
Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου : Τμήμα μηχανολόγων μηχανικών

Διπλωματική εργασία

Τεχνικές αφαλάτωσης

Όνοματεπώνυμο : Λιακόπουλος Ευάγγελος, ΑΜ : 7028

Όνοματεπώνυμο επιβλέποντος καθηγητή : Ευστράτιος Τζιρτζιλάκης

Σύντομη περίληψη

Η αφαλάτωση είναι ο μοναδικός τρόπος για την εξασφάλιση πόσιμου νερού και νερού για άλλες χρήσεις σε πολλές περιοχές του πλανήτη στις οποίες οι βροχοπτώσεις δεν είναι επαρκείς. Εξαιτίας αυτού έχουν αναπτυχθεί αρκετοί τρόποι για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με σκοπό την εξασφάλιση πόσιμου νερού σε χαμηλό κόστος. Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που καθορίζουν την χρήση της.

Η εργασία είναι δομημένη σε 3 κεφάλαια. Αρχικά στην εισαγωγή παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθεί η πτυχιακή, στην συνέχεια ακολουθεί το 1^ο κεφάλαιο στο οποίο γίνεται μια εξειδικευμένη αναφορά στο πόσιμο νερό και τις χρήσεις του, επίσης αναλύεται το πρόβλημα της λειψυδρίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο (**κύριο τμήμα εργασίας**) ορίζεται η αφαλάτωση και επίσης γίνεται μια ιστορική αναφορά σε αυτή. Στη συνέχεια αναφέρονται οι 3 βασικές ομάδες των τεχνικών αφαλάτωσης, οι τεχνικές εξάτμισης, οι τεχνικές μεμβράνης και άλλες τεχνικές. Για κάθε ομάδα αναλύονται οι σημαντικότερες τεχνικές.

Το 3^ο κεφάλαιο αναφέρεται στον συνδυασμό των μονάδων αφαλάτωσης με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με σκοπό την δημιουργία μονάδων που θα είναι ανεξάρτητες από τα δίκτυα διανομής ενέργειας, περιβαλλοντικά φιλικότερες, σύγχρονες και οικονομικότερες.

Τέλος στην θέση του επίλογου υπάρχει ένα ξεχωριστό κεφάλαιο που αναφέρονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	2
Κατάλογος εικόνων	4
Κατάλογος πινάκων	5
Εισαγωγή	6
1 Η αναγκαιότητα του νερού.....	7
1.1 Νερό και χρήσεις.....	8
1.2 Πόσιμο νερό.....	11
1.3 Το πρόβλημα της λειψυδρίας	15
2 Αφαλάτωση.....	17
2.1 Ορισμός.....	17
2.2 Ιστορική αναφορά	18
2.3 Τεχνικές	19
2.3.1 Τεχνικές μεμβρανών	22
2.3.1.1 Αντίστροφη όσμωση.....	22
2.3.1.2 Εμπρόσθια όσμωση	30
2.3.1.3 Νανοδιήθηση.....	32
2.3.1.4 Ηλεκτροδιάλυση	34
2.3.2 Τεχνικές εξάτμισης.....	37
2.3.2.1 Πολυβάθμια εξάτμιση	37
2.3.2.2 Πολυβάθμια εκτόνωση.....	41
2.3.2.3 Συμπύεση ατμών	45
2.3.2.4 Απόσταξη κενού	52
2.3.3 Διάφορες άλλες τεχνικές.....	54
2.3.3.1 Ψύξη – Απόψυξη.....	55
2.3.3.2 Υγροποίηση - Αφυγροποίηση.....	57
3 Χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ στις αφαλατώσεις	61
3.1 Χρήση ηλιακής ενέργειας	64
3.1.1 Άμεση	65
3.1.2 Έμμεση.....	69

3.2	Χρήση αιολικής ενέργειας.....	72
3.3	Χρήση λοιπών ΑΠΕ.....	73
3.4	Υβριδικά συστήματα.....	76
	Συμπεράσματα.....	81
	Βιβλιογραφία.....	85

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1:	Υδρολογικός κύκλος νερού	8
Εικόνα 1.2:	Παγκόσμια κατανομή νερού	12
Εικόνα 2.1:	Μέθοδοι αφαλάτωσης (αλλαγής φάσης αριστερά, μεμβρανών δεξιά)	21
Εικόνα 2.2:	Τεχνική αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση	24
Εικόνα 2.3:	Εμφάνιση οσμωτικού φαινομένου μεταξύ νερού και διαλύματος νερού και αλάτων	25
Εικόνα 2.4:	Κατασκευή, λειτουργία και δομή μεμβράνης αντίστροφης όσμωσης πολυαμιδίου	29
Εικόνα 2.5:	Τεχνική εμπρόσθιας όσμωσης	31
Εικόνα 2.6:	Σύγκριση κατανάλωσης αφαλάτωσης με νανοδιήθηση (μπλε) και με αντίστροφη όσμωση (πορτοκαλί)	34
Εικόνα 2.7:	Λειτουργία αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση	35
Εικόνα 2.8:	Μεμβράνη κατιόντων	36
Εικόνα 2.9:	Διάγραμμα λειτουργίας αφαλάτωσης πολυβάθμιας εξάτμισης	40
Εικόνα 2.10:	Πρώτη βαθμίδα πολυβάθμιας εκτόνωσης	42
Εικόνα 2.11:	Σύστημα αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης η βαθμίδων	43
Εικόνα 2.12:	Διάταξη αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης με ανακύκλωση άλμης	44
Εικόνα 2.13:	Μονάδα αφαλάτωσης πολυβάθμιας εξάτμισης με θερμική συμπίεση ατμών MED-TVC	48
Εικόνα 2.14:	Θερμικός συμπιεστής ατμών	49
Εικόνα 2.15:	Μονάδα αφαλάτωσης συμπίεσης ατμών με μηχανικό συμπιεστή MVC	51
Εικόνα 2.16:	Αφαλάτωση με απόσταξη κενού	53
Εικόνα 2.17:	Αφαλάτωση με την τεχνική ψύξης – απόψυξης	56
Εικόνα 2.18:	Σύστημα αφαλάτωσης με την τεχνική υγροποίησης αφυγροποίησης κλειστού νερού και ανοικτού αέρα	59
Εικόνα 2.19:	Σύστημα αφαλάτωσης με την τεχνική υγροποίησης αφυγροποίησης κλειστού αέρα και ανοικτού νερού	60
Εικόνα 3.1:	Χρήση ΑΠΕ σε μονάδες αφαλάτωσης.....	64
Εικόνα 3.2:	Ηλιακός αποστακτήρας για αφαλάτωση νερού.....	67

Εικόνα 3.3: Ηλιακός αποστακτήρας με χρήση ανακλαστήρα	68
Εικόνα 3.4: Μονάδα πολυβάθμιας εξάτμισης σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες	70
Εικόνα 3.5: Λειτουργία μονάδος αντίστροφης όσμωσης με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ηλιακή ενέργεια	72
Εικόνα 3.6: Υβριδικό σύστημα τροφοδοσίας μονάδος αφαλάτωσης	78

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Ποσότητα και ποσοστό κατανομής νερού στον πλανήτη	13
--	----

Εισαγωγή

Η ύπαρξη καθαρού νερού αποτελεί το πιο σημαντικό και αναγκαίο αγαθό τόσο για την ανθρώπινη ζωή στον πλανήτη όσο και για την παραγωγή της απαραίτητης για αυτόν τροφή. Εξαιτίας των παρεμβάσεων του ανθρώπου στο περιβάλλον και της συνεπαγόμενης κλιματικής αλλαγής, καθώς και η αύξηση του πληθυσμού οδήγησαν πολλές περιοχές στο έντονο πρόβλημα της λειψυδρίας.

Ο πλανήτης κατά το μεγαλύτερο μέρος του αποτελείται από νερό. Δυστυχώς αυτό το νερό είναι θαλασσινό το οποίο είναι πλούσιο σε άλατα και επομένως το καθιστά ακατάλληλο τόσο για την πόση όσο και για την άρδευση των καλλιεργειών . Για τον λόγο αυτό απαιτείται πρώτα η αφαλάτωση του και στην συνέχεια η ασφαλή χρήση του από τον άνθρωπο και των καλλιεργειών.

Η επιτακτική ανάγκη για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού οδήγησε στην αύξηση του επιστημονικού ενδιαφέροντος γύρω από το θέμα με αποτέλεσμα την ανακάλυψη πολλών τεχνικών οι οποίες έχουν την δυνατότητα αυτή. Οι τεχνικές αυτές παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με αποτέλεσμα κάποιες από αυτές να αποκτήσουν ενδιαφέρον από την αγορά, κάποιες μεγαλύτερο κάποιες μικρότερο και άλλες απλά να περιοριστούν σε εργαστηριακές εφαρμογές.

Η βέλτιστη επιλογή της τεχνικής αφαλάτωσης για κάθε περίπτωση προϋποθέτει την γνώση τόσο των αναγκών όσο και της ίδιας της τεχνικής και των χαρακτηριστικών της. Επομένως η μελέτη σε βάθος της κάθε τεχνικής αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την κατανόηση και την ορθή επιλογή της σε κάθε περίπτωση.

Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται η παρούσα πτυχιακή εργασία με στόχο την ανάλυση των σημαντικότερων τεχνικών αφαλάτωσης που εφαρμόζονται στην δεδομένη στιγμή. Για κάθε τεχνική περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας καθώς και τα μοναδικά χαρακτηριστικά της που της δίνουν πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις υπόλοιπες τεχνικές αφαλάτωσης. Επίσης προσδιορίζεται σε ποιες περιπτώσεις συνιστάται η χρήση της κάθε τεχνικής και πότε δεν είναι ορθό να χρησιμοποιηθεί.

Για την επιτέλεση του παραπάνω στόχου της εργασίας χρησιμοποιείτε η μεθοδολογία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η σύγχρονη επιστημονική βιβλιογραφία, δημοσιευμένα άρθρα σε διεθνώς

αναγνωρισμένα περιοδικά και εφημερίδες. Η επιλογή γίνεται με βάση τα πιο πρόσφατα δεδομένα έτσι ώστε να αντικατοπτρίζεται η τάση της στιγμής.

Εν κατακλείδι η παρούσα πτυχιακή εργασία εμπεριέχει συμπυκνωμένο υλικό από τις σύγχρονες εξελίξεις που αφορούν τις τεχνικές αφαλάτωσης όπως αυτές αναγράφονται στα επιστημονικά συγγράμματα της εποχής.

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : Η αναγκαιότητα του νερού

Το νερό και ο αέρας είναι τα στοιχεία τα οποία είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνα για την δημιουργία ζωής πάνω στον πλανήτη, αυτός είναι και ο λόγος που το νερό το αποκαλούμε και πηγή ζωής. Ο άνθρωπος αλλά και τα περισσότερα ζωντανά πάνω στην γη αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από νερό σε τιμές που αγγίζουν το 50% μέχρι και 80% σε κάποιες περιπτώσεις. Το νερό στην υγρή μορφή του το συναντάμε σε πολλές περιοχές με την μεγαλύτερη ποσότητα του να βρίσκεται στις θάλασσες, λίμνες αλλά και στα ποταμιά του πλανήτη. Επίσης σημαντική ποσότητα του πέφτει στην γη κατά την διάρκεια των βροχοπτώσεων. Παρόλα αυτά μπορούμε να το βρούμε και στην στερεά του μορφή όπως είναι ο πάγος και το χιόνι στην περιοχές κοντά στους πόλους όπου οι θερμοκρασίες είναι αρκετά χαμηλές. Ακόμα και στην ατμόσφαιρα είναι πολύ συνηθισμένη η ύπαρξη νερού στη μορφή υδρατμών που προήλθαν από την εξάτμιση του υγρού νερού.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω το νερό έχει την δυνατότητα να αλλάζει συνεχώς μορφές αλλά και τοποθεσίες. Αυτό είναι δυνατό μέσω του κύκλου του νερού, δηλαδή εξατμίζεται από επιφάνειες όπως οι θάλασσες και λίμνες λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται. Στην συνέχεια όταν πλέον βρίσκεται στην αέρια μορφή του (υδρατμοί) μεταφέρεται από τον αέρα. Η συμπύκνωση του και κατά συνέπεια η κατακρήμνιση του μπορεί να γίνει σε περιοχές που απέχουν εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από το σημείο της εξάτμισης του. Κατά την διάρκεια των βροχοπτώσεων το νερό μπορεί να πάρει διάφορες μορφές, η πιο συνηθισμένη είναι η υγρή μορφή. Επίσης κατά την κατακρήμνιση του μπορεί να πάρει την στερεή του μορφή όπως είναι το χιόνι και το χαλάζι. Στην συνέχεια αφού έρθει σε επαφή με την γη ξεκινάει η ροή του είτε υπέργεια σε ποταμιά ή χείμαρρους είτε υπόγεια μέχρι να φτάσει στα σημεία συγκέντρωσης όπως είναι οι θάλασσες, τα ποταμιά αλλά και υπόγειες περιοχές συγκέντρωσης νερού. Στην περίπτωση που τα κατακρημνίσματα είναι στην

στερεή τους μορφή (χιόνι η χαλάζι) στην επιφάνεια της γης τότε θεωρούμαι ότι και αυτά αποτελούν αποθηκευτικούς χώρους του νερού, με την διαφορά ότι για να ξεκινήσει η ροή του νερού πρώτα πρέπει να υπάρξει τήξη.

Παρακάτω φαίνεται ο υδρολογικός κύκλος του νερού όπως σύντομα αναφέρθηκε πιο πάνω.



Εικόνα 0.1: Υδρολογικός κύκλος νερού

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα κυριότερα στοιχεία σχετικά με το νερό. Στα επόμενα κεφάλαια καταγράφεται η κατηγοριοποίηση και οι χρήσεις του νερού και γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο πόσιμο νερό. Τέλος αναφέρεται ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν πολλές περιοχές του πλανήτη που είναι το πρόβλημα της λειψυδρίας.

1.1 Νερό και χρήσεις

Το νερό όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω μπορεί να βρεθεί σε διάφορες μορφές στην φύση. Πιο συγκεκριμένα χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα την θέση που βρίσκεται σε σχέση με τον πλανήτη.

Κατηγορίες :

- ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΥΔΑΤΑ : Σε αυτή την κατηγορία εντάσσεται το νερό που πέφτει στον πλανήτη στην μορφή νερού, χιονιού και χαλαζιού. Αυτό οφείλεται στην συμπύκνωση των υδρατμών και για αυτό περιέχει κάποιες ποσότητες διαλυμένων αέριων της ατμοσφαιράς. Τα πιο συνηθισμένα αέρια που συμπυκνώνονται μαζί με τους υδρατμούς είναι το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου. Στην περίπτωση που η συμπύκνωση λαμβάνει χώρα σε περιοχές με μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση τότε στο νερό συμπυκνώνονται και αερολύματα όπως το οξείδιο του θείου.
- ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ : Τα νερά από την στιγμή που ακουμπήσουν την επιφάνεια της γης παύουν να ανήκουν στην κατηγορία των ατμοσφαιρικών υδάτων και πλέον εντάσσονται στα επιφανειακά ύδατα. Τα επιφανειακά ύδατα καταλήγουν στις θάλασσες και στις λίμνες, αυτές τις περιοχές τις ονομάζουμε ταμιευτήρες νερού. Στην πορεία τους προς τους ταμιευτήρες σχηματίζουν τα ποταμιά. Εξαιτίας της επαφής τους με το έδαφος αποκτούν διάφορες προσμίξεις από τα στοιχεία που βρίσκονται εκεί, πέρα από τις προσμίξεις που έχουν ήδη από την συμπύκνωση τους. Κατά συνέπεια τα επιφανειακά ύδατα αποκτούν μεγάλες ποσότητες αλάτων, όπως είναι για παράδειγμα τα άλατα του ασβεστίου και τα άλατα του μαγνησίου. Εκτός από τις προσμίξεις που λαμβάνουν τα ύδατα από το έδαφος λαμβάνουν προσμίξεις και από τα αστικά, τα βιομηχανικά ή τα γεωργικά απόβλητα που εναποτίθενται κατευθείαν στα ποταμιά ή στο έδαφος με αποτέλεσμα την ρύπανση των επιφανειακών υδάτων. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι στο νερό που βρίσκεται στους ωκεανούς συχνά εντοπίζονται ραδιενεργές ουσίες εξαιτίας της εναπόθεσης ραδιενεργών αποβλήτων σε αυτούς.
- ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ : Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στα ύδατα που βρίσκονται αποθηκευμένα κάτω από την επιφάνεια της γης. Τα ύδατα αυτά συχνά χρησιμοποιούνται διάμεσου των πηγαδιών ή της φυσικής εκροής τους που ονομάζεται πηγή. Το έδαφος στο οποίο διηθήθηκε το νερό μέχρι να φτάσει στον υπόγειο ταμιευτήρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην σύσταση του. Επίσης σημαντικό ρόλο στην σύσταση των υπογείων υδάτων παίζουν και τα πετρώματα από τα οποία αποτελείτε ο ταμιευτήρας που έχει γίνει η αποθήκευση των υδάτων. Τέλος ταυπόγεια ύδατα είναι το ίδιο αναγκαία με τα επιφανειακά διότι

διάμεσου αυτών υδρεύονται και αρδεύονται μεγάλες περιοχές του πλανήτη.

Τα ύδατα πλέον χρησιμοποιούνται με διάφορους τρόπους στην καθημερινότητα μας. Ο συνηθέστερη χρήση φυσικά είναι για το πόσιμο νερό το οποίο χρειάζονται όλοι οι ζώντες οργανισμοί του πλανήτη προκειμένου να παραμείνουν στην ζωή. Πέρα από αυτό το νερό είναι σημαντικό και για την γεωργία διότι ελάχιστες καλλιέργειες επιβιώνουν χωρίς την επαρκές ποσότητα νερού. Κατά συνέπεια αυτό είναι σημαντικό και για τον άνθρωπο διότι είναι μια βασική πηγή για την παραγωγή τροφής. Στις δυο περιπτώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι πολύ σημαντική η χρήση γλυκού νερού, στην πρώτη πρέπει να είναι πόσιμο ενώ στην δεύτερη αρκεί να έχει χαμηλή αλατότητα και στις προσμίξεις του να υπάρχει χαμηλή ποσότητα χημικών στοιχείων που είναι βλαβερά για την ανθρώπινη ζωή καθώς μέσα από τις καλλιέργειες περνάνε στον οργανισμό μας.

Το νερό έχει αρκετές χρήσεις και στην βιομηχανία. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για δυο ρόλους. Ο πρώτος είναι ως ρευστό μεταφοράς ενέργειας, κυρίως ως ατμός ο οποίος μεταφέρει την ενέργεια σε διάφορες διεργασίες που εκτελούνται όπως είναι οι ρευστοδυναμικές. Ο δεύτερος ρόλος του είναι η χρήση του νερού ως ψυκτικό μέσο. Η ανάγκη του νερού χαμηλής αλατότητας στην πρώτη περίπτωση είναι αναγκαία διότι αν το νερό περιέχει πολλά άλατα τότε κατά την διαδικασία της εξάτμισης του τα άλατα θα παραμείνουν στην χώρο και θα τον γεμίσουν. Στην δεύτερη περίπτωση ενώ είναι προτιμότερη η χρήση νερού χαμηλής αλατότητα αυτό δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα διότι είναι γνωστό ότι σε πολλούς μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο το θαλασσινό νερό.

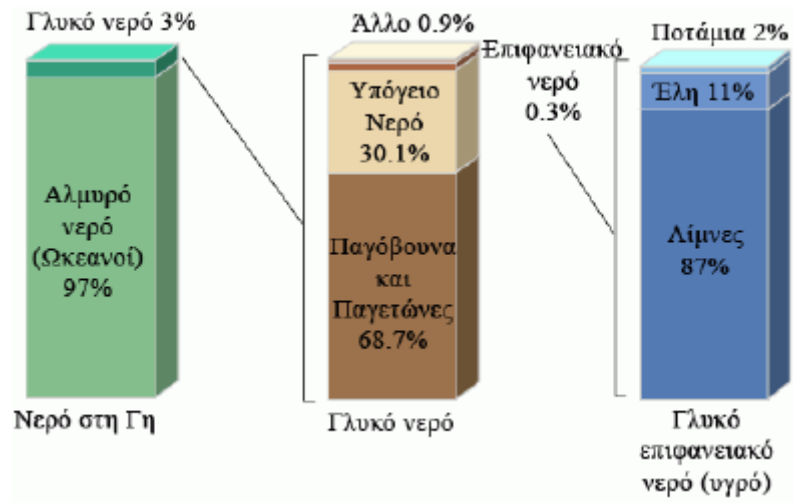
Μια καινούργια χρήση του νερού η οποία ξεκίνησε να εφαρμόζεται ευρέως από την δεκαετία του 1950 είναι η ηλεκτροπαραγωγή. Η απότομη εξάπλωση των ηλεκτρικών δικτύων και επομένως η αύξηση των αναγκών για ηλεκτρική ενέργεια οδήγησε στην εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση κυρίως χρησιμοποιείται η ενέργεια των υδατοπτώσεων ή η ενέργεια της ροής των ποταμών. Επίσης σε πειραματικό επίπεδο βρίσκεται η χρήση της ενέργειας των κυμάτων της θάλασσας για την ηλεκτροπαραγωγή.

Τέλος το νερό χρησιμοποιείται και στην καθημερινότητα των ανθρώπων, όπως στην μαγειρική και τις οικιακές δουλειές. Πέραν τούτων χρησιμοποιείται και για την συντήρηση των τροφίμων κατά την διαδικασία της κατάψυξης. Επιπλέον το νερό το χρησιμοποιούμε για την προσωπική μας υγιεινή, τις καθημερινές εργασίες καθαριότητας των πόλεων και άλλα. Πραγματικά η χρήσεις του νερού στην καθημερινότητα μας είναι άπειρες.

1.2 Πόσιμο νερό

Η γη καλύπτεται κατά ποσοστό μεγαλύτερο από τα 2/3 της επιφάνειας της από νερό. Παρόλα αυτά το περισσότερο βρίσκεται στις θάλασσες με αποτέλεσμα να μην είναι άμεσα χρήσιμο από τον άνθρωπο για τις καθημερινές εργασίες (άρδευση ύδρευση και άλλα) του λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του σε άλατα, αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν πρώτα ασφαλωθεί. Το νερό το θεωρούμε πόσιμο όταν η περιεκτικότητα του σε άλατα είναι χαμηλότερη από 500ppm. Αντιθέτως μη πόσιμο νερό είναι αυτό που η περιεκτικότητά του σε άλατα κυμαίνεται μεταξύ 500ppm και 3500ppm (υφάλμυρο), επίσης το αλμυρό νερό που η τιμές του είναι μεγαλύτερες από 3500ppm. Έτσι λοιπόν από την ποσότητα νερού πάνω στον πλανήτη μόνο ένα ποσοστό περίπου 3% είναι πόσιμο. Το θέμα όμως είναι ότι το πόσιμο νερό δεν είναι πάντα ευκολά προσβάσιμο από τον άνθρωπο διότι το 30% αυτού δεν βρίσκεται στα επιφανειακά ύδατα της γης αλλά στα υπόγεια. Επίσης περίπου το 70% του ποσίου νερού είναι αποθηκευμένο σε μη χρήσιμη μορφή όπως είναι οι πάγοι. Τέλος το ποσοστό του ποσίου νερού το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια της γης και επομένως είναι άμεσα προσβάσιμο στον άνθρωπο είναι περίπου το 0,3% του συνόλου.

Το πόσιμο νερό που βρίσκεται στα επιφανειακά ύδατα του πλανήτη συναντάται κυρίως σε τρεις μορφές, ως νερό σε λίμνες, νερό σε έλη και σε ποταμιά. Από την συνολική του ποσότητα κατά το μεγαλύτερο ποσοστό που αγγίζει το 90% βρίσκεται αποθηκευμένο σε λίμνες. Ένα ποσοστό περίπου 20% βρίσκεται αποθηκευμένο σε έλη. Τέλος, ένα μικρό ποσοστό της τάξεως του 2% το συναντάμε στους ποταμούς της γης. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται τα ποσοστά της ποσότητας του νερού που ανήκει σε κάθε κατηγορία. Επίσης, στον πίνακα που έπεται φαίνεται αριθμητικά η ποσότητα και ποσοστιαία, τόσο στο σύνολο του νερού στον πλανήτη όσο και στο σύνολο του γλυκού νερού.



Εικόνα 0.2: Παγκόσμια κατανομή νερού

Πίνακας 1: Ποσότητα και ποσοστό κατανομής νερού στον πλανήτη

Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού			
Μορφή Νερού	Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

Το νερό ονομάζεται πόσιμο όταν έχει μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά τα οποία δεν δημιουργούν πρόβλημα υγείας στους οργανισμούς κατά την κατανάλωσή του, είτε την στιγμή της κατανάλωσης είτε μετά από καιρό συνεχόμενης κατανάλωσης. Οπότε λοιπόν ως πόσιμο νερό ορίζεται το νερό που είναι διαυγές, άχρωμο, άγευστο και άοσμο. Επιπλέον τούτων το νερό πρέπει να είναι δροσερό ώστε να θεωρείται πόσιμο. Τέλος, πρέπει να είναι απαλλαγμένο από διάφορες προσμίξεις χημικές και από μικροοργανισμούς ή μικρόβια που δύναται να δημιουργήσουν προβλήματα στους οργανισμούς που το καταναλώνουν.

Για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του νερού ως πόσιμο νερό γίνονται πάρα πολλοί έλεγχοι. Πέραν των ελέγχων περί διαύγειας, γεύσης και οσμής που κάνουν οι ίδιοι οι καταναλωτές και αναλόγως ενημερώνουν τις αρμόδιες υπηρεσίες, σε τακτά χρονικά διαστήματα πρέπει να γίνεται χημικός έλεγχος του νερού ώστε να ελέγχονται οι περιεχόμενες σε αυτό ουσίες. Επιπλέον πρέπει να γίνεται σκληρομετρία για την μέτρηση των αλάτων που έχει. Πέραν του χημικού ελέγχου είναι απαραίτητος όμως και ο τακτικός μικροσκοπικός έλεγχος ώστε να διαπιστωθεί ότι το νερό είναι ελεύθερο από μικροοργανισμούς. Φυσικά, σε τακτικά χρονικά διαστήματα επιβάλλεται να γίνεται και ο βακτηριολογικός έλεγχος του νερού όπου διαμέσου καλλιιεργειών διαπιστώνεται η καθαρότητα του νερού από μικρόβια. Τέλος, καλό είναι να ελέγχεται και η διαδρομή του νερού ώστε να μπορούν να προληφθούν διάφορα προβλήματα όπως για παράδειγμα η μεταβολή της ποιότητας του πόσιμου νερού εξαιτίας ρύπανσης.

Γενικά, πλέον, το πόσιμο νερό πρέπει να ικανοποιεί μια σειρά από προδιαγραφές, προδιαγραφές που έχουν εισάγει διάφοροι οργανισμοί μέτρησης ποιότητας του νερού. Οι προδιαγραφές αυτές καλύπτουν όλα τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν το νερό πόσιμο. Καλύπτουν λοιπόν μια σειρά από οργανοληπτικούς παράγοντες όπως παραδείγματος χάριν είναι η οσμή, η διαύγεια και το χρώμα του νερού. Επιπλέον καλύπτουν διάφορους φυσικοχημικούς παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία και το pH του νερού, το περιεχόμενο σε οξυγόνο και η αγωγιμότητα που έχει σε θερμοκρασία 20°C. Πέραν τούτων καλύπτουν μια σειρά από ανεπιθύμητες στο νερό ουσίες όπως είναι τα οξειδία του αζώτου. Μια ακόμη σειρά προδιαγραφών ορίζει το μέγιστο ανεκτό περιεχόμενο σε τοξικές παραμέτρους όπως για παράδειγμα είναι τα βαρέα μέταλλα. Τέλος, δύο ακόμη ομάδες προδιαγραφών ορίζουν τα όρια σκληρότητας και το αποδεκτό μικροβιολογικό περιεχόμενο του. Εάν όλα

αυτά τα στοιχεία βρίσκονται εντός προδιαγραφών τότε το νερό θεωρείται πόσιμο.

1.1 Το πρόβλημα της λειψυδρίας

Η συνεχής αύξηση της χρήσης του νερού σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή που λαμβάνει χώρα στον πλανήτη έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία του προβλήματος της λειψυδρίας. Το πρόβλημα αυτό μαστίζει έντονα περιοχές με χαμηλά ποσοστά βροχοπτώσεων ενώ είναι ακόμη μικρό σε περιοχές με υψηλές βροχοπτώσεις ή χιονοπτώσεις στο σύνολο του έτους.

