

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΝΟΡΓΑΝΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟ
ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΧΩΡΗΤΙΚΟΥ
ΑΠΙΟΝΙΣΜΟΥ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΠΑΠΠΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΤΑΥΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Θεοδωροπούλου Μαρία

Πάτρα 2013

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά και να εκφράσουμε την ειλικρινή μας ευγνωμοσύνη, σε όσους στάθηκαν δίπλα μας με κάθε τρόπο και μας βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ξεκινώντας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα την καθηγήτρια Δρ. Θεοδωροπούλου Μαρία επειδή μας ανέθεσε αυτήν την πτυχιακή εργασία, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής.

Πρόλογος

Η τεχνολογία μεμβρανών αποτελεί μια σύγχρονη τεχνική διαχωρισμού φιλική προς το περιβάλλον, με κύριες εφαρμογές στα τρόφιμα, στην επεξεργασία των υδατικών αποβλήτων, στην επεξεργασία των υδάτινων πόρων και στην ιατρική. Σημαντική είναι η εξέλιξη της τις τελευταίες δεκαετίες, όμως πολλά σημεία της τεχνολογίας αυτής μένουν αδιευκρίνιστα από τη πληθώρα των προσφερομένων υλικών και τα μυστικά των κατασκευαστών μεμβρανών.

Η έννοια της μεμβράνης έχει γίνει γνωστή από τον δέκατο όγδοο αιώνα, αλλά χρησιμοποιήθηκε έξω από το εργαστήριο στο τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Η παροχή πόσιμου νερού στην Ευρώπη, είχε τεθεί υπό αμφισβήτηση από τον πόλεμο και οι μεμβράνες φίλτρα χρησιμοποιήθηκαν αρχικά υπό δοκιμή για την ασφάλεια του νερού. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης αξιοπιστίας, αργής λειτουργίας, μειωμένης επιλεκτικότητας και αυξημένων εξόδων, οι μεμβράνες δεν είχαν αξιοποιηθεί ευρέως. Η πρώτη χρήση των μεμβρανών σε μεγάλη κλίμακα ήταν σε τεχνολογίες μικροδιήθησης και υπερδιήθησης. Από τη δεκαετία του 1980, αυτές οι διαδικασίες διαχωρισμού, μαζί με ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εγκαταστάσεις

Η μεμβράνη έχει την δυνατότητα να χωρίζει διάφορα υγρά και αέρια μίγματα στα συστατικά τους. Δρα ως ένα επιλεκτικό εμπόδιο, επιτρέποντας κάποια σωματίδια ή χημικές ουσίες να περάσουν, αλλά όχι άλλα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ειδικά στην ανατομία, η μεμβράνη μπορεί να αναφέρεται σε μία λεπτή δομή οποία είναι κατά κύριο λόγο μία διαχωριστική δομής και όχι ένα επιλεκτικό εμπόδιο.

Μία μεμβράνη είναι ένα στρώμα υλικού το οποίο χρησιμεύει ως ένα επιλεκτικό εμπόδιο μεταξύ δύο φάσεων και είναι αδιαπέραστο σε συγκεκριμένα σωματίδια, μόρια, ή ουσίες όταν εκτίθεται στη δράση μίας κινητήριας δύναμης. Μερικά συστατικά έχουν την δυνατότητα να περάσουν από την μεμβράνη με ένα ρεύμα διαπέρασης, ενώ κάποια άλλα συστατικά συγκρατούνται από αυτό και να συσσωρεύονται στο ρεύμα κατακράτησης.

Οι μεμβράνες μπορούν κατασκευάζονται σε διάφορα πάχη, με ομοιογενή ή ετερογενή δομή. Οι μεμβράνες μπορούν επίσης να κατατάσσονται ανάλογα με την διάμετρο των πόρων τους. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ταξινόμηση μεγέθους πόρου μικροπορώδη, μεσοπορώδη, και μακροπορώδη. Οι μεμβράνες μπορούν να είναι ουδέτερες ή φορτισμένες και τα σωματίδια μεταφοράς μπορεί να είναι ενεργά ή παθητικά.

Με την βοήθεια των μεμβρανών υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης των υδάτινων πόρων. Το νερό αποτελεί ένα από τα πολυτιμότερα αγαθά πάνω στον πλανήτη. Αποτελεί ανεκτίμητη αξία για τον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και για την ζωή πάνω στην γη. Έχει αποτελέσει ουσιώδη παράγοντα για την ανάπτυξη κάθε κοινωνίας και αποτελεί κινητήρια δύναμη και για τον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα.

Τα παγκόσμια αποθέματα γλυκού νερού μειώνονται διαρκώς ενώ υπάρχει συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού. Η επέκταση των πόλεων καθώς και οι κλιματικές αλλαγές θα επηρεάσουν την διαθεσιμότητα των υδάτινων. Η διαθεσιμότητα του γλυκού νερού θα είναι ένα πρόβλημα που θα χρήζει άμεσης αντιμετώπισης. Τα επίπεδα της στάθμης των θαλασσών αναμένεται να αυξηθούν λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, αλλά και η ξηρασία που προκαλείται από την κλιματική αλλαγή, θα οδηγήσει δισεκατομμύρια ανθρώπους να μην έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό. Η αφαλάτωση είναι η λύση του προβλήματος. Η

αξιοποίηση του θαλασσινού νερού, των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας καθώς και η ανάπτυξη της τεχνολογίας των μεμβρανών οδηγούν στην δημιουργία ενός άριστου προϊόντος.

Η μέθοδος της αφαλάτωσης έχει την δυνατότητα ανάκτησης ποσίου νερού κάνοντας χρήση υφάλμυρων και αλμυρών νερών. Η εφαρμογή της μπορεί να γίνει σε περιοχές με καθαρό θαλασσινό νερό, η Ελλάδα είναι μια χώρα με πλούσιο υλικό. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού μπορεί να παρέχει υψηλής ποιότητας νερό ύδρευσης, άρδευσης, ή βιομηχανικής χρήσης. Με την χρήση της τεχνολογίας και την πάροδο του χρόνου δημιουργήθηκαν νέα προβλήματα. Η αντιμετώπιση της σκληρότητας του νερού, ο καθαρισμός του, η διαχείριση της άλμης και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις έρχονται στο προσκήνιο, ζητώντας άμεση λύση.

Οι μονάδες αφαλάτωσης νερού μπορούν να θεωρηθούν σαν την τέλεια λύση δημιουργίας ποσίου νερού, χωρίς υπερβολικό κόστος. Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούν οι νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν (μεμβράνες) είναι σε ερευνητικό επίπεδο, με αποτέλεσμα διαρκή αναβάθμιση και διόρθωση των ελαττωμάτων τους. Η σπουδαιότητα του νερού οδηγεί στην απαραίτητη διαφύλαξη του. Η προστασία των υδάτινων πόρων αλλά και του περιβάλλοντος οδήγησε τα κράτη μέλη στην θέσπιση νομοθετικών πλαισίων, βάζοντας αυστηρά όρια για την επίτευξη της προστασία του υδάτινου κόσμου.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύεται η τεχνολογία των μεμβρανών ο σχεδιασμός τους και πώς συνδυάζοντας αυτές με την κατάλληλη μέθοδο αφαλάτωσης για να δώσουν λύση σε ένα από τα βασικά προβλήματα του πλανήτη, την έλλειψη ποσίμου νερού. Παρουσιάζοντας μια ολική εικόνα του προβλήματος και αναπτύσσοντας κάθε στάδιο ξεχωριστά όπως τι είναι μεμβράνες και ο σχεδιασμός τους, τα φυσικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, πώς συνδέονται αυτά μεταξύ τους, πώς έγινε χρήση μιας τέτοιας μεθόδου στην Ελλάδα δημιουργώντας μια «πατέντα» καταλήγοντας στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις όλων αυτών.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσεται τι είναι μεμβράνη, περιγράφεται η αρχή λειτουργίας της, οι δυνατότητες της, τα είδη που υπάρχουν αλλά και οι τεχνολογίες της. Στην συνέχεια αναπτύσσεται η δυνατότητα που έχει στην αφαλάτωση. Γίνεται αναφορά στην έννοια της αφαλάτωσης καθώς και οι αποτελεσματικότεροι μέθοδοι της. Οι βασικές κατηγορίες αφαλάτωσης διακρίνονται στις μεθόδους εξάτμισης και στις μεθόδους μεμβρανών. Αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα κάθε μεθόδου καταλήγοντας σε μία σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται το φαινόμενο της λειψυδρίας, η μείωση των υδάτινων πόρων στον πλανήτη με έμφαση στον Ελλαδικό χώρο. Η σύσταση των φυσικών νερών, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, όπως η θερμότητα, η αλκαλικότητα, η αγωγιμότητα, η θολότητα, το χρώμα, η οσμή, η γεύση, τα άλατα και σκληρότητα μας οδηγούν στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αφαλάτωσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο διαχωρίζονται τα στοιχεία των μεμβρανών, αναλύοντας τις τεχνολογίες και τις παραμέτρους απόδοσης. Στην συνέχεια αναπτύσσονται οι τύποι μεμβρανών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα αφαλάτωσης, πραγματοποιείται μαθηματική ανάλυση της ροής του νερού και του αλατιού καθώς και των διακυμάνσεων τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι μορφές ενέργειας που μπορούν να υποστηρίξουν ένα τέτοιο σύστημα αφαλάτωσης. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), θεωρητικά είναι η καλύτερη δυνατή λύση, αφού εκμεταλλεύονται την ενέργεια της φύσης με την χρήση των νέων τεχνολογιών (αιολικά - ηλιακά συστήματα).

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η Ελληνική πατέντα της πρώτης πλωτής μονάδας αφαλάτωσης. Είναι ένα παράδειγμα εφαρμογής μεμβρανών στην τεχνολογία της αφαλάτωσης. Η αυξανόμενη ζήτηση του ποσίμου νερού οδήγησε στην δημιουργία πολλών τέτοιων εργοστασιακών μονάδων σε όλο των Ελλαδικό χώρο. Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι η κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών. Οι μονάδες αυτές έρχονται αντιμέτωπες με την διαφορετική αλατότητα των περιοχών. Τέλος η διαμόρφωση των ενεργειακών συστημάτων είναι ανάλογες με τις ανάγκες του παραγόμενου νερού.

Στο έκτο κεφάλαιο αναφέρονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μίας τέτοια μονάδας αφαλάτωσης. Η απόρριψη της άλμης είναι μια βασική περιβαλλοντική επίπτωση που η διαχείριση της είναι αναγκαία. Υπάρχουν γενικοί μέθοδοι διαχείρισης της άλμης χωρίς ακόμα να έχει εντοπιστεί η κατάλληλη. Επιπλέον, οι χημικές διαδικασίες καθαρισμού των μεμβρανών επιβαρύνουν εξίσου το περιβάλλον. Το κόστος μια πλωτής μονάδας αφαλάτωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν και το κόστος του παραγόμενου νερού. Τέλος αναπτύσσονται, οι στρατηγικές μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η επιλογή και η χρήση κατάλληλων χημικών καθώς και η σπουδαιότητα της διαδικασίας.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1.	Ορισμός μεμβράνης.	1
1.2.	Περιγραφή μεμβράνης.	1
1.2.1.	Ανόργανες μεμβράνες.	2
1.2.2.	Πολυμερικές μεμβράνες.	2
1.3.	Τεχνολογία μεμβρανών.	3
1.4.	Ορολογία των μεμβρανών.	4
1.5.	Τύποι και υλικά μεμβρανών.	5
1.6.	Ταξινόμηση των μεμβρανών.	7
1.7.	Παρασκευή μεμβρανών.	9
1.7.1.	Φυσικές μέθοδοι.	9
1.7.2.	Χημικές μέθοδοι	9
1.8.	Αφαλάτωση	9
1.9.	Μέθοδοι – Τεχνολογίες Αφαλάτωσης	10
1.9.1.	Πολυβάθμια εξάτμιση, (Multi-Stage Flushing, MSF)	10
1.9.2.	Πολυβάθμια εξάτμιση, (Multiple Effect Distillation, MED)	12
1.9.3.	Εξάτμιση με συμπίεση ατμών, (Vapour Compression, VC)	13
1.9.4.	Ηλιακή απόσταξη, (solar distillation)	14
1.9.5.	Αντίστροφη ώσμωση, (Reverse Osmosis, RO)	15
1.9.5.1.	Περιγραφή Διαδικασίας RO	15
1.9.6.	Ηλεκτροδιάλυση, (Electrodialysis, ED/EDr)	19
1.9.6.1.	Περιγραφή Διαδικασίας ED/EDr	20
1.10.	Ανάλυση παραμέτρων επιλογής κατάλληλης μεθόδου αφαλάτωσης	21
1.10.1.	Νερό τροφοδοσίας	21
1.10.2.	Ποιότητα παραγόμενου νερού	21
1.10.3.	Μέγεθος μονάδας	22
1.10.4.	Διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας	22
1.11.	Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1.	Γενικά για το νερό	24
2.2.	Μείωση Υδάτινων Πόρων	25
2.3.	Λειψυδρία	25
2.4.	Παγκόσμια έλλειψη νερού	26
2.4.1.	Έλλειψη νερού στον Ελλαδικό χώρο	26
2.5.	Σύσταση των φυσικών νερών	27
2.6.	Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού	28
2.6.1.	Θερμοκρασία	32
2.6.2.	Οξύτητα (pH)	32
2.6.3.	Αλκαλικότητα	33
2.6.4.	Αγωγιμότητα και αλατότητα	34
2.6.5.	Οσμή και γεύση του νερού	35
2.6.6.	Χρώμα	36
2.6.7.	Θολότητα	37
2.6.8.	Άλατα και σκληρότητα	38
2.6.8.1.	Ολική Σκληρότητα	40

2.6.8.2.	Προσωρινή (ανθρακική) Σκληρότητα	41
2.6.8.3.	Μόνιμη (μη ανθρακική) Σκληρότητα	41
2.6.8.4.	Βαθμοί Σκληρότητας Νερού	42
2.6.8.5.	Φυσικά Χαρακτηρίστηκα Προσδιορισμού Σκληρότητας Νερού	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3		
3.1.	Στοιχειά διαχωρισμού μεμβράνης	46
3.2.	Ημπερατές Μεμβράνες	48
3.3.	Οι Μεμβράνες στην Αντίστροφη Ώσμωση	49
3.4.	Παράμετροι Απόδοσης	51
3.5.	Οσμωτική πίεση και πίεση λειτουργίας	52
3.6.	Απόρριψη Αλατιού	53
3.7.	Ποσοστό Ανάκτησης	53
3.8.	Μεμβράνες Αντίστροφης Ώσμωσης	53
3.9.	Μεμβράνες Οξικής Κυτταρίνης (CA MEMBRANES)	54
3.10.	Μεμβράνες Σύνθετου Πολυαμιδίου (PA MEMBRANES)	55
3.11.	Τύποι μεμβρανών στην αφαλάτωση	55
3.11.1.	Ινώδεις Μεμβράνες (HOLLOW FIBER MEMBRANES)	55
3.11.2.	Μεμβράνες Σπειροειδούς Περιέλιξης (SPIRAL WOUND MEMBRANES)	57
3.12.	Συστήματα Αντιστροφής Ώσμωσης	59
3.13.	Μοντέλα και Μεταβλητές Αντίστροφης Ώσμωσης	61
3.13.1.	Γενικές Έννοιες	62
3.14.	Ημιεμπειρικά Μοντέλα	65
3.15.	Συγκέντρωση Πόλωσης	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4		
4.1.	Η ενέργεια σε διάφορα στάδια της αφαλάτωσης	69
4.2.	Διαφορές μορφές ενέργειας στην αφαλάτωση	69
4.2.1.	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	70
4.2.2.	Ηλιακή Ενέργεια	71
4.2.3.	Αιολική Ενέργεια	71
4.2.4.	Γεωθερμική ενέργεια.	72
4.2.5.	Ενέργεια των Ωκεανών.	72
4.2.6.	Ενεργειακό ισοζύγιο	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		
5.1.	Η αφαλάτωση στην Ελλάδα.	75
5.2.	Πλωτή Μονάδα Αφαλάτωσης	75
5.3.	Μελέτη πρώτης πλωτής μονάδας αφαλάτωσης	79
5.3.1.	Ζήτηση νερού και η ικανότητα των εγκαταστάσεων της μονάδας αφαλάτωσης	82
5.3.2.	Η αλατότητα του νερού τροφοδοσίας	82
5.3.3.	Η διαμόρφωση ενεργειακού συστήματος	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6		
6.1.	Περιβαλλοντολογικές Επιπτώσεις	84
6.1.1.	Διαχείριση άλμης	84
6.1.1.1.	Γενικοί μέθοδοι διάθεσης της άλμης	85
6.1.2.	Καθαρισμός μεμβρανών.	88
6.1.2.1.	Λόγοι που επιβάλουν την εφαρμογή του χημικού	90

	καθαρισμού	
6.1.2.2.	Μέθοδοι χημικού καθαρισμού.	91
6.1.3.	Επιπτώσεις από ΑΠΕ	91
6.1.4.	Χημική, Αισθητική και Ηχητική Ρύπανση	92
6.2.	Κόστος Πλωτής Μονάδας Αφαλάτωσης	94
6.2.1.	Αρχική επένδυση	94
6.2.2.	Λειτουργία και συντήρηση	94
6.2.3.	Παραγόμενο Νερό	95
6.2.4.	Κόστος άλμης	96
6.2.5.	Υπολογισμός ολικού κόστους μονάδας αφαλάτωσης	96
6.3.	Στρατηγικές μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων	97
6.3.1.	Επιλογή και χρήση χημικών	98
6.3.2.	Στάδια χημικού καθαρισμού μεμβρανών	99
6.3.3.	Η σπουδαιότητα της διαδικασίας του χημικού καθαρισμού των μεμβρανών	100
ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ		101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. Ορισμός μεμβράνης.

Η μεμβράνη είναι μια περατή ή ημιπερατή φάση, συχνά ένα λεπτό πολυμερές ή άλλης φύσης υλικό, που περιορίζει την κίνηση ορισμένων συστατικών. Πρόκειται δηλαδή, για μια δομή, με πολύ μεγάλες πλευρικές διαστάσεις σε σχέση με το πάχος της και μέσω της οποίας, υπό την επίδραση διαφόρων κινητήριων δυνάμεων μπορεί να λάβει χώρα μεταφορά μάζας. Ο ρόλος της μεμβράνης είναι να ενεργεί ως ένα εκλεκτικό φράγμα (selective barrier) και επιτρέπει το πέρασμα ορισμένων συστατικών και συγκρατεί άλλα συστατικά ενός μίγματος. Το διερχόμενο ρεύμα ή η συγκρατούμενη φάση εμπλουτίζεται σε ένα ή περισσότερα συστατικά

Ουσιαστικά η μεμβράνη καλείται μια φάση ή ομάδα φάσεων κειμένη μεταξύ δυο διαφορετικών φάσεων, η οποία είναι φυσικώς ή και χημικώς διακριτή από αυτές και η οποία, λόγω των ιδιοτήτων της και της εφαρμοζόμενης δύναμης πεδίου, μπορεί να ελέγξει τη μεταφορά μάζας μεταξύ αυτών των δυο φάσεων. Η μεμβράνη είναι μια διακριτή, λεπτή, διεπιφάνεια η οποία τροποποιεί το πέρασμα χημικών ειδών, τα οποία έρχονται σε επαφή μαζί της. Η διεπιφάνεια είναι μοριακά ομοιογενής, δηλαδή ομοιόμορφη στη σύνθεση και στη δομή. Επίσης μπορεί να είναι χημικώς ή φυσικώς ετερογενής, δηλαδή να περιέχει πόρους πεπερασμένων διαστάσεων ή να αποτελείται από κάποια μορφή σωματοποιημένης δομής.

Ο διαχωρισμός γίνεται στην επιφάνεια της μεμβράνης, ή στην μεμβράνη την ίδια. Οι μοριακές αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν οφείλονται στον ανταγωνισμό μεταξύ τους. Για τη βελτίωση της ικανότητας διαχωρισμού, δύο παράγοντες πρέπει να εξετασθούν πλήρως:

- Η εκλεκτικότητα
- Η ολική ροή

Και οι δύο παράγοντες μπορούν να μελετηθούν μόνο όταν είναι γνωστός ο μηχανισμός μεταφοράς δια μέσου της μεμβράνης. (Ξιάρχος Ιωάννης, 2006).

1.2. Περιγραφή μεμβράνης.

Η μεμβράνη είναι ένα υλικό διαμορφωμένο σε ένα λεπτό στρώμα ή στοιβάδα, που παρεμβάλλεται ανάμεσα σε δύο ρευστές φάσεις (μίγματα ή διαλύματα) και το οποίο είναι διαπερατό από τα συστατικά αυτών των δύο φάσεων. Ωστόσο, κάθε συστατικό έχει διαφορετική δυνατότητα διέλευσης μέσω της μεμβράνης. Με τη βοήθεια κατάλληλης κινητήριας δύναμης όπως είναι η πίεση, υπάρχει δυνατότητα μετακίνησης υλικού από τη μία φάση προς την άλλη. Αποτέλεσμα αυτού, η ύπαρξη διαφορετικής σύστασης στην πλευρά προς την οποία γίνεται η κίνηση σε σχέση με την άλλη πλευρά. Δηλαδή, αυτή η επιπρόσθετη φάση συνιστά έναν φραγμό μεταξύ ενός ρεύματος τροφοδότησης προς διαχωρισμό και ενός ρεύματος προϊόντων.

Η μεμβράνη ελέγχει τους σχετικούς ρυθμούς μεταφοράς των συστατικών μέσω αυτής και χωρίζει την τροφοδοσία σε ένα ρεύμα εμπλουτισμένο σε συγκεκριμένα συστατικά και ένα χαμηλής συγκέντρωσης σε αυτά. Οι μεμβράνες χαρακτηρίζονται από μια εκλεκτικότητα ως προς τη διέλευση και μπορούν να χρησιμεύσουν σε διεργασίες διαχωρισμού μιγμάτων ή

διαλυμάτων στα συστατικά τους. Η κινητήρια δύναμη για διαχωρισμό αερίων και ατμών είναι η διαφορά μερικής πίεσης διαμέσου της μεμβράνης, ενώ για υγρά είναι η διαφορά συγκέντρωσης (Βασίλης Ράπτης, 2009).

1.2.1. Ανόργανες μεμβράνες.

Οι ανόργανες αποτελούνται από κεραμικά υλικά ή ζεόλιθους, τα οποία είναι στερεά σώματα με πόρους πολύ συγκεκριμένων διαστάσεων που μπορούν να χρησιμεύσουν ως μοριακά κόσκινα. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις που οι μεμβράνες παρασκευάζονται από μέταλλα. Οι ανόργανες μεμβράνες είναι μικροπορώδεις, δηλαδή η εκλεκτικότητά τους οφείλεται στην ύπαρξη πόρων με πολύ μικρές διαστάσεις που επιτρέπουν τη διέλευση μόνο σε σωματίδια με μέγεθος κάτω από ορισμένες διαστάσεις (μικρομόρια, μεγαλομόρια, κolloειδή σωματίδια, ανάλογα με το μέγεθος πόρων της κάθε μεμβράνης). Επιπλέον, οι διαστάσεις, το σχήμα, η ευκαμψία ή δυσκαμψία και η μάζα των μορίων που μπορούν να διέλθουν μέσα από τους πόρους επηρεάζουν και την ταχύτητα διέλευσής τους, το οποίο εκφράζεται ποσοτικά ως μεγαλύτερος ή μικρότερος συντελεστής διάχυσης του αντίστοιχου συστατικού μέσω της μεμβράνης.

Οι ανόργανες μεμβράνες χρησιμοποιούνται στο διαχωρισμό αερίων μιγμάτων, και ιδιαίτερα για συστατικά μικρού μοριακού βάρους, γιατί εκεί έχουμε μεγαλύτερους ρυθμούς διάχυσης αλλά και μεγαλύτερες διαφορές ως προς τη διαχυτότητα, με αποτέλεσμα η διεργασία να είναι πιο αποδοτική. Οι ανόργανες μεμβράνες πλεονεκτούν στην χημική τους σταθερότητα και στην θερμική τους αντοχή, ωστόσο μειονεκτούν στο κόστος και η μηχανική τους αντοχή (Βασίλης Ράπτης, 2009).

1.2.2. Πολυμερικές μεμβράνες.

Οι πολυμερικές μεμβράνες πλεονεκτούν σε όσα μειονεκτούν οι ανόργανες και το αντίστροφο. Οι πολυμερικές μεμβράνες είναι κατάλληλες για διαχωρισμούς σε πιο ήπιες συνθήκες, ιδίως θερμοκρασίας, αφού σε υψηλά επίπεδα υπάρχει κίνδυνος να αποσυντεθεί το υλικό. Υπάρχει δυνατότητα να δημιουργηθούν μεμβράνες με πόρους διαφόρων διαστάσεων. Η σπουδαιότερη κατηγορία είναι οι ασύμμετρες μη πορώδεις, πυκνές (dense) μεμβράνες. Το όνομα τους οφείλεται στην ιδιόμορφη δομή τους από δύο στρώματα με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σε αυτές, υπάρχει ένα πολύ λεπτό στρώμα από ελαστομερές πολυμερές, με πάχος μικρότερο από 1μm, το οποίο δε διαθέτει πόρους, δηλαδή είναι μία συνεχής φάση.

Το στρώμα είναι η καθαυτό μεμβράνη και είναι ενωμένο με ένα άλλο, παχύτερο πορώδες στρώμα, περισσότερο για λόγους μηχανικής αντοχής παρά για το ρόλο που παίζει στο διαχωρισμό. Το ελαστομερές πρέπει να είναι δικτυωμένο (cross-linked), διότι είναι ρευστό με αποτέλεσμα να μην μπορεί να σταθεροποιηθεί. Η διέλευση των συστατικών προς διαχωρισμό εξαρτάται από την διάχυση των μορίων μέσω του συμπαγούς στρώματος της μεμβράνης και από τη διαλυτότητα αυτών μέσα στο πολυμερικό υλικό. Αυτό καθορίζει τη διακινούμενη ποσότητα.

Οι πυκνές, μη πορώδεις μεμβράνες έχουν πολύ μικρότερο συντελεστή διαπερατότητας από τις μικροπορώδεις. Όμως το πολύ μικρό πάχος τους δίνει την δυνατότητα στη διερχόμενη ποσότητα ανά μονάδα εγκάρσιας επιφάνειας να έχει πολύ μεγάλο ρυθμό. Ωστόσο, υπάρχουν και οι μεμβράνες αποτελούμενες από υαλώδη πολυμερή, των οποίων η

θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης είναι πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στα υαλώδη πολυμερή η διαχυτότητα παίζει πρωτεύοντα ρόλο, ενώ στα ελαστομερή υλικά, η διαλυτότητα είναι εξ ίσου σημαντική.

Βασικό χαρακτηριστικό της δομής των υαλωδών πολυμερών σε μοριακό επίπεδο είναι η ακαμψία. Αυτός είναι και ο λόγος που τα καθιστά παρόμοια με τις ανόργανες μεμβράνες, ωστόσο τα στατικά χαρακτηριστικά μοιάζουν με τις ελαστομερείς μεμβράνες, γιατί πρόκειται για άμορφα υλικά. αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ότι, οι υαλώδεις πολυμερικές μεμβράνες βρίσκουν εφαρμογή περισσότερο σε διαχωρισμούς αερίων μιγμάτων, χαμηλού μοριακού βάρους, σε αντίθεση με τα ελαστομερή υλικά που χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις βαρύτερων συστατικών ή υγρών (Βασίλης Ράπτης, 2009).

1.3. Τεχνολογία μεμβρανών.

Η τεχνολογία μεμβρανών αποτελεί μια σύγχρονη τεχνική διαχωρισμού φιλική προς το περιβάλλον, με κύριες εφαρμογές στα τρόφιμα, στην επεξεργασία των υδατικών αποβλήτων, στην επεξεργασία των υδάτινων πόρων και στην ιατρική. Σημαντική είναι η εξέλιξη της τις τελευταίες δεκαετίες, όμως πολλά σημεία της τεχνολογίας αυτής μένουν αδιευκρίνιστα από τη πληθώρα των προσφερομένων υλικών και τα μυστικά των κατασκευαστών μεμβρανών.

Η συμπεριφορά της μεμβράνης σε ένα σύστημα προς διαχωρισμό αποτελεί ένα ειδικό πρόβλημα προς εξέταση,. Αρχικά οι παράγοντες που αφορούν τα χαρακτηριστικά της χημικής δομής και των τεχνικών στοιχείων της μεμβράνης και στην συνέχεια τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του προς διαχωρισμό συστήματος. Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας είναι ένα σύνθετο πρόβλημα και συνδέεται εκτός από το καθαυτό μηχανικό διαχωρισμό και από τις αναπτυσσόμενες αλληλεπιδράσεις στην διεπιφάνεια της μεμβράνης. (Ξιάρχος Ιωάννης, 2006).

Η τεχνολογία διαχωρισμού μέσω μεμβρανών κερδίζει διαρκώς έδαφος εξαιτίας σημαντικών πλεονεκτημάτων που διαθέτει, τα οποία είναι:

- Δε χρησιμοποιεί άλλα υλικά για την πρόκληση του διαχωρισμού και επομένως είναι φιλική προς το περιβάλλον.
- Διενεργείται σε ήπιες συνθήκες λειτουργίας,
- Οι μεμβράνες διατίθενται από τους κατασκευαστές σε αρθρώματα (modules), συνήθως σωληνοειδούς μορφής, τα οποία συναρμολογούνται και συνδέονται εύκολα μεταξύ τους, με συνέπεια να είναι εύκολη η επέκταση σε μεγαλύτερη κλίμακα και υψηλότερες δυναμικότητες.
- Θεωρείται ανταγωνιστική ως προς το κόστος της, το πάγιο αλλά και το λειτουργικό.
- Μπορεί να έχει πολύ ικανοποιητική απόδοση (σημαντικό βαθμό διαχωρισμού με μικρό αριθμό βαθμίδων).

Ο κυριότερος περιορισμός των μεμβρανών είναι το κόστος. Ωστόσο, κάθε κατηγορία έρχεται αντιμέτωπη με διάφορα προβλήματα. Για παράδειγμα, η δυσκολία καθαρισμού για

ορισμένους τύπους διαχωριστήρων μεμβράνης και τη συνεπαγόμενη ανάγκη αλλαγής μεμβρανών σε τακτά διαστήματα (ανταλλακτικά) (Ράπτης Βασίλης, 2009).

1.4. Ορολογία των μεμβρανών.

Η περιγραφή της διεργασίας του φυσικού διαχωρισμού κατά την διέλευση (permeation) μέσω μεμβρανών περιλαμβάνει τις έννοιες:

- Των ρευμάτων τροφοδοσίας (feed).
 - Του διαχωρισμού ή διήθημα ή πέρασμα (permeate).
 - Του εναπομείναντος ρεύματος ή ρεύματος απόρριψης ή κατακράτησης (reject ή retentate) ή υπόλειμμα ή συμπύκνωμα (ιδιαίτερα για τα υγρά).
- ∅ Η τροφοδοσία αναφέρεται στο μίγμα προς διαχωρισμό που εισέρχεται στη μονάδα διαχωρισμού από την οποία εξέρχονται τα άλλα δύο.
- ∅ Το ρεύμα κατακράτησης εξέρχεται από τη διαχωριστική μονάδα από την ίδια πλευρά της μεμβράνης στην οποία εισέρχεται η τροφοδοσία, με μειωμένη συγκέντρωση των συστατικών που κατά προτίμηση διέρχονται μέσα από το πολυμερές.
- ∅ Το ρεύμα διαχωρισμού που συλλέγεται από την άλλη πλευρά της μεμβράνης είναι εμπλουτισμένο στα συστατικά που διέρχονται με υψηλότερους ρυθμούς μέσα από το υλικό της.
- ∅ Η απόδοση της μεμβράνης ορίζεται με τη βοήθεια δυο απλών παραγόντων, της διαπερατότητας (permeability) και της διαπερατοεκλεκτικότητας (permselectivity).
- Διαπερατότητα: ο ογκομετρικός (μαζικός ή γραμμοτυπικός) ρυθμός ροής του ρευστού που διαπερνά τη μεμβράνη ανά μονάδα επιφάνειας αυτής ανά μονάδα χρόνου.
 - Διαπερατοεκλεκτικότητα: (για διαλυμένες ουσίες και σωματίδια σε υγρά και αέρια: κατακράτηση – retention): το κλάσμα του διαλυμένου στην τροφοδοσία συστατικού που κατακρατείται στη μεμβράνη.
 - Διαπερατοεκλεκτικότητα: (για μίγματα αναμίξιμων υγρών και αερίων: παράγοντας διαχωρισμού – separation factor): ο λόγος της συγκέντρωσης στο ρεύμα διαχωρισμού προς αυτόν στο ρεύμα τροφοδοσίας για δύο συστατικά (Ράπτης Βασίλης, 2009).

Οι τιμές κατακρατήσεις είναι μικρότερες της μονάδας, ενώ οι τιμές του διαχωρισμού πολύ μεγαλύτερες της μονάδας. Αυτό σημαίνει ότι το ένα συστατικό έχει αυξηθεί σε σχετική συγκέντρωση από την τροφοδοσία στο ρεύμα διαχωρισμού. Στην πραγματικότητα η ιδανική περίπτωση θα ήταν, μία μεμβράνη να έχει υψηλή διαπερατοεκλεκτικότητα και διαπερατότητα. Ωστόσο, πειραματικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι κάθε απόπειρα μεγιστοποίησης του ενός καταλήγει σε μείωση του άλλου.

Οι νέες τεχνολογίες και η ανάπτυξη των νέων υλικών έχουν σκοπό την διερεύνηση των ορίων αυτών. Σκοπός των πειραματικών ερευνών είναι να υπάρχει ταυτόχρονα μεγάλη διαπερατότητα και εκλεκτικότητα. Ωστόσο, πειραματικές μελέτες καταλήγουν ότι ο ρυθμός διέλευσης των συστατικών μέσα από τη μεμβράνη είναι ανάλογος με την υπάρχουσα διαφορά δυναμικού, δηλαδή την πτώση πίεσης, και την μεταβολή συγκεντρώσεων και αντιστρόφως ανάλογος του πάχους της μεμβράνης (Ράπτης Βασίλης, 2009).

Η επίτευξη της υψηλής διαπερατότητας απαιτεί μεμβράνες πολύ λεπτές. Οι ασύμμετρες (asymmetric) μεμβράνες που παράγονται με τη μέθοδο διαχωρισμού φάσεων ικανοποιούν αυτή την απαίτηση. Οι μεμβράνες αυτές αποτελούνται από ένα λεπτό, πυκνό, μη-πορώδες στρώμα πάχους περίπου 0.1 μm . Στηρίζεται σε ένα μικροπορώδες υπόστρωμα, είναι το λεπτό επιφανειακό στρώμα που επιτελεί τον διαχωρισμό, ενώ το υπόστρωμα προσδίδει μόνο μηχανική αντοχή.

Ωστόσο, η μέθοδος διαχωρισμού δεν είναι κατάλληλη για όλα τα υλικά που έχουν ιδιότητες χρήσιμες για την διαδικασία του διαχωρισμού. Η σύνθετες (composite) μεμβράνες είναι μία εναλλακτική λύση. Οι μεμβράνες αυτές απαιτούν λιγότερο από 1g πολυμερούς ανά m^2 σε σύγκριση με 40 – 60 g για τις ανισότροπες. Περιέχουν ένα φθινό υπόστρωμα ανισότροπου τύπου και υψηλής διαπερατότητας, ώστε να μην είναι εμπόδιο στη διέλευση του υλικού. Λόγω μηχανικής και χημικής σταθερότητας, ακολουθεί ένα ενδιάμεσο διαπερατό μη-εκλεκτικό στρώμα στο οποίο στηρίζεται η καθαυτό μεμβράνη πάχους της τάξης των nm- μm , ενώ προστίθεται και ένα διαπερατό στρώμα πάχους 1 μm για μηχανική και χημική προστασία (Ράπτης Βασίλης, 2009).

1.5. Τύποι και υλικά μεμβρανών.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο διαπερατοεκλεκτικό στρώμα μιας σύνθετης μεμβράνης κατατάσσονται σε:

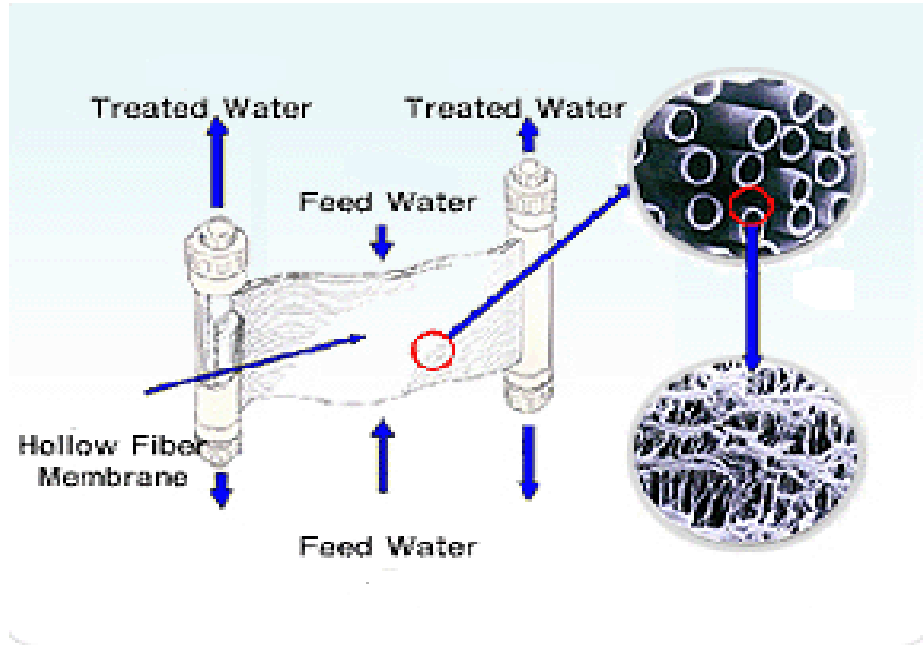
- υδρόφιλα
- υδρόφοβα

Το υλικό που προτιμάται εξαρτάται από το είδος που είναι εμπλουτισμένο το διερχόμενο.

