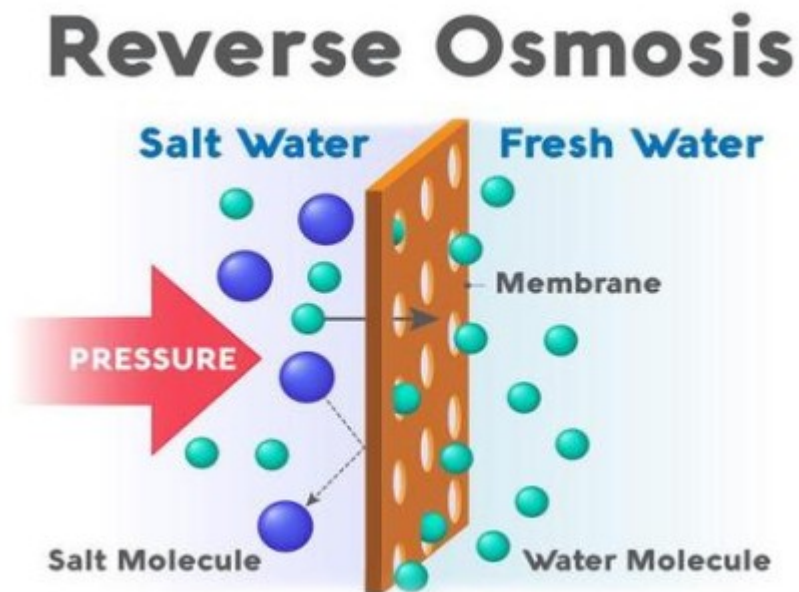


ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με τίτλο

**ΜΕΛΕΤΗ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΟΣΗΣ**



Φοιτητής Γεραζούνης Γεώργιος Α.Μ. 6874

Επιβλέπων Βούρος Ανδρέας Ακαδημαϊκός Υπότροφος

Ιούλιος 2019

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με τίτλο

**ΜΕΛΕΤΗ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΟΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συντάκτης: Γεραζούνης Γεώργιος

Επιβλέποντες:

Βούρος Ανδρέας Ακαδημαϊκός Υπότροφος

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Σκούρας Ευγένιος Ακαδημαϊκός Υπότροφος

Τζιρτζιλάκης Ευστράτιος Αναπληρωτής Καθηγητής

Παναγόπουλος Γεώργιος Αναπληρωτής Καθηγητής

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Μελέτη – Εγκατάσταση και Λειτουργία Μονάδας Αφαλάτωσης Αντίστροφης Ώσμωσης», αποτελεί την πτυχιακή μου εργασία και σηματοδοτεί το τέλος των σπουδών μου στο Τ. Ε. Ι. Πάτρας.

Η καταπολέμηση της λειψυδρίας μέσω της αφαλάτωσης είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα που έχει αρχίσει να απασχολεί σοβαρά παγκοσμίως και γίνονται πια ουσιαστικές κινήσεις προς αυτήν την κατεύθυνση. Σκοπός της εργασίας είναι η ενημέρωση για τις τεχνολογίες αφαλάτωσης νερού που υπάρχουν, για το πόσο καλή λύση είναι η αφαλάτωση για την λειψυδρία.

Τέλος ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου, τους γονείς μου Ιωάννη και Αναστασία, τον αδελφό μου Παναγιώτη και τους φίλους μου για την στήριξη υπομονή και βοήθεια που μου προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Γεραζούνης Γεώργιος

Υπογραφή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης στη Χίο. Πρόκειται για μια εγκατάσταση που λειτουργεί στην Ομηρούπολη από το 2010, και συγκεκριμένα εξυπηρετεί το χωριό Δασκαλόπετρα (1000 κυβικά / μέτρο). Το σύστημα αντίστροφης ώσμωσης συνεπικουρείται από συμπληρωματικό εξοπλισμό όπως μονάδα μεμβρανών και συνδεσμολογία σειράς αντλιών.

Η ανάλυση του σχεδιασμού πραγματοποιείται με βάση τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση (με γνωστά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιμέρους διατάξεις) και με βάση γνώσεις που αποκτήθηκαν κατά τις σπουδές στο Τμήμα Μηχανολόγων Τ.Ε του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Συνοπτικά παρουσιάζονται οι βασικές αρχές που διέπουν την αντίστροφη ώσμωση, ιδιαίτερα στη περίπτωση μιας σύγχρονης μονάδας, όπως αυτή της Χίου και στο τέλος αναλύονται με λεπτομέρεια όλα τα μέρη της συγκεκριμένης μονάδας.

Πιο αναλυτικά η δομή της εργασίας υποδιαιρείται σε κεφάλαια ως ακολούθως:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στον υδρολογικό κύκλο του νερού, όπου επισημαίνεται το πρόβλημα έλλειψης του νερού. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράγοντες που δημιουργούν την έλλειψη του νερού και παρουσιάζεται η λύση της αφαλάτωσης για αυτό.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται φυσικές έννοιες όπως η ώσμωση και το φυσικό μέγεθος που την χαρακτηρίζει δηλ. η ωσμωτική πίεση και αντίστοιχα την αντίστροφη ώσμωση. Γίνεται μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση της αναγνώρισης του φαινομένου της αντίστροφης ώσμωσης από τους ερευνητές.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται όλοι οι παράγοντες από την οποία εξαρτάται η αντίστροφη ώσμωσης και παρουσιάζονται όλοι βασικοί παράμετροι που διέπουν τη συγκεκριμένη διεργασία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλοι οι τύποι μεμβρανών και ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνουν χώρα στη διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης. Γίνεται μια ανασκόπηση επάνω στα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται για τις μεμβράνες.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα μαθηματικά μοντέλα συμπεριφοράς των μεμβρανών, όπως είναι το μοντέλο διαλύματος – διάχυσης, το μοντέλο πορώδους μέσου με στόχο του συγκεκριμένου κεφαλαίου η καλύτερη κατανόηση του ρόλου που παίζουν οι μεμβράνες σε μια σύγχρονη μονάδα αντίστροφης ώσμωσης, όπως αυτή της Χίου.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσία των διαφορετικών τύπων αντλιών που χρησιμοποιούνται σε μια μονάδα αντίστροφης ώσμωσης, όπως είναι οι ηλεκτροκινητήρες αντλιών και τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	2
3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ	3
4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝ ΤΗΝ ΕΛΛΕΙΨΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	6
5. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑ – Η ΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	7
1. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ	1
1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	1
1.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	3
1.3 ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ	3
1.4 ΣΤΑΔΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	4
1.5 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	7
1.6 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	9
1.7 ΩΣΜΩΣΗ	10
1.8 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ	12
1.9 ΑΔΙΕΞΟΔΟ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (DEATH END FILTRATION)	13
1.10 ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	15
2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΡΑΣΕΙΣ	17
2.1 ΑΝΑΚΤΗΣΗ	17
2.2 ΑΠΟΡΡΙΨΗ	19
2.3 ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (FLUX)	24
2.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΠΟΛΩΣΗΣ	27
2.5 ΒΕΤΑ	29
2.6 ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ (FOULING)	30
2.7 ΑΠΟΛΕΠΙΣΗ	33
2.8 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΣ (SLIT DENSITY INDEX, SDI)	36
2.9 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΕΩΣ (MFI, MODIFIED FOULING INDEX)	38
2.10 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ Ή LANGELIER	40

3. MEMBRANES	41
3.1 MEMBRANES ANTISTROPHES ΩΣΜΩΣΗΣ	41
3.2 MEMBRANES ΟΞΙΚΗΣ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ	42
3.3 MEMBRANES ΠΟΛΥΑΜΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	46
3.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ MEMBRANES ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	
ΠΟΛΥΑΜΙΔΙΟΥ	51
3.5 ΆΛΛΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ MEMBRANES	52
3.6 ΤΥΠΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ MEMBRANΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	
ΤΟΥΣ	52
3.6.1 Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών	54
3.6.2 Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών	55
3.6.3 Στοιχεία μεμβρανών ελικοειδούς περιέλιξης ή σπειροειδούς	56
3.6.4 Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών	60
4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ MEMBRANΩΝ	63
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	63
4.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ – ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΜΗ ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ) –	
ΙΔΑΝΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	64
4.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ – ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ)	66
4.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΜΕΡΙΚΩΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΜΕΣΟΥ (FINELY POROUS	
MODEL)	67
4.5 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΡΟΗΣ	67
4.6 ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ	69
5. ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ	71
5.1 ΘΕΤΙΚΗΣ ΕΚΤΟΠΙΣΗΣ	73
5.2 ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ	76
5.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ	76
5.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	76
5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	77
6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	79
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	79
6.2 DOW WAVE – WATER APPLICATION VALUE ENGINE	82
6.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ	87
6.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	89
6.4 ΧΗΜΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ	92
6.5 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	94

6.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ WAVE ΚΑΙ ROSA	98
6.7 HYDRANAUTICS IMS DESIGN	104
7. ΜΟΝΑΔΑ ΑΘΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΣΤΗ ΧΙΟ	107
7.1 ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΣΤΗ ΧΙΟ	107
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	123

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί αναμφίβολά το κυριότερο συστατικό για την ύπαρξη της ζωής για όλο το οικοσύστημα. Ιστορικά η φύση εκδηλωνόταν όπου υπήρχε νερό και οι πρώτες κοινωνίες συγκεντρώθηκαν όπου επίσης υπήρχε νερό, κάτι που αποδεικνύει περίτρανα το ρόλο που έχει το νερό στη δημιουργία, διατήρηση και ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που παρόλο την αφθονία του, είναι απολύτως απαραίτητη η προστασία του στο πλανήτη.

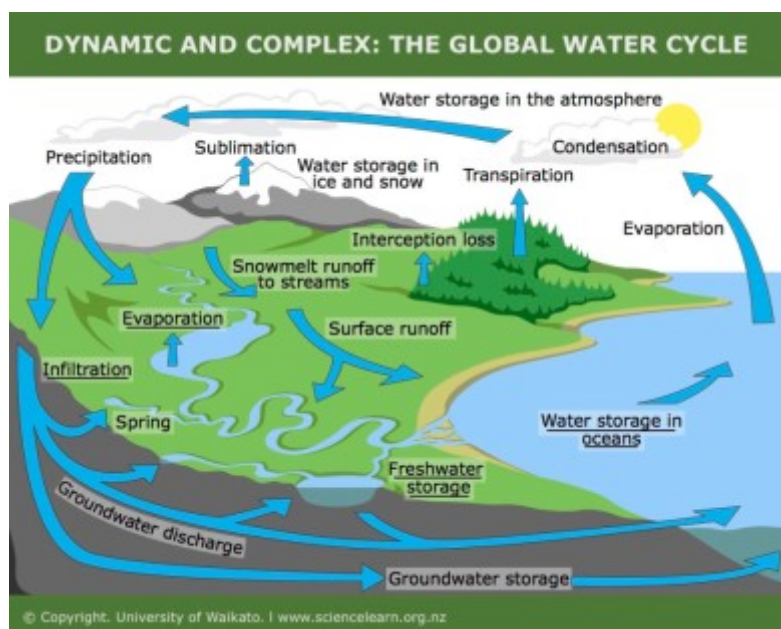
Σε παγκόσμια κλίμακα, το νερό υπολογίζεται περίπου 1.4 εκατομμύρια Km³, εντούτοις μόνο το 3% είναι φρέσκο νερό εκ των οποίων περίπου τα 24 εκατομμύρια είναι εγκλωβισμένα με τη μορφή πάγου στο Βόρειο και Νότιο πόλο και το 0.77% αυτού (11 εκατομμύρια) βρίσκεται υπό τη μορφή υπόγειων και επιφανειακών υδάτων (λίμνες, ποτάμια, έλη κ.λπ.). Κάτι που σημαίνει ότι το νερό πλέον δε μπορεί να θεωρηθεί ανανεώσιμο αφού είναι εγκλωβισμένο, συνεπώς η κύρια πηγή του ανανέωσης του είναι η βροχόπτωση (110. 300 km³/έτος).

Τα νερά που βρίσκονται σε ποτάμια και λίμνες και είναι διαθέσιμο για τις ανθρώπινες κοινότητες έχουν συνήθως μικροοργανισμούς, μερική θολότητα και πλήθος διάφορων οργανικών και ανόργανων συστατικών (συγκεντρώσεις σίδηρο και μαγγάνιο) σε υπολογίσιμες ποσότητες που είναι επιβλαβείς για τον ανθρώπινο οργανισμό. Προκειμένου το νερό να είναι κατάλληλο για τον άνθρωπο, χρειάζεται να υποβληθεί σε κατάλληλη επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο ύδρευσης. Μερικά από τα βασικά συστατικά περιλαμβάνει την αφαίρεση της θολότητας (διαύγεια νερού), την θανάτωση των μικροοργανισμών (απολύμανση) και την αφαίρεση των οργανικών και ανόργανων συστατικών τα οποία βρίσκονται σε αυτά.

Αδιαμφισβήτητα, ο τρόπος εκμετάλλευσης του νερού από τον άνθρωπο είναι ένα σύνθετο πρόβλημα τόσο πολιτικό όσο και οικονομικό. Τα τελευταία χρόνια με την έκρηξη της τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι οι οποίοι παραμένουν ιδιαίτερα ακριβοί αλλά δίνει τη δυνατότητα χρήσης του σε όλο και περισσότερους από τον αναπτυσσόμενο κόσμο να τις χρησιμοποιήσουν. Το πρόβλημα της σωστής χρήσης είναι

ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα για την επιστημονική κοινότητα αναμφίβολά, για το λόγο ότι οι χώρες του αναπτυσσόμενου αλλά κατά κοινώς του αναπτυγμένου κόσμου που θα έρθουν αντιμέτωποι ή αντιμετωπίζουν ήδη το πρόβλημα της λειψυδρίας.

2. Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ



Εικόνα 1 Ο υδρολογικός κύκλος του νερού

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφεται από τα ακόλουθα βήματα: αρχικά το νερό της θάλασσας εξατμίζεται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, στη συνέχεια οι υδρατμοί ανεβαίνουν στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας συμπυκνώνονται και σχηματίζουν σύννεφα, τα οποία υπό συγκεκριμένες συνθήκες δημιουργούν την βροχή, το χιόνι και το χαλάζι με αποτέλεσμα το νερό να καταλήγει και πάλι στην γη. Από την συνολική ποσότητα νερού που πέφτει στη γη ένα μέρος πέφτει στις υγρές επιφάνειες, λίμνες, ποτάμια, θάλασσα που είναι και το μεγαλύτερο. Ένα άλλο μέρος πέφτει στο έδαφος και ενσωματώνεται σε αυτό εμπλουτίζοντας τον υδροφόρο ορίζοντα και ένα μέρος ρέει μέσω των ποταμών προς την θάλασσα. Συνεπώς οι θάλασσες, τα ποτάμια και οι λίμνες αποτελούν τα επιφανειακά νερά που καλύπτουν το 70% της επιφάνειας της γης. Μεγάλες όμως ποσότητες νερού συγκρατούνται στο έδαφος και υπέδαφος και αποτελούν τα υπόγεια νερά.

Οι πηγές νερού που μπορεί να παρέχουν άμεσα χρησιμοποιήσιμο νερό ως πόσιμο, οικιακή και βιομηχανική χρήση ή νερό που απαιτεί φυσική επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθεί είναι:

Ποτάμια: Όλοι οι ποταμοί εκβάλουν σε λίμνες ή στην θάλασσα. Το νερό των ποταμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα με μικρή σχετική κατεργασία εφόσον δεν δέχεται βιομηχανικά ή αστικά απόβλητα.

Λίμνες: Η ποιότητα του νερού των λιμνών καθορίζονται από την ποιότητα του νερού των ποταμών που εκβάλουν σε αυτές.

Υπόγειο νερό: Τα υπόγεια νερά περιλαμβάνουν κυρίως τα διάφορα φυσικά ή τεχνητά πηγάδια. Περίπου η μισή ποσότητα του νερού της βροχόπτωσης ή χιονιού και χαλαζιού αποθηκεύεται εντός του εδάφους δημιουργώντας τον υδροφόρο ορίζοντα.

Θαλασσινό νερό: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για βιομηχανική και για οικιακή χρήση ή άλλες εφαρμογές μετά από επεξεργασία αφαλάτωσης.

Πίνακας 1 Στοιχεία για τη ποιότητα του νερού και τις περιεκτικότητες του σε διάφορες ουσίες

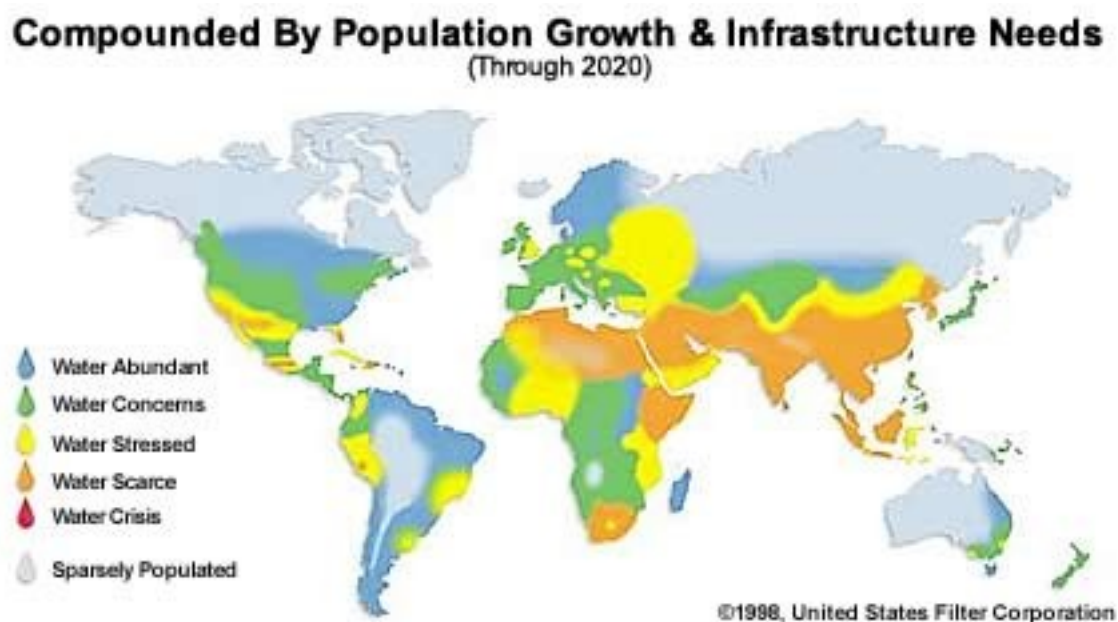
Πηγές Νερού	Σύνολο διαλυμένων στερεών (mg/ L)
Πόσιμο νερό	<1000
Ελαφρώς υφάλμυρα νερά	1.000 – 5.000
Μεσαία υφάλμυρα νερά	5.000 – 15.000
Έντονα υφάλμυρα νερά	15.000 – 35.000
Μέσος όρος θαλασσινού νερού	35.000

3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ

Το νερό με τον καιρό θα γίνεται όλο και πιο δυσεύρετο. Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών υποθέτει ότι πάνω από το 50% των εθνών στο κόσμο θα αντιμετωπίσουν κρίσεις νερού μέχρι το 2025, τετραπλασιάζοντας τον αριθμό των ανθρώπων που επηρεάζονται από τη σημαντική έλλειψη σε νερό, ενώ μέχρι το 2050 αναμένεται περίπου το 75% του παγκόσμιου πληθυσμού να αντιμετωπίσει σοβαρές ελλείψεις του πόσιμου νερού.

Αδιαμφισβήτητα, το βιοτικό επίπεδο έχει βελτιωθεί αρκετά τα τελευταία σαράντα χρόνια κάτι που οδηγεί αυτόματα και στην εκρηκτική αύξηση του πληθυσμού με αποτέλεσμα οι ίδιες οι πηγές του πλανήτη να αντιμετωπίζουν όλο και μεγαλύτερο πρόβλημα σταδιακά. Ο υπερπληθυσμός έχει προκαλέσει και την ραγδαία αύξηση της ρύπανσης και της μόλυνσης όλων σχεδόν των υδάτινων αποθεμάτων, κάτι που οφείλεται τόσο στα λύματα οικιακής χρήσης όσο και στα βιομηχανικά απόβλητα με την αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων.

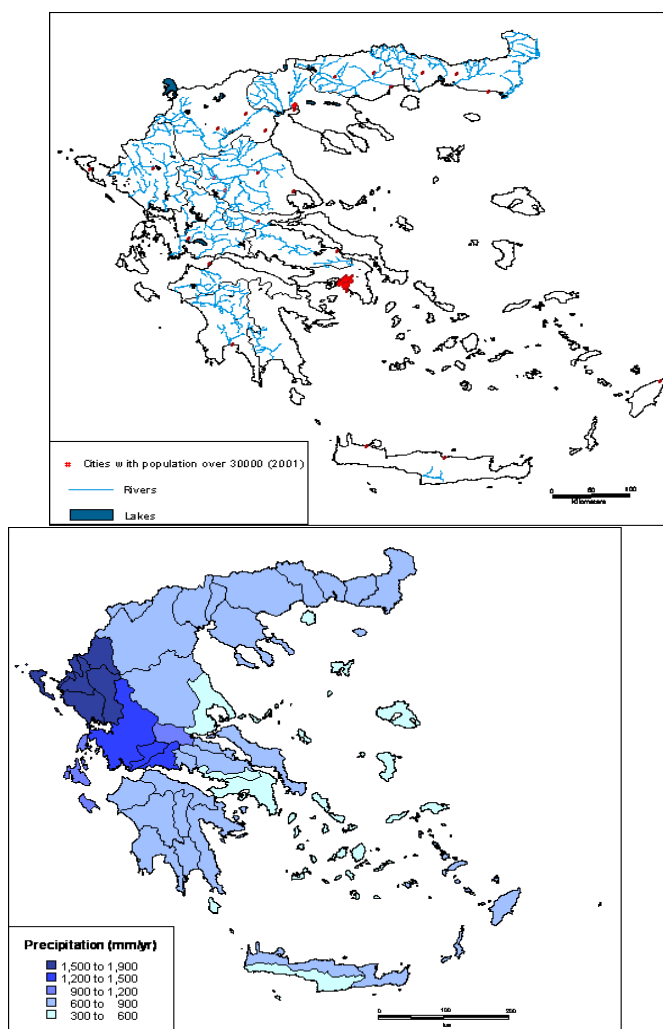
Χώρες που βρίσκονται στη Μεσόγειο (Ελλάδα, Μάλτα, Κύπρος Βέλγιο, Πορτογαλία, Ιταλία) όσο και στην Μέση Ανατολή αντιμετωπίζουν ήδη πρόβλημα λειψυδρίας. Αν σκεφτεί ότι οι επτά πόλεις ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση με συνολικό πληθυσμό 130. 000.000 κατοίκους, περίπου το 1/3 του συνολικού πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Εικόνα 2: Παγκόσμιος Χάρτης με τις συνθήκες νερού Water Scarcity, Through 2020 (1998 United States Filter Corporation)

Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, οι γεωργικές καλλιέργειες καταναλώνουν το 87%, τα νοικοκυριά και ο τουρισμός το 10% και η βιομηχανία το 3%. Ιδιαίτερα το πρόβλημα της λειψυδρίας εντοπίζεται στα νησιά, όπως είναι η Μύκονος και η Χίος εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους και των ελάχιστων πηγών νερού που συνήθως δεν είναι

πόσιμο αλλά υφάλμυρο σε συνδυασμό πάντα με την αυξημένη τουριστική κίνηση στις περιοχές αυτές. Τουρισμός σε ένα μέρος σημαίνει πλέον μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες για την εξυπηρέτηση τόσο των επισκεπτών όσων και των ίδιο αναγκών. Και τα μηνύματα για την εκρηκτική αύξηση του τουρισμού δεν είναι καθόλου αισιόδοξα για το μέλλον.



Εικόνα 3 Ελληνικός Χάρτης όλες τις λίμνες και ποτάμια αριστερά και δεξιά η βροχόπτωση σε όλες τις περιοχές

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι ίδιο το πρόβλημα για όλες τις περιοχές της Ελλάδος. Οι Κυκλάδες όπως τα Κουφονήσι, η Αμοργός, η Κίμωλος, η Ηράκλειά, η Σχοινούσα και η Φολέγανδρος, η Τήνος, η Σίκινος, η Θηρασιά, η Δονούσα και η Μήλος είναι νησιά με πολύ έντονη λειψυδρία. Εξαιτίας της άνισης κατανομής στο ύψος των

βροχοπτώσεων η μορφολογία της Ελλάδας χωρίζεται με μια νοητή γραμμή σε δύο τμήματα: το ανατολικό, που καλύπτει την ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα, τα νησιά του δυτικού Αιγαίου και την ανατολική Κρήτη – περιοχές φτωχές σε βροχοπτώσεις σε αντίθεση με την Δυτική Ελλάδα.

Η έλλειψη νερού που υπάρχει πλέον τόσο στον Ελλαδικό χώρο όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο κάτι που απαιτεί άμεσα μέτρα εξοικονόμησης και σωστής διαχείρισης των υδατικών πόρων, μέθοδοι ανακύκλωσης του νερού, πολιτικές με διάρκεια στο χρόνο για την προστασία και την διάθεση των υδάτων. Λύσεις στην έλλειψη του νερού αποτελεί σίγουρα η σωστή αποθήκευση του σε περιοχές όπου είναι δυνατόν αυτό, η κατασκευή εφαρμογών για την συγκέντρωση και την αποθήκευση του νερού των ποταμών και την μετέπειτα αξιοποίηση του και αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ή υφάλμυρου νερού. Αν υπολογίσει κανείς ότι το 97% του νερού πάνω στη γη είναι θαλασσινό, γίνεται εύκολο κατανοητό ότι η αφαλάτωση θαλασσινού για την παραγωγή πόσιμου νερού είναι η μόνη ουσιαστική και μακροχρόνια λύση στο πρόβλημα σε παγκόσμιο επίπεδο. Παράλληλα η εξέλιξη της τεχνολογίας με τη παράλληλη μείωση των τιμών, κάνει εύκολα αντιληπτό και κατανοητό γιατί η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού σε πόσιμο είναι μια ουσιαστική και μακροχρόνια λύση στο πρόβλημα σε παγκόσμιο επίπεδο. Χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι η αφαλάτωση δικαιολογεί την υπερβολική παραγωγή και την αλόγιστη χρήση του.

4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝ ΤΗΝ ΕΛΛΕΙΨΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Πέρα από τη διαθεσιμότητα του νερού σε μια περιοχή, υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η έλλειψη του νερού. Το μέγεθος ενός πληθυσμού καθώς και η δυναμική του τόσο σε πολιτικό όσο και οικονομικό επίπεδο. Μια μεγάλη κοινότητα, με καλό βιοτικό επίπεδο, οικονομικά ανεπτυγμένο, διαχειρίζεται καλύτερα τους πόρους που έχει. Αν κανείς σκεφτεί ότι υπάρχει περίπου 100 m³ ανά κάτοικο αποτελεί και σε μερικές περιοχές της Μεσογείου είναι περίπου 500 m³ ανά κάτοικο, κάτι τέτοιο δεν αποδεικνύει και την ανάπτυξη της ίδιας της κοινότητας. Ο πλούτος της ίδιας της κοινότητας επηρεάζει το τρόπο στάσης και χρηματοδότησης απέναντι στην ανάπτυξη και την επεξεργασία του νερού καθώς και σε θέματα περιβάλλοντος. Η οικονομία και ο πλούτος επίσης επηρεάζουν και τα επίπεδα της τεχνολογίας που είναι

διαθέσιμα σε μια κοινότητα. Το τοπικό κλίμα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο λόγω της επίδρασης στα ποσοστά εξάτμισης. Οι πολιτιστικές αξίες επίσης μπορούν να ασκήσουν σημαντική επίδραση όπως επίσης και οι πολιτικές δράσεις, που προαναφέρθηκε, και ενέργειες σε νομικό πλαίσιο τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.

5. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑ – Η ΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η αξιοποίηση ενός υδάτινου πόρου αποτελεί από μόνο του μια μεγάλη πρόκληση στην Ελλάδα σήμερα και ο κρίσιμος αυξάνεται ακόμη περισσότερο στη περίπτωση περιοχών με έντονα φαινόμενα λειψυδρίας. Μέχρι στιγμής οι πιο γνωστοί μέθοδοι προκειμένου κανείς να μπορέσει να εκμεταλλευτεί τις διαθέσιμες πηγές νερού είναι η μεταφορά νερού από τη μια περιοχή σε μια άλλη, την κατασκευή φραγμάτων και την αφαλάτωση.

- **Μεταφορά νερού**

Όπως υποδηλώνεται, μεταφορά νερού ονομάζεται η μεταφορά μιας μεγάλης ποσότητας νερού από τον αποστολέα (συνήθως την ΕΥΔΑΠ) μέσω πλοίων προς τον παραλήπτη (κάποιο νησί) που για χρειάζεται μια μεγάλη δεξαμενή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα μεγάλων νησιών είναι η Ίος και η Μήλος. Ακολουθούν νησιά όπως η Αμοργός, η Τήνος, η Φολέγανδρος, η Σίκινος κ.α.



Εικόνα 4 Πλοίο μεταφορικό νερού

Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτή της μεθόδου είναι το κόστος νερού που υπολογίζεται γύρω στα 5- 10 ευρώ – σε αυτό φυσικά καταμετράται και το περιβαλλοντικό κόστος των πλοίων κατά τη μεταφορά. Από την άλλη υπάρχει αμφιβολία για την ποιότητα του νερού που μεταφέρεται και φυσικά ιδιαίτερα σε περιόδους μεγάλης ζήτησης (θερινή σεζόν), δε είναι εφικτό να καλυφτούν πλήρως οι ανάγκες. Τέλος αλλά εξίσου σημαντικό, το πρόβλημα της αισχροκέρδειας που έχει παρατηρηθεί σε περιοχές όπου η έλλειψη νερού είναι έντονη.

- Κατασκευή φραγμάτων

Σε περιοχές όπου το έδαφος δεν είναι κατάλληλο για την αποθήκευση νερού (ανάγλυφο έδαφος, υψομετρικές διαφορές), είναι εφικτός η κατασκευή φραγμάτων. Τα φράγματα είναι ειδικές περιοχές όπου μπορεί να μένει το νερό που προέρχεται από έντονη βροχόπτωση και να αποφεύγεται η απευθείας μεταφορά κατεύθυνση του προς της θάλασσα.



Εικόνα 5 Το φράγμα στη Λίμνη Καρδίτσας, στη Θεσσαλία

Χαρακτηριστικά παραδείγματα φραγμάτων υπάρχουν σε πολλές περιοχές, όπως αυτό στην Καρδίτσα αλλά και σε νησιά όπως η Μύκονος, που είναι ένα σχετικό ξερό νησί και παρόλο την έντονη λειψυδρία που παρουσιάζει το νησί με δυο κατασκευές φραγμάτων είναι εφικτή η λύση της λειψυδρίας.

Τα αρνητικά αποτελέσματα αυτού φυσικά είναι το υψηλός κόστος και η υποδομή που χρειάζεται για κάτι τέτοιο. Καθώς επίσης και η σημαντική αλλοίωση που συμβαίνει στο ίδιο το περιβάλλον.

- Αφαλάτωση

Η αφαλάτωση που αποτελεί και κύριο θέμα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι ίσως η πιο σίγουρη για τη σωστή διαχείριση του νερού, όπου αυτό καθίσταται φυσικό. Κυριολεκτικά η αφαλάτωση είναι διεργασία αφαίρεση των αλάτων από αλατούχα ύδατα τα οποία μπορεί να είναι είτε το αλμυρό νερό της θάλασσας είτε υφάλμυρο νερό από κάποια πηγή.



Εικόνα 6 Ενιαία μονάδα αφαλάτωσης στη Μύκονο

Η διαδικασία της αφαλάτωσης είναι εφικτή με διαφορετικούς τρόπους . Η επιλογή της μεθόδου έχει να κάνει με πολλές παραμέτρους όπως η τοποθεσία , οι ειδικές καταστάσεις κάθε περιοχής , η διαθεσιμότητα της ενέργειας , η προέλευση του νερού (αλμυρό ή υφάλμυρο) κτλ. Γενικά δεν γίνεται να βγει ένα συμπέρασμα για το ποια μέθοδος αφαλάτωσης είναι η βέλτιστη . Η κάθε μέθοδος μπορεί να αξιολογηθεί μόνο με βάση τις δεδομένες απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος . Η “βέλτιστη” μέθοδος είναι σε κάθε περίπτωση αυτή που παράγει αξιόπιστα την ζητούμενη ποσότητα νερού στην αναμενομένη ποιότητα και με ένα αποδεκτό κόστος.

Γενικά, αφαλάτωση είναι η διεργασία διαχωρισμού αλάτων και νερού από υδατικά, αλατούχα διαλύματα και εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή καθαρού νερού για κάθε χρήση (οικιακή, βιομηχανική, αγροτική). Η αφαλάτωση ίσως αποτελεί την μμελλοντική ελπίδα της ανθρωπότητας, όχι πιθανώς για την παραγωγή γλυκού νερού σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν πηγές φυσικού νερού, αλλά για όλες τις περιοχές της γης και κυρίως για τα μμεγάλα αστικά κέντρα όπου το υπάρχον μλουσμένο νερό θα καθαρίζεται πλέον με μαι από τις μεθόδους αφαλάτωσης.

1. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ

1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης του νερού που χρησιμοποιούνται μέχρι στιγμής είναι οι εξής:

- **Η εξάτμιση – απόσταξη**

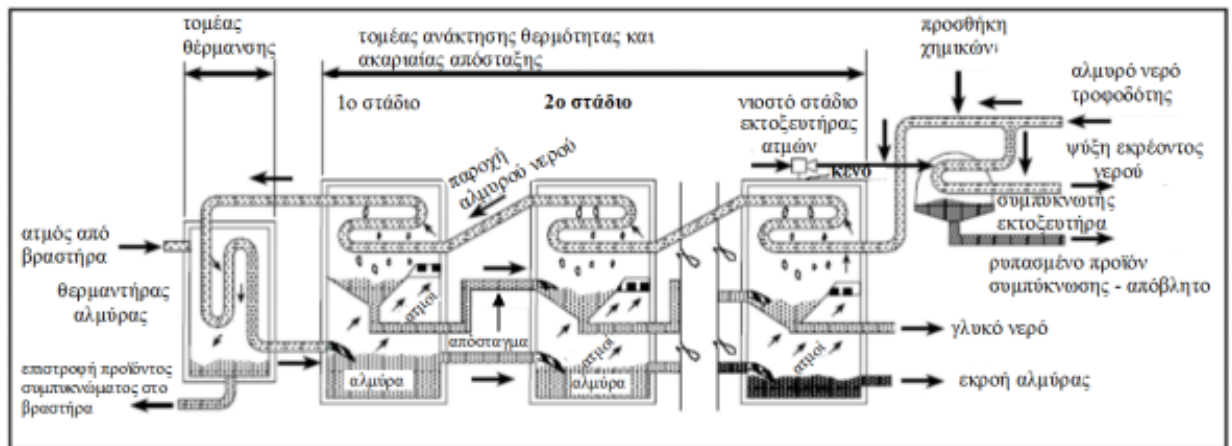
Για να βράσει το νερό χρειάζεται την κατάλληλη θερμοκρασία σε σχέση με την πίεση του περιβάλλοντος και επαρκή ενέργεια για την αμιδοποίηση του. Από τη στιγμή που σταματά ο βρασμός, αυτός μπορεί να επαναληφθεί μέσω είτε

1. της προσθήκης περισσότερης θερμότητας, είτε
2. της μείωσης της πίεσης του περιβάλλοντος πάνω από το νερό.

Εάν η πίεση του περιβάλλοντος μειωθεί, το νερό θα είναι σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο βρασμού και θα βράσει ως την αμιδοποίησή του μέσω της παρεχόμενης

Για τη σημαντική μείωση της απαιτούμενης ενέργειας η διαδικασία αφαλάτωσης με απόσταξη χρησιμοποιεί τον πολλαπλό βρασμό σε διαδοχικά δοχεία, καθένα από τα οποία λειτουργεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση. Η διαδικασία συνεχίζει με τη διαδοχική μείωση της πίεσης του περιβάλλοντος.

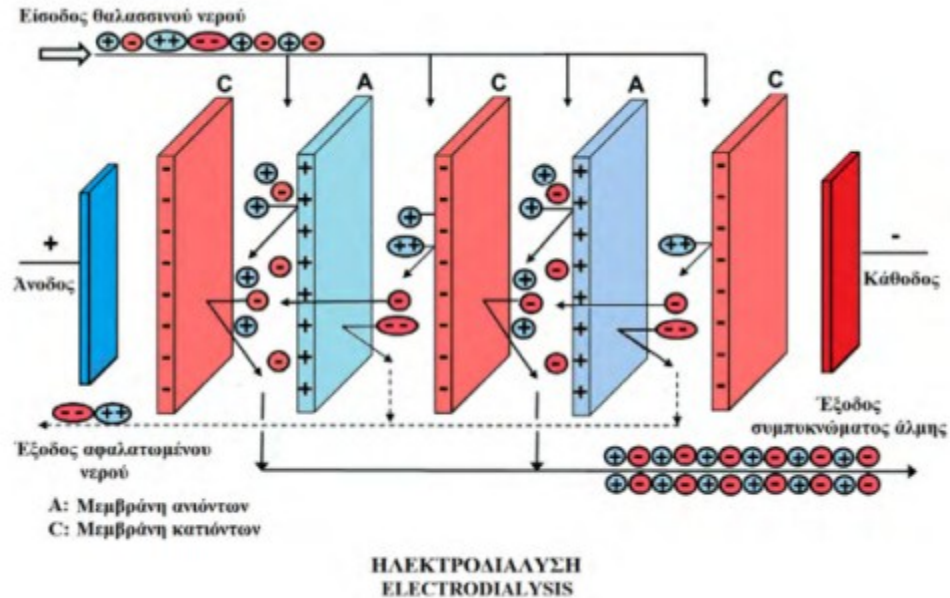
- **Απόσταξη πολλαπλών δοχείων (Multiple Effect Distillation)**



Εικόνα 1.1.1 Απόσταξη Πολλαπλών δοχείων

Χρησιμοποιείται σε μικρής έως μεσαίας κλίμακας μονάδες αφαλάτωσης. Η θερμότητα για την εξάτμιση του νερού προέρχεται από την συμπύκνωση των ατμών παρά από την άμεση ανταλλαγή από ατμό που παράγεται σε ένα βραστήρα. Δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη συμπύκνωση των ατμών 1. μηχανικός συμπιεστής και 2. εκτοξευτήρας ατμού.

- **Η ηλεκτροδιάλυση**



Εικόνα 1.1.2: Απεικόνιση της ηλεκτροδιάλυσης με τη βοήθεια των μεμβρανών. Το νερό εισέρχεται και μέσω των διαδοχικών μεμβρανών και την ανταλλαγή ιόντων εισέρχεται από την άνοδο και καταλήγει στην κάθοδο.

Πρόκειται για μια ηλεκτροχημική μέθοδος διαχωρισμού με τη βοήθεια μεμβρανών ηλεκτροδιάλυσης των διαλυτών συστατικών του νερού υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου. Βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και για τη παραγωγή αλατιού καθώς και στην επεξεργασία αποβλήτων βιομηχανικών μονάδων.

Υψηλή συγκέντρωση του νερού όταν εκτεθεί σε ηλεκτρικό πεδίο, τα κατιόντα του κινούνται προς την κάθοδο (αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο) και τα ανιόντα κινούνται προς την άνοδο (θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο). Εάν μεταξύ των ηλεκτροδίων τοποθετηθούν μια σειρά από μεμβράνες παράλληλα, άλλες φορές διαπερατές σε ανιόντα (ανιονικές μεμβράνες) και υπόλοιπες σε κατιόντα (κατιονικές μεμβράνες), δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο εναλλακτικά θάλαμοι με συγκέντρωση αλάτων μεγαλύτερη και μικρότερη της αρχικής. Μεμβράνες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως

πολυμερικές μεμβράνες ιοντοεναλλαγής (κατασκευασμένες συνήθως από PTFE) – σουλφονικές για τις αρνητικές φορτισμένες ομάδες και αμινομάδες για τις θετικά φορτισμένες ομάδες.

- **Η αντίστροφη ώσμωση**

1.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

Η αντίστροφη ώσμωση (RO), ως μια τεχνική αφαλάτωσης, έχει ως βάση τη μεμβράνη που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό διαλυμένων ουσιών (πχ. Ιοντικές ενώσεις) από ένα συγκεκριμένο διάλυμα (στη συγκεκριμένη εργασία, το νερό). Η μεμβράνη αποτελεί ως φραγμός κατ' επιλογήν, την οποία τα μόρια νερού διαπερνούν επιλεκτικά, συγκρατώντας διάφορα ιόντα που περιέχονται σε αυτό. Το σχήμα x.x απεικονίζει διαφορετικές μεθόδους φιλτραρίσματος όπως είναι η διήθηση και η μεμβράνη της αντίστροφης ώσμωσης και φαίνεται ότι οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης απομακρύνουν τα αιωρούμενα στερεά, εφόσον αυτά υπάρχουν και συγκεντρώνονται στην επιφάνεια της μεμβράνης απομακρύνοντας από την μεμβράνη.

