύπου ESPA1- 2540, με τα εξής χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Τύπος: Spiral Wound
- Υλικό: πολυμερές πολυαμιδίου
- Απόδοση: ελάχιστη απομάκρυνση άλατος (salt rejection) 98%
- Παροχή του permeate 2,84 m³/d
- Μέγιστη εφαρμοζόμενη πίεση: 300 psi (2,1 MPa) (1bar =14,5 psig)
- Μέγιστη συγκέντρωση χλωρίου:< 0,1 ppm
- Μέγιστη θολερότητα νερού τροφοδοσίας: 1NTU
- Μέγιστη ταχύτητα ροής τροφοδοσίας: 50 L/m
- PH νερού τροφοδοσίας: 3-10
- Μέγιστη Θερμοκρασία λειτουργίας 45°C ή 113 °F
- Μέγιστος λόγος της Ροής του Συμπυκνώματος προς τη ροή Permeate για κάθε στοιχείο: 5/1

Κατά την επεξεργασία με μεμβράνη RO στην έξοδο της εγκατάστασης παίρνουμε δύο ρεύματα, ένα του επεξεργασμένου νερού (permeate) και ένα του συμπυκνώματος (concentrate). Ο μέγιστος λόγος της ροής του συμπυκνώματος προς τη ροή permeate για κάθε στοιχείο πρέπει να τηρείται σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μεμβράνης.

Η παροχή εισόδου είναι ίση με το άθροισμα των παροχών του επεξεργασμένου νερού (permeate) και του συμπυκνώματος.

Η εξέταση της καλής απόδοσης της εγκατάστασης γίνεται ως εξής:

Η εγκατάσταση τίθεται σε λειτουργία επί 30min με τις ακόλουθες συνθήκες:

- 1500 ppm διάλυμα NaCl
- 150 psi (1,03MPa) εφαρμοζόμενη πίεση
- 25°C ή 77 °F θερμοκρασία λειτουργίας
- 10% ανάκτηση του permeate
- PH νερού τροφοδοσίας: 6,5 -7

2.2.2. Μία μεμβράνη υπερδιήθησης (Ultrafiltration, UF) τύπου CARTRIDGE με τα εξής χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Τύπος: CARTRIDGE
- Υλικό: πολυμερές Polyethersulfone
- Παροχή τροφοδοσίας = εξόδου= 300 L/h
- Μέγιστη εφαρμοζόμενη πίεση: 6 atm, εύρος 3-6 atm, ανάλογα με το μέγεθος του CARTRIDGE
- PH νερού τροφοδοσίας: 3-10
- Μέγιστη Θερμοκρασία λειτουργίας 45°C ή 113 °F

Κατά την επεξεργασία με μεμβράνη UF στην έξοδο της εγκατάστασης παίρνουμε ένα ρεύμα, αυτό του επεξεργασμένου νερού (permeate), επειδή η μεμβράνη UF λειτουργεί όπως η διήθηση, δηλαδή κατακρατεί τα αιωρούμενα σωματίδια, κολλοειδή και μεγαλομόρια και δίνει καθαρό νερό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σε επιφανειακό νερό και να το μετατρέψει σε πόσιμο κατακρατώντας εκτός αιωρημάτων και των κολλοειδών και ιούς. Δεν κατακρατεί διαλυμένα ιόντα. Επειδή είναι τύπου CARTRIDGE αντικαθίσταται όταν κορεσθεί, δηλαδή όταν παρατηρηθεί αύξηση της πίεσης στην είσοδο και ελάττωση της παροχής στην έξοδο. Επειδή δε έχουμε ένα ρεύμα, η παροχές εισόδου και εξόδου είναι ίσες (ό,τι μπαίνει, αυτό βγαίνει).

2.2.3. Μία μεμβράνη Νανοδιήθησης (Nanofiltration, NF) τύπου ESNA 1-LF2 με τα εξής χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Τύπος: Spiral Wound
- Υλικό: πολυμερές πολυαμιδίου
- Απόδοση: ελάχιστη απομάκρυνση άλατος (salt rejection) 75-92,5%, ονομαστική απόδοση απομάκρυνσης άλατος: 80%
- Παροχή του permeate 29,5 m³/d
- Μέγιστη εφαρμοζόμενη πίεση: 600 psi (4,16 MPa) (1bar =14,5 psig)
- Μέγιστη συγκέντρωση χλωρίου:< 0,1 ppm
- Μέγιστη θολερότητα νερού τροφοδοσίας: 1NTU
- Μέγιστη ροή τροφοδοσίας: 17 m³/h
- PH νερού τροφοδοσίας: 3-10
- Μέγιστη Θερμοκρασία λειτουργίας 45°C ή 113 °F

- Μέγιστος λόγος της Ροής του Συμπυκνώματος προς τη ροή Permeate για κάθε στοιχείο: 5/1

Κατά την επεξεργασία με μεμβράνη NF στην έξοδο της εγκατάστασης παίρνουμε δύο ρεύματα, ένα του επεξεργασμένου νερού (permeate) και ένα του συμπυκνώματος (concentrate). Ο μέγιστος λόγος της ροής του συμπυκνώματος προς τη ροή permeate για κάθε στοιχείο πρέπει να τηρείται σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μεμβράνης.