Το κύριο αίτιο της λειψυδρίας, όσο παράξενο και αν ακούγεται, είναι η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού. Η αύξηση αυτή έχει οδηγήσει σε αυξημένες ανάγκες πόσιμου νερού από τους ίδιους τους ανθρώπους. Ταυτόχρονα όμως υπάρχουν και αυξημένες διατροφικές ανάγκες κάτι που συνεπάγεται πως αυξάνεται η κατανάλωση νερού για καλλιεργητικούς σκοπούς και για σκοπούς πόσης των ζώων κτηνοτροφίας. Αυτό οδηγεί σε ανάγκη υπερεκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων του πλανήτη και ειδικά των υπόγειων υδάτων που είναι μεγάλα σε ποσότητα. Το αποτέλεσμα πολλές φορές όμως είναι η εξάντλησή τους και η αντικατάστασή τους με υφάλμυρο νερό καθιστώντας τις περιοχές άγονες. Υπολογίζεται πως στον 20 αιώνα ο πληθυσμός της γης έχει τριπλασιαστεί ενώ η κατανάλωση νερού έχει εξαπλασιαστεί, ενδεικτικό στοιχείο για τις συνέπειες της αύξησης του πληθυσμού στο πρόβλημα της λειψυδρίας.

Ταυτόχρονα, η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε μεταβολή του ύψους των βροχοπτώσεων. Επιπλέον οδηγεί σε αλλαγή της μορφής των βροχοπτώσεων όπου περιορίζονται οι μακρές βροχοπτώσεις χαμηλής έντασης και αυξάνονται τα φαινόμενα βροχοπτώσεων μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας. Στην πρώτη περίπτωση, η μεγάλη διάρκεια επιτρέπει την διήθηση μεγαλύτερης ποσότητας νερού η οποία εισέρχεται στην γη και εμπλουτίζει τα υπόγεια ύδατα. Στην δεύτερη περίπτωση η ποσότητα νερού συνήθως οδηγείται διαμέσου φυσικών οδών (ποταμών) ή οποιού άλλου τρόπου βρει, στους επιφανειακούς ταμιευτήρες και κατά βάση στις θάλασσες. Έτσι, ειδικά σε περιοχές με άνυδρα κλίματα, η περαιτέρω μείωση των βροχοπτώσεων και η αλλαγή της μορφής των φαινομένων βροχόπτωσης οδηγεί σε λειψυδρία.

Σήμερα, στην εποχή της τεχνολογικής εξέλιξης και της ανθρώπινης προόδου, υπολογίζεται πως περισσότερο από 1 δισεκατομμύριο ανθρώπων δεν έχει εύκολη πρόσβαση σε πόσιμο νερό. Μάλιστα περισσότεροι από 2 εκατομμύρια

άνθρωποι τον χρόνο υπολογίζεται πως πεθαίνουν εξαιτίας ασθενειών που οφείλονται στην έλλειψη πόσιμου νερού. Η έλλειψη πόσιμου νερού οδηγεί και στην ερημοποίηση μεγάλων εκτάσεων της γης αφού πλέον δεν μπορούν να καλλιεργηθούν τα εδάφη ώστε να παράξουν τρόφιμα.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας είναι δύσκολη και μπορεί να γίνει με συνδυασμό διάφορων τεχνικών. Η πρώτη τεχνική που εμφανίστηκε είναι η δημιουργία τεχνητών ταμιευτήρων νερού οι οποίοι βρίσκονται σε ποτάμια ή κοίτες χειμάρρων και συλλέγουν το νερό που προέρχεται από την βροχόπτωση. Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν πολλά όπως είναι τα φράγματα στον Νείλο και τον Ευφράτη. Επίσης χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Κύπρου η οποία έχει δημιουργήσει περισσότερους από 30 τεχνητούς ταμιευτήρες ώστε να εξασφαλίσει το απαιτούμενο νερό.

Σε περιπτώσεις μικρών νησιών, το πρόβλημα της λειψυδρίας μπορεί να αντιμετωπιστεί με μεταφορά νερού, με χρήση δεξαμενοπλοίων. Κλασικό παράδειγμα αυτής της λύσης αποτελούν πολλά μικρά ελληνικά νησιά που κατά την θερινή περίοδο προμηθεύονται σε τακτά χρονικά διαστήματα νερό προερχόμενο από την ενδοχώρα.

Πέραν των παραπάνω λύσεων έχουν προκύψει και διάφορες άλλες τεχνικές λύσεις «δημιουργίας» πόσιμου νερού. Οι λύσεις αυτές χρησιμοποιούν την τεχνολογική εξέλιξη για να μετατρέψουν μη χρήσιμες μορφές του νερού σε χρήσιμες. Μια από αυτές τις τεχνικές είναι η αφαλάτωση που μετατρέπει το αλμυρό, μη χρήσιμο, θαλασσινό νερό σε γλυκό, χρήσιμο νερό. Μια δεύτερη τεχνική είναι η βιολογική επεξεργασία του νερού των συστημάτων αποχέτευσης και η χρήση του κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς. Μια τρίτη τεχνική είναι η ανακύκλωση του χρησιμοποιούμενου νερού και κατόπιν του καθαρισμού του η χρήση του και πάλι για αρδευτικούς σκοπούς. Επιπλέον, οι τεχνικές καλύτερης διάθεσης του νερού και παρακολούθησης των δικτύων μεταφοράς νερού περιορίζουν τις απώλειες στα περίπλοκα υδρευτικά και αρδευτικά δίκτυα αυξάνοντας έτσι την διαθεσιμότητά του νερού. Τέλος, μια νέα, φιλόδοξη τεχνική είναι η πρόκληση με διάφορες τεχνικές τεχνητής βροχής σε περιοχές και εποχές που αυτή είναι επιθυμητή.

Όλες οι παραπάνω τεχνικές οδηγούν σε βελτίωση του προβλήματος της λειψυδρίας. Εκείνη όμως που φαίνεται πιο πολύ υποσχόμενη είναι η τεχνική της αφαλάτωσης και αυτό οφείλεται κυρίως στο «ανεξάντλητο» που φαίνεται να υπάρχει στα θαλάσσια αλμυρά ύδατα. Έτσι φαίνεται πως η βελτίωση της

απόδοσης των συστημάτων αφαλάτωσης σε συνδυασμό με την μείωση του κόστους τους μπορεί πραγματικά να οδηγήσει σε εκμηδένιση του προβλήματος λειψυδρίας του πλανήτη.

2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : Αφαλάτωση

Η διαδικασία της αφαίρεσης των αλάτων από το νερό προκειμένου αυτό να καταστεί χρήσιμο, είτε προς πόση είτε προς άρδευση καλλιεργειών, αποτελεί μια λύση για την παραμονή της ζωής στις άνυδρες περιοχές του πλανήτη. Περιοχές ερημικές, περιοχές με ελάχιστες βροχόπτωσης δεν θα μπορούσαν να αναπτυχθούν περαιτέρω εάν δεν υπήρχε η δυνατότητα επεξεργασίας του θαλασσινού νερού ώστε να παραχθεί νερό προς χρήση. Ειδικά στην περίοδο που διακρίνουμε, στην περίοδο της κλιματικής αλλαγής, η οποία φέρνει συνθήκες ερημοποίησης σε πολλές περιοχές του πλανήτη, η τεχνολογία της αφαλάτωσης είναι κλειδί για την περαιτέρω διατήρηση της ζωής. Επιπλέον τούτου, η αύξηση του πληθυσμού συνεπάγεται την έλλειψη της επάρκειας πόσιμου νερού, ειδικά σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις κάτι που καθιστά απαραίτητη την χρήση της αφαλάτωσης για την παραγωγή επιπλέον ποσότητας νερού προς χρήση.

Σε αυτό το πλαίσιο, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια ειδικότερη αναφορά στην αφαλάτωση και τις τεχνικές της. Αρχικά λοιπόν παρουσιάζεται ο ορισμός της και γίνεται μια σύντομη ιστορική αναφορά στην εξέλιξη της αφαλάτωσης. Εν συνεχεία παρουσιάζονται οι σημαντικότερες τεχνικές αφαλάτωσης, περιγράφεται η λειτουργία τους και καταγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά κάθε τεχνικής. Στο τέλος γίνεται μια σύντομη αναφορά στις περιβαλλοντικές συνέπειες που προκαλεί η λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης.

2.1 Ορισμός

Η λέξη αφαλάτωση συνεπάγεται την αφαίρεση των αλάτων από οιαδήποτε ουσία εμπεριέχει άλατα, με οποιαδήποτε τεχνική είναι αυτό δυνατό. Στην καθημερινότητα όμως έχει επικρατήσει η έννοια της αφαίρεσης των αλάτων από αλατούχα ύδατα και κυρίως από το θαλασσινό νερό. Έτσι λοιπόν ως αφαλάτωση νοείται η οποιαδήποτε τεχνική επεξεργασίας νερού έχει την ικανότητα να αφαιρέσει τα άλατα από αλμυρό ή υφάλμυρο νερό. Με αυτό τον

τρόπο η αφαλάτωση μετατρέπει το ακατάλληλο αλμυρό ή υφάλμυρο νερό σε νερό προς χρήση.

2.2 Ιστορική αναφορά

Ιστορικά η αφαλάτωση αναφέρεται για πρώτη φορά στην Αρχαία Ελλάδα. Συγκεκριμένα, περί το 500 π.Χ. γίνεται αναφορά από ιστορικούς για χρήση συσκευών αφαλάτωσης στα ελληνικά πλοία. Ειδικότερα, φαίνεται πως οι Έλληνες ναυτικοί χρησιμοποιούσαν μικρές, φορητές συσκευές απόσταξης, με τις οποίες αφαλάτωναν το θαλασσινό νερό προκειμένου να παράγουν πόσιμο νερό κατά την διάρκεια του ταξιδιού τους, ελαχιστοποιώντας έτσι την ανάγκη τους για προμήθειες νερού στο πλοίο. Επί της ουσίας λοιπόν οι Έλληνες ναυτικοί χρησιμοποιούσαν μια τεχνική εξάτμισης για την αφαλάτωση του νερού. Μάλιστα, ο Αριστοτέλης, περί το 350 π.Χ. βρήκε ενδιαφέρουσα επιστημονικά την ιδέα της αφαλάτωσης για αυτό και ασχολήθηκε πειραματικά με την μελέτη της. Ήδη όμως η αφαλάτωση εμφανίζεται σε κείμενα προγενέστερων του επιστημόνων και φιλοσόφων της εποχής, όπως του Θαλή του Μιλήσιου και του Πλάτωνα.

Η αφαλάτωση συνέχισε τους επόμενους αιώνες να χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά από τους ναυτικούς και μάλιστα η εφαρμογή της ήταν σπάνιο φαινόμενο. Για παράδειγμα, στα ευρωπαϊκά πλοία του Μεσαίωνα, των μεγάλων θαλασσοπόρων και των διαπόντιων ταξιδιών, έχει αναφερθεί η ύπαρξη συσκευών αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Βέβαια έχει αναφερθεί πως η χρήση τους λάμβανε χώρα μόνο σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης όπου η προμήθεια σε νερό που υπήρχε στο πλοίο εξαντλούταν ή χανόταν.. Η εξέλιξη της ατμοκίνησης και η ανάγκη για νερό χωρίς άλατα στα ατμόπλοια ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση, κατέστησε απαραίτητο εξάρτημα σε αυτά τις μικρές μονάδες αφαλάτωσης.

Η σύγχρονη ιστορία της αφαλάτωσης ξεκινάει από τα μέσα του 19ου αιώνα. Συγκεκριμένα, το 1850, ένας μηχανικός από την Αμερική, ονόματι Norbert Rillieux παρουσιάζει μια νέα μέθοδο απόσταξης η οποία είναι ενεργειακά αποδοτικότερη. Η μέθοδος του εφαρμόστηκε για απόσταξη ζάχαρης και παρουσίασε μείωση στην κατανάλωση ενέργειας κατά 80%. Η μείωση της απαιτούμενης ενέργειας έκανε αμέσως θελκτική την μέθοδο αυτή η οποία εν συνεχεία δοκιμάστηκε και για την απόσταξη θαλασσινού νερού.

Οι θερμικές μέθοδοι αφαλάτωσης (συμπεριλαμβανομένης της απόσταξης) ήταν φυσικά οι πρώτες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για αφαλάτωση

ευρείας κλίμακος. Στα μέσα του 20ου αιώνα, στην Μέση Ανατολή, την περιοχή με τις μεγαλύτερες ανάγκες πόσιμου νερού εξαιτίας των χαμηλών βροχοπτώσεων, κατασκευάζονται οι πρώτες μεγάλες θερμικές μονάδες αφαλάτωσης. Σε αυτό βοήθησε η ύπαρξη πετρελαίου και ο συνδυασμός των μονάδων αυτών με τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με ορυκτά καύσιμα κάτι που περιορίσε σημαντικά το κόστος τους. Εν τω μεταξύ την ίδια δεκαετία στις ΗΠΑ ιδρύεται η ειδική υπηρεσία αφαλάτωσης νερού της Αμερικανικής Κυβέρνησης που δείχνει το πόσο σημαντική θεωρείται η αφαλάτωση. Ιστορικά η πρώτη μονάδα σε χώρες της Μέσης Ανατολής τέθηκε σε λειτουργία το 1962 στο Κουβέιτ.

Μερικά χρόνια αργότερα, και ενώ οι θερμικές τεχνικές αφαλάτωσης εξαπλώνονται ραγδαία στον πλανήτη, στην Αμερική μελετάται και κατασκευάζεται η πρώτη μονάδα αντίστροφης ώσμωσης. Οι πρώτες μεμβράνες κατασκευάζονται το 1960 στο πανεπιστήμιο UCLA, στην Καλιφόρνια. Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης βασισμένη στην τεχνική της αντίστροφης ώσμωσης κατασκευάζεται το 1965. Είναι μια πειραματική μονάδα η οποία παράγει πόσιμο νερό μετά από επεξεργασία υφάλμυρου νερού.

Εν τω μεταξύ, ένα χρόνο προηγουμένως, το 1964, στην Σοβιετική Ένωση δημιουργείται η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης η οποία δεν απαιτεί εξωτερική πηγή ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς η μονάδα τροφοδοτείται με ενέργεια από ένα πυρηνικό αντιδραστήρα, του οποίου το 60% χρησιμοποιείται για την μονάδα αφαλάτωσης και το υπόλοιπο για ηλεκτροπαραγωγή. Η μονάδα αυτή παραμένει ενεργή για 30 έτη και αποτελούσε για χρόνια μια μονάδα πρότυπο για τις μονάδες αφαλάτωσης.

Εν συνεχεία, οι βελτιώσεις στις μονάδες αφαλάτωσης ήταν πολλές. Ειδικότερα, στις τεχνικές μεμβράνης, οι βελτιώσεις εστίασαν στην δημιουργία νέων μεμβρανών με πρωτοποριακά χαρακτηριστικά τα οποία βελτίωναν τόσο την απόδοση της μονάδας όσο και την ποιότητα του παραγόμενου νερού ενώ την ίδια στιγμή περιορίζαν το κόστος. Αποτέλεσμα της εξέλιξης της τεχνολογίας των μεμβρανών ήταν η μείωση του κόστους αφαλάτωσης, μείωση η οποία προσεγγίζει το 70%.

2.3 Τεχνικές

Όπως φαίνεται και από την προηγούμενη ενότητα, η αφαλάτωση, από την δεκαετία το 1950 και μετά, αρχίζει να εξελίσσεται σε πολύ μεγάλο βαθμό, και

να αποκτάει πλέον μια σημαντική θέση στα συστήματα δημιουργίας πόσιμου νερού. Αποτελεί πλέον μια αξιόπιστη εναλλακτική πηγή πόσιμου νερού, ιδιαίτερα σε περιοχές με χαμηλή ποσότητα φυσικού πόσιμου νερού. Αποτέλεσμα πλέον της καθιέρωσης της αφαλάτωσης είναι η ανάπτυξη μιας σειράς από τεχνικές οι οποίες αφαλατώνουν αλμυρό ή υφάλμυρο νερό. Ο λόγος που αναπτύχθηκαν πάρα πολλές τεχνικές είναι γιατί η κάθε τεχνική έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

Όλες όμως οι τεχνολογίες αφαλάτωσης έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, λαμβάνουν στην είσοδό τους αλμυρό ή υφάλμυρο νερό και έχουν δύο εξόδους. Στην μια έξοδο παράγεται νερό με πολύ μικρές ποσότητες αλάτων και στην δεύτερη έξοδο παράγεται ρευστό (είτε συμπύκνωμα είτε άλμη) με πολύ υψηλή συγκέντρωση αλάτων. Συνέπεια του παραπάνω είναι όλες οι τεχνολογίες αφαλάτωσης να χαρακτηρίζονται από ένα ρεύμα εισόδου και δύο ρεύματα εξόδου.

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο μεγάλες ομάδες αναλόγως της αρχής στην οποία βασίζεται η λειτουργία τους ώστε να αφαλατώσουν το νερό. Οι ομάδες αυτές είναι:

- Μέθοδοι αφαλάτωσης αλλαγής φάσης: Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν θερμότητα ώστε να μεταβάλουν την φυσική κατάσταση του αλμυρού νερού είτε συνήθως εξατμίζοντάς το είτε σπανίως κρυσταλλώνοντάς το. Απαιτούνται μεγάλα ποσά θερμότητας για την αλλαγή φάσης για αυτό και οι τεχνικές αυτές προτιμώνται από χώρες πλούσιες σε ορυκτά καύσιμα όπου το κόστος για την αλλαγή φάσης παραμένει χαμηλό. Οι σημαντικότερες τεχνικές αφαλάτωσης που ανήκουν στην συγκεκριμένη κατηγορία είναι:

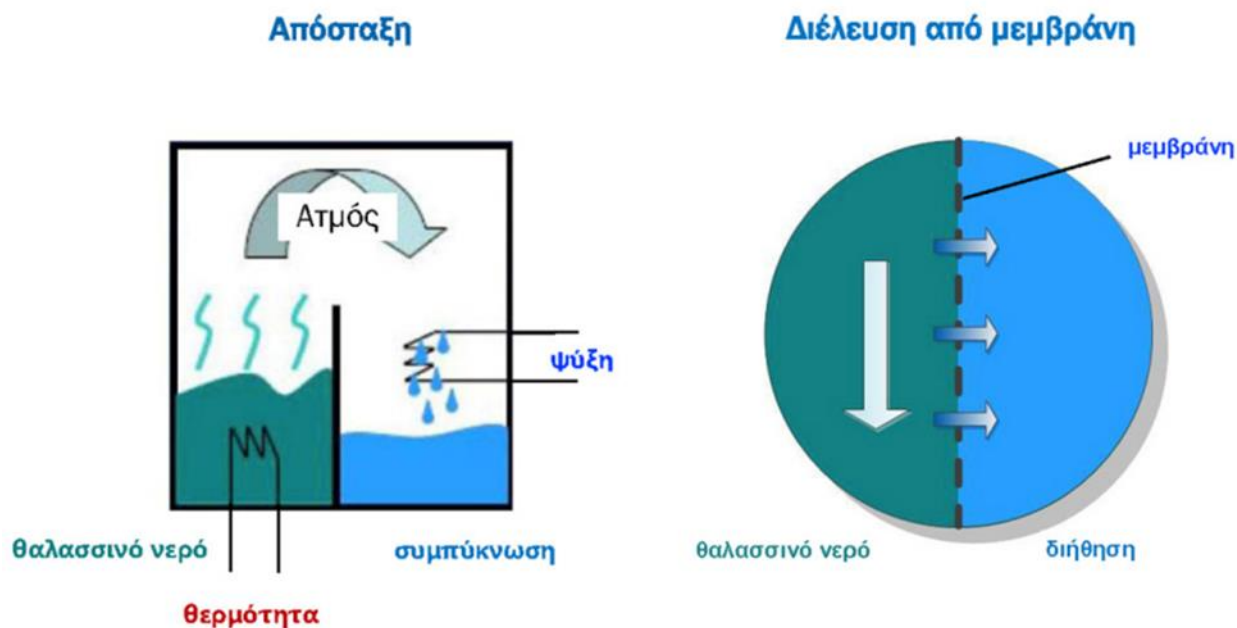
- ο Πολυβάθμια εξάτμιση (MED)
- ο Πολυβάθμια εκτόνωση (MSF)
- ο Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (VC)
- ο Ηλιακή απόσταξη (SD)

- Μέθοδοι μιας φάσης (μέθοδοι μεμβρανών): Οι μέθοδοι μιας φάσης δεν χρησιμοποιούν την αλλαγή φάσης του νερού ώστε να το αφαλατώσουν. Αντιθέτως, χρησιμοποιούν μεμβράνες διαμέσου των οποίων φιλτράρουν το νερό και το διαχωρίζουν από έχει αφθονία ορυκτών καυσίμων για αυτό και επιλέγονται από αυτές. Οι σημαντικότερες τεχνικές αφαλάτωσης

μιας φάσης είναι: τα άλατα παράγοντας πόσιμο νερό. Οι μέθοδοι μιας φάσης θεωρούνται πιο οικονομικές για χώρα που δεν

- ο Αντίστροφη Ώσμωση (RO).
- ο Ηλεκτροδιάλυση (ED)
- ο Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση (EDR).

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η διαφοροποίηση των δύο αυτών τεχνικών. Στην αριστερά εικόνα φαίνεται η δημιουργία γλυκού νερού κατόπιν αλλαγής φάσης και στην δεξιά κατόπιν διήθησης από μια μεμβράνη.



Εικόνα 2.1: Μέθοδοι αφαλάτωσης (αλλαγής φάσης αριστερά, μεμβρανών δεξιά)

Πέραν των τεχνικών που εντάσσονται σε αυτές τις δύο κατηγορίες, υπάρχουν και μερικές ακόμη τεχνικές, ανεξάρτητες οι οποίες όμως δεν βρίσκουν μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Οι τεχνικές αυτές είναι οι υβριδικές μέθοδοι, η ιοντοαλλαγή και το πάγωμα. Στις επόμενες δύο υποενότητες θα περιγράψουν ανά κατηγορία οι κυριότερες τεχνικές αφαλάτωσης που εντάσσονται στις παραπάνω κατηγορίες. Στο τέλος, σε μια τρίτη υποενότητα θα περιγράψουν και οι τεχνικές που δεν μπορούν να ενταχθούν σε κάποια από τις δύο κατηγορίες.

2.3.1 Τεχνικές μεμβρανών

Οι τεχνικές αφαλάτωσης με την χρήση μεμβρανών είναι σύγχρονες τεχνικές που αναπτύχθηκαν μετά από τις τεχνικές εξάτμισης. Ο λόγος που η επιστημονική κοινότητα οδηγήθηκε στην μελέτη μεμβρανών για τον καθαρισμό του νερού από τα άλατα ήταν κυρίως οι μεγάλες δαπάνες ενέργειας που απαιτούσαν οι τεχνικές εξάτμισης για την εξάτμιση του ρευστού, κάτι που καθιστούσε σχεδόν απαραίτητη την εγκατάσταση της μονάδας αφαλάτωσης δίπλα από ένα θερμοηλεκτρικό σταθμό. Αντιθέτως, οι τεχνικές μεμβρανών δεν απαιτούν την πρόσδοση ενέργειας στο ρευστό προκειμένου να εξατμιστεί, απλά φροντίζουν ώστε αυτό να κινηθεί διαμέσου κατάλληλων μεμβρανών οι οποίες αφαιρούν διάφορα επιβλαβή στοιχεία.

Η γνωστότερη μέθοδος αφαλάτωσης νερού με την χρήση μεμβρανών είναι η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης. Εκτός από αυτήν όμως υπάρχουν και άλλες διαθέσιμες μέθοδοι όπως για παράδειγμα η εμπρόσθια ώσμωση, η νανοδιήθηση, και η ηλεκτροδιάλυση. Στις επόμενες παραγράφους θα καταγραφούν τα κύρια στοιχεία αυτών των τεχνολογιών.

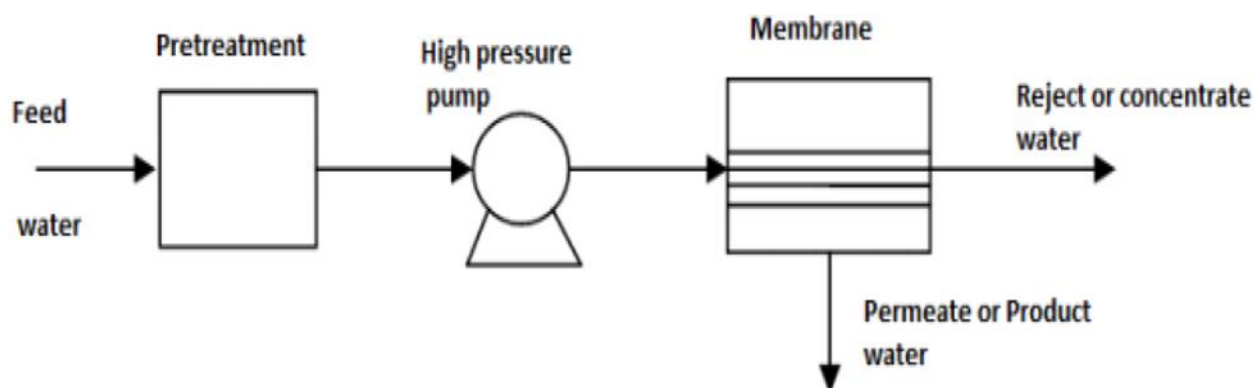
2.3.1.1 Αντίστροφη ώσμωση

Η πιο γνωστή τεχνική επεξεργασίας νερού με την χρήση μεμβρανών είναι η τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης, ή όπως αναφέρεται διεθνώς Reverse Osmosis, εν συντομία RO. Η τεχνική αντίστροφης ώσμωσης είναι μια γενική τεχνική επεξεργασίας νερού η οποία χρησιμοποιείται και ως τεχνική αφαλάτωσης. Συνεχώς κερδίζει έδαφος στο τομέα της αφαλάτωσης και αυτό οφείλεται κυρίως στο ολοένα και πιο υψηλό κόστος παραγωγής ενέργειας που καθιστά τις μονάδες εξάτμισης μη συμφέρουσες. Μοναδική εξαίρεση είναι οι πλούσιες σε ορυκτά καύσιμα χώρες της μέσης Ανατολής οι οποίες εξακολουθούν να έχουν κατά πλειοψηφία μονάδες αφαλάτωσης εξάτμισης.

Κατά την τεχνική αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, το αλμυρό ή το υφάλμυρο προς αφαλάτωση νερό διέρχεται διαμέσου μεμβρανών ώστε να αφαιρεθούν τα άλατα που περιέχει. Η επιστημονική κοινότητα είναι διχασμένη σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο αφαιρούνται τα άλατα του νερού καθώς αυτό διέρχεται της μεμβράνης. Μια σημαντική μερίδα επιστημόνων θεωρεί πως τα άλατα αφαιρούνται εξαιτίας του πορώδους της μεμβράνης δηλαδή πως κατά την κίνηση του ρευστού διαμέσου των πόρων της μεμβράνης τα άλατα κατακρατούνται. Η δεύτερη άποψη βασίζεται στην διεργασία της διάχυσης δηλαδή στην μεταφορά των αλάτων μεταξύ δύο σημείων της μεμβράνης. Και στις δύο περιπτώσεις όμως οι επιστήμονες συμφωνούν πως η χημική σύσταση της μεμβράνης είναι το καθοριστικό στοιχείο της αποδοτικότητάς της. Άλλωστε είναι δεδομένο πως η χημική σύσταση της καθορίζει την επιλεκτικότητά της, δηλαδή την δυνατότητα να επιτρέπει την διέλευση στο νερό απαγορεύοντας ταυτόχρονα την διέλευση στα άλατα. Πέραν τούτου σημαντικό στοιχείο είναι και το πορώδες της μεμβράνης αφού μια μεμβράνη με μικρούς πόρους απορρίπτει ευκολότερα μεγάλο μεγέθους μόρια αλάτων. Επιπλέον, η σύσταση της μεμβράνης καθορίζει την ηλεκτροθετικότητά της. Συνήθως η μεμβράνη αποτελείται από ανιόντα τα οποία απωθούν τα θετικά φορτισμένα ιόντα αλάτων διαμέσου ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ο καθορισμός ενός συντελεστή διαπερατότητας για κάθε μεμβράνη. Μεμβράνες με υψηλό συντελεστή διαπερατότητας συνεπάγεται πως επιτρέπουν την διέλευση μεγάλης ποσότητας διηθήματος (αφαλατωμένου νερού). Το μεγαλύτερο μέρος των επιστημόνων που ασχολούνται με την αφαλάτωση αντίστροφης ώσμωσης μελετούν την βελτίωση της χημικής σύστασης και της δομής των μεμβρανών έτσι ώστε να βελτιωθεί ο συντελεστής διαπερατότητάς τους.