1.3 ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ

Η αντίστροφη ώσμωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για να καθαρίσει το νερό είτε για να συγκεντρώσει και να ανακτήσει τα διαλυμένα στερεά στο νερό τροφοδοσίας (γνωστό ως "αφυδάτωση"). Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή του RO είναι να αντικαταστήσει την ανταλλαγή ιόντων, συμπεριλαμβανομένου του νατρίου, για να καθαρίσει το νερό για χρήση ως λέβητα για λέβητες χαμηλής και μέσης πίεσης, καθώς η ποιότητα του προϊόντος από ένα RO μπορεί να ανταποκριθεί άμεσα στο make- για τις πιέσεις αυτές. Για λέβητες υψηλότερης πίεσης και γεννήτριες ατμού, το RO χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ανταλλαγή ιόντων, συνήθως ως προ-επεξεργασία σε ένα σύστημα ανταλλαγής ιόντων δύο κλινών ή μεικτού στρώματος. Η χρήση του RO πριν από την ανταλλαγή ιόντων μπορεί να μειώσει σημαντικά τη συχνότητα των αναγεννημένων ρητινών και συνεπώς να μειώσει δραστικά την ποσότητα των αποβλήτων οξέος, καυστικής και αναγεννητικής που πρέπει να διακινούνται και να αποθηκεύονται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια δευτερεύουσα μονάδα RO στη θέση ανταλλαγής ιόντων για περαιτέρω καθαρισμό του προϊόντος από

μια μονάδα RO (βλ. Κεφάλαιο 5.3). Τα απόβλητα από το δεύτερο RO μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας ή μερικές φορές γυαλίζονται με ανταλλαγή ιόντων ανάμικτης κλίνης ή με συνεχή ηλεκτροαποικοδόμηση για να επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη καθαρότητα νερού προϊόντος

Άλλες κοινές εφαρμογές της RO περιλαμβάνουν:

1. Αφαλάτωση του θαλασσινού νερού για ανθρώπινη κατανάλωση. Αυτό είναι πολύ συχνό σε θαλάσσιες περιοχές και στη Μέση Ανατολή όπου η ποσότητα καθαρού νερού είναι περιορισμένη.

2. Παραγωγή νερού υψηλής καθαρότητας για την βιομηχανία της μικροηλεκτρονικής

3. Η παραγωγή νερού υψηλής καθαρότητας για τα φαρμακευτικά προϊόντα.

4. Παραγωγή νερού επεξεργασίας για ποτά (φρούτα, τρεχούμενο νερό, μπίρα).

5. Μεταποίηση γαλακτοκομικών προϊόντων.

6. Συγκέντρωση γλυκαντικών.

7. Επεξεργασία αποβλήτων για την ανάκτηση υλικών επεξεργασίας, όπως μέταλλα για τις βιομηχανίες φινιρίσματος μετάλλων, και βαφές που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων.

8. Ανανέωση υδάτων κοινοτικών και βιομηχανικών αποβλήτων.

1.4 ΣΤΑΔΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

Τα στάδια λειτουργίας της αντίστροφης ώσμωσης περιλαμβάνουν:

1. Τη προ κατεργασία του νερού τροφοδοσίας

2. Τη συμπίεση του προ κατεργασμένου νερού μέσω μιας αντλίας υψηλής πίεσης

3. Την αφαλάτωση του νερού μέσω της μεμβράνης σε μια μονάδα αντίστροφης ώσμωσης η οποία αποτελείται από περισσότερα στοιχεία αντίστροφης ώσμωσης



Εικόνα 1.4.1: Σύγχρονη μονάδα αντίστροφης ώσμωσης

4. Την μετά –επεξεργασία του αφαλατωμένου νερού (εφόσον είναι απαραίτητο)

Κατά την προ κατεργασία του νερού τροφοδοσίας, που γίνεται με λεπτό φίλτράρισμα και την προσθήκη οξέων ή άλλων χημικών που εμποδίζουν την καθίζηση, απομακρύνονται τα αιωρούμενα υλικά έτσι ώστε να μην αποτίθενται στη μεμβράνη καλλιέργειες μικροοργανισμών. Η πίεση που ασκείται κυμαίνεται από 17-27 bar (250-400 psi) για το υφάλμυρο νερό και 54-80 bar (800 –1180 psi) για το θαλασσινό νερό.

Σε αυτή τη πρωταρχική φάση στη διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης περιλαμβάνει μερικές φυσικές παραμέτρους του νερού, όπως είναι:

- Ο δείκτης πυκνότητας ιλύος (silt density index, SDI) για διάφορα κολλοειδή συστατικά
- Το χρώμα, pH και μέση θερμοκρασία άντλησης
- Τη περιεκτικότητα σε διάφορα βακτήρια
- Συγκέντρωση διάφορων αερίων, όπως το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο κ.λπ
- Τη ποσότητα συνολικά διαλυμένων στερεών σε αυτό (TDS)
- Διάφορα άλατα του νερού, όπως είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το κάλιο, το σίδηρο, το μαγγάνιο, το βάριο και στρόντιο, πυρίτιο, θειικά, νιτρικά, αμμωνία, φωσφορικά, φθοριούχα και χλωριούχα.

Η συναρμολόγηση της μεμβράνης αποτελείται από ένα δοχείο συμπίεσης και μία ανθεκτική μεμβράνη. Το δοχείο συμπίεσης επιτρέπει στο νερό τροφοδότη να συμπιέζεται προς την πλευρά της μεμβράνης. Καμία μεμβράνη δεν είναι τέλεια και

πάντοτε κάποιες μικρές ποσότητες αλάτων την διαπερνούν και εμφανίζονται στο παραγόμενο νερό. Οι πιο εμπορεύσιμες μεμβράνες είναι δύο: η spiral-wound και η hollow fine fiber που είναι κατάλληλες, τόσο για θαλασσινό νερό όσο και για υφάλμυρο νερό. Η κατασκευή μιας μεμβράνης ποικίλει με τον κατασκευαστή και με τον τύπο του νερού τροφοδότη. Η μετά-επεξεργασία συνίσταται στην απομάκρυνση του σουλφιδίου του υδρογόνου και στη ρύθμιση του pH.

Ο έλεγχος της τελικής ποιότητας του νερού, που φαίνεται στο τελευταίο στάδιο της αντίστροφης ώσμωσης, περιλαμβάνει διεργασίες κατά τις οποίες φαίνονται αν όλα τα ανωτέρα συστατικά που αναφέρθηκαν στο πρώτο στάδιο της αντίστροφης ώσμωσης δεν έχουν απομακρυνθεί ολικά ή έως ένα επιτρεπόμενο όριο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία προβλημάτων στην διεπιφάνεια μεμβράνης νερού, στην μεμβράνη και στα στοιχεία της μεμβράνης. Τα προβλήματα που μπορούν να προκαλέσουν είναι:

- Κατακάθεση στην επιφάνεια της μεμβράνης πολύ λεπτών σωματιδίων ή κολλοειδών συστατικών
- Διάφορες χημικές αντιδράσεις στην διεπιφάνεια μεταξύ μεμβράνης – νερού τροφοδότησης
- Επιθέματα (scaling) στην επιφάνεια μεμβράνης από υπέρβαση του ορίου διαλυτότητας ή από σχηματισμό αδιάλυτων αλάτων λόγω τοπικών αντιδράσεων
- Προσρόφηση από τις πολυμερείς ομάδες της μεμβράνης, διαφόρων μακρομορίων που περιέχονται στο νερό ή τον σχηματισμό λεπτού στρώματος ζελατίνης
- Φράξιμο λόγω της ύπαρξης πολύ λεπτών αιωρούμενων συστατικών, καναλιών κυκλοφορίας της άλμης κ.α

Την τελευταία δεκαετία αναπτύχθηκαν μεμβράνες οι οποίες μπορούν να λειτουργούν αποτελεσματικά σε συνθήκες χαμηλής πίεσης και συσκευές ανάκτησης της ενέργειας, (που μετατρέπουν την πτώση της πίεσης σε ενέργεια περιστροφής) οι οποίες επέτρεψαν τη μείωση του κόστους λειτουργίας της RO. Οι μεμβράνες χαμηλής πίεσης χρησιμοποιούνται ευρέως για την αφαλάτωση υφάλμυρων νερών. Οι συσκευές ανάκτησης, που είναι μηχανικές αντλίες ή τουρμπίνες, συνδέονται με την υψηλού περιεχόμενου σε άλατα ροή καθώς αυτή εγκαταλείπει το δοχείο συμπίεσης και η οποία χάνει μόλις 1-4 bar της αρχικής πίεσης του δοχείου συμπίεσης.

1.5 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

Μια από τις πρώτες καταγεγραμμένες προσπάθειες χρήση των ημιπερατών μεμβρανών έγινε το 1748 όταν ο Abbe Nollet παρατήρησε το φαινόμενο της ώσμωσης. Άλλες προσπάθειες έγιναν από τον Pfeffer και τον Traube, όπου μελέτησαν ωσμωτικά φαινόμενα χρησιμοποιώντας κεραμικές μεμβράνες το 1850. Παρόλο αυτά, η τωρινή τεχνολογία αναπτύχθηκε στις αρχές του 1940 όταν ο Dr. Gerald Hassler στο Πανεπιστήμιο της Καλιφορνίας ξεκίνησε την έρευνα του σχετικά με τις ωσμωτικές ιδιότητες της σελοφάνης το 1948. Εκείνη τη χρονιά, πρότεινε μια περιοχή αέρα (film air) που τοποθετείται μεταξύ δυο μεμβρανών από σελοφαν. Ο Hassler υπέθεσε ότι η ώσμωση λαμβάνει χώρα μέσω της εξάτμισης στη μια περιοχή της μεμβράνης ακολουθώντας το πέρασμα μέσω του κενού ως αέρα μέσω της συμπύκνωσης στην αντίθετη πλευρά της μεμβράνης, κάτι που όπως γνωρίζουμε σήμερα δε περιλαμβάνει την εξάτμιση αλλά πιθανότητα περιλαμβάνει τη διάχυση της διαλυμένης ουσίας στη μεμβράνη.

Το 1959 ο C.E Reid και E. J. Breton στο πανεπιστήμιο της Φλόριδα ανέδειξαν τις δυνατότητες αφαλάτωσης με μεμβράνη από κυτταρίνη. Συγκεκριμένα αξιολόγησαν διάφορες ημιπερατές πολυμερικές μεμβράνες πλούσιες σε υδρόφιλες μεμβράνες από υλικά, όπως το σελοφαν, το υδροχλωρικό καουτσούκ, το πολυστυρένιο και την οξική κυτταρίνη. Πολλά από αυτά τα υλικά δεν έδειξαν διαπεράση, κάτω από υψηλές τάσεις της τάξης των 800 psi έχοντας απόρριψη χλωριούχων ενώσεων κάτω από το 35%. Το εντυπωσιακό ήταν ότι οι μεμβράνες από οξική κυτταρίνη έδειξαν απορρίψεις χλωριδίων μεγαλύτερες του 96% ακόμη και σε πιέσεις μικρότερες του 400 psi. Οι ροές κυμαίνονταν από περίπου 2 γαλόνια ανά τετραγωνικό πόδι για μία μεμβράνη οξικού εστέρα κυτταρίνης πάχους 22 μικρομέτρων και μεγαλύτερα από 14 γαλόνια ανά τετραγωνικό πόδι για μεμβράνη πάχους 3.7 μικρών όταν δοκιμάστηκαν σε πίεση 600 psi σε ένα διάλυμα χλωριούχου νατρίου 0.1 M. Τα συμπεράσματα του Reid και Bretton ήταν ότι η οξική κυτταρίνη έδειξε τις απαιτούμενες ιδιότητες ημιπερατότητας για πρακτική εφαρμογή, αλλά απαιτούνταν βελτιώσεις στη ροή και στην ανθεκτικότητα όσον αφορά την εμπορική βιωσιμότητα.

Μια δεκαετία αργότερα των προσπαθειών του Dr. Hassler, ο Sidney Lob και ο Srinivasa Sourirajan από το πανεπιστήμιο του UCLA ακολούθησαν μια διαφορετική προσέγγιση από αυτή του Hassler όσον αφορά την ώσμωση και την αντίστροφη ώσμωση. Αυτή περιλάμβανε την άμεση συμπίεση ενός διαλύματος απευθείας σε μια επίπεδη πλαστική μεμβράνη. Η δουλειά αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη της πρώτης ασύμμετρης μεμβράνης οξικής κυτταρίνης το 1960. Η μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης είχε εμπορική βιωσιμότητα λόγω της σημαντικά βελτιωμένης ροής του, που ήταν 10 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη προσπάθεια. Στην αρχή στο εμπόριο εμφανίστηκαν ως επίπεδα φύλλα μέσω της χειροκίνητης χύτευσης, έπειτα έγινε η χύτευση σωληνωτών μεμβρανών.

Ακολουθούμενοι τον Loeb και τον Sourirajan, οι ερευνητές στα μέσα του 1960 και του 1970 έκαναν ραγδαία βελτίωση στην ανάπτυξη εμπορικά διαθέσιμων μεμβρανών για την αντίστροφη ώσμωση. Ο Harry Lonsdale, U. Merten και Robert Riley πρότειναν το μηχανισμό διάλυσης διάχυσης για το μοντέλο της μεταφοράς μάζας για μέσω των μεμβρανών της αντίστροφης ώσμωσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που μέχρι τότε οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνταν ήταν από οξική κυτταρίνη και το μοντέλο ήταν βασισμένο σε εμπειρικά δεδομένα, το ίδιο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις μεμβράνες από πολυαμίδιο. Κατανοώντας καλά τα φαινόμενα μεταφοράς, είναι πολύ χρήσιμο για τη σωστή ανάπτυξη νέων μεμβρανών με ακόμη καλύτερες αποδόσεις πυκνότητα ροής – απόρριψης.

Το 1971, η εταιρεία του E. I. Du Pont De Nemours πατένταρε την ιδέα ενός γραμμικού μόριου πολυαμιδίου πλούσιες σε ομάδες σουλφονικών οξέων και την οποία βγάλανε στο εμπόριο με το όνομα ως Permaser B-9 και B-10 μεμβράνες. Αυτές οι μεμβράνες είχαν μεγαλύτερη ροή νερού σε ελαφρώς χαμηλότερες πιέσεις από τις μεμβράνες οξικής κυτταρίνης και είχαν σχήμα λεπτών ινών και όχι σωληνοειδής ή φυλλώδης μορφή.

Οι μεμβράνες από οξική κυτταρίνη σε συνδυασμό με πολυαμίδιο έγινε το κυρίαρχο μοντέλο της βιομηχανίας μέχρι το 1972, όταν ο John Cadotte που ήταν στο ερευνητικό κομμάτι της North Star, προετοίμασε τη πρώτη σύνθετη μεμβράνη από πολυαμίδιο στη διεπιφάνεια. Αυτή η νέα μεμβράνη είχε υψηλότερη διαπερατότητα και χαμηλότερη απόρριψη διαλυμένων ουσιών σε χαμηλότερη λειτουργική πίεση από ότι οι

σημερινές μεμβράνης από οξική κυτταρίνη και τις γραμμικές αρωματικές πολυαμιδικές μεμβράνες. Έπειτα ο Cadotte ανέπτυξε μια πλήρως σύνθετη μεμβράνη στη διεπιφάνεια αποτέλεσμα της αντίδρασης με φαινυλενοδιαμίνη και τριμεσοϋλόχλωρίδιο. Αυτή η μεμβράνη έγινε το νέο πρότυπο της βιομηχανίας, γνωστή ως FT30 και ήταν η κύρια βάση για τη πλειοψηφία για τις μεμβράνες στο Dow Water and Process Solution'FilmTec.

Άλλες αξιοσημείωτες ανακαλύψεις στον τομέα της τεχνολογίας μεμβρανών περιλάμβαναν:

1963: Το πρώτο μοντέλο μεμβράνης σπειροειδούς περιελίξεως που αναπτύχθηκε από την General Atomics του Κόλπου (γνώστη ως Fluid Systems που τώρα ανήκει στην Koch Membrane Systems, στο Wilmington, MA) και αυξάνει τη πυκνότητα της συσκευασίας της μεμβράνης με σκοπό τη μείωση του μεγέθους

1965: Η πρώτη εμπορικά διαθέσιμη μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης έγινε από την εταιρεία της Raintree στην Κοαλίνγκα, της Καλιφόρνια. Οι σωληνοειδής μεμβράνες οξικής κυτταρίνης που αναπτύχθηκαν, προετοιμάστηκαν στο UCLA και ύστερα χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση. Έπειτα το υλικό για το σύστημα κατασκευάστηκε στο UCLA και μεταφέρθηκε αποσπασματικά στην εγκατάσταση.

1967: Η πρώτη εμπορικά διαθέσιμη μεμβράνη σε σχήμα κοίλο έγινε από την εταιρεία της Dupont. Αυτό το μοντέλο αύξησε περαιτέρω την δυνατότητα πακεταρίσματος των μεμβρανών.

1968: Πρώτη πολλαπλών φύλλων σε σπειροειδή μορφή που αναπτύχθηκαν από τον Don Bray και την ομάδα του στο Gulf General Atomic, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

1978: Οι πρώτες μεμβράνες FT-30 μεμβράνες πατενταρίστηκαν και αποδόθηκαν στην FilmTec.

1.6 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

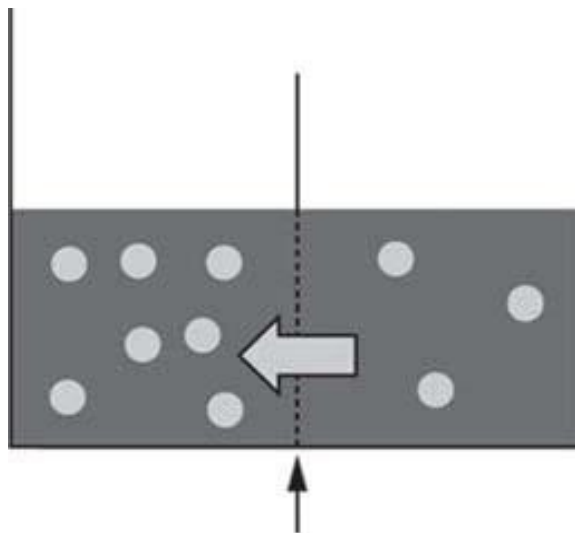
Η αντίστροφη ώσμωση είναι μια διαδικασία αφαλάτωσης που βασίζεται σε μια ημιδιαπερατή μεμβράνη για τον έλεγχο του διαχωρισμού (απομόνωση) των διαλελυμένων στερεών από ένα υγρό. Η ημιδιαπερατή μεμβράνη επιτρέπει στο υγρό και

μερικά ιόντα να περάσουν, αλλά διατηρεί το μεγαλύτερο μέρος των διαλυμένων στερεών (ιόντων). Αν και η αντίστροφη ώσμωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρκετούς διαλύτες, η πιο συχνή τους εφαρμογή γίνεται σε συστήματα με βάση το νερό – που αποτελεί και το βασικό θέμα της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Προκειμένου κανείς να καταλάβει τον τρόπο λειτουργίας της αντίστροφης ώσμωσης είναι αναγκαίο να κατανοήσει αρχικώς την ώσμωση γενικά.

1.7 ΩΣΜΩΣΗ

Η ώσμωση είναι μια φυσική διαδικασία όπου το νερό ρέει μέσω μια ημιδιαπερατής μεμβράνης από ένα διάλυμα με χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένων στερεών σε ένα διάλυμα με υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων στερεών.



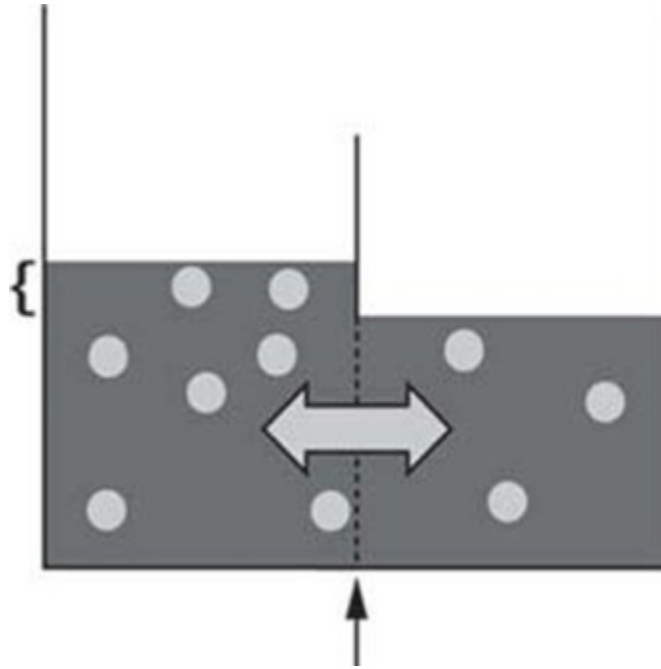
Ημιπερατή μεμβράνη

Εικόνα 1.7.1 : Η διαδικασία της ώσμωσης κατά την οποία το νερό ρέει από τη χαμηλότερη συγκέντρωση αλάτων στην υψηλότερη συγκέντρωση

Το διάλυμα διαχωρισμένο σε δυο περιοχές με κέντρο να βρίσκεται η ημιπερατή μεμβράνη. Το νερό μετακινείται από το διάλυμα χαμηλής συγκέντρωσης στη περιοχή με την υψηλή συγκέντρωση σε άλατα μέσω της ημιπερατής μεμβράνης.

Η μεμβράνη επιτρέπει το νερό και μερικά ιόντα να περάσουν μέσα από αυτό αλλά είναι αδιαπέραστο σε όλα τα υπόλοιπα στερεά που υπάρχουν μέσα στο διάλυμα. Ένα τμήμα περιέχει

(αριστερά) υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων στερεών ενώ το άλλο τμήμα έχει διάλυμα με χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένων στερεών (δεξιά). Το φαινόμενο της ώσμωσης είναι η διαδικασία όπου το νερό ρέει από τη περιοχή με τη χαμηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων στερεών προς αυτή την υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων στερεών. Το νερό θα συνεχίσει να ρέει προς αυτή τη κατεύθυνση μέσω της μεμβράνης μέχρι όπου η συγκέντρωση θα ισορροπήσει και στις δυο πλευρές της μεμβράνης.



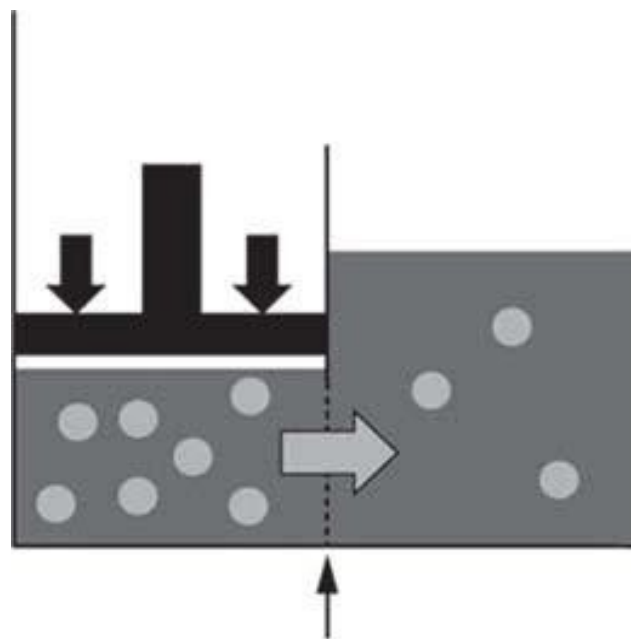
Εικόνα 1.7.2: Ισορροπία συγκεντρώσεων μεταξύ των δύο διαλυμάτων. Η διαφορά στο ύψος αναφέρεται στην πίεση που αναπτύσσεται στο διάλυμα.

Την στιγμή της ισορροπίας η συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών είναι ίδια και στις δυο περιοχές, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πλέον καθαρή ροή από τη μια περιοχή στην άλλη. Παρόλο αυτά η περιοχή η οποία είχε υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών, τώρα έχει υψηλότερη στάθμη νερού σε σύγκριση με τη περιοχή (της χαμηλότερης συγκέντρωσης διαλυμένων ουσιών). Η διαφορά ύψους που έχουν οι δυο περιοχές αντιστοιχεί στην ωσμωτική πίεση του διαλύματος στην φάση της ισορροπίας. Η ωσμωτική πίεση (τυπικά αντιπροσωπεύεται στη διεθνή βιβλιογραφία με το π , p_i) είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών. Τυπικές τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.6 έως 1.1 psi για κάθε 100 ppm ολικών διαλυμένων στερεών (TDS). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το υφάλμυρο νερό στα 1.500 ppm TDS,

με μια τιμή της ωσμωτικής πίεση περίπου στα 15 psi. Το θαλασσινό νερό στα 35.000 ppm, TDS, η τιμή της ωσμωτικής πίεσης είναι περίπου στα 350 psi.

1.8 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ

Ανάλογης φιλοσοφίας είναι και το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης, με τη διαφορά ότι στη περιοχή όπου υπάρχει υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών, η πίεση που ασκείται είναι μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση. Η συγκεκριμένη πίεση ωθεί το νερό να διαπεράσει τη μεμβράνη με κατεύθυνση αντίθετη από το φαινόμενο της πίεσης. Το νερό, δηλαδή, μετακινείται από τη περιοχή με την υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών προς την περιοχή με τη μικρότερη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών. Έτσι, το σχετικά καθαρό νερό διέρχεται από τη μια περιοχή στην άλλη, ενώ τα διαλυμένα στερεά συγκρατούνται στην άλλη περιοχή. Από τη μία δηλαδή το νερό καθαρίζεται ή απομεταλλείται και τα στερεά στην άλλη περιοχή συγκεντρώνονται ή αφυδατώνονται.



Εικόνα 1.8.1: Η διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης, κατά την οποία ασκείται μεγαλύτερη πίεση από την περιοχή με την υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών αναγκάζοντας το νερό να κινηθεί μέσω της ημιπερατής μεμβράνης προς την αντίθετη κατεύθυνση που θα κινούνταν στην ώσμωση.

Λόγω της υψηλής αντοχής που παρουσιάζουν οι μεμβράνες της αντίστροφης

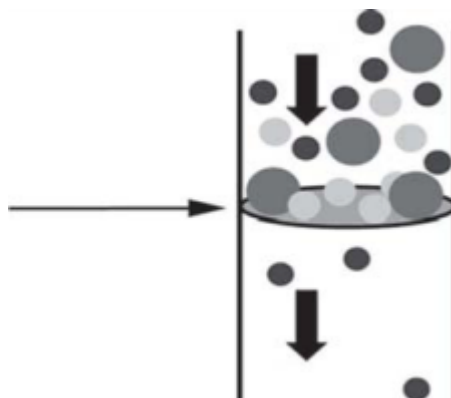
ώσμωσης, οι εφαρμοζόμενες πιέσεις που χρειάζονται για να γίνει η αντίστροφη ώσμωση είναι σημαντικά υψηλότερες από την ωσμωτική πίεση. Για παράδειγμα για το υφάλμυρο νερό TDS των 1500 ppm, οι λειτουργικές πιέσεις είναι μεταξύ 150 psi έως 400 psi. Ενώ για το θαλασσινό νερό είναι στα 35.000 ppm TDS, κάτι που αντιστοιχεί σε λειτουργικές πιέσεις ύψους 1.500 psi.

1.9 ΑΔΙΕΞΟΔΟ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (DEATH END FILTRATION)

Ο συγκεκριμένος τύπος διήθησης λέγεται και διήθηση αδιεξόδου (τελικής ροής ή άμεσης ροής). Η αδιεξοδος διήθησης περιλαμβάνει όλο το νερό τροφοδοσίας που διέρχεται μέσω της μεμβράνης αφήνοντας πίσω τα στερεά στην μεμβράνη.

Θεωρώντας ένα κοινό φίλτρο καφέ όπως φαίνεται στο σχήμα. Η τροφοδοσία του νερού αναμειγνύεται με τους κόκκους καφέ στη μια περιοχή του φίλτρου. Το νερό τότε διαπερνά το φίλτρο και γίνεται καφέ, με μεγάλες περιεκτικότητες σε κόκκους καφέ. Θεωρητικά όλο το νερό διαπερνά το φίλτρο του καφέ, προκειμένου ο καφές να δημιουργηθεί. Ένα ρεύμα εισροής, στη περίπτωση του νερού, παράγει μόνο ένα ρεύμα εκροής, σε αυτή τη περίπτωση ο καφές. Αυτό είναι το αδιεξοδο διήθησης.

Το αδιεξοδο διήθησης είναι μια συνολική διαδικασία. Αυτό σημαίνει ότι το φίλτρο θα συσσωρεύσει και τελικά θα γεμίσει με σωματίδια καφέ, μέχρι ωσότου το νερό να μη μπορεί να διαπεράσει το φίλτρο. Τότε το σύστημα φιλτραρίσματος θα χρειαστεί να βγει εκτός λειτουργίας και το φίλτρο τελικά θα θέλει καθάρισμα ή να αντικατασταθεί.



Εικόνα 1.9.2: Απεικόνιση του φιλτραρίσματος μεταξύ μέσω της μεμβράνης μεταξύ δυο διαφορετικών συγκεντρώσεων σε διαλυμένες ουσίες

Ένα ρεύμα εισροής, στη περίπτωση αυτή το νερό, παράγει μόνο ένα ρεύμα εκροής σε αυτή τη περίπτωση ταυτόχρονα. Αυτό είναι το αδιέξοδο διήθησης.



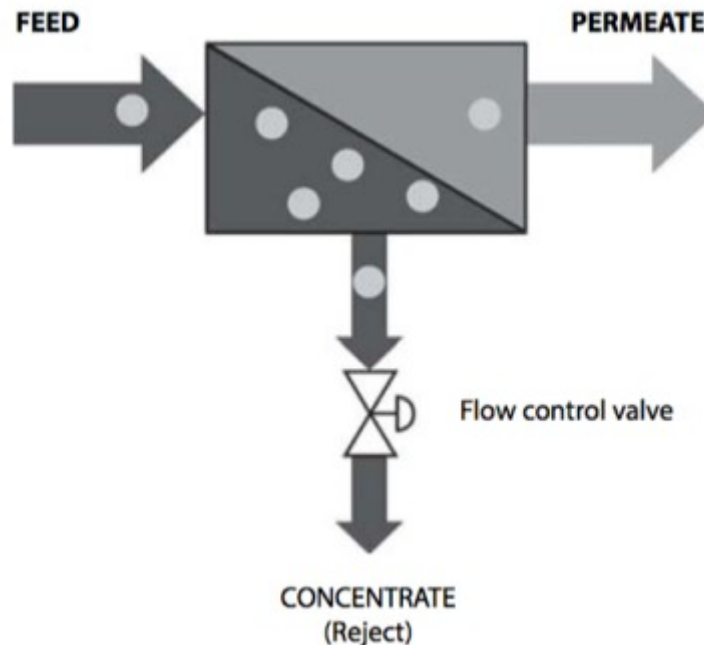
Εικόνα 1.9.3 Η διήθηση διασταυρούμενης ροής είναι μια συνεχής διαδικασία που παράγει δύο ρεύματα εκροής μέσω μιας πηγής τροφοδοσίας

Στη διήθηση διασταυρούμενης ροής, το νερό της τροφοδοσίας περνάει εφαπτομενικά επάνω από την επιφάνεια της μεμβράνης και όχι κάθετα σε αυτήν. Το νερό μαζί με τα διαλυμένα διαλύματα διέρχονται μέσω της μεμβράνης ενώ η πλειονότητα των διαλυμένων στερεών μαζί με ελάχιστη ποσότητα νερού δεν διέρχονται από τη μεμβράνη. Συνεπώς η διήθηση διασταυρούμενης ροής έχει ένα ρεύμα εισροής αλλά παράγει δυο ρεύματα εκροής.

Η εγκάρσια ροή βοηθά στην ελαχιστοποίηση της ρύπανσης που μπορεί να υποστεί η μεμβράνη της αντίστροφης ώσμωσης. Σε μια προσπάθεια η επιφάνεια να διατηρηθεί καθαρή από στερεά υπολείμματα, τα οποία μπορεί να συσσωρεύονται και να διογκώνουν την επιφάνεια της μεμβράνης, η εφαπτομένη ροή διαμέσω της επιφάνειας παρέχει δυνάμεις διάτμησης με αυτό τον τρόπο ώστε να διατηρείται καθαρή η επιφάνεια της μεμβράνης: ελάχιστα ποσά ροής κατά μήκος της μεμβράνης απαιτούνται προκειμένου να διατηρηθεί καθαρή καθόλου τη διάρκεια της διεργασίας.

Σε θεωρητικό επίπεδο η διασταυρούμενη ροή είναι μια συνεχής λειτουργία, καθώς η διαδικασία καθαρισμού κρατά την μεμβράνη σε σταθερή λειτουργία. Στη πράξη όμως διαφέρει, αφού η διασταυρούμενη ροή δεν είναι πάντα αρκετή ώστε να μη μολυνθεί η μεμβράνη. Περιοδικά οι μεμβράνες θα χρειαστεί να αφαιρούνται και να καθαρίζονται, όσο το υλικό έχει συγκεντρωθεί επάνω σε αυτό.

Το σχήμα δείχνει μια απλοποιημένη μορφή της διασταυρούμενης ροής και πώς λαμβάνει χώρα η αντίστροφη ώσμωση στη συγκεκριμένη περίπτωση. Η διαγώνια γραμμή μέσα στο ορθογώνιο αντιπροσωπεύει τη μεμβράνη. Αυτό το διάγραμμα δείχνει πώς το εισερχόμενο ρεύμα, με μια εφαρμογή της πίεσης μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος, χωρίζεται σε δυο ροές εκροής. Το διάλυμα που διέρχεται από τη μεμβράνη καλείται διήθημα ή προϊόν και το διάλυμα που συγκρατείται στη μεμβράνη ονομάζεται συμπύκνωμα, απόρριψη, απόβλητο, άλμη ή κατακράτημα. Η βαλβίδα ελέγχου ροής στο ρεύμα συμπύκνωσης παρέχει την αντίστροφη πίεση που απαιτείται για να προκληθεί αντίστροφη ώσμωση. Το κλείσιμο της βαλβίδας οδηγεί σε μια συνολική αύξηση της δύναμης της πίεσης και αντίστοιχα αυξάνεται την ποσότητα εισερχόμενο νερού που διέρχεται δια μέσω της μεμβράνης.



Εικόνα 1.9.4: Διήθηση διασταυρούμενης ροής με βαλβίδα ελέγχου

1.10 ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

Ένα σύστημα αντίστροφης ώσμωσης βαθμολογείται βάσει του ρυθμού ροής του προϊόντος αντίστροφης ώσμωσης. Για παράδειγμα ένα σύστημα αντίστροφης ώσμωσης 800gpm θα αποδώσει 800gpm διηθήματος. Οι ροές εισροής και απόρριψης τυπικά δεν

υποδεικνύονται εκτός από τις λεπτομέρειες σχεδίασης (συνήθως υπολογίζονται γνωρίζοντας το ρυθμό παραγωγής και το ποσοστό ανάκτησης).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η πραγματική τιμή της διαπερατότητας ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης μπορεί να διαφέρει η θεωρητική από την πραγματική τιμή. Στις περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις, το σύστημα αντίστροφης ώσμωσης υποβαθμίζεται από το σχεδιασμό εξαιτίας μια κακής πηγής νερού τροφοδοσία ή ως φυσικό αποτέλεσμα της χαμηλής θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΡΑΣΕΙΣ

2.1 ΑΝΑΚΤΗΣΗ

Η ανάκτηση (συχνά αναφέρεται και ως μετατροπή) περιγράφει το ποσοστό του νερού που διηθείται. Γενικά η ανάκτηση του νερού που μετατρέπεται σε ένα σύστημα αντίστροφη ώσμωσης κυμαίνεται από 50% έως 85% με την πλειονότητα των συστημάτων να κινούνται στο 75% της ανάκτησης (μεμονωμένα για τις σπειροειδής μεμβράνες το ποσοστό κυμαίνεται από 10 -15%). Η ανάκτηση για ένα σύστημα 75% σημαίνει ότι για κάθε 100 grm εισερχόμενου νερού, το 75% διηθείται και το 25grm παραμένει ως συμπύκνωμα.

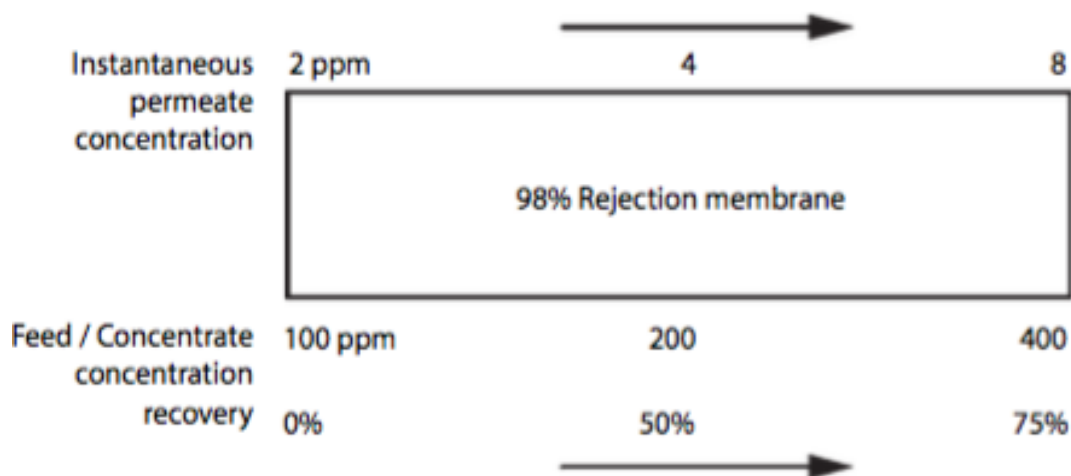
Η ανάκτηση υπολογίζεται με την ακόλουθη συνάρτηση

$$\% \text{ Ανάκτηση} = (\text{ροή διήθησης} / \text{ροή τροφοδοσίας}) * 100$$

Σε ένα ποσοστό 75% ανάκτησης, ο όγκος της συμπύκνωσης είναι το ένα τέταρτο του όγκου που εισέρχεται. Εάν υποτίθεται ότι η μεμβράνη συγκρατεί όλα τα διαλυτά στερεά, αυτά υποτίθενται ότι θα βρίσκονται στο ένα τέταρτο του όγκου του νερού. Συνεπώς η συγκέντρωση των συγκεντρωμένων διαλυμένων στερεών θα ήταν τέσσερις φορές εκείνης του εισερχόμενου ρεύματος (αφού δεν συγκρατούνται όλα τα διαλυμένα στερεά στην μεμβράνη, αλλά γίνεται κατά προσέγγιση). Αυτό λέγεται παράγοντας συγκέντρωσης. Σε μια ανάκτηση 50%, ο όγκος συγκέντρωσης θα ήταν το ένα τέταρτο του εισερχόμενου νερού. Σε αυτή τη περίπτωση, τα διαλυμένα στερεά θα είχαν ένα παράγοντα συγκέντρωσης ίσο με δύο, άρα ο παράγοντας συγκέντρωσης θα ήταν δύο. Ο πίνακας xx δείχνει το παράγοντα συγκέντρωσης ως συνάρτηση της ανάκτησης. Η κατανόηση της συγκέντρωσης της απόρριψης είναι σημαντική καθώς η πλευράς συμπυκνώματος της μεμβράνης είναι η περιοχή όπου συμβαίνει η ρύπανση και η απολέπιση.

Πίνακας 2.1: Παράγοντας συγκέντρωσης ως συνάρτηση της ανάκτησης

Ανάκτηση %	Παράγοντας συγκέντρωσης
50	2
66	3
75	4
80	5
83	6
87.5	8



Εικόνα 2.1.1: Στιγμαία συγκέντρωση διήθησης σε αναλογία με την ανάκτηση

Το υψηλότερο ποσοστό ανάκτησης έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη λιγότερο ποσοστό απόρριψης του νερού. Ωστόσο, η υψηλότερη ανάκτηση οδηγεί σε προϊόν χαμηλότερης καθαρότητας. Στο ενδιάμεσο άκρο της μεμβράνης, η συγκέντρωση εισροής είναι 100 ppm, ενώ το ποσοστό ανάκτησης είναι 0% και το ποσοστό διαλυμένων ουσιών που διαπερνούν τη μεμβράνη είναι 2% σε διαλυμένα στερεά. Το σωστό διήθημα σε αυτή τη φάση θα ήταν περίπου 2 ppm. Όσο το εισερχόμενο νερό περνάει όλο και περισσότερο την περιοχή της μεμβράνης, ανακτάται περισσότερο νερό. Σε ένα ποσοστό ανάκτησης 50% ο συντελεστής συγκέντρωσης είναι 2, οπότε το εισερχόμενο νερό έχει

τώρα συγκέντρωση περίπου 200 ppm. Το ποσοστό διαπεράσης σε αυτό το σημείο θα έχει πλέον συγκέντρωση 4 ppm. Κατά την ανάκτηση περίπου 75%, ο συντελεστής συγκέντρωσης είναι 4, οπότε το εισερχόμενο νερό θα έχει συγκέντρωση περίπου 400 ppm. Το νερό διαπεράσης σε αυτό θα έχει συγκέντρωση 8 ppm. Το συμπέρασμα που συνάγεται είναι ότι η υψηλότερη ανάκτηση του νερού, οδηγεί σε χαμηλότερη καθαρότητα του τελικού προϊόντος.

Ο σχεδιαστής της αντίστροφης ώσμωσης επιλέγει την ανάκτηση του συστήματος, αφού δεν είναι μια ιδιότητα της μεμβράνης. Χρειάζεται να κάνει τη βέλτιστη επιλογή μεταξύ της υψηλότερης ανάκτησης με αποτέλεσμα τη χαμηλότερη συγκέντρωση του νερού που οδηγεί σε νερό χαμηλότερης καθαρότητας.

Στην πράξη, η ανάκτηση του συστήματος αντίστροφης ώσμωσης ρυθμίζεται χρησιμοποιώντας τη βαλβίδα ελέγχου ροής που βρίσκεται στο ρεύμα συμπύκνωσης. Η αλλοίωση της βαλβίδας έχει ως αποτέλεσμα τη λειτουργία σε υψηλότερη πίεση, η οποία αναγκάζει να διαπερνά μεγαλύτερη ποσότητα νερού τη μεμβράνη σε αντίθεση με προς τα κάτω κατά μήκος της πλευράς τροφοδοσίας/ συμπυκνώματος της μεμβράνης η οποία οδηγεί σε υψηλότερη ανάκτηση.

Το ποσοστό ανάκτησης ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης καθορίζεται από τον σχεδιαστή. Η υπερβολή της αξιοποίησης στο σχεδιασμό μπορεί να έχει αρνητικά αποτελέσματα ως προς το χρόνο καλής λειτουργίας μεμβράνης (επιτάχυνση ρύπανσης), επειδή υπάρχει λιγότερη ποσότητα νερού για να καθαριστεί η μεμβράνη στην πλευρά του συμπυκνώματος. Το μικρότερο ποσοστό ανάκτησης κατά τον σχεδιασμό δε θα επηρεάσει αρνητικά την λειτουργία της μεμβράνης, αλλά ως αποτέλεσμα θα έχει μεγαλύτερος όγκο αποβλήτων το σύστημα της αντίστροφης ώσμωσης συνολικά.