Οι μονάδες διαχωρισμού με μεμβράνες ή αρθρώματα (modules) κατασκευάζονται σε τρεις τύπους:

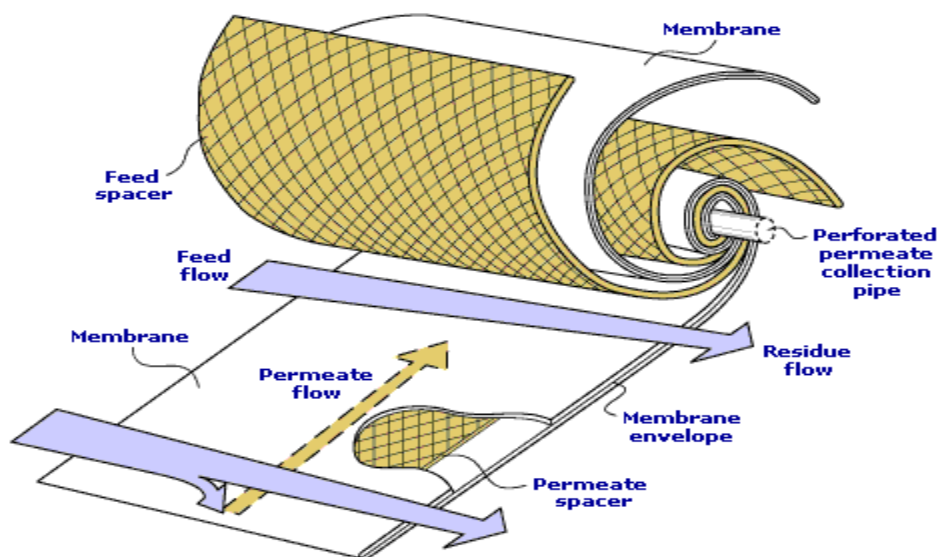
- Κοίλων ινών (hollow fibres)
- Σπειροειδούς περιέλιξης (spiral wound)
- Επίπεδες (plate and frame)

- Ø Κοίλων ινών (hollow fibres): διατάσσονται παράλληλα η μία στην άλλη σε ένα πιεστικό δοχείο και έχουν το εκλεκτικό στρώμα στο εξωτερικό τους. Η τροφοδοσία εισέρχεται στο δοχείο και το διήθημα συγκεντρώνεται στο εσωτερικό των ινών και φεύγει από το ένα ανοιχτό άκρο τους.



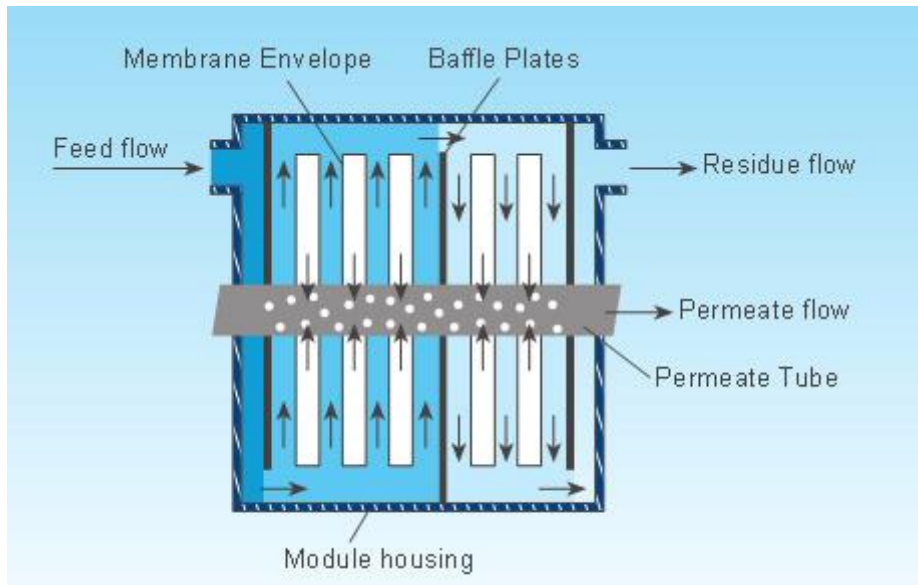
Εικόνα1.1.: Μembrάνη Κοίλων ινών.

- Ø Σπειροειδούς περιέλιξης (spiral wound): Αποτελούνται από επίπεδα φύλλα μεμβράνης τυλιγμένα σπειροειδώς (όπως το αλουμινόχαρτο) και τοποθετημένο σε ένα πιεστικό δοχείο. Μεταξύ των φύλλων μεσολαβούν διαχωριστήρες για τη διέλευση της τροφοδοσίας και του διηθήματος.



Εικόνα 1.2: Μembrάνη σπειροειδούς περιέλιξης.

- Ø Επίπεδες (plate and frame): αποτελούνται από πολυστρωματικά υλικά και είναι κατάλληλες για διαχωρισμό αερίων.



Εικόνα 1.3.: Επίπεδες μεμβράνες.

Οι κοίλες ίνες είναι οι φθηνότερες, με μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια και κατασκευάζονται εύκολα. Οι σπειροειδείς μεμβράνες είναι καταλληλότερες για την επεξεργασία φυσικού αερίου, τα διυλιστήρια και την πετροχημική βιομηχανία, γιατί οι μονάδες ινών είναι πολύ ευπαθείς σε αιωρούμενα σωματίδια ή σταγονίδια που υπάρχουν σε αυτά τα περιβάλλοντα (Ράπτης Βασίλης, 2009).

Κάθε τύπος μεμβράνης έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και οι ικανότητές τους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι ο αριθμός των μεμβρανών του συστήματος, το γεωμετρικό σχήμα που συνήθως είναι κυλινδρικό με αποτέλεσμα οι δυνάμεις πίεσης που ασκεί το υγρό-αέριο στις μεμβράνες κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια εσωτερικά του κυλίνδρου όπου και εξισορροπούνται. (Καούρης και Σαλαμαλίκης, 2012).

1.6. Ταξινόμηση των μεμβρανών.

Η ταξινόμηση των μεμβρανών είναι δυνατόν να γίνει σύμφωνα με το υλικό κατασκευής και τη δομή τους.

ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΔΟΜΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ
<p>Πολυμερικές:</p> <p>Αφορούν μεγάλο αριθμό διαθέσιμων πολυμερών με κυρίαρχες τις:</p> <ul style="list-style-type: none"> • μεμβράνες πολυσουλφόνης, • πολυαμιδικές μεμβράνες, • οξικής κυτταρίνης • μεμβράνες από ελαστικά σιλκόνης (silicon rubbers). 	<p>Στερεές μεμβράνες</p> <ul style="list-style-type: none"> • συμμετρικές μεμβράνες • ασύμμετρες μεμβράνες
<p>Μεμβράνες από τροποποιημένα φυσικά προϊόντα βασισμένα στη κυτταρίνη.</p>	<p>Συμμετρικές μεμβράνες</p> <p>Διακρίνονται σε αυτές με:</p> <ul style="list-style-type: none"> • κυλινδρικούς πόρους • πορώδεις (porous) • μη πορώδεις (non – porous)
<p>Κεραμικές και μεταλλικές μεμβράνες</p>	<p>Ασύμμετρες μεμβράνες</p> <p>Χαρακτηρίζονται από:</p> <ul style="list-style-type: none"> • μη ομοιόμορφη δομή αποτελούμενη από ένα ενεργό άνω στρώμα (active top layer or skin) • υποστηριζόμενο από ένα πορώδες υπόστρωμα (porous sublayer).

Πίνακας 1.1. : Ταξινόμηση μεμβρανών σύμφωνα με το υλικό κατασκευής και τη δομή τους (Ξιάρχος Ιωάννης, 2006).

1.7. Παρασκευή μεμβρανών.

Η παρασκευή των μεμβρανών γίνεται με τη χρησιμοποίηση φυσικών και χημικών μεθόδων. Ωστόσο, κάθε μέθοδος εξαρτάται από την περίπτωση, με αποτέλεσμα να λαμβάνονται μη πορώδεις μεμβράνες με μέγεθος πόρων μοριακής τάξεως, $d < 2 \text{ nm}$ ή πορώδεις μεμβράνες με μέγεθος έως και $d = 200 \mu\text{m}$.

Οι ιδιότητες μίας μεμβράνης έχουν την δυνατότητα να βελτιωθούν είτε αμέσως μετά την παρασκευή της είτε και μετά από παρατεταμένη χρήση. Η βελτίωση τους γίνεται με κατάλληλη επεξεργασία. Για παράδειγμα για την σταθεροποίηση των μεμβρανών χρησιμοποιείται θερμική επεξεργασία (Ξιάρχος Ιωάννης, 2006).

1.7.1. Φυσικές μέθοδοι.

Η μεμβράνη παρασκευάζεται είτε από ένα αρχικό διάλυμα πολυμερούς είτε από ένα τήγμα πολυμερούς, είτε από μια εύπλαστη πολυμερή μάζα, χωρίς όμως τη συμμετοχή κάποιας χημικής αντίδρασης. Η τελική μορφή της μεμβράνης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κατάλληλου ακροστομίου μέσα από το οποίο συμπιέζεται το αρχικό διάλυμα ή το τήγμα

Η Διεργασία Αντιστροφής φάσης (Phase Inversion Process) αναφέρεται στην παρασκευή ασύμμετρων μεμβρανών που προκύπτουν από το αρχικό διάλυμα πολυμερούς οι οποίες οφείλουν το πορώδες τους στην ακινητοποίηση (immobilization) του πολυμερούς υπό μορφή gel πριν από τη πλήρη εξάτμιση ή απομάκρυνση (depletion) του διαλύτη.

Υπάρχουν οι ακόλουθες παραλλαγές:

- Εξάτμιση διαλύτη (Solvent evaporation)
- Μεταβολή θερμοκρασίας (Temperature change)
- Προσθήκη μέσου κατακρήμνισης (Precipitant addition)
- Διαμόρφωση σε ειδικό καλούπι και τήξη κοκκωδών κόνεων (Molding and sintering of fine-grain powders).

1.7.2. Χημικές μέθοδοι.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται επιλεκτική εναπόθεση ενός μονομερούς πάνω σ' ένα κατάλληλο υπόστρωμα και στην συνέχεια ακολουθεί πολυμερισμός μέσω της κατάλληλης χημικής αντίδρασης. Επιπλέον, ο πολυμερισμός γίνεται από την αέρια φάση πάνω σε ένα κατάλληλο υπόστρωμα. Όπως επίσης, και η επίστρωση ορισμένων πρωτοπολυμερών (prepolymers) πραγματοποιείται πάνω σε κατάλληλο υπόστρωμα (Ξιάρχος Ιωάννης, 2006).

1.8. Αφαλάτωση

Οι μεμβράνες λοιπόν είναι κατάλληλες για το διαχωρισμό συστατικών, με αποτέλεσμα η μέθοδος της αφαλάτωσης να πραγματοποιείται με την βοήθεια τους. Η αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσίνο νερό, υφάλμυρα

ποτάμια και λίμνες. Κατά συνέπεια, είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινές ή υφάλμυρες πηγές. Χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα και όπου υπάρχει πλούσια πρόσβαση σε καθαρό θαλασσινό νερό.

Δύο είναι οι μέθοδοι που διακρίνονται για την αφαλάτωση:

- Ø Μέθοδοι εξάτμισης.
- Ø Μέθοδοι μεμβρανών.

Αναλυτικότερα για την κάθε μέθοδο υπάρχουν διαφορετικές διεργασίες.

1) Μέθοδοι Εξάτμισης ή Θερμικές

- Πολυβάθμια εξάτμιση
- Πολυβάθμια εκτόνωση
- Εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών
- Θερμική συμπίεση ατμών

2) Μέθοδοι Μεμβρανών

- Αντίστροφη Ωσμωση
- Ηλεκτροδιάλυση

Εκτός από τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω για την μέθοδο της απόσταξης και την μέθοδο των μεμβρανών υπάρχουν άλλες μέθοδοι που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Επίσης υπάρχουν μέθοδοι που καταλήγουν να είναι οικονομικά ασύμφορες όπως:

- Ιοντοανταλλαγή.
- Διεργασία παγώματος.
- Απόσταξη με μεμβράνες.
- Ηλιακή αεριοποίηση.
- Κρυσταλλοποίηση με υδρικό αιθάνιο.
- Νανοφιλτράρισμα.

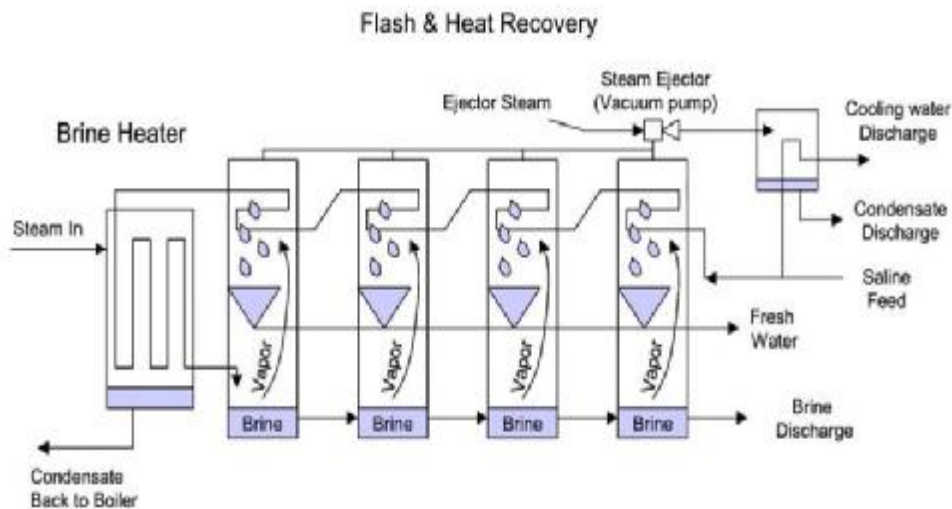
1.9. Μέθοδοι – Τεχνολογίες Αφαλάτωσης.

Αναφέρουμε εν συντομία τις κυριότερες μεθόδους αφαλάτωσης με σκοπό να τις συγκρίνουμε με τις μεθόδους των μεμβρανών.

1.9.1. Πολυβάθμια εξάτμιση, (Multi-Stage Flushing, MSF).

Η μέθοδο της πολυβάθμιας εκτόνωσης χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και είναι κατάλληλη για εφαρμογή μεγάλου μεγέθους της τάξεως των 1.000-60.000 m³/ημ. Το θαλασσινό νερό θερμαίνεται υπό συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία η οποία είναι λίγο πιο χαμηλή από το σημείο βρασμού του. Η διαδικασία της αύξησης της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τον σχηματισμό ατμών έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη του διαλύματος, οδηγώντας το σταθερά στην ισορροπία.

Η διαδικασία χρησιμοποιεί το θαλασσινό νερό, το οποίο θερμαίνεται σε θερμοκρασία λίγο μικρότερη από το σημείο βρασμού του. Στην συνέχεια με την διαδικασία της ατμοποίησης το νερό εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο όπου η πίεση που επικρατεί είναι χαμηλότερη από την πίεση κορεσμού. Ο ατμός έρχεται σε επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το κρύο θαλασσινό νερό και υγροποιείται. Αυτό το νερό που υγροποιείται συλλέγεται ως καθαρό νερό.



Σχήμα 1.1.: Απεικόνιση της πολυβάθμιας εκτόνωσης.

Πολυβάθμια εκτόνωση	
Εύρος μεγεθών	1.000-60.000 m ³ /ημ
Νερό τροφοδοσίας	Θαλασσινό
Ποιότητα παραγόμενου νερού	10ppm TDS
Απαιτούμενη ενέργεια	Θερμική (290 KJ/kg) Ηλεκτρική (4-6 kWh/m ³)

Πίνακας 1.2.: Χαρακτηριστικά Πολυβάθμιας εκτόνωσης.

Ο βαθμό απόδοσης των θερμικών μονάδων αφαλάτωσης μπορεί να θεωρηθεί το πηλίκο της μάζας του παραγόμενου αποσταγμένου νερού προς την μάζα του ατμού που χρησιμοποιήθηκε.

Σύμφωνα με μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι έχουμε καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου όταν οι εγκαταστάσεις μιας τέτοιας μονάδας αφαλάτωσης βρίσκεται κοντά σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

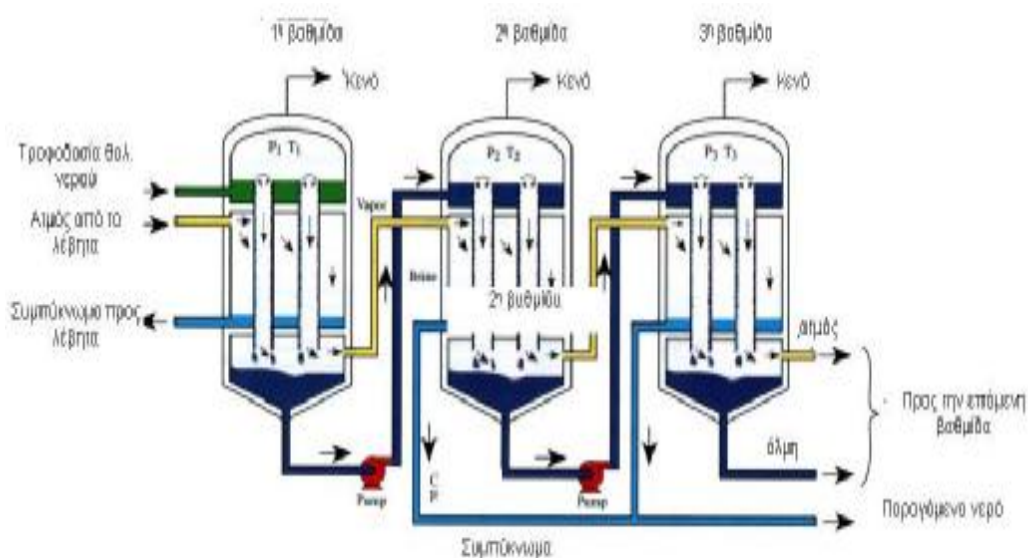
1.9.2. Πολυβάθμια εκτόνωση, (Multiple Effect Distillation, MED).

Η πολυβάθμια εξάτμιση έχει σταματήσει να εφαρμόζεται αφού παρουσιάζει διάφορα τεχνικά προβλήματα, για τον λόγο αυτό αντικαταστάθηκε σταδιακά από την πολυβάθμια εκτόνωση. Με την πάροδο του χρόνου γίνονται μελέτες για την αποκατάσταση των τεχνικών της προβλημάτων και την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων της όπως είναι ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης.

Ένα σύστημα πολυβάθμιας εξάτμισης αποτελείται από ένα λέβητα θέρμανσης έναν αποστακτήρα, έναν συμπυκνωτή ατμών και έναν διαχωριστή που παγιδεύει τις λεπτές σταγόνες της άλμης και τις αποχωρίζει από τον ατμό. Τα συστήματα πολυβάθμιας εκτόνωσης αποτελούνται από πολλούς εξατμιστήρες τοποθετημένους στην σειρά, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας του συστήματος.

Η διαδικασία MED χρησιμοποιεί αλμυρό νερό που θερμαίνεται ως την θερμοκρασία βρασμού του (100°C) και ο ατμός που παράγει εισάγεται μόνο στην πρώτη βαθμίδα. Οι ατμοί που σχηματίζονται στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιούνται ως ατμός θέρμανσης στην δεύτερη βαθμίδα. Η πίεση της δεύτερης βαθμίδας κυμαίνεται σε χαμηλότερες τιμές από την πρώτη ώστε το διάλυμα της άλμης να βράζει σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Στην πολυβάθμια εξάτμιση ο ατμός διέρχεται μέσα από σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται σε κάθετη ή οριζόντια διάταξη. Το κρύο θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω τους δημιουργώντας ένα πολύ λεπτό στρώμα νερού, το οποίο εξατμίζεται σε μικρό χρονικό διάστημα. Ο ατμός που δημιουργείται μετά την συμπύκνωση του αλμυρού νερού συλλέγεται σαν καθαρό νερό.

Η διαδικασία συνεχίζεται και στις επόμενες βαθμίδες, με τον υπολειπόμενο ατμό και το υπολειπόμενο αλμυρό νερό που απέμεινε από την ατμοποίηση. Σε κάθε θάλαμο υπάρχει αντλία κενού που υποβοηθά την εξάτμιση, με βαθμιαία μείωση της πίεσης σε κάθε βαθμίδα, που ισούται με την πίεση κορεσμού στην αντίστοιχη θερμοκρασία του κάθε θαλάμου. Έχει την δυνατότητα να λειτουργεί τόσο σε υψηλή όσο και σε χαμηλή θερμοκρασία, δίνοντας τον επιθυμητό βαθμό απόδοσης.



Σχήμα 1.2.: Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εξάτμισης.

Πολυβάθμια εξάτμιση	
Εύρος μεγεθών	500-20.000 m ³ /ημ
Νερό τροφοδοσίας	Θαλασσινό
Ποιότητα παραγόμενου νερού	10ppm TDS
Απαιτούμενη ενέργεια	Θερμική (290 Kj/kg) Ηλεκτρική (4-6 kWh/m ³)

Πίνακα 1.3.: Χαρακτηριστικά Πολυβάθμιας εξάτμισης.

1.9.3. Εξάτμιση με συμπίεση ατμών, (Vapour Compression, VC).

Η μέθοδος της εξάτμισης με συμπίεση ατμών βασίζεται στην διαδικασία απόσταξης. Ο ατμός που παράγεται κατά την εξάτμιση του θαλασσινού νερού λαμβάνεται από μια διάταξη θερμότητας που τον συμπιέζει. Κατά την συμπίεση του ατμού αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού με αποτέλεσμα να έχουμε την δημιουργία επιπλέον ατμού.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους, ο πρώτος είναι με την χρήση ενός συστήματος εκβολής και ο δεύτερος τρόπος είναι με την συμπίεση του ατμού μέσω μίας μηχανικής διάταξης, αναλυτικότερα λοιπόν έχουμε:

Ø Τρόπος Α:

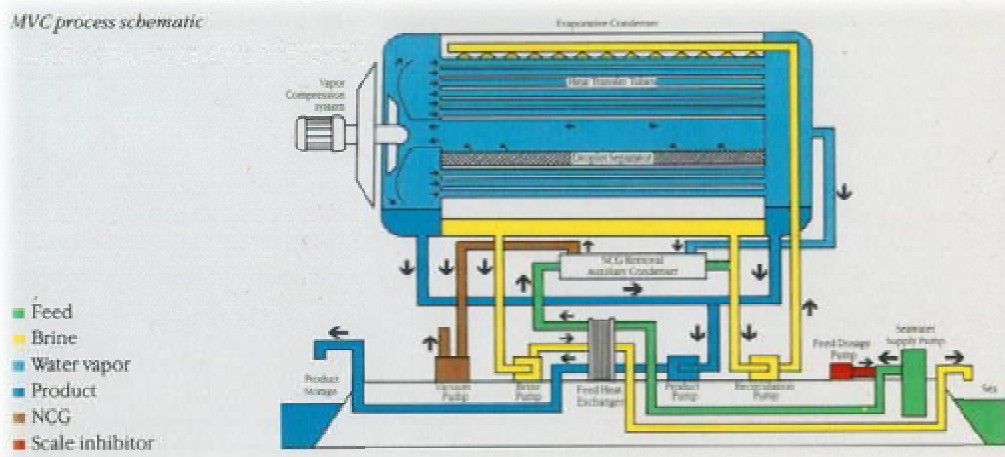
Η χρήση του συστήματος εκβολής λειτουργεί με ατμό σε μανομετρική πίεση από εξωτερική πηγή ώστε να ανακυκλώνει τον ατμό κατά την διαδικασία της αφαλάτωσης.

Ø Τρόπος Β:

Η συμπίεση του ατμού μέσω μιας μηχανικής διάταξης η οποία λειτουργεί με ηλεκτρισμό. Αυτή η διαδικασία έχει ονομαστεί μηχανική συμπίεση ατμού (Mechanical Vapor Compression MVC) και διαχωρίζεται σε συμπίεση ατμού (VC) η οποία κυμαίνεται σε μανομετρικές πιέσεις και σε συμπίεση ατμού υπό κενό (Vacuum Vapor Compression VVC) η οποία κυμαίνεται σε χαμηλές ατμοσφαιρικές πιέσεις. Η διαδικασία της συμπίεσης ατμού υπό κενό είναι η πιο αποδοτική διαδικασία απόσταξης, μικρότερης κατανάλωση ενέργειας και καλύτερων ρυθμών παραγωγής πόσιμου νερού. Επίσης είναι αξιόπιστη,

εύκολη στην διαχείριση και στην λειτουργία, ενώ είναι ιδιαίτερα ευέλικτη, μπορεί δηλαδή να λειτουργήσει κάτω από αντίξοες συνθήκες.

Σε αυτή την μέθοδο, το κρύο θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω σε σωλήνες που τους διαπερνά καυτός ατμός, θερμαίνεται και εξατμίζεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση. Οι καθαροί υδρατμοί συλλέγονται, συμπυκνώνονται και λαμβάνονται ως καθαρό νερό. Η μέθοδος της εξάτμισης με συμπίεση ατμών έχει σαν πλεονέκτημα την βασική διάφορα από τις προηγούμενες, λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος επομένως δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποια πηγής θερμότητας.



Σχήμα 1.3.: Απεικόνιση της εξάτμισης με συμπίεση ατμών.

Εξάτμιση με συμπίεση ατμών	
Εύρος μεγεθών	25-2.500 m ³ /ημ
Νερό τροφοδοσίας	Θαλασσινό
Ποιότητα παραγόμενου νερού	10ppm TDS
Απαιτούμενη ενέργεια	Ηλεκτρική (8-15 kWh/m ³)

Πίνακας 1.4.: Χαρακτηριστικά της εξάτμισης με συμπίεση ατμών.

1.9.4. Ηλιακή απόσταξη, (solar distillation).

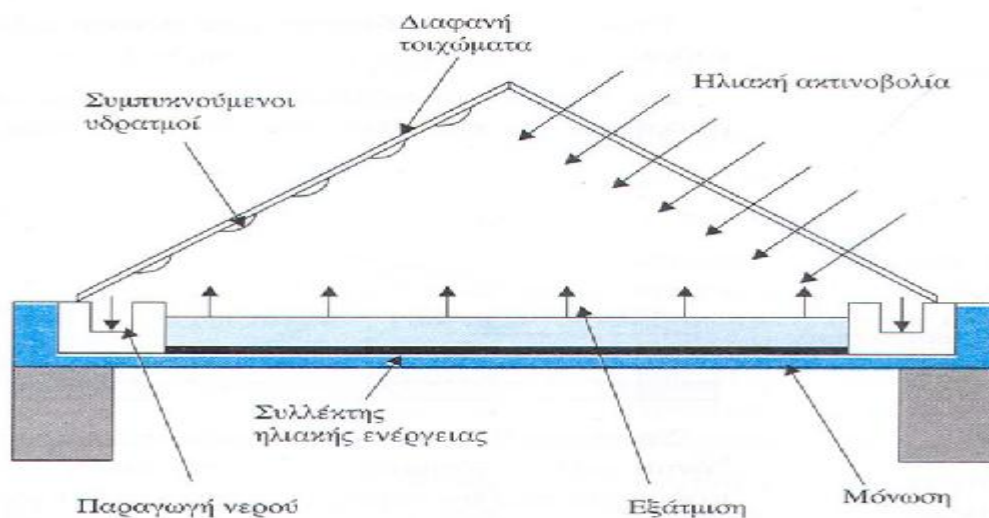
Η ηλιακή απόσταξη βασίζεται στην αρχή του θερμοκηπίου και αυτό γιατί χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την αφαλάτωση. Πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι οι εγκαταστάσεις χαρακτηρίζονται από τις πιο οικονομικές και το κόστος λειτουργίας τους

πολλές φορές είναι μηδενικό, αυτό βέβαια οφείλεται στο ότι δεν χρησιμοποιεί κάποιο είδος καύσιμου, με αποτέλεσμα την προστασία του περιβάλλοντος αφού δεν υπάρχει ρύπανση από καύσιμα.

Κατά την διαδικασία της ηλιακής απόσταξης η ακτινοβολία εισέρχεται στο στεγασμένο χώρο, απορροφάται κάποιο ποσοστό, διαχέεται και επανεκπέμπεται. Η κατασκευή είναι αδιαφανής με αποτέλεσμα αυτή η δευτερογενή ακτινοβολία που επανεκπέμπεται παγιδεύεται στον χώρο και τελικά να μετατρέπεται σε θερμότητα.

Οι ηλιακές ακτίνες περνούν στην διαφανή και γυάλινη οροφή θερμαίνουν το θαλασσινό νερό που βρίσκεται μέσα, κατά συνέπεια αυτό εξατμίζεται και ανεβαίνει στην οροφή που είναι κεκλιμένη. Στην συνέχεια ο ατμός συμπυκνώνεται και συλλέγεται ως προϊόν δηλαδή καθαρό νερό. Η θερμοκρασία ενός τέτοιου θερμοκηπίου κυμαίνεται και δεν ξεπερνά τους 45°C έως 55°C το καλοκαίρι.

Η απόδοση τέτοιων εγκαταστάσεων δεν είναι όμως η επιθυμητή και το νερό περιέχει διαφόρους μικροοργανισμούς οι οποίοι είναι βλαβεροί για τον άνθρωπο, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται και περαιτέρω επεξεργασία από αυτή της συλλογής νερού. Στις περισσότερες μεθόδους αυτή η περαιτέρω επεξεργασία γίνεται μέσω φίλτρων και μεμβρανών που περιέχονται σε κάθε μέθοδο.



Σχήμα 1.4.: Απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης.

1.9.5. Αντίστροφη ώσμωση, (Reverse Osmosis, RO).

Η αντίστροφη ώσμωση χρησιμοποιεί πίεση για να ωθήσει το διάλυμα και να περάσει μέσα από μία μεμβράνη η οποία διαχωρίζει την διαλυμένη ουσία και τον καθαρό διαλύτη. Ο διαχωρισμός του δοχείου γίνεται με μια ημιπερατή μεμβράνη από πορώδες υλικό, το ένα τμήμα του δοχείου περιέχει το θαλασσινό νερό και το άλλο τμήμα το καθαρό νερό, για να απέλθει ισορροπία στα δύο διαλύματα εφαρμόζεται ωσμωτική πίεση.

1.9.5.1. Περιγραφή Διαδικασίας RO.

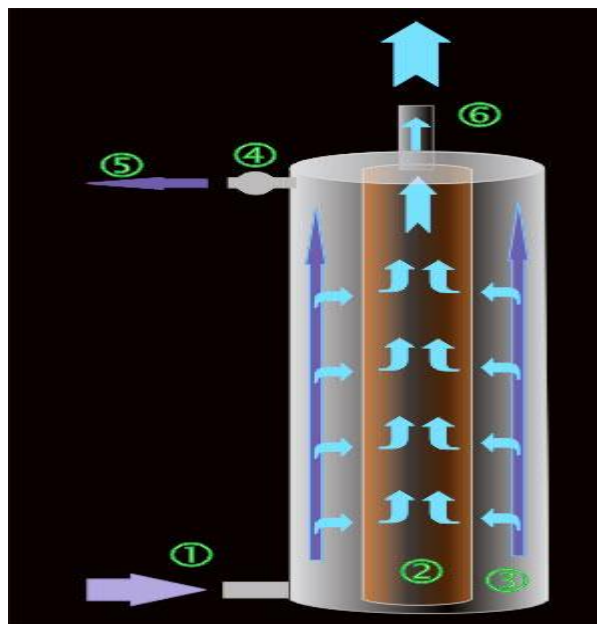
Οι ποσότητες των τμημάτων του δοχείου κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα, ενώ στη συνέχεια η στάθμη του τμήματος που περιέχει το θαλασσινό νερό δηλαδή το αλατούχο διάλυμα, ανεβαίνει καθώς τα μόρια του νερού που βρίσκονται στο τμήμα με το καθαρό νερό περνούν στο άλλο τμήμα διαμέσου της μεμβράνης.

Το διάλυμα με την μικρότερη συγκέντρωση αλάτων (σκέτο νερό) θα περάσει από την μεμβράνη και θα καταλήξει στο πυκνότερο διάλυμα (νερό με μόρια αλατιού), αυτό θα επαναλαμβάνεται μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις. Αν για κάποιο λόγο σταματήσει η διαδικασία της πορείας των μορίων από το καθαρό νερό προς το αλατούχο εφαρμόζεται κάποια πίεση με σκοπό τα δύο διαλύματα να βρίσκονται κάτω από συγκεκριμένη πίεση και να διατηρούν ισορροπία μεταξύ τους. Η πίεση που εφαρμόζεται ονομάζεται ωσμωτική πίεση.

Αν αυτή την διαδικασία πραγματοποιηθεί αντίστροφα δηλαδή αυξήσουμε την πίεση στο αλατούχο διάλυμα τότε το νερό που υπάρχει στο αλατούχο διάλυμα θα περνάει στο τμήμα με το καθαρό νερό με συνέπεια να έχουμε την αύξηση της στάθμης του. Πρέπει να σημειωθεί ότι από την μεμβράνη μπορεί να περάσει μόνο καθαρό νερό με αποτέλεσμα το αλάτι να παραμένει στο τμήμα του δοχείου με το αλατούχο διάλυμα. όμως η στάθμη του νερού θα είναι μειωμένη. Αυτή η διαδικασία είναι αντίθετη από την ώσμωση και λέγεται αντίστροφη ώσμωση.

Όσο αφορά την διαδικασία αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση γίνεται ως εξής:

Μια αντλία με μεγάλη πίεση διοχετεύει το αλμυρό νερό σε χαλύβδινα δοχεία τα οποία περιέχουν ένα σύστημα μεμβρανών. Η διάρκεια ζωής των μεμβρανών είναι μικρότερη από δύο χρόνια. Η πίεση που ασκείται εξαρτάται από την αλμυρότητα κάθε νερού που θέλουμε να αφαλατώσουμε.

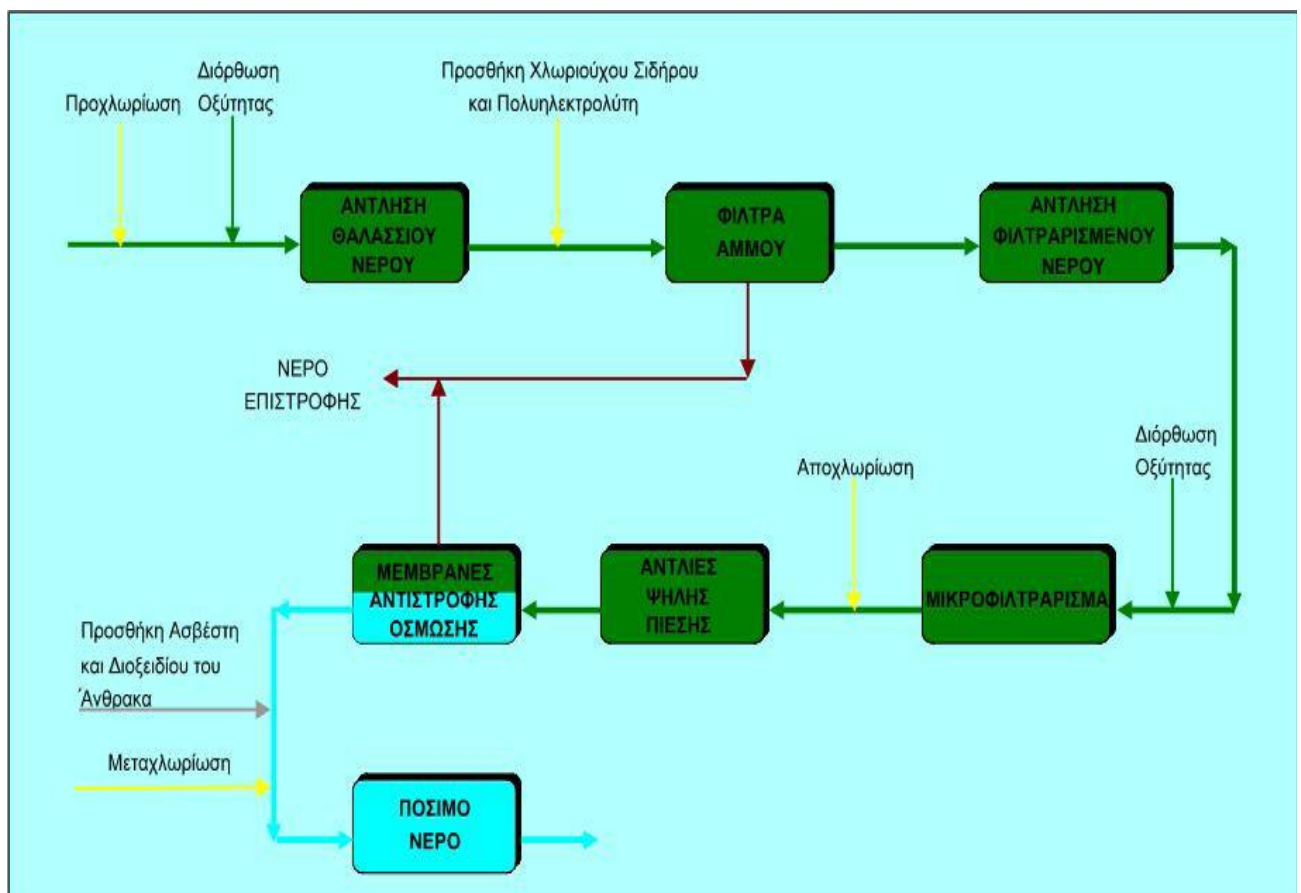


Σχήμα 1.5. : Αναπαράσταση της λειτουργίας συσκευής αντίστροφης ώσμωσης.

Όπως απεικονίζεται στο παραπάνω Σχήμα 1.5, το νερό που θα υποστεί αφαλάτωση εισέρχεται στο σύστημα από την είσοδο 1 και τοποθετείται στον χώρο 3. Ο χώρος αυτός βρίσκεται υπό πίεση και έτσι το νερό αναγκάζεται κατά ποσοστό 25% να περάσει μέσα από τη μεμβράνη 2 και να εξέλθει καθαρό από την έξοδο 6. Σε περίπτωση που ξεπεράσει το όριο πίεσης της βαλβίδας θα εξέλθει από την έξοδο 5 χωρίς να έχει καθαριστεί πλήρως, με αποτέλεσμα περίπου το 75%, να περιέχει ακαθαρσίες.

Για το θαλάσσιο νερό, χρειάζονται συγκεκριμένα στάδια επεξεργασίας οπού είναι :

- Στάδιο προ-επεξεργασίας
- Στάδιο αντίστροφης ώσμωσης
- Τελικό στάδιο επεξεργασίας



Διάγραμμα 1.1.: Διάγραμμα ροής αφαλάτωσης με σύστημα αντίστροφης ώσμωσης.

✓ Στάδιο προ-επεξεργασίας

Το αρχικό στάδιο της επεξεργασίας του αλατούχου διαλύματος χαρακτηρίζεται ως το σπουδαιότερο, γιατί πρέπει να καταστραφούν οι μικροοργανισμοί και τα άλατα που υπάρχουν στις μεμβράνες.

Η προ-επεξεργασία του αλατούχου διαλύματος περιλαμβάνει:

- Φίλτρο εισόδου με την μορφή σχάρας, το οποίο εμποδίζει την είσοδο σε ψαριά, φύκια πλαστικά κτλ.
- Προχλωρίωση του θαλάσσιου νερού το οποίο πραγματοποιείται με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου
- Προσθήκη οξέος
- Συσσωμάτωση των κολλοειδών/οργανικών ουσιών
- Φίλτρο άμμου το οποίο συγκρατεί άμμο, χαλίκια και μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων
- Φίλτρα πολυπροπυλενίου για την κατακράτηση των στερεών ουσιών με μέγεθος μέχρι και 1μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες
- Αποχλωρίωση η οποία γίνεται με θειούχο νάτριο ή φίλτρο ενεργού άνθρακα, γιατί οι μεμβράνες καταστρέφονται στην παρουσία ελεύθερου χλωρίου.
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία.