Για να είναι εφικτή η ροή του νερού διαμέσου των μεμβρανών απαιτείται η σημαντική αύξηση της πίεσης του. Κατόπιν τούτου η ροή του νερού διαμέσου της μεμβράνης έχει ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό του σε δύο τμήματα, δύο ρεύματα. Το ένα τμήμα είναι το τμήμα που έχει καταφέρει να διαπεράσει την μεμβράνη και ονομάζεται τμήμα ή ρεύμα διήθησης. Το δεύτερο τμήμα είναι το τμήμα που δεν καταφέρνει να διαπεράσει την μεμβράνη και ονομάζεται τμήμα ή ρεύμα συμπύκνωσης. Η διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης λοιπόν κατά βάση αποτελείται από το στάδιο της αύξησης της πίεσης και από το στάδιο της διέλευσης στην μεμβράνη. Το επόμενο διάγραμμα δείχνει αυτή την διεργασία. Σε αυτό φαίνεται και μια αρχική επεξεργασία που αφορά

καθαρισμό του εισερχόμενου ρευστού από διάφορα σκουπίδια όπως χώματα, φύκια κλπ.



Εικόνα 2.2: Τεχνική αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση

Σε μια κοινή μονάδα αντίστροφης ώσμωσης περίπου το 1/3 του ρεύματος εισόδου καταφέρνει να διαπεράσει την μεμβράνη. Έτσι το ρεύμα διήθησης της μονάδας κυμαίνεται μεταξύ του 30 έως 40% και το ρεύμα συμπύκνωσης είναι της τάξεως του 60 έως 70%. Στο ρεύμα διήθησης το νερό έχει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα αλάτων με αποτέλεσμα να καθίσταται πόσιμο και ταυτόχρονα κατάλληλο για άρδευση. Αντιθέτως, περισσότερο από το 97% των αλάτων του αρχικού ρεύματος καταλήγει στο ρεύμα συμπύκνωσης που δεν έχει διαπεράσει την μεμβράνη και απορρίπτεται.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί λίγο παραπάνω, για να μπορέσει το νερό εισόδου να διαπεράσει την ημιπερατή μεμβράνη πρέπει να βρίσκεται σε αυξημένη πίεση. Η αύξηση της πίεσης του ρεύματος εισόδου σε πιέσεις μεγαλύτερες από την ωσμωτική πίεση του νερού έχει ως αποτέλεσμα την ροή μέρους του ρεύματος εισόδου διαμέσου της μεμβράνης δημιουργώντας το ρεύμα διήθησης. Το υπόλοιπο τμήμα μαζί με οιοσδήποτε προσμίξεις του νερού, όπως τα άλατα παραμένουν δεν διαπερνούν την μεμβράνη, αποτελούν το ρεύμα συμπύκνωσης και απορρίπτονται.

Η σχέση της πίεσης μεταξύ του ρεύματος εισόδου και της ωσμωτικής πίεσης του νερού είναι το στοιχείο που καθορίζει την εμφάνιση ή όχι της αντίστροφης ώσμωσης. Ειδικότερα, από την επιστήμη της χημείας είναι γνωστό πως:

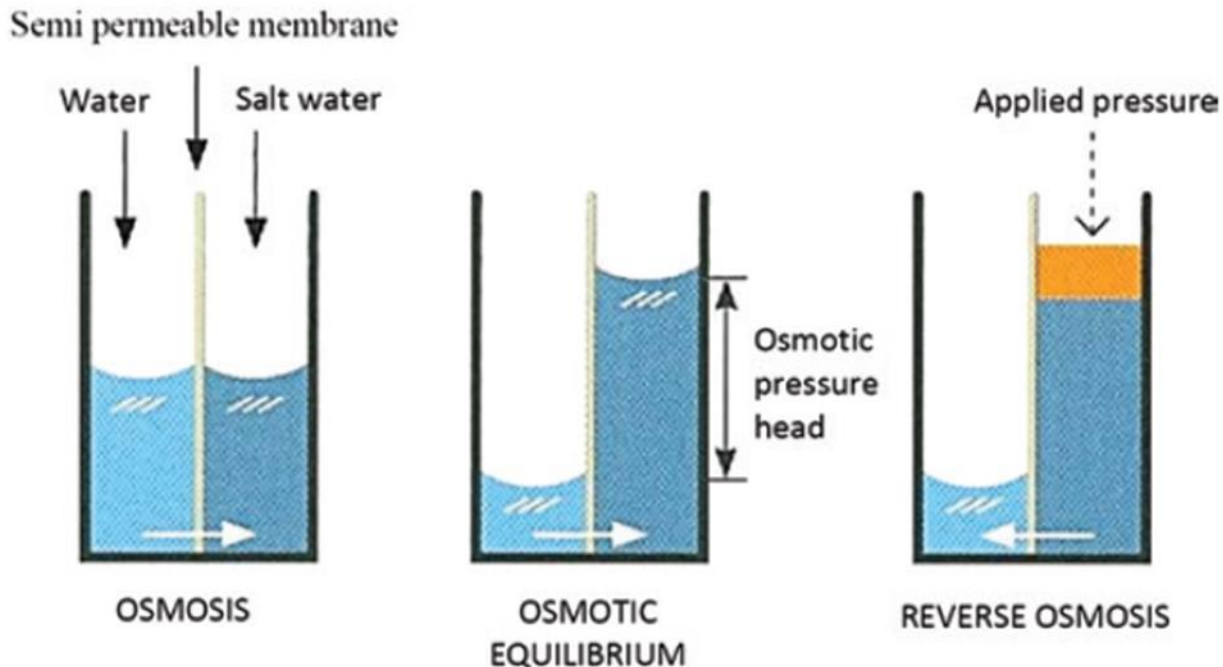
1. Σε περίπτωση που η πίεση του ρεύματος εισόδου είναι μικρότερη από την ωσμωτική πίεση του νερού τότε τα μόρια του αφαλατωμένου νερού εισέρχονται στα μόρια του διαλύματος (νερό συν άλατα που υπάρχουν στο

ρεύμα εισόδου) κινούμενα επί της ουσίας από το αραιότερο διάλυμα στο πυκνότερο. Αυτή είναι η διαδικασία της ώσμωσης.

2. Σε περίπτωση που η πίεση του ρεύματος εισόδου είναι ίση με την ωσμωτική πίεση του νερού τότε δεν υπάρχει κίνηση των μορίων μεταξύ αφαλατωμένου νερού και διαλύματος.

3. Σε περίπτωση που η πίεση του ρεύματος εισόδου είναι μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του νερού τότε τα μόρια του αφαλατωμένου νερού εξέρχονται από τα μόρια του διαλύματος. Αυτό οδηγεί σε διαχωρισμό του αφαλατωμένου νερού από το διάλυμα ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την συγκέντρωση στο διάλυμα δημιουργώντας ένα υπερτονικό διάλυμα. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν τα μόρια κινούνται επί της ουσίας από το πυκνότερο στο αραιότερο διάλυμα. Αυτή είναι η διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης η οποία και εφαρμόζεται για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού.

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνονται οι τρεις περιπτώσεις εμφάνισης του ωσμωτικού φαινομένου που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης φαίνεται στην τρίτη εικόνα.



Εικόνα 2.3: Εμφάνιση ωσμωτικού φαινομένου μεταξύ νερού και διαλύματος νερού και αλάτων

Από τις τρεις παραπάνω περιπτώσεις αφαλάτωση επιτυγχάνεται μόνο στην τρίτη περίπτωση, δηλαδή στην περίπτωση που εμφανίζεται το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης. Η πίεση ώσμωσης ενός διαλύματος διαφέρει αναλόγως των προσμίξεων του έτσι χρειάζεται υπολογισμός της αναλόγως της συγκέντρωσης των αλάτων του προς αφαλάτωση ρευστού. Ρεύμα εισόδου με μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων έχει ως συνέπεια την αύξηση της ωσμωτικής του πίεσης. Ακολουθώντας, με γνωστή την πίεση ώσμωσης καθορίζεται η πίεση του ρευστού ώστε να επιτευχθεί η αντίστροφη ώσμωση. Όσο πιο ψηλή η ωσμωτική πίεση τόσο πρέπει να αυξάνεται η πίεση του ρευστού. Αν αυτή δεν αυξηθεί αλλά παραμείνει σταθερή τότε θα μειώνεται το ποσοστό διήθησης.

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για την λειτουργία μιας μονάδας αντίστροφης ώσμωσης είναι το ποσοστό του ρεύματος διήθησης που αναφέρθηκε παραπάνω, το οποίο εκφράζεται με τον ρυθμό ανάκτησης διηθήματος. Ο ρυθμός αυτός είναι ο λόγος μεταξύ του ρυθμού ροής του διηθήματος σε σχέση με τον ρυθμό ροής του ρεύματος εισόδου της μονάδας. Αύξηση του ρυθμού ροής συνεπάγεται μεγαλύτερη παραγωγή αλλά όμως συνεπάγεται και μεγαλύτερη εισχώρηση αλάτων στο ρεύμα διήθησης. Σε περίπτωση που μια μονάδα λειτουργεί με περισσότερα του ενός στάδια αντίστροφης ώσμωσης τότε μπορεί να υπολογιστεί ο ρυθμός ανάκτησης διηθήματος είτε για κάθε στάδιο ξεχωριστά είτε για το σύνολο της μονάδας.

Εν τέλει, αυτό που ενδιαφέρει τον κάθε ένα, είναι ο ρυθμός με τον οποίο το νερό μπορεί να διαπεράσει την μεμβράνη, στοιχείο που καθορίζει και την απόδοση της μονάδας. Ο ρυθμός αυτός καθορίζεται από την διαφορά μεταξύ της πίεσης του ρεύματος εισόδου και της ωσμωτικής πίεσης, του συντελεστή διαπερατότητας της μεμβράνης και φυσικά του μεγέθους της μεμβράνης. Είναι κατανοητό πως όσο μεγαλύτερη είναι μια μεμβράνη τόσο περισσότερο νερό μπορεί να περάσει διαμέσου αυτής. Οπότε, το εμβαδόν της καθορίζει τον ρυθμό ροής του νερού διαμέσου αυτής. Αντίστροφα όμως λειτουργεί το πάχος της. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της μεμβράνης τόσο δυσκολότερα διέρχεται το νερό διαμέσου αυτής με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός ροής του νερού. Βέβαια το μεγαλύτερο πάχος οδηγεί σε μεγαλύτερη κατακράτηση αλάτων άρα και καλύτερη ποιότητα παραγόμενου αφαλατωμένου νερού. Όμως από ένα σημείο και μετά, όσο και να αυξηθεί το πάχος, η βελτίωση στην ποιότητα του νερού είναι ελάχιστη και απλά υπάρχει μια μείωση της παραγωγής.

Η τεχνολογία και το υλικό των μεμβρανών αποτελούν το κύριο στοιχείο από το οποίο καθορίζεται η αποτελεσματικότητα και η απόδοση των συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης. Μια μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης κατασκευάζεται από ένα φιλμ ενός πολυμερικού υλικού το οποίο έχει μια ειδική δομή. Στο εξωτερικό του τμήμα το φιλμ αυτό έχει μια πολύ λεπτή επικάλυψη πάχους της τάξεως των μερικών μικρομέτρων. Μετά υπάρχει ένα στρώμα σπογγώδους μορφής, με μικροπορώδη δομή και πάχους έως και 0,05 χιλιοστών. Τέλος, ένα υφασμάτινο προϊόν τοποθετείται για την υποστήριξη της δομής της μεμβράνης. Το συνολικό πάχος μιας μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης σπάνια ξεπερνάει το μισό χιλιοστό, συνήθως είναι της τάξεως των 0,2 χιλιοστών.

Η μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης πρέπει να έχουν τέτοια δομή ώστε να παρέχουν μεγάλη διαπερατότητα στο νερό για να αυξάνεται το ρεύμα διήθησης. Επιπλέον όμως πρέπει να χαρακτηρίζονται από υψηλή ημιδιαπερατότητα ώστε να μην μεταφέρονται διαμέσου αυτής πολλά ιόντα αλάτων ώστε να αυξάνεται η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος. Επιπλέον η τεχνολογία της μεμβράνης πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορεί να λειτουργήσει με διάφορα διαλύματα εισόδου καθώς το αλμυρό ή το υφάλμυρο νερό δεν έχει παντού ούτε την ίδια σύσταση ούτε το ίδιο pH . Τέλος, η μεμβράνη πρέπει να έχει καλές μηχανικές αντοχές ώστε να μπορεί να εργαστεί σε διάφορα θερμοκρασιακά εύρη αφού η θερμοκρασία μεταβάλλεται για μια περιοχή τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας όσο και κατά την διάρκεια του έτους. Συνήθως οι μεμβράνες που κυκλοφορούν σήμερα έχουν την δυνατότητα να κρατήσουν αυτές τους τις ιδιότητες σταθερές για ένα διάστημα μεταξύ 5 και 10 ετών, όσο θεωρείται και ο χρόνος ζωής τους.

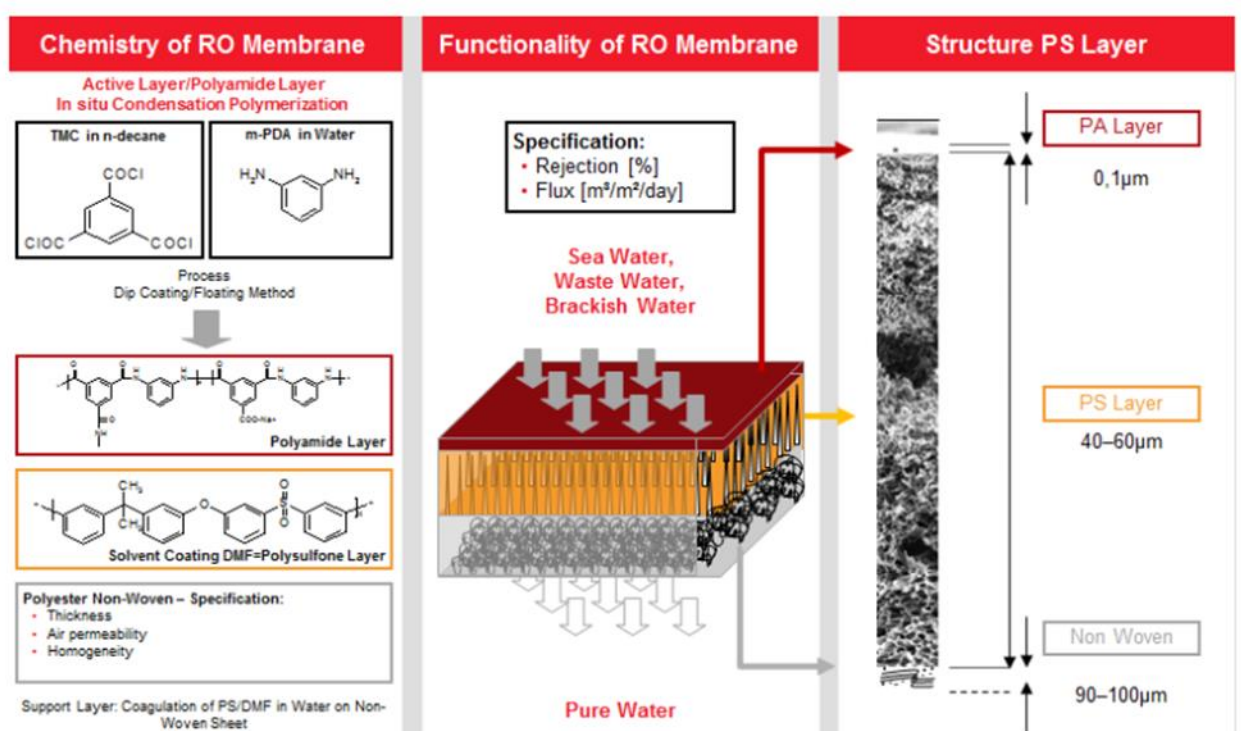
Σήμερα οι περισσότερες μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης είναι κατασκευασμένες είτε από οξική κυτταρίνη είτε από πολυαμίδιο. Οι μεμβράνες οξικής κυτταρίνης αποτελούνται από μια υφασμάτινη δομή πολυεστέρα στην οποία τοποθετούνται διογκωτικά και ένα μείγμα αποτελούμενο από ακετόνη και οξική κυτταρίνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός λεπτού φιλμ το οποίο εν συνεχεία τοποθετείται μέσα σε ένα παγωμένο υδάτινο λουτρό. Στο λουτρό αυτό γίνεται καθαρισμός του φιλμ από τα υπολείμματα ακετόνης και από διάφορες άλλες χημικές ουσίες που τυχόν χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του. Στο επόμενο βήμα το φιλμ τοποθετείται και πάλι σε ένα υδάτινο λουτρό μόνο που αυτή την φορά είναι θερμό, με θερμοκρασίες που ξεκινούν από τους 60°C και δύναται να

πλησιάζουν και την θερμοκρασία βρασμού του υλικού. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξάτμιση μιας ποσότητας διαλύτη. Επιπλέον το θερμό λουτρό έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση του χαρακτηριστικού της ημιπερατότητας της οξικής κυτταρίνης αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της μεμβράνης. Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι η κατασκευή μιας μεμβράνης με επικάλυψη πάχους 1 έως 2 μικρόμετρα η οποία καθορίζει την ημιπερατότητά της, και μια ασύμμετρη δομή αποτελούμενη από ένα πορώδους υφής τμήμα κάτω από την επικάλυψη..

Οι μεμβράνες οξικής κυτταρίνης έχουν μερικά πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά. Καταρχήν, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής μεμβρανών οξικής κυτταρίνης με διαφορετικά χαρακτηριστικά ημιπερατότητας, να διαπερνούνται δηλαδή από διαφορετικά άλατα και από διαφορετικές ποσότητες νερού. Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν κατά βάση από το θερμό λουτρό στο οποίο υπόκειται η μεμβράνη και το σημαντικό στοιχείο που τα καθορίζει είναι η θερμοκρασία του λουτρού. Πέραν τούτου, οι μεμβράνες οξικής κυτταρίνης είναι ανελαστικές ως προς το pH του ρευστού το οποίο δύναται να αφαλατώσουν το οποίο πρέπει να λαμβάνει τιμές από 6 κατ' ελάχιστον έως και 8 κατά μέγιστο. Φυσικά εννοείται πως και ο καθαρισμός των μεμβρανών πρέπει να γίνεται με ρευστό που έχει αυτό το pH . Αυτό συμβαίνει γιατί η οξική κυτταρίνη παρουσιάζει υδρόλυση σε περίπτωση που έρθει σε επαφή με ρευστό που έχει ακραίες τιμές pH , είτε αυτές είναι όξινες, είτε αλκαλικές. Αυτό είναι και το κύριο μειονέκτημά τους που δεν τις καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμες για την τεχνολογία αφαλάτωσης, αντιθέτως προτιμώνται για αντίστροφη ώσμωση σε ελεγχόμενα βιομηχανικά περιβάλλοντα όπως είναι η βιομηχανία τροφίμων και η φαρμακευτική βιομηχανία.

Στα συστήματα αφαλάτωσης κυρίως χρησιμοποιούνται οι μεμβράνες πολυαμιδίου. Η παραγωγή των μεμβρανών αυτών γίνεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση χρησιμοποιείται ένα διάλυμα πολυσουλφόνης το οποίο τοποθετείται σε μια πολυεστερική υφαντή δομή που αποτελεί και την βάση της μεμβράνης. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται το υποστηρικτικό υπόστρωμα, έντονα πορώδες, το οποίο δεν παρέχει καμία ημιπερατότητα και στο οποίο θα τοποθετηθεί η επικάλυψη. Ακολούθως, το υπόστρωμα αυτό οδηγείται σε ένα λουτρό νερού στο οποίο αφαιρείται ο διαλύτης που χρησιμοποιήθηκε. Εν συνέχεια, στην δεύτερη φάση γίνεται ένας διεπιφανειακός πολυμερισμός με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας επικάλυψης με έντονα χαρακτηριστικά ημιπερατότητας. Ο διεπιφανειακός πολυμερισμός λαμβάνει χώρα μεταξύ δύο

μονομερών, της μεταφαινυλενοδιαμίνης και του τριμεσικού οξέος. Το πρώτο μονομερές περιέχει αμινοομάδες και το δεύτερο περιέχει ομάδες χλωρίου και καρβοξυλικό οξύ. Μετά την δημιουργία της επικάλυψης η μεμβράνη οδηγείται και πάλι σε ένα λουτρό για τον καθαρισμό της και εν συνεχεία τοποθετείται μέσα σε ένα φούρνο ώστε να ξηραθεί. Με αυτό την διαδικασία ολοκληρώνεται και η δεύτερη φάση και πλέον η μεμβράνη είναι έτοιμη προς χρήση. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η δομή, η λειτουργία και ο τρόπος παραγωγής της τυπικής μεμβράνης πολυαμιδίου.



Εικόνα 2.4: Κατασκευή, λειτουργία και δομή μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης πολυαμιδίου

Η παραγωγή της μεμβράνης πολυαμιδίου σε δύο ξεχωριστές φάσεις επιτρέπει την βελτιστοποίηση ξεχωριστά του κάθε στρώματος της μεμβράνης. Αυτό επιτρέπει την διέλευση μεγαλύτερης ποσότητας νερού διαμέσου της μεμβράνης με τον ταυτόχρονο περιορισμό της διέλευσης ιόντων άλατος σε σχέση με τις μεμβράνες οξικής κυτταρίνης που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Πέραν τούτου, οι μεμβράνες πολυαμιδίου δεν υδρολύονται τόσο εύκολα έτσι επιτρέπουν την αφαλάτωση νερού σε μεγαλύτερο εύρος της κλίμακος pH. Το μόνο τους μειονέκτημα είναι πως σε αυξημένες ποσότητες

χλωρίου στο ρευστό υφίστανται οξειδωτική αποδόμηση. Το πρόβλημα αυτό λύεται στις νέες γενιές των μεμβρανών οι οποίες κατασκευάζονται από το πολυαμίδιο του Cadotte και είναι οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των σταθμών αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης.

Μια σύγχρονη μέθοδος διήθησης των διαλυμάτων, λαμβάνει χώρα με την χρήση δικτύου μεμβρανών έναντι των κλασικών μεμβρανών που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Τα δίκτυα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και στα συστήματα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης. Τα συστήματα μεμβρανών είναι επί της ουσίας οι μεμβράνες που έχουν οι βιολογικοί οργανισμοί, οι οποίες αποτελούνται από πρωτεϊνικά δίκτυα και διαμέσου αυτών γίνεται μεταφορά νερού και διαφόρων άλλων συστατικών. Η τεχνολογία έχει εξελιχθεί σε τέτοιο επίπεδο που είναι σε θέση να αντιγράψει αυτά τα πρωτεϊνικά δίκτυα κατασκευάζοντας αντίστοιχα μηχανικά, αποτελούμενα από νανοσωλήνες άνθρακα.

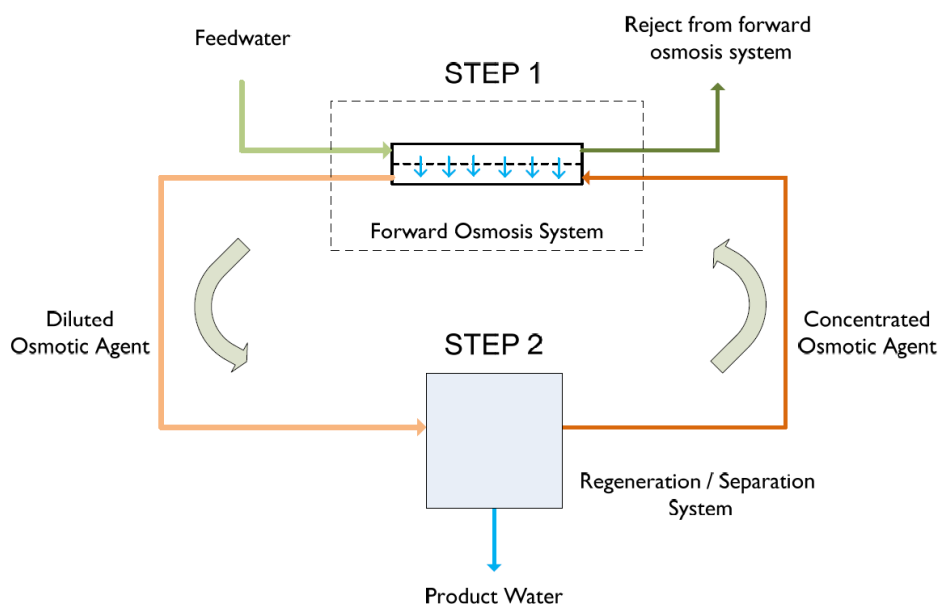
Ο λόγος που εξετάζονται τα δίκτυα μεμβρανών ως λύση στα συστήματα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Καταρχήν λοιπόν χαρακτηρίζονται από την μεγάλη διαπερατότητά τους στο νερό κάτι που επιτρέπει την διέλευση μεγάλων ποσοτήτων νερού. Επιπλέον, τα δίκτυα αυτά έχουν πολύ μικρό μέγεθος πόρων, της τάξεως των 0,3nm με αποτέλεσμα να απορρίπτουν τα άλατα που έχουν μεγαλύτερο μέγεθος, κάτι που συνεπάγεται πως τα δίκτυα αυτά είναι εξαιρετικά εκλεκτικά. Επιπλέον, τα πρωτεϊνικά δίκτυα αποτελούνται από διάφορα αμινοξέα τα οποία έχουν την δυνατότητα απόρριψης της διέλευσης των φορτισμένων αλατικών ιόντων.

2.3.1.2 Εμπρόσθια ώσμωση

Μια δεύτερη τεχνική αφαλάτωσης με την χρήση μεμβρανών είναι η τεχνική της εμπρόσθιας ώσμωσης (Forward Osmosis, FO εν συντομία). Βασικά η τεχνική αυτή βασίζεται στο φαινόμενο της ώσμωσης που περιγράφηκε παραπάνω. Ονομάζεται εμπρόσθια ώσμωση και όχι σκέτο ώσμωση απλά για να μην μπερδεύεται με την τεχνική της αντίστροφης ώσμωσης. Όπως ειπώθηκε στην προηγούμενη ενότητα, υπό κανονικές πιέσεις, τα άλατα κινούνται από ένα διάλυμα υψηλής αλατότητας σε ένα διάλυμα χαμηλότερης κατά το φαινόμενο της ώσμωσης. Οπότε, το θαλασσινό νερό, για να φιλτραριστεί, θα πρέπει να κινηθεί προς ένα διάλυμα με χαμηλότερη αλατότητα. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό καθώς διαθέσιμο υπάρχει μόνο θαλασσινό νερό. Για αυτό τον λόγο το θαλασσινό νερό που προορίζεται για αφαλάτωση έτσι ώστε να αποκτήσει

μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση από ένα άλλο ρεύμα θαλασσινού νερού που θα χρησιμοποιηθεί για την απορρόφηση των αλάτων.

Το διάλυμα που χρησιμοποιείται δημιουργείται με την χρήση ενός ωσμωτικού παράγοντα, ενός παράγοντα ο οποίος αυξάνει την ωσμωτική πίεση έτσι ώστε να δημιουργηθεί η κίνηση των αλάτων του προς αφαλάτωση νερού στο δεύτερο ρεύμα θαλασσινού νερού. Κατά την εμφάνιση του φαινομένου της ώσμωσης το προς αφαλάτωση νερό κινείται διαμέσου της μεμβράνης και διαχωρίζεται από τα άλατα τα οποία εν συνεχεία αποβάλλονται με το δεύτερο ρεύμα νερού. Εν συνεχεία, το διάλυμα οδηγείται για να αφαιρεθεί από αυτό ο ωσμωτικός παράγοντας έτσι ώστε τελικά να προκύψει πόσιμο νερό. Συνήθως η αφαίρεση του ωσμωτικού παράγοντα απαιτεί την κατανάλωση μιας ποσότητας ενέργειας η οποία όμως σαφώς δεν συγκρίνεται με τα τεράστια ποσά ενέργειας που απαιτούν οι τεχνικές αφαλάτωσης με εξάτμιση που περιγράφονται σε επόμενη ενότητα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται διαγραμματικά η τεχνική αφαλάτωσης με εμπρόσθια ώσμωση.



Εικόνα 2.5: Τεχνική εμπρόσθιας ώσμωσης

Η διαφορά λοιπόν της τεχνικής της εμπρόσθιας με την αντίστροφη ώσμωση είναι πως δεν απαιτείται η αύξηση της πίεσης του ρευστού, αντιθέτως, απαιτείται η προσθήκη ωσμωτικού παράγοντα μέσα στο ρευστό προκειμένου να αφαλατωθεί και εν συνεχεία η απομάκρυνσή του. Από αυτή την διαφορά προκύπτουν δύο πλεονεκτήματα για την τεχνική εμπρόσθιας ώσμωσης. Καταρχήν απαιτείται μικρότερο ποσό ενέργειας, το οποίο μάλιστα μπορεί να είναι και απόρριμμα ενέργειας κάποιας άλλης διεργασίας, καθώς η αφαίρεση του ωσμωτικού παράγοντα είναι λιγότερο ενεργοβόρα από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του συμπιεστή για την αύξηση της πίεσης του ρευστού. Το δεύτερο έχει να κάνει με την διάρκεια ζωής της μεμβράνης. Η λειτουργία υπό κανονική πίεση συνεπάγεται μικρότερη ποσότητα ρυπαντών στην ίδια ποσότητα νερού με αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας ζωής της μεμβράνης. Επιπλέον τούτου, η χαμηλότερη πίεση συνεπάγεται μικρότερα φορτία στις μεμβράνες με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής τους.