2.2 ΑΠΟΡΡΙΨΗ

Η απόρριψη είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ποσοστό των εισερχόμενων ειδών που παραμένουν στην επιφάνεια της μεμβράνης. Για παράδειγμα 98% απόρριψης πυριτίου σημαίνει ότι η μεμβράνη θα κρατήσει το 98% διοξειδίου του

πυριτίου. Σημαίνει επίσης ότι το 2% του διοξειδίου του πυριτίου θα περάσει μέσω της μεμβράνης στο διαπερατό μέρος (γνωστό ως 'πέρασμα άλατος').

Η απόρριψη των δοθέντων υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\%Rejection = \left[\frac{C_f - C_p}{C_f} \right] * 100$$

Όπου το C_f = η εισερχόμενη συγκέντρωση ενός συγκεκριμένου συστατικού

C_p = η συγκέντρωση διήθησης ενός συγκεκριμένου συστατικού

Να σημειωθεί ότι για τον ακριβή υπολογισμό πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέση συγκέντρωση τροφοδοσίας που λαμβάνει υπόψη τόσο τη συγκέντρωση τροφοδοσίας όσο και τη συγκέντρωση όχι ως μόνο συγκέντρωση τροφοδοσίας σε ένα συγκεκριμένο σημείο.

Ουσιαστικά το πέρασμα άλατος το αντίθετο της απόρριψης:

$$\% \text{ Πέρασμα άλατος} = 100 - \% \text{ Απόρριψη}$$

$$\% \text{ Πέρασμα άλατος} = (C_p / C_f) * 100$$

Μερικές φορές είναι καλύτερο καταμετρείται ως απόδοση της μεμβράνης πρακτικά ως αυτό που διαπερνά τη μεμβράνη παρά ότι μένει επάνω στη μεμβράνη.

Η απόρριψη είναι η ιδιότητα της συγκεκριμένης τροφοδοσίας νερού και ενός συγκεκριμένου τύπου μεμβράνης. Ο πίνακας xx δείχνει μια γενική εικόνα της διακύμανσης των τιμών απόρριψης μια σειρά από μεμβράνες πολυαμιδίων. Να σημειωθεί ότι το ιοντικό φορτίο του συστατικού παίζει σημαντικό ρόλο στην απόρριψη από την ίδια τη μεμβράνη αντίστροφη ώσμωσης, αφού η απόρριψη πολυσθενών ιόντων είναι γενικά μεγαλύτερη από τα μονοσθενή ιόντα.

Συμπληρωματικά του ιοντικού φορτίου, η απόρριψη συγκεκριμένων στοιχείων στηρίζεται και στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά:

- Βαθμός διάστασης: γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η διάσταση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόρριψη. Όπως είναι για παράδειγμα τα ασθενή οξέα απορρίπτονται καλύτερα σε υψηλότερα τιμές του PH
- Μοριακό βάρος: γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το μοριακό βάρος, τόσο μεγαλύτερο είναι η απόρριψη. Για παράδειγμα η απόρριψη του ασβεστίου γίνεται με μεγαλύτερη ευκολία από το μαγνήσιο.

- Πολικότητα: γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι ο βαθμός της πολικότητας, τόσο μικρότερη είναι η τιμή της απόρριψης. Για παράδειγμα τα οργανικά απορρίπτονται ευκολότερα από το νερό.
- Βαθμός ενυδάτωσης: όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός της ενυδάτωσης, τόσο ευκολότερα γίνεται η απόρριψη. Για παράδειγμα τα χλωρίδια απορρίπτονται ευκολότερα από τα νιτρικά.
- Βαθμός μοριακής διακλάδωσης: γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η διακλάδωση, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόρριψη, για παράδειγμα η ισοπροπανόλη απορρίπτεται καλύτερα από την κανονική προπανόλη.

Πίνακας 3.2: Είδη διαφορετικών σύνθετων μεμβρανών από πολυαμίδια σε συνάρτηση με το ποσοστό απόρριψης

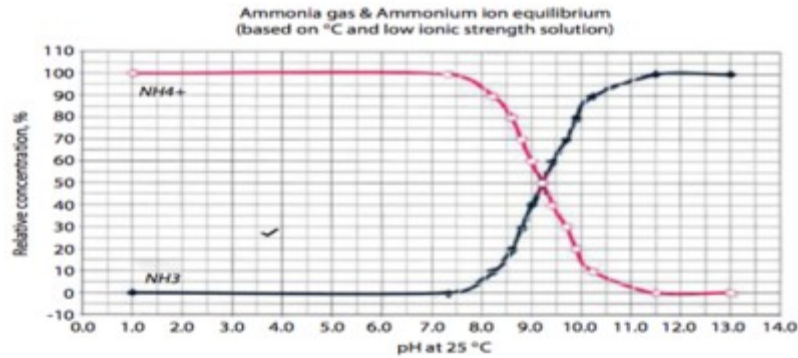
Είδος	Απόρριψη (%)
Νάτριο	92-98
Ασβέστιο	93-99+
Μαγνήσιο	93-98
Φώσφορος	92-96
Σίδηρος	96-98
Μαγγάνιο	96-98
Αλουμίνιο	96-98
Αμμώνιο	80-90
Χαλκός	96-99
Νικέλιο	96-98
Ψευδάργυρος	93-96
Άργυρος	94-97
Υδράργυρος	93-99
Χλωριούχο	96-99
Διτάνθρακικό νάτριο	96-99+
Θειικό άλας	92-95
Πυριτικό άλας	96-98

Φωσφορικό άλας	90-95
Βρωμιούχο	30-50
Βορικό αλάτι	85-95
Χρωμικό άλας	85-95
Κυανιούχο	90-99+

Η απόρριψη αερίων είναι 0% πράγμα που σημαίνει ότι η συγκέντρωση στη ροή διήθησης θα είναι ίδια με τις ροές εισροής και συμπύκνωσης. Τα αέρια που δεν απορρίπτονται, περιλαμβάνουν το ελεύθερο χλώριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απολύμανση του νερού της τροφοδοσίας της αντίστροφης ώσμωσης μέσω του συστήματος προ επεξεργασίας και του διοξειδίου του άνθρακα. Τα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης λειτουργούν σχεδόν σε ουδέτερο pH θα έχουν μερική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στο νερό τροφοδοσίας. Αφού τα αέρια δεν απορρίπτονται από τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης, τόσο στη διήθηση όσο και της συγκέντρωσης οι ατμοί θα περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα. Προκειμένου να αποφευχθεί το πρόβλημα καθαρότητας της μεμβράνης, πολλές φορές στη τροφοδοσία νερού προστίθεται μικρή ποσότητα καυστικού νατρίου, με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η ανταλλαγή ιόντων. Κατά αυτό τον τον τρόπο το διοξείδιο του άνθρακα που δεν συγκρατείται από τη μεμβράνη, μετατρέπεται σε Διπάνθρακικό αλάτι, το οποίο μπορεί και συγκρατείται. Αξίζει να σημειωθεί ότι η προσθήκη καυστικού νατρίου προϋποθέτει την ύπαρξη νατρίου, κάτι που αφαιρεί τη σκληρότητα του νερού (όπως πχ το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το βάριο και το στρόντιο). Χωρίς αυτή τη προσθήκη, η απότομη αύξηση του pH θα δημιουργήσει πρόβλημα στις μεμβράνες, αφού θα αυξηθεί απότομα το pH του συνολικού διαλύματος.

Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται σταθερό το pH στην αντίστροφη ώσμωση, αφού το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί και διαπερνά τη μεμβράνη ενώ το οξικό ανθρακικό νάτριο δε μπορεί. Οι διαφορετικές αναλογίες μεταξύ διοξειδίου του άνθρακα και οξικού ανθρακικού νατρίου έχει ως αποτέλεσμα τη σταθερό περιβάλλον του διαλύματος .

Ένα ακόμη αέριο το οποίο διαπερνά τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης είναι η αμμωνία. Η αμμωνία χρησιμοποιείται στις επεξεργασίες λυμάτων των βιομηχανικών περιοχών ή των αστικών λυμάτων, όπως επίσης και στο νερό που έχει υποστεί τροφοδοσία με χλωραμίνη.



Εικόνα 2.2.1: Διάγραμμα απεικόνισης της συγκέντρωσης της αμμωνίας και του αμμώνιου ως συνάρτηση του pH (25°C)

Η εικόνα 2.2.1 δείχνει τις σχετικές συγκεντρώσεις αέριας αμμωνίας και ιόντων αμμώνιου σε συνάρτηση με το pH. Σε μια τιμή του pH περίπου στο 9.3, η ποσότητα της αμμωνίας μέσα στο διάλυμα είναι κατά το μισό ως αέρια αμμωνία και το υπόλοιπό ως ιόντα αμμώνιου. Ενώ το αέριο δε μπορεί να απορριφθεί από τη μεμβράνη, τα ιόντα αμμώνιου μπορούν κατά 80%, με ένα συνολικό αποτέλεσμα απόρριψης μικρότερη από το 50%. Προκειμένου να γίνει μια μεγαλύτερη απόρριψη αμμωνίας, το pH του νερού πρέπει να είναι μικρότερο από 7 – 7.5 όπως προκύπτει από την εικόνα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η αέρια αμμωνία διογκώνει τις πολυαμιδικές μεμβράνες, κάτι που προκαλεί μείωση στη συγκράτηση των συγκεντρώσεων αλάτων. Είναι εύκολο κανείς να αυξήσει τη δυνατότητα συγκράτησης αλάτων, απλά πειράζοντας λίγο το pH του διαλύματος, το οποίο όμως όταν επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα, οι συγκεντρώσεις που θα συγκρατούνται στις μεμβράνες θα επιστρέψουν στο φυσιολογικό. Έχει παρατηρηθεί αρκετές φορές ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η επεξεργασία του νερού να γίνεται με χλωραμίνη, όταν υπάρξει διακοπή στο σύστημα αφαλάτωσης, το τελικό προϊόν να είναι πλούσια σε αλάτι (περιπτώσεις Ph μεγαλύτερες του 8). Έτσι, αν σε μια μονάδα αφαλάτωσης παρατηρηθεί μείωση της διαπεραστικότητας του νερού, οι υπάλληλοι της μονάδας θα πρέπει να δουν αν χρησιμοποιούν χλωραμίνη για την επεξεργασία του νερού.

2.3 ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (FLUX)

Η συνολική παροχή του νερού ανά μονάδα επιφάνειας της μεμβράνης (flux) είναι:

$$J = k_a a (\Delta P - \Delta \Pi) + k_b (1 - a) \Delta P \quad (2.1)$$

όπου J : ογκομετρική παροχή νερού ανά μονάδα επιφάνειας ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{s})$)

k_a, k_b : συντελεστής διαπερατότητας για την ιδανική και μη ιδανική περιοχή αντιστοίχως ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{s Pa})$)

a : κλάσμα επιφάνειας της μεμβράνης που καλύπτεται από ιδανικές περιοχές

ΔP : διαφορά πίεσης μεταξύ τροφοδοσίας και επεξεργασμένου νερού (Pa)

$\Delta \Pi$: διαφορά ωσμωτικής πίεσης μεταξύ τροφοδοσίας και επεξεργασμένου νερού (Pa)

Είναι προφανές ότι η συνολική ροή του νερού αποτελείται από την ροή μέσω των ιδανικών περιοχών, η οποία είναι ανάλογη της διαφοράς $(\Delta P - \Delta \Pi)$ και την ροή μέσω των μη ιδανικών περιοχών, η οποία είναι ανάλογη της ΔP .

Ορίζοντας τον συντελεστή ολικής διαπερατότητας της μεμβράνης (k) ως:

$$k = k_a a + k_b (1 - a) \quad (2.2)$$

η εξ. (2.1) παίρνει την μορφή:

$$J = k(\Delta P - \sigma \Delta \Pi) \quad (2.3)$$

όπου σ : συντελεστής αντανάκλασης (reflection coefficient) μεμβράνης ίσος με

$$\frac{k_a a}{k_a a + k_b (1 - a)}$$

Στην πράξη, οι συντελεστές (k) και (σ) προσδιορίζονται πειραματικά με δοκιμές σε πιλοτικές μονάδες. Για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών (και οικονομικά βιώσιμων) μονάδων αντίστροφης ώσμωσης, ο συντελεστής (σ) πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 0.99.

Η θεωρία του ψηφιδωτού προβλέπει επίσης ότι τα άλατα που διαφεύγουν στο επεξεργασμένο νερό διέρχονται μόνο διαμέσου των μη ιδανικών περιοχών. Έτσι, η παροχή των αλάτων είναι:

Η θεωρία του ψηφιδωτού προβλέπει επίσης ότι τα άλατα που διαφεύγουν στο επεξεργασμένο νερό διέρχονται μόνο διαμέσου των μη ιδανικών περιοχών. Έτσι, η παροχή των αλάτων είναι:

$$S = k_s(1-\sigma)\Delta P c_F \quad (2.4)$$

όπου S : μαζική παροχή αλάτων ανά μονάδα επιφάνειας ($\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ή $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s})$)

c_F : συγκέντρωση αλάτων στην τροφοδοσία (mol/m^3 ή kg/m^3)

Διαιρώντας την εξ. (2.4) με την συνολική παροχή του νερού (εξ. (2.3)) και από τον ορισμό των (k) και (σ) , προκύπτει η συγκέντρωση των αλάτων που διαφεύγουν στο επεξεργασμένο νερό (c_p):

$$c_p = \frac{k_s(1-\sigma)}{k} \frac{\Delta P c_F}{\Delta P - \sigma \Delta \Pi} = (1-\sigma) \frac{\Delta P c_F}{\Delta P - \sigma \Delta \Pi} \quad (2.5)$$

Θεωρώντας ιδανικά διαλύματα NaCl, η ωσμωτική πίεση δίνεται από την εξ. (2.6)

εξής:
$$\Delta \Pi = 2RT \Delta c = 2RT(c_F - c_p) \quad (2.6)$$

Αντικαθιστώντας την εξ. (2.5) στην εξ. (2.6) και αναδιατάσσοντας τους όρους προκύπτει:

$$2\sigma RT c_p (c_p - c_F) + \Delta P (c_p - c_F) + \sigma \Delta P c_F = 0 \quad (2.7)$$

Ορίζοντας τον συντελεστή κατακράτησης άλατος (λ) ως:

$$\lambda = \frac{c_F - c_p}{c_p} \quad (2.8)$$

προκύπτει η τελική μορφή της εξίσωσης:

$$\sigma = \frac{\lambda}{1 - \frac{2\lambda RT c_F}{\Delta P}} \quad (2.9)$$

Η τιμή του συντελεστή (σ) προσδιορίζεται απευθείας βάσει της εξ. (2.9) από δεδομένα που έχουν προκύψει από πειραματικές μετρήσεις σε πιλοτικές μονάδες αντίστροφης ώσμωσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής μεταφοράς νερού είναι μοναδικός για μια δεδομένη μεμβράνη αλλά δεν είναι σταθερός: εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία. Επίσης η σταθερά μερικές μεμβράνες πολυαμιδίου αλλάζει με το pH.

Ο σχεδιαστής της διάταξης της αντίστροφης ώσμωσης επιλέγει το ρυθμό ροής: δεν είναι απαραίτητα χαρακτηριστικό των μεμβρανών. Χρειάζεται η ροή που έχει σχεδιαστεί να είναι άμεσα συνάρτηση της ποιότητας του νερού που επιλέγει ο κάθε σχεδιαστής. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η υψηλότερη ροή, επιταχύνει και την ρύπανση των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται. Έτσι όσο χαμηλότερη είναι η ποιότητα του εισερχόμενου νερού, τόσο χαμηλότερη θα είναι η ροή λειτουργίας που απαιτείται για την διάταξη της αντίστροφης ώσμωσης.

Η ειδική ροή μερικές φορές αναφέρεται σε σύγκριση με επιδόσεις άλλων τύπων μεμβρανών με ένα άλλο, αφού δε δοκιμάζονται με όλες τις μεμβράνες στην ίδια πίεση. Η συγκεκριμένη ροή προσεγγίζεται λαμβάνοντας τη συνολική ροή του συστήματος και διαιρώντας με την εφαρμοζόμενη πίεση:

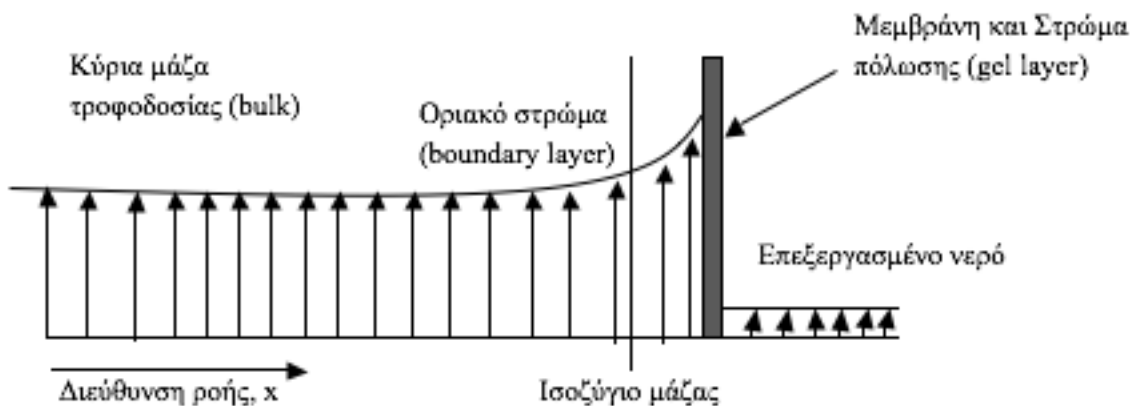
$$\text{Ειδική ροή} = \text{Ροή} / \text{Εφαρμοζόμενη πίεση}$$

Πίνακας 2.3.1 Ογκομετρική παροχή ανά μονάδα επιφάνειας νερού ως συνάρτηση του εισερχόμενου νερού

Τροφοδοσία νερού	SDI	Προτεινόμενη ροή, gfd *
Διήθηση αντίστροφη ώσμωσης	<1	21-25
Νερό	<3	14-16
Επιφανειακή ροή	<3	12-14
Επιφανειακή ροή	<5	10-12
Προ επεξεργασία μικροδιήθησης	<3	10-14
Συμβατική μικροδιήθηση	<5	8-12

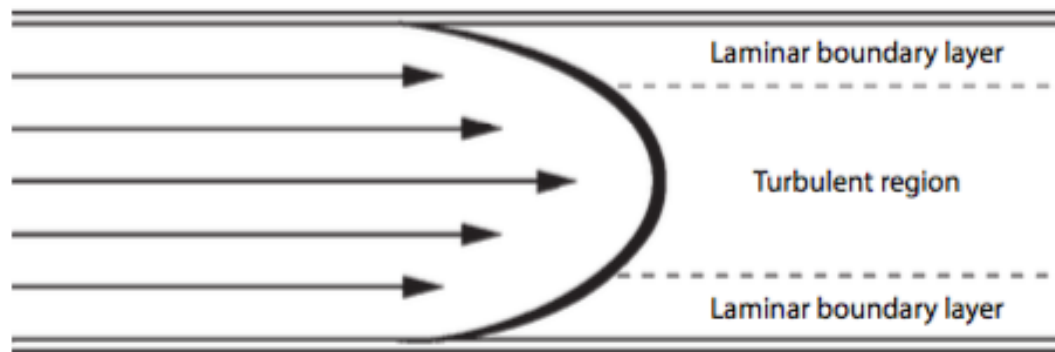
Κατά τη σύγκριση των μεμβρανών, όσο υψηλότερη είναι η ειδική ροή τόσο χαμηλότερη είναι η πίεση που εφαρμόζεται για τη λειτουργία του συστήματος αντίστροφης ώσμωσης. Η ειδική ροή γενικά αναφέρεται ως διαπερατότητα της μεμβράνης.

2.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΠΟΛΩΣΗΣ



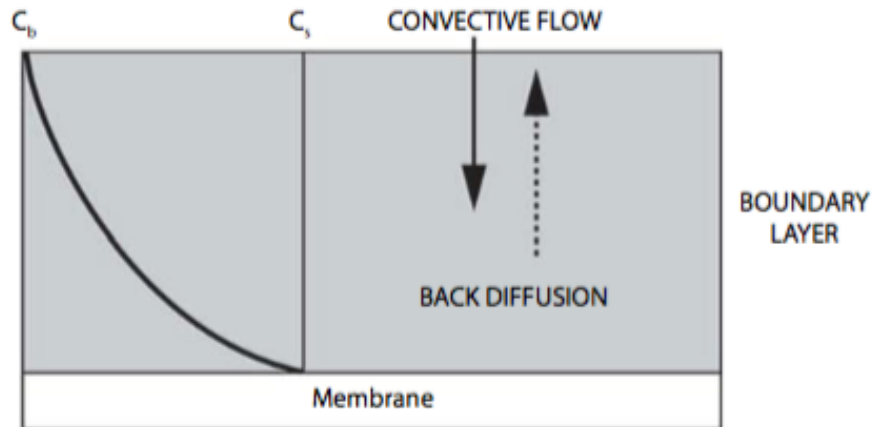
Εικόνα 2.4.1: Απεικόνιση του φαινομένου της συγκέντρωση πό

Η συγκέντρωση πόλωσης έχει αρνητική επίδραση στον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης, όπως και άλλων διαδικασιών διαχωρισμού μεμβράνες. Ουσιαστικά πρόκειται ένα φαινόμενο μεταφοράς μάζας, το οποίο οδηγεί στο σχηματισμό ενός στρώματος πόλωσης με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης.



Εικόνα 2.4.2: Οριακό στρώμα κατά τη διάρκεια της ροής σε κυλινδρικούς σωλήνες

Το στρώμα αυτό δημιουργεί μια πρόσθετη αντίσταση στη ροή διαμέσου της μεμβράνης και αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στη διεργασία και γίνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος αφορά την παρεμπόδιση της ροής νερού διαμέσου της μεμβράνης. Ο δεύτερος προκύπτει με τη συσσώρευση διαλυμένων ουσιών, τα οποία αυξάνουν την ωσμωτική πίεση εντός του οριακού στρώματος, μειώνοντας έτσι τη δύναμη που έχει το νερό για να διαπεράσει την μεμβράνη. Τρίτον, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών στην επιφάνεια της μεμβράνης σε σχέση με το διάλυμα οδηγεί σε μεγαλύτερη διέλευση διαλυμένων ουσιών σε σχέση με τη προβλεπόμενη που προκύπτει από την τροφοδοσία νερού. Αυτό συμβαίνει επειδή η μεμβράνη της αντίστροφης ώσμωσης απορρίπτει τις διαλυμένες ουσίες με βάση τη συγκέντρωση του άλατος. Εάν η συγκέντρωση μιας συγκεκριμένης ουσίας είναι υψηλότερη στην επιφάνεια της μεμβράνης όπως συμβαίνει με τη συγκέντρωση πόλωσης, η ποσότητα της διαλυμένης ουσίας που θα διέρχεται μέσα στο διήθημα θα είναι υψηλότερη από την αναμενόμενη ποσότητα της διαλυμένης ουσίας.



Εικόνα 2.4.3: Συγκέντρωση πόλωσης, όπου το C_b είναι η κύρια συγκέντρωση και C_s είναι η συγκέντρωση στην επιφάνεια της μεμβράνης

Η πραγματική απόρριψη και το πέρασμα των αλάτων που προκύπτει από τη μεμβράνη δεν αλλάζει. Παρόλο είναι εμφανής η αναλογία διέλευσης/ πέρασμα. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι υπάρχει τυφλή συγκέντρωση πυριτίου ίση με 10 ppm, ενώ η συγκέντρωση της επιφάνειας της μεμβράνης είναι 11.5 ppm. Ένα το ποσοστό της απόρριψης είναι 98% η ποσότητα της συγκέντρωσης πυριτίου που αναμένεται να βρίσκεται στο διήθημα είναι περίπου 0.20 ppm. Παρόλο αυτά η μεμβράνη 'βλέπει' 11.5 ppm, οπότε η πραγματική τιμή της διέλευσης του άλατος είναι 2% των 11.5 ppm, ή 0.23 ppm. Η πραγματική τιμή της απόρριψης είναι ακόμη 98% ενώ η εμφανής απόρριψη 97.7%.

2.5 BETA

Ο παράγοντας βήτα, *beta*, ονομάζεται συντελεστής πόλωσης της συγκέντρωσης και είναι η αναλογία της συγκέντρωσης ενός είδους στην επιφάνεια της μεμβράνης προς αυτό του τυφλού διαλύματος. Με άλλα λόγια ο παράγοντας βήτα, είναι ένας τρόπος ποσοτικοποίησης της πόλωσης της συγκέντρωσης.

Όσο μεγαλύτερη είναι τιμή του παράγοντα *beta*, τόσο πιο πιθανό είναι οι μεμβρανών να φουσκώνουν. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή βήτα, τόσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών πάνω στην επιφάνεια. Εάν η συγκέντρωση στην επιφάνεια αυξηθεί αρκετά, μπορεί να προέλθει κορεσμός και να

ξεκινήσει η καταστροφή της μεμβράνης. Οι μέγιστες τιμές που μπορεί να έχει η τιμή βήτα είναι από 1.0 έως 1.2.

Ο παράγοντας βήτα, beta, δεν είναι μια ιδιότητα της μεμβράνης: σχετίζεται με τον τρόπο σχεδιασμού του συνολικού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας βήτα σχετίζεται με το πόσο γρήγορα το εισερχόμενο ρεύμα νερού διαπερνά το σύστημα της αντίστροφης ώσμωσης. Εάν το νερό βγαίνει πολύ γρήγορα από το ρεύμα νερού, ο παράγοντας βήτα αυξάνει, καθώς αφήνει πίσω του μια μεγάλη ποσότητα διαλυμένων ουσιών καθώς το νερά διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης. Η συγκέντρωση πόλωσης διογκώνει περαιτέρω το πρόβλημα λόγω της ανταλλαγή διαλυμένων ουσιών μέσω της μεμβράνης.

2.6 ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΙΣ (FOULING)

Ο σχηματισμός επικαθίσεων στη μεμβράνη είναι πολύπλοκο πρόβλημα και αφορά έναν σύνολο στερεών, οργανικών, ή άλλων μικροβίων στην επιφάνεια της μεμβράνης.

Πιο συγκεκριμένα οι επικαθίσεις περιλαμβάνουν:

- Κολλοειδή όπως η αλούμινα και ο πυριτιούχος σίδηρος. Το πυρίτιο μπορεί να συσσωρευτεί σε μικρή συγκέντρωση κάτω το σημείο κορεσμού που υπάρχουν σε διάφορα μέταλλα, όπως το ασβέστιο, το αλουμίνιο ή ο σίδηρος
- Διάφορα οργανικά, που αποτελεί τροφή για διάφορα μικρόβια και βακτήρια
- Το ίδιο το χρώμα, το οποίο απορρόφα αντιστρεπτά μέσα στη πολυμερική μεμβράνη
- Άλλα μέταλλα όπως ο σίδηρος και το μαγγάνιο τα οποία καθιζάνουν μόλις οξειδώνονται. Επίσης το υδροσουλφόλιο το οποίο εκλύει διάφορες στοιχειακές ενώσεις θείου/ σιδήρου κατά την οξείδωση, τα οποία δύσκολα αφαιρούνται από τη μεμβράνη

Ακόμα και στις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, σταδιακά μια μεμβράνη χάνει την αποδοτικότητα της λόγω μόνιμων επικαθίσεων (π.χ. καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου), προερχόμενων από την διεργασία για την οποία χρησιμοποιήθηκε. Η κακή συντήρηση μιας μεμβράνης (υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων, ανεπαρκής καθαρισμός μετά από κάθε κύκλο διήθησης κ.α.) μπορούν να επιταχύνουν σημαντικά την καταστροφή της μεμβράνης λόγω επικαθίσεων. Τα φαινόμενα επικαθίσεων μπορούν

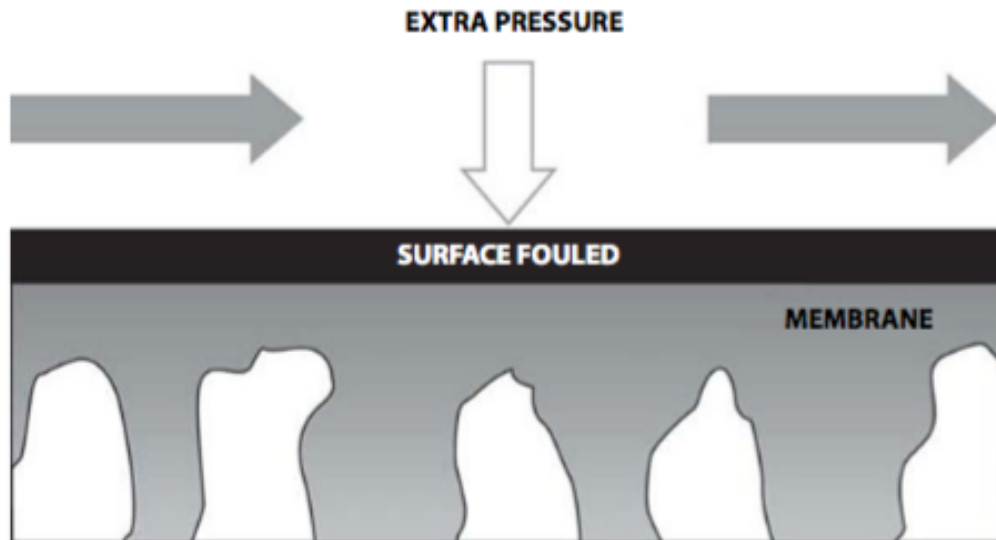
να μειώσουν δραστικά την αποδοτικότητα της διεργασίας καθώς προκαλούν προβλήματα όπως η μείωση της παροχής, χαμηλής ποιότητας διήθημα και σταδιακή καταστροφή της μεμβράνης. Οι επικαθίσεις μπορούν να μειωθούν με την κατάλληλη επιλογή του υλικού κατασκευής της μεμβράνης ή με την εφαρμογή προ επεξεργασίας, είτε με την κατάλληλη τροποποίηση των συνθήκων λειτουργίας της μεμβράνης.

Είδος	Μονάδα μέτρησης	Τιμή
Διάφορα στερεά	Θολότητα	<1 NTU
Κολλοειδή	SDI	<5
Μικρόβια	Χρήση διαφανειών	<1000 CFU/ ml
Οργανικά	Συγκέντρωση TOC	< 3 ppm
Χρώμα	Μονάδες χρώματος	< 3 APHA
Μέταλλα: σίδηρο, μαγγάνιο, αλουμίνιο	Συγκέντρωση	<0. 05 ppm
Υδρόθειο	Συγκέντρωση	<0.1 ppm

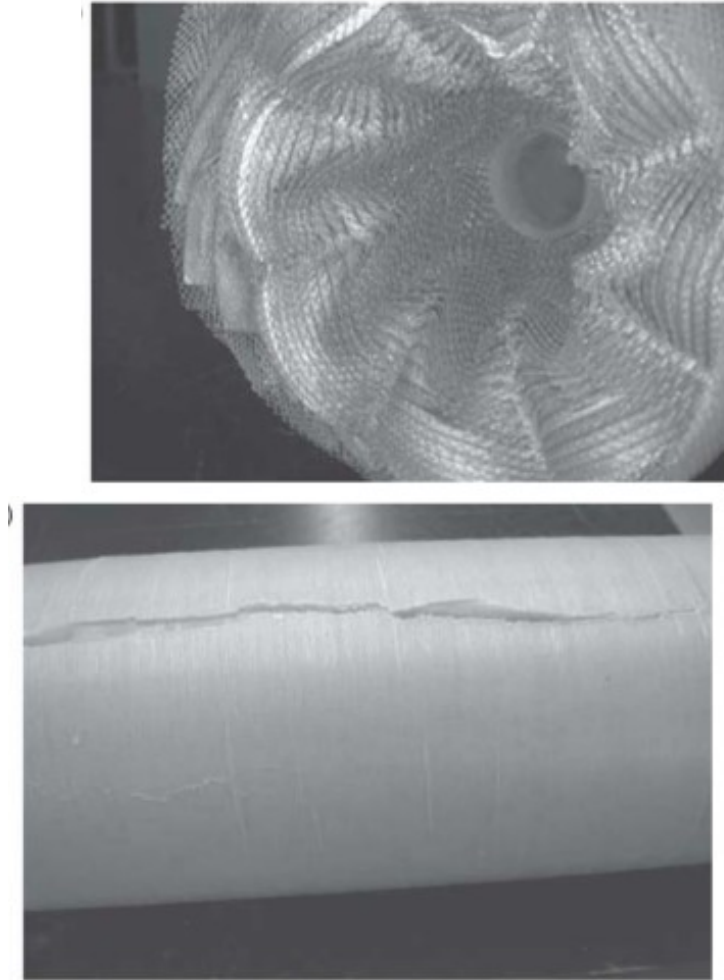
Εικόνα 2.6.1: Παρουσίαση οριακών τιμών για την αποφυγή δημιουργία επικαθίσεων στις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης

Μια μεμβράνη όπου έχουν δημιουργηθεί επικαθίσεις έχει δύο σημαντικά προβλήματα: το ένα είναι ότι παρουσιάζει υψηλότερη από τη κανονική πίεση λειτουργίας (για αντισταθμιστεί η διάφορά πίεσης) και υψηλότερη από την κανονική πτώση πίεσης. Καθώς τα διάφορα συστατικά συγκεντρώνονται στην επιφάνεια της μεμβράνης, σχηματίζεται ένα πρόσθετο στρώμα φραγμού όπου παρεμποδίζεται η κινητικότητα της μεμβράνης. Αυτό συμβαίνει διότι ένα πρόσθετο φράγμα πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης χρειάζεται μεγαλύτερη καθαρή κινητήρια δύναμη, η οποία μεταφράζεται αυτόματα και σε μεγαλύτερη πίεση λειτουργίας. Η υψηλότερη τιμή πίεσης είναι αποτέλεσμα της μεγαλύτερης αντίστασης που παρουσιάζει η διασταυρούμενη ροή που

εμφανίζεται στη διεπιφάνεια μεταξύ της τροφοδοσία νερού και της επιφάνειας της μεμβράνης. Η πτώση της πίεσης μεταφράζεται σε αξονική πίεση στην επιφάνεια της μεμβράνης. Εάν η τιμή της πίεσης πτώσης αυξηθεί, αυτή καταστρέφει τη λειτουργικότητα της μεμβράνης και η αποτυχία θα εμφανιστεί σε όλη την επιφάνεια της μεμβράνης.



Εικόνα 2.6.2: Το φαινόμενο των επικαθίσεων στις μεμβράνες, δημιουργεί ένα έξτρα στρώμα, όπου η ροή νερού για να το διαπεράσει, χρειάζεται μεγαλύτερη πίεση



Εικόνα 2.6.3: Εξωτερική επιφάνεια μεμβράνης και των διαχωρισμάτων που έχουν σχηματιστεί λόγω της εξωτερικής πίεσης που είχαν

2.7 ΑΠΟΛΕΠΙΣΗ

Η απολέπιση στη διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης μπορεί να είναι αποτέλεσμα της συγκέντρωσης – καθίζησης κορεσμένων αλάτων πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται διάφορα κλασσικά είδη που δημιουργούν τέτοια προβλήματα απολέπισης της μεμβράνης και είναι τα ακόλουθα:

- Διάφορα ασβεστούχα συμπεριλαμβανομένων ανθρακικών αλάτων, θειικών, φωσφορικών κ.α

- Διοξειδίο του πυριτίου το οποίο οδηγεί στην καταστροφή της αντίστροφης ώσμωσης σε συνάρτηση της θερμοκρασία και του Ph
- Και διάφορα ιχνοστοιχεία θειικών αλάτων, όπως το βάριο και το στρόντιο.

Η κλιμάκωση της απολέπισης των μεμβρανών επιδεινώνεται λόγω της υψηλής ροής της μεμβράνης και της χαμηλής ταχύτητας διασταύρωσης με τον ίδιο τρόπο που αυξάνεται και η ρύπανση της μεμβράνης. Η υψηλότερη ροή φέρνει πιο γρήγορα διαλυτά μέσα στο όριο της συγκέντρωσης πόλωσης. Στη περίπτωση που η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών φτάσει στο όριο του κορεσμού, αυτές οι διαλυτές ουσίες θα απολεπίσουν τη μεμβράνη. Χαμηλότερη ταχύτητα ροής οδηγεί σε ένα πιο πυκνό στρώμα ορίου. Αυτό αυξάνει το χρόνο παραμονή της διαλυμένης ουσίας εντός του οριακού στρώματος, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τη πιθανότητα να επιτευχθεί κορεσμός.

Μια μεμβράνη που έχει υποστεί απολέπιση έχει τρία βασικά θέματα λειτουργικότητας: υψηλότερη από τη κανονική πίεση λειτουργία (για αντισταθμιστεί η χαμηλότερη ροή σε σταθερή πίεση), μεγαλύτερη τιμή της πίεσης πτώσης και χαμηλότερη από την αναμενόμενη απόρριψη αλατιού. Όπως και με τις μεμβράνες που έχουν υποστεί βλάβη, η κλίμακα σχηματίζει ένα πρόσθετο στρώμα φραγμού, στο οποίο ταξιδεύει το νερό. Έτσι, χρειάζεται να αυξηθεί η πίεση προκειμένου το νερό να μπορέσει να κινηθεί διαμέσου της μεμβράνης εάν είναι απαραίτητο να κινηθεί η ίδια παραγωγικότητα. Υψηλότερη πτώση πίεση προκαλεί μεγαλύτερη αντίσταση στην εγκάρσια ροή. Μικρότερη απόρριψη αλατιού είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης πόλωσης, καθώς η συγκέντρωση του άλατος είναι μεγαλύτερη στην επιφάνεια της μεμβράνης από ότι είναι στο τυφλό διάλυμα. Έτσι η μεμβράνη βλέπει μια υψηλότερη συγκέντρωση, αν και η απόρριψη των αλάτων για τη μεμβράνη παραμένει σταθερή, η πραγματική ποσότητα του διαλύτη που περνάει μέσα από αυτό είναι υψηλότερη. Με αποτέλεσμα η απόρριψη να είναι μικρότερη και η καθαρότητα του προϊόντος επίσης μικρότερη.

Λόγω του ότι η απολέπιση είναι ένα φαινόμενο συγκέντρωσης, είναι λογικό να εμφανίζεται στα τελικά στάδια της αντίστροφης ώσμωσης, στο σημείο δηλαδή όπου η

συγκέντρωση αλάτων είναι υψηλή. Και αυτό εκφράζεται μέσω μιας εξίσωσης όπου περιλαμβάνει τη συγκέντρωση τόσο των ανιόντων όσο και των κατιόντων

$$IP = [\text{κατιόντα}]^{\alpha} [\text{ανιόντα}]^{\beta}$$

IP = προϊόντα ιόντων

[κατιόντα] = συγκέντρωση κατιόντων

[ανιόντα] = συγκέντρωση ανιόντων

α: η ποσότητα των κατιόντων που είναι στο αλάτι

β: η ποσότητα ανιόντων που είναι στο αλάτι

$$K_{sp} = [\text{κατιόντα}]^{\alpha} [\text{ανιόντα}]^{\beta}$$

όπου K_{sp} = διαλυτότητα προϊόντος

[κατιόντα] = συγκέντρωση κατιόντων

[ανιόντα] = συγκέντρωση ανιόντων

α: η ποσότητα των κατιόντων που είναι στο αλάτι

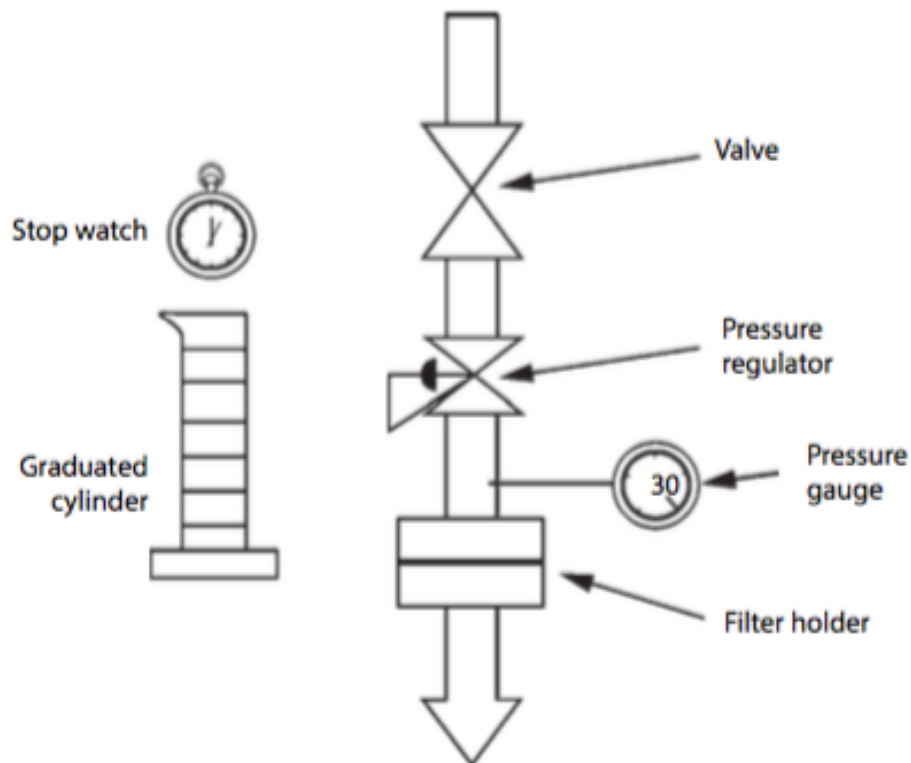
β: η ποσότητα ανιόντων που είναι στο αλάτι

Σε γενικές γραμμές, η απολέπιση που σχηματίζεται στα ιόντα του προϊόντος είναι μεγαλύτερη από τη διαλυτότητα που έχει το προϊόν. Για παράδειγμα στα ιόντα σουλφονικών, η απολέπιση μπορεί να προκύψει όταν τα ιόντα του προϊόντος είναι μεγαλύτερα κατά 80% από τη διαλυτότητα του προϊόντος.