▼ Στάδιο αντίστροφης ώσμωσης

Στο στάδιο της αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιούνται αντλίες μεγάλης πίεσης. Οι αντλίες διοχετεύουν το αλμυρό νερό σε δοχεία για να περάσει από το σύστημα μεμβρανών, με σκοπό την συγκράτηση και συγκέντρωση των αλάτων. Αυτή η πίεση κυμαίνεται μεταξύ 54 και 80 ατμόσφαιρες. Κατά την διαδικασία που το αλμυρό νερό περνάει μέσα από τις μεμβράνες και διαπερνά στο τμήμα με το καθαρό νερό, στο τμήμα εκείνο που είναι το αλμυρό νερό αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων λόγω της συγκράτησης τους από τις μεμβράνες.

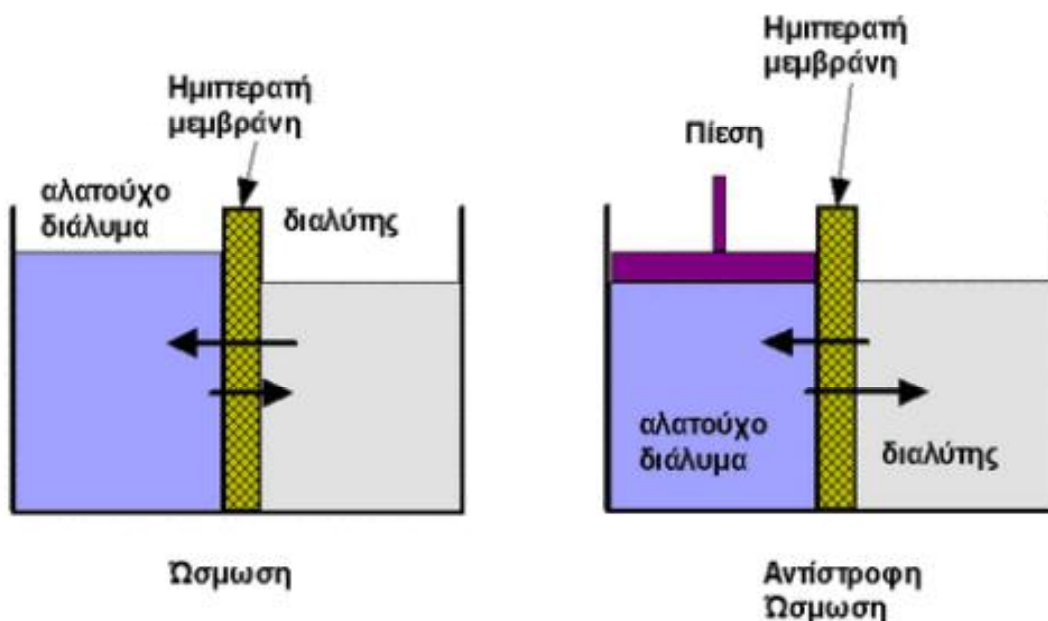
Άρα κατά την διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης έχουμε την αύξηση της ωσμωτικής πίεσης κατά το μήκος των μεμβρανών. Με αποτέλεσμα η ποσότητα του νερού που συλλέγεται να είναι μεταξύ 20% - 70% του νερού τροφοδοσίας το οποίο εξαρτάται από την συγκέντρωση των αλάτων του νερού αυτού.

▼ Τελικό στάδιο επεξεργασίας

Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας, το νερό περνά από την τελευταία επεξεργασία του πριν διατεθεί ως πόσιμο νερό. Το στάδιο αυτό μπορεί να αποτελείται από:

- Απομάκρυνση αερίων, όπως το υδρόθειο.
- Ρύθμιση της οξύτητας (pH) και αύξηση της σκληρότητας.
- Τελική χλωρίωση.

Η οσμωτική πίεση εξαρτάται από την συγκέντρωση των αλάτων και είναι ανάλογα, η αντίστροφη ώσμωση χαρακτηρίζεται μια από τις καλύτερες μεθόδους για υφάλμυρα νερά. Η πίεση λειτουργίας είναι κυρίως από 15 – 25 bar, ενώ για θαλάσσιο νερό είναι 54 – 80 bar, αφού η οσμωτική του πίεση είναι περίπου 25 bar.



Σχήμα 1.6. : Διαδικασία όσμωσης και αντίστροφής όσμωσης.

Αντίστροφη όσμωση	
Εύρος μεγεθών	0,4-128.000 m ³ /ημ (Θ) 2,5-98.000 m ³ /ημ (Υ)
Νερό τροφοδοσίας	Θαλασσινό (Θ), Υφάλμυρο (Υ)
Ποιότητα παραγόμενου νερού	250-500 ppm TDS
Απαιτούμενη ενέργεια	Ηλεκτρική 3-15 kWh/m ³ (Θ) Ηλεκτρική 0,5-3kWh/m ³ (Υ)

Πίνακας 1.5.: Χαρακτηριστικά της Αντίστροφης όσμωσης.

1.9.6. Ηλεκτροδιάλυση, (Electrodialysis, ED/EDr).

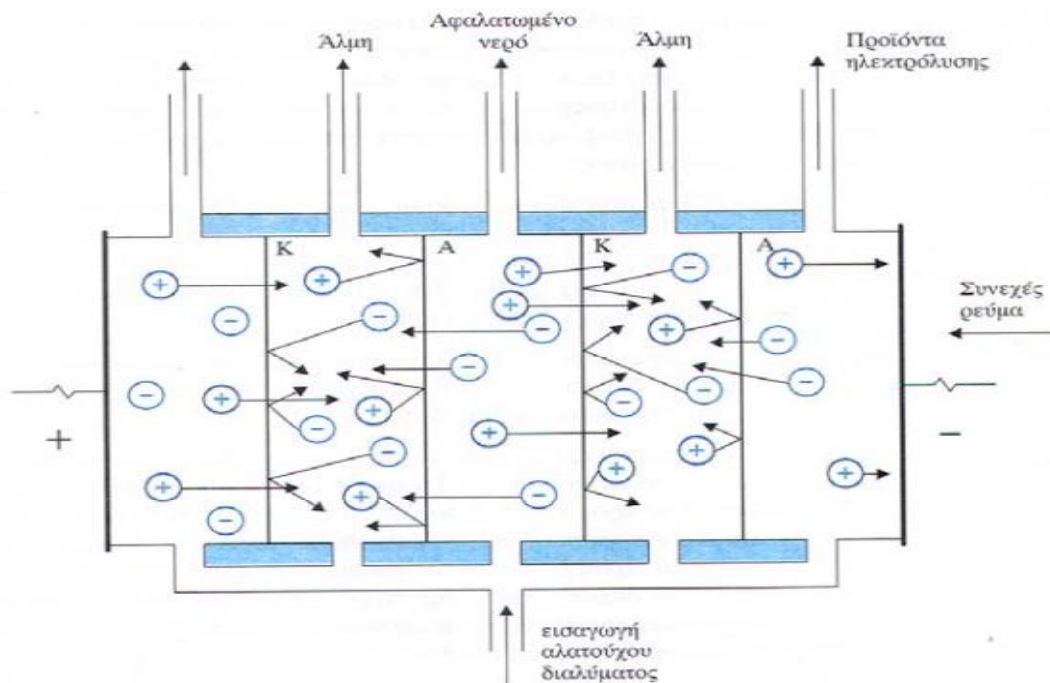
Η διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση του νερού, με την βοήθεια της αρχής της ηλεκτρόλυσης γίνεται ο καθαρισμός του νερού με ένα σύστημα ηλεκτρικά φορτισμένων μεμβρανών που διαχωρίζουν και απομακρύνουν τα ιόντα των διαλυμένων αλάτων από το καθαρό νερό.

1.9.6.1. Περιγραφή Διαδικασίας ED/EDr.

Στην διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης χαρακτηριστικό ρόλο έχουν τα ιόντα όπου είναι οι ηλεκτρικά φορτισμένες μονάδες των μετάλλων και των ριζών που βρίσκονται στο νερό. Μέσα σε ένα δοχείο διαλύεται χλωριούχο νάτριο, σε αυτήν την υδάτινη μάζα θα υπάρχουν ιόντα νατρίου και ιόντα χλωρίου. Στη συνέχεια στο διάλυμα εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση επιβάλλοντας ένα ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο διάλυμα. Τα φορτισμένα ιόντα κινούνται ελκυσόμενα από τα ηλεκτρόδια αντίθετου φορτίου.

Το σύστημα της μεθόδου της ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από ένα ηλεκτρολυτικό κελί, το οποίο έχει σαν διαχωριστικά τοιχώματα δύο μεμβράνες. Η πηγή συνεχούς ρεύματος συνδέεται με τα ηλεκτρόδια της συσκευής που υπάρχουν στα πλευρικά τοιχώματα. Στην συσκευή διοχετεύεται θαλασσινό νερό. Τα διαλυμένα ιόντα προσκολλώνται κατά την κίνηση τους στις μεμβράνες. Τα ιόντα των αλάτων που περιλαμβάνονται στο νερό διαπερνούν τις μεμβράνες εγκαταλείποντας τον ενδιάμεσο θάλαμο.

Ο ενδιάμεσος θάλαμος περιέχει νερό με λιγότερα άλατα και επομένως πιο καθαρό. Είναι προφανές ότι η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να λειτουργήσει με μη ιοντικά στερεά, ενώ επίσης η απαιτούμενη ενέργεια είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων. Γι' αυτό η μέθοδος αυτή προτιμάται σε υφάλμυρα νερά, με χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Για την καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών, εφαρμόζεται αντιστροφή των πεδίων, με αποτέλεσμα τα τμήματα των μεμβρανών που είχαν μαζέψει πολλά άλατα να καθαρίζονται από την ροή καθαρού νερού.



Σχήμα 1.7. : Απεικόνιση της ηλεκτροδιάλυσης.

Ηλεκτροδιάλυση	
Εύρος μεγεθών	15-50.000 m ³ /ημ.
Νερό τροφοδοσίας	κυρίως Υφάλμυρο
Ποιότητα παραγόμενου νερού	300-500 ppm TDS
Απαιτούμενη ενέργεια.	Ηλεκτρική (1,5-4 kWh/m ³ για 1.500-3.500 ppm TDS)

Πίνακας 1.6.: Χαρακτηριστικά της Ηλεκτροδιάλυσης.

1.10. Ανάλυση παραμέτρων επιλογής κατάλληλης μεθόδου αφαλάτωσης.

Για την καλύτερη ποιότητα του προϊόντος δηλαδή του παραγόμενου ποσίου νερού, καθοριστικό ρόλο παίζει η βέλτιστη μέθοδος αφαλάτωσης για κάθε περίπτωση. Βασίζεται σε παραμέτρους όπως:

- Το νερό τροφοδοσίας.
- Η απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού.
- Το μέγεθος της μονάδας.
- Η διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας.

1.10.1. Νερό τροφοδοσίας.

Για να επιλεγεί η κατάλληλη μονάδα αφαλάτωσης καθοριστικό ρόλο παίζει το νερό τροφοδοσίας. Η επεξεργασία του θαλασσινού νερού μπορεί να επιτευχθεί με συγκεκριμένες τεχνολογίες όπως πολυβάθμιας εκτόνωσης, της πολυβάθμιας εξάτμισης και της επανασυμπίεσης ατμών. Το ίδιο συμβαίνει και για το υφάλμυρο νερό επιλέγοντας τις κατάλληλες τεχνολογίες για την επεξεργασία του, αυτές είναι ηλεκτροδιάλυσης και η αντίστροφη ώσμωση. Οι τεχνολογίες που επιλέγονται για κάθε περίπτωση εξαρτώνται από την συγκέντρωση αλάτων, με αποτέλεσμα τα νερά με μικρότερη συγκέντρωση αλάτων να συνδέονται άμεσα με μικρότερο ποσοστό απαιτούμενης ενέργειας.

1.10.2. Ποιότητα παραγόμενου νερού.

Η τεχνολογία που θα επιλεγεί για την αφαλάτωση του νερού εξαρτάται και από την χρήση για την οποία παράγεται. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω έχουν δύο ειδών διεργασίες:

- Ø Τις θερμικές διεργασίες οι οποίες είναι: πολυβάθμια εκτόνωση, πολυβάθμια εξάτμιση, επανασυμπίεση ατμών και παράγουν αποσταγμένο νερό με συγκέντρωση αλάτων πολύ χαμηλή της τάξης των 10 ppm.
- Ø Τις διεργασίες μεμβράνης οι οποίες είναι: αντίστροφη ώσμωση και ηλεκτροδιάλυση, και παράγουν νερό με συγκέντρωση αλάτων 350-500 ppm.

Σύμφωνα με μελέτες έχει παρατηρηθεί ότι οι θερμικές διεργασίες δεν προτείνονται για πόσιμο νερό το οποίο αποθηκεύεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, η αντίστροφη ώσμωση για την παραγωγή ποσίου νερού θεωρείται η καταλληλότερη, διότι οι μεμβράνες προσφέρουν ένα πολύ καλό ποιοτικό αποτέλεσμα.

1.10.3. Μέγεθος μονάδας.

Για την παραγωγή καλύτερης ποιότητας νερού πρέπει να συνυπολογίζεται η ζήτηση της ποσότητας του νερού με τη δυναμικότητα μιας μονάδας αφαλάτωσης. Μέθοδοι όπως είναι η πολυβάθμια εκτόνωση συνίσταται για περιπτώσεις μεγάλους μεγέθους της τάξης των 1000 – 60000 m³, η πολυβάθμια εξάτμιση για περιπτώσεις μεσαίου μεγέθους της τάξης των 500 – 20000 m³ ενώ η εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις για πολύ μικρές εφαρμογές της τάξης των 25 – 2.500 m³.

Οι μέθοδοι όπου χρησιμοποιούν μεμβράνες έχουν την δυνατότητα να επεξεργάζονται από πολύ μικρές ως πολύ μεγάλες ποσότητες νερού (0,4 – 128.000 m³) με αποτέλεσμα να θεωρούνται κατάλληλες για κάθε είδους απαιτήσεις.

1.10.4. Διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας.

Η δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης ποικίλει ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιεί και το μέγεθος της ενέργειας που απαιτεί για την σωστή λειτουργία της. Η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για κάθε μέθοδο είναι στην πολυβάθμια εξάτμιση / εκτόνωση κυμαίνεται από 4-6 kWh/m³ και στην επανασυμπίεση ατμών από 8-15 kWh/m³. Σε αντίθεση από αυτές η αντίστροφη ώσμωση και η ηλεκτροδιάλυση είναι οικονομικότερες και η απαιτούμενη ενέργεια κυμαίνεται από 0.5 - 3 kWh/m³ και 1.5 – 4 kWh/m³ αντίστοιχα.

1.11. Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης

Για την σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης πρέπει να λάβουμε υπόψη τις εξής παραμέτρους :

- Την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο).
- Την ποσότητα και την ποιότητα του παραγόμενου νερού.
- Τη διαθεσιμότητα χώρου.
- Τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις διαθέσιμες μορφές ενέργειας.

Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης					
Μέθοδος	Τροφοδοσία Νερό	Μορφή Ενέργειας	Παραγωγή Προϊόντος (m³/ημέρα)	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	1.000- 60.000	Θερμική/Ηλεκτ ρική	290kJ/kg 4-6KWh/m ³
MED	Θαλασσινό	Θερμική	500-20.000	Θερμική/Ηλεκτ ρική	270kJ/kg 2,5-3 KWh/m ³
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	25-2.500	Ηλεκτρική	8-15 KWh/m ³
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	0,4->70.000	Ηλεκτρική	<5KWh/ m ³ <3KWh/ m ³ με ανάκτηση ενέργειας
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	2,5->50.000	Ηλεκτρική	0,5-3 KWh/m ³
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	15-50.000	Ηλεκτρική	1,5-4 KWh/m ³

Πίνακας 1.7.: Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης.

Υπάρχουν και παράμετροι που στην παρούσα φάση δεν τους εξετάζουμε όπως είναι το κόστος και η εμπειρία του προσωπικού που ασχολείται με τις μεθόδους. Στο παραπάνω πίνακα φαίνονται συνοπτικά τα συγκριτικά μεγέθη των μεθόδων αφαλάτωσης. Επίσης στην συνέχεια, θα αναπτύξουμε την κυριότερη εφαρμογή των μεμβρανών στον ελλαδικό χώρο στην Αφαλάτωση νερού.

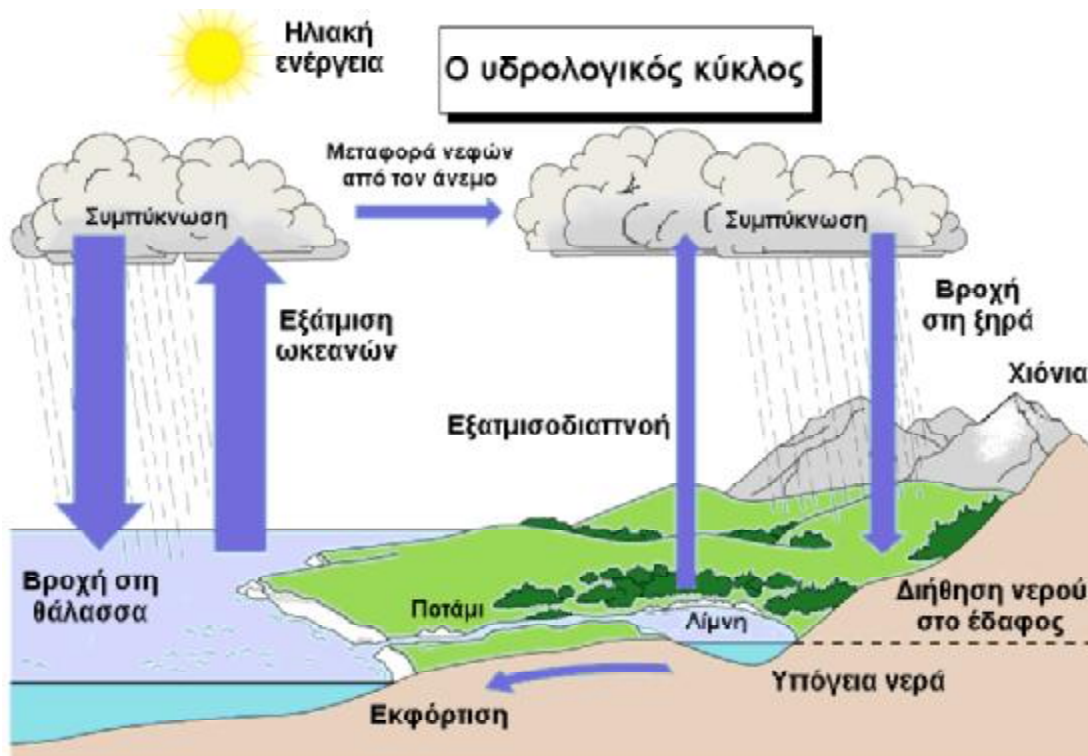
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. Γενικά για το νερό.

Το νερό είναι ένας από τους πολυτιμότερους φυσικούς πόρους της γης. Χωρίς το νερό δεν υφίσταται ζωή για κανέναν οργανισμό ζωικό και φυσικό. Το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατικών αποθεμάτων ανήκει στους ωκεανούς (97%) και μόνο ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 3% είναι γλυκό νερό. Επομένως η ποσότητα του καθαρού νερού στη γη είναι μικρή και πολύτιμη. Το ποσοστό του γλυκού νερού ανήκει στους παγετώνες, σε υπόγεια νερά καθώς και σε λίμνες και ποτάμια.

Οι κλιματολογικές συνθήκες είναι ένα βασικός παράγοντας για τον υδρολογικό κύκλο. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη έχει ως αποτέλεσμα στον λιώσιμο των πάγων και την οδήγηση αυτών σε αποθηκευτικούς υπόγειους ταμιευτήρες. Βέβαια ένα άλλο ποσοστό αυτών των νερών διηθείται μέσω των διαφόρων πετρωμάτων και καταλήγει πάλι στους ωκεανούς ή στους υπόγειους ταμιευτήρες.

Με την εκφόρτιση του υπογείου νερού πληρούνται οι επιφανειακοί ταμιευτήρες λίμνες και θάλασσες, ενώ ένα μέρος αυτών οδηγείται μέσω των ποταμών στους ωκεανούς. Στους επιφανειακούς ταμιευτήρες δηλαδή ποτάμια λίμνες και ωκεανοί παρουσιάζεται το φαινόμενο της εξάτμισης το οποίο οδηγεί το νερό στην ατμόσφαιρα σε συμπυκνωμένη μορφή. Το νερό αποθηκεύεται στα σύννεφα και με την μορφή της βροχής κατακρημνίζεται πάλι στη γη.



Σχήμα 2.1: Ο υδρολογικός κύκλος.

Ο υδρολογικός κύκλος μας παρουσιάζει την κίνηση των πολύτιμων υδάτων για εμάς και τον πλανήτη. Η κακή διαχείριση αυτών των υδάτινων αποθεμάτων, η έλλειψη σχεδιασμού προστασίας τους καθώς και η καταστροφή των φυσικών πόρων που διέπουν τον υδρολογικό κύκλο οδηγούν στην μείωση αυτών. Επίσης οι κλιματολογικές αλλαγές, το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των βροχοπτώσεων και αυτό συνεπάγεται την μείωση του διαθέσιμου γλυκού νερού.

2.2. Μείωση Υδάτινων Πόρων.

Βασικό πρόβλημα για τον πλανήτη μας είναι η μείωση της διάθεσης του γλυκού νερού, καθώς η αύξηση του πληθυσμού, η έκταση των πόλεων και οι κλιματικές αλλαγές επηρεάζουν την διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων.

Η λειψυδρία θα γίνει το πρόβλημα για την ανθρωπότητα την επόμενη δεκαετία και θα διογκώνεται συνεχώς σύμφωνα με επιστήμονες. Η διαθεσιμότητα γλυκού νερού θα είναι από τα πρώτα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε.

2.3. Λειψυδρία.

Λειψυδρία είναι η έλλειψη νερού που προκύπτει από την μη συχνή βροχόπτωση. Η λειψυδρία είναι ένα σοβαρό πρόβλημα κυρίως για τα νησιά. Το πρόβλημα έλλειψης νερού επιδεινώνεται συνεχώς λόγω της μειωμένης βροχόπτωσης, που οφείλεται στις κλιματικές αλλαγές. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης, η μαζική κατανάλωση, η κατάχρηση των φυσικών πόρων και της μόλυνσης του νερού η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής επομένως διαρκώς μειώνεται. Η εξάντληση των υδατικών πόρων μετατρέπει το νερό σε πολύτιμο αγαθό. Η έλλειψη νερού δεν είναι πάντα αποτέλεσμα φυσικών συνθηκών, η κατανάλωση νερού ιδιαίτερα στα νησιά έχει τροποποιηθεί εξαιτίας των αλλαγών των καθημερινών συνηθειών των ανθρώπων και του αυξημένου τουρισμού.



Εικόνα 2.1. : Λειψυδρία έντονο φαινόμενο σε μεγάλες πηγές γλυκού νερού.

2.4. Παγκόσμια έλλειψη νερού.

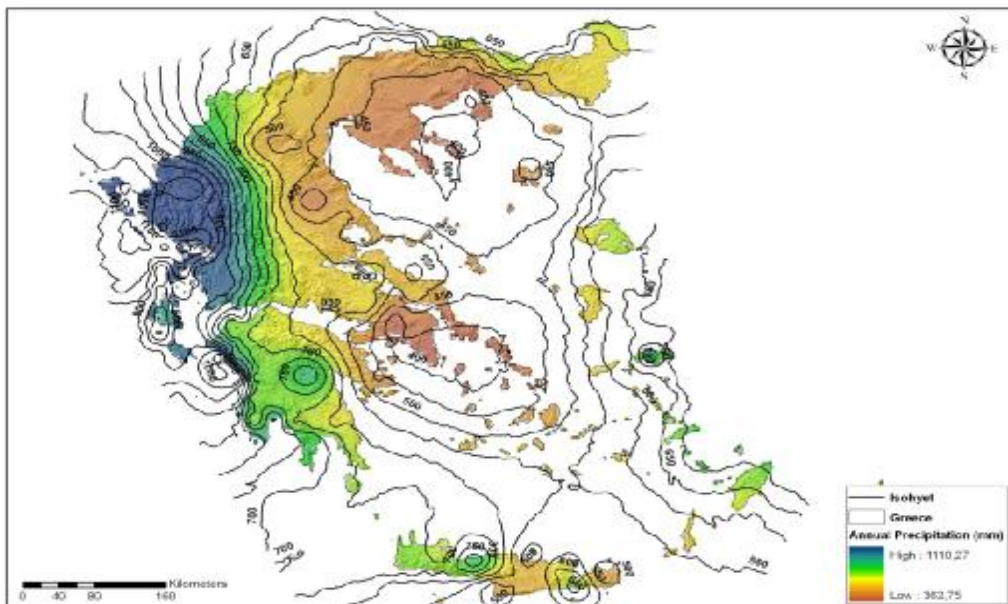
Το πρόβλημά της έλλειψης του ποσίου νερού ξεκίνησε από τα αρχαία χρόνια , όπου τότε παρατηρούνται και τα πρώτα σημάδια δημιουργίας ενός συστήματος αφαλάτωσης. Το 1675 δόθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για παραγωγή ποσίου νερού. Σήμερα σε όλο τον κόσμο υπάρχουν εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού προσφέροντας 18.700.000 m³/ημέρα.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση δημιουργίας μονάδων αφαλάτωσης όπου ετησίως φτάνει περίπου 8%. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε δύο λόγους αρχικά στην ανάγκη για πόσιμο νερό και δεύτερο η εξέλιξη της τεχνολογίας όπου εξυπηρετεί και προσπαθεί να καλύψει τέτοιες ανάγκες.

Το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης της Ευρώπης βρίσκεται σήμερα στη πόλη Καρμπονέρας της Νότιας Ισπανίας. Ο συνολικός αριθμός των συστημάτων αφαλάτωσης παγκοσμίως ξεπερνούν τις 14.000. οι μονάδες είναι τοποθετημένες κυρίως σε χώρες που έχουν σοβαρά προβλήματα έλλειψης ποσίου νερού, όπως σε χώρες της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής.

2.4.1. Έλλειψη νερού στον Ελλαδικό χώρο.

Μείζον πρόβλημα στην Ελλάδα παραμένει η έλλειψη νερού, ειδικότερα το πρόβλημα εντείνεται στα νησιά της Ελλάδας, καθώς εξαρτώνται από τις βροχοπτώσεις της χρονιάς, που λόγω των κλιματικών αλλαγών όλο και μειώνονται.



Εικόνα 2.2.: Χάρτης απεικόνισης βροχοπτώσεων στην Ελλάδα.

Ο παραπάνω χάρτης απεικονίζει τις ετήσιες βροχοπτώσεις στον ελλαδικό χώρο και κατά συνέπεια τις περιοχές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της έλλειψης νερού. Καθώς παρατηρούμε το χάρτη διακρίνουμε ότι η Δυτική Ελλάδα έχει έντονες βροχοπτώσεις και καθώς προχωρούμε στα ανατολικά διαμερίσματα της χώρας υπάρχει έντονη μείωση των βροχοπτώσεων. Παρατηρείται το μείζον πρόβλημα της έλλειψης νερού στα νησιά.

Οι αρνητικές συνέπειες που δημιουργούνται από την έλλειψη νερού είναι πολλές. Η οικονομική ανάπτυξη των νησιών, ακόμα και η ποιότητα ζωής των λίγων εκατοντάδων μόνιμων αλλά και των αρκετών χιλιάδων πρόσκαιρων κατοίκων τους, εξαρτάται άμεσα από το νερό που είναι είδος πρώτης ανάγκης. Κάθε καλοκαίρι γίνεται είδος προς εξαφάνιση. Οι δημοτικές αρχές των νησιών κυρίως που πλήττονται από λειψυδρία υποχρεώνονται να σταματούν την παροχή νερού για αρκετές ώρες της ημέρας κάνοντας την ζωή των κατοίκων τριτοκοσμική.

Κάθε περιοχή έχει τις δικές της υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες. Τα προβλήματα ποικίλουν από νησί σε νησί, υπάρχουν νησιά με μεγάλη τουριστική προσέλευση όπως η Σύρος, η Τήνος, η Μύκονος, η Σίφνος, η Σέριφος, η Κάρπαθος και βέβαια, η Κως και η Ρόδος με αποτέλεσμα να έχουν γίνει σημαντικά έργα, έχουν στηθεί μονάδες αφαλάτωσης, με στόχο την αξιοποίηση του άφθονου θαλασσινού νερού. Ωστόσο υπάρχουν και μικρότερα νησιά όπως η Μήλος, η Κίμωλος, η Ηράκλεια, η Σχοινούσα, η Σύμη, η Χάλκη, η Μεγίστη, ακόμα κι η Πάτμος που ζουν σε τριτοκοσμικές συνθήκες καθώς οι ανάγκες καλύπτονται από μικρά έργα και δεξαμενές, των οποίων η απόδοση εξαρτάται άμεσα από τις βροχές.

Κατά συνέπεια όλων αυτών των γεγονότων είναι η αύξηση της κατανάλωσης του εμφιαλωμένου νερού όχι μόνο ως πόσιμό αλλά και για την κάλυψη των καθημερινών αναγκών (μαγείρεμα, μπάνιο κτλ). Αυτή η λύση είναι ασύμφορη αφού το κόστος ανεβαίνει αρκετά.

2.5. Σύσταση των φυσικών νερών.

Τα φυσικά νερά χωρίζονται σε επιφανειακά δηλαδή ποταμούς λίμνες θάλασσες, λιμνοθάλασσες και στα υπόγεια νερά. Τα φυσικά νερά περιέχουν διάφορες ουσίες οι οποίες είναι είτε διαλυμένες είτε αιωρούνται και οι οποίες προέρχονται από το γήινο υπόβαθρο της κάθε περιοχής, τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας και τις δραστηριότητες της όπως γεωργία και βιομηχανία. Τέλος σημαντικός παράγοντας είναι και οι φυσικοί και ζωικοί οργανισμοί του νερού.

Τα βασικά ανόργανα συστατικά του νερού πέρα από το υδρογόνο (H), το οξυγόνο (O) και τον άνθρακα (C), είναι τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) και τα ανθρακικά (CO_3^{2-}) ιόντα, το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το νάτριο (Na), το κάλιο (K), τα θειικά (SO_4^{2-}), τα χλωριούχα (Cl^-), τα νιτρικά (NO_3^-) και τα πυριτικά (SiO_4^{4-}). Άλλα ιόντα, όπως αμμωνιακά (NH_4^+), νιτρώδη (NO_2^-), φωσφορικά (PO_4^{3-}), σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn) και φθόριο (F), τα οποία υπάρχουν σε μικρότερες συγκεντρώσεις, είναι σημαντικά είτε για τη βιολογία του νερού είτε γιατί επηρεάζουν συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές του.

Επίσης Τα αμμωνιακά (NH_4^+), τα νιτρώδη (NO_2^-), τα νιτρικά (NO_3^-), τα φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-}), το πυρίτιο (Si), τα κατιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}), καλίου (K^+), τα ανιόντα θείου (SO_4^{2-}) κ.λ.π. αποτελούν τα βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών ενός υδάτινου οικοσυστήματος.

Τα θρεπτικά συστατικά είναι υπεύθυνα για τον «ευτροφισμό» των φυσικών αποδεκτών. Τα κατιόντα των μετάλλων σιδήρου (Fe^{2+}), μαγγανίου (Mn^{2+}), χαλκού (Cu^{2+}), ψευδαργύρου (Zn^{2+}) και κοβαλτίου (Co^{2+}) είναι απαραίτητα σε μικρές συγκεντρώσεις θεωρούνται μικροθρεπτικά, με εξαίρεση το σίδηρο που απαιτείται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τους οργανισμούς.

Το μαγγάνιο (Mn^{2+}) βρίσκεται σε όλα σχεδόν τα επιφανειακά νερά και χρησιμοποιείται από φυτοπλακτονικούς οργανισμούς. Οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu^{2+}) στο νερό των φυσικών νερών κυμαίνονται από πρακτικά μη ανιχνεύσιμα επίπεδα μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/m^3 . Το ίδιο ισχύει για τον ψευδάργυρο (Zn^{2+}) και το κοβάλτιο (Co^{2+}). Οι ποσότητες βέβαια όλων αυτών ποικίλουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που διέπουν την περιοχή.

Το νερό είναι δυνατόν να περιέχει κάθε στοιχείο του περιοδικού πίνακα σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (μερικών $μg/l$) τα λεγόμενα ιχνοστοιχεία, τα οποία είναι απαραίτητα για τη ζωή και συμμετέχουν στις μεταβολικές διεργασίες των οργανισμών.

Όσον αφορά το στοιχείο του θαλασσινού νερού είναι το χλώριο (Cl_2), το οποίο βρίσκεται διαλυμένο με τη μορφή ανιόντων (Cl^-). Στο θαλασσινό νερό υπάρχουν επίσης ιόντα νατρίου (Na^+), μαγνησίου (Mg^{2+}) και θείου με τη μορφή των θεικών (SO_4^{2-}).

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων του ασβεστίου (Ca^{2+}), του καλίου (K^+), των βρωμιούχων (Br^-) και των όξινων ανθρακικών (HCO_3^-) είναι της τάξης του 0,001%. Τα υπόλοιπα στοιχεία βρίσκονται στο θαλασσινό νερό σε ακόμα χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Όπως σε όλα τα φυσικά νερά, έτσι και στο θαλασσινό νερό βρίσκονται διαλυμένα αέρια όπως το οξυγόνο (O_2) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).

Όλα τα παραπάνω βρίσκονται σε διαφορετικές περιεκτικότητες στα φυσικά ύδατα, αυτό όμως που είναι σημαντικό είναι η σταθερότητα του pH το οποίο στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται σταθερά από 7,5 – 8,5 και αυτό οφείλεται στην παρουσία των ανθρακικών ιόντων (CO_3^{2-}) τα οποία δρουν ως ρυθμιστικά διαλύματα. Τιμές του pH μικρότερες από 5,0 ή μεγαλύτερες από 9,0 είναι τοξικές για την υδρόβια ζωή. (Ευθύμιος Νταράκας, 2010)

2.6. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού αποτελούν βασική προϋπόθεση για την σωστή διαχείριση τους. Για να χρησιμοποιηθεί το νερό για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει τα στάδια καθώς και οι μέθοδοι επεξεργασίας του να είναι τέτοιοι ώστε να διασφαλίζουν την δημόσια υγεία. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

- φυσικοχημικά
- βιοχημικά
- μικροβιολογικά

Η ταξινόμηση τους σχετίζεται με την ανθρώπινη υγεία και την αισθητική, ενώ για περισσότερο εξειδικευμένους σκοπούς μπορούν να διαχωριστούν σε πολλές υποομάδες.

Στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ανήκουν η θερμοκρασία, η οξύτητα, η αλκαλικότητα, η αγωγιμότητα, η αλατότητα, η θολότητα, η οσμή, η γεύση, το χρώμα, οι στερεές ουσίες, διάφορα άλατα, η σκληρότητα του νερού, διάφορα κατιόντα όπως αυτά του ασβεστίου (Ca^{2+}), του μαγνησίου (Mg^{2+}), του νατρίου (Na^+) και του καλίου (K^+), διάφορα ανιόντα όπως τα ανθρακικά (CO_3^{2-}), τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-), τα χλωριούχα (Cl^-), τα θειικά (SO_4^{2-}) και άλλα, τα θρεπτικά συστατικά όπως τα άλατα του αζώτου (αμμωνιακά NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- , νιτρικά NO_3^-), τα άλατα του φωσφόρου (PO_4^{3-}), του θείου (S) και του

πυριτίου (Si), διάφορα ιχνοστοιχεία και τα βαριά μέταλλα όπως ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr).

Στα βιοχημικά χαρακτηριστικά του νερού ανήκει το διαλυμένο οξυγόνο (D.O.), η οργανική ύλη, ουσίες δηλαδή οι οποίες προσδιορίζονται με το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) και τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) και στα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά ανήκουν οι μικροοργανισμοί, δηλαδή τα βακτήρια, οι ιοί, οι μύκητες, τα φύκια (άλγη), τα πρωτόζωα, οι έλμινθες (σκουλήκια) και τα μαλακόστρακα (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

Ποιοτικά χαρακτηριστικά	Παράμετρος
Φυσικοχημικά	Θερμοκρασία Οξύτητα – Αλκαλικότητα Αγωγιμότητα – Αλατότητα Θολότητα Οσμή Χρώμα Στερεές ουσίες Άλατα – Σκληρότητα Διάφορα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+) Διάφορα ανιόντα (NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl) Θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si) Ιχνοστοιχεία / μέταλλα
Βιοχημικά	Διαλυμένο οξυγόνο (DO) Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD) Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)
Μικροβιολογικά	Ιοί Βακτήρια Μύκητες Φύκια Πρωτόζωα Έλμινθες Μαλακόστρακα

Πίνακας 2.1 : Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

Στοιχείο / Ουσία	Σύμβολο / Χημικός τύπος	Συνήθης περιεκτικότητα σε επιφανειακά και υπόγεια νερά	Ανώτατο επιτρεπτό όριο σύμφωνα με την Π.Ο.Υ.
Αργίλιο	Al ³⁺		0,2 mg/l
Αμμωνία	NH ⁴⁺	< 0,2 mg/l (μέχρι 0,3 mg/l σε αναερόβιες συνθήκες)	-
Αντιμόνιο	Sb ³⁺	< 4 μg/l	0.005 mg/l
Αρσενικό	As ²⁺		0,01 mg/l
Αμύαντος			-
Βάριο	Ba ²⁺		0,3 mg/l
Βηρύλλιο	Be ²⁺	< 1 μg/l	-
Βόριο	B ²⁺	< 1 mg/l	0,3 mg/l
Κάδμιο	Cd ²⁺	< 1 μg/l	0,003 mg/l
Χλώριο	Cl ⁻¹		250 mg/l
Χρώμιο	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 μg/l	0,05 mg/l
Χρώμα			<15 mg/l Pt-Co (επιθυμητή τιμή)
Χαλκός	Cu ²⁺		2 mg/l
Κυανιούχα	CN ⁻		0,07 mg/l
Διαλ. Οξυγόνο	O ₂		-
Φθόριο	F ⁻¹	< 1,5 mg/l (μέχρι 10)	1,5 mg/l
Σκληρότητα	CaCO ₃		-
Υδρόθειο	H ₂ S		-
Σίδηρος	Fe ²⁺	0,5 - 50 mg/l	-
Μόλυβδος	Pb ²⁺		0,01 mg/l
Μαγγάνιο	Mn ²⁺		0,5 mg/l
Υδράργυρος	Hg ⁺	< 0,5 μg/l	0,001 mg/l
Μολυβδαίνιο	Mb ²⁺	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Νικέλιο	Ni ²⁺	< 0,02 mg/l	0,02 mg/l
Νιτρώδη-Νιτρικά	NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻		50 mg/l (ολικό άζωτο)
Θολότητα			< 5 NTU επιθυμητή
Σελήνιο	Se ²⁺	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Άργυρος	Ag ⁺	5 – 50 μg/l	-
Νάτριο	Na	< 20 mg/l	200 mg/l
Θειικά	SO ₄ ²⁻		500 mg/l
Κασσίτερος	Sn		-
TDS			-
Ουράνιο	U		1,4 mg/l
Ψευδάργυρος	Zn ²⁺		3 mg/l

Πίνακας 2.2: Ανώτατα επιτρεπτά όρια διαφόρων χημικών στοιχείων και ενώσεων στο πόσιμο νερό (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

Παράμετρος	Σύμβολο / Χημικός τύπος	Ανώτατη παραδεκτή τιμή
Αργίλιο	Al³⁺	0.2 mg/l
Αμμωνία	NH⁴⁺	0.50 mg/l
Χλωριούχα	Cl⁻	250 mg/l
Clostridium perfringens (περιλαμβανομένων και σπόρων)		0/100 ml
Χρώμα		Αποδεκτό στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Αγωγιμότητα		2500 μS/cm στους 20οC
pH	-	≥ 6.5 και ≤ 9.5
Σίδηρος	Fe³⁺	0.2 mg/l
Μαγγάνιο	Mn²⁺	0.05 mg/l
Οσμή		Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Οξύτητα		5.0 mg/l O ₂
Θεικά	SO₄²⁻	250 mg/l
Νάτριο	Na⁺	200 mg/l
Γεύση		Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Αριθμός αποικιών 22ο		Άνευ ασυνήθους μεταβολής
Coliform bacteria		0 / 100 ml
Total organic carbon (TOC)		Άνευ ασυνήθους μεταβολής
Θολότητα	NTU	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Τρίτιο Ολική ενδεικτική δόση	H₃	100 Bq/l 0.10 mSv/year

Πίνακας 2.3.: Ενδεικτικές παράμετροι (Ανώτατα επιτρεπτά όρια στο πόσιμο νερό σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ε.Ε.), (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

2.6.1. Θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία είναι η παράμετρος που επηρεάζει όλες τις φυσικοχημικές και τις βιοχημικές αντιδράσεις. Οι βιοχημικές αντιδράσεις εκτελούνται με ταχύτερο ρυθμό επομένως σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Το οικοσύστημα επηρεάζεται άμεσα από υγρά θερμά απόβλητα. Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από την θερμοκρασία, είναι λιγότερο διαλυτό στο θερμό από ότι στο ψυχρό νερό.