Στην εμπρόσθια ώσμωση χρησιμοποιούνται κυρίως οι μεμβράνες οξικής κυτταρίνης. Οι μεμβράνες αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλότερη ροή ρευστού αλλά από χαμηλότερη διαπερατότητα. Δύναται να κατασκευαστούν χωρίς το σκληρό υπόστρωμα, μόνο με κάποια πλέγματα πολυεστέρα που τις συγκρατούν εφόσον η πίεση του προς αφαλάτωση ρεύματος δεν είναι υψηλή. Αυτό επιτρέπει στις μεμβράνες εμπρόσθιας ώσμωσης να έχουν πολύ χαμηλότερο πάχος από τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης. [3], [24]

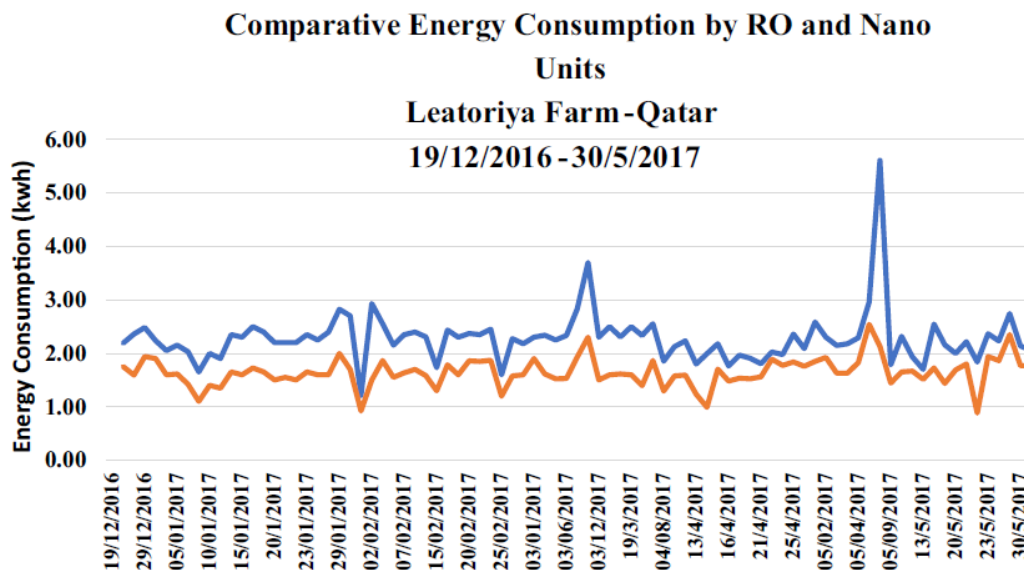
2.3.1.3 Νανοδιήθηση

Η νανοδιήθηση, διεθνώς αναφερόμενη ως nanofiltration και εν συντομία NF, είναι μια άλλη τεχνική αφαλάτωσης με την χρήση μεμβρανών. Η τεχνολογία αυτή εμφανίστηκε περί την δεκαετία του 1980 και ομοιάζει αρκετά με την τεχνολογία αντίστροφης ώσμωσης. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην νανοδιήθηση είναι έντονα πορώδους δομής και στην επιφάνειά τους έχουν επιφανειακό φορτίο. Το φορτίο αυτό συνήθως είναι αρνητικό. Αυτό τους επιτρέπει να αποκλείουν την διέλευση των αλάτων διαμέσου αυτών με τρεις τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι ο περιορισμός της διέλευσης των αλάτων που εγκλωβίζονται στην πορώδη δομή της μεμβράνης. Αυτός είναι ο αποκλεισμός μεγέθους. Ο δεύτερος τρόπος είναι η απόθεση των αλάτων με αρνητικά φορτία καθώς αυτά απωθούνται από το αρνητικό φορτίο που υπάρχει στην επιφάνεια της μεμβράνης. Αυτός ο αποκλεισμός ονομάζεται ηλεκτροστατικός. Το πρόβλημα σε αυτό τον τρόπο είναι ότι το φορτίο της μεμβράνης μεταβάλλεται αναλόγως του pH του ρευστού με αποτέλεσμα να

μην υπάρχει μια σταθερή απόρριψη συγκεκριμένων ιόντων. Τέλος, ο τρίτος τρόπος είναι ο διηλεκτρικός αποκλεισμός κατά τον οποίο, εξαιτίας της διαφορετικής διηλεκτρικής σταθεράς μεταξύ των αλάτων και της μεμβράνης αυτά απωθούνται και δεν διαπερνούν την μεμβράνη.

Η δράση των τριών μηχανισμών έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη αποτελεσματικότητα της μεθόδου στην αφαλάτωση υδάτων. Το πρόβλημα της μεθόδου αυτής όμως, όπως προαναφέρθηκε, έγκειται στον δεύτερο μηχανισμό λειτουργίας και ειδικότερα στην απόρριψη αλάτων με χαμηλό φορτίο, μονοσθενών αλάτων. Σε αυτά οι δυνάμεις απώθησης είναι μικρές με αποτέλεσμα να μπορούν να διέρχονται της μεμβράνης. Έτσι η τεχνική αυτή θεωρείται πιο αποτελεσματική και προτείνεται αν κατόπιν αναλύσεων το νερό το οποίο πρόκειται να αφαλατωθεί είναι πλούσιο σε πολυσθενή άλατα (για παράδειγμα είναι πλούσιο σε άλατα μαγνησίου και ασβεστίου) και φτωχό σε μονοσθενή (δηλαδή για παράδειγμα δεν περιέχει άλατα χλωρίου, καλίου και νατρίου).

Επί της ουσίας, η τεχνική αυτή είναι η ίδια με την τεχνική αντίστροφης ώσμωσης μόνο που αλλάζει η τελευταία μεμβράνη, δεν τοποθετείται μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης αλλά μια μεμβράνη για νανοδιήθηση. Ο λόγος που προτιμάται η τεχνική της νανοδιήθησης είναι γιατί συνολικά είναι μια τεχνολογία με χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με την τεχνολογία αντίστροφης ώσμωσης. Το χαμηλότερο κόστος προκύπτει εξαιτίας της αποτελεσματικότητας της μεμβράνης με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την λειτουργία της μονάδας η οποία λειτουργεί σε χαμηλότερες πιέσεις. Με αυτό τον τρόπο εμφανίζεται εξοικονόμηση ενέργειας. Η χαμηλότερη κατανάλωση καθιστά την τεχνική αυτή όλο και δημοφιλέστερη με αποτέλεσμα το 2013 να καταλαμβάνει περί το 4% των παγκόσμιων μονάδων αφαλάτωσης. Βέβαια οι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης καταλαμβάνουν περί το 50% οπότε υπάρχει ακόμη πολύ περιθώριο και πολύ διεκδικήσιμο ποσοστό από τις μονάδες νανοδιήθησης. Στο γράφημα της εικόνας που ακολουθεί παρουσιάζεται το κόστος, η ενέργεια που απαιτήθηκε για την λειτουργία μιας μονάδας η οποία στην μια περίπτωση λειτουργούσε ως μονάδα αντίστροφης ώσμωσης και στην άλλη ως μονάδα νανοδιήθησης. Φαίνεται, πως στο σύνολο της λειτουργίας της η μονάδα νανοδιήθησης κατανάλωνε σημαντικά χαμηλότερα ποσά ενέργειας αφαλατώνοντας την ίδια ποσότητα νερού με μικρότερα κόστη.



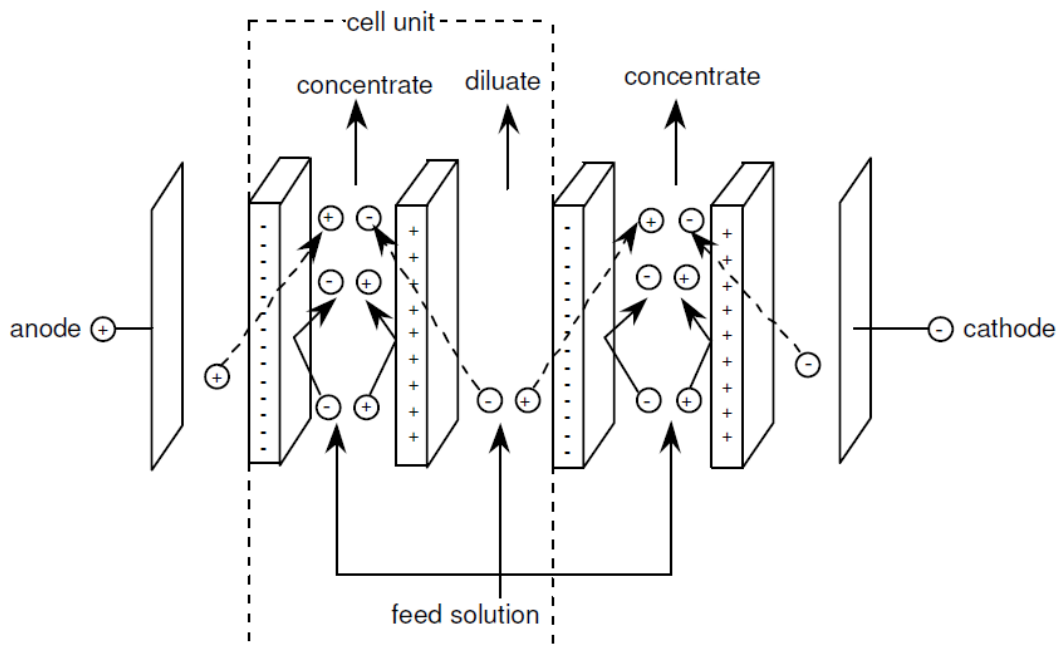
Εικόνα 2.6: Σύγκριση κατανάλωσης αφαλάτωσης με νανοδιήθηση (μπλε) και με αντίστροφη ώσμωση (πορτοκαλί)

2.3.1.4 Ηλεκτροδιάλυση

Η ηλεκτροδιάλυση, στην διεθνή βιβλιογραφία συναντάται ως Electrodialysis ή εν συντομία ED είναι μια μέθοδος αφαλάτωσης η οποία χρησιμοποιεί μεμβράνες που αποκλείει τα άλατα εξαιτίας του ηλεκτρικού τους φορτίου που φέρουν. Η ηλεκτροδιάλυση λαμβάνει χώρα ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια, το ένα έχει τον ρόλο της ανόδου και το άλλο της καθόδου. Ενδιάμεσα των δύο ηλεκτροδίων εναλλάσσονται δύο είδη μεμβρανών, η μεμβράνη ανιόντων και η μεμβράνη κατιόντων. Κάθε ζεύγος μεμβρανών σχηματίζει το στοιχειώδες τμήμα της μονάδος, την κυψέλη. Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων τοποθετούνται δύο κυψέλες.

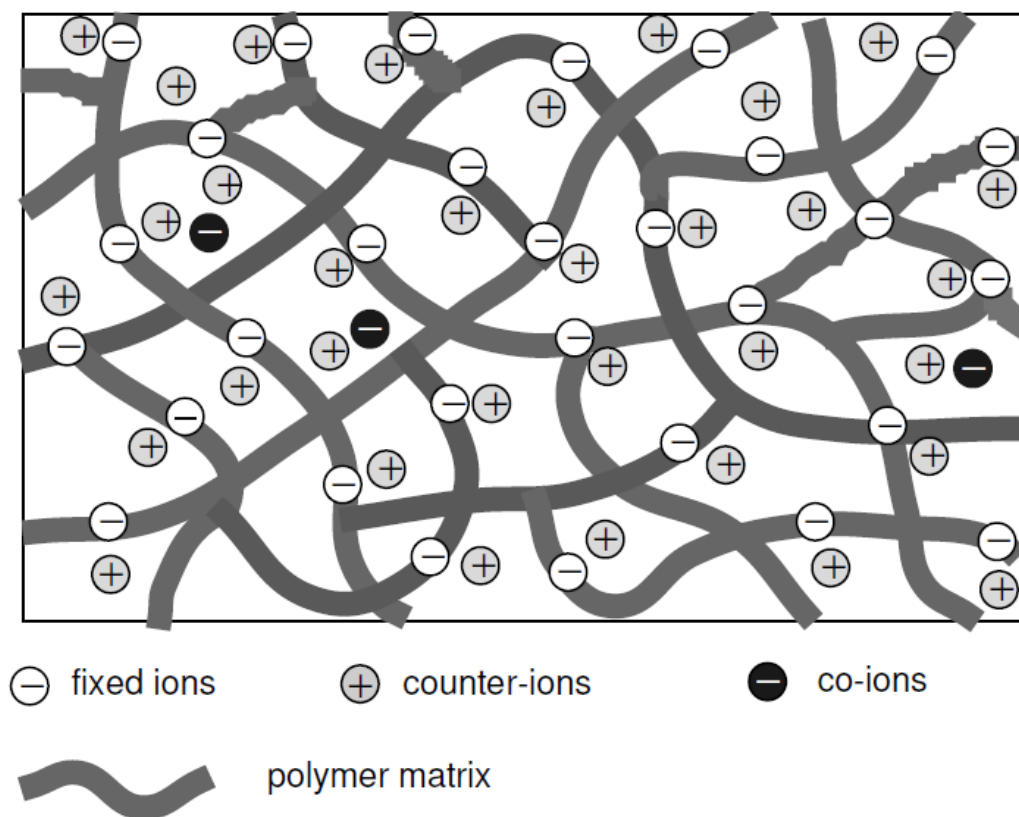
Κατά την λειτουργία της κυψέλης, ηλεκτρικό δυναμικό τροφοδοτεί τα δύο ηλεκτρόδια. Εν τω μεταξύ, ενδιάμεσα των ηλεκτροδίων ρέει το προς αφαλάτωση ρευστό. Καθώς αυτό αναγκάζεται να κινηθεί ανάμεσα στα ηλεκτρικά φορτισμένα ηλεκτρόδια τα φορτισμένα ιόντα του κινούνται, αναλόγως του φορτίου τους. Έτσι λοιπόν, τα ανιόντα, δηλαδή τα μόρια αλάτων με θετικό φορτίο, κινούνται προς την κάθοδο, και τα κατιόντα, τα μόρια αλάτων με αρνητικό φορτίο, κινούνται προς την άνοδο. Κατά την κίνησή τους αναγκάζονται να διέλθουν των μεμβρανών ανιόντων και κατιόντων που υπάρχουν στην κυψέλη. Πλησίον της ανόδου υπάρχει μια μεμβράνη

κατιόντων με αποτέλεσμα να διαπερνάτε μόνο από τα ανιόντα που βρίσκονται πλέον ανάμεσα των δύο μεμβρανών. Αντίστοιχα, πλησίον της καθόδου υπάρχει μια μεμβράνη ανιόντων έτσι τα κατιόντα που απωθούνται από την κάθοδο διέρχονται της μεμβράνης και βρίσκονται ανάμεσα στις δύο μεμβράνες της δεύτερης κυψέλης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κυψέλη πλησίον της ανόδου να είναι φορτισμένη θετικά ανάμεσα στις μεμβράνες της και η κυψέλη πλησίον της καθόδου να είναι φορτισμένη αρνητικά. Μεταξύ των δύο κυψελών διέρχεται επίσης ρευστό του οποίου τα ανιόντα έλκονται από την αρνητικά φορτισμένη κυψέλη και τα κατιόντα από την θετικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διέρχονται των αντίστοιχων μεμβρανών και να οδηγούνται και αυτά στο κέντρο της κυψέλης. Έτσι δημιουργείται ένα ρεύμα στην κυψέλη με υψηλή συγκέντρωση αλάτων και ένα ρεύμα με χαμηλή συγκέντρωση, το αφαλατωμένο ρεύμα. Σε μια πολυπλοκότερη διάταξη μπορεί να εισαχθεί μεγαλύτερος αριθμός κυψελών ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια. Η λειτουργία της αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 2.7: Λειτουργία αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση

Η λειτουργία της ηλεκτροδιάλυσης βασίζεται στην χρήση των μεμβρανών ανταλλαγής ιόντων, θετικού και αρνητικού φορτίου, δηλαδή ανιόντων και κατιόντων. Είναι σαφές λοιπόν ότι οι μεμβράνες ανταλλαγής ιόντων είναι δύο τύπων, οι μεμβράνες ανιόντων (AEM) και οι μεμβράνες κατιόντων (CEM). Η διαφορά των δύο τύπων έγκειται στα φορτία που φέρουν ώστε να έλκουν τα αντίστοιχα ιόντα. Οι μεμβράνες ανιόντων φέρουν θετικά φορτισμένες ομάδες στην επιφάνειά τους. Το αποτέλεσμα είναι πως ασκούν αποστική δύναμη και κατά συνέπεια αποτρέπουν την διέλευση των ανιόντων αλλά έλκουν και επιτρέπουν την διέλευση των κατιόντων. Αντιθέτως, οι μεμβράνες κατιόντων φέρουν αρνητικά φορτισμένες ομάδες με αποτέλεσμα να αποτρέπουν την διέλευση των κατιόντων αλλά να επιτρέπουν την διέλευση των ανιόντων. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται μια μεμβράνη κατιόντων η οποία έχει αρνητικά φορτία που αποτρέπουν την διέλευση των κατιόντων.



Εικόνα 2.8: Μembrάνη κατιόντων

Η ηλεκτροδιάλυση θεωρείται ως μια τεχνική αφαλάτωσης ιδανική για υφάλμυρα νερά και για νερά με χαμηλά ποσοστά αλάτων. Σε αυτή την περίπτωση το κόστος λειτουργίας της είναι μικρό και πλεονεκτεί στο ότι έχει πολύ μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής πόσιμου νερού σε σχέση με τις άλλες μεθόδους μεμβρανών που εξετάστηκαν έως τώρα. Επιπλέον, οι μεμβράνες της είναι αρκετά ανθεκτικότερες ενώ δεν απαιτείται και η αύξηση πίεσης του νερού για την λειτουργία της. Πέραν τούτων, η ηλεκτροδιάλυση παρέχει και ένα ρεύμα πλούσιο σε άλατα. Αυτό μπορεί να εκμεταλλευθεί για παραγωγή άλατος, κάτι που δίνει έσοδα στην μονάδα περιορίζοντας έτσι το κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού. [25], [33], [34]

2.3.2 Τεχνικές εξάτμισης

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία τεχνικών αφαλάτωσης νερού είναι οι τεχνικές εξάτμισης. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην εξάτμιση του αλμυρού νερού. Κατά την εξάτμιση, με εξωτερική προσθήκη ενέργειας το θαλασσινό νερό δημιουργεί ατμούς οι οποίοι οδηγούνται σε ένα αποστακτήρα. Εκεί γίνεται η απόσταξη και δημιουργείται νερό απαλλαγμένο από τα άλατα του αλμυρού νερού. Εν συνεχεία το υπόλειμμα της απόσταξης συμπυκνώνεται και δημιουργείται άλμη η οποία απορρίπτεται πίσω στο περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο έχει επιτευχθεί ο διαχωρισμός του πόσιμου νερού από τα άλατα του νερού τροφοδοσίας. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με διάφορες τεχνικές. Οι σημαντικότερες τεχνικές, οι οποίες και εξετάζονται στο κεφάλαιο αυτό, είναι τέσσερις, πρόκειται για την πολυβάθμια εξάτμιση, την πολυβάθμια εκτόνωση, την τεχνική της συμπύεσης των ατμών (που διαχωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες, την θερμική και την μηχανική) και την τεχνική απόσταξης κενού. Στις επόμενες τέσσερις υποενότητες παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες τεχνικές.

2.3.2.1 Πολυβάθμια εξάτμιση

Η μέθοδος της πολυβάθμιας εξάτμισης, η οποία διεθνώς συναντάται με την ονομασία Multi – Effect Distillation (και σπανιότερα Multiple – Effect Distillation) ή εν συντομογραφία MED είναι μια από τις παλαιότερες και πιο αξιόπιστες τεχνικές αφαλάτωσης. Έχει εφαρμοστεί για περισσότερο από 100 χρόνια, και παρόλο που για κάποιο διάστημα είχε εμφανίζει μια κάμψη η χρήση της αφού αντικαταστάθηκε από την πολυβάθμια εκτόνωση, τα τελευταία χρόνια άρχισε να ανακάμπτει αφού θεωρείται πιο αποδοτική μέθοδος.

Η μέθοδος της πολυβάθμιας εξάτμισης αποτελεί εξέλιξη της μεθόδου της μονοβάθμιας εξάτμισης η οποία δεν εφαρμόστηκε πουθενά εξαιτίας του πολύ χαμηλού βαθμού απόδοσής της. Μια βαθμίδα εξάτμισης λοιπόν είναι κατασκευασμένη από έναν αποστακτήρα, ένα συμπυκνωτή και ένα διαχωριστή. Επιπλέον, ένας λέβητας παρέχει την ενέργεια που απαιτείται ώστε να εξατμιστεί το αλμυρό ή το υφάλμυρο νερό. Εν συνεχεία, στον αποστακτήρα γίνεται η απόσταξη του νερού, διαχωρίζεται λοιπόν το νερό από τα άλατα, στον συμπυκνωτή επανέρχεται το νερό σε υγρή μορφή και εν συνεχεία στον διαχωριστή διαχωρίζονται το ρεύμα γλυκού πλέον νερού και το ρεύμα με την άλμη.

Η χρήση πολλών βαθμίδων στοχεύει στην αύξηση του αφαλατωμένου νερού με την καύση της ίδιας ποσότητας καυσίμου στον λέβητα, κάτι που θα βελτιώσει την απόδοση. Ο λέβητας χρησιμοποιείται για να θερμάνει και να εξατμίσει το νερό στην πρώτη βαθμίδα φέρνοντας το σε θερμοκρασία 100οC. Ο ατμός της πρώτης βαθμίδας, προτού διαχωριστεί και οδηγηθεί για συμπύκνωση χρησιμοποιείται ως πηγή θέρμανσης της δεύτερης βαθμίδας εξατμίζοντας το αλμυρό νερό που εισέρχεται σε αυτή. Για να γίνει αυτό δυνατό θα πρέπει στην δεύτερη θερμοκρασία να υπάρχει χαμηλότερη πίεση έτσι ώστε το αλμυρό νερό να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία βρασμού από αυτή που έχει το ρευστό στην πρώτη βαθμίδα. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται συμπιεστής για να αυξήσει την πίεση της πρώτης βαθμίδας. Εν συνεχεία, το ρευστό της δεύτερης βαθμίδας πρώτου συμπυκνωθεί χρησιμοποιείται για να εξατμίσει το ρευστό της τρίτης βαθμίδας που είναι ακόμη χαμηλότερης πίεσης. Έτσι υπάρχει και στην δεύτερη βαθμίδα συμπιεστής. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται σε όλες τις βαθμίδες.

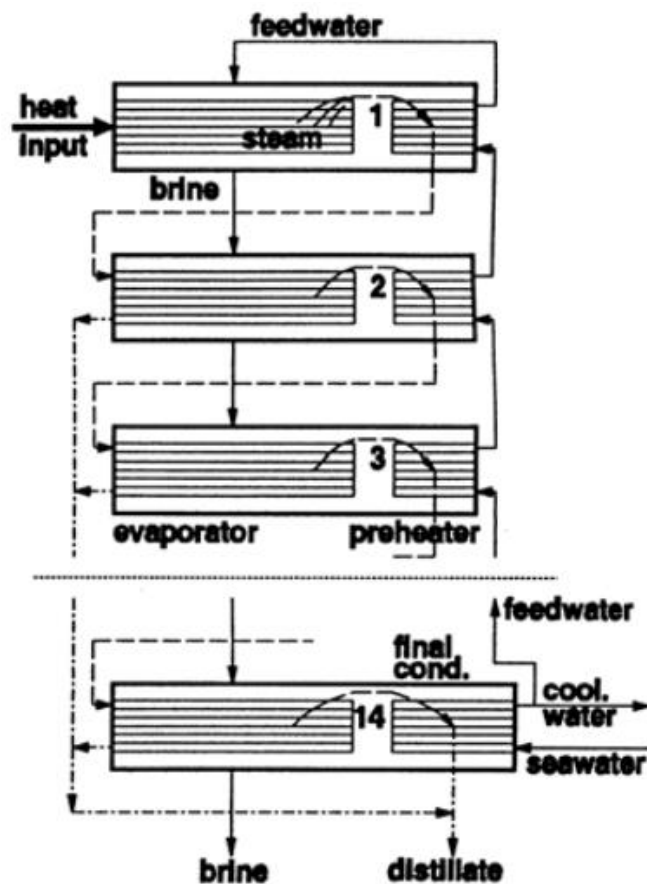
Σε κάθε βαθμίδα, το εισερχόμενο αλμυρό νερό ψεκάζεται υπό μορφή σταγονιδίων σε σωλήνες στους οποίους διέρχεται ο ατμός της προηγούμενης βαθμίδας. Οι σωλήνες αυτοί συνήθως είναι οριζόντια διατεταγμένοι, υπάρχει όμως και η πιθανότητα να είναι κάθετα διατεταγμένοι. Τμήμα του αλμυρού νερού που ψεκάζεται στους σωλήνες εξατμίζεται και οδηγείται στον επόμενη βαθμίδα. Το υπόλοιπο που μένει ψεκάζεται στην βαθμίδα που ακολουθεί. Εν τέλει, κάθε βαθμίδα παράγει ένα ποσό από το συνολικό αφαλατωμένο νερό.

Ο ατμός που μένει στην τελευταία βαθμίδα συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή και αποτελεί και αυτό τμήμα του αφαλατωμένου νερού. Συνήθως η ενέργεια ψύξης που απαιτεί ο συμπυκνωτής λαμβάνεται από την θάλασσα με ένα ρεύμα θαλασσινού νερού το οποίο δεν αναμιγνύεται με τα υπόλοιπα ρευστά

που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Σε σύγχρονες μονάδες όμως, από το ρεύμα ψύξης, το οποίο έχει θερμανθεί εισερχόμενο στον συμπυκνωτή προκειμένου να ψύξει τον ατμό, απομαστεύεται ένα τμήμα το οποίο οδηγείται στην τροφοδοσία της μονάδος. Έτσι το νερό με το οποίο τροφοδοτείται η μονάδα είναι προθερμασμένο άρα απαιτείται λιγότερη ενέργεια για να εξατμιστεί.

Το υπόλειμμα της τελικής βαθμίδας σε αλμυρό νερό οδηγείται πίσω στην θάλασσα. Το υπόλειμμα αυτό έχει θερμοκρασία μεν υψηλή αλλά όχι τόσο υψηλή ώστε να έχει εξατμιστεί. Η θερμοκρασία αυτή μπορεί να εκμεταλλευθεί με την χρήση διαφόρων εναλλακτών για περαιτέρω προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας της μονάδος ή για θέρμανση ρευστού που θα χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση χώρων (συχνά με την χρήση αντλιών θερμότητας νερού – νερού, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν και αλμυρό νερό).

Επί της ουσίας λοιπόν σε κάθε βαθμίδα επαναλαμβάνεται η διαδικασία της απόσταξης χωρίς περαιτέρω πρόσδοση ενέργειας, αυξάνοντας έτσι την απόδοση της συγκεκριμένης τεχνικής. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος αφαλάτωσης πολυβάθμιας εξάτμισης.



Εικόνα 2.9: Διάγραμμα λειτουργίας αφαλάτωσης πολυβάθμιας εξάτμισης

Κατά καιρούς έχουν παρουσιαστεί διάφορες διατάξεις πολυβάθμιας εκτόνωσης. Διαφέρουν ως προς τον αριθμό των βαθμίδων που έχουν, ως προς την διάταξη των σωλήνων ατμού μέσα στις βαθμίδες (μπορεί να είναι οριζόντια ή κάθετη) και ως προς την φορά της ροής του ατμού σε σχέση με το αλμυρό ρευστό (ίδια φορά – ομοροή ή αντίθετη φορά, αντιροή). Αποτέλεσμα αυτών των διατάξεων είναι η μικρή διαφοροποίηση των βαθμών απόδοσης. Έχει αποδειχτεί, τόσο θεωρητικά όσο και στην πράξη, ότι η αύξηση των βαθμίδων οδηγεί σε αύξηση του βαθμού απόδοσης της τεχνικής αυτής. Επίσης έχουν παρουσιαστεί τέτοιες μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες λαμβάνουν την αρχική ενέργεια, την αρχική ποσότητα ατμού κατευθείαν από θερμοηλεκτρικές μονάδες με τις οποίες σκοπίμως γεινιάζουν. Αυτό βελτιώνει ακόμη περισσότερο τον συνολικό βαθμό απόδοσης των δύο μονάδων, τον ήδη υψηλό βαθμό απόδοσης.