Τα πρότυπα απολέπισης έχουν δημιουργηθεί με σκοπό να δείχνουν πότε θα δημιουργηθεί πρόβλημα σε μια μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης και εκφράζονται μέσω δυο γνωστών σταθερών του Langelier Saturation Index (LSI) και του Stiff- Davis Saturation Index που χρησιμοποιούνται ευρέως για να προβλέψουν την απολέπιση από τα ανθρακούχα άλατα. Τα προγράμματα σχεδιασμού που αναπτύσσονται από κατασκευαστές μεμβρανών τυπικά αναφέρουν δείκτες κλιμάκωσης για άλλες μορφές κλίμακας ως ποσοστό κορεσμού. Ένας δείκτης κλιμάκωσης είναι 100% όταν το προϊόν ιόντων ισούται με τη σταθερά διαλυτότητας για τα περισσότερα άλατα. Για τις κλίμακες που βασίζονται σε θειικά, ο δείκτης κορεσμού είναι 100% όταν το προϊόν ιόντων είναι ίσο με το 80% της σταθερής διαλυτότητας. Το νερό τροφοδοσίας ή η χρήση αντιολισθητικών απαιτούνται όταν ο δείκτης κορεσμού είναι 100% ή μεγαλύτερος.

2.8 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΣ (SLIT DENSITY INDEX, SDI)

Ο δείκτης πυκνότητας ιλύος είναι μια μέθοδος που μετρά το κατά πόσο είναι δυνατό να διαπεράσει το εισερχόμενο νερό την μεμβράνη και να τη καταστρέψει λόγω των στερεών και κολλοειδών ουσιών που αυτό φέρει. Η μέτρηση περιλαμβάνει χρονική ροή του εισερχόμενου νερού μέσω μιας μεμβράνης 45 μικρομέτρων. Το SDI του νερού προσδιορίζεται από το ρυθμό εναπόθεση σε φίλτρο 0.45 μm σε μια πίεση 207 kPa (30psi) και περιγράφεται στην πρότυπη μέθοδο ASTM D4189.



Εικόνα 2.8.1: Διάταξη μέτρησης του δείκτη πυκνότητας ιλύος

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη πυκνότητας ιλύος είναι:

$$SDI = \frac{100\% \times \left(1 - \frac{t_0}{t_n}\right)}{n}$$

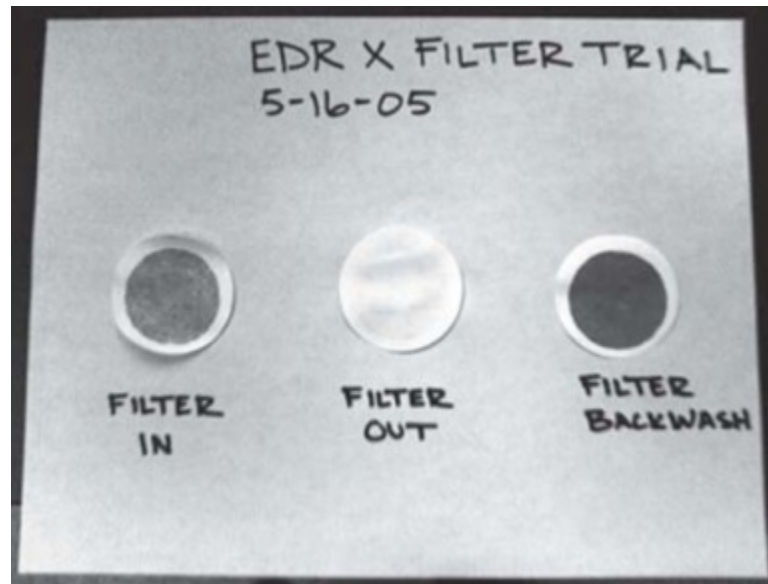
όπου το n είναι ο συνολικός χρόνος παρέλευσης της ροής t_0 και t_n είναι οι χρόνοι (σε δευτερόλεπτα) που απαιτείται για το φιλτράρισμα όγκου 500ml νερού αρχικά και μετά από t λεπτά, αντίστοιχα. Το πείραμα έχει ρυθμιστεί σε διήθηση με συνεχή ροή κατά

μέτωπο υπό πίεση, και η μεμβράνη να είναι κάθετη προς την ροή του διηθήματος. Ο συνολικός χρόνος t_n που επιλέγεται (πρότυπος, 15 λεπτά) και το δείγμα ρέει μέσα από το φίλτρο καθ' όλη τη διάρκεια 15 λεπτών. Όσο το νερό ρέει μέσω της μεμβράνης, ο t_0 αναμένεται να είναι μικρότερος από το χρόνο t_n . Τόσο η συμβατική όσο και η προεπεξεργασία μέσω μεμβρανών μειώνουν το SDI του τροφοδοτούμενου νερού αλλά αυτό εξαρτάται κάθε φορά ανάλογα με τη χρήση που προτείνεται. Ένα SDI 3 ή μικρότερο προτιμάται για εισροή της αντίστροφης ώσμωσης. Όμως πολλές μονάδες δέχονται και μια τιμή του SDI μεταξύ 4 και 5, κάτι που μπορεί να προκύψει σχετικά εύκολα μέσω μιας συμβατικής προεπεξεργασίας. Αξίζει να σημειωθεί τέλος, ότι ο δείκτης πυκνότητας ιλύος είναι μικρότερος από το 5, μπορεί να είναι ακόμη ικανό να βρωμίσει τις μεμβράνες. Για να μειωθεί ακόμη περισσότερο ο κίνδυνος ρύπανσης των μεμβρανών πρέπει να είναι μικρότερος από 3.

Ο δείκτης πυκνότητας ιλύος μπορεί να συσχετιστεί με τη θολότητα του νερού – ένα μέτρο διάχυσης του φωτός από σωματίδια σε διάλυμα. Συνήθως όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης της θολότητας τόσο μεγαλύτερο θα είναι και ο δείκτης πυκνότητας ιλύος. Αν και χαμηλά επίπεδα θολότητας, δε σημαίνει απαραίτητα ότι η τιμή του SDI <5.

Οι Kremen και Tanner απέδειξαν τη σχέση μεταξύ του SDI και της τάσης ρυπάνσεως του νερού συσχετίζοντας το SDI με μία συνολική αντίσταση ροής (R_t) ως ένα συνδυασμό των δύο αντιστάσεων της αντίστασης του φίλτρου (R_p) και της αντίστασης του ρυπαντή (επί του φίλτρου) (R_F). Η θεωρητική σχέση μεταξύ SDI και R_t εμφανίζει μια εκθετική σχέση μεταξύ του αυξανόμενου SDI και της αυξανόμενης αντίστασης του ίδιου του ρυπαντή. Αυτή σχέση δείχνει πολύ μεγαλύτερη αντίσταση ρυπάνσεως για τις τιμές SDI μεταξύ 4 και 5 απ'ότι μεταξύ 1 και 4. Στην πράξη, μια SDI15 είναι μικρότερη από 3 και είναι συνήθως απαραίτητη στο να μειωθεί η πιθανότητα ρύπανσης σε αποδεκτό επίπεδο.

Η εικόνα 2.8 δείχνει τα βασικά υλικά που περιλαμβάνει η μέτρηση δείκτη πυκνότητας ιλύος. Η συγκεκριμένη συσκευή πρέπει να συνδέεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην είσοδο της διάταξης της αντίστροφης ώσμωσης (κατά προτίμηση μεταξύ των φίλτρων του φυσιγγίου και του RO, εφόσον είναι δυνατόν.



Εικόνα 2.8.1: Δείκτης πυκνότητας Ιλύος πριν και μετά την χρήση των μεμβρανών αφαλάτωσης

Όπως προκύπτει από την εικόνα ανάλογα το χρώμα της εικόνας του φίλτρου κανείς μπορεί να καταλάβει το είδος του στερεού που έχει συσσωρευτεί κατά τη διάρκεια καθαρισμού του νερού μέσω της αντίστροφης ώσμωσης. Οπτικά και μόνο, κανείς θα μπορούσε να υποθέσει τα εξής για τη παραπάνω εικόνα:

- Κίτρινο: πιθανώς σίδηρο ή οργανικά
- Κόκκινο σε σκούρο καφέ; Σίδηρος
- Μαύρο: μαγγάνιο (εάν το χρώμα διαλυθεί, όταν το φίλτρο τροποποιηθεί με οξύ)

Είναι λογικό ότι ακόμη καλύτερη εξακρίβωση του ακριβού προσδιορισμού των ουσιών που έχουν μείνει επάνω σε αυτό κατά τη διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης, μπορεί να γίνει και με τη βοήθεια από εργαστήρια καθώς αυτά τα αποτελέσματα θα βοηθήσουν στο να δημιουργηθεί ένα ακόμη καλύτερο στάδιο προ επεξεργασία των δειγμάτων.

2.9 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΕΩΣ (MFI, MODIFIED FOULING INDEX)

Ο τροποποιημένος δείκτης ρυπάνσεως συσχετίζει τη ρύπανση της μεμβράνης, τη πτώση της ροής, και τη συγκέντρωση των σωματιδίων. Είναι αρκετά παρόμοιος με το δείκτη πυκνότητας ιλύος και χρησιμοποιείται εδώ και 25 χρόνια στην Ευρώπη. Η συγκεκριμένη μέθοδος αναπτύχθηκε με βάση το νόμο του Darcy το οποίο συσχετίζεται

τη ροή (dV/dt) με το πάχος του φύλλου το οποίο είναι το σύνολο της αντίστασης φίλτρου (R_m) και της αντίστασης της μεμβράνης:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu} * \frac{A_m}{(R_m + R_c)}$$

$$t = \frac{\mu V R_m}{\Delta P A_m} + \frac{\mu V^2 a C_b}{2 \Delta P A_m^2}$$

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu R_m}{\Delta P A_m} + \frac{\mu V a C_b}{2 \Delta P A_m^2}$$

$$\frac{1}{Q} = a = +MFI * V$$

όπου το V = είναι ο συνολικός όγκος που παράγεται

ΔP =

μ = το ιξώδες του νερού

A_m = η επιφάνεια της μεμβράνης

a = η αντίσταση ροής ρυπαντή

C_b = η συγκέντρωση των σωματιδίων

Q = η μέση ροή

α = σταθερά α

Αυτές οι εξισώσεις προβλέπουν μια γραμμική σχέση μεταξύ του t/V και του V όσο σχηματίζεται η επιφάνεια επάνω στις μεμβράνες.

Ωστόσο ο συγκεκριμένος δείκτης δε προβλέπει πάντα με ακρίβεια τη ρύπανση που παρατηρείται στα συστήματα μεμβρανών, λόγω του αριθμού των μικρών σωματιδίων που περνούν μέσω της μεμβράνης.

Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο SDI, και για τη μέτρηση του τροποποιημένου δείκτη ρυπάνσεων χρησιμοποιείται η ίδια συσκευή. Ωστόσο ο συνολικός όγκος που συλλέγεται καταγράφεται κάθε 30 δευτερόλεπτα και τα δεδομένα απεικονίζονται, T/V (όπου t ο χρόνος σε δευτερόλεπτα, V = όσκος σε λίτρα). Η κλίση της ευθείας της καμπύλης αντιστοιχεί στο σημείο όπου το δείκτης είναι εκφρασμένος σε δευτερόλεπτα ανά κυβικό λίτρο.

2.10 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ Ή LANGEЛИER

Ο δείκτης κορεσμού SI ή Langelier (Saturation index) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συμβάλλουν στη διάβρωση ή την απόθεση ασβεστίτη ή γύψου ή δολομίτη από το νερό στους σωλήνες μεταφοράς. Ο δείκτης κορεσμού στηρίζεται στο Ph και τη θερμοκρασία του νερό και εκφράζεται μέσω της σχέσης:

$$LSI = pH - pH_a$$

$$\text{όπου το } pH_a = (9.30 + A + B) - (C + D)$$

$$\text{και } A = \frac{(\text{Log}_{10}[\text{TDS}] - 1)}{10}, \text{ όπου το } [\text{TDS}] \text{ είναι σε ppm}$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10}(C + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10}[\text{Ca}^{2+}] - 0.4 \text{ όπου το } [\text{Ca}^{2+}] \text{ είναι σε ppm CaCO}_3$$

$$D = \text{Log}_{10}[\text{αλκαλικότητα}] \text{ όπου η } [\text{αλκαλικότητα}] \text{ είναι σε ppm CaCO}_3$$

Για τον ασβεστίτη: $SI = \log([\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]/K)$, όπου $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]$ το γινόμενο ενεργότητας και K η σταθερά ισορροπίας. Θετικές τιμές του δείκτη κορεσμού δηλώνουν την τάση του νερού για απόθεση CaCO_3 , ενώ οι αρνητικές την τάση να διαλύει CaCO_3 .

Εάν η τιμή του δείκτη είναι μεγαλύτερη από το 0, το νερό έχει την τάση να δημιουργεί ασβεστίτη. Χαμηλότερη τιμή από το 0, το νερό είναι διαβρωτικό.

Ο δείκτης Langelier δεκτός για πάνω από 4.000 ppm TDS. Σε μεγαλύτερη συγκεντρώσεις TDS, ισχύει ο δείκτης Stiff Davis Saturation Index (SDSI) και χρησιμοποιείται

$$SDSI = pH - pCa - P_{ALK} - K$$

$$pCa = -\text{Log}_{10}[\text{Ca}^{2+}] \text{ όπου } [\text{Ca}^{2+}] \text{ είναι σε ppm}$$

$$pAlk = -\text{Log}_{10}[\text{ολική αλκαλικότητα}] \text{ όπου η αλκαλικότητα είναι σε ppm}$$

$$K = \text{είναι μια σταθερά που βασίζεται στις ιοντικές δυνάμεις και την θερμοκρασία}$$

Για τις διαδικασίες αντίστροφης ώσμωσης, όταν η τιμή του δείκτη LSI ή SDSI είναι θετική, αυτό σημαίνει ότι το εισερχόμενο νερό έχει την τάση να δημιουργεί ασβεστίτη. Σε αυτή τη περίπτωση είναι απαραίτητη η χρήση οξέος ή αντιδιαβρωτικών. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες κατασκευαστές προτείνουν μια τιμή +1.8 η λιγότερη ως ιδανική.

3. ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

3.1 ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

Η κατανόηση της λειτουργίας ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης απαιτεί τη βασική γνώση διάφορων θεωρητικών μοντέλων που περιγράφουν την κίνηση των υγρών (νερού/διαλυμάτων) μέσω της μεμβράνης και αποτελεί το κύριο συστατικό της διαδικασίας αντίστροφης ώσμωσης. Μέσω αυτής της λεπτομερούς κατανόησης μπορούν να γίνουν κατάλληλες τροποποιήσεις στις μεμβράνες από πολυμερή ώστε να βελτιωθεί η απόδοσή τους (ροή και απόρριψη).

Οι διαχωρισμοί με μεμβράνες είναι φυσικές διεργασίες μεταφοράς μάζας και βασίζονται στην ιδιότητα μιας πορώδους ημιπερατής μεμβράνης να επιτρέπει την επιλεκτική διέλευση μιας ή περισσότερων ουσιών μέσα από τους πόρους της, ενώ συγχρόνως εμποδίζει την διέλευση άλλων. Οι μεμβράνες βρίσκουν συνήθως εφαρμογή στην απομάκρυνση στερεών μεγέθους μικρότερου από περίπου 0.005 mm, τα οποία δεν απομακρύνονται αποτελεσματικά με την απλή διήθηση. Στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται κυρίως για το διαχωρισμό οργανικών μακρομορίων (συνθετικών πολυμερών ή βιοπολυμερών με μοριακό βάρος από μερικές δεκάδες έως και περίπου 10^6). Στην τεχνολογία νερού, οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση διαλυμένων ιόντων με σκοπό την παραγωγή πόσιμου ή υψηλής καθαρότητας απιονισμένου νερού.

Οι μεμβράνες ταξινομούνται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους σε οργανικές κι ανόργανες. Οι οργανικές μεμβράνες κατασκευάζονται συνήθως από πολυμερή, όπως το PTFE ή η όξινη κυτταρίνη, ενώ οι ανόργανες από κεραμικά υλικά ή ανοξείδωτο χάλυβα. Οι οργανικές μεμβράνες έχουν μελετηθεί διεξοδικά και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις διάφορες διεργασίες διαχωρισμού, ενώ οι ανόργανες μεμβράνες αποτελούν ακόμη αντικείμενο έρευνας με περιορισμένη προς το παρόν εφαρμογή. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των οργανικών κι ανόργανων μεμβρανών περιγράφονται στον Πίνακα

Πίνακας 3: Σύγκριση μεταξύ οργανικών και ανόργανων μεμβρανών

Χαρακτηριστικά	Οργανικές	Ανόργανες
Ελάχιστο μέγεθος πόρων	<1nm	4nm
Εκλεκτικότητα	Μεγάλη	Μικρή
Λόγος επιφάνειας προς όγκο	Μεγάλος	Μικρός
Ταχύτητα διαχωρισμού	Μικρή	Μεγάλη
Ανθεκτικότητα στην τριβή, διάβρωση κλπ	Μικρή	Μεγάλη

3.2 MEMBRANES ΟΞΙΚΗΣ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ

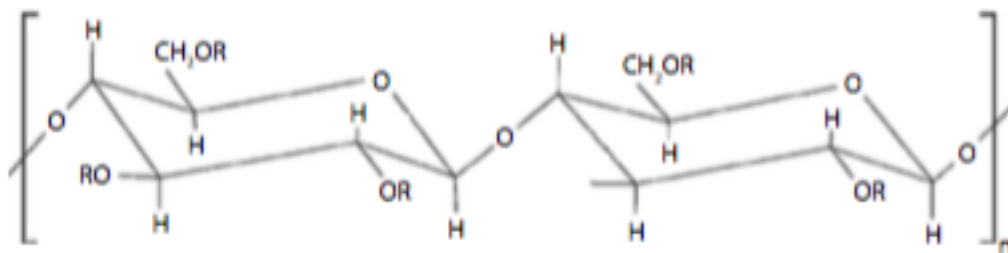
Η οξική κυτταρίνη ήταν το πρώτο υλικό από που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή μεμβρανών και έγιναν εμπορικά διαθέσιμες για τη χρήση τους στα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης. Αυτό συνέβη διότι οι συγκεκριμένου τύπου μεμβράνες είχαν πολύ καλές αποδόσεις όσον αφορά την υψηλή ογκομετρική παροχή ανά μονάδα μέτρησης (flux) σε σχέση με το εξαιρετικά μικρό πάχος της μεμβράνης. Η υψηλή ογκομετρική μονάδα ανά μέτρησης νερού ήταν το κύριο χαρακτηριστικό προκειμένου να μειωθεί το κόστος συνολικά της διαδικασίας της αντίστροφης ώσμωσης.

Έγιναν για πρώτη φορά από τους Loeb και Sourirajan το 1960, απομονώνοντας τη κυτταρίνη με ακετυλίωση (αντίδραση του οξικού ανυδρίτης με οξικό οξύ και θειικό οξύ). Η ασύμμετρη μορφή που είχαν αυτές οι μεμβράνες σήμαινε ότι αποτελούνταν από δυο διαφορετικά στρώματα του ίδιου υλικού, και χρησιμοποιήθηκαν κυρίως την εικοσαετία μεταξύ 1960 και 1980. Ο τρόπος με τον οποίο κατασκεύασαν τις πρώτες μεμβράνες ήταν μέσω της μεθόδου «αντίστροφης φάσης». Πιο συγκεκριμένα ένα υδρόφοβο πολυμερές, όπως η οξική κυτταρίνη διασπείρεται σε ένα οργανικό διαλύτη (όπως η ακετόνη) μαζί με έναν άλλο διαλύτη όπως το φορμαμίδιο και αφήνεται για ανάδευση. Έπειτα, η διασπορά εναποτίθεται σε μια λεία επιφάνεια όπως το γυαλί, μέσω

μιας λεπτής λεπίδας (thin blade casting). Το φιλμ σχηματίζεται όσο ο διαλύτης εξατμίζεται για περίπου 10-100 δευτερόλεπτα. Κατά την εξάτμιση του διαλύτη, αυξάνεται η συγκέντρωση του πολυμερούς στη διεπιφάνεια διαλύματος/ αέρα αφού ο διαλύτης απομακρύνεται ευκολότερα από την επιφάνεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σχηματίζονται δυο πολυμερικές φάσεις στο φιλμ: η μία είναι πλούσιας συγκέντρωσης σε πολυμερές και η άλλη είναι φτωχή σε συγκέντρωση πολυμερούς. Λίγο πριν την εξάτμιση του διαλύτη, το φιλμ εμβαπτίζεται σε υδατικό διάλυμα ώστε να σχηματιστεί μια λεπτή επιφάνεια, όσο το πολυμερές απομακρύνεται. Στη συνέχεια η μεμβράνη θερμαίνεται στους 70-90 °C σε λουτρό ζεστού νερού, στο οποίο σχηματίζεται στην χαμηλής συγκέντρωσης σε πολυμερές επιφάνειας μικρά κενά – σχηματίζοντας τη πορώδη φάση της μεμβράνης. Το πάχος της πορώδους επιφάνειας είναι περίπου 0.2 μικρά, ενώ το συνολικό πάχος της μεμβράνης είναι περίπου 100 μικρά. Αυτή η ειδική μορφολογία που παρουσιάζουν οι μεμβράνες από οξική κυτταρίνη είναι αποτέλεσμα συνδυασμού των καλών ιδιοτήτων απόρριψης αλάτων και υψηλή διαπερατότητα του νερού. Το εξωτερικό λεπτό στρώμα είναι υπεύθυνο για την απόρριψη των αλάτων, ενώ ταυτόχρονα λόγω του μικρού πάχους είναι δυνατή η ικανοποιητική διαπερατότητα από το νερό. Τέλος, το πορώδες υπόστρωμα παρέχει την απαιτούμενη μηχανική αντοχή ώστε η μεμβράνη να αντέχει τις εφαρμοζόμενες υψηλές πιέσεις.^{1,2}

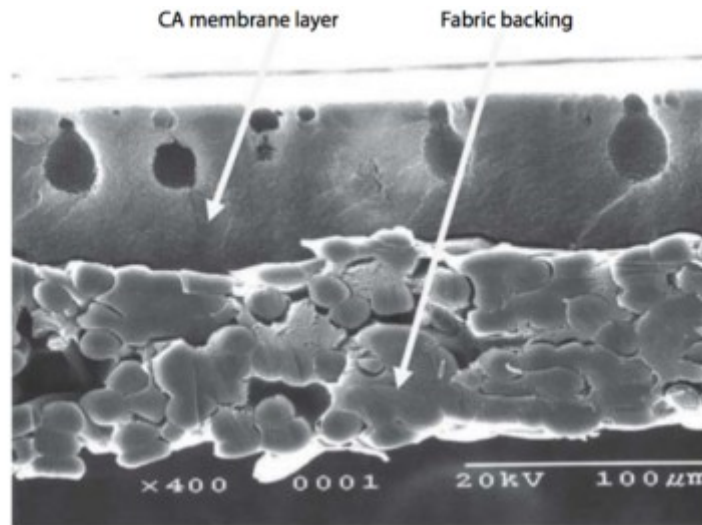
Οι πρώτες μεμβράνες οξικής κυτταρίνης που δημιουργήθηκαν ήταν σε σωληνοειδή μορφή και χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στο Coalinga της Καλιφόρνια το 1965.

Οι συμμετρικές μεμβράνες δε προτείνονται για χρήση σε εφαρμογές μικροδιήθησης, υπερδιήθησης και ηλεκτροδιάλυσης. Η δομή τους μπορεί να είναι είτε πορώδη, είτε μη πορώδη ή ενδιάμεση με μικρούς πόρους.



Εικόνα 3.2.1: Ο χημικός τύπος της οξικής κυτταρίνης

Η κυτταρίνη είναι ένα πολυμερές από β-1.4 συνδεδεμένες μονάδες γλυκόζης. Πρόκειται ουσιαστικά για ευθύγραμπα και άκαμπτα μόρια, σε σχήμα ράβδου, ιδιότητες που θεωρούνται σημαντικές στις εφαρμογές της υπερδιήθησης. Κύρια πηγή της κυτταρίνης είναι ο πολτός των ξύλων ή τριχίδια βαμβακόσπορου. Η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη πρόκειται για χημικά τροποποιημένο χαρτοπολτό. Ο βαθμός πολυμερισμού της κυτταρίνης είναι περίπου 100-200, δηλαδή μοριακό βάρος περίπου 25.000 – 80.000^{1,2}



Εικόνα 3.2.2: Δομή μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης από οξική κυτταρίνη

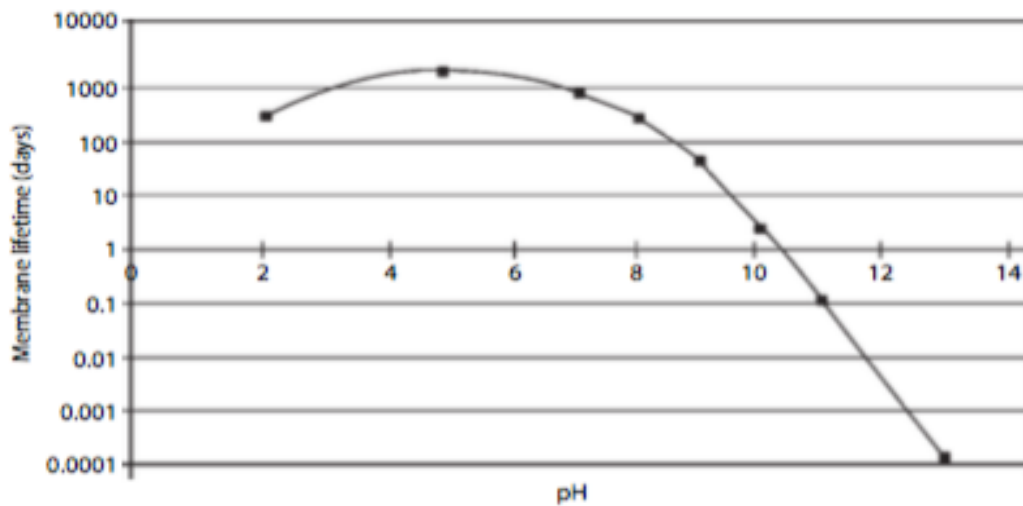
Μερικά από τα πλεονεκτήματα της οξικής κυτταρίνης ως υλικά για μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης είναι τα εξής:

- Αρκετά εύκολη παρασκευή
- Χαμηλό κόστος
- Υδροφιλικότητα, μια πολύ σημαντική ιδιότητα ώστε να μειώνει το κίνδυνο έμφραξης (fouling) των μεμβρανών
- Υψηλές τιμές ροής για μεγάλο εύρος μέγεθος πόρων

Μερικά από τα μειονεκτήματα των μεμβρανών από οξική κυτταρίνη είναι τα εξής:

- Υψηλή βιοαποικοδομησιμότητα κατά τη χρήση
- Μικρό εύρος χρήσης pH: μεταξύ 2 και 8 (συνηθέστερα 3-6)

- Μικρή ανθεκτικότητα στο χλώριο
- Περιορισμένο θερμοκρασιακό εύρος: μέγιστη θερμοκρασία χρήσης προτείνεται στους 35° C που είναι μειονέκτημα από τη πλευρά της ροής (υψηλή θερμοκρασία αυξάνει τη ροή) και της υγιεινής, αφού η χαμηλή θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργεί ευνοεί την ανάπτυξη μικροβίων



Εικόνα 3.2.2: Εξάρτηση του pH και της διάρκειας ζωής για τις μεμβράνες από οξική κυτταρίνη

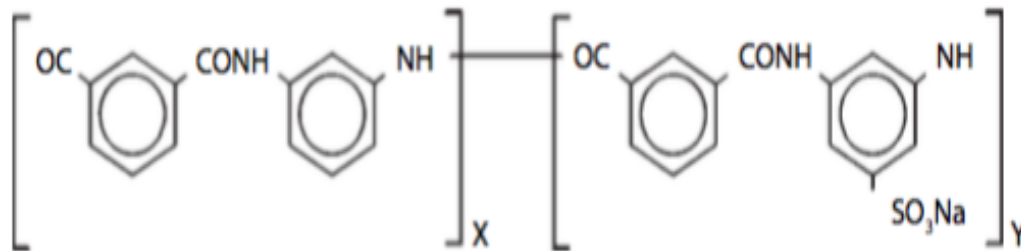
Πίνακας 3.2.3: Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών από οξική κυτταρίνη

Ιδιότητα	Τιμές για τις μεμβράνες οξικής κυτταρίνης
Είδος Μεμβράνης	Ασύμμετρη μορφολογία
Απόρριψη αλάτων (%)	Έως 95%
Απόρριψη πυριτίου (%)	Έως 85%
Εύρος pH	4-6
Δύναμη λειτουργίας	200-400 psi
Θερμοκρασιακό εύρος	Έως 35° C
Ανθεκτικότητα στο χλώριο	Έως 1 ppm
Βιολογική ανάπτυξη	Μεταβολίζεται η μεμβράνη
Αντοχή στην έμφραξη	Καλή
Τραχύτητα επιφάνειας	Λεία

3.3 ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ ΠΟΛΥΑΜΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Λόγω των προβλημάτων που είχαν οι μεμβράνες από οξική κυτταρίνη, έγιναν πολλές προσπάθειες για τη χρησιμοποίηση νέων υλικών, με στόχο την καλύτερη απόδοση της διεργασίας, μειώνοντας το κόστος και θα βελτίωναν τις αντοχές στη φθορά των μεμβρανών, χωρίς ωστόσο αυτές να χάνουν την εκλεκτικότητα τους. Άλλα πολυμερή που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη κατασκευή μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης είναι τα αρωματικά πολυαμίδια και τις πολυσουλφόνες.

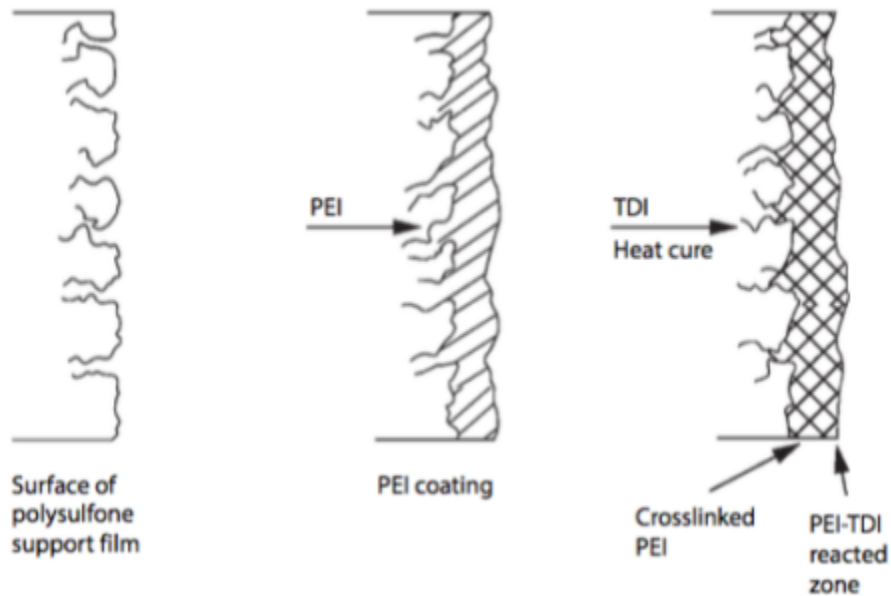
Το κοινό χαρακτηριστικό στη κατηγορία των πολυαμιδίων είναι η ύπαρξης ενός αμιδικού δεσμού στη δομή τους (-CONH). Η τυπική δομή των πολυαμιδικών μεμβρανών φαίνεται στο σχήμα και είναι αποτέλεσμα της συμπύκνωσης μεταξύ αρωματικών καρβονυλοχλωριδίων και διαμινών



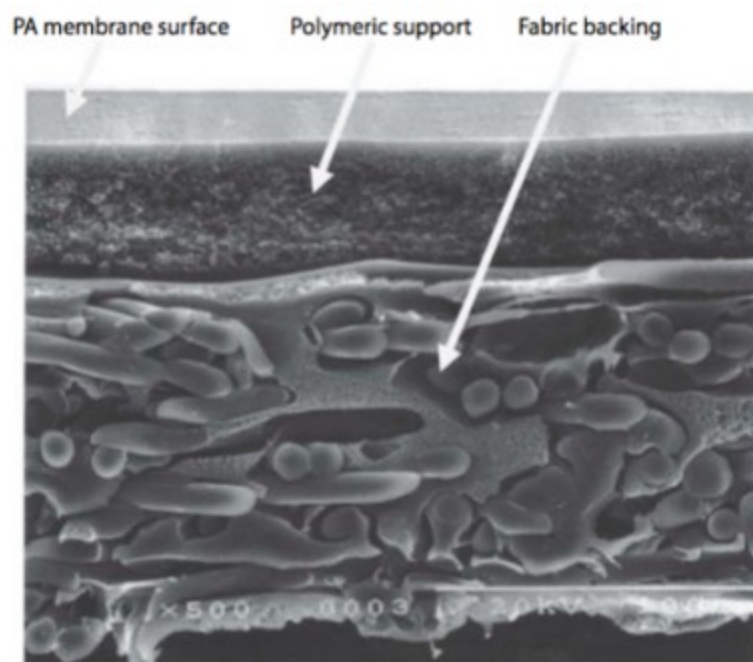
Εικόνα 3.3.1 : Ο χημικός τύπος κατά DuPont

Ο τρόπος κατασκευής τους πιο συγκεκριμένα είναι αρκετά ίδιος με αυτό που χρησιμοποιούνται από τους Loeb – Sourirajan για δημιουργία μεμβρανών οξικής κυτταρίνης χωρίς το μετέπειτα στάδιο της θέρμανσης. Αφού γίνει η αντίδραση το υπόστρωμα εκτίθεται σε ένα μονομερές τα οποία έχουν μεγάλη δεκτικότητα στο νερό, ενώ μικρή στα άλατα, όπως είναι η πολυαμίνη. Η αμίνη τότε βυθίζεται σε ένα μείγμα διαλυτών νερού/ χλωρίδιο του διοξειδίου σε εξάνιο. Το διοξείδιο του χλωρίου αντιδρά με την αμίνη στην διεπιφάνεια νερού / εξανίου και δημιουργούν ένα υψηλά διασταυρωμένο λεπτό φιλμ. Αυτό το λεπτό φιλμ σχηματίζεται στην επιφάνεια του υποστρώματος και μπορεί να έχει πάχος από 0.04 έως 0.1 μικρόμετρα ανάλογα. Το φύλλο του υποστρώματος έχει πάχος 40-80 μικρόμετρα πάχος, ενώ το συνολικό πάχος της μεμβράνης είναι περίπου 1500 με 2000 μικρόμετρα ανάλογα του μοριακού της βάρους.

2,3



Εικόνα 3.3.1.: Αντίδραση στη διεπιφάνεια μεταξύ τολουολίου και πολυεθυλεμίνης της εμπορικά διαθέσιμης μεμβράνης NS-100

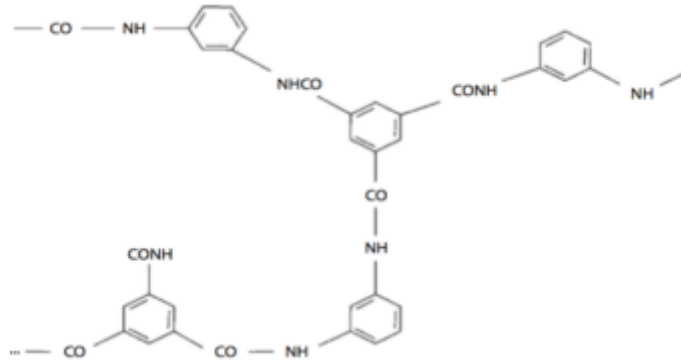


Εικόνα 3.3.2.: Πλάγια εμφάνιση μιας μεμβράνης πολυαμιδίου όπου διακρίνονται όλα τα μέρη που την αποτελούν

Ο συγκεκριμένος τύπος μεμβρανών έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μεμβράνες οξικής κυτταρίνης:

- Το θερμοκρασιακό εύρος εφαρμογής είναι μέχρι στους 50 °C

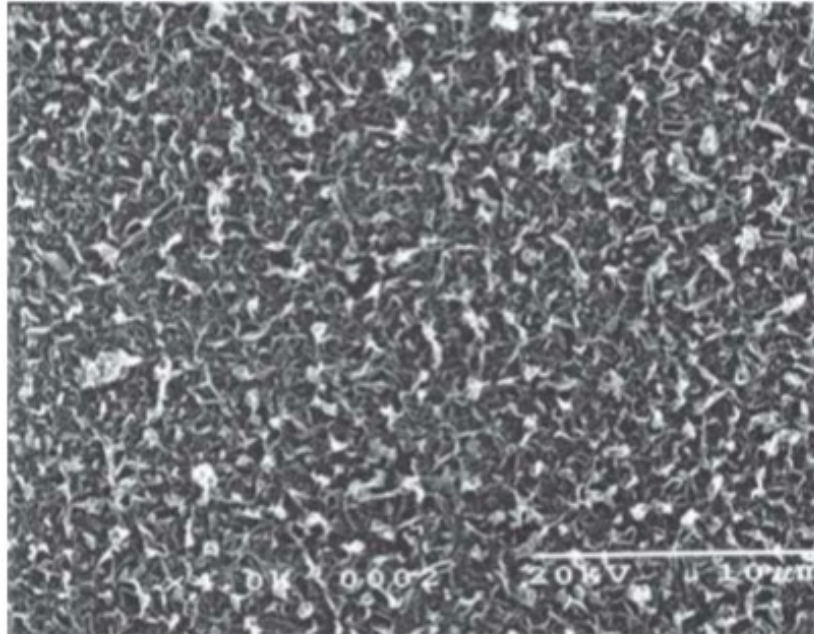
- Έχουν μεγάλο εύρος τιμών pH 4 έως 10
 - Δεν υδρολύονται εύκολα και δεν καταστρέφονται από μικροοργανισμούς
- Από την άλλη δεν είναι τόσο ανθεκτικές στο χλώριο και σε άλλα οξειδωτικά και παρουσιάζουν μεγαλύτερη τάση έμφραξης.



Εικόνα 3.3.3: Χημική δομή μιας εμπορικά διαθέσιμης μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης (Dow Water Solutions FT30)

Πίνακας 5 : Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών από πολυαμίδια

Ιδιότητα	Τιμές για τις μεμβράνες πολυαμιδίων
Είδος Μεμβράνης	Ασύμμετρη μορφολογία, σύνθετο λεπτό υμένιο
Απόρριψη αλάτων (%)	>98%
Απόρριψη πυριτίου (%)	>96%
Εύρος pH	2-12
Δύναμη λειτουργίας	200-400 psi
Φορτίο επιφάνειας	Αρνητικό (ανιόν)
Θερμοκρασιακό εύρος	Έως 45 ^ο C
Ανθεκτικότητα στο χλώριο	<0.02 ppm
Βιολογική ανάπτυξη	Προκαλεί έμφραξη
Αντοχή στην έμφραξη	Καλή
Τραχύτητα επιφάνειας	Τραχιά

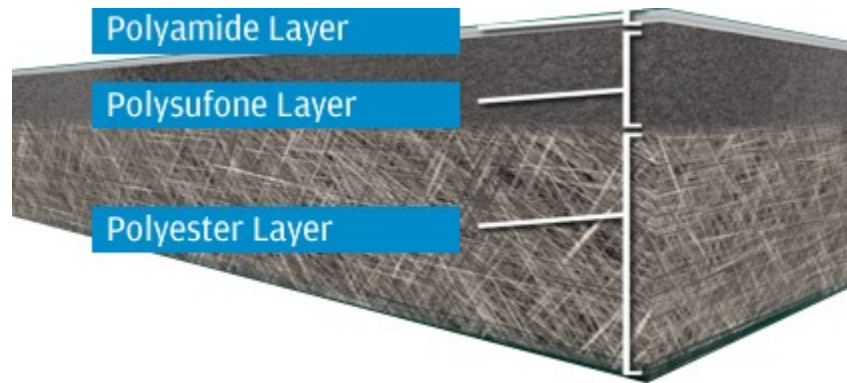


Εικόνα 3.3.4 Εικόνες SEM της τραχύτητα επιφάνειας μεμβράνης από πολυαμίδια

Σε γενικές γραμμές, οι μεμβράνες που έχουν επικρατήσει στην αγορά για τις εφαρμογές αντίστροφης ώσμωσης (αφαλάτωση θαλασσινού) αποτελούνται από σύνθετα υλικά, πολυσουλφόνες και αρωματικά πολυαμίδια, τα οποία συνδυάζουν τις πολύ καλές μηχανικές αντοχές με τη καλύτερη ανθεκτικότητα στα χημικά και την εκλεκτικότητα.

Οι σύνθετες μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης πολυσουλφόνης – αρωματικού πολυαμιδίου παρασκευάζονται με αντιδράσεις της διεπιφάνειας μεταξύ των δραστικών ομάδων της πολυσουλφόνης μιας αρωματικής διαμίνης και του τριμεσοϋλο-χλωρίδιο. Πρώτα κατασκευάζεται το υπόστρωμα βάσης που αποτελείται από έναν πολυεστέρα, στην επιφάνεια του οποίου τοποθετείται ένα στρώμα μικροπορώδους πολυσουλφόνης και τέλος ως ανώτατο στρώμα τοποθετείται η μεμβράνη από αρωματικά πολυαμίδια που λειτουργεί ως στρώμα με απορριπτικές ιδιότητες.

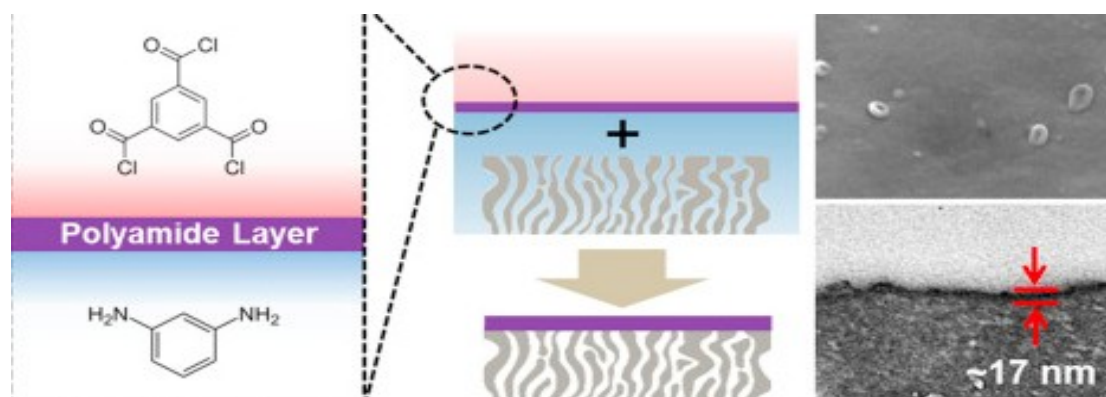
Σε σχέση με τις ασύμμετρες, στις μεμβράνες σύνθετων υλικών κάθε στρώμα έχει διαφορετικές ιδιότητες και τα διάφορα στρώματα κατασκευάζονται από διάφορα υλικά.