Επομένως αν αυξηθεί η θερμοκρασία του αποδέκτη μειώνεται το ποσοστό του διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης το θερμό νερό σαν ειδικά ελαφρύτερο παραμένει στην επιφάνεια το λεγόμενο φαινόμενο αναστροφής, δημιουργώντας ένα θερμότερο στρώμα με μικρότερη ικανότητα διάλυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου

Τέλος οι υψηλές θερμοκρασίες βοηθούν και την αύξηση του πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών. Η επιθυμητή διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού που προορίζεται για πόσιμο είναι μεταξύ 5 και 12 °C. Το νερό το οποίο είναι πάνω από τους 12 °C καθίσταται λιγότερο κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις. (Ευθύμιος Νταράκας, 2010)

2.6.2. Οξύτητα (pH).

Το καθαρό νερό ιονίζεται σε κατιόντα υδρογόνου (H⁺) και ανιόντα υδροξυλίου (OH⁻) σύμφωνα με την εξίσωση:



Ως οξύτητα (pH) ορίζεται ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου (pH= -log[H⁺])

Η κλίμακα μέτρησης του pH εκτείνεται από 0 ως 14. Η τιμή 7,0 αντιστοιχεί σε ουδέτερα δείγματα. Τιμές μικρότερες του 7,0 υποδεικνύουν υπεροχή κατιόντων υδρογόνου (H⁺), ενώ τιμές μεγαλύτερες από 7,0 αντιστοιχούν σε αλκαλικά νερά (υπεροχή υδροξυλίωντων, OH⁻).

Η οξύτητα του νερού εξαρτάται από την θερμοκρασία την αλατότητα καθώς και τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου. Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει βέβαια είναι και η υδρόβια ζωή, η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών, φωτοσύνθεση, αναπνοή και αποσύνθεση των οργανικών ουσιών.

Η ενεργός οξύτητα επηρεάζει τις βιολογικές και χημικές αντιδράσεις. Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4,0 και 9,0. Οι καταλληλότερες τιμές για τους υδρόβιους οργανισμούς είναι από 6,5 έως 8,5. Οι τιμές pH των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πρέπει να κυμαίνονται από 6,5 έως 8,5 ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών.

Η μέτρηση του pH είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού. Οι μετρήσεις γίνονται είτε χρωματομετρικά, δηλαδή με την βοήθεια των δεικτών, (ουσίες που αλλάζουν χρώμα σε διαφορετικές τιμές του pH) είτε σύγχρονα αναλογικά ή ψηφιακά πεχάμετρα (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).



Εικόνα 2.3.: pH-μετρο

2.6.3. Αλκαλικότητα.

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητά του νερού να εξουδετερώνει οξέα. Οι κύριες συνιστώσες της είναι τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) και τα ανθρακικά (CO_3^{2-}) ιόντα που προκύπτουν από τον ιονισμό του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και από τα υδροξύλια (OH^-). Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) διαλύεται εύκολα στο νερό με αποτέλεσμα να συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός περιβάλλοντος κατάλληλου για τη ζωή. Επίσης συμμετέχει στις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής και αποτελεί ουσιαστική πηγή άνθρακα, άμεσα ή έμμεσα, για τις ενεργειακές απαιτήσεις των οργανισμών. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 στα φυσικά νερά προκαλεί μείωση του pH και αντίστροφα (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

Τα φυσικά νερά παρουσιάζουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα. Στο εσωτερικό τους συμβαίνουν διαφορές σειρές χημικών αντιδράσεων που οφείλονται οι απότομες μεταβολές του pH. Σημαντικές και σχετικά μόνιμες μεταβολές στο pH παρατηρούνται συνήθως κάτω από την επίδραση εξωγενών παραγόντων όπως:

- Χαμηλές τιμές του pH οφείλονται συχνά στην εισαγωγή οξέων στα φυσικά νερά (όξινη βροχή, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κ.ά.).
- Αλκαλικές τιμές pH συναντώνται σε περιπτώσεις έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας – ευτροφισμού, γιατί κατά τη φωτοσύνθεση το φυτοπλαγκτόν μειώνει τη συγκέντρωση του CO_2 του νερού, σε περιπτώσεις ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών με αλκαλικές ουσίες (απορρυπαντικά κ.ά. από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα) και σε αυξημένες συγκεντρώσεις νατρίου (Na), καλίου (K), ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg).

Η αλκαλικότητα εκφράζεται χημικά ως:

$$[\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \text{ meq/l}$$

2.6.4. Αγωγιμότητα και αλατότητα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι εξ ορισμού η ικανότητα ενός υλικού να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και είναι αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρικής αντίστασης. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταφέρει ηλεκτρικά φορτία. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων (κατ' επέκταση των αλάτων), τη συγκέντρωση των ιόντων, την ευκινησία των ιόντων, το σθένος των ιόντων και τη θερμοκρασία του διαλύματος.

Η αγωγιμότητα διευκολύνει την επίδραση των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, στο ρυθμό διάβρωσης στα μέταλλα, ακόμα και στην ανάπτυξη των φυτών και ζώων. Οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα των φυσικών νερών. Η απότομη αύξηση της αγωγιμότητας μέσα στο νερό αποτελεί βασική ένδειξη ρύπανσης του νερού.

Οποιαδήποτε εισαγωγή ξενόφερτων στοιχείων όπως ρύπων που έχουν ιόντα όπως ανθρακικά, θειικά, χλώριο, μαγνήσιο, χλώριο, νάτριο, κάλιο και φώσφορο στους υδάτινους αποδέκτες έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν την αγωγιμότητα του νερού.

Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το mho/cm, δηλαδή το αντίστροφο της αντίστασης (ohm) ή το Siemens/cm (S/cm). Συνήθως στα φυσικά γλυκά νερά η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50 - 1500 $\mu\text{S/cm}$. Σε μερικά βιομηχανικά απόβλητα η τιμή της αγωγιμότητας υπερβαίνει τα 10.000 $\mu\text{S/cm}$.



Εικόνα 2.3.: Αγωγιμόμετρο.

Με την αγωγιμότητα συνδέεται και η αλατότητα, η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις χιλίοις (S ‰). Η αλατότητα είναι η περιεκτικότητα του νερού σε αλάτι (NaCl) και ορίζεται ως η συνολική ποσότητα των στερεών ουσιών σε γραμμάρια που περιέχονται σε 1 Kg θαλασσινό νερό, όταν όλα τα ανθρακικά (CO_3^{2-}) έχουν μετατραπεί σε οξείδια, τα βρωμιούχα (Br^-) και ιωδιούχα (I^-) έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα (Cl^-) ιόντα και έχει οξειδωθεί όλη η οργανική ύλη.

Η αλατότητα των θαλασσών κυμαίνεται μεταξύ 32,0 – 37,5 ‰ με χαμηλές τιμές στους πόλους της γης και πολύ υψηλές στις τροπικές ζώνες. Αυτό οφείλεται στις βροχοπτώσεις και στα ποσοστά εξάτμισης του νερού (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

2.6.5. Οσμή και γεύση του νερού.

Δύο επιπλέον παράμετροι που θεωρούνται ως βασικά χαρακτηριστικά για το νερό είναι η οσμή και η γεύση του τα οποία προέρχονται από διαφορές χημικές ουσίες, διαλυμένα αέρια, διαλυμένες οργανικές ουσίες που βρίσκονται σε αποσύνθεση καθώς και από μικροοργανισμούς. Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να χαρακτηρίσουν το νερό ως προς την ποιότητα του και μπορεί να είναι μέτριες έντονες, ασθενείς κ.τ.λ. το νερό το οποίο είναι πόσιμο θα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε ίχνος δυσάρεστης οσμής ή γεύσης. Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται στα διαλυμένα άλατα (TDS), καθώς επίσης στην παρουσία κάποιων μετάλλων, όπως είναι ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn). Αυτές οι ουσίες που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στη γεύση του νερού είναι οι χλωροφαινόλες ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Το υπολειμματικό χλώριο των δικτύων ύδρευσης είναι αυτό που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής και το συσχετίζει με την οσμή και τη γεύση του νερού. Το όριο γεύσης του χλωρίου σε ουδέτερο pH είναι 0.2 mg/l, το οποίο αυξάνει σε 0.5 mg/l για τιμή pH = 9.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα με τη χλωρίωση του νερού είναι η δημιουργία οσμής και γεύσης από τις ενώσεις που προκύπτουν κατά την αντίδραση του χλωρίου με τα οργανικά συστατικά του νερού. Τέτοιες ενώσεις είναι το διχλωρομεθάνιο, το χλωροφόρμιο, το τριχλωροαιθυλένιο κ.ά. γνωστά ως χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες ή τριαλογονομένα μεθάνια (Tri-Halo-Methanes, THM).

Κάποιες πιθανές αιτίες δημιουργίας οσμής και γεύσης στο νερό είναι και η αποικοδόμηση των φυτικών υλικών και τα προϊόντα μεταβολισμού των μικροοργανισμών όπου τα συναντάμε κυρίως στα επιφανειακά νερά.

Οι μικροοργανισμοί που δημιουργούν συνήθως τέτοια προβλήματα είναι τα νηματοειδή βακτήρια, οι ακτινομύκητες και τα πράσινο-μπλε φύκια, αν και είναι δυνατή η δημιουργία τέτοιων προβλημάτων και από άλλους μικροοργανισμούς. Τα συστατικά αυτά είναι ιδιαίτερα δύσσομα και υπεύθυνα για την οσμή γαιώδους μούχλας που προσδίδουν στο νερό. Αρκετά υπόγεια νερά έχουν δυσάρεστη οσμή αλλά και γεύση που οφείλεται στο περιεχόμενο υδρόθειο (H₂S). Το υδρόθειο στα υπόγεια νερά προέρχεται συνήθως από την αναγωγή των θεικών αλάτων εξαιτίας αναερόβιων βιολογικών διεργασιών.

Η οσμή είναι ένα οργανοληπτικό χαρακτηριστικό και γι' αυτό υποκειμενικό, το οποίο αποτελεί και κριτήριο για την ταξινόμηση των νερών σε κατηγορίες χρήσεων όπως για πόση, αναψυχή, διαβίωση ψαριών κ.λ.π. Η οσμή από την άλλη των νερών στους επιφανειακούς ταμιευτήρες μπορεί να οφείλεται σε φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια. Η ένταση των οσμών δεν εξαρτάται πάντα από τη συγκέντρωση των ουσιών που την προκαλούν.

Για να προσδιοριστεί ποιοτικά το νερό δεν υπάρχει κάποιο όργανο ώστε να μπορεί να «μετρήσει» την οσμή του εκτός από την ανθρώπινη μύτη η οποία δεν μπορεί να μας δώσει

αξιόπιστα αποτελέσματα. Επομένως η ποιοτική κατάταξη γίνεται με διαφορετικό τρόπο οι οποία βασίζεται στις κατηγορίες αντιπροσωπευτικών ουσιών με χαρακτηριστική οσμή π.χ. τα βιομηχανικά απόβλητα, το χλώριο, τα απόβλητα διυλιστηρίων, το υδρόθειο, η αμμωνία αντιστοιχίζονται στην κατηγορία της οσμής φαρμάκων, φυτά σε αποσύνθεση στην κατηγορία της οσμής μούχλας κ.λ.π

Ποσοτικά η οσμή προσδιορίζεται με τη μέθοδο των διαδοχικών αραιώσεων, δηλαδή βάσει ειδικών εξετάσεων και κάτω από ειδικές συνθήκες. Το δείγμα αραιώνεται σταδιακά και σαν όριο καταγράφεται αυτό στο οποίο η οσμή είναι ελάχιστα αντιληπτή (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

2.6.6. Χρώμα.

Το χρώμα του νερού είναι μια παράμετρος η οποία μπορεί να χαρακτηρίσει την ποιότητα του. Το χρώμα του μπορεί να αποκτήσει από διάφορους παράγοντες όπως:

- Από το είδος των σωματιδίων που αιωρούνται,
- Από το χρώμα του ιζήματος,
- Από την παρουσία ανόργανων ή οργανικών ουσιών,
- Από το είδος των πλαγκτονικών οργανισμών,
- Από τη βιολογική τους δραστηριότητα,
- Από το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής

Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την απορρόφηση του φωτός στο νερό και του προσδίδουν συγκεκριμένο χρώμα που μπορεί να είναι από πράσινο – γαλάζιο έως σκούρο καφετί. Όσο μικρότερο συντελεστή απορρόφησης έχει τόσο πιο διαφανές είναι το νερό.

Για παράδειγμα λίμνες με διάφανα νερά έχουν χαμηλό συντελεστή απορρόφησης ενώ λίμνες οι οποίες είναι εύτροφες και θολές μεγάλο συντελεστή απορρόφησης. Το χρώμα του νερού σε φυσικούς αποδέκτες μπορεί να αλλάξει και εποχιακά όταν εξαιτίας της διάχυσης του ιζήματος κατά τη φθινοπωρινή και εαρινή αναστροφή αναπτύσσεται υπερβολικά το φυτοπλαγκτόν εντείνοντας το πράσινο χρώμα ή με τη μεταφορά φερτών υλών από τη λεκάνη απορροής που προσδίδουν φαιό χρώμα στο νερό.

Τα Φυσικά νερά με έντονη βιολογική δραστηριότητα έχουν χρώμα πράσινο, ενώ αυτά με ασθενέστερη βιολογική δραστηριότητα έχουν χρώμα πράσινο - γαλάζιο. Ο χρωματισμός αποτελεί ένδειξη για την παρουσία συγκεκριμένων χημικών ουσιών π.χ. η παρουσία θείου (S) προσδίδει στο νερό κιτρινωπό χρώμα ενώ η παρουσία ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) πράσινο χρώμα.

Όσον αφορά το χρώμα στο πόσιμο νερό είναι ανεπιθύμητο. Το νερό πρέπει να είναι διάφανο και διαυγές. Όμως η παρουσία ορισμένων μεταλλικών ιόντων, όπως σιδήρου (Fe^{2+}) και μαγγανίου (Mn^{2+}) που βρίσκονται στη φύση, προσδίδουν στο νερό κάποιο χρώμα. Ακόμα το χρώμα στο φυσικό νερό μπορεί να οφείλεται σε άλλες χημικές ενώσεις, στο πλαγκτόν και σε βιομηχανικά απόβλητα (π.χ. απόβλητα βαφείων κ.α.). Το χρώμα του νερού λειτουργεί σαν ιχνηλάτης για τον προσδιορισμό του και την προέλευση του. Επίσης λόγω ότι είναι ορατό μας προειδοποιεί για την πιθανή μόλυνσή του.

Ο προσδιορισμός του χρώματος στηρίζεται στην οπτική σύγκριση του δείγματος με έγχρωμο διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης που παρασκευάζεται στο εργαστήριο. Το διάλυμα αυτό περιέχει λευκόχρυσο (Pt) και κοβάλτιο (Co) (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).



Εικόνα 2.4.: Κλίμακα Pt/Co για τον προσδιορισμό του χρώματος.

2.6.7. Θολότητα.

Με τον όρο θολότητα εννοείτε η μη διαύγεια σε ένα υγρό μίγμα. Η αντίσταση του μίγματος-νερού στην διέλευση του φωτός η οποία οφείλεται στην ύπαρξη λεπτόκοκκων σωματιδίων ανόργανων και οργανικών υλικών τα οποία αιωρούνται ή βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή και είναι διάσπαρτα στην υγρή φάση

Νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί. Η κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την δημόσια υγεία. Η θολότητα είναι μεταβαλλόμενη παράμετρος ποιότητας του νερού, η οποία καθορίζει συχνά την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας του.

Η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα, γιατί πολλοί παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό. Τα σωματίδια μπορεί να είναι φορείς επιβλαβών ουσιών οργανικών και μη.

Η θολότητα έχει ως βασικό χαρακτηριστικό την εξασθένηση της έντασης της διερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας λόγω φαινομένων σκέδασης και απορρόφησης και μετρείται σε μονάδες θολότητας (NTU) (Nephelometric Turbidity Units) ή σε mg/l (ppm) διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2), δηλαδή θολότητα που οφείλεται στην περιεκτικότητα 1 mg SiO_2 σε 1 lt νερού.

Η μέτρηση της θολότητας γίνεται με το θολερόμετρο (ή νεφελόμετρο). η μέθοδος αυτή βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που υφίσταται διάχυση περνώντας μέσα από ένα δείγμα νερού με την ένταση του φωτός που υφίσταται διάχυση κατά τη διέλευσή του από ένα πρότυπο αιώρημα κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Το όργανο διαθέτει μια πηγή φωτός και ένα σύστημα ένδειξης της έντασης του διαχεομένου φωτός σε γωνία 90° ως προς την προσπίπτουσα δέσμη όταν αυτή διέρχεται από το προς εξέταση δείγμα. Σημειώνεται ότι εάν ένα δείγμα περιέχει διαλυμένα υλικά που προσδίδουν χρώμα είναι ενδεχόμενο να προκαλείται απορρόφηση και μείωση της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός με επίπτωση στην τιμή της μετρούμενης θολότητας (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).



Εικόνα 2.5.: Θολόμετρο.

2.6.8. Άλατα και σκληρότητα.

Οι συγκέντρωση των αλάτων αλλά και η σκληρότητα του νερού είναι δύο από τους σημαντικότερους παραμέτρους για τον καθορισμό της ποιότητας του νερού.

Η συγκέντρωση και το είδος των αλάτων που περιέχονται στο νερό επηρεάζονται κυρίως από το γήινο υπόβαθρο το pH και η θερμοκρασία. Η χημική σύσταση των φυσικών νερών μπορεί να τροποποιηθεί με τη βοήθεια των βιολογικών μεταβολισμών. Ο υδρολογικός κύκλος επιδρά στην αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσης των διαφόρων χημικών στοιχείων. Οι κύριες αντιδράσεις είναι :

- Διάλυση,
- οξείδωση,
- αναγωγή,
- οντοεναλλαγή
- και συμπλοκοποίηση.

Τα φυσικά νερά περιέχουν από ανόργανα συστατικά όπως:

Κατιόντα:

- το ασβέστιο (Ca)⁺²
- το μαγνήσιο (Mg)⁺²
- το νάτριο (Na)
- το κάλιο (K)⁺

Ανιόντα:

- τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-)
- τα ανθρακικά (CO_3^{2-})
- τα χλωριούχα (Cl^-)
- τα θειικά (SO_4^{2-})
- τα νιτρικά (NO_3^-)
- τα πυριτικά SiO_3^{2-}

Οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών για τα πόσιμα νερά κυμαίνονται από 200 – 400 mg/l. Οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων στοιχείων κυμαίνονται από 1 – 100 mg/l. Εκτός αυτών έχουμε και συγκεντρώσεις ιόντων οι οποίες κυμαίνονται από 0,01 – 1 mg/l. Τέτοια είναι:

- η αμμωνία (NH_3)
- τα νιτρώδη (NO_2^-)
- τα φωσφορικά (PO_4^{3-})
- ο σίδηρος (Fe^{3+})
- το μαγγάνιο (Mn^{2+})
- και το φθόριο (F^-)

Ανάλογα με το γήινο υπόβαθρο της περιοχής την γεωργική και βιομηχανική δραστηριότητα υπάρχουν και άλλα στοιχεία σε μικρότερες οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Το νερό της βροχής περιέχει πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων σε αντίθεση με τα υπόγεια και επιφανειακά νερά τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων.

Η σκληρότητα είναι μια παράμετρος, που εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα μετάλλων δηλαδή σε πολυσθενή κατιόντα κυρίως ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}). Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα. Οι περισσότερες από αυτές τις ουσίες αποκτώνται καθώς το νερό της βροχής περνάει από διάφορα πετρώματα.

Τα φυσικά νερά περιέχουν σημαντικές ποσότητες κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου και για αυτό η σκληρότητα είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος που εκφράζει το σύνολο των κατιόντων αυτών με τη μορφή του ανθρακικού ασβεστίου. Την παροδική σκληρότητα του νερού αποτελούν τα ανθρακικά και τα όξινα ανθρακικά άλατα αυτών των δύο μετάλλων (ασβέστιο και μαγνήσιο). Η παροδική σκληρότητα ονομάζεται και ανθρακική σκληρότητα και είναι ίση με την ανθρακική αλκαλικότητα. Η παροδική σκληρότητα οφείλεται στα κατιόντα τα οποία απομακρύνονται με το βρασμό του νερού (διαδικασία καταβύθισης, λεβητόλιθος).

Η σκληρότητα του νερού είναι μία από τις σημαντικές χημικές παραμέτρους της ποιότητας του νερού, Υπάρχουν δύο διαφορετικές σκληρότητες, η Ολική σκληρότητα (General Hardness) και η Ανθρακική σκληρότητα (Carbonate Hardness). Η Ολική σκληρότητα (GH) μετράει τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό. Η Ανθρακική

σκληρότητα (KH) γνωστή και σαν Alkalinity, μετράει τη συγκέντρωση Ανθρακικών (carbonates) και Διτανθρακικών (bicarbonates) αλάτων στο νερό

Η σκληρότητα διακρίνεται σε ολική, προσωρινή και μόνιμη. Τα χλωριούχα, νιτρικά, θειικά, φωσφορικά, πυριτικά άλατα του ασβεστίου και μαγνησίου αποτελούν την **μόνιμη σκληρότητα** του νερού. Το άθροισμα των δύο επιμέρους μεγεθών μας δίνει την ολική σκληρότητα. Ισχύει δηλαδή η σχέση :

Ολική Σκληρότητα = Παροδική Σκληρότητα + Μόνιμη Σκληρότη

Η σχέση μεταξύ αλκαλικότητας και σκληρότητας εκφράζονται όπως έχει προαναφερθεί σε mg / l CaCO₃. Συνοπτικά έχουμε:

1. Εάν TH > TAC (σκληρότητα > αλκαλικότητα):

Η αλκαλικότητα σε αυτή την περίπτωση ισούται με την ανθρακική σκληρότητα και η διαφορά: TH – TAC δίνει τη μόνιμη (μη ανθρακική) σκληρότητα. Το φυσικό νερό έχει όξινα ανθρακικά, άρα δεν έχει υδροξύλια.

2. Εάν TH = TAC :

Η σκληρότητα είναι ανθρακική.

3. Εάν TH < TAC :

Πρέπει να έχουμε όξινα ανθρακικά ανιόντα, που αντιστοιχούν και σε κατιόντα αλλά εκτός Ca²⁺ και Mg²⁺ + π.χ Na+ K+κλπ.

2.6.8.1. Ολική Σκληρότητα.

Η **ολική σκληρότητα** αναφέρεται η περιεκτικότητα διαλυμένων ιόντων κυρίως ασβεστίου (Ca²⁺) και μαγνησίου (Mg²⁺) στο νερό. Στην τιμή της ολικής σκληρότητας μπορούν να συνεισφέρουν και οι περιεκτικότητες άλλων ιόντων οι οποίες όμως είναι αμίλητες και δύσκολα μπορούν να μετρηθούν. Τέτοια κατιόντα είναι το στρόντιο, το βάριο, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, ο σίδηρος και το αργίλιο.

Η τιμή της ολικής σκληρότητας δεν επηρεάζει άμεσα την τιμή του pH του νερού, το λεγόμενο «σκληρό νερό» είναι και αλκαλικό λόγω μερικής αλληλεπίδρασης της ανθρακικής και της ολικής σκληρότητας

Υπάρχουν διάφορα τεστ τα οποία μπορούν να μετρήσουν την σκληρότητα του νερού, τα περισσότερα το μετράνε σε γερμανικούς βαθμούς σκληρότητας °dH, το οποίο ισούται με 17.9 mg/l CaCO₃ τα mg/lt ισούται με ppm, απλά πολλαπλασιάζουμε την τιμή σε °dH με 17.9 και έχουμε την ίδια τιμή σε ppm.

Ο πίνακας ολικής σκληρότητας μας δίνει τις τιμές του «σκληρού» και του «μαλακού» νερού. είναι δύσκολο να αλλάξουμε την ολική σκληρότητα χωρίς να επηρεαστεί η ανθρακική σκληρότητα και το αντίστροφο (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

Πίνακας Ολικής Σκληρότητας		
0-4 °dH	0-70 ppm	Πολύ μαλακό
4-8 °dH	70-140 ppm	Μαλακό
8-12 °dH	140-210 ppm	Ελαφρώς σκληρό
12-18 °dH	210-320 ppm	Μέτρια σκληρό
18-30 °dH	320-530 ppm	Σκληρό
Μεγαλύτερη τιμή		Πόλυ Σκληρό

Πίνακας 2.4.: Ολικής σκληρότητας

2.6.8.2. Προσωρινή (ανθρακική) Σκληρότητα.

Η προσωρινή (ανθρακική) σκληρότητα οφείλεται στην παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) και μαγνησίου ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων (Ca^{2+}) και (Mg^{2+}), που υπάρχουν στο γήινο περιβάλλον είτε στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό.

Όταν το νερό θερμανθεί τα άλατα αυτά αποσυντίθεται στα αντίστοιχα ανθρακικά και πέφτουν ως ίζημα. Επομένως η σκληρότητα αυτή αφαιρείται και το μεν CO_2 διαφεύγει, τα δε αδιάλυτα CaCO_3 και MgCO_3 καθιζάνουν σαν ανθρακικά άλατα.

Στην ανθρακική ή προσωρινή σκληρότητα μετράμε την δυνατότητα του νερού να απορροφά και να εξουδετερώνει οξέα χωρίς να υπάρχουν μεταβολές στην τιμή του pH. Η τιμή της ανθρακική σκληρότητας στο νερό πρέπει να έχει τέτοια τιμή, ώστε να αποτρέπει τις συχνές και μεγάλες διακυμάνσεις στην τιμή του pH.

2.6.8.3. Μόνιμη (μη ανθρακική) Σκληρότητα.

Η μόνιμη (μη ανθρακική) σκληρότητα οφείλεται στα θειούχα, χλωριούχα και νιτρικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου (CaCO_3 , MgCO_3 , CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) και δεν αφαιρείται με βρασμό. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι σε αυτή την περίπτωση το άθροισμα των χλιοστοϊσοδυνάμων (meq/l) ασβεστίου και

μαγνησίου θεωρείται ισοδύναμο χλιοστοϊσοδυνάμων ανθρακικού ασβεστίου (Ευθύμιος Νταράκας, 2010).

2.6.8.4. Βαθμοί Σκληρότητας Νερού.

Η σκληρότητα των νερών εκφράζονται σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και σε οξείδιο του ασβεστίου (CaO) τα οποία καθορίζονται ανάλογα με τον βαθμό σκληρότητας. Υπάρχουν διαφορές μονάδες έκφρασης της σκληρότητας του νερού όπως είναι ο Γαλλικός ($^{\circ}\text{F}$), ο Γερμανικός ($^{\circ}\text{D}$) και Αγγλικός ($^{\circ}\text{E}$).

Βαθμοί Σκληρότητας

- Γαλλικοί Βαθμοί ($^{\circ}\text{F}$): Εκφράζουν τη σκληρότητα του ασβεστίου και μαγνησίου σε γραμμάρια ισοδύναμης ποσότητας ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) που περιέχονται ανά 100 λίτρα νερού.
- Γερμανικοί Βαθμοί ($^{\circ}\text{D}$): Εκφράζουν τη σκληρότητα του ασβεστίου και μαγνησίου σε γραμμάρια ισοδύναμης ποσότητας οξειδίου του ασβεστίου (CaO) που περιέχονται ανά 100 λίτρα νερού.
- Αγγλικοί Βαθμοί ($^{\circ}\text{E}$): Εκφράζουν τη σκληρότητα του ασβεστίου και μαγνησίου σε γραμμάρια ισοδύναμης ποσότητας ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) που περιέχονται ανά 70 λίτρα νερού.
- Σκληρότητα σε ppm: Εκφράζει τη σκληρότητα του ασβεστίου και μαγνησίου σε ισοδύναμη ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) που περιέχονται στα νερά και δίδεται σε ppm.
- Σκληρότητα σε Αγγλικούς Βαθμούς κλίμακας Clark: Εκφράζουν τη σκληρότητα του ασβεστίου και μαγνησίου σε ισοδύναμη ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) εκπεφρασμένη σε γραμμάρια κόκκων ανά αυτοκρατορικό γαλόνι που ισοδυναμεί με 4.543 λίτρα νερού. (Ένας κόκκος (grain) ισούται με 0,648gr CaCO_3).
- Σκληρότητα Η.Π.Α.: Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής η σκληρότητα του ασβεστίου και του μαγνησίου εκφράζεται σε ισοδύναμη ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου, εκπεφρασμένη σε γραμμάρια κόκκων ανά αμερικάνικο γαλόνι νερού. (Ένα U.S. γαλόνι ισούται με 3.785lt νερού).
- Μονάδα Σκληρότητας Val: Η μονάδα σκληρότητας val χρησιμοποιείται για ορισμένες εργασίες και κυρίως για νερά τροφοδότησης ατμολέβητων υψηλής πίεσης. Οι μονάδες val εκφράζουν τη σκληρότητα σε ιόντα ασβεστίου ή

ανθρακικού ασβεστίου ή οξειδίου του ασβεστίου που περιέχουν ανά λίτρο νερού.

Σκληρότητα	Ιόντα αλκ. γαιών mmole/l	Ιόντα αλκ. γαιών meq/l	Γερμ. βαθμός °D	CaCO ₃ mg/l	Αγγλ. βαθμός °E	Γαλλ. βαθμός °F
Ιόντα αλκαλικών γαιών (1 mmole/l)	1.00	2.00	5.60	100.0	7.02	10.00
Ιόντα αλκαλικών γαιών (1 meq/l)	0.50	1.00	2.80	50.00	3.51	5.00
1 Γερμ. Βαθμός	0.18	0.357	1.00	17.86	1.25	1.786
1 mg/l CaCO	0.01	0.020	0.056	1.00	0.070	0.100
1 Αγγλικός βαθμός	0.14	0.285	0.798	14.30	1.00	1.43
1 Γαλλικός βαθμός	0.10	0.200	0.560	10.00	0.702	1.00

Πίνακας 1.5. : Ιόντα αλκαλικών σε σχέση με τους βαθμούς μέτρησης.

Κατάταξη νερών ως προς την σκληρότητα ανάλογα με τον βαθμό μέτρησης.

1. Τα νερά ως προς τη σκληρότητα σε Γερμανικούς βαθμούς

- Πολύ Μαλακά <4 °D
- Μαλακά 4-8 °D
- Μέτρια σκληρά 8-12 °D
- Αρκετά σκληρά 12-18 °D
- Σκληρά 18-30 °D
- Πολύ σκληρά >30 °D

2. Τα νερά ως προς τη σκληρότητα σε Γαλλικούς βαθμούς:

- Μαλακά <10 °F
- Ημίσκληρά 10-20 °F
- Σκληρά 20-30 °F
- Πολύ σκληρά >30 °

3. Τα νερά ως προς τη σκληρότητα σε ppm:

- Μαλακά <100 ppm
- Ημίσκληρά 100-200 ppm

- Σκληρά 200-300 ppm
- Πολύ σκληρά >300 ppm

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μέτρησης σκληρότητας νερού είναι σε γαλλικούς ή γερμανικούς βαθμούς, η συσχέτιση των δύο βαθμών είναι:

- ∅ 1 Γαλλικός βαθμός = 0,56 Γερμανικοί.
- ∅ 1 Γερμανικός βαθμός = 1,79 Γαλλικοί.
- ∅ 1 Γαλλικός βαθμός = 10 mg CaO/l.
- ∅ 1 Γερμανικός βαθμός = 17,9 mg CaCO₃/l.

Αυτό που χαρακτηρίζει το σκληρό νερό είναι η δυσάρεστη γεύση του καθώς και τα προβλήματα που προκαλεί σε οικιακές συσκευές. Το σκληρό νερό προκαλεί εναποθέσεις δυσδιάλυτων αλάτων «πουρί» στα σκεύη θέρμανσης και βρασμού νερού, σε πλυντήρια πιάτων και πλύσης ρούχων, σε σιδερωτήρια, σε προθερμαντήρες, σε θερμοσίφωνες, σε λέβητες. Επίσης δημιουργεί επικαθήσεις στις σωληνώσεις. Το σκληρό νερό εμποδίζει ακόμα και τον καλό βρασμό των τροφίμων, και επηρεάζει την γεύση των ροφημάτων όπως καφές και τσάι .

Τα σκληρά νερά είναι επιζήμια για τις βιομηχανίες (βυρσοδεψεία, βαφεία, χημικών και φαρμακευτικών προϊόντων) προκαλούν σημαντικές ζημιές στη παραγωγή και στη ποιότητα των προϊόντων, με μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις. Πολύ σοβαρές βιομηχανικές ενοχλήσεις δημιουργεί στους ατμολέβητες αφήνοντας μετά την εξάτμιση σημαντικές ποσότητες στερεών αποθεμάτων. Το σκληρό νερό δεν είναι ανεπιθύμητο μόνο στις ηλεκτρικές συσκευές αλλά και στους οργανισμούς που ζουν σε αυτό όπως τα ψάρια.

Σκληρότητα (σε ppm)	Επίδραση στους Οργανισμούς
45 ppm -200 ppm	Τα περισσότερα ψάρια ζουν σε αυτό το εύρος
45 ppm -500 ppm	Τα περισσότερα ανθεκτικά ψάρια ζουν σε αυτό το εύρος
Λιγότερο από 45 ppm και μεγαλύτερη από 500 ppm	Ψάρια λιγότερο παραγωγικά Δεν αναπαράγονται
Μεγαλύτερη από 350 ppm	Μπορεί να αποβεί βλαβερή για τους οργανισμούς

Πίνακας 2.6.: Σκληρότητα νερού σε σχέση με τους μικροοργανισμούς που ζουν μέσα σε αυτό.

2.6.8.5. Φυσικά Χαρακτηριστικά Προσδιορισμού Σκληρότητας Νερού.

Το σκληρό νερό παρεμποδίζει σχεδόν κάθε είδος πλύσης όπως το των ρούχων,

πιάτων καθώς και τον προσωπικό καθαρισμό. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μας βοηθούν να καταλάβουμε αν το νερό είναι σκληρό ή όχι. Μπορούμε να το ανιχνεύσουμε με την συγκέντρωση διαφόρων στοιχείων στο σπίτι μας, όπως:

- Περιορισμό δημιουργίας αφρού και ικανότητας καθαρισμού των σαπουνιών και των απορρυπαντικών με αποτέλεσμα την μη αξιοπιστία των ηλεκτρικών συσκευών (πλυντήριο ρούχων και πιάτων)
- Αύξηση της συγκέντρωσης υπολειμμάτων άλατος στις υδραυλικές εγκαταστάσεις καθώς και σε διάφορα οικιακά αντικείμενα (πλυντήριο των πιάτων).
- Αύξηση των δαπανών για τη θέρμανση – βρασμό του νερού λόγω της υψηλής συγκέντρωσης υπολειμμάτων, καθώς συμβάλει στη συχνότερη αντικατάσταση των εργαλείων που χρησιμοποιούν καυτό νερό (βραστήρας).
- Δημιουργία ενός επιστρώματος στο ανθρώπινο σώμα με αποτέλεσμα την ξηρότητα δέρματος και δημιουργία θαμπών, άτονων μαλλιών.
- Επιβαρύνει στο φράξιμο των σωληνώσεων ή άλλων συστημάτων με αποτέλεσμα παρεμπόδιση της ομαλής ροής του νερού και την αύξηση της συχνότητας επισκευών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

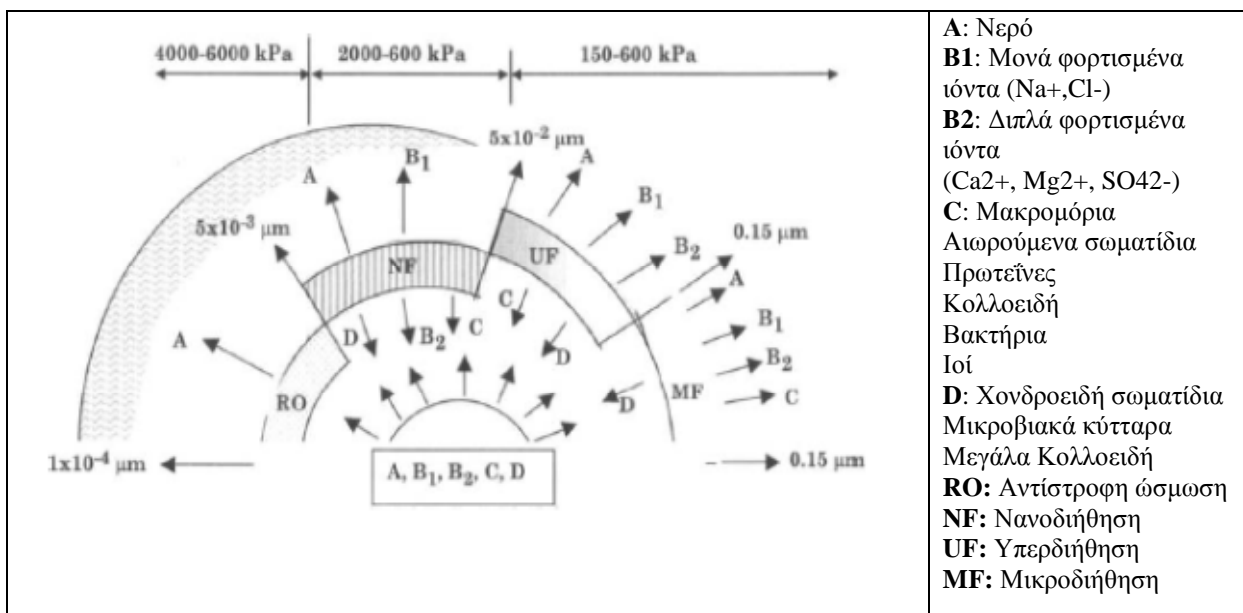
3.1. Στοιχεία διαχωρισμού μεμβράνης.