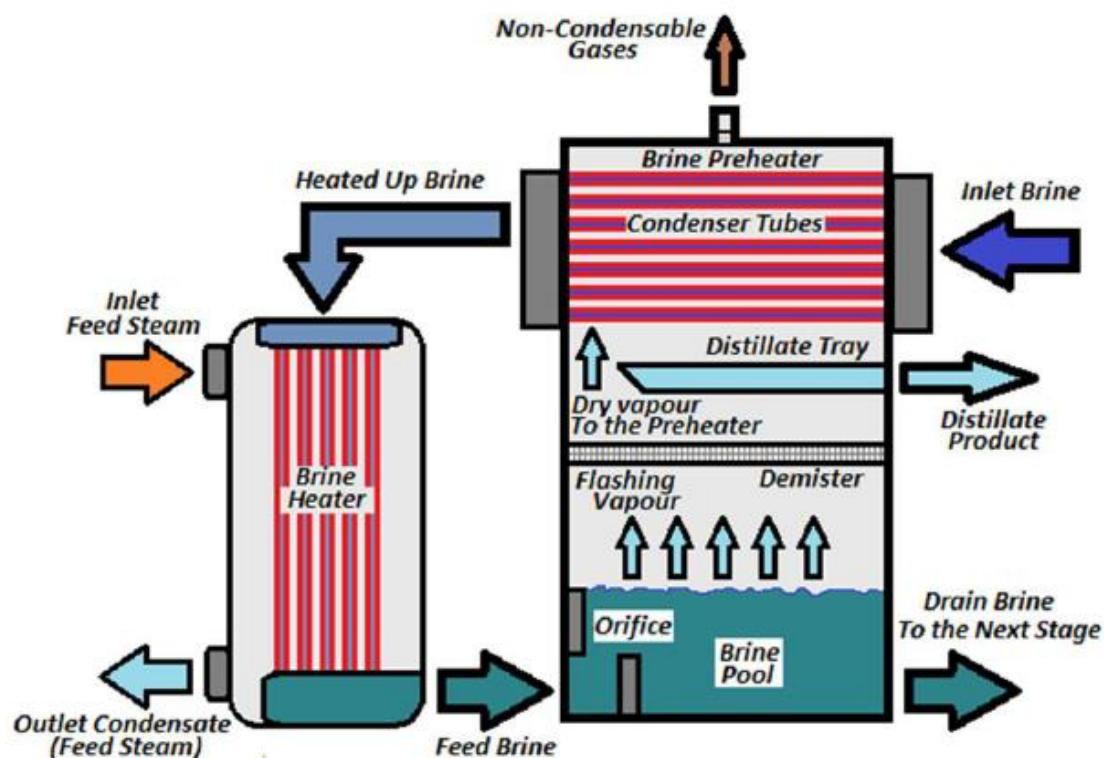
Ασχέτως όμως αυτών των μικροδιαφοροποιήσεων η πολυβάθμια εκτόνωση έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Είναι καταρχήν η ενεργειακή μέθοδος αφαλάτωσης με την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον λειτουργεί σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις κάτι που περιορίζει την φθορά των μηχανημάτων που την αποτελούν. Πολύ σημαντικό είναι πως δεν απαιτείται προεπεξεργασία του αλμυρού νερού, αντιθέτως η μέθοδος αυτή έχει την δυνατότητα να διαχειριστεί διαφοροποιήσεις στην ποιότητα και στην κατάσταση (πχ αρχική θερμοκρασία) του αλμυρού νερού που εισέρχεται. Πέραν τούτων είναι μια απλή μέθοδος στην λειτουργία της που παρουσιάζει υψηλή αξιοπιστία και κατά συνέπεια έχει πολύ μικρά κόστη συντήρησης. Τέλος, είναι μια μέθοδος που μπορεί να λειτουργήσει στο σύνολο του 24ώρου, μεγιστοποιώντας κατ' αυτό τον τρόπο την απόδοση και μάλιστα μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστη επιτήρηση μειώνοντας την ανάγκη για νυχτερινές βάρδιες όταν λειτουργεί και το βράδυ. Βέβαια έχει και κάποια μειονεκτήματα με το σημαντικότερο να είναι ότι δεν μπορεί να είναι μια μονάδα μικρού μεγέθους εξαιτίας του απαραίτητου για την λειτουργία της εξοπλισμού. Αυτό την καθιστά ιδανική μόνο για μεγάλες εφαρμογές κάλυψης αναγκών ολόκληρων νησιών ή πόλεων. Επιπλέον τούτου, η δυνατότητα της να λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες αποτρέπει την χρήση πηγών ενέργειας για παραγωγή ατμού σε υψηλότερες θερμοκρασίες κάτι που συνεπάγεται υψηλότερο βαθμό απόδοσης κατά την καύση.

2.3.2.2 Πολυβάθμια εκτόνωση

Η πολυβάθμια εκτόνωση, γνωστή διεθνώς με την ονομασία Multi Stage Flash Distillation ή εν συντομία (MSF) είναι ίσως η γνωστότερη τεχνική αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με την μέθοδο της αλλαγής των φάσεων. Χρησιμοποιείται, όπως και η MED, κυρίως σε εφαρμογές μεγάλου μεγέθους και κυρίως σε χώρες πλούσιες σε ορυκτά καύσιμα που δεν τους ενδιαφέρει τόσο η δαπάνη καυσίμου για παραγωγή ενέργειας για την λειτουργία της μονάδος (κάτι που όπως προαναφέρθηκε ισχύει για το σύνολο των μονάδων αφαλάτωσης με αλλαγή φάσης).

Στην τεχνική αυτή το θαλασσινό νερό που εισέρχεται στην μονάδα θερμαίνεται αλλά σε θερμοκρασία μικρότερη από την θερμοκρασία εξατμίσεως. Αυτό συνεπάγεται πως εισέρχεται στον θάλαμο αφαλάτωσης σε υγρή μορφή. Στον θάλαμο αυτό όμως επικρατεί χαμηλότερη πίεση, πίεση στην οποία το αλμυρό νερό, στην συγκεκριμένη θερμοκρασία που εισέρχεται θα έπρεπε να είχε εξατμιστεί. Αυτό οδηγεί στην άμεση εξάτμισή του, μια διεργασία η οποία

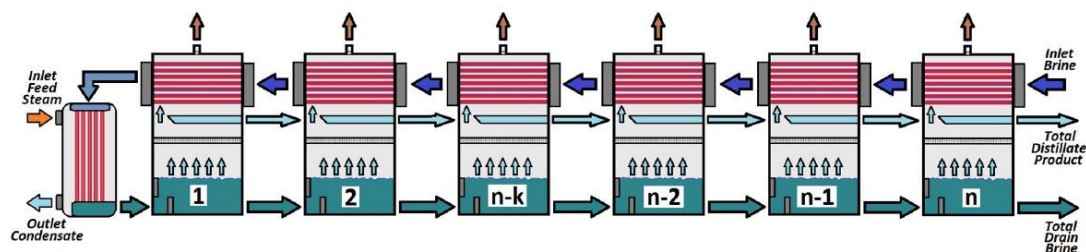
περιγράφεται με την χρήση του όρου «αστραπιαία ή εκρηκτική», ή στην διεθνή βιβλιογραφία «flash» εξαιτίας του πολύ μικρού χρονικού διαστήματος στο οποίο συμβαίνει, σαν να γίνεται μια έκρηξη, σαν να διαρκεί όσο διαρκεί μια αστραπή. Παρακάτω, η εικόνα δείχνει τον τρόπο λειτουργίας μιας βαθμίδας, συγκεκριμένα της πρώτης βαθμίδας της πολυβάθμιας εκτόνωσης



Εικόνα 2.10: Πρώτη βαθμίδα πολυβάθμιας εκτόνωσης

Στους θαλάμους αυτούς διέρχονται οι σωλήνες οι οποίοι τροφοδοτούν την μονάδα με θαλασσινό νερό. Όταν ο ατμός έρθει σε επαφή με αυτούς τους σωλήνες ένα τμήμα του υγροποιείται και αποτελεί το καθαρό νερό που παράγει η μονάδα. Ταυτόχρονα με αυτό τον τρόπο προθερμαίνεται το ρεύμα εισόδου στην μονάδα και απαιτείται μικρότερο ποσό ενέργειας για να φτάσει στην απαιτούμενη θερμοκρασία εισόδου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει σε πολλούς διαδοχικούς θαλάμους. Αρκεί σε κάθε θάλαμο η πίεση να μειώνεται έτσι ώστε να το θαλασσινό νερό να παραμένει μονίμως σε κατάσταση ατμού παρόλο που η θερμοκρασία του πέφτει. Ο αριθμός των θαλάμων εξαρτάται πλέον από την ικανότητα και το κόστος μείωσης της πίεσης καθώς όσο

μικρότερη πίεση απαιτείται τόσο αυξάνεται το κόστος. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η διαδοχή των βαθμίδων σε μια διάταξη πολυβάθμιας εκτόνωσης.



Εικόνα 2.11: Σύστημα αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης n βαθμίδων

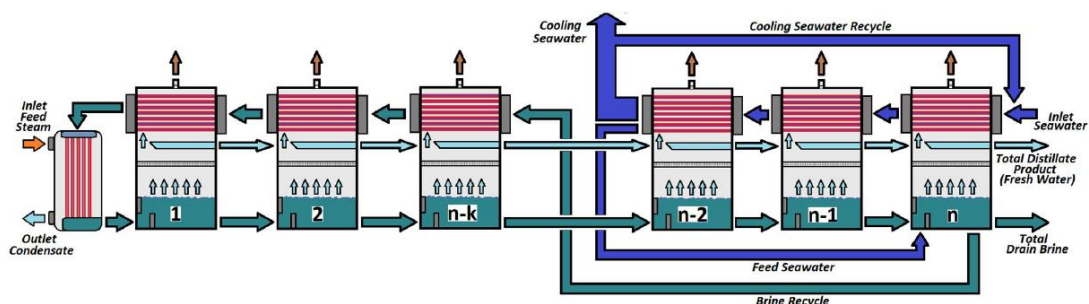
Στον τελευταίο θάλαμο η ποσότητα του αλμυρού ατμού που εν συνεχεία συμπυκνώνεται οδηγείται στην θάλασσα υπό μορφή άλμης. Η ενέργεια που έχει το τελευταίο υπόλοιπο ατμού αντιστοιχεί στην θερμοκρασία που εξέρχεται το ρευστό από τον τελευταίο θάλαμο. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του αλμυρού νερού που αποτελεί την τροφοδοσία για την συνέχιση του κύκλου λειτουργίας της συγκεκριμένης τεχνικής αφαλάτωσης μειώνοντας ακόμη περισσότερο την απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης του και αυξάνοντας κατ' αυτό τον τρόπο την απόδοση της μονάδος.

Οι συγκεκριμένες μονάδες αξίζει να βρίσκονται εγκατεστημένες μαζί με θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Σε αυτή την περίπτωση ο θερμοηλεκτρικός σταθμός εργάζεται με ατμό παραγόμενο από αλμυρό νερό. Κατόπιν της ολοκλήρωσης του κύκλου λειτουργίας του ρευστού στον σταθμό και την εκτόνωσή του στον ατμοστρόβιλο, εν συνεχεία, σε χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση οδηγείται στην μονάδα αφαλάτωσης. Έτσι, η ενέργεια του, που υπό άλλες συνθήκες θα απορριπτόταν στο περιβάλλον, τώρα χρησιμοποιείται για παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Εναλλακτικά, μπορεί η θερμοηλεκτρική μονάδα να λειτουργεί με ατμό παραγόμενο από γλυκό νερό και με την χρήση ενός εναλλάκτη, η ενέργεια του ατμού της μονάδος να χρησιμοποιείται για την θέρμανση του αλμυρού νερού που εισέρχεται στην μονάδα αφαλάτωσης.

Οι μονάδες αφαλάτωσης MSF παρουσιάζουν περίπου την ίδια απόδοση με τις μονάδες MED εφόσον ο αριθμός των σταδίων είναι μικρός (έως 3). Εν συνεχεία, όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταδίων, και οι δύο τεχνικές οδηγούν σε βελτίωση της απόδοσης μεν όμως η MED εμφανίζει πολύ μεγαλύτερη βελτίωση και κατά συνέπεια είναι πολύ πιο αποδοτική (σε 20 στάδια έχει 3 φορές καλύτερη απόδοση). Αυτό συνεπάγεται πως εάν υπάρχει η δυνατότητα

αύξησης των σταδίων αφαλάτωσης πρέπει να προτιμάται η τεχνική MED. Όμως η αύξηση των σταδίων στην τεχνική MED είναι πολύ κοστοβόρα εξαιτίας της ύπαρξης των (εξατμιστών – συμπιεστών) σε κάθε βαθμίδα. Αυτό συνεπάγεται πως με το ίδιο κόστος μπορεί να έχω πολύ περισσότερες βαθμίδες σε μια μονάδα MSF σε σχέση με τις βαθμίδες που μπορώ να έχω σε μια μονάδα MED και κατά συνέπεια, με το ίδιο κόστος να έχω μια πολύ αποτελεσματικότερη μονάδα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως μια μονάδα MSF έχει διπλάσια απόδοση από μια μονάδα MED με τρεις βαθμίδες.

Ένα τροποποιημένο μοντέλο της τεχνικής MSF είναι το μοντέλο στο οποίο γίνεται ανακύκλωση της άλμης που βγαίνει από το τελευταίο στάδιο, αντί της απόρριψής της στην θάλασσα και της εισρόφησης εξ ολοκλήρου νέας ποσότητας ρευστού για τροφοδοσία. Με αυτό τον τρόπο εκμεταλλεύεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό η ενέργεια που έχει η άλμη κατά την έξοδό της (εξέρχεται από την μονάδα με θερμοκρασίες της τάξης των 40oC) μειώνοντας έτσι το κόστος παροχής ενέργειας στην μονάδα. Επιπλέον με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούνται τα κόστη προ επεξεργασίας του θαλασσινού νερού πριν την είσοδό του στον λέβητα (τέτοιου είδους προεπεξεργασία για παράδειγμα είναι η χρήση χημικών μέσων περιορισμού του αφρού του νερού ή η εξαέρωση του). Στο μοντέλο αυτό λοιπόν η παροχή εισόδου περιλαμβάνει την ανακυκλωμένη άλμη κατά ένα ποσοστό και κατά ένα άλλο ποσοστό αποτελείται από φρέσκο θαλασσινό νερό. Την προεπεξεργασία την δέχεται μόνο το φρέσκου θαλασσινό νερό. Στην εικόνα που παρατίθεται παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα ενός συστήματος αφαλάτωσης στο οποίο λαμβάνει χώρα ανακύκλωση της άλμης που απορρίπτεται από την τελευταία βαθμίδα (πράσινο βέλος με φορά προς τα αριστερά).



Εικόνα 2.12: Διάταξη αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης με ανακύκλωση άλμης

Με αυτό τον τρόπο περιορίζονται τα κόστη λειτουργίας της μονάδας και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσής της. Τα στοιχεία αυτά είναι τα δύο κύρια πλεονεκτήματά της μονάδας MSF με χρήση κύκλου ανακύκλωσης. Η χρήση της ανακύκλωσης όμως έχει και μειονεκτήματα. Η μονάδα γίνεται κατασκευαστικά πιο πολύπλοκη και έχει αυξημένο κόστος κατασκευής που οφείλεται στις πρόσθετες σωληνώσεις και την πρόσθετη αντλία που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, η προσθήκη ενός τμήματος συνεπάγεται αυξημένα κόστη συντήρησης και συνολική μείωση του επιπέδου διαθεσιμότητας καθώς αυξάνονται οι παράγοντες που πιθανόν να οδηγήσουν σε βλάβες και κατά συνέπεια σε περιορισμό της χρήσης της μονάδας.

Συμπύεση ατμών

Η τεχνική της συμπύεσης ατμών (εν συντομογραφία VC, προερχόμενο από το αγγλικό Vapor Compression) είναι μια από τις απλούστερες τεχνικές αφαλάτωσης με την χρήση της εξάτμισης. Χωρίζεται σε δύο επιμέρους τεχνικές, την θερμική συμπύεση ατμών (TVC – Thermal Vapor Compression) και την μηχανική συμπύεση ατμών (MVC – Mechanical Vapor Compression).

Και οι δύο επιμέρους τεχνικές βασίζονται στην ίδια αρχή, δηλαδή την συμπύεση των ατμών έτσι ώστε να εκμεταλλευτούν περαιτέρω την λανθάνουσα θερμότητα η οποία απορρίπτεται στο περιβάλλον κατά την φάση της συμπύκνωσης των ατμών. Για να είναι δυνατή η χρήση της θερμότητας αυτής, βάσει των βασικών αρχών της θερμοδυναμικής, απαιτείται η ύπαρξη ενός περιβάλλοντος αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με την συμπύεση των ατμών.

Η διαφοροποίηση των δύο τεχνικών έγκειται στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η συμπύεση των ατμών. Στην πρώτη μέθοδο η συμπύεση των ατμών γίνεται με θερμικό τρόπο. Ειδικότερα, υπάρχει ένα σύστημα εκτοξευτήρων (θερμικών συμπιεστών) το οποίο είναι υπεύθυνο για την ανακύκλωση και ακολούθως την επανακυκλοφορία του ατμού που εξέρχεται της διαδικασίας

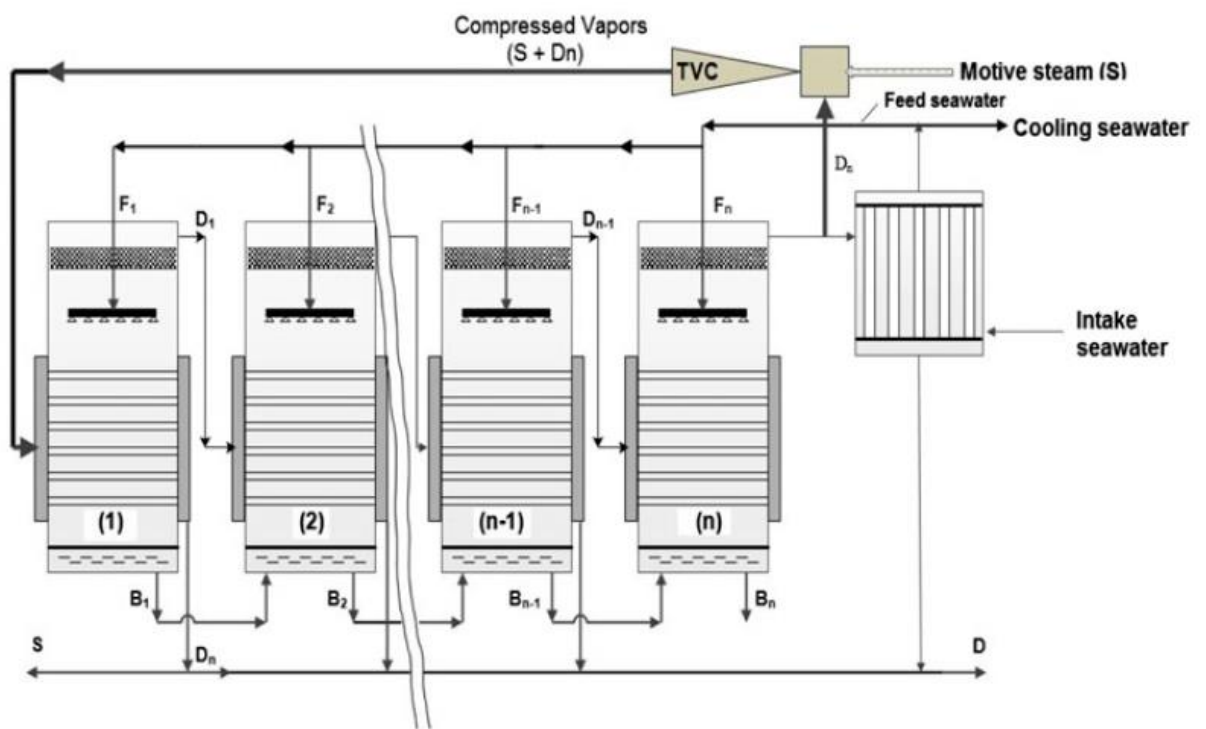
της αφαλάτωσης. Η ενέργεια προέρχεται από ένα εξωτερικό πεδίο ατμών υψηλής πίεσης οπότε η τεχνική αυτή προτιμάται σε περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμος ατμός υψηλής πίεσης. Στην δεύτερη μέθοδο χρησιμοποιείται μια μηχανή για την συμπίεση των ατμών, συνήθως ένας απλός συμπιεστής. Σε αυτή την περίπτωση λαμβάνεται ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να συμπιεστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν οι ατμοί.

Στην ουσία και στις δύο περιπτώσεις εκείνο που επιτυγχάνεται είναι η αύξηση της πίεσης του ατμού. Σύμφωνα με την θερμοδυναμική, η αύξηση της πίεσης οδηγεί και σε αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού. Αυτό συνεπάγεται πως πλέον υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του προς συμπύκνωση ατμού και του υγρού με αποτέλεσμα την επιπλέον θέρμανση του ρευστού, του νερού από το οποίο προήλθε και κατά συνέπεια την εξάτμιση και άλλης ποσότητάς του άρα και επί της ουσίας της αφαλάτωσης μιας επιπλέον ποσότητας νερού.

Η σημαντικότερη θερμική διαδικασία συμπίεσης ατμών είναι η πολυβάθμια εξάτμιση με συμπίεση ατμών (διεθνώς αναφέρεται με την συντομογραφία MED – TVC). Στην τεχνολογία αυτή ένα τμήμα του ατμού το οποίο καλείται ατμός αναρρόφησης απομαστεύεται από το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας. Ο ατμός αυτός συμπιέζεται από ένα ατμοσυμπιεστή ο οποίος φυσικά λειτουργεί με την χρήση ατμού υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, ατμού που φέρει την ονομασία κινητήριος ατμός. Εν συνεχεία, ο συμπιεσμένος ατμός και ο κινητήριος ατμός συνενώνονται δημιουργώντας ένα μίγμα που ακολούθως οδηγείται στην είσοδο της μονάδος αφαλάτωσης, στο πρώτο στάδιο λειτουργίας και αποτελεί τον ατμό θέρμανσης του προς αφαλάτωση νερού. Ο κινητήριος ατμός πρέπει να έχει υψηλή θερμοκρασία και πίεση για αυτό και παράγεται σε λέβητα και το μεγαλύτερο ποσοστό του βρίσκεται σε συνεχή ανακυκλοφορία ενώ ένα τμήμα του οδηγείται κάθε φορά στον συμπιεστή. Αντιθέτως, ο ατμός αναρρόφησης, αφού έχει θερμανθεί και

οδηγηθεί στο πρώτο στάδιο της αφαλάτωσης εν συνεχεία συμπυκνώνεται και δημιουργεί το απαλλαγμένο από άλατα απόσταγμα.

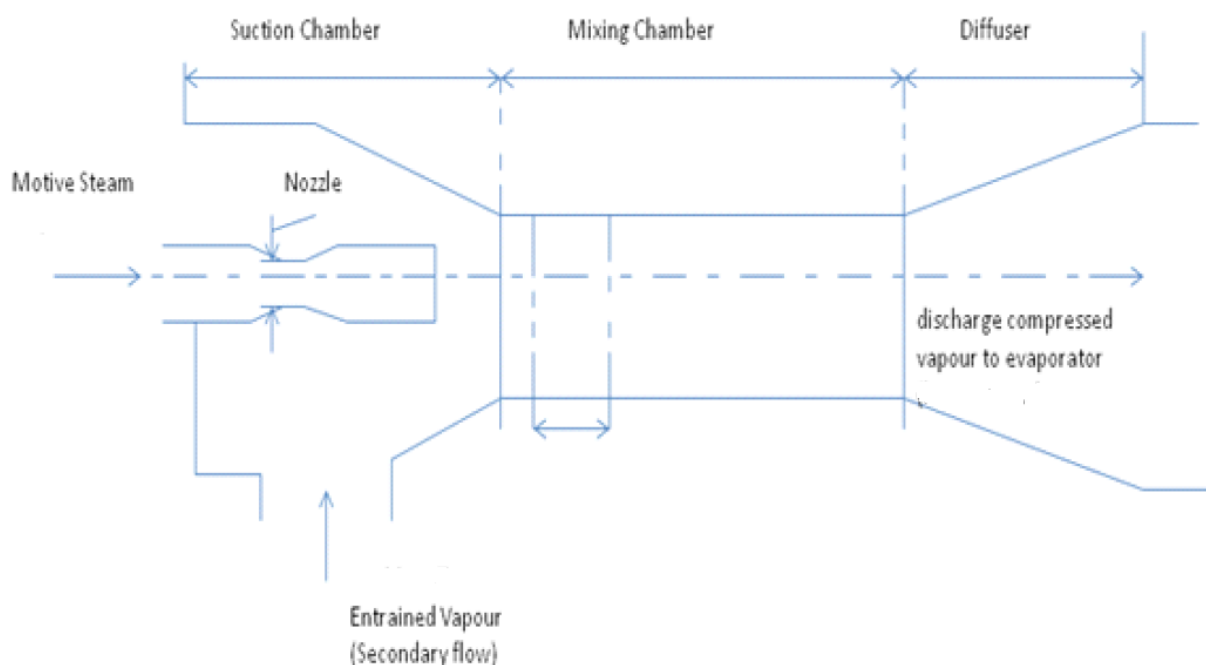
Το απόσταγμα αυτό κατά ένα μέρος του αποτελεί αφαλατωμένο νερό το οποίο προστίθεται στα υπόλοιπα στάδια της μονάδος. Το υπόλοιπο τμήμα του αποτελεί την τροφοδοσία του λέβητα για την παραγωγή του κινητήριου ατμού. Βέβαια εδώ εμφανίζεται ένα πρόβλημα. Για να γίνει η τροφοδοσία του λέβητα προστίθεται στο νερό αυτό μια σειρά από χημικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κινητήριος ατμός να είναι εμπλουτισμένος με χημικά και κατά την απόσταξη του τα στοιχεία αυτά να παραμένουν εντός του παραγόμενου αποστάγματος. Αυτό λοιπόν καθιστά το παραγόμενο σε αυτό το στάδιο νερό ως μη πόσιμο κάτι που συνεπάγεται πως είτε θα πρέπει να συλλέγεται χωριστά και να χρησιμοποιείται σε δραστηριότητες μη επιβλαβείς για τον άνθρωπο ή θα πρέπει να απορρίπτεται στην θάλασσα μαζί με την άλμη που παράγεται από την μονάδα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται μια μονάδα πολυβάθμιας εξάτμισης με χρήση θερμικής συμπίεσης ατμών.



Εικόνα 0.3: Μονάδα αφαλάτωσης πολυβάθμιας εξάτμισης με θερμική συμπίεση ατμών MED-TVC

Ο θερμικός συμπιεστής που χρησιμοποιείται από τις μονάδες αυτές έχει τρία τμήματα. Στα δύο του άκρα βρίσκονται ένα ακροφύσιο (είσοδος) και ένας διαχύτης (έξοδος) και ανάμεσά τους παρεμβάλλεται ένας θάλαμος ανάμιξης. Το ακροφύσιο έχει μια ιδιαίζουσα μορφή. Έχει ένα κεντρικό τμήμα στο οποίο εισέρχεται ο κινητήριος ατμός. Κατά την είσοδο, προερχόμενος από τον λέβητα, έχει υψηλή θερμοκρασία και πίεση και χαμηλή ταχύτητα. Αποτέλεσμα της κίνησης του εντός του κεντρικού τμήματος του ακροφυσίου είναι η επιτάχυνσή του με την ταυτόχρονη πτώση πίεσης και η κατεύθυνσή του προς τον θάλαμο ανάμιξης. Την ίδια στιγμή, περίξ του κεντρικού τμήματος εισέρχεται στο ακροφύσιο ο ατμός αναρρόφησης, προερχόμενος από το τμήμα εξάτμισης της αφαλάτωσης, ο οποίος βρίσκεται σε πολύ χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία και οδηγείται και αυτός στον θάλαμο ανάμιξης επιταχυνόμενος. Και α δύο ρεύματα ατμού εξέρχονται του ακροφυσίου σε

υπερηχητική ταχύτητα. Στον θάλαμο ανάμιξης τα δύο ρεύματα ατμού αναμιγνύονται δημιουργώντας εν τέλει ένα ρεύμα υψηλής, θερμοκρασίας και ταχύτητας και χαμηλής πίεσης. Εν συνεχεία, το μίγμα πλέον εισέρχεται στον διαχύτη όπου επιβραδύνεται και ταυτόχρονα υπάρχει μια σταδιακή αύξηση της πίεσής του. Η επιβράδυνση λαμβάνει χώρα με την εμφάνιση ενός κρουστικού κύματος που μετατρέπει την ροή από υπερηχητική σε υποηχητική. Το μίγμα που εξέρχεται του διαχύτη οδηγείται στο πρώτο στάδιο της μονάδας αφαλάτωσης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η μορφή του θερμικού συμπιεστή ατμών που χρησιμοποιείται στις μονάδες αφαλάτωσης.