Εικόνα 3.3.5: Μembrάνη αντίστροφης ώσμωσης για αφαλάτωση νερού που αποτελείται από ένα στρώμα πολυαμιδίου, πολυσουλφονικού και στο (κάτω μέρος) από ένα στρώμα πολυεστέρα

Οι μεμβράνες πολυεστέρα – πολυσουλφόνης - πολυαμιδίου συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των υλικών που τα συνθέτουν, δηλαδή έχουν υψηλή εκλεκτικότητα, καλή αντοχή στις μεταβολές του pH και καλές μηχανικές αντοχές. Ωστόσο, είναι αρκετά ευαίσθητες σε οξειδωτικά όπως το χλώριο και λόγω της τραχύτητας των επιφανειών τους είναι ευάλωτες στην έμφραξη, ιδιαιτέρως αυτές που προκαλούνται από μικροοργανισμούς.

Η μια από τις πιο γνωστές μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης για την αφαλάτωση είναι ο τύπος FT30 (DOW Filmtec). Η μεμβράνη FT-30 αποτελείται από ένα αρωματικό πολυαμίδιο κατασκευασμένο από 1.3 φαινυλ-διαμίνη και τρις όξινο χλωριούχου βενζόλιο (tri acid chloride of benzene). Πρόκειται για ένα πολυμερές δομικά ισχυρό με αξιοσημείωτη χημική αντοχή που περιέχει καρβοξυλικό οξύ και ελεύθερες αμίνες σε διάφορα επίπεδα.^{3,4}



Εικόνα 3.3.6: Μembrάνη FT-30

3.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΛΥΑΜΙΔΙΟΥ

Μέχρι στιγμής έχουν γίνει σημαντικές βελτιώσεις στις μεμβράνες από σύνθετα υλικά για την αντίστροφη ώσμωση, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απόδοση τους, με τη πιο χαρακτηριστικά τα τελευταία να είναι οι προηγμένες τεχνικές κατασκευής, οι οποίες έχουν κάνει δυνατή της ακόμη πιο μικρές σε πάχος μεμβράνες και με όλο και λιγότερες ατέλειες. Οι εσωτερικές μεμβράνες παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ογκομετρικής παροχής νερού ανά μονάδα μέτρησης στην ίδια πίεση λειτουργίας όπως ισχύει και για τις μεμβράνες με μεγαλύτερο πάχος.

Επίσης τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί και μεμβράνες με μικρότερο δείκτη ρύπανσης. Αυτές οι μεμβράνες παρουσιάζουν καλύτερη αντοχή απέναντι στα στερεά και άλατα που φέρει μέσα το νερό κατά τη διάρκεια της αφαλάτωσης. Αυτό βέβαια έχει επιτευχθεί μέσω των μεγαλύτερων σταυροδεσμών μεταξύ των πολυμερικών αλυσίδων κάτι που μπορεί να προσελκύσει όλο και περισσότερες αλυσίδες με λειτουργικές ομάδες που δεν έχουν διασυνδεθεί, στις ομάδες των οποίων μπορεί προσελκύσουν διάφορες ρυπαντές. Επίσης έχουν αναπτυχθεί διάφορες μετά τροποποιήσεις, κατά τις οποίες ελαχιστοποιείται η δυνατότητα ρύπανσης της μεμβράνης όσο χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα πολλοί κατασκευαστές έχουν δημιουργήσει μεμβράνες με λιγότερο φορτίο επιφάνειας και πιο λείες επιφάνειες, κάτι που μειώνει ακόμη περισσότερο το κίνδυνο ρύπανσης.

Τέλος έχουν αναπτυχθεί μεμβράνες χαμηλής πίεσης. Οι μεμβράνες αυτές προσφέρουν υψηλή ογκομετρική παροχή ανά μονάδα μέτρησης σε χαμηλές θερμοκρασίες με μερική αναγωγή κατά την απόρριψη (οι μεμβράνες πολυαμιδίου λειτουργούν ανάλογα με τη θερμοκρασία: οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του νερού απαιτούν υψηλότερες πιέσεις λειτουργίας για να είναι λειτουργικό το σύστημα αφαλάτωσης). Έτσι αυτές οι μεμβράνες χαμηλής πίεσης χρησιμοποιούνται για συστήματα χαμηλή θερμοκρασία και χαμηλής πίεσης.

3.5 ΑΛΛΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Ένα άλλο πολυμερές που χρησιμοποιείται για τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης είναι η πολυουρεθάνη (polyether urea, PEU). Αυτή η μεμβράνη διαφοροποιείται από τις μεμβράνες από πολυαμίδια στο φορτίο της επιφάνειας και τη μορφολογία. Οι μεμβράνες πολυουρεθάνης έχουν ελαφρώς θετικό φορτίο, λεία επιφάνεια (όπως και οι μεμβράνες από οξική κυτταρίνη), αποτέλεσμα και των δυο ακόμη μικρότερη πιθανότητας μόλυνσης.

3.6 ΤΥΠΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥΣ

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της διαπερατότητας του νερού των μεμβρανών που είναι μικρό ώστε να υπάρξει ικανοποιητική παραγωγή νερού, θα πρέπει η επιφάνεια των μεμβρανών να είναι μεγάλη. Γενικά, οι μεμβράνες αποτελούνται από το ενεργό στρώμα όπου γίνεται η διαδικασία της αφαλάτωση αλλά και το υπόστρωμα, για αυτό και τις περισσότερες φορές ο όρος που χρησιμοποιείται είναι στοιχείο μεμβράνης (membrane module/element). Από τα μέσα της δεκαετίας του 1960 μέχρι σήμερα έχουν δοκιμασθεί διάφορες διαμορφώσεις των στοιχείων μεμβρανών, ώστε να επιτυγχάνεται ο μέγιστος λόγος επιφάνειας προς όγκο. Οι διαμορφώσεις αυτές είναι οι εξής:

- Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών (plate and frame membrane modules)
- Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών (tubular membrane module)
- Στοιχεία μεμβρανών ελικοειδούς περιέλιξης ή σπειροειδούς διαμόρφωσης (spiral wound membrane modules)
- Στοιχεία κοίλων ινών (hollow fiber membrane modules)

Ο λόγος επιφάνειας ανά μονάδα όγκου της μεμβράνης, οι μεμβράνες κατατάσσονται βάσει της γεωμετρίας της διαμόρφωσης ως εξής:

- Λεπτών κοίλων ινών $16.500 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- Κυλινδρική $335 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών)
- Επίπεδη $165 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών)
- Σπειροειδούς διαμόρφωσης ^{3,4}

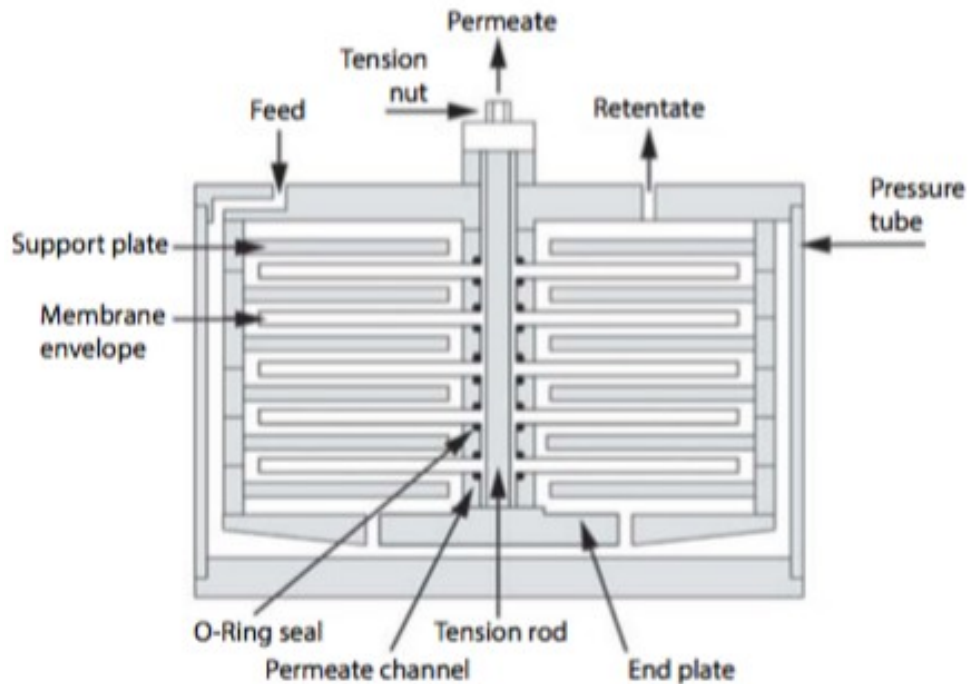
Γενικά, οι επίπεδες μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε εργαστηριακές δοκιμές, ιδιαίτερα για τον χαρακτηρισμό διαπερατότητας μιας μεμβράνης. Οι σπειροειδούς

διαμόρφωσης και λεπτών ινών χρησιμοποιούνται κυρίως στην επεξεργασία νερού. Και τέλος, οι κυλινδρικές είχαν επιτυχία στο εμπόριο σε διαχωρισμούς κυρίως χημικών ενώσεων και στην επεξεργασία τροφίμων, καθώς το κόστος τους ήταν απαγορευτικό για την εφαρμογή τους στην επεξεργασία νερού. ^{3,4}

Πίνακας 3: Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά μεμβρανών διαφορετικών διαμορφώσεων

Ιδιότητα	Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών	Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών	Μεμβράνες ελικοειδούς περιέλιξης ή	Στοιχεία κοίλων ινών
Πυκνότητα (m ² /m ³)	148-192	20-374	492-1247	492-4924
Πιθανότητα μόλυνσης	Μέτριο	Χαμηλό	Υψηλό	Πολύ υψηλό
Επίπεδο καθαρισμού	Καλό	Εξαιρετικό	Χαμηλό	Χαμηλό
Κόστος κατασκευής	Υψηλό	Υψηλό	Μέτριο	Χαμηλό

3.6.1 Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών



Εικόνα 3.6.1: Δισκοειδές στοιχείο μεμβράνης, το οποίο αποτελείται από μια ανοξείδωτη πλάκα, το παραγόμενο νερό (permeate), το διάλυμά τροφοδοσίας (feed), τη μεμβράνη, τον διαχωριστήρα (tension rod), την άλμη και την ανοξείδωτη πλάκα

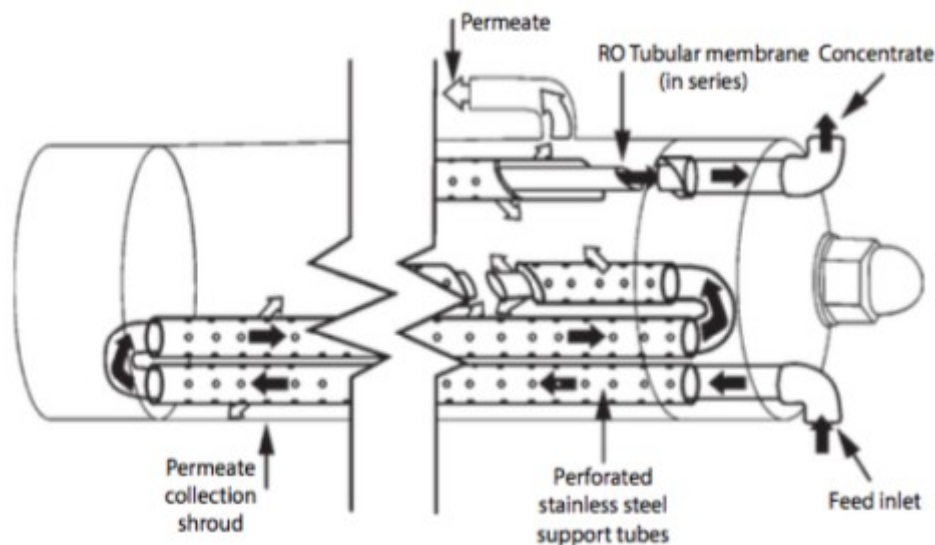
Κατά κύριο λόγο τα δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες με υψηλά ποσοστά στερεών τα οποία συνήθως δε βρίσκονται στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Τα στοιχεία αυτού του τύπου εναλλάσσονται με διαχωριστές. Και έχουν τη μορφή φακέλου υπό πίεση μέσω των σχισμών που υπάρχουν. Το νερό διέρχεται από τις μεμβράνες στο εσωτερικό του φακέλου και εξέρχεται από την ειδική σχισμή από όπου και εξέρχεται.

Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης διαμόρφωσης μεμβράνης είναι η ευκολία κατασκευής τους και χρήσης τους και ο ακριβής ορισμός της επιφάνειας τους. Είναι εύκολες στο καθάρισμα (μπορεί να γίνει και κατά τη διάρκεια λειτουργία, κάτι όμως που δε προτείνεται από τους κατασκευαστές). Μειονέκτημα αυτών είναι η πολύ μικρή ενεργή επιφάνεια μεμβράνης ανά μονάδα όγκου διαχωριστή ($180 - 192 \text{ m}^2/\text{m}^3$).⁴

3.6.2 Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών

Τα σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών έχουν τη μορφή σωλήνων διαμέτρου 0.7- 2.5 cm, οι οποίες τοποθετούνται στο εσωτερικό ειδικών δοχείων με ανθεκτικά τοιχώματα. Η ενεργή επιφάνεια του στοιχείου της μεμβράνης (από οξική κυτταρίνη τις περισσότερες φορές) βρίσκεται στο εσωτερικό της, όπου διοχετεύεται το διάλυμα τροφοδοσίας. Το νερό που παράγεται εξέρχεται κάθετα στη διεύθυνση, ενώ από το άλλο άκρο εξέρχεται η άλμη. Μπορεί να υπάρχουν ένα ή και περισσότερα δοχεία πίεσης. Οι σωληνοειδής μεμβράνες μπορούν να τοποθετηθούν εν σειρά για την αύξηση ανάκτησης παραγόμενου νερού.

Ένα από τα πλεονέκτημα των σωληνοειδών στοιχείων μεμβρανών είναι ότι ρυπαίνεται δύσκολα, καθαρίζεται πιο εύκολα και μάλιστα με μηχανικά μέσα, αν και είναι η λιγότερο συμπαγής διάταξη με τις μικρότερες αντοχές σε θερμοκρασίες και pH.

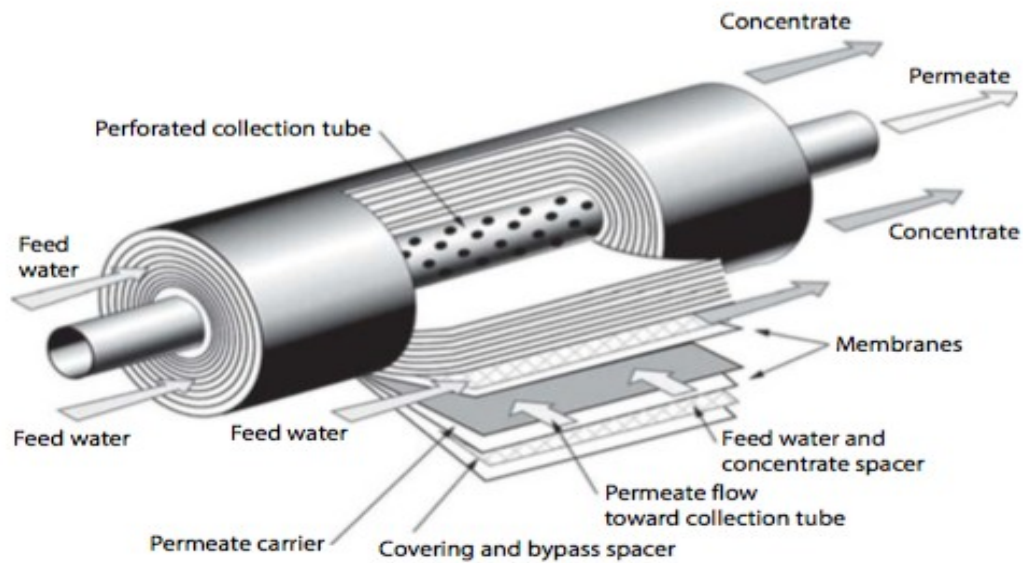


Εικόνα 3.6.2: Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών το οποίο αποτελείται από μια εποξειδική πλάκα (stainless steel support tubes) από την τροφοδοσία, το πλέγμα ροής, το πορώδες υλικό, τις κοίλες ίνες την τροφοδοσία, και την άλμη.

Αν και οι περισσότερες εφαρμογές αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιούν τέτοιου είδους μεμβράνες, τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται για μικρό διήθηση, αφού η χαμηλή πυκνότητα τους τους δίνει τη δυνατότητα για τέτοιες εφαρμογές. Άλλωστε η

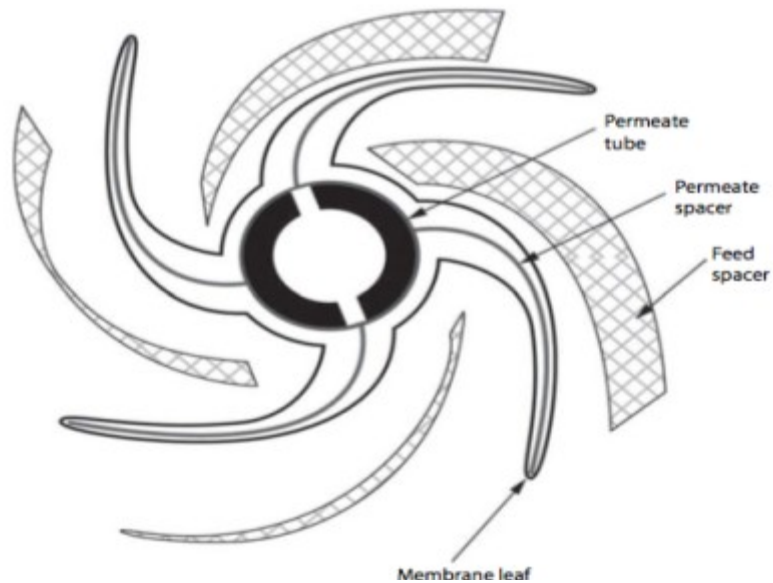
μικροδιήθηση είναι μια τεχνική για τον καθαρισμό νερού υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά. ⁴

3.6.3 Στοιχεία μεμβρανών ελικοειδούς περιέλιξης ή σπειροειδούς



Εικόνα 3.6.3.1 Στοιχείο μεμβράνης ελικοειδούς περιέλιξης το οποίο αποτελείται από το σωλήνα συλλογής (perforated collection tube) το παραγόμενο νερό (permeate) , την άλμη, τη ροή νερού, το διάλυμα τροφοδοσίας (feed water) και τις μεμβράνες (membranes)

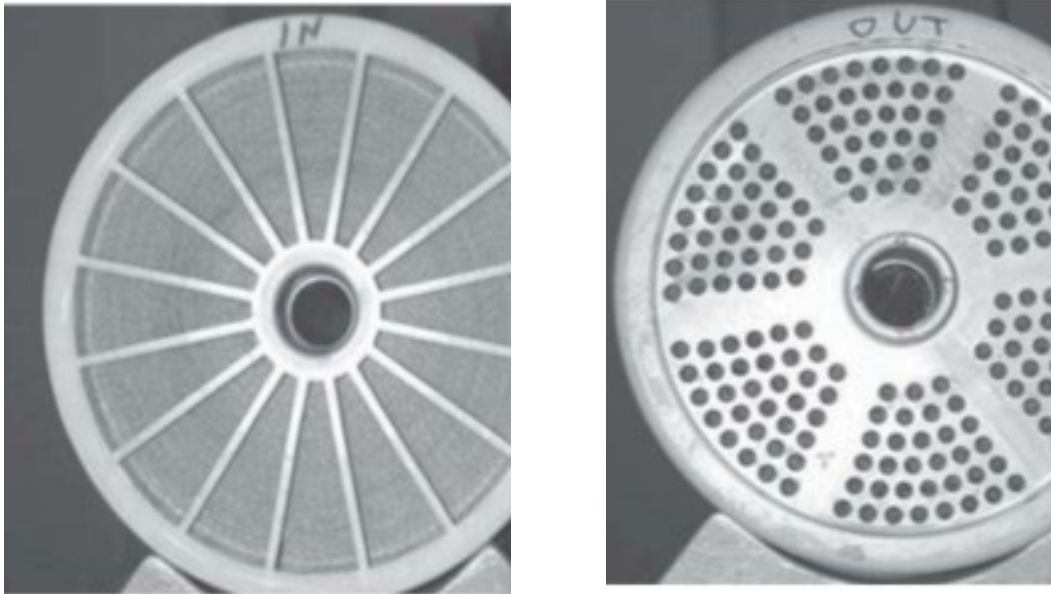
Τα στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς διαμόρφωσης ή ελικοειδούς περιέλιξης είναι η πιο εμπορική εφαρμογή στην αφαλάτωση νερού.



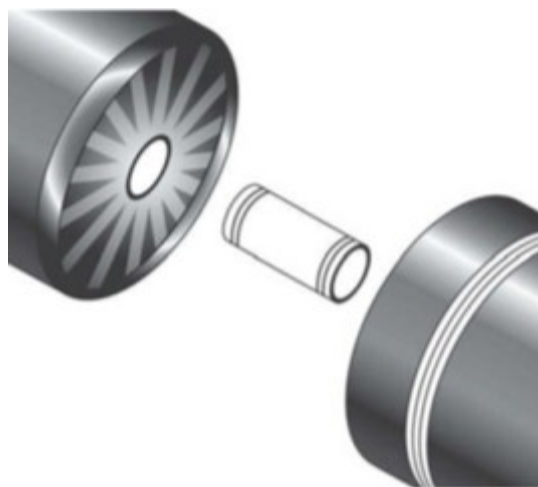
Εικόνα 3.6.3.4: Απεικόνιση μιας μεμβράνης σπειροειδούς διάταξης

Κύρια στοιχεία της συγκεκριμένης διάταξης είναι δύο επίπεδα στοιχεία μεμβρανών τοποθετούνται το ένα απέναντι από το άλλο με τις ενεργές επιφάνειες τους στην εξωτερική πλευρά. Στο μέσο των μεμβρανών τοποθετείται πορώδες πολυμερές υλικό. Οι τρεις πλευρές είναι ενωμένες μεταξύ τους ενώ η τέταρτη είναι ανοιχτή, σχηματίζοντας ένα φάκελο (η μεμβράνη είναι σε μορφή φύλλου). Τα δυο φύλλα διαμορφώνουν ένα σάντουιτς με ένα στρώμα πλέγματος στη μέση (εικόνα). Το πορώδες φύλλο τοποθετείται ώστε οι μεμβράνες να μην έρχονται σε επαφή όταν ασκείται υψηλή πίεση και επιτρέπει το παραγόμενο νερό να κινείται στο εσωτερικό των μεμβρανών. Το ανοιχτό άκρο στερεώνεται στο σωλήνα συλλογής του νερού που παράγεται. Ο συγκεκριμένος σωλήνας είναι διάτρητος στα σημεία που βρίσκονται εντός του φακέλου των μεμβρανών, ώστε το παραγόμενο νερό να εισέρχεται από τη μία άκρη του σωλήνα και να εξέρχεται από το άλλο άκρο του σωλήνα. Ο φάκελος τυλίγεται γύρω από το σωλήνα συλλογής μαζί με ειδικό πολυμερές πλέγμα, σχηματίζοντας την σπειροειδή περιέλιξη. Το πλέγμα δημιουργεί τον κατάλληλο χώρο μεταξύ των μεμβρανών ώστε να μπορεί να κινείται το αλατούχο διάλυμα, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί στροβίλους, εμποδίζοντας τον σχηματισμό στρωτής ροής. Κατά αυτό τον τρόπο μειώνονται ανεπιθύμητα φαινόμενα έμφραξης και πόλωσης συγκέντρωσης.

Το αλατούχο διάλυμα κινείται αξονικά κατά μήκος του σωλήνα συλλογής , ενώ το παραγόμενο νερό εισέρχεται εγκάρσια στο εσωτερικό του φακέλου , κινούμενο σπειροειδώς μέχρις οππού φτάσει στον σωλήνα συλλογής από το άκρο του οποίου εξέρχεται.⁴



Εικόνα 3.6.3.5: Απεικόνιση μπροστινού και πίσω μέρους μιας μεμβράνης ελικοειδούς περιέλιξης (πηγή τροφοδοσίας, in – έξοδος παραγόμενου νερού)



Εικόνα 3.6.3.6: Απεικόνιση σωλήνα συλλογής μιας μεμβράνης ελικοειδούς περιέλιξης

Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης σπειροειδούς περιέλιξης είναι τα εξής:

- Οι μεμβράνες σπειροειδούς περιέλιξης είναι αρκετά ακριβά, αρκετά της πολυπλοκότητας που έχουν και του τρόπου κατασκευής που περιλαμβάνουν. Ξεχωριστά το κάθε μέρος όμως είναι σχετικά χαμηλό.
- Οι μεμβράνες σπειροειδούς περιέλιξης είναι δύσκολες στο να καθαριστούν. Υπάρχουν αρκετά κενά τμήματα μεταξύ των μεμβρανών σε μια διάταξη, όπου δύσκολα μπορούν να προσεγγιστούν ώστε να απομακρυνθούν όλα τα κατακάθια.
- Η αυτοματοποιημένη κατασκευή των μεμβρανών επιτρέπει μεμβράνες με ακόμη μεγαλύτερη επιφάνεια κατ' όγκο. Αυτό οφείλεται καθαρά στην εξέλιξη των τεχνικών μέσων και συνολικά της τεχνογνωσίας που έχει γίνει όλα αυτά τα χρόνια. Έχει ήδη παραχθεί μεμβράνη με διάμετρο 40 ίντσες, μήκος 8 ίντσες και χώρο αποθήκευσης πάνω από 440 ft².

Για την επίτευξη των επιθυμητών παροχών αφαλατωμένου νερού εγκαθίστανται ένα ή συνηθώς περισσότερα στοιχειά μεμβρανών σε σειρά εντός των δοχείων πίεσης σχηματίζοντας ένα σύστημα ή μια συστοιχία μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης. Η μέγιστη πίεση λειτουργίας των παραπάνω φτάνει έως και τα 84 bar για αφαλάτωση θαλασσινού νερού και περίπου τα 41 bar για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Με την ως αινώ διαμόρφωση των στοιχείων μεμβρανών επιτυγχάνεται πολύ υψηλός λόγος επιφάνειας προς όγκο.

Ας σημειωθεί ότι, οι πλέον γνωστοί οίκοι κατασκευής μεμβρανών RO όπως η Dow Filtec και η Hydromantic (της Nitto-Denko), προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα στοιχείων μεμβρανών με διαβαθμίσεις στο ποσοστό απόρριψης των αλάτων ανάλογα με τη χρήση και την αλατότητα του ακατέργαστου νερού. Όπως είναι λογικό τα στοιχειά μεμβρανών χαμηλότερης απόρριψης έχουν το πλεονέκτημα ούτι λειτουργούν σε χαμηλότερες πιέσεις και εμφανίζουν μεγαλύτερη ροή αφαλατωμένου νερού. Για παράδειγμα στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού η Dow Filtec προσφέρει την επιλογή μεταξύ των υψηλής απόρριψης και με βελτιωμένα χαρακτηριστικά για χαμηλότερη απαιτούμενη ενέργεια μεμβρανών

τύπου SW30-HRLE 400 (High Rejection Low Energy) με ποσοστό απόρριψης αλάτων 99,7% έως 99,75% και των στοιχείων μεμβρανών πολύ χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας SW30-XLE 400 (extra Low Energy) με ποσοστό απόρριψης αλάτων 99,55% έως 99,70%.

Ενδεικτικό της εξέλιξης των μεμβρανών είναι η συχνή προσθήκη νέων εμπορικών τύπων με μεγαλύτερη ικανότητα απόρριψης αλάτων και ενεργής επιφάνειας ανά στοιχείο μεμβράνης. Ενδεικτικά αναφέρεται ούτι μετρά τα μέσα του 2009 η Dow Filtec ξεκίνησε τη διάθεση στην αγορά το στοιχείο μεμβράνης SW30-XHR 440I με απόρριψη αλάτων από 99,7% (έως 99,82%) και 10% μεγαλύτερη επιφάνεια μεμβράνης (από 400 ft.² σε 440 ft.² ανά στοιχείο μεμβράνης).^{3,4}

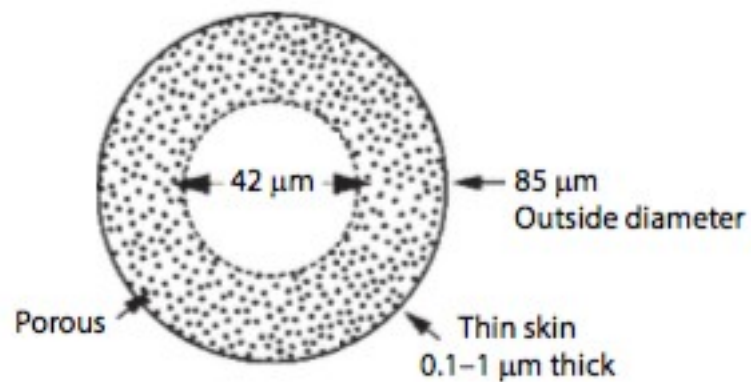
3.6.4 Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών



Εικόνα 3.6.4.1: Μembrάνη κοίλων ινών αντίστροφης ώσμωσης

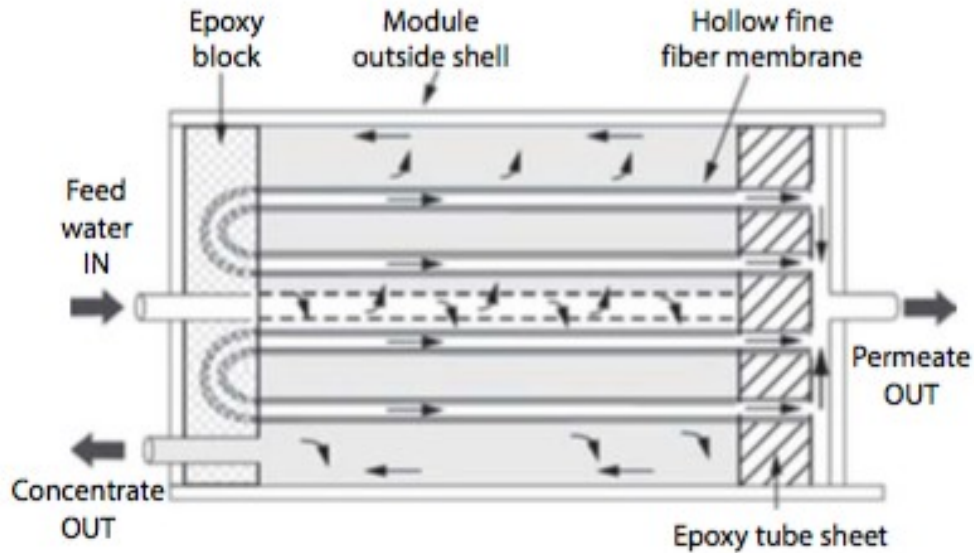
Οι μεμβράνες κοίλων ινών σχηματίζονται είναι μεμβράνες με σχήμα σωληνοειδές, με μια εξωτερική διάμετρο 85 μm με μια εσωτερική διάμετρο 42 μικρόμετρα. Ήταν από τις πρώτες εμπορικές μεμβράνες αφαλάτωσης που κατασκευάστηκαν. Μάλιστα οι λεπτές κοίλες ίνες μπορούν να παρομοιαστούν με αυτή της ανθρώπινης τρίχας. Το υλικό κατασκευής τους είναι το πολυαμίδιο, και η διαμόρφωση τους είναι ασύμμετρη. Στην

εξωτερική επιφάνεια έχουν ένα λεπτό και ανθεκτικό υμένα πάχους $<1\mu\text{m}$, που επιτρέπει τη διέλευση του νερού απορρίπτοντας τα συστατικά που υπάρχουν. Κάτω από τον ανθεκτικό υμένα το υλικό της ίνας είναι πορώδες, για να διευκολύνει τη ροή του νερού προς το εσωτερικό της. Η μορφοποίηση των κοίλων ινών σε στοιχεία μεμβράνης κάμπτονται στο μέσον για να σχηματίσουν U ενώ σχηματίζουν δέσμη διατασσόμενες παράλληλα με το κεκαμμένο άκρο τους βυθισμένο σε μια ειδικής ρητίνης. Ένας μεγάλος αριθμός ινών συγκεντρώνεται σε μια δέσμη για να διαμορφώσει πρακτικά ένα συλλέκτη του διηθήματος.



Εικόνα 3.6.4.2 Διατομή μεμβράνης κοίλων ινών όπου διακρίνεται το πορώδες υλικό, το λεπτό στρώμα διαμέτρου $0.1-1\mu\text{m}$ πάχους και η εξωτερικής του διάμετρος $85\mu\text{m}$

Η τροφοδοσία αντλείται μέσα από τη μία πλευρά της ίνας και το αφυαλατωμένο νερό αναδύεται μέσω του τοιχώματος των μεμβρανών της ίνας, και η άλμη βγαίνει από το άλλο άκρο της ίνας. Το διάλυμα στη συνέχεια κατευθύνεται στο εσωτερικό των κοίλων ινών (ασύμμετρες μεμβράνες) και κινείται μήκος προς την αντίθετη πλευρά που βρίσκεται σε ειδικό πορώδες υλικό. Το όλο σύστημα τοποθετείται σε ειδικό δοχείο πίεσης και έτσι διαμορφώνεται η διάταξη της αντίστροφης ώσμωσης.



Εικόνα 3.6.4.3: Διάταξη αντίστροφης ώσμωσης με μεμβράνη στοιχείου κοίλων ινών, το οποίο αποτελείται από τους σωλήνες τροφοδοσίας, έναν σωλήνα επωξικού στρώματος (epoxy tube sheet), το πορώδες υλικό, και το διήθημα (permeate out).

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της διαμόρφωσης είναι το μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας της μεμβράνης ανά δεδομένο όγκο, επιτρέποντας τη χρήση υλικών για μεμβράνη ακόμη και με σχετικά μικρό συντελεστή διαπερατότητας στο νερό. Μειονέκτημα από την άλλη είναι ότι η διαμόρφωση τους επιτρέπει την εύκολη συσσώρευση αιωρούμενων συστατικών που υπάρχει στο νερό της τροφοδοσίας με αποτέλεσμα να θεωρούνται ευάλωτες σε μόλυνση.⁴

4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο μηχανισμός μεταφοράς νερού / άλατος για το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης δεν έχει ερμηνευτεί πλήρως, αφού είναι ιδιαίτερα περίπλοκος. Ο λόγος είναι ότι η διεργασία της αφαλάτωσης τα ιόντα αλάτων είναι μικρότερου μεγέθους από τα μόρια του νερού, αρκετά μικρότερα σε μέγεθος με αυτά που αφορούν το φαινόμενο της διήθησης. Η δομή των σύνθετων μεμβρανών είναι μη πορώδης, συνεπώς δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως φίλτρα.

Επίσης είναι σημαντικό να τονιστεί, κάτι που έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης λειτουργούν μέσω της εφαπτομενικής τροφοδοσίας (cross flow) και όχι της κατά μέτωπο τροφοδοσίας (death end), που χρησιμοποιείται περισσότερο για τη κλασσική διήθηση. Έτσι το φαινόμενο της αφαλάτωσης και του τρόπου που αυτή γίνεται μέσω των μεμβρανών έχουν αναπτυχθεί διάφορες θεωρίες.

Στόχος ενός μοντέλου μεταφοράς είναι να μπορέσει να αποδώσει μαθηματικά την απόδοση ροής τόσο του διαλύτη όσο και της διαλυμένης ουσίας σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας (διαφορετικές δυνάμεις πίεσης και συγκέντρωσης) ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο εφικτή η συμπεριφορά της μεμβράνης κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα που περιγράφουν την μεταφορά μάζας μέσω μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης. Οι βασικές παραδοχές όμως βασίζονται σε διαφορετικές υποθέσεις και έχουν ποικίλους βαθμούς πολυπλοκότητας.

Τα μαθηματικά μοντέλα εμπίπτουν σε τρεις βασικές ταξινομήσεις: μοντέλα βασισμένα στη διάχυση του συστήματος διαλύματος/ διαλύτη (μη πορώδη μοντέλα μεταφοράς), μοντέλα βασισμένα σε μη αναστρέψιμες θερμοδυναμικές διαδικασίες και σε μοντέλα που βασίζονται σε πορώδεις μεμβράνες. Τα κυριότερα σημεία ορισμένων από αυτά τα μοντέλα εξετάζονται παρακάτω.

4.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ – ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΜΗ ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ) – ΙΔΑΝΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Οι H. K Lonsdale, U. Merten και R.L. Riley ήταν οι αυτοί που ανέπτυξαν το μοντέλο διάλυσης – διάχυσης, το οποίο βασική αρχή αποτελούν οι διεργασίες της απορρόφησης (adsorption) και της διάχυσης (diffusion). Ο λόγος που αναφέρεται ως μη πορώδες μοντέλο είναι διότι η ανάλυση της μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δεν έχει δείξει σημαντικούς πορώδεις διόδους, έτσι ώστε η ροή του διαλύτη και της διαλυμένης ουσίας να γίνεται μέσω των πόρων ή των σωληνίσκων των μεμβρανών.

Το νερό, ο διαλύτης δηλαδή, και η διαλυμένη ουσία, ιόντα αλάτων, διέρχονται μεταξύ μεμβρανών μέσω δυο βημάτων. Αρχικά διαλύονται στο δραστικό τμήμα της της εξωτερικής επιφάνειας της μεμβράνης και κατόπιν διαχέονται στο πορώδες υπόστρωμα μέχρις ότου εξέλθουν, από το άλλο άκρο του στοιχείου της μεμβράνης. Οι ταχύτητες διάλυσης και διάχυσης του διαλύτη και της διαλυμένης ουσίας είναι διαφορετικές, ώστε να γίνεται σωστός διαχωρισμός αλάτων και νερού. Για ένα συγκεκριμένο σύστημα μεμβράνης / διαλύτη / διαλυμένης ουσίας, η παροχή μάζας ανά μονάδα επιφάνειας του διαλύτη δίνεται από τη σχέση

$$J_w = A (\Delta P - \Delta \Pi) \quad \#(4.1)$$

J_w = ογκομετρική παροχή ανά μονάδα επιφάνεια της μεμβράνης

A = συντελεστής διαπερατότητας καθαρού νερού (συναρτήσεως της διάχυσης του νερού μέσω της μεμβράνης)

ΔP = δύναμη εφαρμοζόμενη πίεσης (συναρτήσεως της τροφοδοσίας και της συγκέντρωσης)

$\Delta \Pi$ = διαφορά ωσμωτική πίεσης του διαλύματος πριν και μετά τη μεμβράνης (συναρτήσεως της τροφοδοσίας και της συγκέντρωσης)

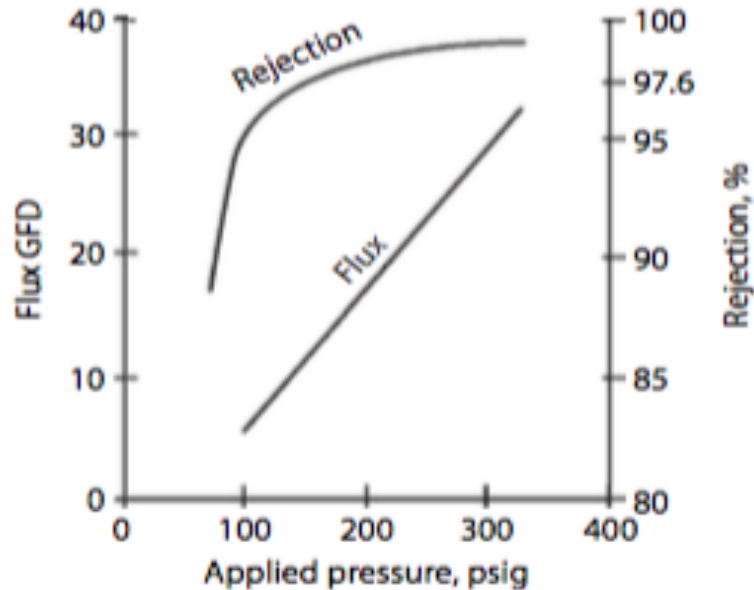
Η ροή του διαλύτη δια μέσω της μεμβράνης είναι ανάλογος της συγκέντρωσης διαλύτη ανά μεμβράνη εκφράζεται μέσω της εξίσωσης

$$J_s = K (C_{A2} - C_{A3}) \quad \#(4.2)$$

J_s = ογκομετρική παροχή ανά μονάδα επιφάνεια της μεμβράνης

K = συντελεστής διαπερατότητας των αλάτων (συναρτήση της διάχυσης των αλάτων δια μέσω της μεμβράνης)

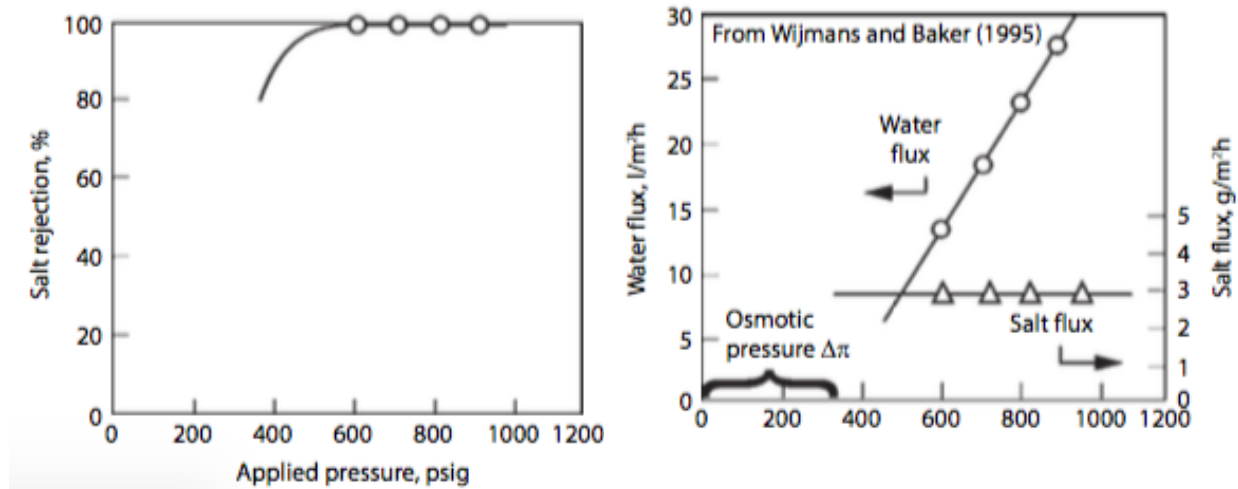
C_A = μοριακή συγκέντρωση του διαλύτη



Εικόνα 4.2.1: Διάγραμμα απεικόνισης ογκομετρικής παροχής νερού ανά μονάδα επιφάνειας και της απόρριψης για μια μεμβράνη πολυαμιδίου σε αναλογία με την πίεση. Συνθήκες δοκιμής: 5000 ppm διαλύματος χλωριούχου νατρίου στις 25° C.