Όπως προαναφέραμε και στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχουν πολλά είδη μεμβρανών. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με τις μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό υγρών. Η εφαρμογή των μεμβρανών στην προχωρημένη επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία πολλά υποσχόμενη, που κερδίζει συνεχώς έδαφος έναντι άλλων διεργασιών. Στις εφαρμογές των μεμβρανών ανήκουν:

- Η μικροδιήθηση (microfiltration - MF).
- Η υπερδιήθηση (ultrafiltration - UF).
- Η νανοδιήθηση (nanofiltration - NF).
- Η αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis - RO).

Οι διαφορές ανάμεσα σε αυτές τις διαδικασίες είναι:

- Η μικροδιήθηση λειτουργεί σε ένα εύρος μεγέθους των σωματιδίων έως $0,15 \mu\text{m}$.
- Η υπερδιήθηση λειτουργεί σε ένα εύρος μεγέθους των σωματιδίων από $0,15 \mu\text{m}$ έως $5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$.
- Η νανοδιήθηση λειτουργεί σε ένα εύρος μεγέθους των σωματιδίων από $5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ έως $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$.
- Η αντίστροφη ώσμωση λειτουργεί σε ένα εύρος μεγέθους των σωματιδίων του $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ έως $10^{-4} \mu\text{m}$.



Εικόνα 3.1.: Διαδικασίες διαχωρισμού μεμβράνης και αντίστοιχα μεγέθη σωματιδίων.

Υπάρχει μια διαφορά στον μηχανισμό διαχωρισμού των διεργασιών φιλτραρίσματος και της διαδικασίας αντίστροφης ώσμωσης. Στο φιλτράρισμα, ο διαχωρισμός γίνεται από ένα μηχανισμό κοσκινίσματος, όπου η μεμβράνη αφήνει να περάσουν τα μικρότερα σωματίδια και συγκρατεί τα μεγαλύτερα. Στις διαδικασίες αντίστροφης ώσμωσης ή ώσμωσης διαπερνά τη μεμβράνη μόνο ο διαλύτης και συγκρατείται η διαλυμένη ουσία. Οι διαδικασίες νανοδιήθηση, μικροδιήθηση και υπερδιήθηση χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό του αποβαλλόμενου υλικού. Αντίθετα, η διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των διαλυμένων στερεών σωματιδίων. Η νανοδιήθηση χρησιμοποιείται για μερική μαλάκωση του υφάλμυρου νερού.

Βασικό μειονέκτημα των εφαρμογών είναι το υψηλό κόστος και η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Σκοπός των εφαρμογών είναι η καλύτερη ποιότητα νερού αλλά και η μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τέτοιου είδους διεργασίες (Καλλίτης Νικόλαος, 2012).

Συστατικά προς απομάκρυνση	MF	UF	NF	RO
Βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις	-	√	√	√
TDS	-	-	√	√
TSS	√	√	-	-
Βαριά μέταλλα	-	-	√	√
Σκληρότητα	-	-	√	√
Νιτρικά ιόντα	-	-	√	√
Συνθετικές οργανικές ενώσεις	-	-	√	√
Οργανικοί ρύποι προτεραιότητας	-	√	√	√
Βακτήρια	√	√	√	√
Κύστες πρωτόζωων, ωοκύστες και ωάρια ελμίνθων	√	√	√	√
Ιοί	-	-	√	√

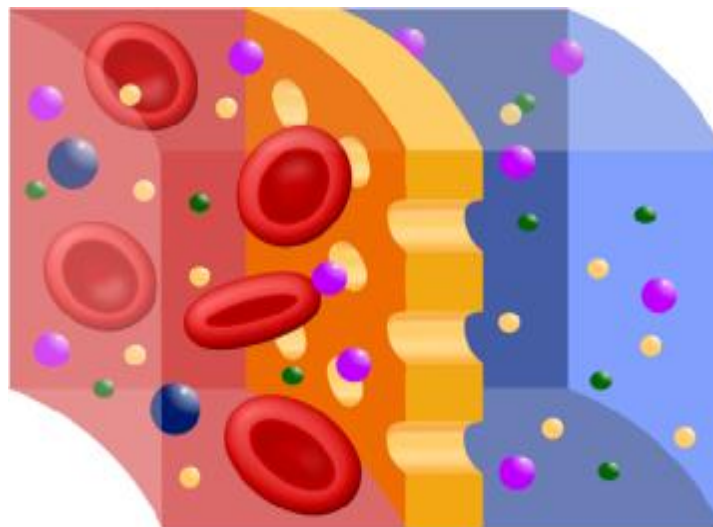
Πίνακας 3.1.: Απομάκρυνση διαφόρων συστατικών με τη χρήση μεμβρανών.

Οι μεμβράνες αυτές κατασκευάζονται συνήθως από οξική κυτταρίνη (rayon) ή από ιδιοσκευάσματα πολυμερών όπως τα πολυαμίδια. Κάθε μεμβράνη έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και παρουσιάζει βέλτιστες τιμές απόδοσης σε ορισμένο εύρος θερμοκρασίας, pH και ποιοτικών χαρακτηριστικών ενός υγρού. Για την σωστή επιλογή μιας μεμβράνης πρέπει να γίνει μελέτη των παραπάνω, και με τα πειραματικά αποτελέσματα των στοιχείων να επιλέξουμε την κατάλληλη ώστε να έχουμε την βέλτιστη απόδοση της.

Με την χρήση μεμβρανών επιτυγχάνεται πλήρης απομάκρυνση διαλυτών οργανικών και ανόργανων ρύπων από το νερό. Το νερό διαβιβάζεται σε συνθήκες υπερπίεσης στην ημιπερατή μεμβράνη, οπότε τα μόρια του νερού και μικρό μέρος των διαλυτών ενώσεων διέρχονται από τη μεμβράνη ενώ το μεγαλύτερο μέρος των διαλυτών ενώσεων δεν διέρχεται και συμπυκνώνεται (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012).

3.2. Ημιπερατές Μεμβράνες.

Οι ημιπερατές μεμβράνες ονομάζονται και ωσμωτικά διαφράγματα, επιτρέπουν τη δίοδο των μορίων του διαλύτη όχι όμως και των μορίων - ιόντων της διαλυμένης ουσίας. Οι πόροι των μεμβρανών αυτών είναι μικρότεροι των 250 nm ($250 \cdot 10^{-9}$ m). Πολλές φυσικές, ιδίως ζωικές, μεμβράνες (κύστεις) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ημιπερατές μεμβράνες.



Εικόνα 3.2.: Αναπαράσταση ημιπερατής μεμβράνης (με κίτρινο χρώμα) κατά τη διάρκεια της αιμοδιάλυσης. Κόκκινο = ερυθρά αιμοσφαίρια, μπλε = διαλυτικό υγρό.

Μια από τις καλύτερες κατηγορίες των μεμβρανών αυτών είναι αυτές που είναι κατασκευασμένες από πορώδη υλικά. έχουν την μορφή πλάκας και περιέχουν στους πόρους τους δυσδιάλυτα άλατα.

Οι ημιπερατές μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην πράξη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

∅ Διογκωμένα υλικά κολλοειδούς σύστασης όπως:

- Η ζελατίνη.
- Το ελαστικό κόμμι.
- Η κυτταρίνη και τα παράγωγά της.

∅ Μη διογκωμένα υλικά όπως

- σιδηροκυανιούχος χαλκός $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

Τα περισσότερα δυσδιάλυτα σύμπλοκα άλατα βρίσκονται στους πόρους πορωδών δοχείων και στο ωσμωτικό διάφραγμα Traube.

Το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα κάθε ημιπερατής μεμβράνης είναι η διαπερατότητά της στα διάφορα μόρια ή σωματίδια. Η διαπερατότητα εξαρτάται από τη σύσταση της μεμβράνης και ιδίως από τις ηλεκτροχημικές ιδιότητές της. Η ιδιότητα που έχει μια ημιπερατή μεμβράνη να μην επιτρέπει τη διόδο των μορίων της διαλυμένης ουσίας δεν οφείλεται στη διάμετρο των πόρων της μεμβράνης ή στο μέγεθος των μορίων της διαλυμένης ουσίας αλλά σε εκλεκτική παρεμπόδιση ηλεκτροχημικής κυρίως φύσης.

3.3. Οι Μεμβράνες στην Αντίστροφη Ωσμωση.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με τις μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση, αφού θεωρείται από τις καταλληλότερες μεθόδους για την αφαλάτωση του νερού. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτύξουμε την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης και τις αρχές λειτουργίας των μεμβρανών.

Όπως προαναφέραμε οι ημιπερατές μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) θεωρητικά δεν έχουν πόρους. Με την χρήση τους επιτυγχάνεται η πλήρης απομάκρυνση των οργανικών διαλυτών μικρορυπάντων από το νερό και τα άλατα. Η διαδικασία γίνεται κάτω από συνθήκες υπερπίεσης στην ημιπερατή μεμβράνη, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα μόρια του νερού και μικρό μέρος των διαλυτών ενώσεων διέρχονται από τη μεμβράνη ενώ το μεγαλύτερο μέρος των διαλυτών ενώσεων δεν διέρχεται και συμπυκνώνεται.

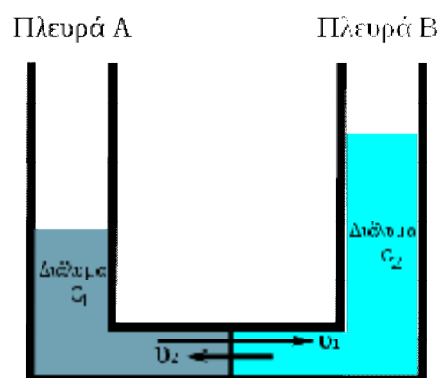
Η καλή λειτουργία των διατάξεων αντίστροφης ώσμωσης επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως την ύπαρξη πολλών κολλοειδών και αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία φράζουν τους πόρους της μεμβράνης. Η αντίστροφη ώσμωση είναι μια μέθοδος αντιστροφής της φυσικοχημικής διεργασίας που καλείται ώσμωση.

Η ώσμωση είναι μια διεργασία κατά την οποία μια μεμβράνη παίζει τον ρόλο του μοριακού φίλτρου που συγκρατεί τα διαλυμένα συστατικά ενός υδατικού διαλύματος, στην

περίπτωση μας το θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, και με αυτή την διαδικασία έχουμε το διαχωρισμό των διαλυτών συστατικών του.

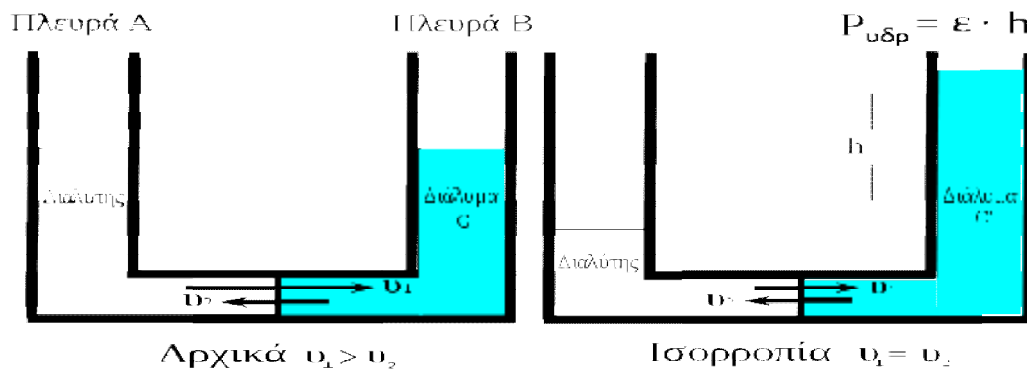
Η δύναμη που ασκείται είναι η πίεση που εφαρμόζεται σε ένα υδατικό διάλυμα η οποία υπερβαίνει την ωσμωτική πίεση του διαλύματος έναντι μιας ημιπερατής μεμβράνης. Η δύναμη αυτή είναι εξαναγκασμένη αφού αναγκάζει τη διέλευση του καθαρού νερού διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης και όχι των διαλυτών συστατικών του.

Τα δύο διαλύματα είναι διαφορετικής συγκέντρωσης, έχουμε το υδατικό διάλυμα αλάτων και το αποσταγμένο νερό που διαχωρίζονται από την ημιπερατή μεμβράνη. Ο τρόπος λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος είναι ο εξής, το καθαρό νερό διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης από το διάλυμα (Α) δηλαδή το αποσταγμένο νερό, προς το διάλυμα (Β) με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Η ωσμωτική ροή συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία, η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του διαλύματος με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση.



Εικόνα3.3.: Ωσμωση μεταξύ διαλυμάτων διαφορετικών συγκεντρώσεων

Η κατάσταση ισορροπίας ονομάζεται ωσμωτική και η διαφορά της στάθμης των διαλυμάτων αντιστοιχεί στην οσμωτική πίεση του συστήματος των δύο διαλυμάτων. Εάν στο διάλυμα Β εφαρμοστεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική, τότε αντιστρέφεται η ροή και καθαρό νερό διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης από το διάλυμα Β προς το διάλυμα Α. Η διεργασία αυτή ονομάζεται αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis RO). Το νερό που προκύπτει είναι εξαιρετικά καθαρό και χρησιμοποιείται για πόσιμο. Αυτή η διαδικασία θεωρείται η πιο διαδεδομένη για την μέθοδο της αφαλάτωσης (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012).



Εικόνα 3.4.: Απεικόνιση διαδικασίας ώσμωσης.

Η καλή λειτουργία των διατάξεων αντίστροφης ώσμωσης επηρεάζεται από την ύπαρξη κολλοειδών και αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία φράζουν τους πόρους της μεμβράνης. Σε περίπτωση υψηλών απαιτήσεων απομάκρυνσης σωματιδίων και κολλοειδών οι διατάξεις αντίστροφης ώσμωσης ακολουθούν τις διατάξεις διαύγασης που είναι οι εξής διεργασίες:

- Καθίζησης,
- Θρόμβωσης,
- Αμμοδιύλισης
- Προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα.

Η κύρια λοιπόν εφαρμογή της αντίστροφης ώσμωσης είναι η αφαλάτωση του νερού. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται προκατεργασία του νερού για την αποφυγή σχηματισμού επικαθίσεων από κολλοειδή σωματίδια, διαλυμένα άλατα τα όποια είναι CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4 , SiO_2 κ.ά. και μικροοργανισμούς. Επίσης, συχνά απαιτείται και μετεπεξεργασία (π.χ. διόρθωση pH). Η πίεση λειτουργίας για τα υφάλμυρα νερά είναι περίπου 10-30 bar και για τα θαλασσινά περίπου 60 bar.

3.4. Παράμετροι Απόδοσης.

Η διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης ορίζεται με βάση μια σειρά από μεταβλητές, οι οποίες είναι:

- Οσμωτική πίεση και πίεση λειτουργίας.
- Απόρριψη αλατιού.
- Ποσοστό ανάκτησης.

Εταιρίες κατασκευής μεμβρανών καθορίζουν τις προδιαγραφές του συστήματος σε σχέση με την ποιότητα της τροφοδότησης, η οποία περιλαμβάνει την περιεκτικότητα σε αλάτι και τη θερμοκρασία (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012).

3.5. Οσμωτική πίεση και πίεση λειτουργίας.

Η οσμωτική πίεση ενός διαλύματος, P , μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά από μέτρηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο διάλυμα. Η οσμωτική πίεση ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$p = R * T * \Sigma x_i$$

όπου:

p → οσμωτική πίεση σε kPa

T → θερμοκρασία σε $^{\circ}K$.

R → παγκόσμια σταθερά των αερίων, $8.314 \text{ KPa} * \text{m}^3 / \text{Kg} * \text{mol} * K$

Σx_i → συγκέντρωση όλων των συστατικών σε ένα διάλυμα $\text{Kg} * \text{mol} / \text{m}^3$

Μια προσέγγιση για την πίεση (π), μπορεί να γίνει με την παραδοχή ότι 1000 ppm συνολικών διαλυμένων στερεών σωματιδίων (Total Dissolved Solids TDS) ισούται με 75,84 kPa της οσμωτικής πίεσης.

Η πίεση λειτουργίας ρυθμίζεται για να αποφευχθούν αρνητικές επιπτώσεις στα παρακάτω:

- Οσμωτική πίεση
- Απώλειες τριβής
- Αντοχή μεμβράνης
- Πίεση διηθήματος

Αν η πίεση λειτουργίας είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεων, ο καθαρός ρυθμός ροής που διαπερνά κατά μήκος της μεμβράνης θα είναι ελάχιστος ή σχεδόν μηδενικός, επομένως η πίεση λειτουργίας ορίζεται σε υψηλότερη τιμή, προκειμένου να διατηρηθεί οικονομικός ρυθμός ροής (Καλλίτσης Νικόλαος,2012).

3.6. Απόρριψη Αλατιού.

Η απόρριψη αλατιού ορίζεται από την σχέση:

$$SR = \left[1 - \left(\frac{x_p}{x_f} \right) \right] * 100\%$$

Όπου:

SR → απόρριψη αλατιού (επί της %).

X_p → περιεκτικότητα του διηθήματος του νερού σε αλάτι (σε ppm).

X_f → περιεκτικότητα του τροφοδοτικού νερού σε αλάτι (σε ppm).

Πειραματική μελέτη έδειξε ότι το τροφοδοτικό θαλασσινό νερό με 42.000 ppm και διήθημα με περιεκτικότητα σε αλάτι 150 ppm δίνει ένα ποσοστό περάσματος αλατιού 99,64%. Επίσης για τροφοδοτικό υφάλμυρο νερό με περιεκτικότητα σε αλάτι 5000 ppm και διήθημα με περιεκτικότητα σε αλάτι 150 ppm δίνει ένα ποσοστό περάσματος αλατιού 97%. Οι δύο περιπτώσεις υποδεικνύουν τη δραματική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών αφαλάτωσης θαλασσινού και υφάλμυρου νερού. Οι τρέχουσες τεχνολογίες μεμβράνης παρέχουν απόρριψη αλατιού με τιμές πάνω από 99% και για τις δύο μεμβράνες θαλασσινού και υφάλμυρου νερού.

3.7. Ποσοστό Ανάκτησης.

Η ανάκτηση του διηθήματος είναι μια από τις σημαντικότερες παράμετρος στο σχεδιασμό και την λειτουργία των συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης. Ο συντελεστής μετατροπής ή ανάκτηση του τροφοδοτικού νερού σε προϊόν (διήθημα) παρουσιάζεται στην παρακάτω σχέση:

$$R = \left(\frac{M_p}{M_f} \right) * 100\%$$

Όπου:

R → ποσοστό ανάκτησης (επί της %),

M_p → ρυθμός ροής του διηθήματος του νερού,

M_f → ρυθμός ροής του τροφοδοτικού νερού.

Το πέραςμα του αλατιού και τη ροή των προϊόντων επηρεάζουν άμεσα το ποσοστό ανάκτησης. Επιπλέον όσο αυξάνεται το ποσοστό ανάκτησης, η συγκέντρωση άλατος στην τροφοδοτική πλευρά άλμης της μεμβράνης αυξάνει, με αποτέλεσμα να προκαλεί την αύξηση της ροής αλατιού σε όλη τη μεμβράνη. Επίσης, μια υψηλότερη συγκέντρωση αλατιού στο τροφοδοτικό διάλυμα άλμης αυξάνει την οσμωτική πίεση, μειώνοντας την ($\Delta P - \Delta \pi$) με αποτέλεσμα να μειώνει το ρυθμό ροής του νερού- προϊόντος.

Η ανάκτηση στη μεμβράνη στα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης έχει αυξηθεί διαχρονικά από χαμηλότερες τιμές (10-20%) στις τρέχουσες υψηλότερες τιμές (έως και 50%). Αυτό επιτυγχάνεται από την σωστή μελέτη και σχεδιασμό του συστήματος, αλλά και την χρήση πολλαπλών μονάδων σπειροειδών μεμβρανών μέσα στο ίδιο δοχείο πίεσης. Όσο για τις μεμβράνες λεπτών ινών είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιήσει μια ξεχωριστή μονάδα μέσα στο ίδιο δοχείο πίεσης (Καλλίτσης Νικόλαος,2012).

3.8. Μεμβράνες Αντίστροφης Ώσμωσης.

Τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης είναι τα εξής:

- Αποτελούνται από ένα λεπτό φιλμ πολυμερούς υλικού με πάχος μερικές χιλιάδες Angstroms τοποθετημένο σε πορώδες πολυμερές.
- Οι μεμβράνες του εμπορίου έχουν υψηλή διαπερατότητα στο νερό και υψηλό βαθμό ημιδιαπερατότητας, δηλαδή το κλάσμα της ροής του νερού προς τη ροή των διαλυμένων ιόντων είναι πολύ μεγάλο.
- Η επιλογή της μεμβράνης γίνεται περισσότερο με κριτήριο τη συμβατότητα, παρά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν την ικανότητα φίλτρανσης και τη ροή του νερού διαμέσου αυτής.
- Πρέπει να έχουν σταθερή απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και pH, αλλά και καλή μηχανική αντοχή.
- Οι περισσότερες περιλαμβάνουν τις ουσίες οξικά άλατα κυτταρίνης (cellulose acetate, CA) και πολυαμίδες (polyamide, PA).
- Οι μεμβράνες του εμπορίου έχουν διάρκεια ζωής 3 - 5 χρόνια, ανάλογα με τη μεμβράνη, την ποιότητα του τροφοδοτικού νερού και τη λειτουργία της εγκατάστασης.

3.9. Μεμβράνες Οξικής Κυτταρίνης (CA MEMBRANES).

Η αρχική μεμβράνη CA, που δημιουργήθηκε από τον Loeb και τον Sourirajan στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και κατασκευάστηκε από πολυμερή διοξική κυτταρίνη. Η σημερινή μεμβράνη CA είναι κατασκευασμένη από ένα μείγμα διοξικής και τριοξικής κυτταρίνης.

Η διαδικασία προετοιμασίας της μεμβράνης αποτελείται από κάποια στάδια τα οποία είναι τα εξής, η μεμβράνη λαμβάνει λεπτή επικαλυμμένη χύτευση, φιλτράρισμα με κρύο νερό και υψηλή θερμοκρασία σκλήρυνσης. Αναλυτικότερα η διαδικασία χύτευσης συνδέεται με μερική αφαίρεση του υλικού του διαλύτη με εξάτμιση. Επιπλέον, με το φιλτράρισμα αφαιρείται ο υπόλοιπος διαλύτης και άλλες εκχυλίσιμες ενώσεις, και τέλος με την σκλήρυνση γίνεται σε ζεστό νερό σε θερμοκρασία 60-90 °C.

Με την διαδικασία αυτή βελτιώνεται η ημιδιαπερατότητα της μεμβράνης με την μείωση της μεταφοράς του νερού αλλά την σημαντικότερη μείωση του αλατιού που την διαπερνά. Η δομή των μεμβρανών CA έχουν ασύμμετρη δομή με ένα πυκνό επιφανειακό στρώμα περίπου 1000-2000 Å (0,1-0,2 micron), το οποίο είναι υπεύθυνη για την ιδιότητα απόρριψης του αλατιού. το μέρος της ταινίας της μεμβράνης που υπολείπεται είναι πορώδες και σπογγώδες με αποτέλεσμα να έχει υψηλή διαπερατότητα νερού. Η απόρριψη του αλατιού και η ροή του νερού της CA μεμβράνης μπορεί να ελεγχθεί από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τη διάρκεια της σκλήρυνσης.

3.10. Μεμβράνες Σύνθετου Πολυαμιδίου (PA MEMBRANES).

Οι μεμβράνες σύνθετου πολυαμιδίου δημιουργούνται από δύο στρώματα, το πρώτο αποτελείται από ένα στήριγμα πορώδους πολυσουλφόνης και το δεύτερο είναι ένα ημιδιαπερατό στρώμα καρβοξυλικών οξικών χλωριούχων λειτουργικών ομάδων. Η διαδικασία κατασκευής αυτού του τύπου μεμβράνης επιτρέπει την ανεξάρτητη βελτιστοποίηση των ξεχωριστών ιδιοτήτων του στηρίγματος της μεμβράνης και της επιφάνειας απόρριψης του αλατιού. Η σύνθετη αυτή μεμβράνη χαρακτηρίζεται από υψηλότερη ειδική ροή του νερού και χαμηλότερο πέρασμα του αλατιού από ότι στις CA μεμβράνες.

Οι μεμβράνες σύνθετου πολυαμιδίου έχουν σαν πλεονέκτημα ότι βρίσκονται σταθερά πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα pH από ότι οι CA μεμβράνες. Οι μεμβράνες πολυαμιδίου είναι ευαίσθητες σε οξειδωτική υποβάθμιση από το ελεύθερο χλώριο, σε αντίθεση με τις CA μεμβράνες που μπορούν να αντέξουν ορισμένα επίπεδα έκθεσης σε ελεύθερο χλώριο. Συγκρίνοντας τις δύο μεμβράνες διαπιστώνουμε ότι η επιφάνεια της CA είναι ομαλή και έχει ελάχιστη επιφάνεια που επιβαρύνεται. Εξαιτίας της ουδέτερης αυτής επιφάνειας και της αντοχής σε ελεύθερο χλώριο οι μεμβράνες CA παρατηρείτε ότι έχουν πιο σταθερή απόδοση από τις μεμβράνες πολυαμιδίου σε διαδικασίες όπου το τροφοδοτικό νερό έχει υψηλό δείκτη ακαθαρσιών, όπως γίνεται με τα αστικά λύματα και τα επιφανειακά αποθέματα νερού (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012).

3.11. Τύποι μεμβρανών στην αφαλάτωση.

Οι δύο πιο σημαντικοί τύποι διαμόρφωσης της μεμβράνης που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές της αφαλάτωσης και συγκεκριμένα στην μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης είναι οι ινώδεις μεμβράνες (hollow fiber membranes) και οι μεμβράνες σπειροειδούς περιέλιξης (spiral wound membranes), όπου και θα αναλύσουμε παρακάτω.

3.11.1. Ινώδεις Μεμβράνες (HOLLOW FIBER MEMBRANES).

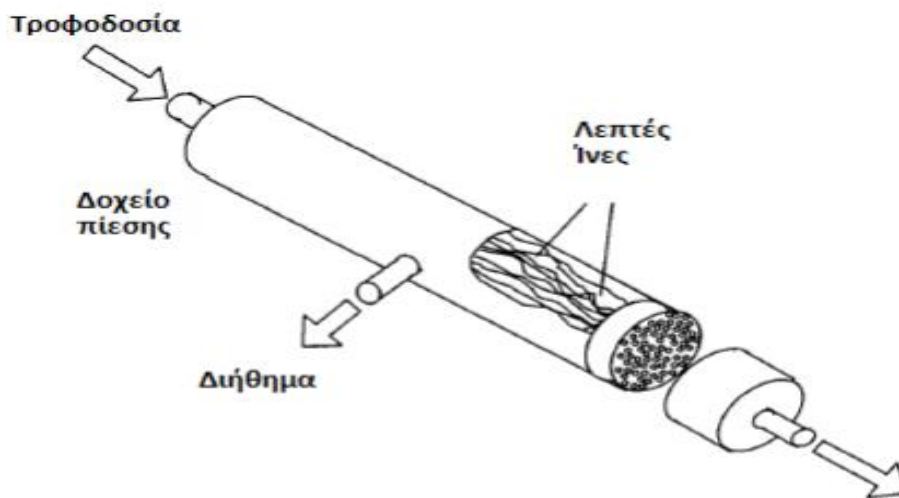
Η μεμβράνη αυτή αποτελείται από κοίλες ίνες, οι οποίες είναι κατασκευασμένες από κυτταρινικές ή μη κυτταρινικές ύλες. Οι ίνες είναι ασύμμετρες μεταξύ τους και είναι τόσο λεπτές όσο μια ανθρώπινη τρίχα. Οι διαστάσεις τους κυμαίνονται περίπου 42 μm ID και 85 μm OD. Οι ίνες σχηματίζουν μία δέσμη και διπλώνονται στη μέση σε μήκος της τάξης των 120 cm. Για την δημιουργία της δέσμης απαιτείται μεγάλος αριθμός ινών, οι ίνες ξεπερνούν πολλές φορές τα εκατομμύρια. Ο διανομέας του τροφοδοτικού του νερού, είναι ένας διάτρητος πλαστικός σωλήνας και τοποθετείται στο κέντρο της δέσμης και εκτείνεται σε όλο το μήκος.

Η δέσμη είναι τυλιγμένη, τα δύο άκρα της είναι εποξειδικά σφραγισμένα για να σχηματίσουν ένα φύλλο, το οποίο αποτρέπει τη τροφοδοτική ροή στην παράκαμψη που οδηγεί στην έξοδο της άλμης. Η δέσμη των ινώδων μεμβρανών, 10 εκατοστά έως 20 εκατοστά σε διάμετρο, περιέχεται σε κυλινδρική θήκη ή κέλυφος περίπου 137 cm μήκος και 15-30 cm σε διάμετρο. Η κατασκευή αυτή έχει την υψηλότερη ειδική επιφάνεια, που ορίζεται ως η συνολική έκταση ανά μονάδα όγκου, ανάμεσα σε όλες τις μονάδες διαμόρφωσης.

Το πεπιεσμένο τροφοδοτικό νερό εισέρχεται στο τελικό νερό, διαπερνά μέσω του διανομέα όπου είναι και ο κεντρικός σωλήνας τον τοίχο και ρέει ακτινωτά και περιμετρικά από την δέσμη των ινών προς το εξωτερικό κέλυφος. Μέσω του εξωτερικού τοίχου των ινών το νερό διεισδύει αφού συναντά τον κοίλο πύρινα ή τις τρύπες των ινών. Με αυτό τον τρόπο διεισδύει στο φύλλο του σωλήνα ή στο τελικό προϊόν της δέσμης ινών, και εξέρχεται μέσα από τη σύνδεση του προϊόντος στο τέλος τροφοδοσίας του διαπεραστή.

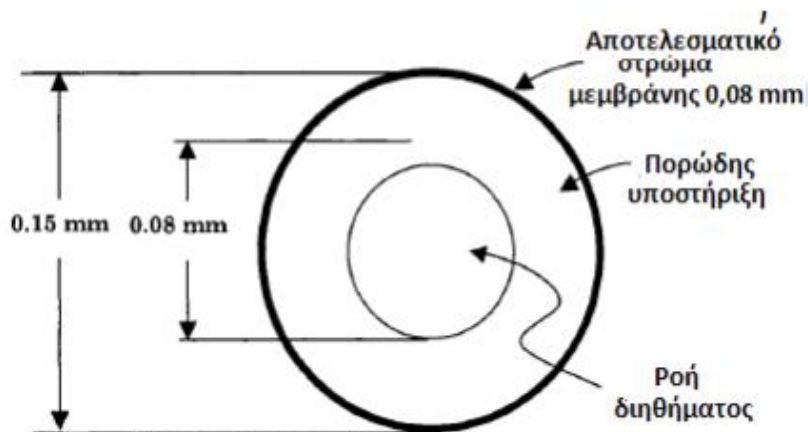
Σε μια ινώδη μονάδα, η ροή του νερού που διαπερνά ανά μονάδα επιφάνειας της μεμβράνης είναι χαμηλή, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση πόλωσης δεν είναι υψηλή στην επιφάνεια της μεμβράνης. Οι ινώδεις μονάδες λειτουργούν σε ένα σύστημα μη τυρβώδους ή στρωτής ροής. Οι μεμβράνες είναι αναγκασμένες να λειτουργούν πάνω από μια ελάχιστη ροή απόρριψης για την ελαχιστοποίηση της συγκέντρωσης πόλωσης και τη διατήρηση ομαλής κατανομής της ροής μέσα από τη δέσμη ινών.

Ένας ινώδης ξεχωριστός διαπεραστής έχει την δυνατότητα να λειτουργεί με ανάκτηση έως και 50% και να πληρεί το χαμηλότερο ποσοστό απαιτούμενης ροής απόρριψης. Η συγκεκριμένη μονάδα επιτρέπει σε μια μεγάλη επιφάνεια μεμβράνης ανά μονάδα όγκου των διαπεραστών να οδηγήσει σε συμπαγή συστήματα (Καλλιότης Νικόλαος, 2012).



Εικόνα 3.6.: Μεμβράνες λεπτών ινών.

Οι ινώδεις μεμβράνες έχουν αποδειχθεί κατάλληλες για εφαρμογές αφαλάτωσης θαλασσινού και υφάλμυρου νερού, είναι διαθέσιμες και εξελίσσονται ακόμα και σήμερα. Τα υλικά που αποτελούν μία τέτοια μεμβράνη είναι μείγματα οξικής κυτταρίνης και υλικού τύπου πολυαμιδίου. Ωστόσο οι πολύ στενά συνδεδεμένες ίνες και η πολύπλοκη ροή της τροφοδοτικής ροής στο εσωτερικό της μονάδας, αναγκάζουν τις μεμβράνες των λεπτών ινών να απαιτούν τροφοδοτικό νερό καλύτερης ποιότητας, δηλαδή χαμηλότερη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων, αυτή είναι και η σημαντικότερη διαφορά τους από τις μεμβράνες σπειροειδούς περιέλιξης.



Εικόνα 3.7.: Μεμβράνες λεπτών ινών και διαστάσεις ινών.

3.11.2. Μεμβράνες Σπειροειδούς Περιέλιξης (SPIRAL WOUND MEMBRANES)

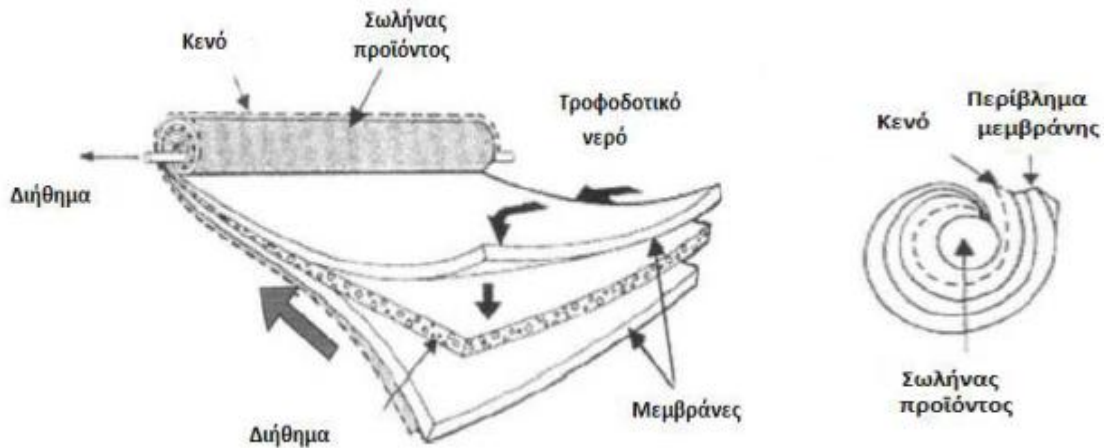
Η σπειροειδούς περιέλιξης μεμβράνη αποτελείται από δύο φύλλα τα οποία χωρίζονται διαμέσω ενός συλλέκτη διαπερατού υλικού για να δημιουργηθούν και να σχηματιστούν τα φύλλα. Η κατασκευή αυτή είναι σφραγισμένη στις τρεις πλευρές με την τέταρτη να παραμένει ανοιχτή για να υπάρχει η δυνατότητα διαπερατότητας στην έξοδο. Ένα υλικό φύλλου για την τροφοδοτική άλμη προστίθεται στη συναρμολόγηση των φύλλων. Ορισμένα από αυτά τα φύλλα τυλίγονται γύρω από το κεντρικό πλαστικό διαπερατό σωλήνα, ο οποίος είναι διάτρητος για την συλλογή του διηθήματος από τις πολλαπλές συναρμολογήσεις των φύλλων.

Η μεμβράνη σπειροειδούς περιέλιξης είναι τυποποιημένη και οι διαστάσεις της κυμαίνονται περίπου 100 ή 150cm μήκος και 10 ή 20 εκατοστά σε διάμετρο. Η ροή της τροφοδοτικής άλμης μέσα από το στοιχείο είναι ένα αξονικό μονοπάτι από την τροφοδοσία στο αντίθετο άκρο της άλμης, που τρέχει παράλληλα με την επιφάνεια της μεμβράνης. Το κανάλι τροφοδοσίας προκαλεί αναταράξεις με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωση της πόλωσης. Οι κατασκευαστές διευκρινίζουν τις απαιτήσεις της ροής της άλμης για τον έλεγχο της συγκέντρωσης της πόλωσης, περιορίζοντας την ανάκτηση ανά στοιχείο έως 10- 20%.

Η ανάκτηση είναι συνάρτηση του μήκους της πορείας της τροφοδοτικής άλμης. Για να μπορέσει να λειτουργήσει σε αποδεκτές ανακτήσεις, τα σπειροειδή συστήματα είναι συνήθως κατασκευασμένα με τρία έως έξι στοιχεία μεμβράνης συνδεδεμένα σε σειρά με ένα σωλήνα πίεσης. Το ρεύμα της άλμης διαπερνά το πρώτο στοιχείο της μεμβράνης και γίνεται η τροφοδοσία για το επόμενο στοιχείο, η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα στοιχεία της μεμβράνης στο εσωτερικό του σωλήνα πίεσης.