Η παροχή εισόδου είναι ίση με το άθροισμα των παροχών του επεξεργασμένου νερού (permeate) και του συμπυκνώματος.

Η εξέταση της καλής απόδοσης της εγκατάστασης γίνεται ως εξής:

Η εγκατάσταση τίθεται σε λειτουργία επί 30min με τις ακόλουθες συνθήκες:

- 500 ppm διάλυμα CaCl_2
- 750 psi (0,52MPa) εφαρμοζόμενη πίεση
- 25°C ή 77 °F θερμοκρασία λειτουργίας
- 15% ανάκτηση του permeate
- PH νερού τροφοδοσίας: 6,5 -7

2.2.4. Νερό προς επεξεργασία

Και στις τρεις μεμβράνες χρησιμοποιείται το ίδιο υδατικό διάλυμα προς επεξεργασία, που αποτελεί το συνθετικό δείγμα, περιεκτικότητας 100 mg/L NO_3^- και 1000 mg/L NaCl.

Το συνθετικό δείγμα παρασκευάστηκε από μίγμα:

- **16,3 g KNO_3** σε 100 L διάλυμα
- **100 g NaCl** σε 100 L διάλυμα (ή ανάλογη ποσότητα ώστε η αγωγιμότητα του διαλύματος να είναι > 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

2.2.5. Έμμεσος Υπολογισμός των Ολικών Αιωρούμενων Στερεών μέσω της Αγωγιμότητας

Με τη μέτρηση της αγωγιμότητας υπολογίζουμε έμμεσα την ποσότητα των διαλυμένων ιονικών ενώσεων σ' ένα δείγμα ύδατος. Αυτό μπορεί να γίνει αν πολλαπλασιάσουμε την ειδική αγωγιμότητα με έναν εμπειρικό συντελεστή, που ανάλογα με την θερμοκρασία κυμαίνεται από 0,55 μέχρι 0,9 (για τις περιπτώσεις που υπάρχουν διαλυμένα υδροξείδια ή ελεύθερα οξέα ισχύουν οι μικρότερες τιμές, ενώ για υφάλμυρα νερά ή νερά λεβήτων ισχύουν οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή).

Για 25 °C τυπική τιμή του συντελεστή λαμβάνεται =0,64

$$\text{TDS} = G \times 0,64$$

Όπου G =Αγωγιμότητα διαλύματος

2.3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

Νερό προς επεξεργασία: Διάλυμα περιεκτικότητας 100 mg/L NO₃⁻/L και 1000 mg/L NaCl.

Συνθήκες λειτουργίας μεμβράνης Αντίστροφης Ωσμωσης:

Πίεση Λειτουργίας	8-10 atm
Παροχή	300 L/h
Μέγεθος Σωματιδίων	0.0001 – 0.001 μm
Ωθούσα Δύναμη	διαφορά πίεσης (υδροστατική)
Απόδοση: ελάχιστη απομάκρυνση άλατος (salt rejection)	98%

► **Να ρυθμιστούν** οι πιέσεις και η παροχή του permeate, (μέσω των οποίων ρυθμίζεται και η παροχή του συμπυκνώματος αυτόματα), έτσι ώστε ο λόγος παροχής της Ροής του Συμπυκνώματος προς τη ροή Permeate για κάθε στοιχείο: 5/1. Για τις συνθήκες λειτουργίας, κατά την εκτέλεση της άσκησης, θα πρέπει να είναι περίπου 250:50 (σε σύνολο 300 L/h).

► **Να μετρηθούν:**

1. Η αγωγιμότητα πριν και μετά την επεξεργασία
2. Οι συγκεντρώσεις νιτρικών στην έξοδο των μεμβρανών
3. Η πτώση πίεσης στη μεμβράνη

► **Να υπολογισθούν:**

1. Η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών TDS mg/l πριν και μετά την επεξεργασία (μέσω της αγωγιμότητας)
2. Η % απόρριψη διαλυμένων στερεών $R = (C_1 - C_2)/C_1 \%$
3. Οι αποδόσεις επεξεργασίας

2.4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗΣ

Νερό προς επεξεργασία: Διάλυμα περιεκτικότητας 100 mg/L NO₃⁻ και 1000 mg/L NaCl.