Εικόνα 0.4: Θερμικός συμπιεστής ατμών

Εν τέλει λοιπόν, η τεχνολογία της θερμικής συμπίεσης των ατμών χρησιμοποιείται κυρίως στις μονάδες MED ως ένα στοιχείο ανακύκλωσης μέρους του εξερχόμενου ατμού. Κατ' αυτό τον τρόπο περιορίζεται η απώλεια διαμέσου της θερμικής ενέργειας του ατμού ο οποίος θα οδηγούταν προς ψύξη, και κατά συνέπεια υπάρχει ένας βελτιωμένος βαθμός απόδοσης της μονάδας αφαλάτωσης. Άρα η θερμική συμπίεση των ατμών δεν

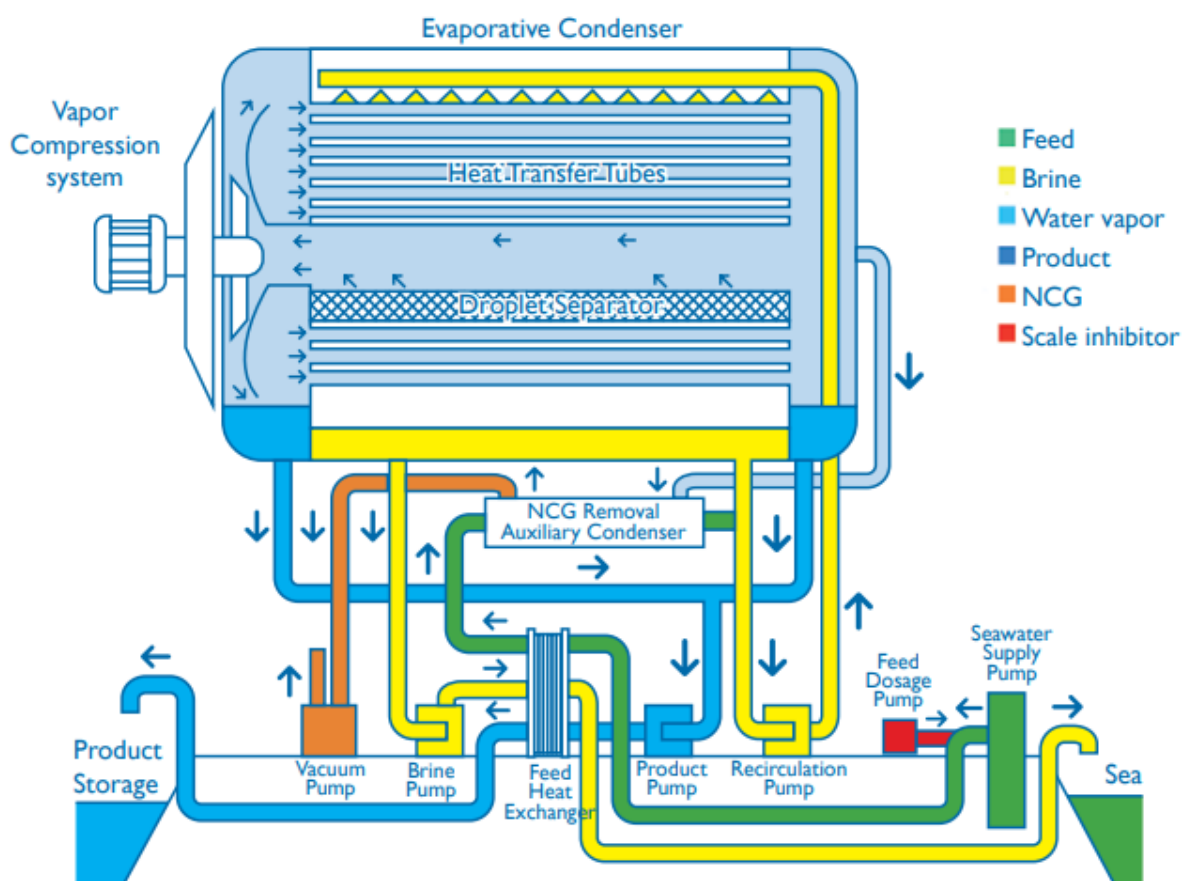
χρησιμοποιείται αυτούσια για την αφαλάτωση αλλά χρησιμοποιείται ως μια τεχνική βελτίωσης της απόδοσης άλλων τεχνικών αφαλάτωσης.

Αντίθετα, η τεχνολογία μηχανικής συμπίεσης των ατμών MVC μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια μονοβάθμια μονάδα αφαλάτωσης εξάτμισης. Στην τεχνική μηχανικής συμπίεσης ατμών δεν χρησιμοποιείται ο παραπάνω θερμικός συμπιεστής ατμών, χρησιμοποιείται ένας κοινός, κατά βάση ηλεκτροκίνητος συμπιεστής ο οποίος χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια για την συμπίεση των ατμών.

Μια μονάδα αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση των ατμών καταρχήν έχει τον λέβητα στον οποίο λαμβάνει χώρα η εξάτμιση του προς αφαλάτωση αλμυρού νερού. Στον λέβητα, το εισερχόμενο νερό που έρχεται λαμβάνει θερμότητα και εξατμίζεται. Εξέρχεται του λέβητα ως ατμός και οδηγείται στον συμπιεστή. Εκεί, λαμβάνει ενέργεια από τον μηχανικό συμπιεστή με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσεως του ατμού. Εν συνεχεία ο ατμός αυτός οδηγείται στον συμπυκνωτή. Προτού φτάσει όμως στον συμπυκνωτή προστίθεται σε αυτόν μια μικρή ποσότητα αποστάγματος που προέρχεται από το τέλος της διαδικασίας. Η προσθήκη αυτή γίνεται για να μετατραπεί ο υπέρθερμος ατμός που εξέρχεται του συμπιεστή σε κορεσμένο ατμό. Ο συμπυκνωτής επί της ουσίας είναι ειδικές σωλήνες συμπύκνωσης εντός των οποίων διέρχεται ο κορεσμένος πλέον ατμός και συμπυκνώνεται. Συνήθως οι σωλήνες του συμπυκνωτή είναι τοποθετημένες κάτω από τον εξατμιστή. Αυτό γίνεται γιατί ο ατμός που διέρχεται των σωλήνων έχει υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή που επικρατεί στο εξωτερικό του εξατμιστή έτσι μπορεί να γίνει μεταφορά θερμοκρασίας από τον ατμό προς το περιβάλλον του εξατμιστή με αποτέλεσμα την συμπύκνωση του ατμού. Ταυτόχρονα, με αυτό τον τρόπο γίνεται προθέρμανση του εισερχόμενου στην μονάδα νερού πριν αυτό οδηγηθεί στον εξατμιστή, στον λέβητα για εξάτμιση. Στην εικόνα της

επόμενης σελίδας φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας μιας μονάδας συμπίεσης ατμών με την χρήση μηχανικού συμπιεστή.

Οι συμπιεστές που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση είναι μηχανικοί συμπιεστές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουν ένα σχετικά χαμηλό κόστος σε σχέση με τους θερμικούς συμπιεστές όμως να έχουν και πολύ μικρή διαφορά στην αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου, η οποία είναι της τάξεως των 10 βαθμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο συμπιεσμένος ατμός να μην έχει πολύ υψηλή θερμοκρασία έτσι να μην είναι δυνατή η δημιουργία πολυβάθμιων συστημάτων εξάτμισης, αντιθέτως να χρησιμοποιείται η τεχνική αυτή μόνο σε μονοβάθμια συστήματα εξάτμισης.

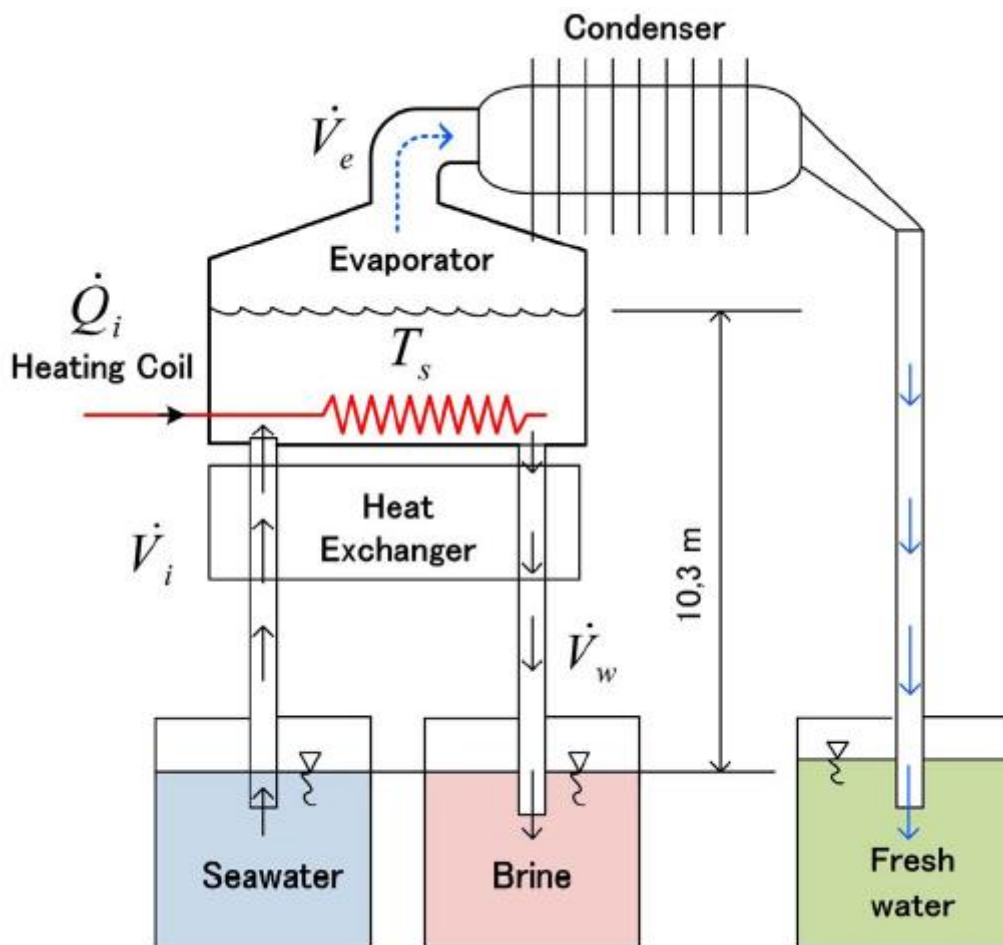


Εικόνα 0.5: Μονάδα αφαλάτωσης συμπίεσης ατμών με μηχανικό συμπιεστή MVC

Οι δύο τεχνολογίες συμπίεσης ατμών που παρουσιάστηκαν, ενώ βασίζονται στην ίδια αρχή, εντούτοις είναι τελείως διαφορετικές μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται στις ιδιαιτερότητες που εμφανίζουν ο θερμικός και ο μηχανικός συμπιεστής που χρησιμοποιούν οι τεχνολογίες αυτές. Οι μηχανικοί συμπιεστές κατά κανόνα έχουν χαμηλότερους λόγους συμπίεσης από τους θερμικούς συμπιεστές όμως τους επιτυγχάνουν με πολύ χαμηλότερο κόστος. Όμως όσο πιο ψηλός είναι ο λόγος συμπίεσης τόσο μικρότερος είναι ο εναλλάκτης που απαιτείται εν συνεχεία για την συμπύκνωση του συμπιεσμένου ατμού με αποτέλεσμα την μείωση του όγκου και του κόστους. Πέραν τούτου, οι μηχανικοί συμπιεστές είναι πολύπλοκες μηχανές με μεγάλα κόστη για την απόκτησή τους. Αντίθετα οι θερμικοί συμπιεστές, οι εκτοξευτήρες, είναι πολύ απλούστερες συσκευές με πολύ μικρότερα κόστη προμήθειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, σε μικρές μονάδες, χαμηλού κόστους, να προτιμούνται οι θερμικοί συμπιεστές ενώ αντίθετα, σε μεγάλες μονάδες, με μεγάλο κόστος δημιουργίας να προτιμούνται οι μηχανικοί συμπιεστές. Γενικά, στην πράξη, η τεχνολογία μηχανικής συμπίεσης ατμών MCV έχει βρει περισσότερες εφαρμογές από την τεχνολογία θερμικής συμπίεσης ατμών TCV εξαιτίας της εφαρμογής της σε μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης.

Απόσταξη κενού

Η τελευταία τεχνική αφαλάτωσης με εξάτμιση είναι η απόσταξη κενού, η διεθνώς ονομαζόμενη Vacuum Desalination (VD εν συντομία). Η διαδικασία αφαίρεσης των αλάτων από τα ύδατα σε αυτή την διαδικασία είναι πολύ απλή. Επί της ουσίας, το ρευστό, αλμυρό ή υφάλμυρο νερό που εισέρχεται στην μονάδα βράζει έτσι ώστε να εξατμιστεί το καθαρό νερό και να παραμείνουν υπό στερεά μορφή τα άλατα. Τα άλατα εξέρχονται της μονάδας υπό την μορφή άλμης ενώ το νερό που έχει βράσει, απαλλαγμένο από άλατα οδηγείται προς τον συμπυκνωτή όπου επιστρέφει στην υγρή του μορφή και αποτελεί το προϊόν που παράγεται από την μονάδα. Η επόμενη εικόνα απεικονίζει την μορφή της διάταξης αφαλάτωσης με απόσταξη κενού.



Εικόνα 0.6: Αφαλάτωση με απόσταξη κενού

Ένα ρευστό ξεκινάει να βράζει όταν του δοθεί τέτοια ενέργεια ώστε η τάση των ατμών που αναπτύσσεται σε αυτό ξεπερνάει την πίεση του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται μέσα. Αν το δοχείο είναι ανοικτό τότε ο βρασμός ξεκινάει όταν η τάση ατμών ξεπεράσει την ατμοσφαιρική πίεση. Όταν γίνει αυτό τότε ξεκινάει αρχικά η εξάτμιση των πτητικών υγρών τα οποία χαρακτηρίζονται από την χαμηλότερη θερμοκρασία βρασμού. Η συνεχής πρόσδοση θερμικής ενέργειας σε ένα ρευστό που βράζει έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού και κατά συνέπεια την περαιτέρω αύξηση της πίεσής του που οδηγεί σε ακόμη εντονότερο βρασμό.

Οι μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν με υφάλμυρο ή αλμυρό νερό, διαλύματα των οποίων ο βρασμός δεν απαιτεί πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Για αυτό συχνά λειτουργούν με ρευστό που λαμβάνουν από την έξοδο θερμοηλεκτρικών σταθμών, περιορίζοντας έτσι τις απαιτήσεις ενέργειας. Οι απαιτήσεις ενέργειας μπορούν να περιοριστούν ακόμη περισσότερο με την μείωση της πίεσης που επικρατεί στο περιβάλλον, στο δοχείο που βρίσκεται το ρευστό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απαιτούμενης τάσης ατμών για την εξάτμιση του ρευστού και κατά συνέπεια την μείωση της θερμοκρασίας στην οποία βράζει το διάλυμα. Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται η απαιτούμενη ενέργεια για την εξάτμιση του ρευστού και επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Όπως είναι σαφές από την παραπάνω παράγραφο, εάν η ατμόσφαιρα πέριξ του διαλύματος ελαχιστοποιούταν τότε θα υπήρχε η ελαχιστοποίηση και της κατανάλωσης ενέργειας. Η ελάχιστη πίεση που μπορεί να επικρατήσει στο δοχείο που βρίσκεται το διάλυμα είναι η μηδενική, η πίεση κενού. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως σε εργαστηριακές μονάδες και όχι σε μονάδες παραγωγής. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την απόσταξη διαλυμάτων που εμφανίζουν υψηλά σημεία βρασμού ή διαλυμάτων των οποίων η χημική σύσταση μεταβάλλεται όταν η θερμοκρασία τους πλησιάσει την θερμοκρασία βρασμού τους. Στην τεχνική αυτή η ενέργεια βρασμού συνήθως δίνεται με την χρήση ηλεκτρικής αντίστασης γιατί η λειτουργία της δεν επηρεάζεται από το κενό που επικρατεί στο δοχείο εξάτμισης.

Διάφορες άλλες τεχνικές

Οι βασικές τεχνικές αφαλάτωσης εντάσσονται στις κατηγορίες μεμβρανών και εξατμίσεως που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες δύο ενότητες. Εκτός από αυτές τις τεχνικές όμως κατά καιρούς έχουν παρουσιαστεί και άλλες τεχνικές οι οποίες παρουσιάζουν ενδιαφέρονται χαρακτηριστικά. Παρόλα αυτά δεν έχουν καταφέρει να αποκτήσουν σημαντικά

μερίδια στην πραγματική αγορά μονάδων αφαλάτωσης για διάφορους λόγους και κυρίως για σημαντικά μειονεκτήματα που εμφανίζουν. Οι δύο κυριότερες μέθοδοι που δεν εντάσσονται στις προηγούμενες κατηγορίες είναι η μέθοδος της ψύξης – απόψυξης και η μέθοδος της υγροποίησης – αφυγροποίησης. Μια τρίτη μέθοδος είναι και η μέθοδος της ηλιακής απόσταξης η οποία όμως παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο καθώς αποτελεί εκμετάλλευση μιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

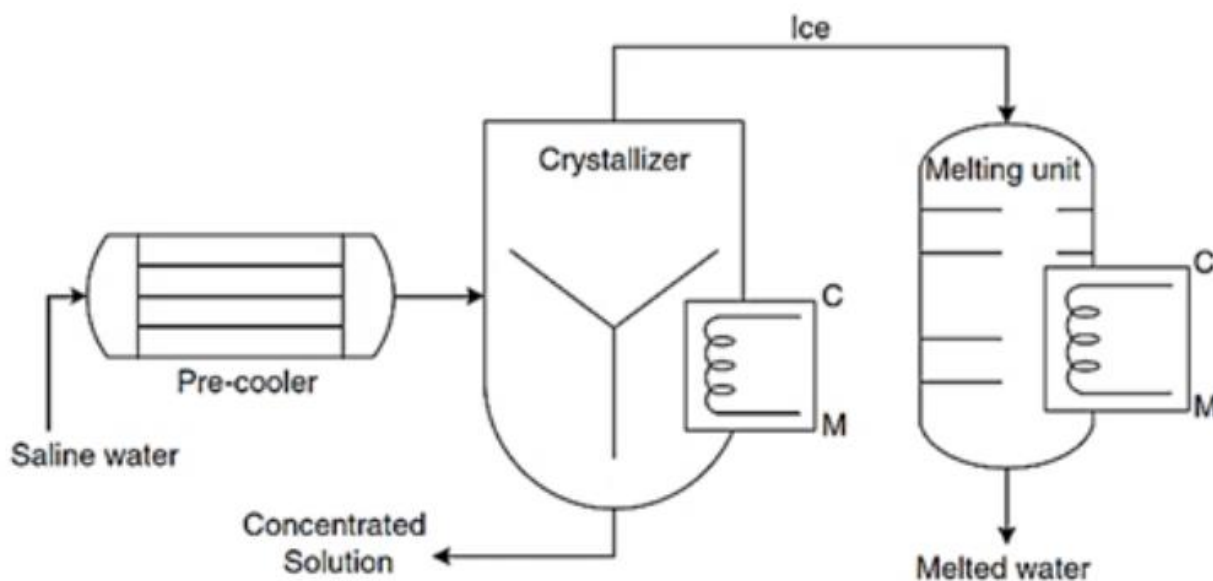
Ψύξη – Απόψυξη

Η πρώτη τεχνική που εξετάζεται και δεν ανήκει στις κατηγορίες των τεχνικών αφαλάτωσης με μεμβράνη ή με εξάτμιση είναι η τεχνική της ψύξης – απόψυξης. Η τεχνική αυτή διεθνώς αναφέρεται ως Freezing – Melting αφαλάτωση ή εν συντομογραφία ως αφαλάτωση FM. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην αντιγραφή ενός φυσικού φαινομένου που είναι το πάγωμα του νερού και εν συνεχεία το λιώσιμο των πάγων. Στην θάλασσα το νερό υπό χαμηλές θερμοκρασίες παγώνει δημιουργώντας πάγο. Ο πάγος αυτός είναι απαλλαγμένος από άλατα τα οποία μένουν στο ρευστό. Όταν λοιπόν ο πάγος λιώσει τότε παράγεται αφαλατωμένο νερό. Αυτή την φυσική διεργασία επιδιώκει να αντιγράψει η τεχνική αφαλάτωσης ψύξης απόψυξης.

Η τεχνική ψύξης – απόψυξης αποτελείται από δύο στάδια, από το στάδιο της ψύξης και από το στάδιο της απόψυξης. Αρκετές φορές υπάρχει και ένα τρίτο στάδιο που είναι το στάδιο της πρόψυξης του προς αφαλάτωση νερού έτσι ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία της ψύξης. Το στάδιο της ψύξης λαμβάνει χώρα σε ένα ψύκτη. Σε αυτόν τον ψύκτη αφαιρείται θερμική ενέργεια από τον χώρο στον οποίο βρίσκεται το προς εξάτμιση ρευστό με αποτέλεσμα το νερό του ρευστού να πήζει και να δημιουργεί πάγο. Αντιθέτως, το υπόλοιπο τμήμα, πλούσιο σε αλατότητα παραμένει ρευστό. Μάλιστα, εξαιτίας της μεγάλης πυκνότητας του σε άλατα σπρώχνει τους πάγους προς τα πάνω,

προς την επιφάνεια και το ίδιο παραμένει στο κάτω μέρος του ψύκτη όπου και συλλέγεται και απορρίπτεται στο περιβάλλον.

Οι πάγοι εν συνεχεία οδηγούνται σε ένα θερμαντήρα ώστε, λαμβάνοντας θερμική ενέργεια, να αυξηθεί η θερμοκρασία τους, να φτάσουν στην θερμοκρασία τήξης τους και να λιώσουν. Οι λιωμένοι πάγοι αποτελούν το αφαλατωμένο νερό που συλλέγεται στο κάτω μέρος του θερμαντήρα και οδηγείται στην έξοδο της μονάδος αφαλάτωσης. Η θερμική ενέργεια που απαιτείται για την τήξη των πάγων είναι αρκετά μικρή σε ποσότητα και μπορεί να προσδοθεί στο σύστημα ακόμη και από μια ηλεκτρική αντίσταση. Στο διάγραμμα της παρακάτω εικόνας φαίνεται η διάταξη ενός τυπικού συστήματος αφαλάτωσης με την τεχνική της ψύξης – απόψυξης.



Εικόνα 0.7: Αφαλάτωση με την τεχνική ψύξης – απόψυξης

Η τεχνική αφαλάτωσης με την χρήση ψύξης και απόψυξης είναι μια τεχνική που χαρακτηρίζεται από μικρά ποσά ενέργειας καθώς η πήξη του νερού δεν απαιτεί τόσο μεγάλα ποσά ενέργειας όσο ο βρασμός του. Αυτό οφείλεται στο ότι το θαλασσινό νερό βρίσκεται σε θερμοκρασία αρκετά κοντά στην θερμοκρασία της πήξης του. Επιπλέον η διαδικασία της πήξης δεν

συνεπάγεται μεταβολή των πιέσεων στο σύστημα με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει σε απλούς θαλάμους κατασκευασμένους από υλικά χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις. Αυτό σε συνδυασμό με την απλότητα της τεχνικής έχει ως αποτέλεσμα το μικρό κόστος εγκατάστασης. Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά όμως η τεχνική αυτή δεν έχει επικρατήσει στις μονάδες αφαλάτωσης και αυτό γίνεται γιατί εμφανίζονται αρκετά μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι η διατήρηση της οσμής και της γεύσης του αρχικού νερού τροφοδοσίας και στον πάγο και κατά συνέπεια και στο αφαλατωμένο νερό κάτι που καθιστά υποχρεωτική την περαιτέρω επεξεργασία του αυξάνοντας το κόστος. Επιπλέον, είναι απαραίτητο το πλύσιμο των πάγων καθώς σε αυτούς παραμένουν ότι ακαθαρσίες είχε το αρχικό νερό. Αυτό συνεπάγεται πως απαιτείται η ύπαρξη ενός συμπιεστή και η κατανάλωση μεγάλης ποσότητας καθαρού νερού το οποίο απομαστεύεται από την έξοδο της μονάδος και περιορίζει την παραγωγή του. Αυτά τα στοιχεία αυξάνουν τα κόστη και περιορίζουν την παραγωγή άρα τα κέρδη της μονάδος καθιστώντας την οικονομικά ασύμφορη σε σχέση με τις μονάδες αφαλάτωσης που βασίζονται στις άλλες τεχνικές που έχουν παρουσιαστεί. [13], [28]

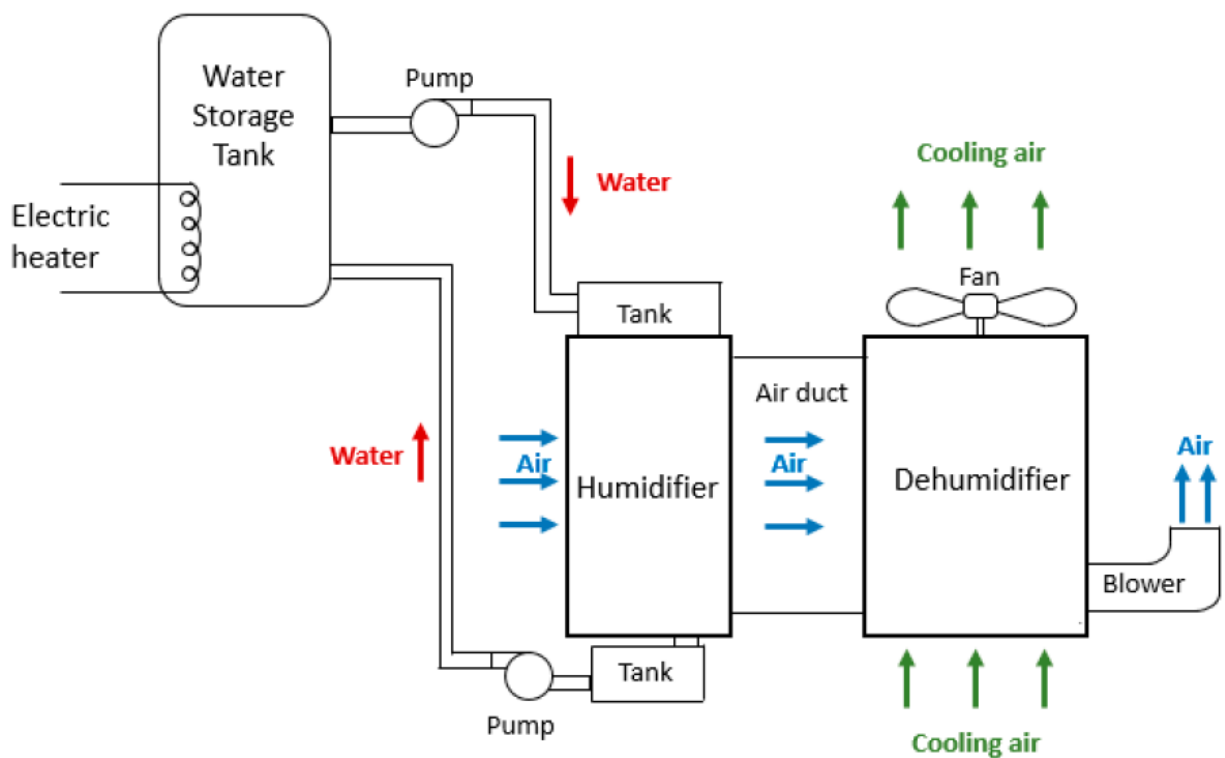
Υγροποίηση - Αφυγροποίηση

Η ιδέα της μεθόδου υγροποίησης και αφυγροποίησης πηγάζει από ένα άλλο φυσικό φαινόμενο, από την λειτουργία του υδρολογικού κύκλου. Ο υδρολογικός κύκλος περιλαμβάνει την εξάτμιση του νερού, την δημιουργία υδρατμών, την μεταφορά τους διαμέσου των ρευμάτων αέρα της ατμόσφαιρας και ακολούθως την υγροποίησή τους και την επαναφορά τους στην γη υπό την μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι κλπ). Κατά την εξάτμιση του θαλασσινού νερού λοιπόν στον υδρολογικό κύκλο τα άλατα μένουν στην θάλασσα και το νερό που εν συνεχεία υγροποιείται και φτάνει στην γη μέσω κατακρημνισμάτων είναι αφαλατωμένο.