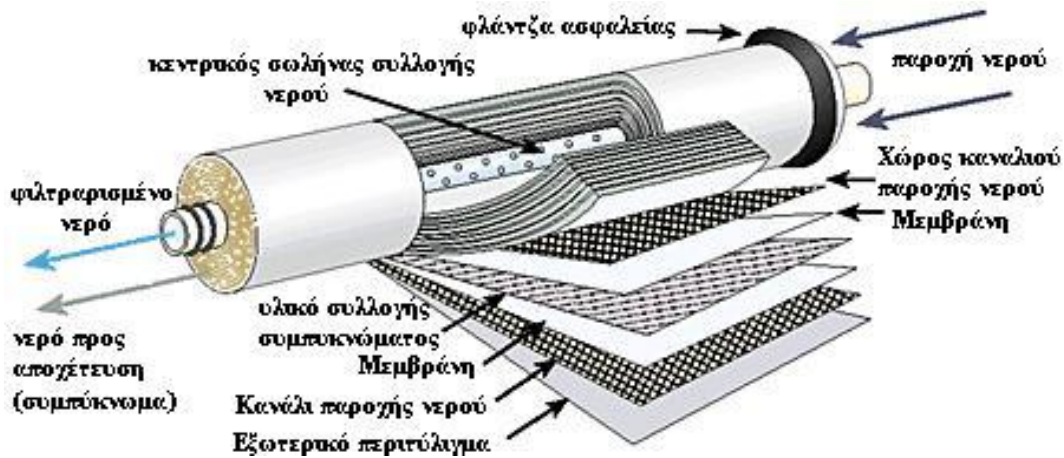
Το ρεύμα της άλμης διαπερνά το τελευταίο στοιχείο της μεμβράνης και εξέρχεται από το σωλήνα πίεσης στα απόβλητα. Όπως είναι λογικό ότι κάθε στοιχείο μεμβράνης εισέρχεται στο διαπερατό σωλήνα συλλέκτη και εξέρχεται από αυτόν, όπως ένα συνηθισμένο διαπερατό

ρεύμα. Ένας ξεχωριστός σωλήνας πίεσης με τέσσερα έως έξι στοιχεία μεμβράνης είναι συνδεδεμένα σε σειρά και μπορούν να λειτουργήσουν με ανάκτηση έως και 50% υπό κανονικές συνθήκες σχεδιασμού και λειτουργίας (Καλλίτσης Νικόλαος,2012).



Εικόνα 3.8.: Μembrάνη σπειροειδούς περιέλιξης.

Τα μέρη των μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης είναι συχνά κατασκευασμένα από επίπεδο φύλλο μεμβράνης είτε από μίγμα διοξικής και τριοξικής κυτταρίνης είτε από λεπτό σύνθετο επικάλυμμα. Το λεπτό σύνθετο επικάλυμμα μεμβράνης αποτελείται από ένα ενεργό στρώμα εξίσου λεπτό, το οποίο είναι πολυμερές και βρίσκεται πάνω σε ένα πιο παχύ στρώμα υποστηρίξης ενός διαφορετικού πολυμερούς.



Εικόνα 3.9.: Μembrάνη σπειροειδούς περιέλιξης.

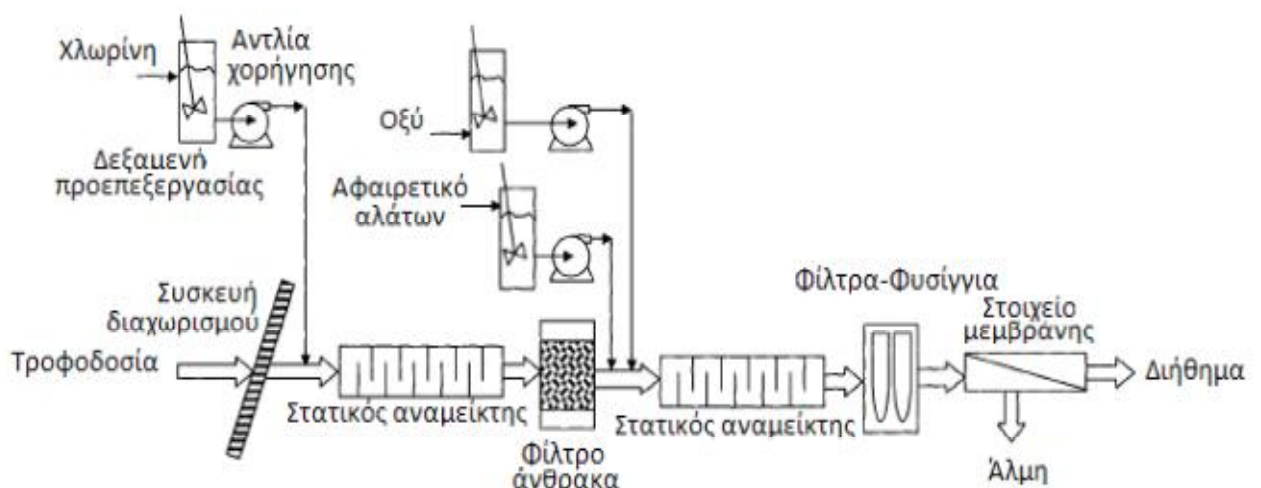
Πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι σύνθετες μεμβράνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόρριψη σε χαμηλότερες πιέσεις λειτουργίας από τα μείγματα οξικής κυτταρίνης. Τα σύνθετα υλικά που μπορεί να κατασκευαστεί μία μεμβράνη είναι πολυαμίδιο, πολυσουλφόνη, πολυουρεθάνης, ή άλλα πολυμερή (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012).

3.12. Συστήματα Αντίστροφης Ώσμωσης.

Τα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης αποτελούνται από τα εξής βασικά στοιχεία:

- Μονάδα παροχής τροφοδοτικού νερού.
- Σύστημα προεπεξεργασίας.
- Μονάδα άντλησης υψηλής πίεσης.
- Μονάδα συναρμολόγησης στοιχείων της μεμβράνης.
- Σύστημα μετρήσεων και ελέγχου.
- Επεξεργασία διαπερατότητας και μονάδα αποθήκευσης.
- Μονάδα καθαρισμού.

Ένα τυπικό διάγραμμα για τη διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης παρουσιάζεται παρακάτω. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα της αντίστροφης ώσμωσης είναι ένα απλό παράδειγμα, όπου το επίπεδο της προεπεξεργασίας της τροφοδοσίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας. (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012).



Διάγραμμα 3.1.: Τυπική διαδικασία αντίστροφης ώσμωσης.

Η διαδικασία της Αντίστροφής ώσμωσης διακρίνεται για τα χαρακτηριστικά της, τα οποία είναι τα εξής:

1^ο → Τα μεγάλα σωματίδια έχουν την δυνατότητα να απομακρύνονται από το τροφοδοτικό νερό χρησιμοποιώντας μετακινούμενα προστατευτικά φύλλα ή φίλτρα πλέγματος. Κάθε ένα από αυτά έχει συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας.

- a) Τα μετακινούμενα προστατευτικά φύλλα χρησιμοποιούνται κυρίως για τις πηγές των επιφανειακών υδάτων, έχουν μεγάλες συγκεντρώσεις των βιολογικών υπολειμμάτων.
- b) Τα φίλτρα πλέγματος χρησιμοποιούνται σε πηγάδια δικτύων ύδρευσης για να σταματήσουν και να αφαιρέσουν τα σωματίδια, που μπορεί να αντληθούν από το πηγάδι.

2^ο → Η διαδικασία της απολύμανσης του τροφοδοτικού νερού επιφάνειας εξυπηρετεί τον έλεγχο της βιολογικής δραστηριότητας. Η βιολογική δραστηριότητα στο νερό δεν είναι ίδια παντού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι γεωτρήσεις που παρουσιάζουν πολύ χαμηλά ποσοστά βιολογικής δραστηριότητας με αποτέλεσμα πολλές φορές να αποφεύγεται η χλωρίωση. Στις περιπτώσεις που η χλωρίωση είναι αναγκαία, σκοπός της είναι η οξειδωση του σιδήρου και του μαγγανίου στο νερό των γεωτρήσεων και πριν από τη διήθηση. Το νερό της γεώτρησης που περιέχει υδρόθειο δεν θα πρέπει να εκτίθεται στον αέρα ή να περνά την διαδικασία της χλωρίωσης. Σε περίπτωση που ένα οξειδωτικού όπως το ιόν σουλφίδιο μπορεί να οξειδωθεί σε στοιχειακό θείο, τότε μπορεί να συνδεθεί στα στοιχεία μεμβράνης.

3^ο → Η τοποθέτηση των επιφανειακών υδάτων σε μια δεξαμενή οδηγεί σε μερική μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων. Η προσθήκη κροκιδωτικών μέσων, όπως ο σίδηρος ή άλατα αλουμινίου, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της αλληπάλληλων υδροξειδίων. Τα υδροξείδια εξουδετερώνουν το φορτίο των κολλοειδών σωματιδίων που επιβαρύνουν την επιφάνεια και απορροφώνται από τα σωματίδια που επιπλέουν πριν κατακρυσθθούν στο κάτω μέρος. Για την αύξηση του μεγέθους τους χρησιμοποιούν οργανικά πολυμερή που μπορούν να προστεθούν στο νερό για να δεσμεύσει τα σωματίδια του μείγματος. Η χρήση του ασβέστη προκαλεί αύξηση του pH, τον σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου και των σωματιδίων υδροξειδίου του μαγνησίου. Ο καθαρισμός του ασβέστη είναι καθοριστικός αφού μειώνει την σκληρότητα και την αλκαλικότητα με αποτέλεσμα τον καθαρισμό του επεξεργασμένου νερού.

4^ο → Το νερό που προέρχεται από πηγάδια περιέχει χαμηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, αυτό οφείλεται στο φιλτράρισμα του υδροφορέα. Η προεπεξεργασία αυτού του νερού συνήθως περιορίζεται στην εξέταση των πολύ μικρών σωματιδίων, προσθήκη μηχανισμού κατακράτησης με κλίμακα στο τροφοδοτικό νερό και φίλτρα τύπου φυσίγγια.

5^ο → Τα επιφανειακά ύδατα μπορεί να περιέχουν διάφορες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, οι οποίες μπορεί να είναι ανόργανες αλλά και βιολογικής προέλευσης. Τα επιφανειακά ύδατα απαιτούν απολύμανση για τον έλεγχο της βιολογικής δραστηριότητας και την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων με φιλτράρισμα. Η διαδικασία φιλτραρίσματος μπορεί να γίνει με βοηθητικά φιλτραρίσματα, όπως κροκιδωτικά και οργανικά πολυμερή. Σε μερικές περιπτώσεις τα επιφανειακά ύδατα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων οργανικών ουσιών. Για την αφαίρεσή τους χρησιμοποιείται το τροφοδοτικό νερό που με το πέρασμα του φιλτράρεται από ένα φίλτρο ενεργού άνθρακα. Η

σύσταση του νερού καθορίζει την αύξηση της οξύτητας και την προσθήκη μηχανισμού κατακράτησης.

6^ο → Τα φίλτρα τύπου φυσιγγίου χρησιμοποιούνται παγκοσμίως σε όλα τα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης πριν από την αντλία υψηλής πίεσης. Οι διαστάσεις τους στα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης κυμαίνονται συνήθως από 5 έως 15 microns. Μερικά συστήματα χρησιμοποιούν δοχεία με τιμές μικρότερες από το 1 micron. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως ότι τα φίλτρα με τόσο μικρές τιμές απαιτούν ένα σύστημα υψηλής αξίας αντικατάστασης με σχετικά μικρή βελτίωση στην τελική ποιότητα του τροφοδοτικού νερού.

7^ο → Ένας νέος εξοπλισμός προεπεξεργασίας για τα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης έχει εισαχθεί στην αγορά. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελείται από μια μονάδα μικροδιήθησης τριχοειδών μεμβρανών και μεμβρανών υπερδιήθησης. Το νέο αυτό υλικό λειτουργεί αξιόπιστα σε πολύ υψηλά ποσοστά ανάκτησης και χαμηλή πίεση τροφοδοσίας. Τα συστήματα μπορούν να παρέχουν καλύτερη ποιότητα νερού τροφοδοσίας από τα συμβατικά στάδια φιλτραρίσματος που λειτουργούν σε σειρά. Ωστόσο το κόστος αυτού του νέου εξοπλισμού είναι πολύ υψηλό σε σύγκριση με το κόστος μιας μονάδας αντίστροφης ώσμωσης. (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012).

3.13. Μοντέλα και Μεταβλητές Αντίστροφης Ωσμωσης.

Η διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης ορίζεται με βάση των μεταβλητών, οι οποίοι είναι:

- Οσμωτική πίεση.
- Μεταφορά νερού.
- Μεταφορά Αλατιού.
- Πέρασμα Αλατιού.
- Απόρριψη Αλατιού.
- Ανάκτηση της ποσότητας που διαπερνά.
- Συγκέντρωση πόλωσης.

Το μοντέλο λειτουργίας της αντίστροφης ώσμωσης βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- Σταθερή κατάσταση και ισοθερμική λειτουργία.
- Οι συντελεστές διαπερατότητας διαφόρων ιόντων αλατιού ή του νερού είναι ανεξάρτητες από τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση.
- Παρόμοιοι συντελεστές διαπερατότητας για τα διάφορα ιόντα αλατιού.
- Ο ρυθμός ροής του αλατιού κατά μήκος της μεμβράνης είναι αμελητέος σε σύγκριση με το ρυθμό ροής του νερού που διαπερνά.
- Πλήρης ανάμιξη στην περιοχή διαπέρασης.
- Η συγκέντρωση αλατιού στην περιοχή τροφοδοσίας κυμαίνεται γραμμικά κατά μήκος της περιοχής μεμβράνη. (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012).

3.13.1. Γενικές έννοιες.

Ø Μάζα που Διαπερνά τη μεμβράνη.

Η μάζα που διαπερνά τη μεμβράνη παρουσιάζεται στην παρακάτω σχέση:

$$M_f = M_p + M_b \quad (1)$$

Όπου:

$M_f \rightarrow$ τροφοδοτικός ρυθμός ροής σε $\frac{kg}{sec}$

$M_p \rightarrow$ διαπερνών ρυθμός ροής σε $\frac{kg}{sec}$

$M_b \rightarrow$ ρυθμός ροής της άλμη σε $\frac{kg}{sec}$

Ø Διακύμανση Αλατιού.

Η διακύμανση του αλατιού ορίζεται από την σχέση:

$$X_f * M_f = X_p * M_p + X_b * M_b \quad (2)$$

Όπου:

$X_f \rightarrow$ αλατότητα της τροφοδοσίας $\frac{kg}{m^3}$

$M_f \rightarrow$ τροφοδοτικός ρυθμός ροής σε $\frac{kg}{sec}$

$X_p \rightarrow$ διαπερνούσα αλατότητα $\frac{kg}{m^3}$

$M_p \rightarrow$ διαπερνών ρυθμός ροής σε $\frac{kg}{sec}$

$X_b \rightarrow$ αλατότητα της άλμης $\frac{kg}{m^3}$

$M_b \rightarrow$ ρυθμός ροής της άλμη σε $\frac{kg}{sec}$

Ø Ροή Νερού.

Η σχέση που καθορίζει το ποσοστό του νερού που διαπερνά μέσα από μια ημιδιαπερατή μεμβράνη είναι η εξής:

$$M_p = (\Delta P - \Delta p) * K_w * A \quad (3)$$

Όπου:

$M_p \rightarrow$ ρυθμός της ροής του νερού μέσω της μεμβράνης σε m^3/sec
 $\Delta p \rightarrow$ οσμωτική διαφορά πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης kPa
 $K_w \rightarrow$ συντελεστής διαπερατότητας του νερού σε $m^3/m^2 * s * kPa$
 $A \rightarrow$ περιοχή μεμβράνης σε m^2

Οι όροι ΔP και Δp αντιπροσωπεύουν την διαφορά καθαρής υδραυλικής και οσμωτικής πίεσης διαμέσου της μεμβράνης, ήτοι:

$$\Delta P = \bar{P} - P_p \quad (4)$$

$$\Delta p = \bar{p} - p_p \quad (5)$$

Όπου:

$P_p \rightarrow$ διαπερνούσα υδραυλική.

$p_p \rightarrow$ οσμωτική πίεση.

$\bar{P} \rightarrow$ μέση υδραυλική στην τροφοδοτική πλευρά.

$\bar{p} \rightarrow$ μέση οσμωτική πίεση στην τροφοδοτική πλευρά.

Η μέση υδραυλική και οσμωτική πίεση δίνονται από τις σχέσεις:

$$\bar{P} = 0.5 * (P_f + P_b) \quad (6)$$

$$\bar{p} = 0.5 * (p_f + p_b) \quad (7)$$

Όπου:

$\bar{p} \rightarrow$ μέση οσμωτική πίεση στην τροφοδοτική πλευρά.

$p_f \rightarrow$ οσμωτική πίεση της τροφοδοτικής ροής.

$p_b \rightarrow$ οσμωτική πίεση στο ρεύμα απόρριψης.

$\bar{P} \rightarrow$ μέση υδραυλική στην τροφοδοτική πλευρά.

$P_b \rightarrow$ η υδραυλική πίεση στο ρεύμα απόρριψης.

$P_f \rightarrow$ η υδραυλική πίεση της τροφοδοτικής ροής.

Ø Ροή Αλατιού.

Ο ρυθμός της ροής του αλατιού μέσω της μεμβράνης ορίζεται από την σχέση:

$$M_s = (\bar{X} - X_p) * K_s * A \quad (8)$$

Όπου:

M_s → ρυθμός ροής του αλατιού μέσω της μεμβράνης σε kg/sec

K_s → συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης για το αλάτι σε $m^3/m^2 * sec$

X_p → συνολική συγκέντρωση διαλυμένων στερεών σωματιδίων που διαπερνούν σε kg/m^3

A → επιφάνεια μεμβράνης σε m^2

Η μέση συγκέντρωση αλατιού ορίζεται από την σχέση:

$$\bar{X} = \frac{M_f * X_f + M_b * X_b}{M_f + M_b} \quad (9)$$

Όπου:

X_f → αλατότητα της τροφοδοσίας σε kg/m^3

M_f → τροφοδοτικός ρυθμός ροής σε kg/sec

X_b → αλατότητα της άλμης σε kg/m^3

M_b → ρυθμός ροής της άλμης σε kg/sec

Ο ρυθμός της ροής του νερού μέσα από μια μεμβράνη είναι ανάλογος με την καθαρή διαφορά πίεσης ($\Delta P - \Delta \pi$) διαμέσου της μεμβράνης. Επιπλέον, ο ρυθμός ροής αλατιού είναι ανάλογος με τη διαφορά συγκέντρωσης διαμέσου της μεμβράνης ($\bar{X} - X_p$) και είναι ανεξάρτητος της ασκούμενης πίεσης.

Η αλατότητα του διήθηματος συμβολίζεται με X_p , δίνεται από την σχέση:

$$X_p = \frac{M_s}{M_d} \quad (10)$$

Όπου:

M_s → ρυθμός ροής του αλατιού μέσω της μεμβράνης σε kg/sec

$M_d \rightarrow$ μειωμένος ρυθμός διαμέσου της μεμβράνης $\frac{kg}{sec}$

Το νερό και το αλάτι έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μεταφοράς μάζας μέσα από μια δεδομένη μεμβράνη και έτσι δημιουργείτε το φαινόμενο της απόρριψης αλατιού. Καμιά μεμβράνη δεν είναι ιδανική στην απόρριψη αλατιού. Οι διαφορετικοί ρυθμοί μεταφοράς μάζας δημιουργούν μια φαινομενική απόρριψη. Η αύξηση της λειτουργικής πίεσης θα αυξήσει τη ροή του νερού χωρίς να αλλάξει η ροή άλατος, με αποτέλεσμα χαμηλότερη διαπερνούσα αλατότητα. (Καλλίτσης Νικόλαος,2012).

3.14. Ημιεμπειρικά Μοντέλα Λειτουργίας Μεμβρανών.

Τα κυριότερα ημιεμπειρικά μοντέλα είναι τα εξής:

- Μη αναστρέψιμο θερμοδυναμικό μοντέλο.
- Μηχανικό μοντέλο.
- Μοντέλο διαλύματος-διάχυσης.
- Μοντέλο τριχοειδούς ροής επιλεκτικής προσρόφησης.
- Μοντέλο παχύρρευστης ροής διάχυσης.
- Λεπτό πορώδες μοντέλο.

Εξαιρετικά σημαντικά θεωρούνται τα στατιστικά-μηχανικά μοντέλα των Mason και Lonsdale (1990). Το στατιστικό-μηχανικό μοντέλο περιλαμβάνει τις ακόλουθες εξισώσεις:

∅ Απόρριψη αλατιού.

$$SR = \left(\frac{C_1}{M \frac{P}{A}} + C_2 \right)^{-1} \quad (11)$$

∅ Ροή που διαπερνά.

$$M \frac{P}{A} = (D_1 * C_w + D_2) * (\Delta p - S * \Delta p) \quad (12)$$

∅ Συγκέντρωση αλατιού στο τοίχωμα της μεμβράνης.

$$C_w = C_b + (C_b - C_d) * \left(e^{\frac{M_p}{A * k}} - 1 \right) \quad (13)$$

Όπου:

C_1, C_2, D_1 και $D_2 \rightarrow$ σταθερές των εξισώσεων από πειραματικά μοντέλα.

SR → απόρριψη αλατιού.

M_p → ρυθμός ροής που διαπερνά σε m^3/sec

A → επιφάνεια μεμβράνης σε m^2 .

ΔP → διαφορά πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης σε kPa .

$\Delta \pi$ → οσμωτική διαφορά πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης σε kPa .

C_w → συγκέντρωση αλατιού στο τοίχωμα της μεμβράνης σε kg/m^3

C_b → συγκέντρωση αλατιού στο τροφοδοτικό μέρος σε kg/m^3

C_d → συγκέντρωση αλατιού στο ρεύμα που διαπερνά σε kg/m^3

k → συντελεστής μεταφοράς μάζας σε m/sec

σ → συντελεστής ανάκλασης.

Το λεπτό πορώδες μοντέλο περιλαμβάνει τις παρακάτω εξισώσεις:

∅ Απόρριψη Αλατιού.

$$SR = 1 - \left[A_1 - (1 - A_1) * e^{-A_2 * M_p / A * D_{sw}} \right]^{-1} \quad (14)$$

∅ Ροή που διαπερνά.

$$\frac{M_p}{A} = \frac{\Delta p - \sigma * \Delta \pi}{B_1 * C_d + B_2 * m} \quad (15)$$

∅ Συγκέντρωση αλατιού στο τοίχωμα της μεμβράνης.

$$C_w = C_b + (C_b - C_d) * \left(e^{M_p / A * k} - 1 \right) \quad (16)$$

Όπου:

A_1, A_2, B_1 και B_2 → σταθερές των εξισώσεων από πειραματικά δεδομένα.

SR → η απόρριψη αλατιού.

D_{sw} → συντελεστής διάχυσης της διαλυμένης ουσίας στο διάλυμα σε m^2/s

M_p → ο ρυθμός ροής που διαπερνά σε m^3/sec

A → η επιφάνεια μεμβράνης σε m^2 .

ΔP → η διαφορά πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης σε kPa .

$\Delta \pi$ → η οσμωτική διαφορά πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης σε kPa .

C_w → η συγκέντρωση αλατιού στο τοίχωμα της μεμβράνης σε kg/m^3

C_b → η συγκέντρωση αλατιού στο τροφοδοτικό μέρος σε kg/m^3

C_d → η συγκέντρωση αλατιού στο ρεύμα που διαπερνά σε kg/m^3

k → ο συντελεστής μεταφοράς μάζας σε m/sec

σ → ο συντελεστής ανάκλασης.

μ → το δυναμικό ιξώδες του νερού σε $kg/m*s$

Τα μοντέλα είναι μη γραμμικά και απαιτούν επαναληπτική λύση για τον προσδιορισμό της ροής που διαπερνά, της απόρριψης αλατιού και της συγκέντρωσης αλατιού στο τοίχωμα της μεμβράνης (Καλλίτση Νικόλαου,2012).

3.15. Συγκέντρωση Πόλωσης.

Το νερό περνά μέσα από τη μεμβράνη και η μεμβράνη απορρίπτει τα άλατα, στην συνέχεια ένα οριακό στρώμα σχηματίζεται κοντά στην επιφάνεια της μεμβράνης στο οποίο η συγκέντρωση αλατιού υπερβαίνει τη συγκέντρωση αλατιού που έχει το μεγαλύτερο μέρος του διαλύματος. Η αύξηση της συγκέντρωσης άλατος ονομάζεται συγκέντρωση πόλωσης (concentration polarization). Το αποτέλεσμα της συγκέντρωσης πόλωσης είναι η μείωση της πραγματικής ροής του παραγόμενου νερού και της απόρριψης αλατιού σε σχέση πάντα με τις θεωρητικές εκτιμήσεις.

Η συγκέντρωση πόλωσης έχει κάποιες επιπτώσεις και είναι η εξής:

- Μεγαλύτερη οσμωτική πίεση ($\Delta \pi$) παρουσιάζεται στην επιφάνεια της μεμβράνης σε σχέση με το μεγαλύτερο μέρος του τροφοδοτικού διαλύματος με αποτέλεσμα να μειώνεται η καθαρή κινητήρια διαφορά πίεσης στη μεμβράνη ($\Delta P - \Delta \pi$).
- Παρουσιάζει μειωμένη ροή νερού διαμέσου της μεμβράνης (M_d).
- Παρουσιάζει αυξημένη ροή αλατιού διαμέσου της μεμβράνης (M_g).
- Μεγαλύτερη πιθανότητα υπέρβασης της διαλυτότητας των μερικών διαλυτών αλάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης με αποτέλεσμα την καθίζηση στη μεμβράνη.

Ο παράγοντας συγκέντρωσης πόλωσης (Concentration Polarization Factor- CPF) μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της συγκέντρωσης αλατιού στην επιφάνεια μεμβράνης (C_s) προς τη συνολική συγκέντρωση (C_b), όπου:

$$CPF = \frac{C_s}{C_b} \quad (17)$$

Μια αύξηση στη ροή που διαπερνά θα αυξήσει την παροχή των ιόντων στην επιφάνεια της μεμβράνης και την αύξηση της C_s . Η αύξηση της τροφοδοτικής ροής εντείνει τις αναταράξεις και μειώνει το πάχος του στρώματος υψηλής συγκέντρωσης κοντά στην επιφάνεια της μεμβράνης. Ωστόσο η CPF είναι ανάλογη με τη ροή που διαπερνά (M_d), και αντιστρόφως ανάλογη με τη μέση τροφοδοτική ροή (M_f), (Καλλίτσης Νικόλαος, 2012) όπου:

$$CPF = K_3 * \exp\left(\frac{M_d}{M_f}\right) \quad (18)$$

Όπου:

$K_3 \rightarrow$ σταθερά αναλογίας που εξαρτάται από τη γεωμετρία του συστήματος.

Η CPF εκφράζεται ως συνάρτηση του ποσοστού ανάκτησης της μεμβράνης (R):

$$CPF = K_3 * \exp\left(2 * \frac{R}{2-R}\right) \quad (19)$$

Οι σωστή επιλογή των μεμβρανών για μια μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση είναι ένα από τα σπουδαιότερα στάδια της μελέτης. Όπως παρατηρήσαμε και στο κεφάλαιο αυτό οι μεμβράνες πρέπει να δώσουν ένα ποιοτικό αποτέλεσμα αντιμετωπίζοντας τις παραπάνω παραμέτρους. Οι πειραματικές μελέτες των δυνατοτήτων των μεμβρανών βρίσκονται ακόμα και σήμερα σε εξέλιξη. Με το πέρασ του χρόνου, η ποιότητα του επεξεργαζόμενου νερού από τις μεμβράνες είναι ολοένα και καλύτερη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. Η ενέργεια σε διάφορα στάδια της αφαλάτωσης.

Κάθε τεχνολογία αφαλάτωσης χρειάζεται διαφορετικό ποσοστό ενέργειας το οποίο επηρεάζει άμεσα τη σχέση κόστους αποτελεσματικότητας και σκοπιμότητας. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα αναλυθούν οι μορφές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ποσίμου ύδατος, επιπλέον οι μέθοδοι παραγωγής ενέργειας και ο τρόπος διατήρησης και αποθήκευσής της.

Οι Τεχνολογίες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν αντλίες σε διάφορα στάδια της αφαλάτωσης όπως:

- Υδροδότηση.
- Πρόσληψη νερού.
- Επεξεργασία.
- Απόρριψη του υδάτινου προϊόντος.

Οι μονάδες αφαλάτωσης χρησιμοποιούν αντλίες οι οποίες καταναλώνουν σημαντικό ποσό ενέργειας γιατί ασκούν πίεση στο νερό τροφοδοσίας που διέρχεται από τις μεμβράνες. Οι μονάδες που χρησιμοποιούν την μέθοδο της ανάλλαγης ιόντων χρησιμοποιούν τις αντλίες αρχικά για την υδροδότηση κατά τη διάρκεια της ρητίνης και κατ' επέκταση χρησιμοποιούν τα απόνερα για τον καθαρισμό των αντλιών.

Στην μέθοδο της ηλεκροδιάλυσης οι αντλίες νερού τροφοδοσίας θα ασκήσουν πίεση δημιουργώντας ροή σε όλη την επιφάνεια των μεμβρανών. Η ενέργεια που καταναλώνεται από της αντλίες εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι είναι το είδος της επεξεργασίας, την θερμοκρασία του νερού, η ικανότητα επεξεργασίας από την εγκατάσταση, καθώς και την θέση της μονάδας σε σχέση με τη θέση της πρόσληψης πυκνού νερού και χώρου διάθεσης.

Δεν μπορεί να υπάρξει αποτελεσματική σύγκριση μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών αφαλάτωσης με τα ποσά ενέργειας που χρειάζονται να καταναλώσουν για να έχουν την μέγιστη λειτουργία. Κάθε τεχνολογία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να την κάνει μοναδική.

Για παράδειγμα στην μέθοδο αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται από την αλμυρότατο νερού και το ποσοστό ανάκτησης. Δηλαδή το θαλασσινό νερό κατά την διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης απαιτεί μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας λόγω της υψηλότερης οσμωτικής πίεσης του θαλασσινού νερού σε σύγκριση με το υφάλμυρο νερό.

4.2. Διαφορές μορφές ενέργειας στην αφαλάτωση.

Στις τεχνολογίες αφαλάτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορές μορφές ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες. Οι μορφές ενέργειας απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	
Ηλιακή ενέργεια	Έμμεση <ul style="list-style-type: none"> • συμπυκνωτές • συλλέκτες Άμεση <ul style="list-style-type: none"> • φωτοβολταϊκά
Αιολική ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> • Ανεμογεννήτριες
Γεωθερμική	<ul style="list-style-type: none"> • θερμική • υδραυλική • φυσικό αέριο
Ωκεάνια ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> • Παλιρροϊκή ενέργεια • Ενέργεια κυμάτων • Θερμική ενέργεια των ωκεανών

Πίνακας 4.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

4.2.1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις στις τεχνολογίες αφαλάτωσης αφού μειώνουν την εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα. Η συνολική παγκόσμια ενέργεια σε ανανεώσιμες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης αντιστοιχεί σε λιγότερο από το 1% των συμβατικών ορυκτών καυσίμων στις μονάδες αφαλάτωσης.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) παρόλο που έχουν χαμηλό κόστος, αφού προέρχονται από δωρεάν πρώτη ύλη, δεν προσφέρονται πάντα για την χρήση τους στις μονάδες αφαλάτωσης. Το μειονέκτημα τους είναι δεν έχουν συνεχή ροή ώστε να ανταποκρίνονται στην συνεχή ζήτηση της παραγωγής, δεν μπορούν να αποθηκευτούν σε ποσότητα και δεν προσφέρουν την κατάλληλη λειτουργία μια μονάδας. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι προσιτές αλλά ακόμα δεν χρησιμοποιούνται ευρύτερα ούτε σε μικρές μονάδες αφαλάτωσης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ο συνδυασμός ΑΠΕ και αφαλάτωσης βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο. Επί του παρόντος, χρήσεις των ΑΠΕ για την αφαλάτωση είναι πολύ περιορισμένη. Το μερίδιο του παγκόσμιου συνόλου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την αφαλάτωση είναι μόνο το 0,02 % της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται.

Ωστόσο, οι ΑΠΕ έχουν δυνατότητες για την τροφοδότηση των μελλοντικών μονάδων αφαλάτωσης. Μπορεί να είναι μια ιδανική λύση για κάποιες μικρές κοινότητες όπου η προμήθεια ορυκτών καυσίμων για την αφαλάτωση δεν είναι διαθέσιμη ή δεν είναι εύκολα προσιτή.

Όμως το υψηλό κεφαλαίο που απαιτεί η κατασκευή και το υψηλό κόστος συντήρησης που απαιτείται για την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθιστά αυτές τις αντίστοιχες μονάδες αφαλάτωσης μη-ανταγωνιστικές σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα αφαλάτωσης καυσίμων.

Οι ΑΠΕ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις τεχνολογίες αφαλάτωσης διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες την Γεωθερμική, την Ηλιακή, και την Αιολική. Για την μέγιστη εκμετάλλευση των ΑΠΕ γίνεται μετατροπή της ενέργειάς τους σε προσβάσιμη ενέργεια, δηλαδή ηλεκτρική, θερμική κτλ. Για την μετατροπή τους χρησιμοποιεί το δικό της εξοπλισμό.



Σχήμα 4.1.: Συνδυασμός Αφαλάτωσης και ΑΠΕ

4.2.2. Ηλιακή Ενέργεια.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια πολλά υποσχόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για μονάδες αφαλάτωσης δύναμη. Ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για απλή απόσταξη ή έμμεσα με τη χρήση των συλλεκτών. Οι κατασκευές μονάδων εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας κάνει την συγκέντρωση και την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας πιο προσιτή.

4.2.3. Αιολική Ενέργεια.

Η αιολική ενέργεια είναι αρκετά ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια, όταν αναφερόμαστε στο κόστος ενέργειας. Ωστόσο το μειονέκτημα της την χαρακτηρίζει ως αβέβαιη πηγή ενέργειας για την παραγωγική ηλεκτρικής ενέργειας αφού αυτές οι πηγές (αιολική και ηλιακή) δεν είναι σταθερές.

Με την αιολική ενέργεια παρατηρείται ότι τα συστήματα είναι περιορισμένα λόγω των ειδικών απαιτήσεων των συστημάτων αντιστροφής ώσμωσης που δεν λειτουργούν καλά κάτω από μη συνεχείς συνθήκες. Για την περίπτωση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας οι συσκευές απόσταξης μπορεί να είναι χρήσιμες για να αφαλατώσουν το νερό. Η ηλιακή

ενέργεια μπορεί να προσφέρει την θερμική ενέργεια που απαιτείται και οι ανεμογεννήτριες μπορούν να παρέχουν την αναγκαία μηχανική ενέργεια.

4.2.4. Γεωθερμική ενέργεια.

Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια, δηλαδή υπάρχει σε βάθη εκατοντάδων ή ακόμη και σε χιλιάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης. Στο εσωτερικό της γης, τον πυρήνα, οι θερμοκρασίες ξεκινούν από 3.700 °C έως 6.100 °C. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις.

Η γεωθερμική ενέργεια υπάρχει σε τρεις μορφές: θερμική, υδραυλική, και το φυσικό αέριο (μεθάνιο). Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που είναι για να σταλεί στα τοπικά δίκτυα, ή σε απευθείας θερμική ισχύς σε μονάδες αφαλάτωσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι έχει μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και άλλες μορφές ενέργειας και μικρές έως και μηδενικές εκπομπές αερίων στο περιβάλλον (Καούρης και Σαλαμαλίκης, 2012).



Εικόνα 4.3. : Γεωθερμική ενέργεια.

4.2.5. Ενέργεια των Ωκεανών.

Ο ωκεανός αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή νερού με αποτέλεσμα να είναι η πιο ελκυστική λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης του. Το βασικό του μειονέκτημα είναι το υψηλό ποσοστό αλμυρότητας

Σύμφωνα με τις μελέτες της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, το επιτρεπτό όριο της αλμυρότητας του νερού είναι 500 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) και για ειδικές περιπτώσεις έως 1000 ppm. Ωστόσο το διαθέσιμο νερό πάνω στη γη έχει αλμυρότητα μέχρι 10.000 ppm, και το θαλασσινό νερό έχει συνήθως αλμυρότητας 35.000 - 45.000 ppm, με τη μορφή του συνόλου των διαλυμένων αλάτων.



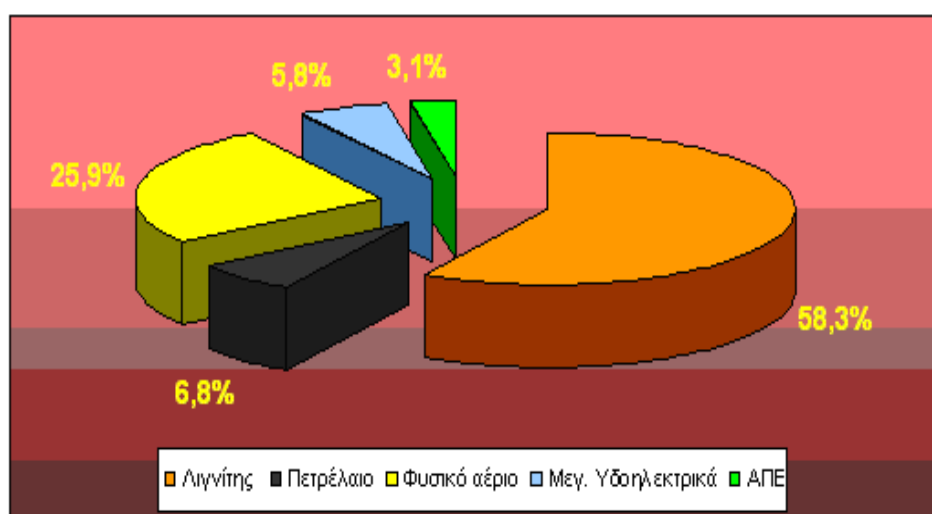
Εικόνα 4.4.: Η Ενέργεια των ωκεανών.

Η μονάδα μετρήσεις της αλμυρότητας είναι το pptm που είναι ίσον με ένα χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο αλλά και σε ppt που είναι ένα γραμμάριο ανά λίτρο. Η κατηγορία της ενέργειας των ωκεανών μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες :

- Παλιρροϊκή ενέργεια
- Ενέργεια κυμάτων
- Θερμική ενέργεια των ωκεανών

4.2.6. Ενεργειακό ισοζύγιο.

Για να καταφέρουμε να έχουμε μια ανάλυση ενεργειακού ισοζυγίου της πλωτής μονάδας αφαλάτωσης εξετάζουμε την ενέργεια που εισέρχεται στο σύστημα, όπου είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.



Σχήμα 4.6. : Ποσοστά Ενεργειακού ισοζυγίου.

Με την μετατροπή των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουμε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζονται τα ποσοστά του ενεργειακού ισοζυγίου στον πλανήτη, παρατηρώντας ότι το μικρότερο ποσοστό το κατέχουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Παράδειγμα εφαρμογής μεμβρανών στην τεχνολογία της αφαλάτωσης.

5.1. Η αφαλάτωση στην Ελλάδα.

Το πρόβλημα της έλλειψης του ποσίου νερού το συναντάμε και στον Ελλαδικό χώρο και κυρίως στα νησιά μας. Από τα τέλη της δεκαετίας του '60 ξεκίνησε η δημιουργία μικρών πειραματικών μονάδων ηλιακής απόσταξης. Την πρώτη μονάδα αφαλάτωσης την συναντάμε στην Σύμη το 1964. Για τις επόμενες τέσσερις δεκαετίες δημιουργούνται μονάδες αφαλάτωσης ηλιακής απόσταξης σε διάφορα μέρη όπως στη Νίσυρο, Κίμωλο, Ιθάκη, Πάτμο, Καστελόριζο, Αίγινα όπου οι περισσότερες σταμάτησαν να λειτουργούν λόγω προβλημάτων λειτουργίας και συντήρησης. Το 1980 η αφαλάτωση στηρίχθηκε σε μία άλλη μέθοδο την αντίστροφη ώσμωση, όπου το 1990 γίνεται η ολοκλήρωση μια τέτοια μονάδας αφαλάτωσης. Οι λόγοι που οδήγησαν την ραγδαία αυτή εξέλιξη ήταν ο αυξημένος τουρισμός στα νησιά του Ελλαδικού χώρου επομένως η αυξημένης ανάγκης για ύδρευση.