Συνθήκες λειτουργίας μεμβράνης Αντίστροφης Υπερδιήθησης:

Πίεση Λειτουργίας	3 atm
Παροχή	250 L/h
Μέγεθος Σωματιδίων	0.005 – 0.2 μm
Ωθούσα Δύναμη	διαφορά πίεσης (υδροστατική) (pressure gradient) $3 < \Delta P < 10 \text{ bars}$
Κατακράτηση (Retention)	>90%

► **Να ρυθμιστεί** η πίεση λειτουργίας και η παροχή του permeate

► **Να μετρηθούν:**

1. Η αγωγιμότητα πριν και μετά την επεξεργασία
2. Οι συγκεντρώσεις νιτρικών στην έξοδο των μεμβρανών
3. Η αύξηση πίεσης στη μεμβράνη

► **Να υπολογισθούν:**

1. Η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών TDS mg/l πριν και μετά την επεξεργασία (μέσω της αγωγιμότητας)
2. Η % απόρριψη διαλυμένων στερεών $R = (C_1 - C_2)/C_1 \%$

3. Οι αποδόσεις επεξεργασίας

2.5. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΝΑΝΟΔΙΗΘΗΣΗΣ

Νερό προς επεξεργασία: Διάλυμα περιεκτικότητας 100 mg/L NO₃⁻ και 1000 mg/L NaCl.
Συνθήκες λειτουργίας μεμβράνης Αντίστροφης Νανοδιήθησης:

Πίεση Λειτουργίας	6-8 atm
Παροχή	300 L/h
Μέγεθος Σωματιδίων	0.001 – 0.01 μm
Ωθούσα Δύναμη	Διαφορά πίεσης (Υδροστατική Πίεση)
Απόδοση: ελάχιστη απομάκρυνση άλατος (salt rejection) 75-92,5%, ονομαστική απόδοση απομάκρυνσης άλατος	80%

► **Να ρυθμιστούν** οι πιέσεις και η παροχή του permeate, (μέσω των οποίων ρυθμίζεται και η παροχή του συμπυκνώματος αυτόματα), έτσι ώστε ο λόγος παροχής της Ροής του Συμπυκνώματος προς τη ροή Permeate για κάθε στοιχείο: 5/1. Για τις συνθήκες λειτουργίας, κατά την εκτέλεση της άσκησης, θα πρέπει να είναι περίπου 250:50 (σε σύνολο 300 L/h).

► **Να μετρηθούν:**

1. Η αγωγιμότητα πριν και μετά την επεξεργασία
2. Οι συγκεντρώσεις νιτρικών στην έξοδο των μεμβρανών
3. Η πτώση πίεσης στη μεμβράνη

► **Να υπολογισθούν:**

1. Η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών TDS mg/l πριν και μετά την επεξεργασία (μέσω της αγωγιμότητας)
2. Η % απόρριψη διαλυμένων στερεών $R = (C_1 - C_2)/C_1 \%$
3. Οι αποδόσεις επεξεργασίας

Σημείωση: Η παρουσίαση της εργαστηριακής άσκησης θα γίνει στο επόμενο εργαστήριο με τη μορφή γραπτής αναφοράς (Written Report), σύμφωνα με τις οδηγίες που σας παρέχονται στο παράρτημα II, σελίδα 111 των σημειώσεων.

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **I. N. Μαρκόπουλος** «ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΜΕ MEMBRANES», εκδ. UNIVERSITY STUDIO PRESS 1997, σελ. 15-18,21-25
2. **K. Παναγιώτου** «Διεπιφανειακά Φαινόμενα & Κolloειδή Συστήματα», εκδ., σελ. 301-302 EPA
3. **Ε. Αμανατίδου** Vladea R., Stefanut M., Goanta N., «Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων με Χρήση Υγρών Μεμβρανών Τύπου Γαλάκτωμα», Τεχν.Χρον. Επιστ. Εκδ. TEE, 1995, V, τεύχ. 1-2 , σελ. 7-22.
4. **Αϊβαζίδης Α.**, ‘‘Τεχνολογία και Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων II’’, Δημοκρίτειο Παν/μιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εκδ. Εταιρεία Αξιοποίησης
5. **Prospect OLTREMARE LIQUID SEPARATION**, www.oltremaremembrane.com.

6. Prospect HYDRANAUTICS, www.membranes.com.
7. Μ. Μήτρακας, “Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού”, Εκδ. Τζιόλα, Θεσ/νίκη 2001, Εκδ. 2^η

ΦΥΛΛΟ ΑΣΚΗΣΗΣ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΜΕ MEMBRANES

Απομάκρυνση Νιτρικών - Απομάκρυνση Σιδήρου Μαγγανίου

Μέγιστη Ροή (επιλογή από τον πίνακα)			Τιμή:	
	Ιόντα	Συγκέντρωση mg/L		Απόδοση της Εγκατάστασης
		Αρχική	Μετρούμενη στην έξοδο	
Μεμβράνη RO	NO ₃ ⁻	100		
	Αγωγιμότητα			
	TDS			
Μεμβράνη UF	NO ₃ ⁻	100		
	Αγωγιμότητα			
	TDS			
Μεμβράνη NF	NO ₃ ⁻	100		
	Αγωγιμότητα			
	TDS			

Να γίνει σύγκριση των αποδόσεων μεταξύ των μονάδων μεμβρανών, καθώς και με τις αποδόσεις των ρητινών και του φίλτρου Birm, για τα αντίστοιχα ιόντα.

Σχόλια:.....