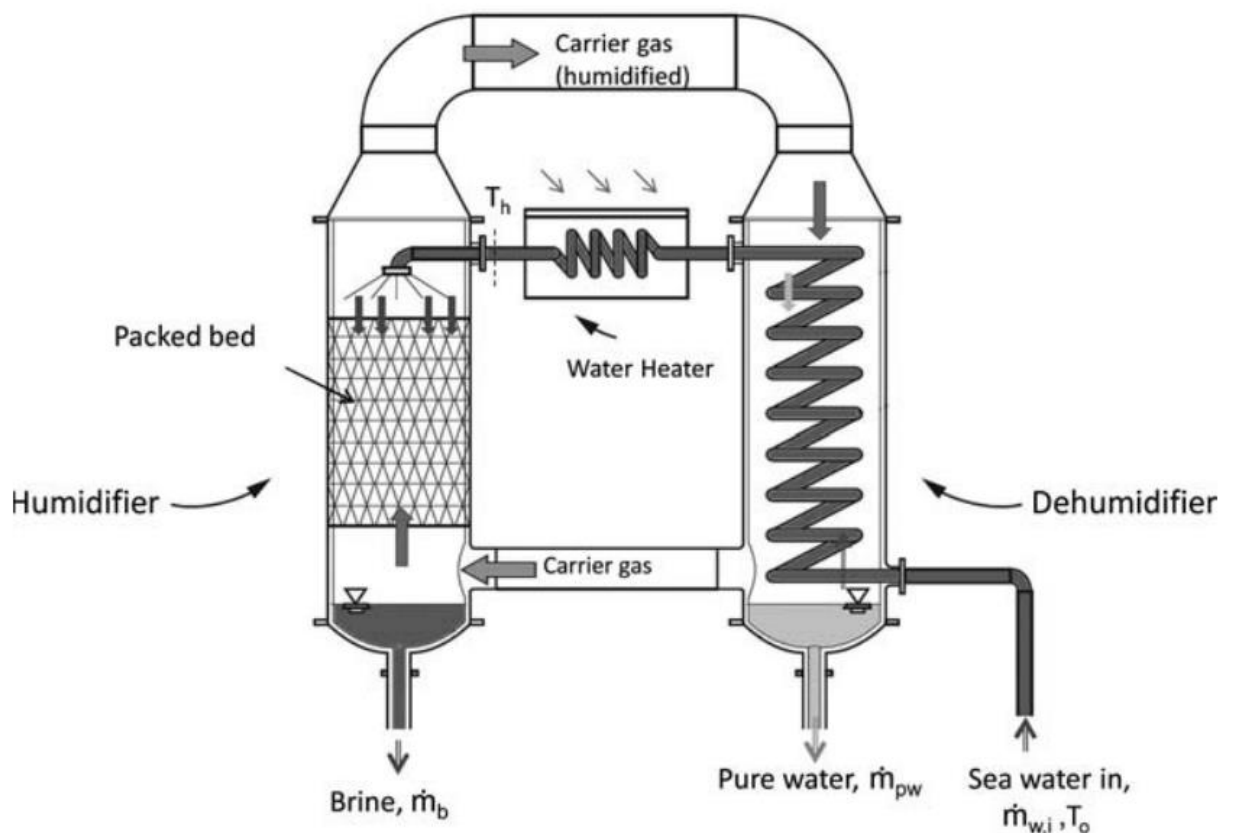
Οπότε οι επιστήμονες θεώρησαν πως μια μεταφορά του υδρολογικού κύκλου σε μια βιομηχανική μονάδα θα μπορούσε να οδηγήσει σε παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Έτσι προέκυψε η τεχνική αφαλάτωσης υγροποίησης – αφυγροποίησης (διεθνώς συναντάται με την ονομασία Humidification – Dehumidification ή με την συντομογραφία HDH). Η μονάδα αυτή αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται η παροχή ενέργειας στο προς εξάτμιση ρευστό. Η ενέργεια αυτή συνήθως παρέχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων όμως μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλες πηγές ενέργειας όπως για παράδειγμα η ηλιακή ενέργεια διαμέσου συλλεκτών. Στο δεύτερο τμήμα αυτής της τεχνικής λαμβάνει χώρα η εξάτμιση, η ύγρανση. Σε αυτό το εξάρτημα η παροχή ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την ύγρανση του αέρα ο οποίος φέρει τώρα τους υδρατμούς του νερού. Αντιθέτως η άλμη συλλέγεται στο κάτω μέρος του υγραντήρα και επιστρέφει στο περιβάλλον. Ο εμπλουτισμένος με υδρατμούς αέρας οδηγείται στον αφυγραντήρα. Εκεί μειώνεται η θερμοκρασία του με αποτέλεσμα να γίνεται αφυγροποίηση του αέρα. Ο αφυγροποιημένος αέρας οδηγείται ξανά στον υγραντήρα για να υγροποιηθεί ενώ τα σταγονίδια του νερού οδηγούνται στο κάτω τμήμα του αφυγραντήρα όπου συλλέγονται και πηγαίνουν στην έξοδο της μονάδος. Η μείωση της θερμοκρασίας του υγροποιημένου αέρα στον αφυγραντήρα συνήθως γίνεται με χρήση του επόμενου προς αφαλάτωση ρευστού το οποίο πριν οδηγηθεί στο τμήμα παροχής ενέργειας διέρχεται του αφυγραντήρα. Με αυτό τον τρόπο γίνεται ανάκτηση ενέργειας από τον υγρό αέρα και μειώνονται οι απαιτήσεις καυσίμου για την θέρμανση του προς αφαλάτωση ρευστού.

Τα συστήματα υγροποίησης – αφυγροποίησης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι τα συστήματα κλειστού νερού και ανοικτού αέρα. Σε αυτά τα συστήματα γίνεται υγροποίηση του αέρα περιβάλλοντος ο οποίος εν συνεχεία αφυγραίνεται και εξέρχεται πάλι στο περιβάλλον. Αντίθετα, το νερό, αφού υγραίνει τον αέρα οδηγείται πίσω στο δοχείο αποθήκευσης ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί. Στην πρώτη εικόνα που

ακολουθεί φαίνεται το σύστημα που έχει κλειστή ροή νερού και ανοικτή ροή αέρα. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα συστήματα κλειστού αέρα και ανοικτού νερού. Στα συστήματα αυτής της κατηγορίας ο αέρας αφού αφυγρανθεί οδηγείται ξανά προς ύγρανση. Στην ουσία χρησιμοποιείται η ίδια μάζα αέρα που υγραίνεται και αφυγραίνεται συνεχώς. Μάλιστα στα συστήματα αυτά η ροή του αέρα μπορεί να γίνεται με φυσικό τρόπο καθώς ο υγροποιημένος αέρας είναι πιο θερμός και κινείται προς τα πάνω, και ο αφυγροποιημένος αέρας είναι θερμότερος και κινείται προς τα κάτω με αποτέλεσμα να γίνεται ένας κύκλος ροής του αέρα στο σύστημα. Στην δεύτερη εικόνα παρουσιάζεται ένα σύστημα αφαλάτωσης το οποίο έχει κλειστή ροή αέρα και ανοικτή ροή νερού.



Εικόνα 0.8: Σύστημα αφαλάτωσης με την τεχνική υγροποίησης αφυγροποίησης κλειστού νερού και ανοικτού αέρα



Εικόνα 0.9: Σύστημα αφαλάτωσης με την τεχνική υγραποίησης αφυγραποίησης κλειστού αέρα και ανοικτού νερού

Τα συστήματα ύγρανσης – αφύγρανσης είναι σχετικά απλά συστήματα τα οποία δεν έχουν ιδιαίτερη τεχνολογία ούτε απαιτούν περίπλοκες και κοστοβόρες εγκαταστάσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε μικρές μονάδες αφαλάτωσης εξαιτίας του χαμηλού τους κόστους. Επιπλέον, έχοντας την δυνατότητα να συνδυαστούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και κυρίως με ηλιακή ενέργεια διαμέσου συλλεκτών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απομακρυσμένες των δικτύων ενέργειας μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα όταν υπάρχει διαθέσιμη η ηλιακή ενέργεια. Αντιθέτως, σπάνια συναντιούνται μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης που να βασίζονται σε αυτή την τεχνική εξαιτίας της χαμηλής απόδοσής της.

Χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ στις αφαλατώσεις

Η αφαλάτωση βασίζεται σε τεχνολογίες οι οποίες σε μικρότερο ή μεγαλύτερο ποσοστό καταναλώνουν ενέργεια. Σαφέστατα οι μέθοδοι απόσταξης απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας ενώ οι μέθοδοι μεμβρανών απαιτούν μικρότερα ποσά όμως και στις δύο περιπτώσεις η ύπαρξη ενέργειας είναι απαραίτητη. Αυτό δημιουργεί δύο μεγάλα προβλήματα στις αφαλατώσεις. Το πρώτο πρόβλημα είναι ότι περιορίζονται οι θέσεις εγκατάστασής τους. Δεν μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε, μπορούν μόνο να βρεθούν σε σημεία που υπάρχει διαθέσιμη η απαιτούμενη ενέργεια. Ακόμη πιο δύσκολη είναι η εγκατάσταση για τις μονάδες αφαλάτωσης με απόσταξη όπου τα απαιτούμενα ποσά ενέργειας είναι τόσο μεγάλα που σχεδόν είναι προαπαιτούμενη η εγκατάστασή τους δίπλα από θερμοηλεκτρικές μονάδες. Το δεύτερο πρόβλημα είναι το αυξημένο κόστος ενέργειας. Η συνεχής αύξηση της τιμής των ορυκτών καυσίμων οδηγεί σε αύξηση του κόστους αφαλάτωσης σε απαγορευτικά επίπεδα.

Η λύση σε αυτά τα προβλήματα φαντάζει πως είναι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ύπαρξη τους σε όλες τις περιοχές επιτρέπει την δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης σε συνδυασμό με μονάδες ΑΠΕ, χωρίς να υπάρχει προαπαιτούμενο δίκτυο ενέργειας. Το συγκεκριμένο στοιχείο είναι πολύ σημαντικό για περιοχές με έντονη λειψυδρία οι οποίες όμως δεν έχουν θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, όπως για παράδειγμα η νησιωτική Ελλάδα. Η μείωση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με την αύξηση του κόστους των ορυκτών καυσίμων οδηγεί καθιστά πλέον πολύ συμφέρουσα την επιλογή των ΑΠΕ ως τροφοδότηση των

συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα σε χώρες που τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα είναι τα ορυκτά καύσιμα άνθρακα, όπως ο λιγνίτης στην Ελλάδα, το κέρδος από τις ΑΠΕ είναι ακόμη μεγαλύτερο καθώς μηδενίζονται τα κόστη αγοράς ρύπων. Πέραν τούτου, η ανάπτυξη συστημάτων αφαλάτωσης με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις όπως είναι τα συστήματα νανοδιήθησης καθιστά εύκολη την τροφοδοσία τους με συστήματα ΑΠΕ χωρίς να απαιτείται μεγάλη επιφάνεια εγκατάστασης.

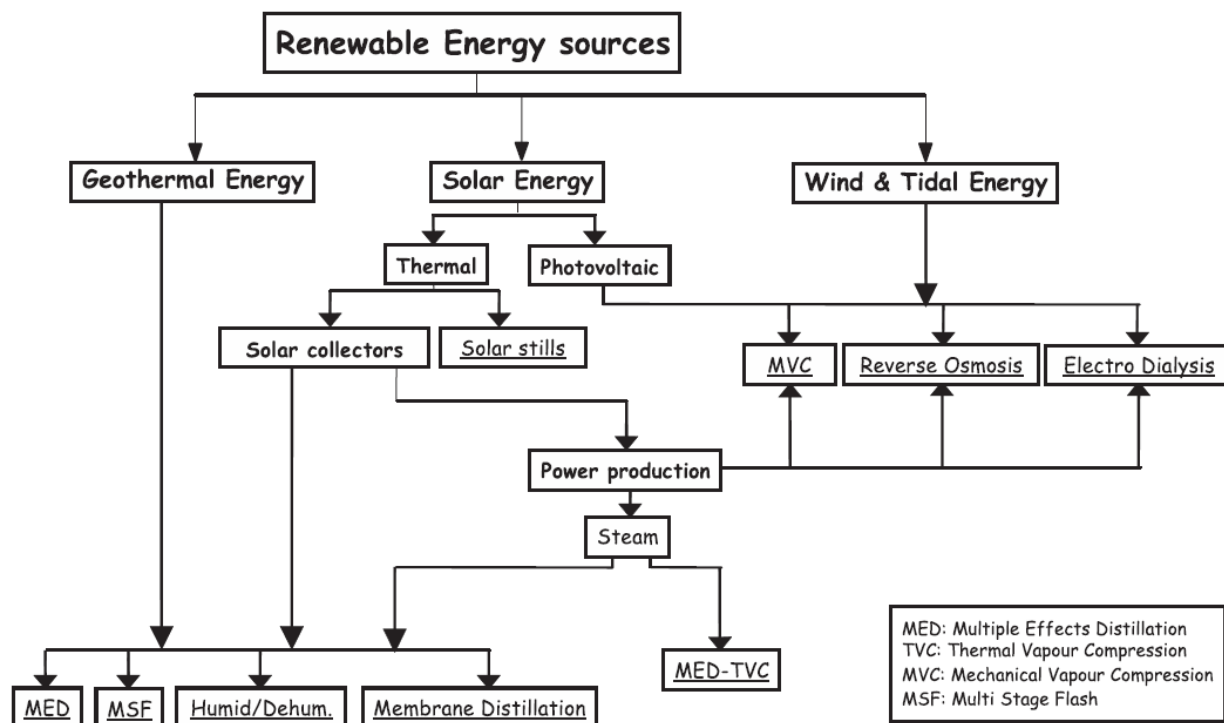
Ήδη τα παραπάνω κέρδη είναι αρκετά για να στρέψουν το ενδιαφέρον τόσο της επιστημονικής κοινότητας όσο και των οργανισμών ύδρευσης και των οργανισμών παραγωγής ενέργειας προς τον συνδυασμό μονάδων αφαλάτωσης με μονάδες ΑΠΕ. Εκτός αυτών όμως ενδιαφέρον δείχνουν και οι κυβερνήσεις δημιουργώντας αντίστοιχες πολιτικές. Ειδικότερα αναφερόμενοι στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα οποία έχουν δεσμευτεί να υλοποιήσουν συγκεκριμένους στόχους μείωσης της αέριας ρύπανσης, η δημιουργία προγραμμάτων υποστήριξης συστημάτων ΑΠΕ τα οποία θα συνδυάζονται με μονάδες αφαλάτωσης είναι πολύ σημαντικά. Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης και κατά συνέπεια όλων των προβλημάτων που προκαλεί με σημαντικότερο την δεδομένη στιγμή το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Μια εξ αυτών των χωρών φυσικά και η Ελλάδα, η οποία, λαμβάνοντας υπόψη και την δημόσια εκπεφρασμένη πολιτική βούληση για απολιγνιτοποίηση της χώρας, έχει όλες τις δυνατότητες για εκμετάλλευση των ΑΠΕ, ειδικά στα νησιά του Αιγαίου.

Τα νησιά του Αιγαίου συνδυάζουν όλα τα απαιτούμενα στοιχεία για να δημιουργηθούν σε αυτά μονάδες αφαλάτωσης με την χρήση των ΑΠΕ. Αρχικά, τα περισσότερα νησιά υποφέρουν από λειψυδρία άρα έχουν ανάγκη την ύπαρξη μονάδων αφαλάτωσης για να απεξαρτηθούν από την μεταφορά νερού. Κατά δεύτερο, τα περισσότερα νησιά είναι μικρά σε μέγεθος, με λίγες απαιτήσεις σε νερό κατά συνέπεια οι μονάδες αφαλάτωσης θα είναι μικρές σε

μέγεθος. Αυτό συνεπάγεται μικρότερες απαιτήσεις σε ενέργεια που μπορούν να καλυφθούν εύκολα με την χρήση ΑΠΕ. Μάλιστα οι περισσότερες απαιτήσεις είναι την θερινή περίοδο, περίοδο όμως που και οι ΑΠΕ έχουν την μεγαλύτερη παραγωγή τους, ειδικότερα οι βασισμένες στον ήλιο ΑΠΕ όπως τα φωτοβολταϊκά. Τέλος, τα νησιά είναι πλούσια σε ΑΠΕ και μάλιστα συνδυάζουν ποικιλία από αυτές. Έχουν σίγουρα μια πολύ έντονη ηλιοφάνεια, ειδικά το καλοκαίρι, και εμφανίζουν πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμου στο σύνολο του έτους. Επιπλέον, κάποια νησιά διαθέτουν γεωθερμικά πεδία όπως η Μήλος και Νίσυρος. Τέλος, υπάρχει διαθέσιμη και η ενέργεια των θαλασσών και των κυμάτων η οποία με κάποιες πειραματικές προς το παρόν τεχνικές μπορεί να εκμεταλλευτεί ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή πρέπει να είναι όμως ένας συνδυασμός μεταξύ των απαιτήσεων σε πόσιμο νερό, του κόστους παραγωγής του από κάθε ΑΠΕ και της επέμβασης που απαιτείται στο περιβάλλον έτσι ώστε να μην αλλοιώνεται αυτό δραματικά, καθώς τα ελληνικά νησιά διακρίνονται για το ιδιαίτερό τους περιβάλλον.

Όλα τα παραπάνω δείχνουν την σημαντικότητα του συνδυασμού των μονάδων ΑΠΕ με τις μονάδες αφαλάτωσης ως μια σύγχρονη μέθοδος παραγωγής πόσιμου νερού. Σε αυτό το πλαίσιο, στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται αρχικά οι δύο σημαντικότερες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες ΑΠΕ, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, και ο τρόπος που αυτές μπορούν να συνδυαστούν με τις μονάδες αφαλάτωσης. Άλλωστε στις περισσότερες εφαρμογές συνδυασμού ΑΠΕ και μονάδων αφαλάτωσης που έχουν δημιουργηθεί επικρατούν εφαρμόζεται μια εξ αυτών των δύο. Εν συνεχεία εξετάζονται οι λοιπές ΑΠΕ και στο τέλος αναλύονται τα υβριδικά συστήματα. Εν κατακλείδι, στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται το σύνολο των ΑΠΕ (εξαιρουμένης της βιομάζας) και ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μονάδες αφαλάτωσης. Γίνεται αντιστοιχία μεταξύ των

ΑΠΕ και των τεχνικών αφαλάτωσης που μπορεί να εξυπηρετήσει έκαστη τεχνική.



Εικόνα 0.1: Χρήση ΑΠΕ σε μονάδες αφαλάτωσης

Χρήση ηλιακής ενέργειας

Η κυριότερη μορφή ΑΠΕ η οποία μπορεί να συνδυαστεί με τις μονάδες αφαλάτωσης είναι η ηλιακή ενέργεια. Αυτό γίνεται γιατί συνήθως η ανάγκη ύπαρξης μιας μονάδος αφαλάτωσης λαμβάνει χώρα σε περιοχές με έντονη λειψυδρία και φαινόμενα ερημοποίησης. Συνήθως σε αυτές τις περιοχές, εκτός από την έντονη λειψυδρία υπάρχει και έντονη ηλιακή ακτινοβολία κάτι που καθιστά αμέσως τις μονάδες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας αποδοτικές. Οπότε η σκέψη συνδυασμού τους με τις μονάδες αφαλάτωσης ώστε να καλύψουν τις συνολικές ενεργειακές τους απαιτήσεις ή ένα μέρος αυτών είναι μια απόλυτα λογική σκέψη.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας λαμβάνει χώρα εδώ και αρκετές δεκαετίες με διάφορες τεχνολογίες μεγάλης ωριμότητας. Έχουν σχεδιαστεί πολλές τεχνολογίες εκμετάλλευσής της με διαφορετικές αποδόσεις και διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Όμως οι γνωστότερες τεχνολογίες που καλύπτουν τον μεγαλύτερο όγκο συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι δύο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι ηλιακοί συλλέκτες που χρησιμοποιούνται για παραγωγή θερμικής ενέργειας.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αποτελέσει πηγή ενέργειας μιας μονάδος ασφατάωσης διαμέσου ενός εκ των δύο παραπάνω συστημάτων. Η χρήση της ενέργειας που παράγουν αυτά τα συστήματα από την μονάδα ασφατάωσης είναι διαφορετική και διακρίνεται στην άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας διαμέσου των ηλιακών συλλεκτών και στην έμμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας διαμέσου των φωτοβολταϊκών. Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται τα συστήματα αυτά.

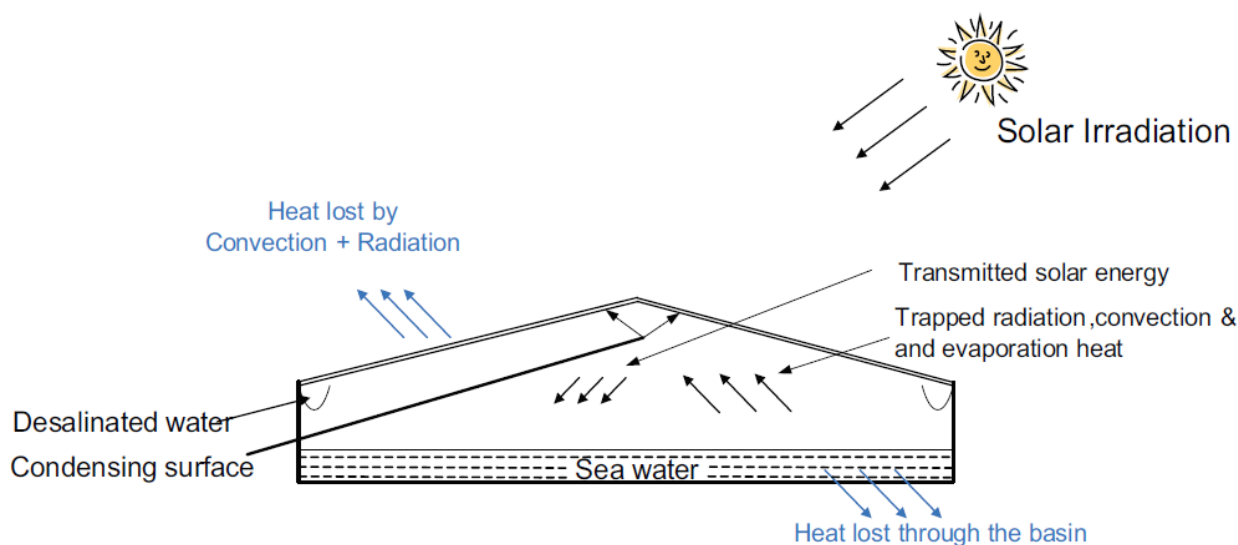
Προτού όμως αναλυθούν πρέπει να αναφερθεί πως και τα δύο συστήματα εμφανίζουν το ίδιο μειονέκτημα. Εξαρτούνται από την ηλιοφάνεια. Αυτό συνεπάγεται πως όταν υπάρχει η ηλιοφάνεια παράγεται ενέργεια και λειτουργεί η μονάδα ασφατάωσης. Όταν όμως ελαττώνεται ή μηδενίζεται η ηλιοφάνεια τότε η παραγωγή των συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μηδενίζεται και η μονάδα ασφατάωσης παύει να λειτουργεί. Για να συνεχίσει απρόσκοπτα την λειτουργία της θα πρέπει να λάβει ενέργεια από μια εφεδρική πηγή ενέργειας διαμέσου ενός υβριδικού συστήματος όπως αυτό περιγράφεται στο τέλος του κεφαλαίου αυτού.

Άμεση

Η ηλιακή ενέργεια είναι η μόνη πηγή ενέργειας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την ασφατάωση του νερού. Αυτό οφείλεται στο ότι αποτελεί μια πηγή θερμικής ενέργειας, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί

άμεσα για την εξάτμιση του προς απόσταξη ρευστού χωρίς σαν χρειαστεί να μετατραπεί ενδιάμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η χρήση της ηλιακής ενέργειας λαμβάνει χώρα διαμέσου των ηλιακών αποστακτήρων.

Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι συσκευές οι οποίες αποτελούνται από μια λεκάνη βαμμένη σε σκούρο χρώμα, αεροστεγώς κλεισμένη με διάφανα τοιχώματα. Στην λεκάνη αυτή οδηγείται το προς απόσταξη αλμυρό ή υφάλμυρο νερό. Από τα διαφανή τοιχώματα του αποστακτήρα εισέρχεται στον ηλιακό αποστακτήρα η ηλιακή ακτινοβολία και απορροφάτε από την σκουρόχρωμη λεκάνη αυξάνοντας την θερμοκρασία του προς απόσταξη ρευστού. Η συνεχής παροχή ηλιακής ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα εν τέλει την εξάτμιση του νερού και την παραμονή μόνο των αλάτων στην λεκάνη. Εν συνεχεία το εξατμισμένο ρευστό οδηγείται ως φυσικό στο πάνω μέρος του αποστακτήρα. Το γυαλί όμως σε αυτό το σημείο είναι ψυχρότερο με αποτέλεσμα την συμπύκνωση του νερού. Η κεκλιμένη μορφή του γυαλιού έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση των σταγονιδίων του νερού που δημιουργούνται προς την κάτω πλευρά του αποστακτήρα. Στο σημείο αυτό υπάρχει ένα δοχείο συλλογής και ένας αγωγός ο οποίος οδηγεί το αποσταγμένο νερό πλέον στην έξοδο της μονάδος. Παρακάτω φαίνεται η μορφή ενός κοινού ηλιακού αποστακτήρα.

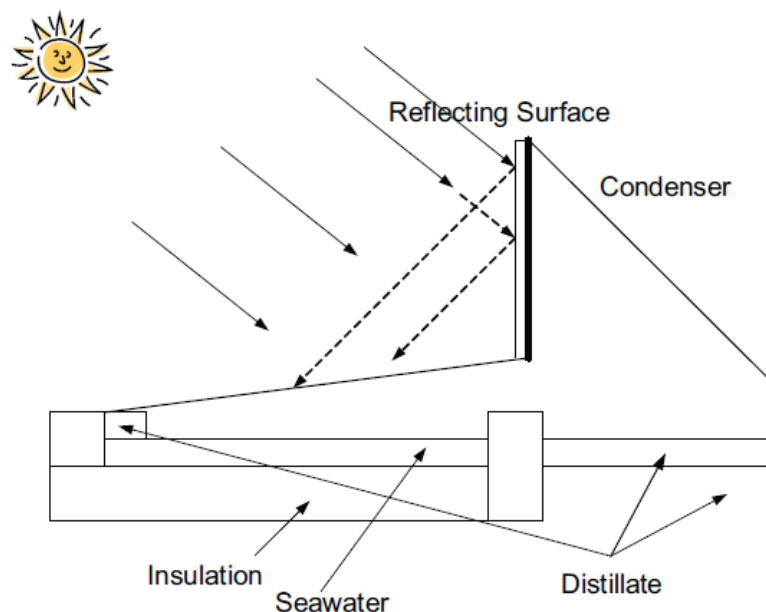


Εικόνα 0.2: Ηλιακός αποστακτήρας για αφαλάτωση νερού

Η άμεση ηλιακή απόσταξη είναι μια διεργασία αφαλάτωσης η οποία δεν απαιτεί κατανάλωση καμίας άλλης μορφής ενέργειας. Αυτό συνεπάγεται πως είναι μια μορφή αφαλάτωσης με ελάχιστα κόστη η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές με έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Τα προβλήματα που εμφανίζει σχετίζονται κατά βάση με την περιοδικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι περιορισμένες ώρες της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την χαμηλή απόδοση του αποστακτήρα συνεπάγονται πως ένας συνήθης ηλιακός αποστακτήρας έχει την δυνατότητα παραγωγής έως και 5 λίτρων νερού ημερησίως ανά τετραγωνικό μέτρο. Είναι σαφές πως αυτό το ποσό είναι πολύ μικρό για αυτό και πρέπει να αυξηθεί η απόδοσή του ώστε να θεωρηθεί έστω ανταγωνιστική τεχνική αφαλάτωσης μικρής κλίμακας καθώς την δεδομένη στιγμή απαιτούνται πολύ μεγάλοι σε έκταση αποστακτήρες για την παραγωγή μιας μικρής ποσότητας αφαλατωμένου νερού.

Η δυνατότητα παραγωγής αφαλατωμένου νερού χωρίς την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι αναπόφευκτα ελκυστική για τους επιστήμονες. Για αυτό, παρά τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν οι ηλιακοί αποστακτήρες μελετούνται διάφορες τεχνικές βελτίωσης της απόδοσής τους.