Σήμερα στην Ελλάδα λειτουργούν 50 περίπου μονάδες αφαλάτωσης και εξυπηρετούν τις ανάγκες πολλών δήμων και κοινοτήτων. Η δυναμικότητά τους υπολογίζεται περίπου στα 35.000 m³/ημέρα ενώ υπάρχουν και εκατοντάδες μικρότερες μονάδες ιδιωτικής χρήσης.

5.2. Πλωτή Μονάδα Αφαλάτωσης

Η πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης σχεδιάστηκε από Έλληνες επιστήμονες και της δόθηκε το όνομα Υδριάδα. Η υλοποίηση μιας τέτοιας πλωτής μονάδας ήταν ιδιαίτερα περίπλοκη και ας φαινόταν απλή σαν ιδέα.

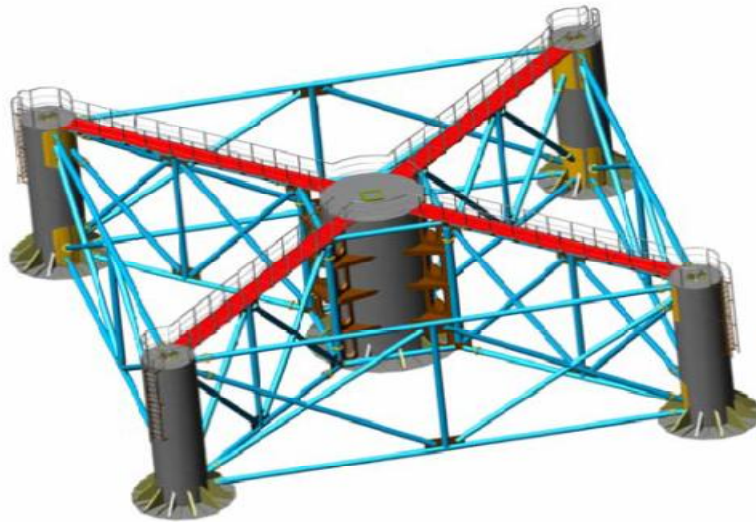


Εικόνα 5.1.: Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης «Ελληνική Πατέντα».

Η μονάδα αφαλάτωσης από άποψη κατασκευής αποτελείται από μια ενσωματωμένη ανεμογεννήτρια, τέσσερις περιφερειακούς κυλινδρικούς πλωτήρες και έναν κεντρικό άξονα, και τρία τμήματα τα οποία είναι εγκατεστημένα, τα οποία και είναι:

- το εργοστάσιο αφαλάτωσης,
- το κέντρο ελέγχου του συστήματος
- η δεξαμενή αποθήκευσης του πόσιμου νερού.

Επίσης διαθέτουν, σύστημα αυτόματου ελέγχου, μέσω GPRS, για την παρακολούθηση και τον τηλεχειρισμό της.



Εικόνα 5.2.: Σχηματική αναπαράσταση πλωτής κατασκευής Υδριάδα.

Μια τέτοια μονάδα θα απαιτούσε σίγουρα μεγάλα ποσά ενέργειας για να μπορέσει να λειτουργήσει, έτσι αυτό που έπρεπε να εκμεταλλευθούν και να αξιοποιήσουν οι μελετητές ήταν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενεργείας και ειδικά ο άνεμος, ο οποίος ήταν και αυτός που δημιουργούσε τα περισσότερα τεχνικά προβλήματα.

Βασικό πλεονέκτημα – μειονέκτημα ήταν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στα νησιά μας, οι δυνατοί άνεμοι φτάνουν πολλές φορές τα 9 και 10 μποφόρ. Επομένως οι μελετητές έπρεπε να λάβουν υπόψη τους τα τεχνικά προβλήματα που μπορούν να προκαλέσουν τέτοιες καιρικές συνθήκες όπως μια ανατροπή της μονάδας αφαλάτωσης αλλά και τα δυνατότητα εκμετάλλευσης τους και η καλύτερη αξιοποίηση του άνεμου.

Σκοπός λοιπόν της μονάδας είναι να αντιμετωπίσει τα προβλήματα του ανέμου χωρίς να έχουμε μείωση της απόδοσης κατά την μεταβολή της ισχύος. Η πλωτή μονάδα αφαλάτωσης δεν βασίζεται μόνο στην αιολική ενέργεια αλλά και στην ηλιακή ενέργεια που ο ήλιος δίνει απλόχερα στην χώρα μας. Η μονάδα είναι εφοδιασμένη με φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία μπορούν να της δώσουν πρόσθετη ενέργεια την οποία μπορεί να χρειαστεί. Επίσης αυτά τα συστήματα μπορούν να τροφοδοτήσουν τα συστήματα ελέγχου - τηλεχειρισμού, σε περίπτωση κατά την οποία υπάρξει πρόβλημα με την ανεμογεννήτρια. Η μονάδα είναι ενεργειακά αυτόνομη και δεν είναι απαραίτητη η σύνδεσή της με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στη πλωτή μονάδα η τεχνολογία είναι η αντίστροφη ώσμωση, όπως προαναφέραμε σκοπός είναι να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση αλλά και η μείωση των φαινόμενων των επικαθίσεων στις μεμβράνες αφαλάτωσης. Με την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης στην πλωτή μονάδα πρέπει να καταλήγει σε πόσιμο χωρίς να δέχεται καμία περεταίρω χημική επεξεργασία.



Εικόνα 5.3. : Κατασκευή Υδριάδας.

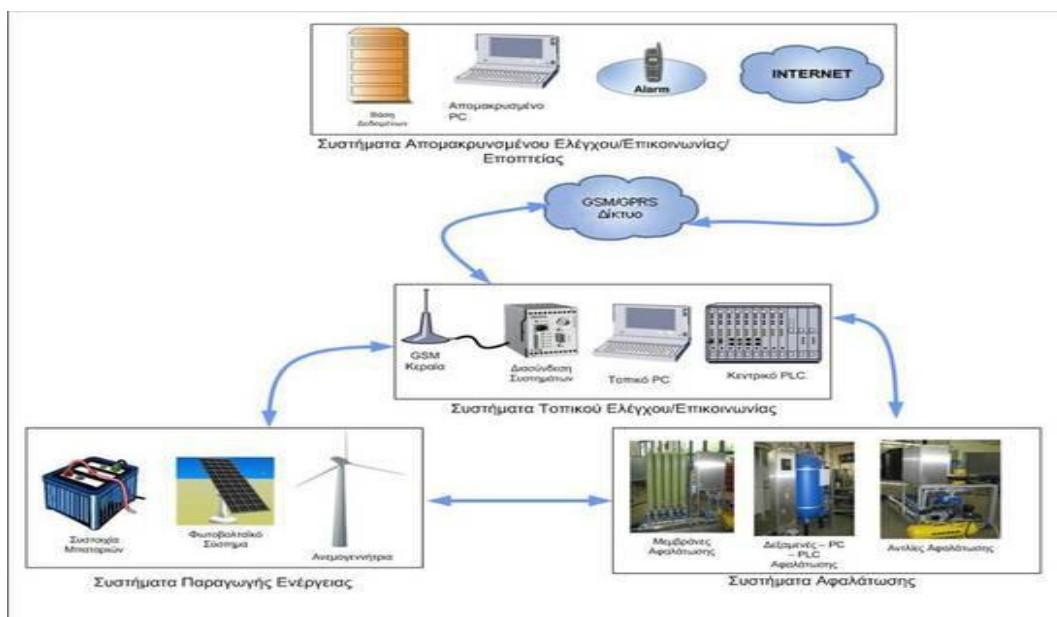
Η πρώτη πρότυπη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης κόστισε 2,8 εκατ. € όμως το κόστος για τις επόμενες αντίστοιχες υπολογίζεται ότι δεν πρόκειται να ξεπεράσει τα 700.000 € Για να γίνει η μελέτη για την κατασκευή μίας τέτοιας μονάδας χρειάζεται περίπου δύομιση χρόνια ενώ η κατασκευή της διαρκεί έξι μήνες.



Εικόνα 5.4. : Ναυπήγηση Υδριάδας.

Η μονάδα ζυγίζει 150 τόνους και καλύπτει έκταση μισού στρέμματος, έχει ύψος 30 – 35 μέτρα και παράγει 70.000 λίτρα πόσιμο νερό το 24ωρο. Το νερό που παράγει πρέπει να είναι αρκετό για 300 άτομα, όταν φτάνει σε απόδοση περίπου τα 70 m³ νερό την ημέρα. Μια πλωτή μονάδα έχει τη δυνατότητα να κατασκευαστεί και σε μεγαλύτερο μέγεθος ανάλογα με τις ανάγκες που πρέπει να καλύψει, ώστε να δώσει λύση στα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί.

Η πλωτή μονάδα, βρίσκεται σε δοκιμαστική λειτουργία στην Ηράκλεια. Στην δοκιμαστική της λειτουργία, ελέγχθηκαν όλα τα συστήματα σε πραγματικές συνθήκες και έγιναν οι αναγκαίες διορθώσεις.



Διάγραμμα 5.1.: Ενεργειακή διασύνδεση συστημάτων στην Υδριάδα.

Ένα από τα πλεονέκτημα τα της είναι η οικολογική λειτουργία εφόσον δεν χρησιμοποιεί καύσιμα παρά μόνο αιολική και ηλιακή ενέργεια μέσω ανεμογεννήτριας και φωτοβολταϊκών συστημάτων. Όπου και αν έχει τοποθετηθεί μια τέτοια μονάδα προσοχή δίνεται να μην αλλάζουν τα φυσικά τοπία όπως δρόμοι, εγκαταστάσεις, καλώδια ρεύματος κλπ. Ένα βασικός περιβαλλοντικός κίνδυνος από τη λειτουργία της μονάδας περιορίζεται ουσιαστικά στην απόθεση του αλμυρού νερού, ύστερα από την αφαλάτωση, η οποία γίνεται στο ανοικτό πέλαγος, μακριά από τις ακτές, και σε μικρές ποσότητες.

Αυτό που θα μπορούσαμε να αναφέρουμε συνοπτικά για την μονάδα αφαλάτωσης είναι:

- βέλτιστη ενεργειακή απόδοση,

- μείωση του φαινομένου των οργανικών και ανόργανων επικαθίσεων στις μεμβράνες
- αύξηση του βαθμού απόδοσης του κύκλου λειτουργίας
- λειτουργία χωρίς χημική επεξεργασία.

Και όσον αφορά την πλωτή κατασκευή:

- καλή συμπεριφορά σε διάφορες καιρικές συνθήκες ανέμου και κυματισμού.
- συμμόρφωση με όλους τους κανονισμούς και συμβατότητα με τις σχετικές προδιαγραφές που αφορούν πλωτές κατασκευές,
- παρακολούθηση από τεχνολογικά συστήματα.

Αυτή η «Ελληνική Πατέντα» ήταν ικανή να κερδίσει τις εντυπώσεις σε εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο, ώστε να βραβευτεί, για την σχεδίαση αλλά και για τα αποτελέσματα της λειτουργίας της.

5.3. Μελέτη πρώτης πλωτής μονάδας αφαλάτωσης.

Η πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης πραγματοποιήθηκε στο Νότιο Αιγαίο, σε ένα μικρό νησί την Ηράκλεια, όπου οι κάτοικοι της δεν ξεπερνούν τους διακόσιους πενήντα (250). Η αναφερόμενη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να καλύψει τριακόσους (300) κατοίκους ημέρωσης παράγοντας εβδομήντα κυβικά μέτρα (70 m^3) πόσιμο νερό. Οι αρχικές μελέτες που έγιναν για την υλοποίηση της πρώτης πλωτής μονάδας στην Ηράκλεια κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι κάθε κάτοικος χρειάζεται περίπου $4,00 - 4,50 \text{ m}^3$ πόσιμου νερού ημερησίως.

Οι μόνιμοι κάτοικοι της Ηράκλειας κυμαίνονται από 200 έως 250, και υπάρχει κάποια αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουρισμού. Λαμβάνοντας υπόψη μας τον μέγιστο αριθμό κατοίκων, την ημερήσια ανάγκη τους καθώς και τα δεδομένα που μας δίνονται για κάθε πλωτή μονάδα αφαλάτωσης διαπιστώνουμε ότι χρειάζονται περίπου 60 m^3 πόσιμου νερού ημερησίως.

Η Ηράκλεια είναι ένα μικρό και μη πυκνοκατοικημένο νησί επομένως μπορεί να το καλύψει μια μονάδα αφαλάτωσης χωρίς μάλιστα να λειτουργεί στο μέγιστο βαθμό απόδοσης της, επομένως η μικρή αύξηση του πληθυσμού από τουρίστες δεν θα δημιουργεί κανένα πρόβλημα στην κάλυψη των αναγκών τους για πόσιμο νερό.

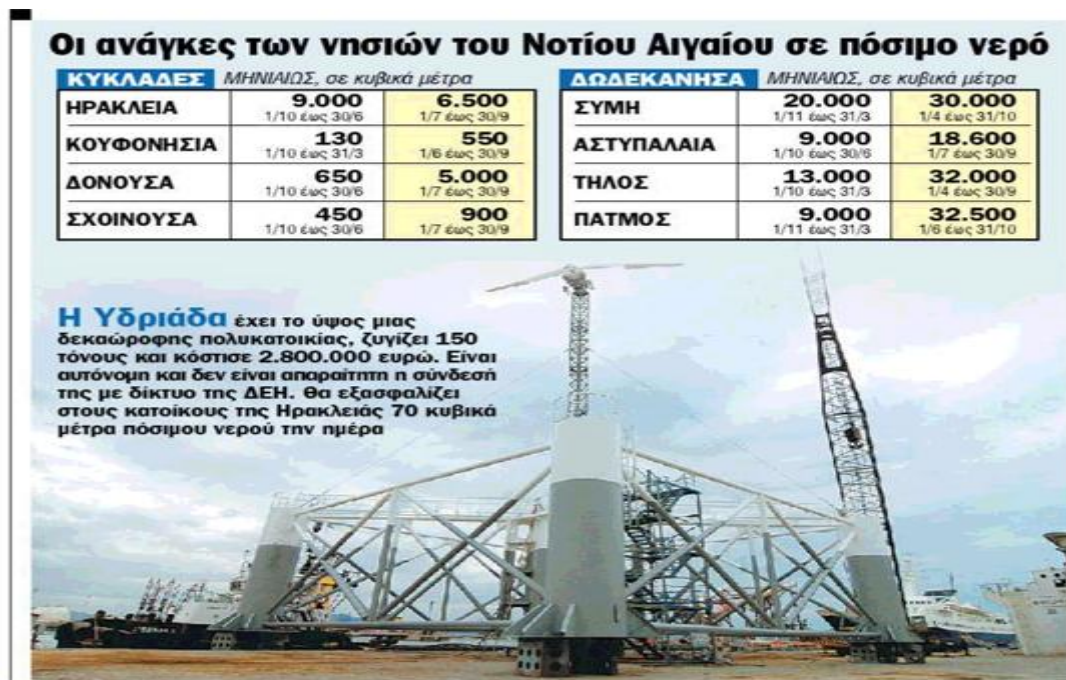
ΗΡΑΚΛΕΙΑ

ΚΑΤΟΙΚΟΙΚΑΙ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	
Αριθμός κατοίκων	Ημερήσια κατανάλωση
200-250	$55-60 \text{ m}^3$
1	$4,00-4,50 \text{ m}^3$

Το εργοστάσιο της πλωτής μονάδας αφαλάτωσης τροφοδοτείται με ανεμογεννήτρια καλύπτοντας με αυτόν τον τρόπο τις ενεργειακές ανάγκες. Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να υπολογίσουμε ότι στην αιολική ενέργεια σημαντική παράμετρος είναι οι κλιματολογικές αλλαγές που δημιουργούνται με την πάροδο του χρόνου. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργεια ανταγωνίζονται σε μεγάλο βαθμό τον άνθρακα και το φυσικό αέριο.

Το δυναμικό της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας είναι τεράστιο. Η υλοποίηση αυτής της δυνατότητας θα είναι η ανάπτυξη των πλωτών εξεδρών, που θα επιτρέψει στους ανέμους πάνω από βαθιά νερά για να συλλέγονται χωρίς την ανάγκη για θεμέλια που θα βρίσκονται στο εσωτερικό της θάλασσας κάτω από την πρώτη μονάδα το οποίο θα ήταν απαγορευτικά ακριβό.

Η «Υδριάδα» ήταν η αφετηρία για την δημιουργία πανομοιότυπων εργοστασιακών μονάδων αφαλάτωσης σε όλο τον κόσμο, δίνοντας πρώτα την λύση στον ελλαδικό χώρο. Αυτή η πλωτή μονάδα αφαλάτωσης έχει την δυνατότητα να κατασκευαστεί σύμφωνα με τις ανάγκες μίας περιοχής που θέλει να καλύψει. Δηλαδή μπορεί να έχει τέτοιες διαστάσεις που να μπορεί να παράγει το απαιτούμενο νερό της περιοχής.



Εικόνα 5.5.: Ανάγκες ποσίμου νερού σε διαφορετικές περιοχές.

Με τους απαραίτητους υπολογισμούς επιλέγεται το μέγεθος του εργοστασίου για την καλύψει των αναγκών των μόνιμων κατοίκων αλλά και την πιθανή αύξηση τους και την καλύτερη λειτουργία της μονάδας, χωρίς να υπερβαίνει το 80% της απόδοσης της.

Μία πλωτή μονάδα αφαλάτωσης δεν μπορεί να λειτουργεί ημερησίως στο 100% της απόδοσής της και ο λόγος είναι ότι δεν θα έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η ποιότητα του παραγόμενου νερού δεν θα είναι κατάλληλη αλλά και η καταπόνηση του μηχανολογικού εξοπλισμού θα είναι μεγάλη.

Ωστόσο δημιουργείται ένα επιπλέον πρόβλημα αν χρειάζεται μια μονάδα να λειτουργεί στο μέγιστο της απόδοσης της και αυτό είναι η ενέργεια. Μια τέτοια μονάδα αφαλάτωσης έχει πηγή ενέργειας όπως έχουμε αναφέρει τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) οι οποίες σε μια λειτουργία απόδοσης 100% χρειάζονται το κατάλληλο σύστημα (χώρο αποθήκευσης – μπαταρίες).

Σύμφωνα με όλα αυτά που προαναφέρθηκαν κατασκευάστηκαν σε πολλά νησιά της Ελλάδας εργοστάσια πλωτών μονάδων αφαλάτωσης για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας, στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι μονάδες αφαλάτωσης που χρησιμοποιήθηκαν ανάλογα με τον αριθμό κατοίκων και τις ανάγκες των νησιών.

Κυκλάδες	Δωδεκάνησα
Σίκινος 1 μονάδα (κάτοικοι 238)	Αστυπάλαια 1 μονάδα (κάτοικοι 1.238)
Φολέγανδρος 1 μονάδα (κάτοικοι 667)	Πάτμος 3 μονάδες (κάτοικοι 3.044)
Κίμωλος 1 μονάδα (κάτοικοι 769)	Μεγίστη 1 μονάδα (κάτοικοι 430)
Αντίπαρος 1 μονάδα (κάτοικοι 1.037)	Τήλος 1 μονάδα (κάτοικοι 533)
Κέα 2 μονάδες (κάτοικοι 2.417)	Νίσυρος 1 μονάδα (κάτοικοι 948)
Κύθνος 2 μονάδες (κάτοικοι 1.608)	Κάσος 1 μονάδα (κάτοικοι 990)
Σέριφος 2 μονάδες (κάτοικοι 1.414)	Αγαθονήσι 1 μονάδα (κάτοικοι 158)
Σίφνος 2 μονάδες (κάτοικοι 2.442)	Σύμη 2 μονάδες (κάτοικοι 2.606)
Αμοργός 2 μονάδες (κάτοικοι 1.859)	
Δονούσα 1 μονάδα (κάτοικοι 163)	
Ηράκλεια 1 μονάδα (κάτοικοι 151)	
Ίος 2 μονάδες (κάτοικοι 1.838)	

Πίνακας 5.1.: Πλωτές μονάδες αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά.

5.3.1. Ζήτηση νερού και η ικανότητα των εγκαταστάσεων της μονάδας αφαλάτωσης.

Συμφώνα με την μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την πρώτη πλωτή μονάδα στην Ηράκλεια, με αυτές που ακολούθησαν στην συνέχεια παρατηρείται ότι η διάφορα μεταξύ των εργοστασίων είναι μόνο στην ποσότητα παράγωγης ποσίμου νερού της κάθε μονάδας. Η αρχή λειτουργίας και συντήρησης μιας εγκατάστασης είναι ακριβώς η ίδια.

5.3.2. Η αλατότητα του νερού τροφοδοσίας.

Κάθε περιοχή έχει τα δικά της χαρακτηριστικά ένα από αυτά είναι το ποσοστό αλατότητας που περιέχεται στο θαλασσινό νερό. Κάθε περιοχή χρειάζεται συγκεκριμένη μελέτη για το ποσοστό αλατιού που υπάρχει στον συγκεκριμένο θαλάσσιο χώρο, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συγκριθούν κάποιες φορές οι εργοστασιακές μονάδες αφαλατώσεις αν δεν υπάρχουν επίσημα στοιχεία που να εξακριβώνουν τα ποσοστά αλατότητας της περιοχής.

Η αντίστροφη ώσμωση που χρησιμοποιούν τέτοιες μονάδες αφαλάτωσης έρχεται να δώσει την λύση στο πρόβλημα της διακύμανσης της αλατότητας και της σκληρότητας νερού από περιοχή σε περιοχή. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιεί για τον καθαρισμό του νερού τοποθετούνται σύμφωνα με τις μελέτες που πραγματοποιούνται για την ποιότητα του νερού και θεωρείται ένα από τα βασικότερα στάδια. Σκοπός μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι η άριστη ποιότητα ποσίμου νερού, η πειραματικές μελέτες καθορίζουν την κατάλληλη μεμβράνη για κάθε περίπτωση.

5.3.3. Η διαμόρφωση ενεργειακού συστήματος.

Η διαμόρφωση του ενεργειακού συστήματος είναι ίδια και σε όλες τις περιπτώσεις. Η μονάδα θα λειτουργεί με ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ø Η χωρητικότητα αποθήκευσης νερού .

Ο χώρος αποθήκευσης νερού είναι απαραίτητος σε κάθε πλωτή μονάδα αφαλάτωσης. Ακόμα και στην περίπτωση που το νερό της μονάδας αφαλάτωσης είναι οριακό για τους κατοίκους, δηλαδή για τις καθημερινές τους απαιτήσεις αλλά και για την κάλυψη των αναγκών της περιοχής.

Ø Η χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Η ενέργεια που χρειάζεται να αποθήκευση μία εγκατάσταση είναι ανάλογη με τον αριθμό των κατοίκων που πρέπει να καλύψει. Δηλαδή όσο μεγαλύτερος είναι ο πληθυσμός μιας περιοχής που πρέπει να την καλύψει μια μονάδα αφαλάτωσης τόσο μεγαλύτερος και ο χώρος που χρειάζεται για να αποθηκεύει την ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές.

Ø Η διάθεση διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και η τεχνική υποδομή.

Σε όλες τις περιπτώσεις που έχουν τοποθετηθεί πλωτές μονάδες αφαλάτωσης έχει γίνει γεωγραφική μελέτη. Μία τέτοια εργοστασιακή εγκατάσταση πρέπει να είναι τοποθετημένη σε απομακρυσμένες παραλίες όπου δεν είναι προσβάσιμες εύκολα από τους κατοίκους, θα

πρέπει να είναι αρκετά απομακρυσμένη από κατοικημένες περιοχές. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα προβλήματα της μονάδας εντοπίζονται κυρίως μετά από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1. Περιβαλλοντολογικές Επιπτώσεις.

Οι μονάδες αφαλάτωσης παρουσιάζουν κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως είναι από την χρήση της ενέργειας, από την απόρριψη της άλμης και από τον καθαρισμό των μεμβρανών. Επίσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διακρίνονται και κατά την διάρκεια της κατασκευής της μονάδας αφαλάτωσης που δημιουργείται ηχορύπανση, αισθητική ρύπανση και σκόνη, αλλά και κατά το στάδιο της λειτουργίας

6.1.1. Διαχείριση άλμης.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά τη λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι η διαχείριση της άλμης. Η άλμη όπως προαναφέραμε προέρχεται από την επεξεργασία του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού και είναι ένα μείγμα με υψηλή αλατότητα.

Οι λύσεις για την διαχείριση της είναι:

- Ø Η ταφή της στη γη: μπορεί να θεωρείται από την πιο ακατάλληλη λύση αλλά και περιβαλλοντικά απαράδεκτη, αφού αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την ρύπανση των εδαφών και την καταστροφή των καλλιεργούν. Η ταφή της άλμης έχει σαν αποτέλεσμα να καταστρέφει κάθε καλλιέργεια στην ευρύτερη περιοχή μετατρέποντας τα χωράφια σε άγονα για πολλά χρόνια.
- Ø Η διοχέτευση της στη θάλασσα: δεν θεωρείται ακίνδυνη καθώς ελλοχεύει ο κίνδυνος αλλαγής της χημικής σύστασης του θαλασσινού νερού με καταστροφικές συνέπειες για το τοπικό οικοσύστημα.

Η καλύτερη λύση που έχει δοθεί έως σήμερα είναι η επιστροφή της άλμης στο θαλάσσιο χώρο. Η απόρριψη της πρέπει να γίνεται με ένα δεύτερο ρεύμα νερού και μακριά από την περιοχή που αντλεί νερό η μονάδα αφαλάτωσης. Ωστόσο η σωστή διαχείριση της άλμης αυξάνει το κόστος της μονάδας αλλά είναι απαραίτητη για την προστασία το περιβάλλοντος

Άρα η παραγόμενη άλμη από τις μονάδες αφαλάτωσης είναι επιβαρυντική για το περιβάλλον, καθώς περιέχει μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων από το θαλασσινό νερό σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο περιέχει και χημικές ουσίες από την επεξεργασία του νερού λόγω της χλωρίωσης που υπόκειται το νερό προκειμένου να προστατευθούν οι μεμβράνες της Εγκατάστασης. Η απόρριψη της άλμης έχει ως αποτέλεσμα τη διατάραξη της ισορροπίας των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και την καταστροφή της θαλάσσιας πανίδας και χλωρίδας έστω και αν ληφθούν όλα τα μέτρα προστασία που έχουν τεθεί από την νομοθεσία.

Η παραγόμενη άλμη θεωρείται ρυπαντική αφού έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία και συγκέντρωση αλάτων από το θαλασσινό νερό. Στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης υπάρχει συμπύκνωση της εξερχόμενης άλμης κατά 1,3 – 1,7 φορές.

Η απόρριψη της άλμης στη θάλασσα επηρεάζει την ισορροπία των οικοσυστημάτων και των θαλάσσιων ειδών καταστρέφοντας την θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα αφού συνήθως γίνεται χωρίς περιοριστικά μέτρα. Ωστόσο η κατάσταση αυτή επιβαρύνεται από τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία νερού, διότι το αντλούμενο νερό προχλωριώνεται για την προστασία των μεμβρανών – φίλτρων.

Η θάλασσα ανήκει στο φυσικό περιβάλλον με αποτέλεσμα να περιέχει ένα ολόκληρο Οικοσύστημα. Κατά την λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης υπάρχει πρόσκρουση στον αγωγό εισροής από οργανισμούς με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται θνησιμότητα. Επίσης τα αποπλύματα των μεμβρανών απορρίπτονται στην θάλασσα μαζί με την άλμη με αποτέλεσμα την μόλυνση των υδάτων.

Οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν για τις επιπτώσεις της απορριπτόμενης άλμης από τις μονάδες αφαλάτωσης στο θαλάσσιο χώρο απέδειξαν ότι μετά από αρκετά χρόνια καταστρέφεται η χλωρίδα και η πανίδα σε ακτίνα πολλών χιλιομέτρων από τις εγκαταστάσεις του εργοστασίου αφαλάτωσης. Επιπλέον σημαντικό μειονέκτημα της άλμης είναι ότι δεν μπορεί να ταφεί στην γη διότι καταστρέφει την γονιμότητα του εδάφους και κατά συνέπεια τις καλλιέργειες.

Οι ποσότητες της απορριπτόμενης άλμης είναι μεγάλες αφού για την δημιουργία ενός κυβικού γλυκού νερού, απαιτείται άντληση τριών περίπου κυβικών θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Για να μην επηρεάσει η απόρριψη της άλμης το οικοσύστημα της περιοχής που τοποθετείτε η μονάδα αφαλάτωσης θα πρέπει να γίνουν συγκεκριμένες μελέτες όπως βυθομέτρηση, μελέτη ανάγλυφου βυθού και μελέτη κυμάτων.

Συνοπτικά οι πιο συμβατικοί τρόποι απόρριψης της άλμης, είναι:

- Η απόρριψή της απ' ευθείας πίσω στην θάλασσα.
- Η απόρριψη σε γεωτρήσεις ή απ' ευθείας στο έδαφος.
- Η απόρριψη σε σύστημα αποχέτευσης.

Συνοπτικά οι πιο συμβατικοί τρόποι διαχείρισης της άλμης, είναι:

- παραγωγή και συλλογή του αλατιού (ηλιακή λίμνη)
- αποθήκευση της θερμότητας.

Ωστόσο υπάρχουν και μη συμβατικοί τρόποι για την διαχείριση της άλμης και είναι η χρήση της σε υδροβιότοπους και στην ιχθυοκαλλιέργεια και η τεχνική της μείωσης του όγκου της απορριπτόμενης άλμης μέσω μιας δεύτερης βαθμίδας αφαλάτωσης, στην οποία θα εισέρχεται ως νερό τροφοδοσίας η άλμη που παράγεται από την πρώτη βαθμίδα. Αυτοί όμως οι τρόποι παρουσιάζουν σημαντικά μεγάλο κόστος και έτσι δεν έχουν βρει ευρεία εφαρμογή.

6.1.1.1. Γενικοί μέθοδοι διάθεσης της άλμης.

Ανά τον κόσμο εκατοντάδες είναι οι πλωτές μονάδες αφαλάτωσης, και όλες αντιμετωπίζουν το περιβαλλοντικό πρόβλημα που δημιουργείται κατά την απόρριψη της άλμης. Οι πειραματικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για την διάθεση της άλμης από συστήματα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση είναι οι ακόλουθες:

- Ø Στα επιφανειακά νερά: με την μέθοδο αυτή η άλμη απορρίπτεται απευθείας στο υδατικό σύστημα, εγκαθιστώντας μηχανικούς ελέγχους, όπως συσκευές διάχυσης στην εκβολή, με ανάμειξη της άλμης με άλλα υγρά απόβλητων χαμηλής αλατότητας πριν από την τελική απόρριψη.
- Ø Σε σύστημα αποχέτευσης - βιολογικό καθαρισμό: η μέθοδος αυτή θεωρείται μια βιώσιμη επιλογή αν η μονάδα αφαλάτωσης είναι κοντά σε κάποια εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού. Ωστόσο υπάρχουν κάποιες επιφυλάξεις, για τον όγκο και την σύνθεση του αλμόλοιπου σε σχέση με την ικανότητα που έχει ο βιολογικός καθαρισμός να το επεξεργαστεί. Επίσης είναι πολύ πιθανά προβλήματα στον εξοπλισμό από την άλμη που συνήθως εμφανίζονται στα φίλτρα.
- Ø Σε γεωτρήσεις – πηγάδια: η μέθοδος περιλαμβάνει έγχυση του αλμόλοιπου μέσω βαθιών φρεάτων σε βαθιά υδροφόρα στρώματα που περιέχουν ακατάλληλο για πόση νερό. Όμως αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε περιοχές που εμφανίζονται τέτοια στρώματα και οι πιθανότητες ελέγχου της εκροής είναι ανεπαρκής. Ωστόσο υπάρχει αβεβαιότητα ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και πρέπει να τονιστεί ότι είναι ιδιαίτερα ακριβή μέθοδος.
- Ø Σε λίμνες εξάτμισης: οι λίμνες χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες για την παραγωγή και συλλογή αλατιού και την αποθήκευση ενέργειας. Το αλάτι του διαλύματος σχηματίζει κρυστάλλους και καθιζάνει κάνοντας εύκολη τη συλλογή του. Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν το κόστος τέτοιων λιμνών είναι οι δαπάνες εδάφους, τα χωματουργικά, η επένδυση, ο έλεγχος διήθησης και το κόστος διαχείρισης και συντήρησης. Η κρυστάλλωση του χλωριούχου νατρίου ξεκινά σε συγκέντρωση 25.8%.
- Ø Σε λεκάνες διήθησης: στην μέθοδος αυτή το αλμόλοιπο εκρέει σε μία φυσική λίμνη, την έρημο, μπορεί να προκαλέσει αλάτωση των υπόγειων νερών.
- Ø Η τεχνική της μείωσης του όγκου της απορριπτόμενης άλμης: είναι μια μέθοδος που γίνεται μέσω μιας δεύτερης βαθμίδας αφαλάτωσης που θα έχει τη παραγόμενη άλμη από τη πρώτη βαθμίδα ως νερό τροφοδοσίας.

Υπάρχουν επίσης και οι μη συμβατικοί τρόποι διαχείρισης της άλμης όπως είναι η χρήση της σε υδροβιότοπους και η χρήση της στην ιχθυοκαλλιέργεια. Οι μη συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης της άλμης δεν έχουν βρει ευρεία εφαρμογή λόγω του μεγάλου κόστους. Η περισσότερο διαδεδομένη και οικονομική μέθοδος είναι η διάθεση στα επιφανειακά νερά και κυρίως σε παράκτια νερά. Μέθοδος διάθεσης της άλμης σε παράκτια νερά εφαρμόζεται σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων ποικίλης δυναμικότητας.

Η διάθεση στο θαλάσσιο χώρο μπορεί να γίνει με μια από τις ακόλουθες δύο μεθόδους:

- Απευθείας διάθεση με χωριστό υποθαλάσσιο αγωγό διάθεσης
- Διάθεση μαζί με την εκροή της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Η επιλογή της θέσης της διάθεσης άλμης παράκτια νερά με χωριστό αγωγό διάθεσης πρέπει να επιλέγεται αφού ικανοποιεί τα ακόλουθα περιβαλλοντικά κριτήρια:

- Να μην αποτελεί βιότοπο ευαίσθητων ή προς εξαφάνιση θαλάσσιων οργανισμών.
- Να παρατηρούνται ρεύματα ικανά για την ταχεία και αποτελεσματική αραίωση της φλέβας της άλμης.
- Να γειτνιάζει με την ακτογραμμή ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δαπάνες κατασκευής.
- Να μην υπάρχει συχνή διέλευση πλοίων, για την αποφυγή καταστροφών του αγωγού και του λοιπού εξοπλισμού.

Οι γενικές αρχές διάθεσης της άλμης σε παράκτια νερά, ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη μέθοδο, απαιτεί τα ακόλουθα κριτήρια:

- Την εκτίμηση της αρχικής αραίωσης της φλέβας της άλμης στο κοντινό πεδίο και της κίνησης – περαιτέρω αραίωσης της στο μακρινό πεδίο προς τη θέση τροφοδοσίας της εγκατάστασης αφαλάτωσης.
- Την εκτίμηση της πιθανής ολικής τοξικότητας της άλμης.
- Την θέσπιση ορίων ανοχής των υδρόβιων οργανισμών στις συγκεντρώσεις των συστατικών της άλμης, για τις συγκεκριμένες συνθήκες της περιοχής.
- Τον έλεγχο για το αν τα χαρακτηριστικά της εκροής με τις προδιαγραφές για την διάθεση της άλμης, που ισχύουν για τον συγκεκριμένο αποδέκτη.

Τα ποιοτικά κριτήρια για την διάθεση της άλμης σε παράκτια νερά αφορούν στους ακόλουθους παράγοντες:

- Την αύξηση της αλατότητας πάνω από το όριο ανοχής των θαλάσσιων ειδών στην περιοχή διάθεσης.
- Τη συγκέντρωση των θρεπτικών.
- Τη συμβατότητα μεταξύ της σύστασης της άλμης και των χαρακτηριστικών του αποδέκτη.
- Τη συγκέντρωση των μετάλλων.
- Την όχληση των θαλάσσιων οργανισμών (πυθμενικής χλωρίδας και πανίδας) κατά την εγκατάσταση του αγωγού διάθεσης και του λοιπού εξοπλισμού.

Σκοπός για την περιβαλλοντικά ασφαλή διάθεση της άλμης σε παράκτια ύδατα αποτελεί η αραίωση της στο βαθμό που επιβάλλουν οι συνθήκες στον αποδέκτη. Η διεργασία της αραίωσης συνίσταται από την αρχική αραίωση και την περαιτέρω αραίωση.

Η αρχική αραίωση εξαρτάται από:

- Τη διαφορά πυκνότητας μεταξύ του αποδέκτη και της άλμης(συγκέντρωση αλάτων και κλίση της θερμοκρασίας) .
- Την ταχύτητα και την παροχή της διατιθέμενης άλμης και τα χαρακτηριστικά του αγωγού διάθεσης.
- Το βάθος διάθεσης.

Η περαιτέρω αραίωση λαμβάνει χώρα μετά την αρχική αραίωση εξαιτίας των φαινομένων διάχυσης και ανάμειξης από τους κυματισμούς και τα ρεύματα.

Η απόρριψη της άλμης είναι η σπουδαιότερη περιβαλλοντική επίπτωση. Τα απόβλητα των μεμβρανών καθώς και τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό τους απορρίπτονται μαζί με την άλμη. Αυτό καθιστά την άλμη ακόμα πιο ρυπογόνο. Επιπλέον, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται δεν συνυπολογίζουν τα χημικά που προέρχονται από τον καθαρισμό των μεμβρανών με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σωστή διαφύλαξη του περιβάλλοντος.

6.1.2. Καθαρισμός μεμβρανών.

Ο καθαρισμός των μεμβρανών είναι από τα σπουδαιότερα στάδια της αφαλάτωσης και αποτέλεσμα αυτού δεν είναι μόνο η καλύτερη ποιότητα του ποσίμου νερού αλλά και η ρύπανση που δημιουργεί στο περιβάλλον. Η σωστή λειτουργία των μεμβρανών επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του νερού. Η καλή συντήρηση τους και ο καθαρισμός τους αποτρέπει την συχνή τους αλλαγή με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος. Ωστόσο, τα χημικά χρήζουν διαφορετική αντιμετώπιση για την προστασία του περιβάλλοντος. Τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό τους είναι:

- Θεϊκό οξύ.
- Καυστική σόδα.
- Αφαιρετικό αλάτων.
- Χλωρίνη.