Οι εξισώσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής είναι θεμελιώδεις, αφού τα αποτελέσματα του είναι αρκετά κοντά με τα εμπειρικά δεδομένα, μέχρι στιγμής. Οι εικόνες x.x/ x.x. απεικονίζουν την ογκομετρική παροχή ανά μονάδα επιφάνειας τόσο του νερού όσο και της απόρριψης των αλάτων σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη πίεση. Για παράδειγμα μια μεμβράνη τύπου FilmTec FT-30 με λειτουργία στις 35.000 ppm διαλύματος χλωριούχου νατρίου με μια εφαρμοζόμενη πίεση στα 350 psi, όπως προκύπτει από το σχήμα δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή στην ογκομετρική επιφάνεια ανά μονάδα λειτουργίας όσο η εφαρμοζόμενη πίεση δεν είναι μεγαλύτερη από τη πίεση του συστήματος. Μάλιστα, η ογκομετρική παροχή ανά μονάδα επιφάνειας του νερού, όπως προκύπτει και από την εξίσωση, είναι γραμμική όσο αυξάνεται η πίεση. Η ροή ανά μονάδα επιφάνειας των αλάτων από την άλλη παρέμεινε αρκετά σταθερό. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι με την αύξηση της εφαρμοζόμενης πίεσης, η

ποσότητα του νερού που διαπερνά τη μεμβράνη είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη συγκέντρωση των αλάτων, άρα μείωση της συγκέντρωσης.



Εικόνα 4.2.2: Απεικόνιση της ογκομετρικής παροχής νερού ανά μονάδα επιφάνειας και της απόρριψης για μια μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης τύπου FilmTec FT-30 σε σύστημα λειτουργίας 35000 rpm (350psi ωσμωτική πίεση) διαλύματος χλωριούχου νατρίου.

4.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ – ΔΙΑΧΥΣΗΣ (ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ)

Το μοντέλο διαλύματος διάχυσης που αναφέρθηκε παραπάνω αφορά μεμβράνες οι οποίες είναι ιδανικές, δηλαδή χωρίς ατέλειες στην επιφάνειάς τους. Στη πραγματικότητα όμως, όλοι οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία φέρουν ατέλειες στην επιφάνειά τους, ως αποτέλεσμα τους τρόπους κατασκευής τους (λόγω διαρροής του διαλύτη κατά τη διάρκεια). Για αυτό το λόγο το συγκεκριμένο μοντέλο δεν είναι για ήταν ιδανική περίπτωση, αλλά για μεμβράνες με ατέλειες (πόρους). Μάλιστα, εξηγεί με αρκετά μεγάλη επάρκεια γιατί υπάρχει μικρότερος διαχωρισμός μεταξύ των διαλυτών σε σχέση με το νερό, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με το ιδανικό μοντέλο.

Η ογκομετρική επιφάνεια ανά μονάδα επιφάνειας του νερού (ροή) μέσω της μεμβράνης αναπαρίσταται στην εξίσωση J_w και συμπεριλαμβάνει και τις ατέλειες που φέρει επάνω στην επιφάνειά της:

$$J_w = J_w + K_3 \Delta PC_w = A(\Delta P - \Delta \Pi) + K_3 \Delta PC_w \quad \#(4.3)$$

N_w = ογκομετρική παροχή ανά μονάδα επιφάνειας του νερού στο σύνολο

K_3 = συντελεστής σύζευξης

C_w = συγκέντρωση του νερού στη τροφοδοσία της της μεμβράνης

$$N_s = J_s + K_3 \Delta P C_R = K(C_{A2} - C_{A3}) + K_3 \Delta P C_R \quad \#(4.4)$$

N_s = συνολική ογκομετρική ανά μονάδα επιφάνειας του διαλυτού

C_R = συγκέντρωση του διαλυτού μέρους στη τροφοδοσία της μεμβράνης

Να σημειωθεί ότι ο όρος της ογκομετρικής παροχής ανά μονάδα επιφάνειας του διαλύτη είναι παρόμοιος με αυτό του διαλύματος στο μοντέλο διάχυσης της ιδανικής περίπτωσης, με τη

διαφορά της προσθήκης για τη ροή που λαμβάνει χώρα μέσα από τις ατέλειες.

Πειραματικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι το μοντέλο διαλύματος – διάχυση είναι το καλύτερο σε σύγκριση με άλλα μοντέλα μεταφοράς μάζας για πορώδη μέσα. Όπως είναι λογικό όμως, το μοντέλο διάχυσης διαλύτη για την ιδανική περίπτωση αναφέρεται πιο συχνά, αφού είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβειας ο αριθμός των ατελειών της μεμβράνης.

4.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΜΕΡΙΚΩΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΜΕΣΟΥ (FINELY POROUS MODEL)

Το μοντέλο για ελαφρά πορώδες μεμβράνη (μέσο) βασίζεται στην ισορροπία μεταξύ των εφαρμοζόμενων δυνάμεων και των δυνάμεων τριβής για πόρους μια διάστασης. Το μοντέλο θεωρεί την τριβή μεταξύ της διαλυμένης ουσίας και του διαλύτη μεταξύ αυτών και της μεμβράνης. Συμπεριλαμβάνεται επίσης σε αυτό, το πάχος της μεμβράνης και τη περιοχή των πόρων κατά επιφάνεια της μεμβράνης. Λόγω όμως της περιπλοκότητας που περιλαμβάνει ως προς την μαθηματική απόδειξη, δε θα αναφερθούν περαιτέρω στη συγκεκριμένη εργασία.

4.5 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΡΟΗΣ

Το συγκεκριμένο μοντέλο περιγράφει γενικά το ιξώδες τόσο του νερού όσο και της διαλυμένης ουσίας κατά τη διάχυση μέσα στους πόρους της μεμβράνης. Στην ουσία

βασίζεται στη διάχυση ανάμεσα στα οριακά στρώματα της μεμβράνης με τη δημιουργία του στρώματος πάνω στην μεμβράνη λόγω των απωθητικών δυνάμεων της μεμβράνης στα ιόντα αλάτων και της υψηλής ενέργειας που χρειάζεται για την αφυδάτωσή αυτών. Με την εφαρμογή πίεσης, τόσο ο διαλύτης όσο και η διαλυμένη ουσία διεισδύουν διαμέσω των πόρων που υπάρχουν στην μεμβράνη, και το νερό προτιμά να προσροφάτε στα τοιχώματα των πόρων. Από την άλλη, το άλας απορρίπτεται από την επιφάνεια της μεμβράνης για φυσικοχημικούς λόγους (υπάρχει έλλειμα ιόντων στην επιφάνεια της μεμβράνης όπου κυριαρχούν τα μόρια του νερού). Η μεταφορά μέσω της μεμβράνης εδώ, γίνεται μόνο μέσω των πόρων.

Η ροή (flux) ή αλλιώς ογκομετρικής παροχή ανά μονάδα επιφάνειας δίνεται παρακάτω, όπου η μεταφορά είναι ανάλογη της πίεσης που σχηματίζεται. Η συνολική ογκομετρική παροχή ανά μονάδα επιφάνειας εξαρτάται από τη διάχυση και δίνεται από τη παρακάτω εξίσωση:

$$N_s = \left(D_{AM} \frac{K}{T} \right) (C_{A2} - C_{A3}) \quad \#(4.5)$$

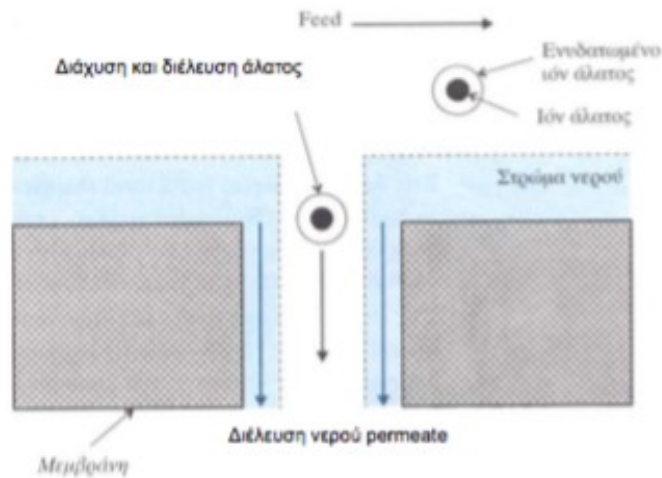
όπου:

D_{AM} = διάχυση του διαλύτη στη μεμβράνη

T = πάχος της μεμβράνης

C_{A2} = μοριακή συγκέντρωση στο οριακό στρώμα της μεμβράνης

C_{A3} = μοριακή συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας κατά τη διάχυση



Εικόνα 4.5.1 Απεικόνιση του μοντέλου της επιλεκτικής απορρόφησης τριχοειδούς ροής

Η είσοδος των αλάτων μέσω της μεμβράνης γίνεται με διάχυση. Αυτό συνεπάγεται ότι η είσοδος του νερού και των αλάτων καθορίζεται τόσο από:

1. Το είδος της μεμβράνης και κυρίως της χημικής τους δομής
2. Από την ασκούμενη πίεση
3. Από την ταχύτητα διάχυσης των ιόντων των αλάτων, δηλαδή των συγκεντρώσεων των αλάτων

4.6 ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η μελέτη της λειτουργία των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης με τη βοήθεια της θερμοδυναμικής μη αντιστρεπτών διεργασιών (irreversible thermodynamics), υποδηλώνει ότι η εντροπία του συστήματος αυξάνει και εκλύεται ενέργεια. Οι πρώτοι που ανέπτυξαν αυτή τη θεωρία ήταν οι Kedem και Katschalsky και τους Dickson ή Soltanieh. Στην ουσία δηλαδή αυτό το μοντέλο συμπεριλαμβάνει φαινομενολογικές σχέσεις για τη μεταφορά μάζας σε μια μεμβράνη, πλήρης απουσίας οποιασδήποτε γνώσης τόσο για τη μεταφορά μέσω της μεμβράνης όσο και για την ίδια της τη δομή.

Οι βασικές εξισώσεις της συγκεκριμένης εργασίας είναι:

$$A_v = 1_p (\Delta P - \sigma \Delta \Pi) \quad \#(4.6)$$

$$A_s = A_v c_p = B \Delta C + \underline{c} (1 - \sigma) A_v \quad \#(4.7)$$

όπου

A_v : ογκομετρική παροχή διαλύματος μεσώ της μεμβράνης, l_p η υδραυλική διαπερατότητα της μεμβράνης

ΔP : η διαφορά της εφαρμοζόμενης πίεσης μεταξύ του διαλύματος τροφοδοσίας και του παραγομένου νερού

ΔP : η διαφορά ωσμωτικής πίεσης μεταξύ του διαλύματος τροφοδοσίας και του παραγομένου νερού

B : συντελεστής διαπερατότητας των αλάτων,

ΔC : $C_w - C_p$ η διαφορά συγκέντρωσης των αλάτων με C_w η συγκέντρωση αλάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης, C_p η συγκέντρωση των αλάτων στο παραγόμενο νερό

C : ο αριθμητικός μέσος των συγκεντρώσεων C_w, C_p

σ : ο συντελεστής ανάκλασης (reflection coefficient) που είναι μέτρο επιλεκτικότητας της μεμβράνης και λαμβάνει τιμές από 0-1,

ω : ο συντελεστής διαπερατότητας των αλάτων, C_s aver η μέση συγκέντρωση αλάτων

A_s : η παροχή μάζας ανά μονάδα επιφάνεια διαλυμένων αλάτων

Η προσδιοριζόμενη απόρριψη αλάτων θα δίνεται από τη σχέση,

$$R = \sigma \frac{(1 - F)}{(1 - \sigma F)} \quad \#(4.8)$$

Όπου:

$$F = e^{-\left(\frac{1-\sigma}{B}\right)A_v} \quad \#(4.9)$$

Η τιμή του συντελεστή ανάκλασης υπολογίζεται από τη γραφική παράσταση της σχέσης ,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\sigma} + \left(\frac{Ld}{Lp} - \sigma^2\right) \frac{Lp \Pi_1}{\sigma A_v} = \frac{1}{\sigma} + \frac{1}{A_v} \quad \#(4.10)$$

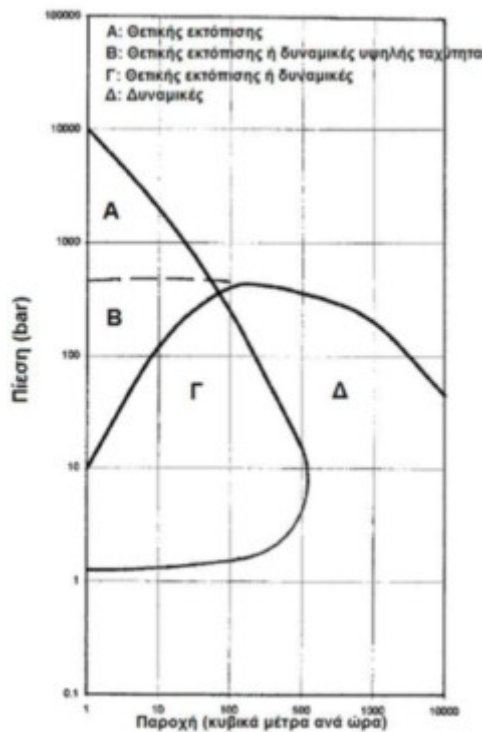
Έτσι γραφική παράσταση του $1/R$ ως προς $1/A_v$ παρέχει ως τεταμένη για $1/A_v = 0$ την τιμή $1/\sigma$.

5. ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ

Συνηθώς, ταξινομούνται με βάση την αρχή λειτουργίας τους και έτσι διακρίνονται σε δυναμικές αντλίες και θετικής εκτόπισης. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 6.1 αυτές οι βασικές κατηγορίες έχουν τα υποσύνολα τους:



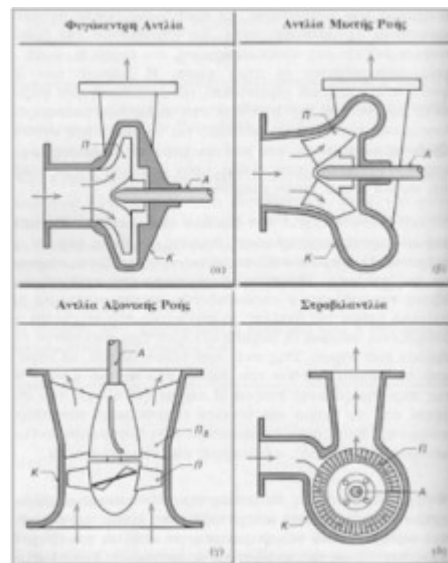
Εικόνα 5.1 Οι τύποι αντλιών με τις υποκατηγορίες τους. Διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τις δυναμικές αντλίες και τις αντλίες θετικής εκτύπωσης.



Εικόνα 5.2 Εύρος λειτουργίας διαφορετικών τύπων αντλιών

Στις **δυναμικές αντλίες** αυξάνεται η ταχύτητα του διακινουμένου υγρού, με μεταφορά ορμής σε αυτό από το κινούμενο στοιχείο της αντλίας. Το αποτέλεσμα της δράσης αυτής είναι η αύξηση της κινητικής ενέργειας του υγρού, η οποία, στη συνέχεια, κατά την έξοδό του από την αντλία, μετατρέπεται σε στατική πίεση. Το κινούμενο στοιχείο των αντλιών αυτών αποτελείται από έναν ή περισσότερους δρομείς οι οποίοι φέρουν χυτά πτερύγια. Ο δρομέας μαζί με τα πτερύγια ονομάζεται πτερωτή. Η πτερωτή είναι στερεωμένη πάνω στον άξονα της αντλίας, ο οποίος συνδέεται με την κινητήρια μηχανή. Το ακίνητο τμήμα της αντλίας, μέσα στο οποίο περιστρέφεται η πτερωτή, ονομάζεται κέλυφος (ή σώμα). Το κέλυφος έχει ανοίγματα εισόδου και εξόδου του υγρού. Στις αντλίες του τύπου αυτού, το υγρό οδηγείται από το στόμιο εισόδου του κελύφους στο κέντρο ή στην περιφέρεια της περιστρεφόμενης πτερωτής. Η περαιτέρω κίνηση του υγρού εξαρτάται από το σχήμα και τον τρόπο τοποθέτησης των πτερυγίων της πτερωτής. Έτσι διακρίνουμε τέσσερα είδη δυναμικών αντλιών, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3:

- φυγόκεντρες
- μικτής ροής
- αξονικής ροής
- στροβιλαντλίες



Εικόνα 5.3 Δυναμικές αντλίες (α) φυγόκεντρη, (β) μικτής ροής, (γ) αξονική ροής, (δ) στροβιλαντίλη

Στις **φυγόκεντρες αντλίες**, το σχήμα των πτερυγίων και η διάταξή τους είναι τέτοια ώστε το υγρό που εισέρχεται στο κέλυφος αξονικός, να κινείται και εξέρχεται κάθετα προς τον άξονα της αντλίας, δηλαδή ακτινικός. Για το λόγο αυτό, οι φυγόκεντρες αντλίες αναφέρονται συχνά και ως αντλίες ακτινικής ροής.

Στις **αντλίες μικτής ροής**, τα πτερύγια είναι τοποθετημένα υπό γωνιά ως προς τον άξονα περιστροφής. Το υγρό εισέρχεται αξονικός και κινείται ταυτόχρονα αξονικός και ακτινικός. Η διάμετρος της πτερωτής στην είσοδο του υγρού είναι μικρότερη από τη διάμετρό της στην έξοδο. Η αύξηση της πίεσης του υγρού προέρχεται από τη συνδυασμένη δράση της φυγόκεντρης δύναμης και της ανυψωτικής δύναμης που ασκούν τα πτερύγια.

Στις **αντλίες αξονικής ροής**, το κέλυφος έχει συνηθώς κυλινδρική μορφή και η πτερωτή τους σχήμα έλικας (γι' αυτό ονομάζονται και ελικοφόρε αντλίες). Το υγρό εισέρχεται, κινείται και εξέρχεται παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής της πτερωτής (αξονική ροή). Η αύξηση της πίεσης του υγρού προέρχεται από την ανυψωτική δράση της έλικας, η οποία είναι πάντοτε βυθισμένη στο υγρό. Στις αντλίες αξονικής ροής, εκτός από τα πτερύγια της πτερωτής, υπάρχει και μια δεύτερη σειρά πτερυγίων, τα πτερύγια διάχυσης, τα οποία τοποθετούνται μετρά την πτερωτή. Τα πτερύγια διάχυσης χρησιμοποιούνται για την ομαλοποίηση της ροής και μετατροπή της κινητικής ενέργειας του υγρού σε ενέργεια πίεσης.

Στις **στροβιλαντλίες**, τα πτερύγια είναι επίπεδα και τοποθετούνται, ακτινωτά, στην περιφέρεια του περιστρεφόμενου δρομέα. Το υγρό οδηγείται από το στόμιο εισόδου του κελύφους της αντλίας στην περιφέρεια της πτερωτής, παραλαμβάνεται από τα πτερύγια, διαγραφεί σχεδόν μια πλήρη περιστροφή μέσα στο δακτυλιοειδή αγωγό του κελύφους και κινείται προς τη χοάνη κατάθλιψης με μεγάλη ταχύτητα. Επομένως, η ενέργεια που προστίθεται στο υγρό προέρχεται από τις ωθήσεις των πτερυγίων και είναι μεγαλύτερη από ο, τι στις φυγόκεντρες αντλίες του ίδιου μεγέθους.

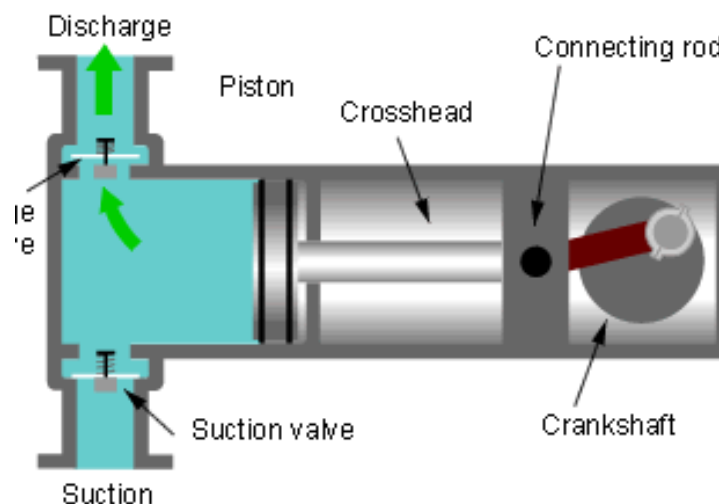
5.1 ΘΕΤΙΚΗΣ ΕΚΤΟΠΙΣΗΣ

Στις **αντλίες θετικής εκτόπισης**, το αντλητικό στοιχείο της αντλίας παραλαμβάνει

μια ποσότητα υγρού η οποία παγιδεύεται εντός θαλάμου και τη μετατοπίζει στο χώρο , αυξάνοντας τη στατική πίεση του υγρού και χωρίς να μεταβάλλει την κινητική του ενέργεια. Η παροχή των αντλιών αυτών είναι ανεξάρτητη από την υδραυλική αντίσταση των αγωγών μεταφοράς του υγρού. Οι αντλίες εκτόπισης είναι κατάλληλες για ανάπτυξη υψηλής πίεσης και μικρής παροχής . Το βασικό τους πλεονέκτημα , εκτός από την ανάπτυξη υψηλής πίεσης είναι ούτι μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη διακίνηση υγρών με μεγάλο ιξώδες . Ανάλογα με το είδος της κίνησης του αντλητικού στοιχείου διακρίνουμε δυο ειδή αντλιών θετικής εκτόπισης:

- **παλινδρομικές περιστροφικές**

Στις **παλινδρομικές αντλίες**, ο θάλαμος (συνηθώς κυλινδρικού σχήματος) στον οποίο εγκλωβίζεται η ποσότητα του υγρού είναι σταθερός . Το αντλητικό στοιχείο των αντλιών αυτών εκτελεί ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση μέσα στο θάλαμο της αντλίας . Το κινούμενο στοιχείο μπορεί να είναι έμβολο, διάφραγμα ή κυλινδρική ράβδος. Η κίνηση στο κινούμενο στοιχείο δίνεται από εξωτερική πηγή με στρόφαλο και διωστήρα ή έκκεντρο.



Εικόνα 5.4 Απεικόνιση μια παλινδρομικής αντλίας

Η αρχή λειτουργίας μιας τυπικής παλινδρομικής αντλίας φαίνεται στο σχήμα 5.4. ε τη βοήθεια του συστήματος διωστήρα - στρόφαλου, η περιστροφική κίνηση της

κινητήριας μηχανής μετατρέπεται σε παλινδρομική κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο της αντλίας. Αποτέλεσμα αυτής της κίνησης του εμβόλου είναι η εισροή υγρού χαμηλής πίεσης από τη σωλήνωσή αναρρόφησης στον κύλινδρο, μέσω της βαλβίδας

Πολλές παλινδρομικές αντλίες είναι διπλής ενέργειας , δηλαδή το υγρό εισάγεται εναλλάξ σε κάθε πλευρά του εμβόλου , έτσι ώστε το έμβολο να παροχετεύει υγρό και κατά τις δυο φορές κίνησης του . Οι αντλίες του τύπου αυτού δίνουν μεγαλύτερη παροχή ενώ, παράλληλα, επιτυγχάνεται πιο ομοιόμορφη ροή . Συχνά, όταν απαιτούνται μεγαλύτερες παροχές χρησιμοποιούνται αντλίες με δυο ή περισσότερους (συνηθώς έως 4) κυλίνδρους σε παράλληλη σύνδεση.

- **περιστροφικές αντλίες**

Στις **περιστροφικές αντλίες**, ο θάλαμος στον οποίο εγκλωβίζεται η ποσότητα του υγρού δεν είναι σταθερός, αλλά κινείται από την είσοδο προς την έξοδο και παλιά πίσω στην είσοδο της αντλίας . Οι αντλίες αυτές έχουν ένα ή περισσότερα κινούμενα στοιχεία τα οποία περιστρέφονται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα μέσα στο κέλυφος της αντλίας , οπότε η παρεχόμενη ροή είναι συνεχής . Οι περιστροφικές αντλίες κατατάσσονται στις αντλίες θετικής εκτόπισης, γιατί η πίεση κατάθλιψης δημιουργείται με ώθηση του υγρού και ουχί με μεταβολή της κινητικής του ενέργειας (όπως συμβαίνει στις δυναμικές αντλίες).

Ανάλογα με τη μορφή των κινουμένων στοιχείων , οι περιστροφικές αντλίες φέρονται υπό διάφορες ονομασίες, όπως γριναζωτές αντλίες, αντλίες με λοβούς, αντλίες με κοχλίες, αντλίες με συρτές και αντλίες με έμβολα.

Γενικά, οι αντλίες θετικής εκτόπισης χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλής πίεσης ενώ υπάρχει και σημαντική κατηγορία αντλιών για τη δοσομετρητή υγρών . Οι αντλίες υψηλής πίεσης (μοντέλο BMP της εταιρεία Granados – κατασκευάζεται από την εταιρεία Danios με την ονομασία APP) που χρησιμοποιήθηκαν στις μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού που εξετάζονται ως μελέτες περιπτώσεων είναι θετικής εκτόπισης, περιστροφικές με έμβολα.

5.2 ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ

Ο ηλεκτροκινητήρας θα μπορούσε να οριστεί ως μια ηλεκτρομηχανική διάταξη μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε κινητική με την μορφή περιστροφικής κίνησης

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος , βασίζεται στην δημιουργία ενός μαγνητικού πεδίου στο στακτή (δηλαδή, το ακίνητο μέρος της ηλεκτρικής μηχανής), μέσω του οποίου εξαναγκάζεται σε περιστροφή ο δρομέας , που αποτελεί το περιστρεφόμενο μέρος του κινητήρα.

Η ταξινόμηση των ηλεκτροκινητήρων βάσει της ενεργειακής τους απόδοσης δίνεται παρακάτω καθώς ο σχεδιασμός των μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού που εξετάζονται συμπεριελάμβανε τη χρήση κινητήρων υψηλής απόδοσης με στόχο τη μείωση της καταναλισκομένης ενέργειας.

5.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Η ταξινόμηση των ηλεκτροκινητήρων προέκυψε όταν η Ευρωπαϊκή Ένωση σε συνεργασία με την CEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics) έθεσε νέες προδιαγραφές για την αύξηση της απόδοσης των συστημάτων κίνησης. Στόχος ήταν η ελάττωση της καταναλισκομένης ενέργειας, η μείωση των λειτουργικών εξόδων των ευρωπαϊκών επιχειρήσεων και η μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα.

5.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η θεωρία των ηλεκτρικών μηχανών αποδεικνύει ούτι οι στροφές ενός ασύγχρονου επαγωγικού κινητήρα, μεταβάλλονται ανάλογα με την συχνότητα της τάσης με την οποία τροφοδοτείται η μηχανής . Πανό σε αυτού το χαρακτηριστικό στηρίζεται η ραχή λειτουργίας των διατάξεων ρύθμισής στροφών (variable speed drive / variable frequency drives ή

εμπορικά επονομαζόμενά frequency inverters) που χρησιμοποιούνται σήμερα στις εφαρμογές όπου απαιτείται έλεγχός της ταχύτητάς των ασύγχρονών κινητηρίων

εναλλασσόμενου ρεύματος

Πρακτικά με τη χρήση των ρυθμιστούν στρόφων επιτυγχάνεται ακρίβεια στην ταχύτητα του κινητήρα με αποτέλεσμα να είναι εύκολο να προσαρμοστεί στις επιθυμητές συνθήκες λειτουργίας, επιτρέπει δηλαδή την ταχύτητα να μεταβάλλεται σύμφωνα με το αντίστοιχο φορτίο και έτσι μειώνεται η ενεργειακή κατανάλωση

5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μονάδες Αφαλάτωσης 1^{ης} Γενιάς, 2^{ης} Γενιάς, 3^{ης} Γενιάς

Το αλμόλοιπο, καθώς εξέρχεται από το στοιχείο της μεμβράνης, έχει πολύ υψηλή πίεση (έως 96% της πίεσης του ρεύματος εισόδου), ενώ το παραγόμενο νερό έχει χαμηλή έως αμελητέα πίεση. Επομένως ειδικά για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού ήταν λογικό να γίνουν προσπάθειες με σκοπό να ανακτηθεί ένα σημαντικό ποσό ενέργειας από το απορριπτόμενο αλμόλοιπο.

Στην αφαλάτωση υφάλμυρου νερού είναι συνηθισμένο να μην υπάρχει κανένα σύστημα ανάκτησης ενέργειας επειδή το ενεργειακό κόστος είναι σχετικά χαμηλό ενώ και η παροχή του αλμόλοιπου είναι συνηθώς χαμηλότερη από το 30% της παροχής τροφοδοσίας.

Σε αυτό το πλαίσιο έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες διατάξεις ανάκτησης ενέργειας με κυριότερες τις παρακάτω:

- Αντιστροφή Υδραυλική Αντλία (reverse running pump)
- Υδροστρόβιλος Πέλτον (Pelton Wheel)
- Hydraulic Turbo Charger
- Εναλλακτική πίεσης (Pressure Exchanger) Βάσει των παραπάνω έχουν εμπορικώς οριστεί διαφορετικές γενιές αφαλάτωσης, όπως η 1^η γενιά δε συμπεριλαμβάνει καμία διάταξη ανάκτησης ενέργειας και είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα, η 2^η γενιά περιλαμβάνει

διατάξεις ανάκτησης ενέργειας μέτριας απόδοσης όπως ο υδροστρόβιλος Pelton, ο Hydraulic Turbo Charger, ο υδροστρόβιλος Francis και τέλος η 3^η γενιά περιλαμβάνει νεότερες διατάξεις με πολύ υψηλότερη απόδοση όπως ο ανάλλακτης πίεσης ή ο ανάλλακτης έργου (work exchanger), ο οποίος είναι πολύ λιγότερο διαδεδομένος.

6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΏΣΜΩΣΗΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός του συστήματος αντίστροφης ώσμωσης περιλαμβάνει όλα τα θέματα που έχουν αναλυθεί μέχρι στιγμής στο θεωρητικό μέρος της διπλωματικής – με πιο σημαντικά ίσως τα ακόλουθα:

- Ροή νερού
- Ροή τροφοδοσίας ανά δοχείο πίεσης
- Ροή παροχής ανά δοχείο πίεσης
- Beta
- Δείκτες κλιμάκωσης

Η τήρηση των συγκεκριμένων οδηγιών με βάση τις διαφορετικούς παραμέτρους μπορεί να καθορίσει την επιτυχία του σχεδιασμού. Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να καλύψει τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης, περιλαμβάνοντας τη χρήση του σχεδιασμού ενός software το οποίο παρέχεται από τους κατασκευαστές των μεμβρανών.

Βασική παράμετρος για οποιαδήποτε κατασκευή αντίστροφης ώσμωσης αποτελεί η ροή του νερού. Η ροή του νερού ανά μονάδα επιφάνειας επιλέγεται από τον σχεδιαστή και βασίζεται στη ροή τροφοδοσίας και τη ποιότητα του. Αφού επιλεχτεί η ροή ανά μονάδα επιφάνειας, η άλλη παράμετρος που χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν είναι ποια μεμβράνη να χρησιμοποιηθεί και το μέγεθος της επιφάνειας της που απαιτείται για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Όπως ήδη έχουν αναφερθεί υπάρχουν διαφορετικά είδη μεγέθη, σχήματα μεμβράνες (π.χ BW30-365, Process Solutions FilmTec FT-30 365 ft² ή 400 ft²) και εφόσον επιλεχθεί η ροή τροφοδοσίας και ο τύπος της μεμβράνης ο σχεδιαστής μπορεί να χρησιμοποιήσει την ακόλουθη εξίσωση όπου υπολογίζεται με ακρίβεια ο αριθμός των στοιχείων της μεμβράνης που χρειάζονται για το επιθυμητό αποτέλεσμα:

$$J_w = F_p * \frac{1}{MA} * \frac{1}{N} \#(6.1)$$

Όπου: J_w = ροή νερού, gfd

F_p = ροή παραγόμενου προϊόντος, γαλόνια/μέρα

MA = επιφάνεια μεμβράνης ανά στοιχείο

N = αριθμός στοιχείων

Λύνοντας την εξίσωση για τον αριθμό στοιχείων, N , ο σχεδιαστής μπορεί να υποψιαστεί για τη διάταξη του πώς μπορεί να φαίνεται. Για ένα σύστημα ανάκτησης δύο σταδίων 75% με κωνικό σχεδιασμό, τα 2/3 του συνολικού αριθμού μονάδων θα ήταν στο πρώτο στάδιο και το υπόλοιπο 1/3 θα ήταν στο δεύτερο στάδιο. Μόλις εκτιμηθεί η συστοιχία, ο σχεδιασμός μπορεί να βελτιστοποιηθεί σε σχέση με άλλες μεταβλητές σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμών ροής, των δεικτών κλιμάκωσης, της ανάκτησης και της βήτα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός με το χέρι είναι πολύ κουραστικό λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μεταβλητές που πρέπει να αντιμετωπιστούν από τον σχεδιαστή. Έτσι, το λογισμικό σχεδιασμού λογισμικού έχει αναπτυχθεί για να βοηθήσει τον σχεδιαστή να αναπτύξει ένα σχέδιο ενός συστήματος RO. Μερικοί κατασκευαστές μεμβρανών έχουν θέσει στη διάθεση του κοινού, σχεδιάζουν μαλακά προϊόντα ειδικά για τις μεμβράνες τους. Κάθε πακέτο λογισμικού, ενώ διαφέρει από την παρουσίαση, προσφέρει το ίδιο αποτέλεσμα: σχεδιασμός της μονάδας RO, συμπεριλαμβανομένης της σειράς, της πίεσης λειτουργίας, των δεικτών κλιμάκωσης και των προϊόντων και συγκέντρωσης των ποιοτήτων του νερού.

Η απόδοση του λογισμικού ενδέχεται να διαφέρει έως και +/- 15% από το πραγματικό σύμφωνα με τεχνικό εγχειρίδιο της Dow Water Και της Process Solution Film-Tec. Η διαφορά ισχύει για συστήματα μέχρι 36 μεμβράνες. Μικρότερα συστήματα μπορεί να δείχνουν 1.5 φορές λιγότερο πέρασμα του αλατιού έναντι της απόρριψης. Μάλιστα το ίδιο το σύστημα προειδοποιεί όταν οι παράμετροι που λαμβάνουν χώρα δεν είναι σε φυσιολογικά όρια, όπως πχ. η χαμηλή συγκέντρωσης ροής.

Συνεπώς η εμπειρία και η κοινή αίσθηση είναι απαραίτητα στοιχεία του σχεδιασμού όταν χρησιμοποιείται λογισμικό όπου είναι πραγματικό, ιδιαίτερα για ιδιαίτερα για ρεύματα τροφοδοσίας εκτός από σχετικώς καθαρές πηγές, όπως το νερό πηγής με $SDI < 3$.

Στον παρακάτω πίνακα σημειώνονται μερικά από τα λογισμικά που χρησιμοποιούν διάφοροι κατασκευαστές μεμβρανών και τα οποία είναι διαθέσιμα στο κοινό – μερικά από τα οποία αναλύονται ενδελεχώς παρακάτω (και τα οποία μπορεί να προμηθευτεί κάποιος από τα αντίστοιχα sites των κατασκευαστικών εταιρειών).

Πίνακας 6.1 Αναλυτικά όλα τα προγράμματα που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής

Κατασκευαστής Μεμβρανών	Όνομα Λογισμικού
Dow Water Solutions – FilmTec (Minneapolis, Mn) www.dow.com	Water Application Value Engine (WAVE)
Toray Membrane, USA (Poway, Ca) www.toraywater.com	Toray Design System (TorayDS)
Hydranautics (Oceanside, CA) www.membranes.com	Integrated Membrane Solutions (IMSDesign)
Koch Membrane Systems (Wilmington, MA) www.kochmembrane.com	ROPRO
TriSep corporation (Goleta, CA) www.trisep.com	TROI
Gewater & Process Technologies (Trevose PA) www.gewater.com	WinFlows

Η επιλογή του λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται πλήρως από τον κατασκευαστή της μεμβράνης, οποίος επιλέγεται από τον πελάτη. Ο κάθε σχεδιαστής συστήματος αντίστροφης ώσμωσης ίσως έχει μια προτίμηση προς ένα πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιούν για να παρέχουν τις συγκεκριμένες πληροφορίες σύμφωνα με τις επιλογές της μεμβράνης τους.

6.2 DOW WAVE – WATER APPLICATION VALUE ENGINE

Το πρόγραμμα Water Application Value Engine (Wave) από την εταιρεία Dow Water & Process Solution, που βασίζεται στη beta, αναπτύχθηκε με στόχο προσφοράς της πιθανότητας μοντελοποίησης τόσο της αντίστροφης ώσμωσης, όσο και της υπερδιήθησης, της ανταλλαγής ιόντας χωριστά ή στο σύνολο. Περισσότερο βάση θα δοθεί, στη μέθοδο ης αντίστροφης ώσμωσης.

Τα στοιχεία της αντίστροφης ώσμωσης είναι τα εξής:

- Πληροφορίες εισαγωγής του εκάστοτε project
- Στοιχεία τροφοδοσίας νερού
- Διαμόρφωση συστήματος αντίστροφης ώσμωσης
- Χημική Ρύθμιση
- Δημιουργία και ανασκόπηση αναφορών
- Λειτουργία παρτίδας και διαχείριση υποθέσεων

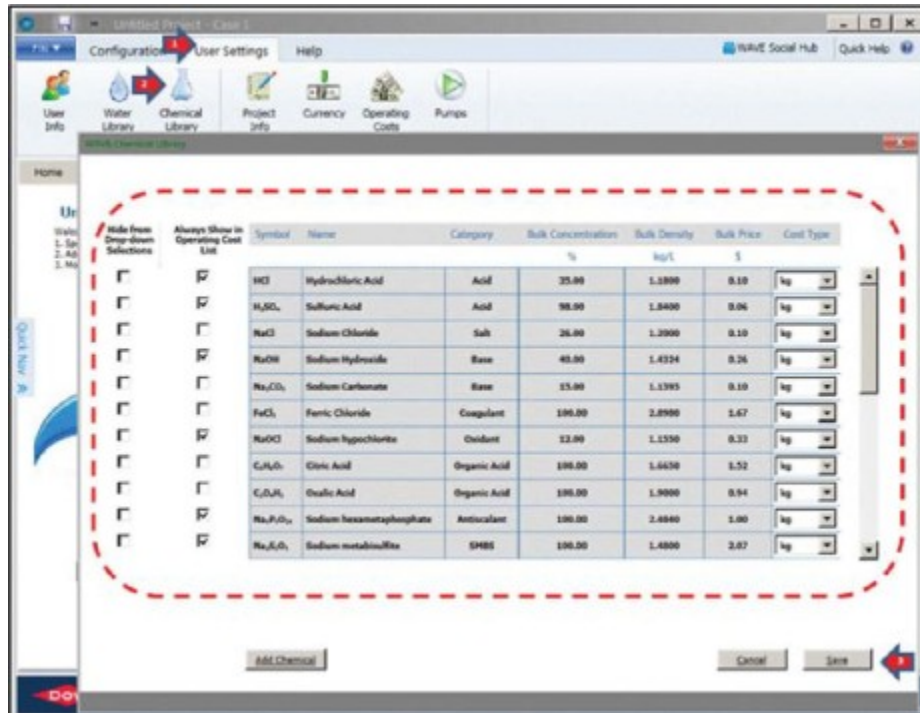
Το παράθυρο εισαγωγής πληροφοριών έργου (που φαίνεται στο σχήμα 10.1) επιτρέπει ο σχεδιαστής να εισαγάγει πληροφορίες σχετικά με το έργο, συμπεριλαμβανομένου του ονόματος του έργου, του ονόματος του πελάτη, της ημερομηνίας και άλλων σχετικών πληροφοριών. Τα αριθμημένα βέλη υποδεικνύουν τη διαδρομή πρόσβασης και ενημέρωσης. Ένα άλλο βασικό σύνολο εισόδων που χρησιμοποιούνται στο WAVE είναι οι μονάδες μέτρησης για τη μοντελοποίησης . Αυτά καθορίζονται όπως φαίνεται στο xx. Άλλοι περιλαμβάνουν τον κατάλογο των διαθέσιμων χημικών ουσιών για το κόστος ρύθμισης του pH, χημικών, ηλεκτρικών και αποβλήτων, καθώς και για την αποτελεσματικότητα της αντλίας.



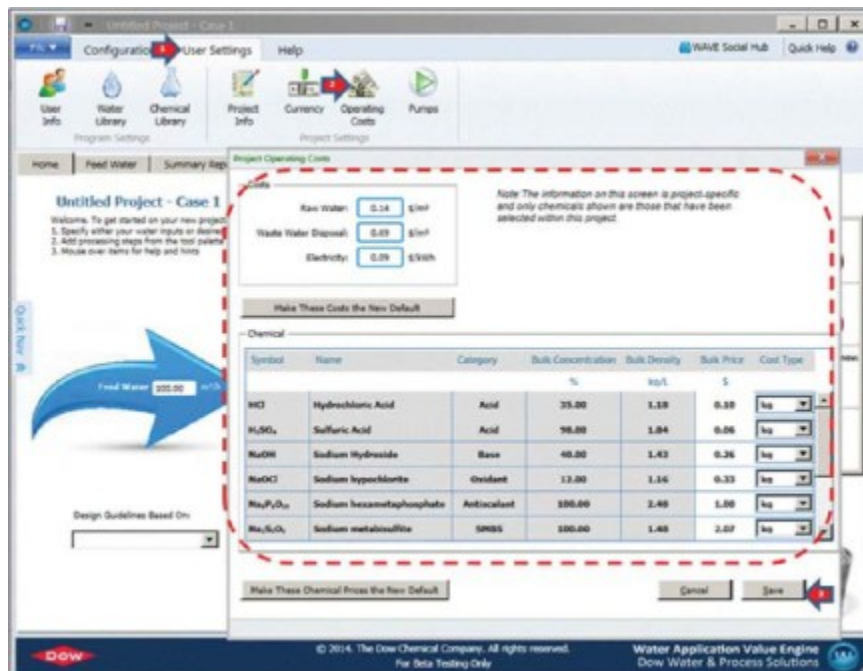
Εικόνα 6.1.1 Μονάδα μέτρησης προδιαγραφών στο WAVE



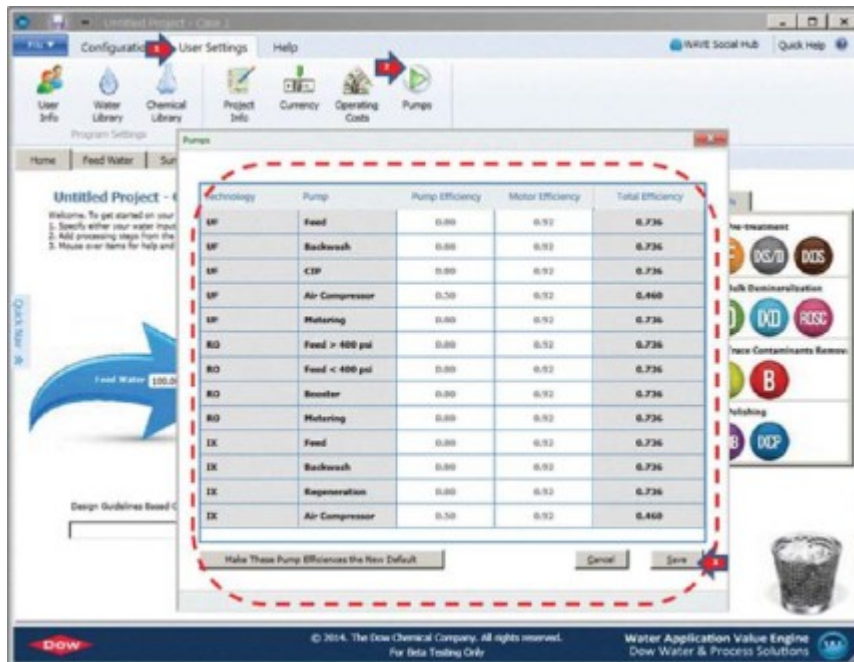
Εικόνα 6.1.2 Ορισμοί μεγεθών στο λογισμικό του Wave



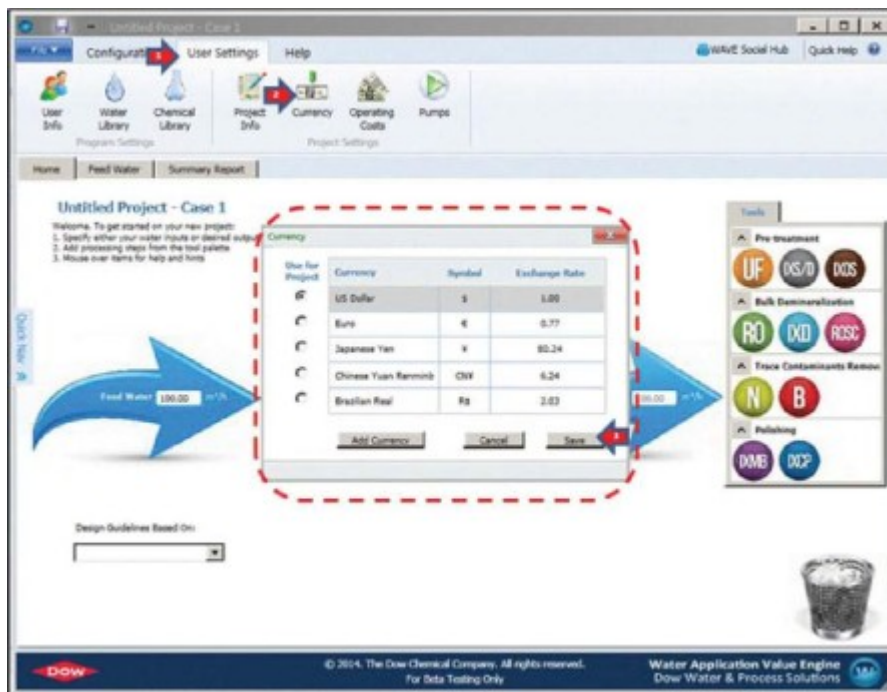
Εικόνα 6.1.3 Προσδιορισμός της λίστας με τα διαθέσιμα χημικά που χρησιμοποιούνται στο λογισμικό του WAVE



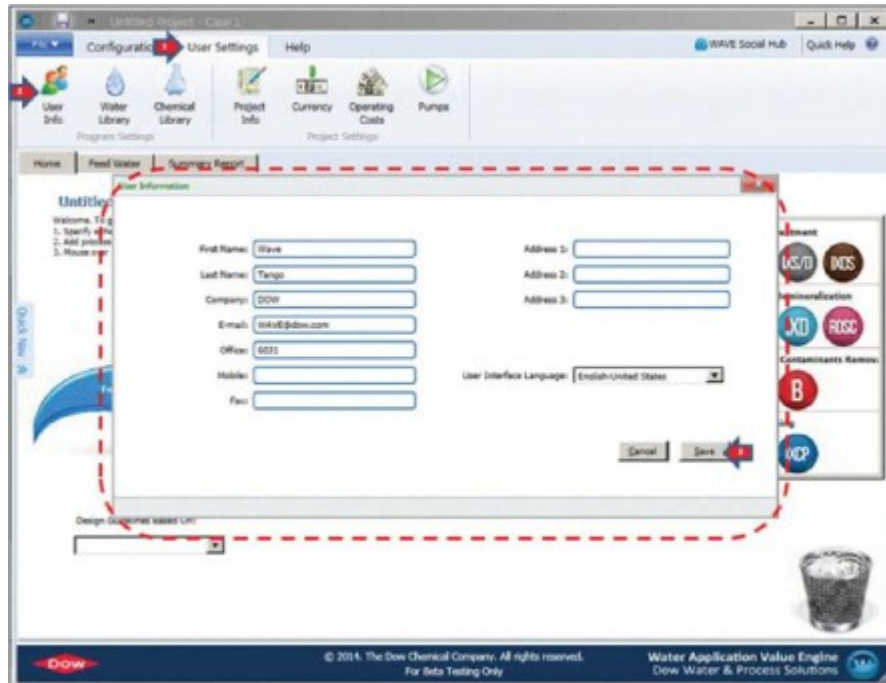
Εικόνα 6.1.4 Προδιαγραφή του κόστους χημικών, ηλεκτρικών, τροφοδοτικών και καθαρισμού λυμάτων στο WAVE



Εικόνα 6.1.5 Προδιαγραφές της αποτελεσματικότητας των αντλιών στο WAVE



Εικόνα 6.1.6 Καταγραφή των νομισμάτων που χρησιμοποιούνται στο WAVE



Εικόνα 6.1.7 Καταγραφή των στοιχείων του χρήστη (συμπεριλαμβανομένου τη γλώσσα) που χρησιμοποιούνται στο WAVE



Εικόνα 6.1.8 Εικονίδιο drag and drop στο WAVE για να αρχίσει η αντίστροφη ώσμωση

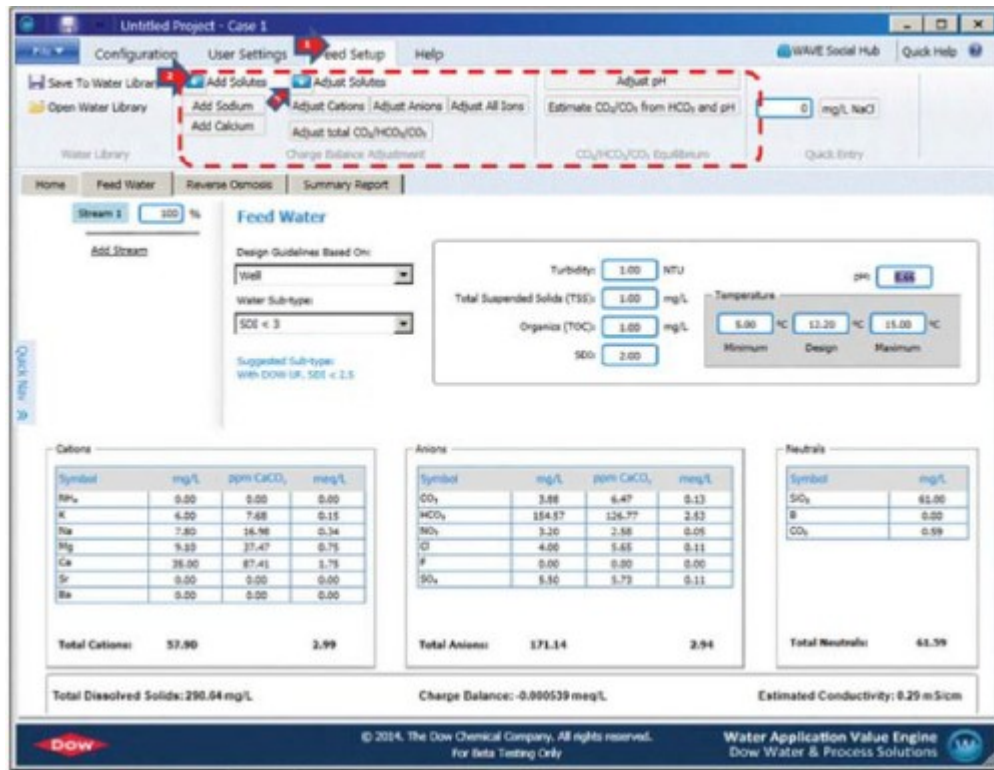
Στο WAVE, ένα σχέδιο RO ξεκινά με την επιλογή ενός εικονιδίου διεργασίας RO από μενού που φαίνεται στο σχήμα 10.8. Το εικονίδιο πρέπει να σύρεται και να πέφτει ανάμεσα στα δύο μεγάλα μπλε βέλη. Το WAVE διαθέτει κανόνες τοποθέτησης εικονιδίων που θα τοποθετούσαν πάντα το UF πριν από το εικονίδιο RO. Η τρέχουσα έκδοση του WAVE χρησιμοποιεί ξεχωριστό εικονίδιο για τυπική μοντελοποίηση RO και μικρές εμπορικές μοντέλα RO.

6.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

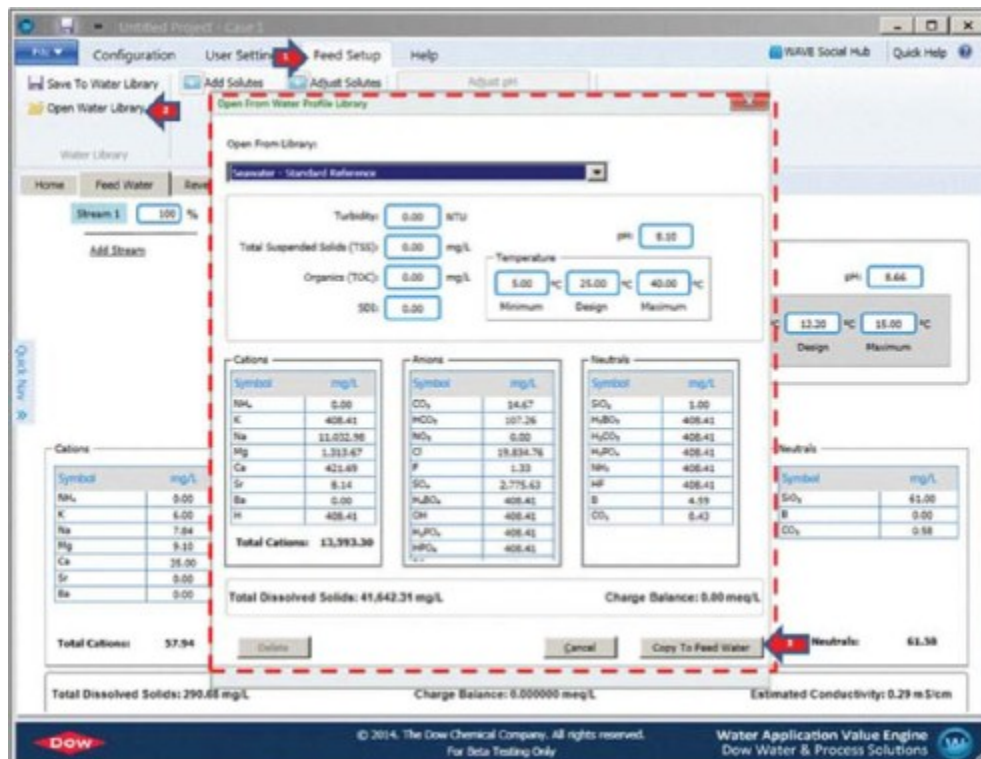
Τα χαρακτηριστικά του νερού τροφοδοσίας εμπίπτουν στο τμήμα τροφοδοσίας όπως φαίνεται στο σχήμα 10.9. Τα κατιόντα, ανιόντα και αδρανείς ουσίες καθορίζονται σε διαφορετικά πλαίσια. Το WAVE διαθέτει επίσης μια επιλογή γρήγορης εισόδου για να εισέλθει στην επιθυμητή συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου (NaCl). Εκτός από τη ιοντική σύνθεση, ο χρήστης WAVE ενθαρρύνεται να εισάγει πληροφορίες σχετικά με το στερεό περιεχόμενο του νερού, συμπεριλαμβανομένης της Μονάδας Μηδενικής Θερμότητας (NTU), SDI (Silt Density Index) και TSS (Total Suspended Solids) καθώς και του οργανικού περιεχομένου (Οργανικό περιεχόμενο). Αυτά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των κατάλληλων οδηγιών σχεδίασης για τον χρήστη.

The screenshot displays the 'Feed Water' configuration window in the WAVE software. The interface includes a navigation menu at the top with options like 'Configuration', 'User Settings', 'Feed Setup', and 'Help'. The main area is titled 'Feed Water' and contains several input fields and tables. A red dashed box highlights the 'Design Guidelines Based On' section, which includes dropdown menus for 'Feed' and 'SDI < 3'. Another red dashed box highlights the 'Feed Water' parameters section, which includes input fields for Turbidity (1.00 NTU), Total Suspended Solids (TSS) (1.00 mg/L), Organics (TOC) (1.00 mg/L), SDI (2.00), pH (8.00), and Temperature (5.00 to 15.00 °C). A third red dashed box highlights the 'Cations', 'Anions', and 'Neutrals' tables. The 'Cations' table lists ions like Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, and Ba²⁺ with their concentrations in mg/L, ppm CaCO₃, and meq/L. The 'Anions' table lists ions like CO₃²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, Cl⁻, F⁻, and SO₄²⁻ with their concentrations in mg/L, ppm CaCO₃, and meq/L. The 'Neutrals' table lists ions like SiO₂, B, and CO₂ with their concentrations in mg/L. At the bottom, summary statistics are provided: Total Dissolved Solids: 290.64 mg/L, Charge Balance: -0.005539 meq/L, and Estimated Conductivity: 0.29 mS/cm.

Εικόνα 6.2.1 Προσδιορισμός της ιοντικής σύνθεσης για το WAVE



Εικόνα 6.2.2 Δυνατότητα εξισορρόπησης επιλογών στο WAVE



Εικόνα 6.2.3 Η βιβλιοθήκη του νερό στο WAVE

Το WAVE επιβάλλει εξισορρόπηση χρέωσης για εφαρμογές RO. Η εξισορρόπηση φορτίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με την προσθήκη κατιόντων ή ανιόντων ή και των δύο ή με μεταβολή του pH (που επηρεάζει την ισορροπία $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-} / \text{CO}_2$) όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.10. Ανάλογα με το pH και τη θερμοκρασία, το WAVE υπολογίζει αυτόματα τη σύνθεση ισορροπίας HCO_3^- , CO_3^{2-} και CO_2 .

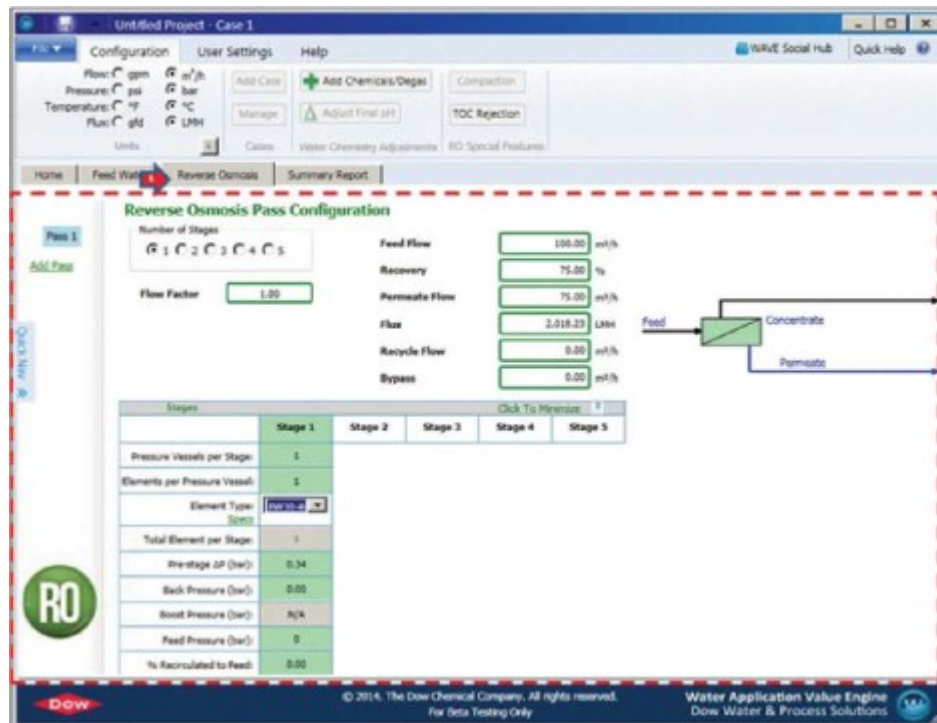
Στην WAVE παρέχονται προκαταρκτικά διάφορα υδάτινα υλικά στη Βιβλιοθήκη Νερού όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.11. Ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει το νερό που μόλις έχει καθορίσει. Επιπλέον, το WAVE επιτρέπει στον χρήστη να συνδυάζει πολλές ροές νερού τροφοδοσίας.

6.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

Το WAVE παίρνει το ρυθμό ροής τροφοδοσίας του συστήματος ή το ρυθμό ροής διαπερατότητας του συστήματος (όποιο έχει καθοριστεί) στο τμήμα ρύθμισης RO όπως φαίνεται στο σχήμα 0.12. Οι ακόλουθες εισόδους χρησιμοποιούνται για να καθορίσετε ένα σύστημα αντίστροφης ώσμωσης.

- Αριθμός περασμάτων: Η τιμή WAVE επιτρέπει το μέγιστο από 2 περασμάτων
- Αριθμός σταδίων: Το WAVE επιτρέπει τη μέγιστη δυνατή περίοδο από 5 στάδια
- Ο συντελεστής ροής - αυτός χρησιμοποιείται για να προσομοιώνει σενάρια χειρότερης περίπτωσης όσον αφορά την απόρριψη και τη ζήτηση ενέργειας. Ο αριθμός των δοχείων πίεσης για κάθε στάδιο.
- Ο αριθμός των στοιχείων ανά δοχείο πίεσης: Το WAVE περιορίζει τον αριθμό αυτό σε μεταξύ 1 και 8.
- Τα στοιχεία ενδιαφέροντος. Μπορείτε να επιλέξετε εδώ τα στοιχεία Standard Filmtec®. Οι προδιαγραφές για κάθε στοιχείο εμφανίζονται κάνοντας κλικ στον σύνδεσμο "Χαρακτηριστικά".
- Εσωτερικός σχεδιασμός (ISD): Προσομοιώνει την απόδοση του- διαφορετικοί τύποι στοιχείων σε ένα δοχείο πίεσης, όπως φαίνεται στην εικόνα xx. Ο ακόλουθος ιστότοπος παρέχει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το ISD: http://dowwater.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/13895/kw/isd
- Αντίστροφη πίεση διαπέρασης για κάθε στάδιο.
- Αυξήστε την πίεση ανάμεσα στα στάδια.

- Πίεση τροφοδοσίας: ο καθορισμός της πίεσης τροφοδοσίας θα απαιτούσε WAVE για τον υπολογισμό της ανάκτησης βάσει της πίεσης τροφοδοσίας: συνεπώς η ανάκτηση που καθορίζεται από το χρήστη μπορεί να είναι υπερβολική.
- Ανακύκλωση σκηνής: Το WAVE επιτρέπει στο χρήστη να διαμορφώνει την ανακυκλοφορία
- του συμπυκνώματος από το τέλος ενός δεδομένου σταδίου στην τροφή.



Εικόνα 6.3.1 Προσδιορισμός των ρυθμίσεων για την αντίστροφη ώσμωση στο WAVE



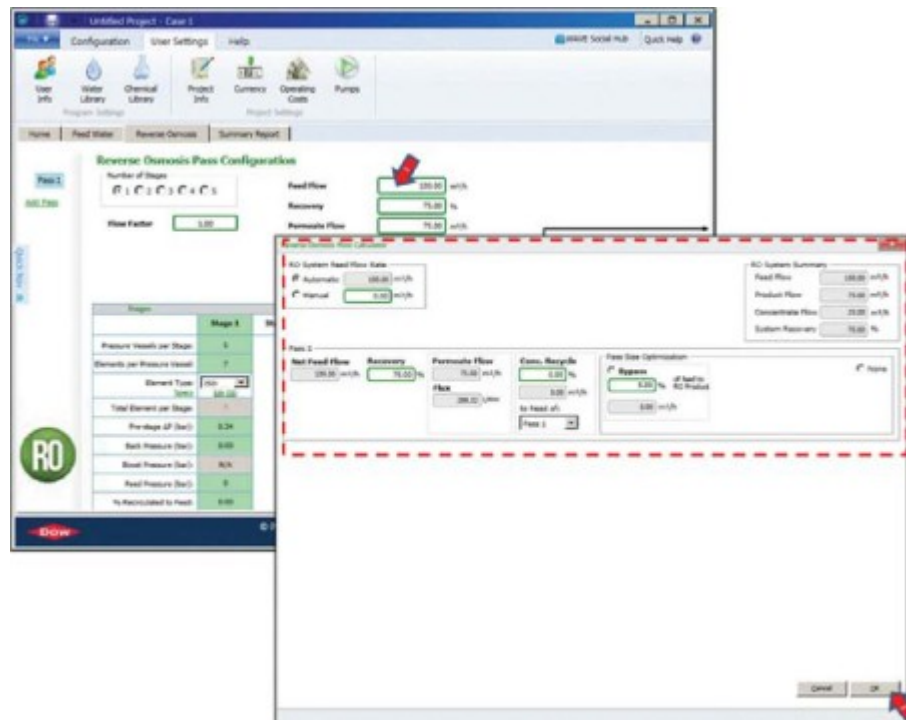
Εικόνα 6.3.2 Προδιαγραφή εσωτερικού σχεδιασμού στο WAVE

Το WAVE υποθέτει ότι η ανάκτηση του συστήματος είναι 75% για τη RO και ότι δεν υπάρχουν ανακυκλώσεις, παρακάμψεις ή διαχωρίσεις στο ρεύμα διαπέρασης. Αυτές οι λεπτομέρειες παρατίθενται στο παράθυρο Υπολογιστής ροής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.14, όπου ο χρήστης μπορεί να καθορίσει:

Ρυθμός ανακύκλωσης συμπυκνωμάτων: Το WAVE επιτρέπει την ανακύκλωση του συμπυκνώματος είτε από το να περάσει στον εαυτό του είτε από ένα αντίθετο ρεύμα (π.χ. από το συμπύκνωμα του Pass 2 στην τροφοδοσία του Pass 2 ή την τροφοδοσία του Pass 1)

Split Permeate: Το WAVE επιτρέπει στο χρήστη να παίρνει διαπεράσματα από ενδιάμεσα σημεία κατά μήκος του δοχείου πίεσης που περιέχει τα στοιχεία RO. Αυτά τα ενδιάμεσα σημεία μπορεί να βρίσκονται μεταξύ των στοιχείων ή μερικές φορές μερικώς μέσω ενός στοιχείου. Η διαπερατότητα πριν από κάθε ενδιάμεσο σημείο θα «αποσπαστεί» και θα ρυθμιστεί απευθείας στο προϊόν (από εκείνο το πέρασμα) αντί να αναμιχθεί με τα ρεύματα διαπερατού που προέρχονται από στοιχεία που βρίσκονται πιο κάτω. Το ποσό διαχωρισμού διαχωρισμού μπορεί να καθοριστεί στο WAVE.

Παράκαμψη: Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ποιότητας διαπερατότητας, μπορεί να χρειαστεί να παρακάμψετε ένα δεδομένο Pass και να αναμίξετε το τμήμα παράκαμψης του Feed με το Permeate από το Pass.



Εικόνα 6.3.2 Παράθυρο για τον υπολογισμό της ροής στο WAVE

6.4 ΧΗΜΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ

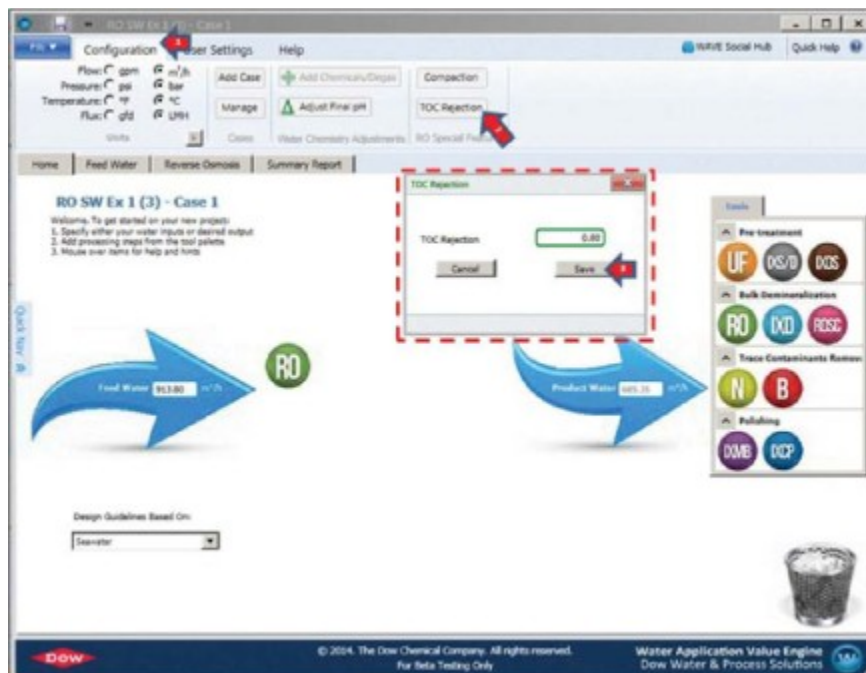
Το WAVE καθιστά δυνατή την προσαρμογή της χημείας του νερού μπροστά από το πρώτο πέρασμα, μεταξύ των δύο περασμάτων καθώς και στο διήθημα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.15, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τους στόχους pH, την έκταση της αεριοποίησης (απομάκρυνση του CO₂), καθώς και την προσθήκη καταστολής και SMBS για την πρώτη διέλευση.

Για το δεύτερο πέρασμα, η ρύθμιση του pH μπορεί να προσδιοριστεί με βάση το pH του στόχου ή τον δείκτη S & DI (Stiff & Davis Index) και την έκταση της απομάκρυνσης (απομάκρυνση του CO₂). Με βάση τον στόχο του pH, τη θερμοκρασία, την ανάκτηση περάσματος και την έκταση της απαερίωσης, η WAVE θα εκτιμούσε τη συγκέντρωση του συμπυκνώματος και τον κίνδυνο κλιμάκωσης (όπως σε όρους LSI (Langlier Saturation Index), S & DI και έκτασης κορεσμού).

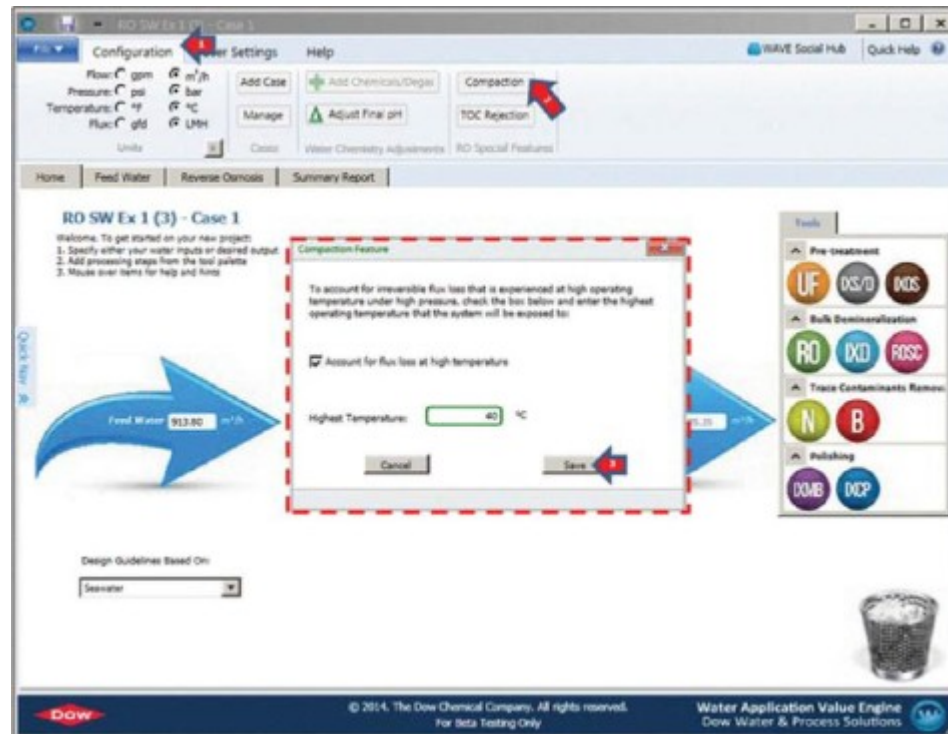
Η ρύθμιση του pH του προϊόντος Permeate γίνεται με παρόμοιο τρόπο κάνοντας κλικ στο πλήκτρο "Ρύθμιση τελικού pH" που φαίνεται στο σχήμα 10.16.



Εικόνα 6.4.1 Χημική ρύθμιση στο WAVE για την αντίστροφη ώσμωση



Εικόνα 6.4.2 Προσδιορισμός απώρευσης στο WAVE



Εικόνα 6.4.3 Ρυθμίσεις συμπύκνωσης στο WAVE

Μείωση TOC: Είναι γνωστό ότι πολλές οργανικές ενώσεις απορρίπτονται από τις μεμβράνες RO. Η έκταση αυτής της απόρριψης ορίζεται από προεπιλογή για 80% στο WAVE αλλά μπορεί να τροποποιηθεί από το χρήστη.

Συμπίεση: Οι μεμβράνες RO μπορούν να συμπιεστούν όταν υποβάλλονται σε συνδυασμό υψηλής πίεσης και μέτριας έως υψηλής θερμοκρασίας. Η συμπύκνωση μπορεί να προκαλέσει μείωση της ροής που μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες πιέσεις τροφοδοσίας για να αντισταθμιστεί, το WAVE επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν να εξετάσουν το ενδεχόμενο συμπύκνωσης στη μοντελοποίηση τους.

6.5 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

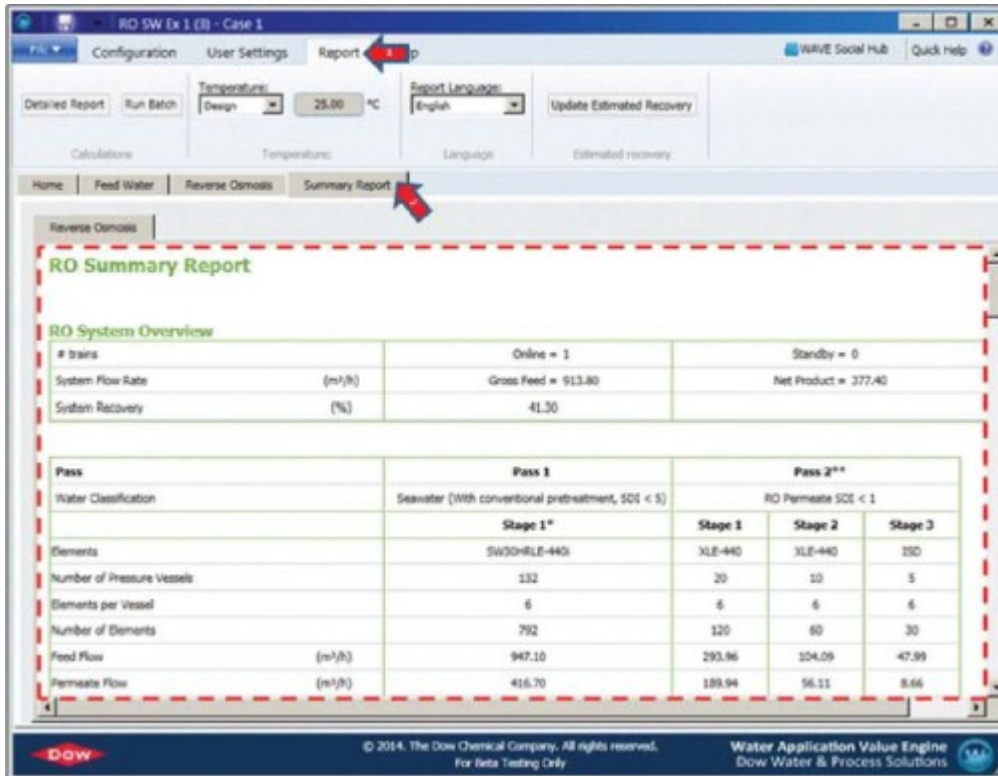
Αφού συμπεριληφθούν οι απαραίτητες εισροές στο WAVE, ο χρήστης θα χρειαστεί να κάνει κλικ στην καρτέλα "Συνοπτική αναφορά" για να δημιουργήσει μια αναφορά επισκόπησης (που φαίνεται στην εικόνα 8.5.1) η οποία περιλαμβάνει τα εξής:

- Η περίληψη της διαμόρφωσης του συστήματος RO, ροής και TDS στο σύστημα, στο επίπεδο pass και stage

- Πίνακας ποιότητας Permeate
- Σχεδιασμός προειδοποιήσεων και οδηγός λύσης
- Τα αποτελέσματα των υπολογισμών κλιμάκωσης
- Ένα διάγραμμα στάθμης περάσματος του συστήματος RO

Η ανακεφαλαιωτική αναφορά αναμένεται να παρέχει επαρκή απόδοση για να υποστηρίξει επαναληπτικό σχεδιασμό. Μόλις ο χρήστης ικανοποιηθεί με το σχέδιο, μπορεί να δημιουργηθεί μια λεπτομερής αναφορά κάνοντας κλικ στο κουμπί "Λεπτομερής αναφορά". Η λεπτομερής αναφορά (που παρουσιάζεται στο εικόνα 8.5.1) περιλαμβάνει τις ακόλουθες πρόσθετες πληροφορίες:

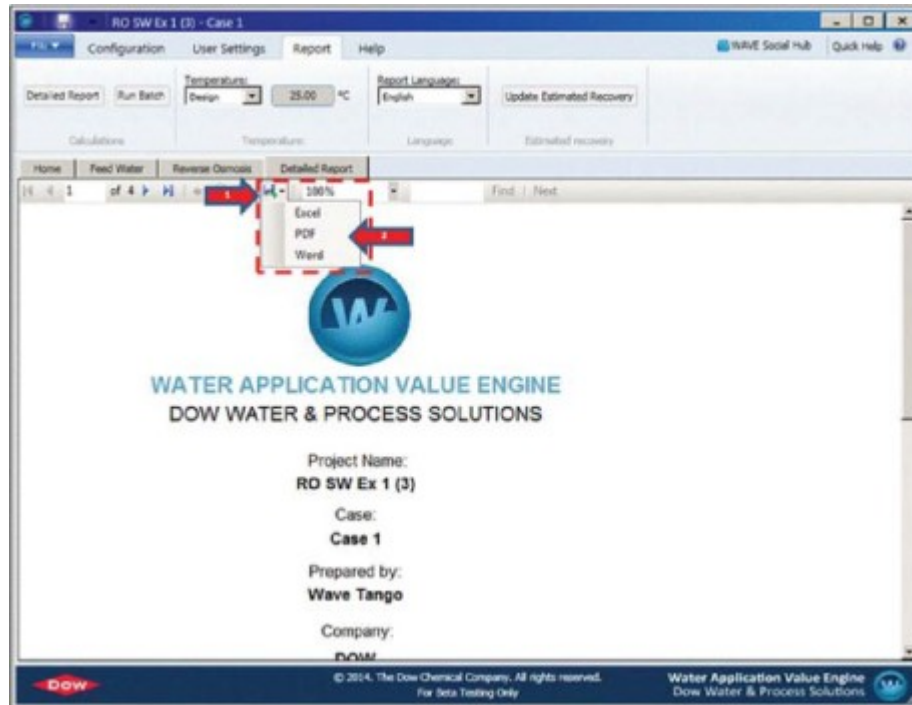
- Λεπτομερής ροή στο επίπεδο περάσματος, συμπεριλαμβανομένων των ανακυκλώσεων και των παρακάμψεων
- Πίνακας ροής στο επίπεδο της σκηνής, που περιλαμβάνει πτώσεις, TDS και προκαταρκτικές σταγόνες σε κάθε στάδιο για κάθε πέρασμα
- Πίνακας ροής στο επίπεδο στοιχείου, συμπεριλαμβανομένων ροών, TDS και πτώσεις πίεσης σε κάθε στοιχείο σε κάθε στάδιο για κάθε πέρασμα
- Συγκεντρώσεις διαλυμάτων στα ρεύματα τροφοδοσίας, διήθησης και συμπύκνωσης για κάθε στάδιο σε κάθε πέρασμα
- Χρηματοοικονομικά κόστη RO - συμπεριλαμβανομένης της διάθεσης των λυμάτων, το κόστος νερού, το κόστος χημικών και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας



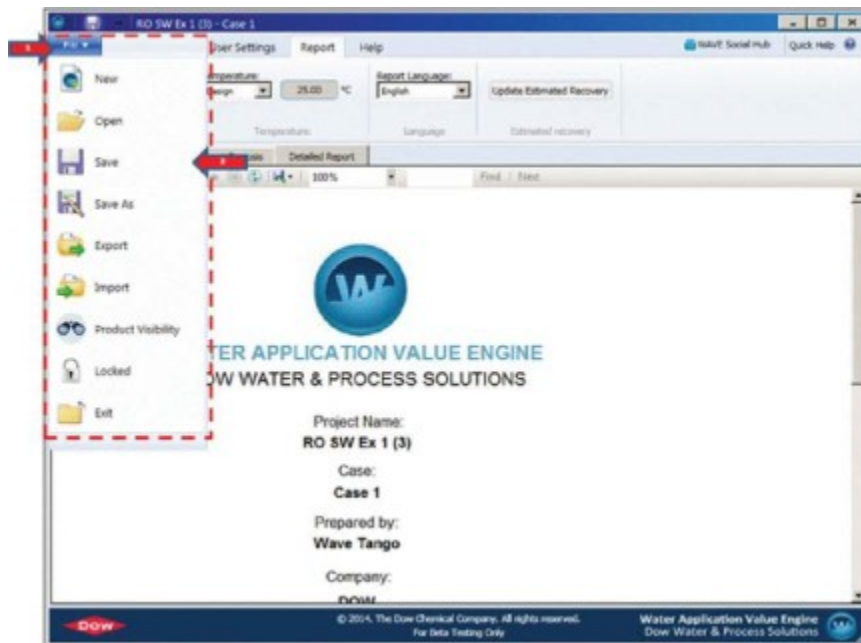
Εικόνα 6.5.1 Συνοπτικά η αναφορά του WAVE



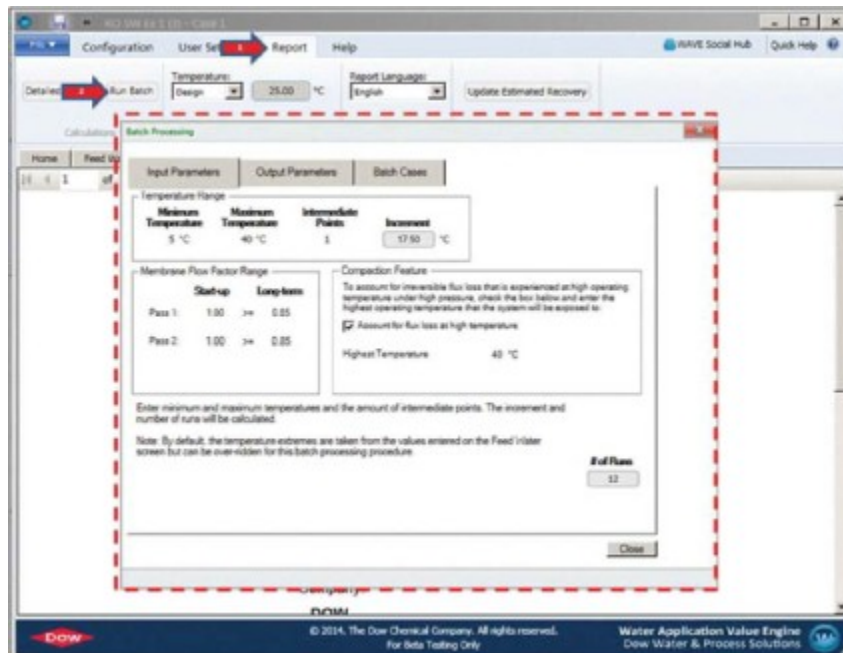
Εικόνα 6.5.2 Αναλυτική αναφορά του WAVE



Εικόνα 6.5.3 Εξαγωγή αναλυτικής αναφοράς στο WAVE



Εικόνα 6.5.4 Αποθήκευση ή εξαγωγής αναφοράς στο WAVE



Εικόνα 6.5.5 Λειτουργία παρτίδας στο WAVE

Ο χρήστης μπορεί να εξαγει την Λεπτομερή Αναφορά ως έγγραφο PDF, Excel ή Word όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.20. Μόλις ο χρήστης ικανοποιηθεί με το σχέδιο, μπορεί να αποθηκευτεί ως έργο σε μια βάση δεδομένων ή να εξαχθεί ως αρχείο DWPX (όπως φαίνεται στο σχήμα 10.21) το οποίο μπορεί να αποσταλεί μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου σε άλλους. Αντίστροφα, ο χρήστης του WAVE μπορεί είτε να ανοίξει άμεσα ένα έργο από τη βάση δεδομένων του είτε να εισαγάγει ένα αρχείο DWPX από έναν συνάδελφό του για να ανοίξει ως έργο.