Ø Θεϊκό οξύ

Το θεϊκό οξύ ή βιτριόλι είναι χημική ένωση με μοριακό τύπο H_2SO_4 . Είναι πλήρως διαλυτό στο νερό σε όλες τις συγκεντρώσεις. Είναι ανόργανο, ισχυρό οξύ, καυστικό και όταν είναι θερμό και πυκνό προκαλεί την οξειδωση ενώσεων.

Τύπος	H_2SO_4
Μοριακή μάζα	98,079 g/mol
Πυκνότητα	1,84 g/cm ³
Κωδικός IUPAC	Sulfuric acid
Σημείο βρασμού	337 °C
Σημείο τήξης	10 °C

Πίνακας: Χαρακτηριστικά του Θεϊκού οξέως.

Ø Καυστική Σόδα

Το υδροξείδιο του νατρίου ή καυστικό νάτριο ή καυστική σόδα είναι ετεροπολική ένωση με χημικό τύπο NaOH είναι διαλυτό σε νερό, μεθανόλη και αιθανόλη.

Τύπος	NaOH
Μοριακή μάζα	39,997 g/mol
Πυκνότητα	2,13 g/cm ³
Κωδικός IUPAC	Sodium hydroxide
Σημείο βρασμού	318 °C

Πίνακας: Χαρακτηριστικά της καυστικής σόδας.

Ø Αφαιρετικό Αλάτων

Τα αφαιρετικά αλάτων δημιουργούνται από ένα ισχυρό συνδυασμό οξέων, ώστε να είναι αποτελεσματικά στην αφαίρεση αλάτων. Με την κατάλληλη διάλυση τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και στις πιο ευαίσθητες επιφάνειες χωρίς να τις διαβρώσουν.

Τα περισσότερα αφαιρετικά αλάτων περιέχουν:

- Γαλακτικό οξύ
- Μη ιονικά τασιενεργά

▼ Γαλακτικό οξύ.

Το 2-υδροξυπροπανικό οξύ ή α-υδροξυπροπανικό οξύ ή γαλακτικό οξύ είναι μια χημική ένωση που έχει σημαντικό ρόλο σε αρκετές βιοχημικές διεργασίες. Είναι ένα α-υδροξυοξύ, έχει χημικό τύπο C₃H₆O₃ και σύντομο συντακτικό τύπο CH₃CHCOOH.

Τύπος	C ₃ H ₆ O ₃
Μοριακή μάζα	90,08 g/mol
Κωδικός IUPAC	2-Hydroxypropanoicacid
Σημείο βρασμού	122 °C
Σημείο τήξης	16,8 °C

Πίνακας: Χαρακτηριστικά του γαλακτικού οξέως.

▼ Μη ιονικά τασιενεργά.

Στην ομάδα τασιενεργών τα μόρια τους δεν έχουν κάποια συγκεκριμένη φόρτιση. Η εφαρμογή τους γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη, διότι παρουσιάζουν περιορισμένη ευαισθησία στη σκληρότητα του νερού και έτσι μπορούν να δρουν και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Μέχρι τώρα κυριαρχεί το ιδιαίτερα ρυπογόνο και επικίνδυνο APEO=Alkylphenolethoxylate. Τα τασιενεργά υπόλοιπά του ακόμη και των νεότερων εφευρέσεων μετά τη πρωτογενή αποικοδόμηση είναι πιο επικίνδυνα και από τα αρχικά τασιενεργά.

Ø Χλωρίνη.

Η χλωρίνη είναι διάλυμα NaClO περιεκτικότητας από 3% έως 6%, ανάλογα με τον κατασκευαστή. Έχουν χρώμα υποκίτρινο, έχουν έντονη οσμή χλωρίου και είναι καυστικά. Η πυκνότητα ενός διαλύματος 6% είναι περίπου 1,1 gr/cm³. Η δραστηριότητα ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου εξαρτάται από το χρόνο που μεσολαβεί ανάμεσα στην παρασκευή και στη χρήση του. Η χλωρίνη μπορεί να υποστεί υδρόλυση είτε βρίσκεται σε ανοιχτό είτε βρίσκεται σε κλειστό δοχείο. Η υδρόλυση είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Χημικά, το υποχλωριώδες νάτριο είναι ισχυρό οξειδωτικό σε περιεκτικότητες άνω του 40%, ενώ θεωρείται μετρίου οξειδωτικότητας σε διαλύματα κάτω του 40%, όπως η χλωρίνη. Ωστόσο, επειδή ως σταθεροποιητής της διάσπασης του γίνεται αυτόματα, περιέχεται καυστικό νάτριο (NaOH), τα χλώρια είναι διαβρωτικά και δηλητηριώδες αν καταποθούν. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλα χημικά καθαριστικά, επειδή είναι δραστικά και αντιδρούν εύκολα με αυτά. Μερικές αντιδράσεις παράγουν ελεύθερο οξυγόνο, ενώ άλλες είναι δυνατό να παράγουν ελεύθερο αέριο χλώριο, το οποίο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο δηλητήριο.

6.1.2.1. Λόγοι που επιβάλλουν την εφαρμογή χημικών καθαριστικών.

Οι λόγοι που επιβάλλουν την εφαρμογή του χημικού καθαρισμού είναι οι εξής:

- Μειωμένη απόδοση των επιφανειών με συνέπεια σπατάλη καυσίμου και ενέργειας.
- Συχνές διαρροές και φθορές λόγω διαβρωτικών αντιδράσεων.
- Επικείμενη λεπτομερής επιθεώρηση για ανίχνευση ζημιών.
- Μειωμένη ροή υγρών.
- Εισαγωγή στο σύστημα υγρών επικίνδυνων στην ασφάλεια.
- Εισαγωγή στο σύστημα υγρών επικίνδυνων στην υγιεινή.
- Προκαταρκτικός καθαρισμός πριν την εισαγωγή στο σύστημα ευαίσθητων ουσιών.
- Προκαταρκτικός καθαρισμός για να μηδενιστεί η πιθανότητα προβλημάτων κατά την έναρξη λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

6.1.2.2. Μέθοδοι χημικού καθαρισμού.

Οι μέθοδοι για να πραγματοποιηθεί ένας χημικός καθαρισμός είναι οι εξής:

- Ψεκασμός
- Εμβάπτιση
- Αφρισμός
- Πλήρωση
- Ανακυκλοφορία

Ο χημικός καθαρισμός απαιτεί κάποιες προδιαγραφές κατά την εκτέλεση του, ώστε να είναι αποτελεσματικός και ασφαλής. Απαιτεί την χρήση προσωρινής εγκατάστασης για ανακυκλοφορία των υγρών καθαρισμού μέσω της μονάδας που απαιτεί καθαρισμό.

Τα μέρη αυτής της προσωρινής εγκατάστασης είναι τα ακόλουθα :

- Ειδικές αντλίες και σωληνώσεις αντοχής σε διαβρωτικά χημικά που συνδέονται στην είσοδο και έξοδο της προς καθαρισμό μονάδας.
- Δεξαμενή αντοχής σε διαβρωτικά χημικά, κατάλληλου μεγέθους για την ανακυκλοφορία των υγρών καθαρισμού και για την διάλυση των χημικών καθαρισμού.
- Έλεγχος αλκαλικότητας, οξύτητας των κυκλοφορούντων υγρών και των διαλελυμένων μετάλλων, ήτοι την διάθεση ενός προσωρινού χημικού εργαστηρίου.
- Ειδικότερα σε μονάδες αφαλάτωσης απαιτείται η προσωρινή εγκατάσταση και λειτουργία εκτεταμένης εγκατάστασης για έναν ασφαλή χημικό καθαρισμό

6.1.3. Επιπτώσεις από ΑΠΕ.

Μία μονάδα αφαλάτωσης απαιτεί αρκετά μεγάλες ποσότητες ενέργειας, η οποία εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη ενός συστήματος ανάκτησης της άλμης που να μπορεί να την μετατρέψει σε ενεργεία.

Η χρήση συμβατικών καυσίμων παράγει αέριους ρύπους προς το περιβάλλον όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), διοξείδιο του θείου (SO₂) και οξειδίων του αζώτου (NO_x), καθώς και στερεά σωματίδια έχουν σαν αποτέλεσμα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό συνιστάται ο συνδυασμός των μονάδων αφαλάτωσης με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Ο συνδυασμός αυτών των τεχνολογιών είναι εφαρμόσιμος και τεχνοοικονομικά εφικτός. Για την λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρει μια λύση εφικτή τεχνολογικά, περιβαλλοντικά συμβατή ειδικά σε περιοχές με σημαντικό δυναμικό των ΑΠΕ.

Για την εφαρμογή των ΑΠΕ στις μονάδες αφαλάτωσης η κύρια κινητήρια δύναμη είναι η εποχιακή διακύμανση της ζήτησης του νερού, αυτό όμως μπορεί να συμβεί όταν

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι σε υψηλή διαθεσιμότητα. Στην περίπτωση που η διαθεσιμότητα του συμβατικού ενεργειακού εφοδιασμού είναι περιορισμένη λόγω των απομακρυσμένων και δύσβατων περιοχών, η επάρκεια των ΑΠΕ σε αυτές τις περιοχές (νησιά), έχει σαν αποτέλεσμα με τη βοήθεια της τεχνολογικής προόδου να επετεύχθη το σύστημα της αφαλάτωσης.

Το πλεονέκτημα του περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συμβατικών συστημάτων αφαλάτωσης, η σχετική ευκολία της εγκατάστασης αλλά και συντήρησης αυτής, σε σύγκριση με συμβατικά ενέργειας δίνει το βήμα για την υλοποίηση του σχεδίου και σε άλλες εφαρμογές.

Οι παράγοντες που κρίνουν την κατάλληλη επιλογή των ΑΠΕ για μία τεχνολογία αφαλάτωσης είναι η απαιτούμενη ποσότητα του πόσιμου νερού (τις ικανότητες του εργοστασίου ποσά κυβικά νερό μπορεί να παράγει), η αλμυρότητα του νερού, η μεγάλη απόσταση από τις κατοικημένες περιοχές, η διαθεσιμότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και η τεχνική υποδομή.

Κάθε τεχνολογία αφαλάτωσης αλλά και κάθε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας έχει τα δικά της χαρακτηριστικά. Οι επιστήμονες αναζήτησαν το βέλτιστο αποτέλεσμα, πειραματίστηκαν με διάφορους συνδυασμούς των δύο συστημάτων και κατέληξαν σε κάποια συμπεράσματα σύμφωνα με τις δυνατότητες κάθε συνδυασμού (Καούρης και Σαλαμαλίκης, 2012).

Για να έχουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα ενός τέτοιου συνδυασμού τεχνολογιών θα πρέπει να υπολογίσουμε διάφορους παραμέτρους όπως είναι :

- Το δυναμικό των ΑΠΕ (αιολικό, ηλιακό).
- Η ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού (υφάλμυρο ή θαλασσινό).
- Ικανότητα του συστήματος να παρέχει σταθερή ισχύ και συνεχή λειτουργία (να υπάρχει σχεδιασμός για αποθήκευση ενέργειας).

6.1.4. Χημική, Αισθητική και Ηχητική Ρύπανση.

Ένας σημαντικός περιβαλλοντικός κίνδυνος είναι η χημική ρύπανση του θαλασσινού νερού, οπότε αυτή προέρχεται από διάφορους παράγοντες όπως τα προϊόντα διάβρωσης, η προσθήκη αντισκωριακών μέσων, οξέων, απολυμαντικών μέσων αλλά και αντιδραστηρίων κατά του αφρισμού και κροκιδωτικών.

Σε πολλές περιπτώσεις η άλμη κατά την έξοδο της από την μονάδα αφαλάτωσης περιέχει μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων λόγω διάβρωσης των εσωτερικών επιφανειών. Τα μέταλλα αυτά είναι ο χαλκός, το χρώμιο, ο ψευδάργυρος και το νικέλιο. Στις περιπτώσεις μεθόδων με εξάτμιση και αντίστροφη ώσμωση τα μέταλλα που απορρίπτονται είναι ο σίδηρος, το νικέλιο, το χρώμιο και το μολυβδαίνιο. Τα βαρέα μέταλλα επιδρούν στους οργανισμούς και στο περιβάλλον αφού απορροφώνται από τα αιωρούμενα στερεά και με την συσσώρευσή τους στα ιζήματα.

Στην μέθοδο εξάτμισης και στη μέθοδο της αντίστροφής ώσμωσης προστίθενται αντισκωριακά που έχει ως παρενέργεια τον τοπικό ευτροφισμό λόγω του πολυφωσφορικού οξέος που υδρολύεται προς ορθοφωσφορικό οξύ. Η προσθήκη οξέων επηρεάζει το pH του θαλασσινού νερού. Το όξινο θαλασσινό νερό αποβάλλεται στην θάλασσα και ο χρόνος που απαιτεί για να το αφομοιώσει το ίδιο το περιβάλλον είναι μεγάλος, με αποτέλεσμα τις αρνητικές επιδράσεις στους οργανισμούς.

Μια ακόμα περιβαλλοντική επίπτωση είναι η ενδεχόμενη αισθητική ρύπανση με την τοποθέτηση μονάδων αφαλάτωσης σε παραθαλάσσιες περιοχές. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η χωροθέτησή μιας τέτοιας μονάδας γίνεται μακριά από αρχαιολογικούς χώρους και τουριστικά θέρετρα.

Ωστόσο θα πρέπει να αναφερθεί και η περιβαλλοντική επίπτωση της Ηχορύπανσης, η οποία δημιουργείται τόσο στο στάδιο της κατασκευής της μονάδας αφαλάτωσης, όσο και στο στάδιο λειτουργίας της. Για παράδειγμα οι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιούν αντλίες υψηλής πίεσης, συστήματα ανάκτησης ενέργειας και τουρμπίνες νε αποτελεσμα η ηχορύπανση να είναι ένα από τα φυσικά επακόλουθα της λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης (Καούρης και Σαλαμαλίκης, 2012).

Συνοψίζοντας οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας μονάδας αφαλάτωσης με την μέθοδο της αντίστροφη ώσμωση είναι οι εξής:

- Ηχητικών οχλήσεων
- Παρεμβολή με την πρόσβαση του κοινού στις ακτές
- Οπτικές διαταραχές
- Αφαίρεση των υφάλμυρων υπόγειων υδάτων
- Απαλλαγή από άλμη
- Χρήσεις γης
- Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ατμού.

Αν και η πλωτή μονάδα αφαλάτωσης έχει αρκετές αρνητικές επιπτώσεις υπάρχει και το θετικό αντίκτυπο της στο περιβάλλον. Η μειωμένη ζήτηση του νερού από συμβατικούς πόρους της δίνει το προβάδισμα για νέες μελέτες και αντιμετώπιση των αρνητικών της επιπτώσεων.

ΒΑΣΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ, ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΛΜΗΣ				
Τεχνολογία	kg CO₂/m³	gr NO_x/m³	gr SO_x/m³	Σκόνη/m³ νερού (g/m³)
Πολυβάθμια Εξάτμιση	1,98 - 23,41	4,46 - 28,30	11,34 - 28,01	1,02
Απόσταξη πολλαπλών Βαθμίδων	1,19 - 18,05	2,53 - 21,43	15,74 - 26,31	2,04
Αντίστροφη Ώσμωση	1,75 - 2,79	2,05 - 4,05	2,79 - 11,13	2,07

Πίνακας 6.1.: Βασικά περιβαλλοντικά στοιχεία των αέριων ρύπων και της διαθέσιμης άλμης.

6.2. Κόστος Πλωτής Μονάδας Αφαλάτωσης.

Το κόστος των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Κόστος αρχικής επένδυσης
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Κόστος παραγόμενου νερού

6.2.1. Αρχική επένδυση.

Το κόστος της αρχικής επένδυσης περιλαμβάνει:

- Τη μελέτη
- Την κατασκευή
- Τη δανειοδότηση
- Την έκδοση άδειας εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης.

Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία που περιλαμβάνεται στο αρχικό στάδιο επένδυσης χρειάζεται διαφορετική μεταχείριση. Το αρχικό στάδιο είναι και το σπουδαιότερο. Η μελέτη της μονάδας αφαλάτωσης περιλαμβάνει πολλά στάδια μέχρι την τελική διαμόρφωση της εγκατάστασης. Οι πειραματικές μελέτες τις ποιότητας του νερού της θάλασσας που θα τοποθετηθεί η εγκατάσταση και οι μελέτες επιλογής κατάλληλων μεμβρανών για τον καθαρισμό του και την αφαλάτωση του, αυξάνει το κόστος της εργοστασιακής μονάδας.

Το μέγεθος της μονάδας είναι ανάλογο με τους κατοίκους των περιοχών που θέλει να καλύψει και είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες του κόστους. Όπως προαναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εργοστασιακή μονάδα αφαλάτωσης χρειάζεται συγκεκριμένα στοιχεία για να παράγει το νερό που θα καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες. Όσο περισσότερη είναι η ανάγκη νερού τόσο μεγαλύτερη και η μονάδα. Η αύξηση των τετραγωνικών για την εγκατάσταση αλλά και ο μεγαλύτερος εξοπλισμός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους κατασκευής.

Τέλος η δανειοδότηση και η έκδοση της άδειας της εγκατάστασης αυξάνουν με την σειρά τους το κόστος του εργοστασίου. Ωστόσο δεν είναι παράγοντες που αυξομειώνονται με αποτέλεσμα να μην δημιουργούν έντονη αλλαγή του προϋπολογισμού.

6.2.2. Λειτουργία και συντήρηση.

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης περιλαμβάνει το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού που χρειάζεται, τα αναλώσιμα και τα ανταλλακτικά που επιβάλλεται κατά τον έλεγχο της συντήρησης και την λύση κάποιων προβλημάτων που ίσως δημιουργηθούν κατά την λειτουργία.

Όλα αυτά αποτελούν το σταθερό κόστος για μία εργοστασιακή μονάδα αφαλάτωσης, αφού δεν εξαρτώνται από την ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού. Οι παράγοντες του κόστους αυτού είναι τα εργατικά, η συντήρηση του εξοπλισμού, ο τεχνικός έλεγχος, τα κόστη για την περιβαλλοντική προστασία από την μονάδα αφαλάτωσης, τα κόστη ασφάλισης και διοίκησης.

Παρατηρήσουμε ότι και σε αυτή την κατηγορία παίζει σημαντικό ρόλο η επιλογή των σωστών μεμβρανών. Όπως προαναφέραμε οι μεμβράνες είναι υπεύθυνες για την ποιότητα του νερού, των διαχωρισμό των αλάτων και μικροσωματιδίων, με αποτέλεσμα να έχουν άμεσο αντίκτυπο στην προστασία του περιβάλλοντος της θάλασσας. Η αύξηση του κόστους από την συντήρηση των μεμβρανών και την αντικατάσταση αυτών όποτε θεωρηθεί απαραίτητο ανεβάζει το κόστος της μονάδας.

6.2.3. Παραγόμενο Νερό.

Το παραγόμενο νερό μια μονάδας αφαλάτωσης είναι μεταβλητό κόστος εξαρτάται από την παραγόμενη ποσότητα του. Αναφέρεται στην ενέργεια που καταναλώνεται, την απαιτούμενη χημική επεξεργασία που χρειάζεται, την αντικατάσταση ανταλλακτικών που φθείρονται και την απομάκρυνση άλμης. Συχνά το ενεργειακό κόστος ξεπερνά το 50 % του μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χημική επεξεργασία του νερού που παράγεται εξαρτάται άμεσα από τις λειτουργία των μεμβρανών. Οι πειραματικές μελέτες που περιλαμβάνει το αρχικό στάδιο προσπαθούν να μειώσουν την χημική επεξεργασία, χωρίς όμως να υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού. Τα ανταλλακτικά τις εγκαταστάσεις κυμαίνονται σε όλο το φάσμα τιμών. Ωστόσο, σε αυτήν την κατηγορία το κόστος της απομάκρυνσης της άλμης είναι του σπουδαιότερο.

6.2.4. Κόστος άλμης.

Για την αξιολόγηση της δυνατότητας της μεταφοράς άλμης που παράγεται από μονάδες αφαλάτωσης σε αλυκές για την παραγωγή αλατιού, θα πρέπει να συλλεχτούν δεδομένα σχετικά με τις θέσεις των μονάδων αφαλάτωσης και των αλυκών στην Ελλάδα.

Στην Ελλάδα υπάρχουν φυσικές και τεχνικές αλυκές, μερικές από αυτές αποτελούν σημαντικό υγρότοπο σε οικοσυστήματα. Με τις πληροφορίες που εισάγονται στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS), γίνονται εκτεταμένες έρευνες για την πιθανή τοποθέτηση μονάδων αφαλάτωσης και σε άλλες περιοχές στον Ελλαδικό χώρο.

Η χαρτογράφηση των δεδομένων στο GIS, διευκολύνει τους ερευνητές για την επιλογή των περιοχών που έχουν την δυνατότητα για μία τέτοια εγκατάσταση, αφού παρουσιάζονται αναλυτικά οι τοποθεσίες των αλυκών, τις αποστάσεις μεταξύ τους, της εγγύτητάς τους σε λιμάνια ή τις διαδρομές χερσαίων μεταφορών, καθώς και τους διάφορους τρόπους μεταφοράς που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να φτάσουμε στο στόχο μας.

Ο σημαντικότερος παράγοντας για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας της μεταφοράς της άλμης είναι η μηδενική απόρριψη της στο θαλάσσιο οικοσύστημα και το κόστος της. Μια πρόχειρη εκτίμηση του κόστους, προσθέτοντας το κόστος της μεταφοράς άλμης από πλοία και ειδικά φορτηγά έχουν προκύψει από τις είδη υπάρχουσες μονάδες αφαλάτωσης.

Το κόστος της μεταφοράς άλμη με φορτηγό, έχει μέση τιμή 0,24 €/ χλμ / άλμης και πολλαπλασιάζεται με τη διανυόμενη απόσταση, με αποτέλεσμα να εκτιμηθεί το κόστος διακίνησης των φορτηγών. Η μεταφορά με πλοίο δεν υπολογίζεται με τιμή ανά χιλιόμετρο, αλλά με δύο τιμές ανά τετραγωνικό m^3 της άλμης. Για μεταφορά άλμης από νησί σε νησί υπολογίζεται σε 4,8 €/ m^3 , και για μεταφορά άλμης από την ηπειρωτική στα νησιά 8,21 €/ m^3 .

6.2.5. Υπολογισμός ολικού κόστους μονάδας αφαλάτωσης.

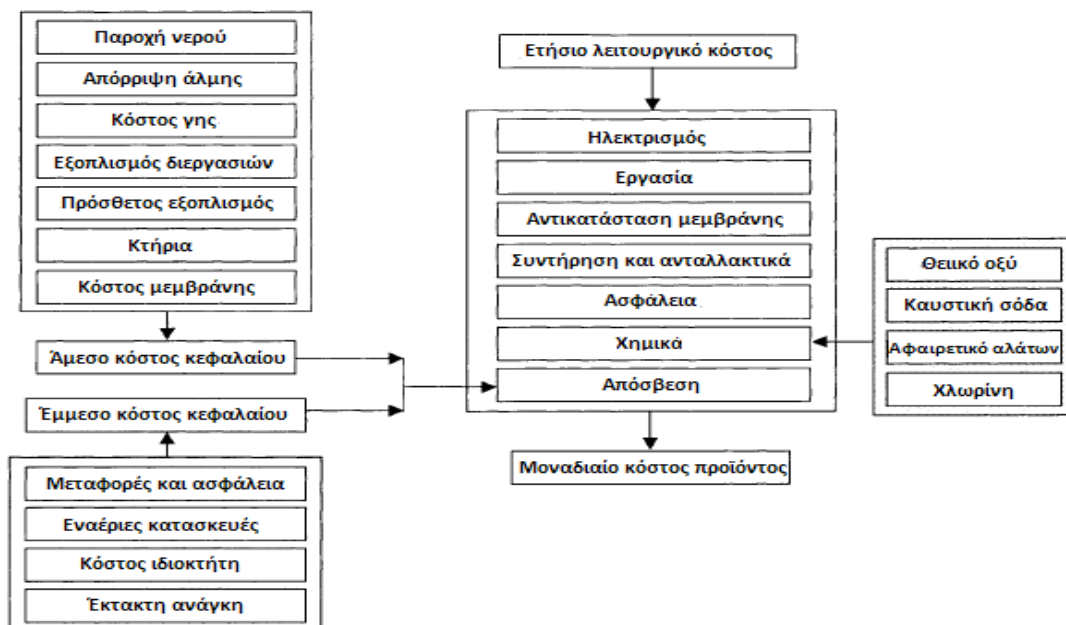
Για τον υπολογισμό μία μονάδας αφαλάτωσης είναι προφανές ότι θα πρέπει να συνυπολογιστούν τα κόστη που προαναφέραμε. Μία εργοστασιακή μονάδα αφαλάτωσης είναι σε θέση να παράγει πάνω από 70 m^3 / ημέρα, ποσότητα αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες των περίπου 300 άτομα. Συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης, ο χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης είναι μόνο 2 χρόνια, όμως ο μέσος όρος είναι συνήθως 10 χρόνια μετά την επένδυση.

Μετά την απόσβεση της μονάδας, η παραγωγή του νερού θα είναι χωρίς κόστος. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του ολόκληρου του συστήματος κυμαίνεται στα 20 χρόνια. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει δίνουν το βήμα για μελλοντική εξέλιξη.

Η πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης κόστισε 2,8 εκατ. € για την κάλυψη 300 κατοίκων, ενδεχομένως το κόστος των νέων μονάδων να μειώνεται σημαντικά, αφού τα αρχικά στάδια της μελέτης της κατασκευής έχουν πραγματοποιηθεί. Ωστόσο, το κόστος αυξομειώνεται με το πέρασμα του χρόνου, με τις νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την αναβάθμιση της ποιότητας του νερού.

Συμπέρασμα όλων αυτών είναι ότι το κόστος μιας πλωτής μονάδας αφαλάτωσης εξαρτάται από το μέγεθός της μονάδας από τους κατοίκους δηλαδή που θέλει να καλύψει, επιπλέον από την μελέτη που θα χρειαστεί για την κατασκευή της, αν και θα πρέπει να σημειωθεί ότι έχει ένα κάλο υπόβαθρο μελέτης της αρχικής μονάδας. Με αποτέλεσμα το κόστος των νέων μονάδων να είναι αισθητά χαμηλότερο.

Ωστόσο, τα προβλήματα της διαδικασίας σχετίζονται με την υψηλή ζήτηση ενέργειας, τη χρήση χημικών ουσιών, καθώς και τη διάθεση της άλμης. Για το κόστος κατασκευής μιας μονάδας αφαλάτωσης παίζουν ρολό όλοι οι παράμετροι.



Διάγραμμα 6.1.: Παράμετροι κόστους πλωτής μονάδας αφαλάτωσης.

6.3. Στρατηγικές μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η τοποθέτηση μία μονάδας αφαλάτωσης επηρεάζει σημαντικά το περιβάλλον μίας περιοχής. Κάθε μονάδα αφαλάτωσης συνοδεύεται με τις περιβαλλοντικές της επιπτώσεις. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να μετριαστούν με συγκεκριμένες στρατηγικές, δίνοντας ένα σεβαστό αποτέλεσμα.

Αρχικά τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούν οι μονάδες αφαλάτωσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αντικατασταθεί με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με αποτέλεσμα την μείωση της εκπομπής των αέριων ρύπων. Οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για την αποφυγή της ρύπανσης του περιβάλλοντος αλλά και για οικονομικούς λόγους. Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από την αφθονία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ειδικότερα σε περιοχές που τοποθετούνται οι πλωτές μονάδες

αφαλατώσεις, η αιολική και ηλιακή ενέργεια μπορούν να στηρίξουν αποκλειστικά μια τέτοια εργοστασιακή μονάδα.

Ωστόσο, η σημαντικότερη περιβαλλοντική επίπτωση των μονάδων αφαλάτωσης είναι το θαλάσσιο περιβάλλον. Η απόρριψη της άλμης στην θάλασσα δημιουργεί την καταστροφή του θαλάσσιου κόσμου. Η αυξημένη θερμοκρασία της άλμης και η απότομη αύξηση της αλατότητας είναι οι κύριοι παράγοντες ρύπανσης.

Τα πρώτα αποτελέσματα από την παρακολούθηση των υπερ-αλατούχων λυμάτων που προέρχονται από μονάδες αφαλάτωσης είναι περίπλοκα και χρειάζονται συγκεκριμένες μελέτες. Από πειραματικές μελέτες που έχουν γίνει στον Ελλαδικό χώρο θεωρείται ότι οι οικότυποι στην χώρας μας είναι ευαίσθητοι στις υψηλές τιμές της αλατότητας που προέρχεται από την απαλλαγή της άλμης. Η λύση της απορριπτόμενης άλμης είναι η μεταφορά στις αλυκές και η παραγωγή του αλατιού για ανθρώπινη χρήση, υστέρα από συγκεκριμένη επεξεργασία.

Επιπλέον, η ηχορύπανση γύρω από τις εργοστασιακές μονάδες αφαλάτωσης είναι ένα αρνητικό αντίκτυπο. Οι υψηλές αντλίες πίεσης και τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες, παράγουν θορύβου που πολλές φορές ξεπερνά τα 90 dB. Ωστόσο, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε την αρνητική επίπτωση στις χρήσεις γης και της αισθητικής ρύπανσης. Η λύση αυτών επιπτώσεων δίνετε μόνο στην περιοχή εγκατάστασης της μονάδας, οι παράκτιες απομακρυσμένης περιοχές μειώνουν την σπουδαιότητα των επιπτώσεων.

Η συντήρηση μια πλωτής μονάδας αφαλάτωσης έχει σοβαρές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ο καθαρισμός των μεμβρανών γίνεται με διάφορα χημικά προϊόντα τα οποία απορρίπτονται στην θάλασσα. Όταν γίνεται ακαταλόγιστη χρήση των χημικών αναταράσσουν και μολύνουν το θαλάσσιο περιβάλλον.

Τα πιο χημικά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των μεμβρανών είναι:

- Θεικό οξύ
- Καυστική σόδα
- Αφαιρετικό αλάτων
- Χλωρίνη

Η δραστική ικανότητα τους δίνει τα επιθήματα αποτελέσματα καθαρισμού των μεμβρανών, ωστόσο η δραστική τους επίπτωση στο περιβάλλον είναι αντιστρεπτή αφού καταστρέφουν το θαλάσσιο οικοσύστημα. Η άλμη και τα χημικά προϊόντα δημιουργούν δυνητικά αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

6.3.1. Επιλογή και χρήση Χημικών.

Κάθε πρόβλημα έχει την δυνατότητα να λυθεί με διάφορα χημικά προϊόντα. Υπάρχουν παρά πολλές επιλογές και μπορεί να γίνει και συνδυασμός προϊόντων για να υπάρξει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή τους εξαρτάται από κάποιους παράγοντες οι οποίοι είναι:

- Η φύση των αποθέσεων.
- Το κόστος.
- Η δραστικότητα.
- Η τοξικότητα.
- Η διαβρωτικότητα των χημικών προϊόντων.
- Η ασφάλεια των εργαζομένων.
- Η ασφάλεια της μονάδας.
- Η προστασία του περιβάλλοντος.

Τα περισσότερα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται για καθαρισμό μεμβρανών ανήκουν στην κατηγορία των επικίνδυνων (hazardous), συνεπώς για λόγους ασφάλειας, πρέπει:

- Να είναι τα κατάλληλα ως προς την αποτελεσματικότητα και συγχρόνως να μη προκαλούν διάβρωση και φθορά στις μεμβράνες αλλά και στην εγκατάσταση.
- Να χρησιμοποιούνται με μέγιστη προσοχή, είναι επικίνδυνα,
- Να μεταφέρονται και αποθηκεύονται σε συνδυασμό με την άμεση διαθεσιμότητα και γνώση των (MSDS) απαραίτητων γραπτών μέτρων ασφάλειας των εργαζόμενων
- Να διατίθενται σε συνδυασμό με πλήρη γνώση πρώτων βοηθειών σε περίπτωση ατυχήματος και μέτρων καταπολέμησης ρύπανσης σε περίπτωση διαρροής.

6.3.2. Στάδια χημικού καθαρισμού των μεμβρανών.

Οι μεμβράνες όταν πρέπει να υποστούν καθαρισμό πρέπει να ακολουθήσουν συγκεκριμένα βήματα, ώστε να υπάρχει η μέγιστη ασφάλεια προσωπικού αλλά και η διαφύλαξη του θαλασσίου περιβάλλοντος. Τα στάδια του χημικού καθαρισμού των μεμβρανών είναι τα εξής:

- Απομόνωση της εγκατάστασης.
- Συνδεσμολογία του δικτύου ανακυκλοφορίας.
- Προκαταρκτικός έλεγχος για διαρροές ανακυκλοφορώντας μόνο νερό και όχι χημικά.
- Ανακυκλοφορία των διαλυμάτων των χημικών προϊόντων.
- Εκκένωση της δεξαμενής, εξουδετέρωση των αποβλήτων και απομάκρυνση του προς νόμιμο κατεύθυνση.
- Πλύσιμο μέχρι πλήρους απομάκρυνσης των υπολειμμάτων.

Όλα τα στάδια είναι απαραίτητα για την διαδικασία του καθαρισμού των μεμβρανών. Οι χρήσιμες χημικές είναι πολύ επικίνδυνες όχι μόνο κατά την διαδικασία καθαρισμού. Η απόρριψή τους στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτα προβλήματα.

Υπάρχει σχετική νομοθεσία για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων. Ωστόσο, σε αυτές τις νέες τεχνολογίες δεν έχουν γίνει ακόμα φανερές οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.

6.3.3. Η σπουδαιότητα της διαδικασίας του χημικού καθαρισμού των μεμβρανών.

Κατά την διάρκεια του χημικού καθαρισμού απαιτείται συνεχής παρακολούθηση της εργασίας. Πρέπει να υπάρχει κατάλληλο προσωπικό, εκπαιδευμένο και με εμπειρία. Επίσης, πρέπει να υπάρχουν επιβλέποντες μηχανικοί και τεχνίτες για όλη την διάρκεια του καθαρισμού, αφού δεν μπορεί να διακοπεί μέχρι την περάτωση του. Απαραίτητοι είναι και οι χημικοί μηχανικοί γιατί ο καθαρισμός μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι πολύ επικίνδυνος.

Υπάρχει σχετική νομοθεσία για την προστασία του περιβάλλοντος από τις μονάδες αφαλάτωσής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η νομοθεσία θεωρείται ελαστική, και δεν έχει καλύψει το εύρος των αρνητικών επιπτώσεων μίας τέτοιας εργοστασιακής μονάδας. Αυτό ίσως οφείλεται στο μικρό χρονικό διάστημα που λειτουργούν οι μονάδες, αφού είναι νέας τεχνολογίας και δεν είναι ακόμα ορατές οι σοβαρές επιπτώσεις που μπορούν να δημιουργηθούν με το πέρασμα των χρόνων στο θαλάσσιο οικοσύστημα.

Βιβλιογραφία

1. Καλλίτσης Νικολάος, 2012, *Αντίστροφη ώσμωση με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
2. Ράπτης Βασίλειος, 2009, *Φυσικοί διαχωρισμοί μέσω μεμβρανών*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα.
3. Ξιάρχος Ιωάννης, 2006, *Συμβολή στον χαρακτηρισμό των μεμβρανών*, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πανεπιστήμιο.
4. Ευθύμιος Νταράκας, 2010, *Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
5. Καούρης Κωνσταντίνος και Σαλαμαλίκης Ευάγγελος, 2012, *Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης μελέτη και εγκατάσταση στους Λειψούς*, Πάτρα, Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας.
6. Ευθύμιος Νταράκας, 2010, *Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού*, Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
7. Mohamed A. Eltawil, Zhao Zhengming, Liqiang Yuan, 2009, *A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems*.
8. Καθηγητής ΕΜΠ Ασημακόπουλος Δ., 2001, *Desalination Powered by Renewable Energy Sources*, Αθήνα.
9. Υφαντής Νίκος (Τεχνικός Διευθυντής, SYCHEM A.E.), 2010, *Συνδυασμός αιολικής ενέργειας και αντίστροφης ώσμωσης: Το σύστημα της Μήλου*, Αθήνα.
10. Μπάτσος Δημήτριος, 2011, *Μαθηματική προσομοίωση διαθέσιμης άλμης σε παράκτιες περιοχές με το μοντέλο *commix**, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
11. Τζεν Ελευθερία, 2001, *Μέθοδοι Αφαλάτωσης - Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου*, Αθήνα.
12. Nafiz Kahraman, Yunus A. Cengel, 2009, *Exergy analysis of a MSF distillation plant*.
13. Αλέξανδρος Σ. Αλεξάκης, 2003, *Αφαλάτωση*, Αθήνα.
14. James E. Miller, 2003, *Review of water resources and desalination technologies*.
15. Τζεν Ελευθερία, 2010, *Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ*, Αθήνα.
16. Τζεν Ε., Θεοφιλογιαννάκος Δ., Κολογίος Ζ., 2007, *Autonomous reverse osmosis units driven by RE sources experiences and lessons learned*, Αθήνα.
17. Δεληγιάννη Ε., Μπελεσιώτης Β., 1995, *Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης*, Αθήνα
18. http://ipac.kacst.edu.sa/edoc/2011/194808_1.pdf
19. <http://membrane.ustc.edu.cn/paper/pdf/>
20. <http://sikam.wordpress.com/2008/01/11/>
21. http://www.istellas.gr/aquarium/images/menubar/aq_water/reverse_osmosis_flow.jpg
22. <http://www.gonatural.gr>
23. <http://green-mech.gr/>
24. <http://news.pathfinder.gr/periscopio/cheap-solar-power.html>
25. <https://www.google.gr/search?hl=el&tbn=isch&sa>
26. <http://www.systems-sunlight.com/>

27. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_0940_scr.pdf
28. <http://www.martinfrost.ws/htmlfiles/desalination.html>
29. <http://www.rodiki.gr/article.php>
30. http://olafree.blogspot.com/2011/12/blog-post_3652.html
31. <http://www.kykladesnews.gr/islands/greece-islands-irakleia>
32. <http://technologein.pathfinder.gr/desalination/>
33. <http://www.tanea.gr/ellada/article/?aid=4701878>
34. <http://www.tovima.gr/society/article/?aid=381115>
35. http://greekforests.blogspot.com/2011/12/blog-post_3873.html
36. <http://www.hellaskps.gr/bestpractices/proj.asp?pId=77>
37. <http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=172228>
38. http://ellinikafipnisis.blogspot.com/2009_06_12_archive.html
39. <http://www.keawest.gr/b/viewtopic.php?f=12&t=120>
40. <http://www.goodnews.gr/Articles/Polytimi-elliniki-kenotomia-pou-idi-apodidi>
41. http://ec.europa.eu/regional_policy/projects/stories/
42. <http://itia.ntua.gr/el/docinfo/958/>
43. <http://www.opengov.gr/minenv/?p=1152>
44. <http://el.wikipedia.org/wiki/>
45. http://ikaros.teipir.gr/phyche/Talks/Reverse_Osmosisfountoukidis.pdf
46. http://www.tsamisaquarium.gr/Selides/Themata/GH_PH.htm