6.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ WAVE ΚΑΙ ROSA

Το WAVE βασίζεται στο παλιό λογισμικό DW & PS που ονομάζεται ROSA (το οποίο περιεγράφηκε στην πρώτη έκδοση αυτού του βιβλίου), αλλά υπάρχουν αρκετές βασικές διαφορές όπως περιγράφονται στον Πίνακα 10.2. Ορισμένες από τις βασικές διαφορές αντανακλούν τον πολύ-τεχνολογικό χαρακτήρα του WAVE. Για παράδειγμα, οι χρήστες μπορούν να προσομοιώσουν τη χρήση του προϊόντος διαπερατότητας ή συμπύκνωσης RO για πλήση πλύσης, μπροστά ή CIP (Clean-In-Place) με τη χρήση WAVE.

Το λογισμικό Toray DS2 RO για το σχεδιασμό του συστήματος διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά της παλαιότερης έκδοσης καθώς και πολλά νέα καινοτόμα και χρήσιμα χαρακτηριστικά για βασικά και πιο εξελιγμένα σχέδια RO όπως: εξισορρόπηση ροής με χρήση αντίθλιψης διαπερατότητας, διατραπεζικές συσκευές ώθησης, κλπ.

Οι κύριες οθόνες εισόδου έχουν πρόσβαση από τις επάνω αριστερές καρτέλες του μενού, ως εξής:

- Αρχική οθόνη: Εδώ είναι όπου ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει να χρησιμοποιήσει την επιλογή "Πρότυπο"? ή "Δημιουργία νέου έργου". Επιπλέον, υπάρχει μια επιλογή "Γρήγορης εκκίνησης" που χρησιμοποιείται ως έγγραφο αναφοράς. Η αφηγηματική θα ακολουθήσει τη διαδρομή "Δημιουργία νέου έργου" για την κατασκευή μιας προβολής σχεδιασμού RO. Κάντε κλικ στο "Σχεδίαση νέου έργου" για να μεταβείτε στην επόμενη οθόνη.

Οθόνη έργου: Η οθόνη Th επιτρέπει στο χρήστη να εισέλθει μοναδικά πληροφορίες σχεδίου. Τα ελάχιστα απαιτούμενα δεδομένα είναι τα στοιχεία του έργου και το όνομα του μηχανικού (ή το όνομα / αρχικά του σχεδιαστή). Στη συνέχεια, κάντε κλικ στο "Δημιουργία έργου" για να προχωρήσετε στην επόμενη οθόνη.

- Οθόνη δεδομένων τροφοδοσίας: Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να επιλέξετε το μηχανικών μονάδων που επιθυμείτε. Κάντε κλικ στην καρτέλα "Μονάδα" για να επιλέξετε τις κατάλληλες μηχανικές μονάδες για το σχεδιασμό. Η οθόνη δεδομένων τροφοδοσίας είναι όπου εισάγονται πληροφορίες για ακατέργαστο νερό τροφοδοσίας.

- Επιλέξτε την πηγή ακατέργαστου νερού από την αναπτυσσόμενη λίστα. Το DS2 θα επανεξετάσει αυτόματα τον υπολογισμό του σχεδιασμού σας και θα το συγκρίνει με τις Οδηγίες Toray για την επιλεγμένη πηγή νερού. Προειδοποιήσεις ή σφάλματα σχετίζονται με παραβιάσεις της Οδηγίας Toray, όπως: υπερβολική ροή στοιχείων μόλυβδου, ροή, πολύ χαμηλή ροή άλμης κλπ. Οι Οδηγίες Σχεδίασης Toray είναι διαθέσιμες για προβολή κάνοντας κλικ στην καρτέλα "βοήθεια" που βρίσκεται στην κορυφή αυτής της οθόνης. Το DS2 μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι τρεις ακατέργαστες πηγές νερού τροφοδοσίας σε ποσοστά επιθυμίας.

Άλλες εισροές δεδομένων που εισάγονται στην οθόνη είναι: pH, θερμοκρασία και μεμονωμένες συγκεντρώσεις ιόντων για κάθε πηγή τροφοδοσίας (εάν εισάγονται

πολλαπλές πηγές, μπορείτε να προβάλετε τη συνδυασμένη ανάλυση πηγής τροφοδοσίας κάνοντας κλικ στο κουμπί "Εμφάνιση συνδυασμού").

- Μια εναλλακτική επιλογή για την εισαγωγή μεμονωμένων συγκεντρώσεων ιόντων είναι να επιλέξετε "Set TDS as NaCl". Το DS2 μπορεί επίσης να βοηθήσει τον σχεδιαστή να «εξισορροπήσει» την πηγή τροφοδοσίας με οποιοδήποτε εισερχόμενο ιόν. Το Th μπορεί να προσθέσει μόνο ιόντα για να επιτύχει μια ισορροπία χρέωσης. Κάντε δεξί κλικ στο ιόν που θα χρησιμοποιηθεί για εξισορρόπηση και ένα αναδυόμενο παράθυρο θα δείξει τη νέα συγκέντρωση ιόντων για να επιτευχθεί ισορροπία.

Εναλλακτικά μπορεί κανείς να ισορροπήσει τις συγκεντρώσεις ιόντων με NaCl ή MgSO₄.

- Ένα άλλο χαρακτηριστικό στο Toray DS2 είναι η δυνατότητα πρόσβασης σε οποιαδήποτε ανάλυση νερού που βρίσκεται στη βάση δεδομένων σχεδιαστών DS2. Μπορείτε να αποκτήσετε πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα κάνοντας κλικ στο κουμπί "Ανάλυση φόρτωσης / αναθεώρησης".

- Ο σχεδιαστής έχει την επιλογή να ενεργοποιήσει τη λειτουργία αυτόματης εξισορρόπησης ιόντων, ελέγχοντας το πλαίσιο αριστερά της "αυτόματης ισορροπίας". Για να προχωρήσετε στην επόμενη οθόνη, κάντε κλικ στην καρτέλα "RO Design" στο επάνω μέρος της οθόνης Data Feed .

- Οθόνη σχεδίασης RO:

Η οθόνη σχεδιασμού RO χωρίζεται σε τέσσερις περιοχές.

1. Κεντρικός ανώτερος πίνακας. Αυτός ο πίνακας περιέχει τις κύριες παράμετροι ροής, τις εισόδους ροής και ανάκτησης και το εικονίδιο της διάταξης μεμβράνης.

2. Αριστερός Πίνακας. Η οθόνη έχει επιλεγεί χρησιμοποιώντας τις καρτέλες στην κάτω αριστερή πλευρά του πίνακα:

- α) Διάγραμμα ροής: Επιτρέπει στο χρήστη να προσθέσει / αφαιρέσει επιλογές σχεδίασης: επιλογές ροής / ανακύκλωσης / διαχωρισμού split / δύο διελεύσεων περάσματος.

- β) Διαμόρφωση: Επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει την οθόνη που εμφανίζεται: Pass (ροή σχήματος) / Στάδιο / Σκάφος ή Στοιχείο (οθόνη επιλογής στοιχείων) ή δεδομένα εισόδου / αλλαγής για συγκεκριμένες λειτουργίες Πίεση (αντίστροφη πίεση διαρροής) / Αντλία (επιλογή αποτελεσματικότητας + λεπτομέρειες πίεσης αναρρόφησης

για υπολογισμούς της αντλίας, συμπεριλαμβανομένης της αντλίας τροφοδοσίας συστήματος, των κύριων αντλιών HP και των επιλογών αντλίας Permeate) / ERD (επιλέξτε να προσθέσετε μια συσκευή ανάκτησης ενέργειας στο σχέδιο περιλαμβάνουν στροβιλοσυμπιεστές / στροβίλους με τροχούς Pelton / εναλλάκτες εργασίας και ισοβαρικές συσκευές). Διατίθενται επίσης πρόσθετα κουμπιά που επιτρέπουν στο χρήστη να εισάγει / αλλάζει την αντίστροφη πίεση διαπέρασης / ενδιάμεση αύξηση και τις απώλειες πίεσης / ρυθμούς αντικατάστασης και αντλίες πίεσης.

γ) Επιλογή Στοιχείων: Επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει τον τύπο στοιχείων και εισάγετε τα στοιχεία της διάταξης μεμβράνης. ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Αυτή η οθόνη είναι επίσης προσπελάσιμη κάνοντας κλικ στο μπλε εικονίδιο της διάταξης μεμβράνης στο σχηματικό διάγραμμα ροής.

3. Δεξιός πλευρικός πίνακας. Η οθόνη είναι χρήστης που επιλέγεται από καρτέλες κατά μήκος της κάτω δεξιάς πλευράς του πίνακα:

α) Επισκόπηση συστήματος: Πληροφορίες αποτελεσμάτων υπολογισμού (πίεσεις TDS και ροή). ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Μπορείτε να δείτε τα παρακάτω στοιχεία ανοίγοντας το ξεχωριστό παράθυρο διαγράμματος λεπτομέρειες σκηνής (κάντε κλικ στην επιλογή Διαμόρφωση έργου> Εμφάνιση διαγράμματος λεπτομερειών σκηνής από τη γραμμή κύριου μενού).

β) Χημική Δοσολογία - επιλέξτε τη θέση των σημείων δοσολογίας στο σχηματικό διάγραμμα ροής ΣΗΜΕΙΩΣΗ Για να εισαγάγετε στόχους χημικής επιλογής και pH, κάντε κλικ στο εικονίδιο "βαρέλι" στο σχηματικό διάγραμμα ροής μετά την επιλογή της θέσης.

γ) Απαέρωση - επιλέξτε τη θέση των λειτουργιών μονάδας απαερωτήρων για την αφαίρεση του CO₂.

δ) Πίεση - επιλέξτε θέση για την αντίστροφη πίεση διαπέρασης / ενδιάμεση αύξηση.

4. Κέντρο Κάτω Πίνακα. Εμφανίζει τα αποτελέσματα και τις προειδοποιήσεις σχεδιασμού (επιλέξιμα από τις καρτέλες κάτω από τον πίνακα).

α) Αποτελέσματα: Η διαγραμματική ροή περιλαμβάνει αναγνωριστικά ροής (αριθμός σε μικρά μπλε κουτιά). Σύρετε και αποθέστε το μπλε πλαίσιο σε οποιαδήποτε στήλη στα αποτελέσματα και (μετά τον υπολογισμό) για να εμφανιστούν τα

αναφερόμενα αποτελέσματα. ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Αριστερό κλικ στη στήλη "στοιχεία" για να επιλέξετε ποια τρία ιόντα / τιμές θα εμφανιστούν.

β) Σφάλματα / προειδοποιήσεις: Εμφανίζει σφάλματα και προειδοποιήσεις που δημιουργούνται από το σχέδιο.

επιστρέφετε στην οθόνη που χρησιμοποιήσατε για να εισέλθετε στην ανάκτηση και να διαπεράσετε

ροή.

- Για να εφαρμόσετε ή να "υπολογίσετε" τις επιλογές εισόδου σχεδιασμού, ο σχεδιαστής πρέπει να κάνει κλικ στο πλήκτρο "υπολογισμός" που βρίσκεται στην επάνω δεξιά γωνία αυτής της οθόνης. Αν δεν εμφανιστούν αναδυόμενες ειδοποιήσεις, η υπολογισμένη απόδοση είναι αρκετά κοντά για να υπολογιστεί με επιτυχία.

- Για να προβάλετε προειδοποιήσεις σχεδίασης, κάντε κλικ στην καρτέλα με τίτλο "Λάθη / Προειδοποιήσεις" που βρίσκεται στην κάτω αριστερή πλευρά της οθόνης. Αν τυχόν παραμέτρους παραμέτρου απόδοσης παραβιάζουν τις οδηγίες του Toray Design (με βάση τον τύπο ακατέργαστου νερού που επιλέχθηκε νωρίτερα), θα εμφανιστεί μια προειδοποίηση και δικαιολογούνται διορθωτικές ενέργειες.

- Κάνοντας κλικ στην επάνω καρτέλα μενού με τίτλο "Έργο Ρύθμιση "και μετά" Εμφάνιση διαγράμματος λεπτομερειών σκηής ", ένα

μπορούν να δουν, λεπτομερώς, τις παραμέτρους απόστασης σε στάδιο. Οι τιμές που αναγράφονται στο RED δείχνουν απόκλιση από το Toray

Σχεδιασμός κατευθυντήριες γραμμές και πρέπει να αντιμετωπιστούν με την αναφορά τις τιμές κατευθυντήριων γραμμών και τις απαραίτητες αλλαγές

με την τρέχουσα σχεδίαση. Κάποιος μπορεί επίσης να κάνει κλικ στο "Λάθη / Προειδοποιήσεις" για να δείτε την παράβαση και το μέγεθος του σφάλμα σχεδιασμού.

- Κάνοντας κλικ στην κάτω καρτέλα με την ένδειξη "Config", διατίθενται άλλες επιλογές σχεδίασης, όπως:

- Πίσω πίεση για την εξισορρόπηση της ροής.

- Διατραπεζική ενίσχυση της πίεσης εκκένωσης της αντλίας για ροή εξισορρόπηση.

- Υπολογιστής αντικατάστασης μεμβρανών.

- Επιλογή χημικής προσθήκης πριν ή / και μετά την επεξεργασία για ρυθμίσεις pH, LSI ή σκληρότητας.

- Επιλέξτε "degassification" εάν θέλετε να δείτε την εκτίμηση pH / TH αλλαγές κ.λπ.

- Στην καρτέλα "Config" στα αριστερά βρίσκεται η καρτέλα "Διάγνωση ροής". Κάνοντας κλικ

σε αυτήν την καρτέλα θα είναι διαθέσιμες οι ακόλουθες επιλογές

1 Επιλογές σχεδιασμού Pass και 2 Pass RO: Περάστε 1 νερό τροφοδοσίας bypass μίγμα για να διαπεράσει.

- Περάστε 1 Ανακύκλωση συμπυκνωμάτων στη ροή τροφοδοσίας. Το Th είναι χρήσιμο για την αύξηση της ροής άλμης σε μικρότερα σχέδια RO.

- Διαχωρίστε το διήθημα απογύμνωσης.

- Περάστε 2 Επιλογή πίεσης αντλίας εσωτερικής πίεσης αντλίας.

- Περάστε 2 ανακυκλώστε τη δεύτερη συγκέντρωση περάσματος για να περάσετε πρώτα την τροφοδοσία ρεύμα.

- Μερικός διαχωρισμός του διηθήματος για να περάσεις σε δυο στάδια

- Η αποθήκευση του σχεδιασμού του έργου επιτυγχάνεται κάνοντας κλικ στην επάνω αριστερή καρτέλα "Έργο" και στη συνέχεια επιλέγοντας την επάνω καρτέλα του μενού με τίτλο "Αποθήκευση τώρα ως νέα αναθεώρηση". Αυτή η ενέργεια που αποθηκεύει το σχέδιο στη βάση δεδομένων DS2 και καθιστά διαθέσιμα όλα τα καταχωρημένα δεδομένα για διάφορες επιλογές εξόδου: αρχείο PDF, MS Excel ή αρχείο .tds.

- Πολλαπλές περιπτώσεις μπορούν να κατασκευαστούν κάνοντας κλικ στο κουμπί "Νέα υπόθεση", εισάγοντας την επιθυμητή αλλαγή σχεδίασης στην κατάλληλη οθόνη, επανυπολογίζοντας τον σχεδιασμό και επιστρέφοντας στην οθόνη "Έργο" και κάνοντας κλικ στο κουμπί "Αποθήκευση τώρα ως νέα αναθεώρηση". μπορεί να διαγραφεί ή να τροποποιηθεί σε περίπτωση που ανακαλυφθεί ένα σφάλμα εισαγωγής δεδομένων.

- Για να αποκτήσετε πρόσβαση στο αρχείο "REPORT" εξόδου, ανοίξτε το επιθυμητό έργο και υπόθεση και κάντε κλικ στο "Αναφορά". Οι αναφορές παρουσιάζονται σε σύντομη και μακρά μορφή. Επιλέξτε την επιθυμητή μορφή εξόδου από την πάνω καρτέλα "Ρύθμιση έργου". Οι αναφορές περιλαμβάνουν τις ποιοτικές

ιδιότητες των ροών επεξεργασίας, τις ροές ροής, τα στοιχεία ροής στοιχείου και ροής του συστήματος, τις πιέσεις, τις συγκεκριμένες τιμές κορεσμού συμπυκνωμένου συμπυκνώματος, την κατανάλωση ενέργειας και τις προειδοποιήσεις σχεδίασης και τα σφάλματα. Η μεγάλη μορφή υπολογίζει διάφορες παραμέτρους επιδόσεων σταδιακά κατά στάδια καθώς και στοιχεία από στοιχεία σε ένα συγκεκριμένο στάδιο και ένα δοχείο πίεσης.

- Ένα διάγραμμα ροής διαδικασίας είναι διαθέσιμο για προβολή στο τέλος κάθε αναφοράς.
- Οι αναφορές του έργου μπορούν να εκτυπωθούν ή να αποθηκευτούν ως αρχείο PDF. Τα έργα μπορούν επίσης να αποθηκευτούν ως α. TDS και εξάγονται σε υπολογιστή HD. Το Th είναι χρήσιμο εάν ένας άλλος χρήστης DS2 επιθυμεί να μοιραστεί και να μπορέσει να επεξεργαστεί το σχέδιο χωρίς να χρειαστεί να ενοικιάσει τις εισόδους σχεδιασμού. Το DS2. Το αρχείο tds μπορεί να αποσταλεί μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και στη συνέχεια να εισαχθεί στους φακέλους Project DS2 των παραληπτών.

6.7 HYDRANAUTICS IMS DESIGN

- Ένα βελτιωμένο διάγραμμα ροής θα δείχνει όλες τις ροές σχεδιασμού, ανεξάρτητα από το πόσο πολύπλοκο είναι το σχέδιο.

- Από προεπιλογή, το διάγραμμα ροής θα προσαρτηθεί στις εκτυπωμένες προβολές.

- Η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας σε kw-hr ανά 1000 γαλόνια ή ανά κυβικό μέτρο θα είναι στην πρώτη σελίδα της εκτύπωσης, ανεξάρτητα από το πόσο πολύπλοκο είναι το σχέδιο.

- Ένα μείγμα αναλύσεων πολλαπλών τροφοδοτικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση προβολών.

- Η ανάλυση των τροφοδοτικών υδάτων θα ικανοποιήσει τη χρήση ειδικών ιόντων. Τα προσαρμοσμένα κατιόντα θα περιλαμβάνουν:

- Χαλκός

- Χρώμιο

- Μαγγάνιο

- Σίδηρο
- Κοβάλτιο
- Νικέλιο
- Μολυβδαίνιο
- Ασημί
- Αλουμίνιο
- Μόλυβδος
- Ψευδάργυρος
- Ράδιο
- Ουράνιο

Τα προσαρμοσμένα ανιόντα θα περιλαμβάνουν:

- Βρωμιούχο
- Ιώδιο
- Σουλφίδια
- Ένα "πλωτό" διάγραμμα ροής θα αναπτυχθεί αυτόματα καθώς κάποιος σχεδιάζει το RO / NF και προσθέτει επιλογές.
- Αφού ένας χρήστης επιλέξει ένα στοιχείο RO ή NF από το μενού σύνθεσης, το πρόγραμμα θα εμφανίσει αυτόματα όλες τις σχετικές πληροφορίες στοιχείου, συμπεριλαμβανομένης της τετραγωνικής τροφοδοσίας και του πάχους του διαχωριστικού τροφοδοσίας. Επίσης, θα εκτελέσει έναν γρήγορο υπολογισμό για το συγκεκριμένο σχέδιο και αφήστε τον σχεδιαστή να μάθει τι θα διαπεράσει το TDS και την πίεση τροφοδοσίας χωρίς να επιστρέψει στη σελίδα σχεδίασης.

Αναφορές

1. Dow Water and Process Solutions Form 609-02058-1004 , http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0035/0901b80380035b70.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-02058.pdf&fromPage=GetDoc accessed July 11, 2014 .

2. Yacoubowiz, Henia, Koch Membrane Systems , personal communication , July 7 , 2014 .

3. Olson, Paul , Dow Water and Process Solutions , personal communication , July 11 , 2014.

4. Bates, Wayne , Hydranautics , personal communication , July 2 , 2014 .

7. ΜΟΝΑΔΑ ΑΘΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΣΤΗ ΧΙΟ

7.1 ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΣΤΗ ΧΙΟ

Η αντίστροφη ώσμωση είναι και η μοναδική χρησιμοποιούμενη μέθοδος αφαλάτωσης στα Ελληνικά νησιά. Οι σημαντικότερες μονάδες αφαλάτωσης, στη Σύρο, στη Μύκονο και στη Χίο.

Στη Χίο υπάρχουν συνολικά σε 4 περιοχές Ομηρούπολη Χίος, (με πρώτη 2000 , RO. Υφ Δυναμικότητα (m³/d) 5200 Κόστος Λειτουργίας 0,60. Κατασκευάστρια εταιρεία Culligan, Gr, TemaK, GR και με την πιο πρόσφατη στο Νεοχώρι, όπου εγκαινιάστηκε το 2017.

Η μονάδα αφαλάτωσης στη Χίο περιλαμβάνει την, με μια προτεινόμενη λειτουργία στους 17-27 βαθμούς κελσίου:

- Παροχή νερού τροφοδοσίας στις μεμβράνες
- Πίεση νερού τροφοδοσίας των μεμβρανών
- Παροχή παραγόμενου νερού
- Ποσοστό ανάκτησης
- Παροχή άλμης
- Πίεση άλμης
- Πίνακας εκτιμώμενων ιόντων σε PPM για νερό εισόδου-παραγόμενο νερό-άλμη.
- Ανάλυση παροχής/πίεσης ανά μεμβράνη
- Άνω και κάτω όρια λειτουργίας μεμβρανών, πιέσεις-παροχές κλάδων

Παράμετρος	Μονάδες	Μέτρηση	
		19/03/2007	Όρια ¹
Φυσικοχημική			
pH (20° C)		8,17	-
Αγωγιμότητα (25° C)	μS / cm	58.250	<2.500
Ολική Σκληρότητα (T.D.S)	CaCO ₃ / ppm	7.241	-
Όξινα Ανθρακικά	[HCO ₃ ⁻] / ppm	146	-
Χλωρίοντα	Cl ⁻ / ppm	22.470	200 (250)
Νάτριο	(Na ⁺) / ppm	12.560	175
Θειικά	SO ₄ ²⁻ / ppm	3.177	250
Νιτρικά	NO ₃ ⁻ / ppm	1,76	50
Νιτρώδη	NO ₂ ⁻ / ppm	0,0	0,50
Αμμωνιακά	NH ₄ ⁺ / ppm	< 0,02	0,50
Ολ. Διαλ. Σίδηρος	Fe / ppm	0,14	0,2
Πυριτικά	SiO ₂ / ppm	3,8	0
Φωσφορικά	PO ₄ ³⁻ / ppm	-	3,3
Κάλιο	K / ppm	465	12
Μαγνήσιο	Mg / ppm	1.472	50
Ασβέστιο	Ca / ppm	473	-
Βάριο	Ba / ppm	0,07	-
Στρόντιο	Sr / ppm	17,6	-
Σίδηρος	Fe / ppm	< 10	0,2
Μαγγάνιο	Mn / ppm	< 0,05	0,05
Διοξείδιο του Άνθρακα	mg CO ₂ / L	12	-
Ανθρακικά	mg CO ₃ / L	12,0	-
Φθόριο	F / ppm	1,2	1,5
Θείο	mg S / L	-	0
T.O.C	mg C / L	2,9	-
B.O.D	mg O ₂ / L	6,3	-
C.O.D	mg O ₂ / L	8,6	-
Αλκαλικότητα M	CaCO ₃ / ppm	140	-
Αλκαλικότητα P	CaCO ₃ / ppm	10	-
Ελεύθερο Χλώριο	mg Cl ₂ / L	0,05<	-
Θολρότητα	N.T.U	39	4
Ολικά Αιωρούμενα Στερεά	mg / L	5,7	0
Βόριο	B / ppm	4,2	1,0
Ανθρακική Σκληρότητα	CaCO ₃ / ppm	140	-
Μη Ανθρακική Σκληρότητα	CaCO ₃ / ppm	7.101	-
Μικροβιολογικές			
Ολική ετερότροφη χλωρίδα 37 C *	CFU / 100 ml	0	-
Ολική ετερότροφη χλωρίδα 22 C *	CFU / 100 ml	2	-
Ολικά καλοβακτηριοειδή	CFU / 100 ml	0	-
Escherichia Coli	CFU / 100 ml	-	0
Εντερόκοκκοι	CFU / 100 ml	-	0

Εικόνα 7.1.1 Ενδεικτικά τα όρια της ελληνικής νομοθεσίας για το πόσιμο νερό στην Ελλάδα

Οι μεμβράνες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της αφαλάτωσης του νερού και ανάλογα με τους υπολογισμούς λαμβάνουν χώρα οι κατάλληλες διεργασίες. Είναι διαδικασία αντίστροφη, αφού με βάση αυτούς τους υπολογισμούς καθορίζεις τις αντλίες που απαιτείται, τα φίλτρα που χρειάζονται, τα χημικά που θα λάβουν μέρος κατά τη διεργασία και κυρίως, η ποσότητα νερού που χρειάζεται να αντλήσεις από τη πηγή της γεωτρήσεως (θάλασσα) και αντίστοιχα ποιότητα του νερού. Με βάση αυτό, γίνεται η διασταλόγηση για το μέγεθος της σκληρότητας και τα χημικά που θα χρησιμοποιηθούν στο νερό.

Το ποσοστό ανάκτησης του νερού για κάθε μεμβράνη είναι περίπου 8% σε σχέση με του υφάλμυρου νερού που είναι 15%. Για παράδειγμα σε 100 κυβικά νερό σε μια μεμβράνη, η

απόδοση της είναι 8 κυβικά νερό για το θαλασσινό ή 15 κυβικά νερό για το υφάλμυρο. Λόγω του ότι η απόδοση είναι πολύ σημαντικό στη σωστή λειτουργία της αφαλάτωσης, χρησιμοποιείται συστοιχία μεμβρανών. Η κάθε μεμβράνη σε μια συστοιχία έχουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά (κάτι το οποίο εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά) της π.χ πίεση σε σχέση με το υλικό και ανάλογα τις συνθήκες.

Στην αφαλάτωση του νερού στη μονάδα της Χίου περιλαμβάνεται μια συστοιχία 9 μεμβρανών, με τις δυο να είναι διαφορετικού τύπου από τις υπόλοιπες 7 και είναι εξαρτώμενες από τη πίεση (για παράδειγμα οι πρώτες δυο σε μία συγκεκριμένη πίεση παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα νερού -καλύτερης ποιότητας νερό- και οι υπόλοιπες εφτά με την αύξηση της πίεσης, αυξάνεται και η απόδοση τους). Η Lg χρησιμοποιεί το πρόγραμμα NEW Class, ή DuPont το Wave ή τη ROSA. Ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης των μεμβρανών και τον τρόπο διάταξης τους το πρόγραμμα υπολογίζει με ακρίβεια τον τρόπο ποσότητας του νερού, τη ποιότητα του και κυρίως σε ποια πίεση χρειάζεται να λειτουργεί.



Εικόνα 7.1.3 Φωτογραφίες από συστοιχία αφαλάτωσης στη Μονάδα της Χίου

Στη μονάδα της Χίου υπάρχουν συστοιχίες με 9 μεμβρανοδοχεία όπου η καθεμία περιλαμβάνει 9 μεμβράνες, από τη μία πλευρά εισέρχεται το νερό και από την απέναντι διαγώνιο βγαίνει η άλμη. Για τη σωστή λειτουργία της μονάδας της Χίου χρησιμοποιούνται 100-105 κυβικά νερό ακατέργαστο και παράγονται 40-45 κυβικά νερό. Το ελάχιστο της ενέργειας που χρησιμοποιείται στην αντλία πίεσης είναι 132 kWatt, προκειμένου να εξισορροπηθεί αυτό χρησιμοποιείται ένας εναλλάκτης πίεσης (pressure exchanger). Οπότε χρησιμοποιείται εναλλάκτης πίεσης, pressure exchanger (58bar πίεση εισαγωγής του νερού, έξοδος νερού 55bar περίπου 50κυβικά την ώρα). Ο εναλλάκτης πίεσης μετατρέπει μηχανικά την ενέργεια νερού άλμης σε ενέργεια σε νερού τροφοδοσίας, το οποίο συμπληρώνει 4bar τη πίεση της αντλίας, με αποτέλεσμα η μονάδα αφαλάτωσης να καταναλώνει μικρότερη ποσότητα ρεύματος. Εκτίμηση κατανάλωσης 45% (είναι καλύτερο από το turbocharger όπου ανακτά περίπου το 31-32% ή το petron wheel).

Οι αντλίες νερού μεταφέρουν το νερό στα πρόφιλτρα (φίλτρα άμμου με διαφορετικό μέγεθος άμμου σε διαφορετικά επίπεδα). Κατά την εισαγωγή του νερού στα συγκεκριμένα φίλτρα, λόγω διαδοχικών επιταχύνσεων/ επιβραδύνσεων, δημιουργούνται βρόγχοι και κροκίδες με αποτέλεσμα το νερό να καθορίζεται από τις πρώτες βρωμιές (>150μικρά και άνω). Στο δεύτερο στάδιο γίνεται εμπλουτισμός της νερού με κάποια χημικά κρίσιμα για τη λειτουργία της μονάδας και το νερό οδηγείται στα φίλτρα ψυγείων. Η διαφορά με τα φίλτρα άμμου και τα φίλτρα ψυγείων είναι ότι τα πρώτα μπορούν να πλυθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν ενώ τα φίλτρα ψυγείου αλλάζονται ανά 3-5 μήνες.

Οι αντλίες χαμηλής πίεσης μεταφέρουν το νερό (100 κυβικά/ώρα) στο φίλτρα άμμου και στα φίλτρα ψυγείου. Έπειτα γίνεται διαχωρισμός του νερού: μια ποσότητα μεταφέρεται στον εναλλάκτη και μία ποσότητα στην αντλία υψηλής πίεσης. Έπειτα ακολουθεί το στάδιο των μεμβρανών και παράγεται το νερό που χρειάζεται (σύστημα σκλήρυνσης) ενώ η άλμη οδηγείται για απόρριψη.

Pressure exchanger σωληνώσεις σταυρωτές (νερό τροφοδοσίας και διαγώνια παροχή το νερό των μεμβρανών). Η έξοδος του νερού οδηγείται στην αντλία booster όπου λειτουργεί συμπληρωματικά ως προς τη συνολική πίεση (4bar) για την ισορροπία του συστήματος. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της μονάδας υπάρχει συνεχής ροή γλυκού νερού για τις εκπλύσεις των μεμβρανών μετά το πέρασμα του θαλασσινού νερού.

Αντλίες με λειτουργία Invertor (δυνατότητα αλλαγής του σημείου λειτουργίας) –

αποφυγή κατανάλωσης περίσσειας ρεύματος.

Παραγόμενο (τσιμεντένιο)

Σκληρότητα (ανθρακικό ασβέστιο)

Αντλίες χαμηλής πίεσης

Προσθήκη χημικών (προφίλτραση εξαρτάται από το αν απαιτείται χλώριωση του νερού, χρειάζεται αποχλωρώση για να μην δημιουργήσουν πρόβλημα στις μεμβράνες. Ελεύθερο χλώριο καίει τις μεμβράνες) ή αν είναι καθαρό.

Όξινο μεταδιώδες νάτριο που δεσμεύει τα χλώρια.



Εικόνα 7.1.2 Πίνακας ελέγχου της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης στη Χίου



Εικόνα 7.1.4 Αντλία πίεσης με πλευρική είσοδο του νερού τροφοδοσίας στη μονάδα αφαλάτωσης της Χίου



Εικόνα 7.1.5 Πίνακας ελέγχου μεταβλητής συχνότητας της αντίστροφης ώσμωσης της μονάδας Αφαλάτωσης της Χίου



Εικόνα 7.1.6 Πιεστικό συγκρότημα της μονάδας αφαλάτωσης της Χίου τύπου BME (30-20, 132 K)



Εικόνα 7.1.7 Φωτογραφία του συστήματος υπερδιήθησης και της μονάδας αφαλάτωσης



Εικόνα 7.2.1 Φωτογραφία του συστήματος υπερδιήθησης στη Μονάδα Αφαλάτωσης της Χίου



Εικόνα 7.2.2 Φωτογραφίες από μανόμετρο μονάδας αφαλάτωσης της ήλου . Στη πάνω δεξιά και στις κάτω φωτογραφίες φαίνεται το βρεχόμενο από θαλασσινό νερό τμήμα του που έχει υποστεί έντονη διάβρωση.



Εικόνα 7.2.3 Πιεστικό συγκρότημα της μονάδας αφαλάτωσης της Χίου τύπου BME (30-20, 132 K)



Εικόνα 7.2.4 Φωτογραφίες από συστοιχία αφαλάτωσης μονάδα Αφαλάτωσης της Χίου



Εικόνα 7.2.5 Φωτογραφίες από συστοιχία αφαλάτωσης μονάδα Αφαλάτωσης της Χίου



Εικόνα 7.2.6 Φωτογραφίες από συστοιχία αφαλάτωσης με ανοξείδωτους χάλυβες



Εικόνα 7.2.7 Οι αντλίες τύπου end-suction της Granados είναι αντλίες πολλαπλών χρήσεων σε μονάδα αφαλάτωσης της Χίου



Εικόνα 7.2.8 Απεικόνιση PID της συστοιχίας Α1 στο σύστημα SCADA που εγκαταστάθηκε στην αφαλάτωση της ήλου.



Εικόνα 7.2.10 Κεντρικός πίνακας ελέγχου τη μονάδας της Χίου



Εικόνα 7.2.11 Πιεστικό συγκρότημα της μονάδας αφαλάτωσης της Χίου τύπου BMEX (30-20, 132 K)

Το πιεστικό συγκρότημα BM EX της Grundfos είναι σχεδιασμένο για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού σε συστήματα αντίστροφης ώσμωσης, τα επανομαζόμενα συστήματα SWRO (SWRO = Sea Water Reverse Osmosis). Η σχεδίαση του συστήματος προσφέρει σημαντική ανάκτηση ενέργειας

Το πιεστικό συγκρότημα BMEX αποτελείται από:

- Αντλία τροφοδοσίας υψηλής πίεσης BME (hp = υψηλή πίεση)
- Αντλία κυκλοφορίας υψηλής πίεσης BM (hp = υψηλή πίεση) με Οδηγό Κίνησης Μεταβλητής Συχνότητας (VFD) (η αντλία είναι τοποθετημένη σε χιτώνιο)
- Μονάδα Εναλλάκτη.



Εικόνα 7.2.12 Απεικόνιση του συστήματος ανάκτησης ενέργειας μέσω εναλλάκτη πίεσης (Model X269, Pressure Exchanger, Capacity: 220-260 ppm (50-59m³/ht) μέγιστη πίεση 1200psi (82.7 bar)



Εικόνα 7.2.13 Αντλία αντίστροφης ώσμωσης στη Μονάδα Αφαλάτωσης της Χίου

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας ήταν Μελέτη και εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης στη Χίο . Πρόκειται για υφάλμυρο νερό και εξυπηρετεί την Ομηρόπουλη στη Χίο. Το σύστημα αντίστροφης ώσμωσης συνεπικουρείται από συμπληρωματικό εξοπλισμό όπως μονάδα μεμβρανών και συνδεσμολογία σειράς αντλιών.

Η ανάλυση του σχεδιασμού πραγματοποιήθηκε με βάση τον υπάρχοντα διατιθέμενο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση και με βάση γνώσεις που αποκτήθηκαν κατά τις σπουδές στο Τμήμα Μηχανολόγων Τ.Ε του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στον υδρολογικό κύκλο του νερού, όπου επισημαίνεται το πρόβλημα έλλειψης του νερού. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράγοντες που δημιουργούν την έλλειψη του νερού και παρουσιάζεται η λύση της αφαλάτωσης για αυτό.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύθηκαν φυσικές έννοιες όπως η ώσμωση και το φυσικό μέγεθος που την χαρακτηρίζει δηλ. η ωσμωτική πίεση και αντίστοιχα την αντίστροφη ώσμωση. Παρουσιάστηκε μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση της αναγνώρισης του φαινομένου της αντίστροφης ώσμωσης από τους ερευνητές.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν όλοι οι παράγοντες από την οποία εξαρτάται η αντίστροφη ώσμωσης και παρουσιάζονται όλοι βασικοί παράμετροι.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλοι οι τύποι μεμβρανών και ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνουν χώρα στη διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης. Γίνεται μια ανασκόπηση επάνω στα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται για τις μεμβράνες.

Στο πέμπτο κεφάλαιο με βάση όλα τα μαθηματικά μοντέλα συμπεριφοράς των μεμβρανών, όπως είναι το μοντέλο διαλύματος – διάχυσης, το μοντέλο πορώδους μέσου με στόχο του συγκεκριμένου κεφαλαίου η καλύτερη κατανόηση του ρόλου που παίζουν οι μεμβράνες σε μια σύγχρονη μονάδα αντίστροφης ώσμωσης, όπως αυτή της Χίου.

Στο έκτο έγινε μια σύντομη αναφορά στις διαφορετικού τύπου αντλίες.

Στο έβδομο παρουσιάστηκαν αναλυτικά διάφορα προγράμματα που χρησιμοποιούνται για τη σωστή ρύθμιση της αντίστροφης ώσμωσης.

Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η μονάδα της Χίου, και έγιναν προτάσεις

για τη βελτιστοποίηση του συστήματος που θα το καταστήσει πιο αποδοτικό κυρίως με έναν ακόμη καλύτερο pressure exchanger που θα μειώσει ακόμη περισσότερο τη συνολική κατανάλωση ενέργειας του εργοστασίου. Ή ακόμη και το συνδυασμό διαφόρων τεχνικών (πχ. Συνδυασμός αντίστροφης με κλασσική ώσμωση) για ακόμη πιο οικονομικές λύσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ευθέα ώσμωση μέσω μιας κοινής μεμβράνης με γλυκύτερο νερό από ότι θαλασσινό νερό (όχι ακριβώς πόσιμο). Πχ. Έξοδος απόρριψη βιολογικού καθαρισμού. Αραίωση με θαλασσινό νερό όπου καταλήγει σε αντίστροφη ώσμωση με χαμηλότερες πίεσης καλύτερη απόδοσης νερού (υφάλμυρο).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tikkas et al. 'Desalination Technologies: Hellenic Experience Water 2014, 6, 1134-1150; doi:10.3390/w6051134
2. Kaldellis, J. K., K. A. Kapadia's, and E. Condyle. "Renewable energy desalination plants for the Greek islands- technical and economic considerations." *Desalination* 170.2 (2004): 187-203.
3. Sala, Oswaldo E., et al. "Global biodiversity scenarios for the year 2100." *science* 287.5459 (2000): 1770-1774.
4. Subramani, A., & Jacangelo, J. G. (2015). Emerging desalination technologies for treatment: a critical review. *Water research*, 75, 164-187.
5. .Li, C., Goswami, Y., & Stefanakos, E. (2013). Solar assisted sea water desalination: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 136-163.
6. Kucera, Jane. *Reverse Osmosis: Industrial Processes and Applications*. John Wiley & Sons, 2015.
7. Lee, K. P., Arnot, T. C., & Mattia, D. (2011). A review of reverse osmosis membrane for desalination—development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*, 370(1-2), 1-22.
8. J., & Suresh, A. K. (2018). Performance and Structure of Thin Film Composite Reverse Osmosis Membranes Prepared by Interfacial Polymerization in the Presence of Acid Acceptor. *Journal of Membrane Science and Research*.
9. M., & GILL', W. N. (1981). Review of reverse osmosis membranes and transport models. *Chemical Engineering Communications*, 12(4-6), 279-363.
10. Lee, K. P., Arnot, T. C., & Mattia, D. (2011). A review of reverse osmosis membrane for desalination—development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*, 370(1-2), 1-22.
11. Gohil, J., & Suresh, A. K. (2018). Performance and Structure of Thin Film Composite Reverse Osmosis Membranes Prepared by Interfacial Polymerization in the Presence of Acid Acceptor. *Journal of Membrane Science and Research*.

12. Soltanieh, M., & GILL', W. N. (1981). Review of reverse osmosis membranes and transport models. *Chemical Engineering Communications*, 12(4-6), 279-363.
13. Soltanieh, M., & GILL', W. N. (1981). Review of reverse osmosis membranes and transport models. *Chemical Engineering Communications*, 12(4-6), 279-363.