Μια από αυτές τις τεχνικές είναι η προθέρμανση του προς αφαλάτωση ρευστού πριν αυτό βρεθεί στον ηλιακό αποστακτήρα. Η προθέρμανση γίνεται κατόπιν διελεύσεως του ρευστού διαμέσου ηλιακών συλλεκτών. Μια δεύτερη τεχνική είναι η πλήρης εξάτμιση του ρευστού στους ηλιακούς συλλέκτες και κατόπιν η διοχέτευση του ατμού στην επιφάνεια συμπύκνωσης. Αυτό επιτρέπει την χρήση μεγαλύτερων επιφανειών για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και μεταφορά εν συνεχεία του ατμού μόνο στον ηλιακό αποστακτήρα. Μια τρίτη τεχνική είναι η συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας με την χρήση καθρεπτών στον αποστακτήρα. Με αυτό τον τρόπο δίνεται περισσότερη ενέργεια στον αποστακτήρα κάτι που αυξάνει την ταχύτητα εξάτμισης επιτρέποντας του την μεγαλύτερη παραγωγή αποσταγμένου νερού κατά την διάρκεια της ημέρας. Τέλος, έχουν σχεδιαστεί αποστακτήρες πολλών βαθμίδων οι οποίοι διαδοχικά δίνουν ενέργεια στο ρευστό μέχρι αυτό να εξατμιστεί. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η χρήση ενός ανακλαστήρα για να αυξηθεί η ηλιακή ακτινοβολία στον αποστακτήρα και κατά συνέπεια να αυξηθεί η απόδοσή του.

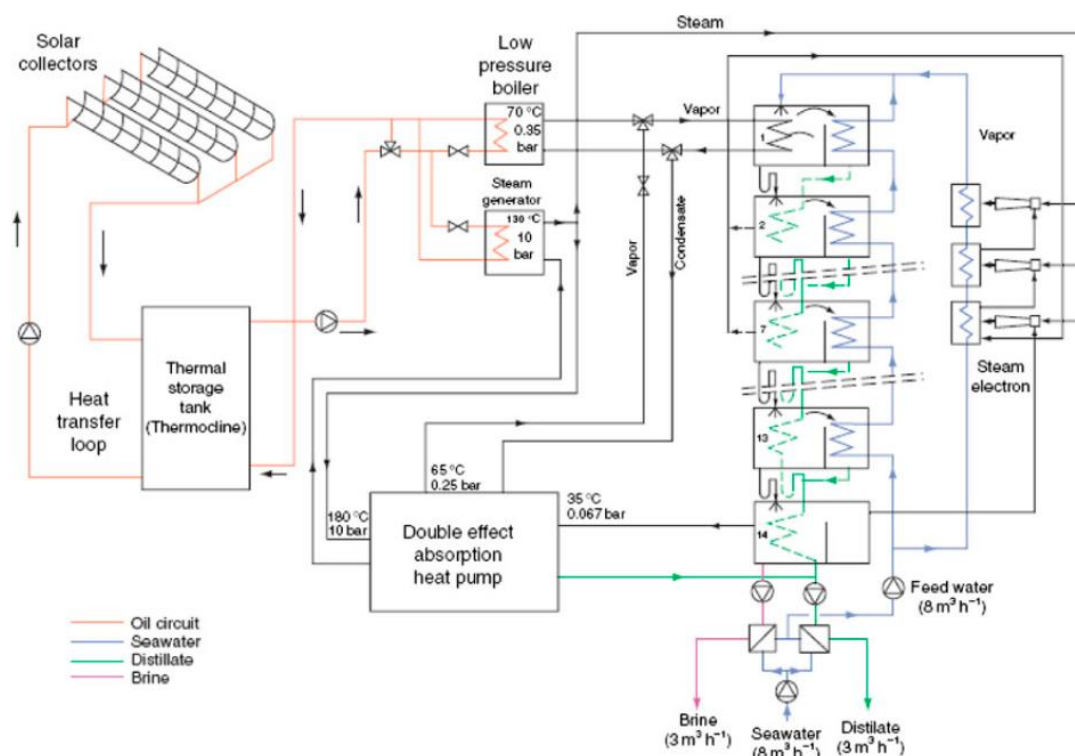


Εικόνα 0.3: Ηλιακός αποστακτήρας με χρήση ανακλαστήρα

Έμμεση

Η έμμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται την μετατροπή της σε άλλη μορφή ενέργειας, και ειδικότερα σε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια, και εν συνεχεία την χρήση της στις μονάδες αφαλάτωσης. Εφόσον η ηλιακή ενέργεια μετατραπεί σε θερμική τότε χρησιμοποιείται σε μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν με τεχνικές εξάτμισης. Αντιθέτως αν μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται σε μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν με τεχνικές μεμβρανών.

Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική ενέργεια είναι μια διαδικασία που γίνεται με την χρήση ηλιακών συλλεκτών. Στους συλλέκτες αυτούς διέρχεται ρευστό του οποίου η θερμοκρασία αυξάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην απορροφητική επιφάνεια του συλλέκτη. Το ρευστό αυτό θα μπορούσε να ήταν το προς αφαλάτωση ρευστό. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να αυξηθεί τόσο η θερμοκρασία του ώστε να εξατμιστεί. Ακολούθως το εξατμισμένο ρευστό μπορεί να οδηγηθεί πλέον στις μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν με τις τεχνικές εξάτμισης και να αφαλατωθεί. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η λειτουργία μιας μονάδος αφαλάτωσης πολυβάθμιας εξάτμισης μαζί με ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών.



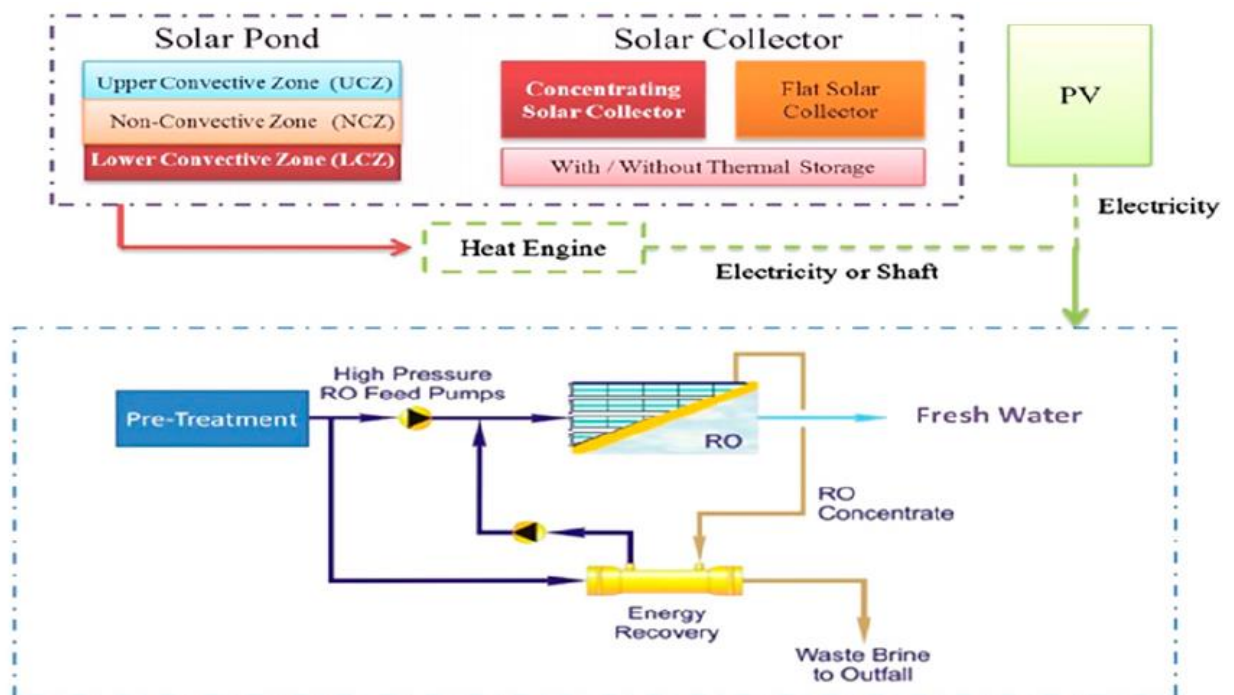
Εικόνα 0.4: Μονάδα πολυβάθμιας εξατμίσης σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες

Η ατμοποίηση του ρευστού μέσα σε ένα δίκτυο ηλιακών συλλεκτών είναι δυνατό όμως να δημιουργήσει προβλήματα. Για αυτό συχνά επιλέγεται η χρήση των ηλιακών συλλεκτών για προθέρμανση του ρευστού σε μια υψηλή θερμοκρασία, ελάχιστα χαμηλότερη από την θερμοκρασία εξατμίσεώς τους. Ακολουθως το θερμό ρευστό οδηγείται στον λέβητα όπου με μικρή ποσότητα ενέργειας εξατμίζεται και οδηγείται στην μονάδα απόσταξης. Με αυτό τον τρόπο δεν εξαλείφεται η κατανάλωση ενέργειας από συμβατικές πηγές όμως περιορίζεται αρκετά. Ταυτόχρονα, η ύπαρξη λέβητα επιτρέπει την συνεχή λειτουργία της μονάδος, είτε υπάρχει είτε όχι η ηλιακή ακτινοβολία. Απλά, όταν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία περιορίζεται η χρήση του άρα περιορίζεται το κόστος λειτουργίας της μονάδος.

Η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια κυρίως με την χρήση φωτοβολταϊκών. Τα φωτοβολταϊκά, βασισμένα στο φωτοβολταϊκό

φαινόμενο έχουν την ικανότητα να εμφανίζουν ηλεκτρική τάση στους ακροδέκτες τους όταν βρίσκονται υπό την ηλιακή ακτινοβολία. Τα φωτοβολταϊκά είναι μικρές πηγές ενέργειας εξαιτίας του χαμηλού βαθμού απόδοσης που έχουν (δεν ξεπερνάει το 20% στα εμπορικά φωτοβολταϊκά) και της μικρής πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας. Εντούτοις, αν τοποθετηθούν πολλά φωτοβολταϊκά σε μια έκταση τότε παράγεται ικανοποιητική ηλεκτρική ενέργεια η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει μια μικρή μονάδα αφαλάτωσης. Έτσι, τα φωτοβολταϊκά συστήματα θεωρούνται ιδανικά για μονάδες αφαλάτωσης με μικρές απαιτήσεις ενέργειας όπως είναι οι μονάδες μεμβρανών που χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία του συμπιεστή. Στην εικόνα της επόμενης σελίδας φαίνεται το διάγραμμα τροφοδοσίας μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης από φωτοβολταϊκά πάνελ (και εναλλακτικά άλλες μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο μέσω αντλίας θερμότητας).

Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά για την τροφοδοσία των μονάδων αφαλάτωσης επιτρέπει την χρήση και εναλλακτικών πηγών ενέργειας κάτι που δεν μπορεί να γίνει στα συστήματα άμεσης εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Έτσι, η λειτουργία των μονάδων δεν βασίζεται μόνο στην ύπαρξη της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορεί να τροφοδοτηθεί και από εναλλακτικές πηγές ενέργειας διαμέσου υβριδικών συστημάτων. Αυτό καθιστά πιο αποδοτική την μονάδα αφαλάτωσης η οποία είναι πιο παραγωγική και κατά συνέπεια μπορεί να αποσβέσει συντομότερα τα κόστη που απαιτήθηκαν για την εγκατάστασή της.



Εικόνα 0.5: Λειτουργία μονάδας αντίστροφης όσμωσης με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ηλιακή ενέργεια

Χρήση αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που βασίζεται στην ταχύτητα του ανέμου. Η ενέργεια που περιέχει ο άνεμος κατά την κίνησή του χρησιμοποιείται για να περιστρέψει ανεμογεννήτριες οι οποίες με την σειρά τους παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή εδώ και περισσότερο από 50 χρόνια και μάλιστα τα τελευταία 30 χρόνια χρησιμοποιείται ευρέως ως η κύρια τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.

Αυτό σημαίνει λοιπόν πως υπάρχει μια ώριμη τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να συνδυαστεί με μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες λειτουργούν με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες μονάδες είναι για παράδειγμα οι μονάδες που βασίζονται στις τεχνικές των μεμβρανών και απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία του συμπιεστή του ρευστού.

Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ληφθεί κατευθείαν από την ανεμογεννήτρια.

Το κόστος των ανεμογεννητριών δεν είναι απαγορευτικό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας. Άλλωστε η τεχνολογία των ανεμογεννητριών όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι ώριμη με αποτέλεσμα το κόστος τους να έχει συμπιεστεί και η λειτουργία τους να έχει εξαιρετική αξιοπιστία. Ειδικά σε παράκτιες περιοχές στις οποίες εγκαθίστανται οι μονάδες αφαλάτωσης, στις οποίες η ροή του ανέμου είναι απρόσκοπτη, υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση από τις ανεμογεννήτριες. Μάλιστα υπάρχει ώριμη τεχνολογία η οποία επιτρέπει την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών στην θάλασσα (υπεράκτιες ανεμογεννήτριες) κάτι που αυξάνει ακόμη περισσότερο την απόδοσή τους και δεν απαιτεί την ανάγκη επιπρόσθετου χώρου για την εγκατάστασή της πέριξ της μονάδας αφαλάτωσης.

Η χρήση της αιολικής ενέργειας για την τροφοδοσία της μονάδος αφαλάτωσης έχει όμως ένα πολύ μεγάλο μειονέκτημα, την διακύμανση της παραγωγής. Η αιολική ενέργεια δεν είναι συνεχής, εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις κατά την διάρκεια μιας ημέρας με αποτέλεσμα η παραγωγή από την ανεμογεννήτρια να μην είναι σταθερή και ενίοτε να είναι μηδενική. Αυτό συνεπάγεται διακύμανση στην λειτουργία της μονάδος αφαλάτωσης η οποία θα παράγει νερό μόνο όταν υπάρχει άνεμος. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα απαιτείται και διασύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή η ύπαρξη μιας εφεδρικής γεννήτριας ηλεκτροπαραγωγής, η δημιουργία δηλαδή ενός υβριδικού συστήματος που εξετάζεται στην τελευταία ενότητα του παρόντος κεφαλαίου.

Χρήση λοιπών ΑΠΕ

Πέραν της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας υπάρχουν και άλλες ΑΠΕ οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τις μονάδες

αφαλάτωσης. Μια από αυτές είναι η γεωθερμία. Η γεωθερμία είναι ενέργεια που υπάρχει στο έδαφος και η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ποικίλους τρόπους. Ένα γεωθερμικό πεδίο, αναλόγως της ενέργειας που περιέχει, της θερμοκρασίας δηλαδή, χαρακτηρίζεται σε χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Όλα τα γεωθερμικά πεδία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με μονάδες αφαλάτωσης αλλά με διαφορετικό τρόπο. Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής και μέσης ενθαλπίας μπορούν να αποτελέσουν πηγή ενέργειας για θερμοηλεκτρικούς σταθμούς οι οποίοι διαμέσου των γνωστών κύκλων ατμού παράγουν ενέργεια. Ταυτόχρονα, τα απορρίμματα ενέργειας των κύκλων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να τροφοδοτήσουν μονάδες αφαλάτωσης με μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας, όπως για παράδειγμα όλες οι μονάδες που βασίζονται σε τεχνικές εξάτμισης.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας, τα οποία εμπεριέχουν μεγάλες ποσότητες ατμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κατευθείαν στην μονάδα αφαλάτωσης χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη γεωθερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση, εάν παράγεται μόνο ατμός από την γεωθερμική πηγή ενέργειας τότε μπορεί να οδηγηθεί σε μια μονάδα αφαλάτωσης που βασίζεται σε τεχνική εξάτμισης και να αποτελεί την τροφοδοσία της μονάδας με ατμό ο οποίος κατά την συμπύκνωσή του παράγει αφαλατωμένο νερό. Με αυτό τον τρόπο η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί άμεσα χωρίς να απαιτεί την κατανάλωση άλλης ενέργειας για την εξάτμιση του προς αφαλάτωση ρευστού.

Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενέργειας χρησιμοποιούνται με τελείως διαφορετικό τρόπο ώστε να τροφοδοτήσουν ενέργεια μονάδες αφαλάτωσης. Τα πεδία αυτά δεν έχουν τόσο μεγάλο περιεχόμενο ενέργειας ώστε να τροφοδοτήσουν υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Εντούτοις όμως έχουν το απαιτούμενο ποσό ενέργειας ώστε να αποτελέσουν πηγή ενέργειας για αντλίες θερμότητας οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Εν συνεχεία, η

ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτήσει τις μονάδες αφαλάτωσης. Σε αυτή την περίπτωση οι ποσότητες ενέργειας που παράγονται είναι σαφώς μικρότερες για αυτό και τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν μικρές μονάδες. Επιπλέον, οι μονάδες αυτές βασίζονται στις τεχνολογίες μεμβρανών με αποτέλεσμα να απαιτούν μικρότερα ποσά ενέργειας, και μάλιστα απαιτούν ενέργεια σε ηλεκτρική μορφή για την λειτουργία του συμπιεστή και όχι σε θερμική μορφή για εξάτμιση του ρευστού.

Μια διαφορετική μορφή ΑΠΕ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία μονάδων αφαλάτωσης είναι η βιομάζα. Η βιομάζα, είτε αυτούσια είτε ως παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εν συνεχεία τροφοδοτεί μονάδες αφαλάτωσης μεμβρανών, λειτουργώντας κατ' αυτό τον τρόπο τον συμπιεστή τους. Η βιομάζα ως όρος περιλαμβάνει διάφορες πηγές ενέργειας. Μια από τις μορφές της βιομάζας είναι η χρήση είτε ξυλείας είτε ενεργειακών φυτών. Σε περιοχές όμως που είναι απαραίτητη η αφαλάτωση συνεπάγεται πως υπάρχει λειψυδρία και κατά συνέπεια δύσκολα υπάρχει πλεονασμός ξυλείας ή καλλιέργεια ενεργειακών φυτών για την παραγωγή βιομάζας. Έτσι, συνήθως, όταν αναφέρεται ο συνδυασμός βιομάζας με μονάδα αφαλάτωσης αναφέρεται κυρίως η παραγωγή βιοαερίου διαμέσου εκμετάλλευσης αποβλήτων (είτε ζωικών αποβλήτων είτε κυρίως σκουπιδιών) το οποίο εν συνεχεία χρησιμοποιείται σε ένα τυπικό κύκλο αεριοστρόβιλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για τα ελληνικά νησιά τα οποία αντιμετωπίζουν πρόβλημα με την διάθεση των απορριμμάτων τους.

Φαίνεται πως με αυτό τον τρόπο θα μπορούσε να συνδυαστεί η διαχείριση των απορριμμάτων με την παραγωγή ενέργειας και την αφαλάτωση.

Τέλος, μια πολλά υποσχόμενη πηγή ενέργειας είναι η ενέργεια των θαλασσών. Το θετικό της πηγής αυτής είναι ότι εμφανίζεται στις περιοχές στις οποίες εγκαθίσταται και η μονάδα αφαλάτωσης. Αυτό συνεπάγεται πως μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από εκμετάλλευση της ενέργειας της θάλασσας η οποία εν συνεχεία να τροφοδοτήσει μονάδες αφαλάτωσης και ειδικότερα μονάδες με μικρή κατανάλωση ενέργειας όπως είναι οι μονάδες αφαλάτωσης μεμβρανών.

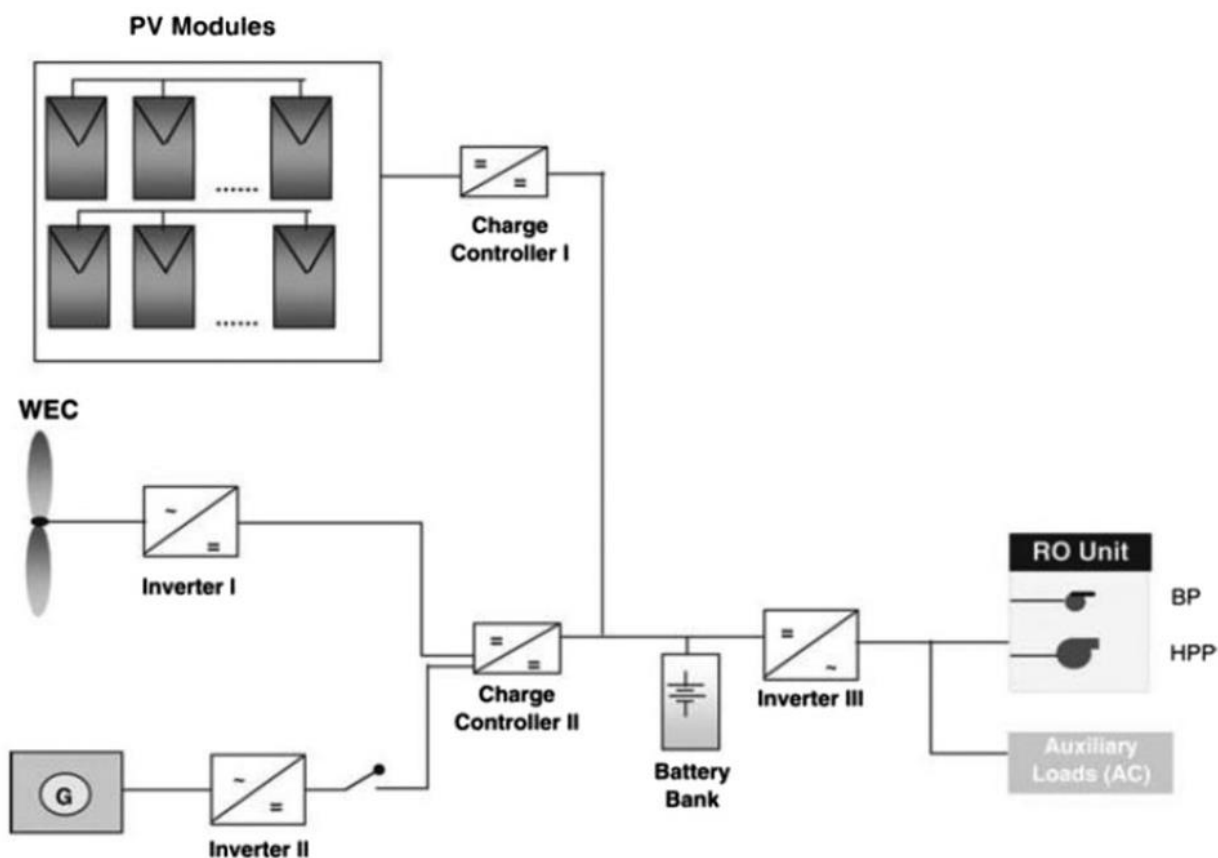
Η ενέργεια των θαλασσών μπορεί να χωριστεί σε δύο είδη ενέργειας. Το ένα είδος είναι η θερμική ενέργεια που οφείλεται στην μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της επιφάνειας της θάλασσας και του πυθμένα. Για να υπάρξει αυτή η διαφορά όμως απαιτούνται μεγάλα βάθη κάτι που συνεπάγεται ότι δεν μπορεί να γίνουν τέτοιοι σταθμοί κοντά στην ακτή όπου θα εγκατασταθεί η μονάδα αφαλάτωσης και κατά συνέπεια δεν είναι χρήσιμοι σε αυτή την περίπτωση. Το δεύτερο είδος είναι η κινητική ενέργεια που έχει η θάλασσα και ειδικότερα τα κύματά της. Μάλιστα τα κύματα σκάνε στην στεριά, στο σημείο που θα γίνει η αφαλάτωση έτσι η εκμετάλλευσή τους μπορεί να συνδυαστεί με την παροχή ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης. Η εκμετάλλευση των κυμάτων γίνεται την δεδομένη στιγμή με διάφορες πειραματικές μεθόδους οι οποίες έχουν μεγάλο κόστος. Επιπλέον η ενέργεια των κυμάτων δεν είναι σταθερή έτσι η ηλεκτροπαραγωγή έχει διακυμάνσεις. Αυτό απαιτεί την διασύνδεση της μονάδας αφαλάτωσης και με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτούς τους δύο λόγους οι συγκεκριμένες τεχνικές συνδυασμού αφαλάτωσης και συστημάτων εκμετάλλευσης ενέργειας παραμένουν καθαρά σε θεωρητικό και πειραματικό επίπεδο.

Υβριδικά συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα είναι συστήματα τα οποία συνδυάζουν περισσότερες της μιας πηγές ενέργειας έτσι ώστε όταν μια πηγή δεν είναι διαθέσιμη ή δεν επαρκεί να ληφθεί ενέργεια από μια άλλη πηγή για να μην

σταματήσει η μονάδα αφαλάτωσης. Τα υβριδικά συστήματα είναι ιδανικά για να καλύψουν τα μειονεκτήματα των ΑΠΕ και ειδικότερα το μειονέκτημα της μη σταθερής παραγωγής ενέργειας που εμφανίζουν οι δύο κυριότερες ΑΠΕ, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.

Στα συνηθέστερα υβριδικά συστήματα σήμερα συμμετέχουν διατάξεις εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή, διατάξεις εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη και διασύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως δεν συνυπάρχουν οι διατάξεις ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Υπάρχει η μια από τις δύο διατάξεις και σε περίπτωση που δεν υπάρχει παραγωγή ενέργειας από αυτές τίθεται σε λειτουργία μια από τις εφεδρικές πηγές ενέργειας, δηλαδή ή το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ή η τροφοδοσία ενέργειας από το δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο προτεραιότητα λαμβάνει η κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας της μονάδος αφαλάτωσης από την χρήση των ΑΠΕ και όταν αυτή δεν επαρκεί τότε χρησιμοποιούνται συμβατικές πηγές ενέργειας βασιζόμενες σε ορυκτά καύσιμα. Παρακάτω φαίνεται ένα υβριδικό σύστημα το οποίο συνδυάζει την ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά), την αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτρια) και την προερχόμενη από ορυκτά καύσιμα ενέργεια (γεννήτρια) για την λειτουργία μιας μονάδος αφαλάτωσης τεχνολογίας αντίστροφης ώσμωσης.



Εικόνα 0.6: Υβριδικό σύστημα τροφοδοσίας μονάδος αφαλάτωσης

Ένα πολλά υποσχόμενο υβριδικό σύστημα το οποίο μελετάται αυτή την στιγμή είναι η συνεργασία ΑΠΕ και κυρίως τεχνικών ηλεκτροπαραγωγής από ηλιακή και αιολική ενέργεια και υδροηλεκτρικής ενέργειας. Είναι το σύστημα της αντλησοταμίευσης το οποίο μελετάται από τις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς παρέχει δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αυτό βασίζεται στην λειτουργία ενός υδροστρόβιλου που βρίσκεται μεταξύ δύο ταμιευτήρων. Ο ένας ταμιευτήρας βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος από τον άλλο. Ταυτόχρονα, υπάρχει μια δεύτερη πηγή ενέργειας που συνήθως είναι η ηλιακή ενέργεια, διαμέσου φωτοβολταϊκών διατάξεων ή η αιολική ενέργεια διαμέσου ανεμογεννητριών. Όταν οι ΑΠΕ παράγουν ενέργεια τότε τροφοδοτείται η κατανάλωση από αυτές. Σε περίπτωση που υπάρχει πλεονασμός παραγωγής ενέργειας ο υδροστρόβιλος

λαμβάνει ενέργεια από αυτές, λειτουργεί ως αντλία και μεταφέρει νερό από τον ταμιευτήρα χαμηλού ύψους στον ταμιευτήρα μεγάλου ύψους. Όταν όμως οι ΑΠΕ σταματήσουν να παράγουν ενέργεια τότε ο υδροστρόβιλος λειτουργεί ως στρόβιλος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας της ροής νερού από τον υψηλό στον χαμηλό ταμιευτήρα. Έτσι τροφοδοτεί αυτός την κατανάλωση. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται αποθήκευση ενέργειας στον υψηλό ταμιευτήρα όταν υπάρχει μεγάλη παραγωγή από ΑΠΕ και κατανάλωσή της όταν περιορίζεται η παραγωγή των ΑΠΕ. Το σύστημα αυτό θα μπορούσε να εφαρμοστεί και για την τροφοδοσία μονάδων αφαλάτωσης. Μάλιστα σε αυτή την περίπτωση τον ρόλο του δεύτερου ταμιευτήρα, του ταμιευτήρα χαμηλού ύψους, μπορεί να τον παίξει η ίδια η θάλασσα. Όμως ο λόγος που αυτά τα συστήματα προς το παρόν μένουν σε λίγες πειραματικές διατάξεις ή διατάξεις πολύ μεγάλου μεγέθους είναι το κόστος τους. Απαιτούνται χρήματα τόσο για την εγκατάσταση του συστήματος ΑΠΕ όσο και για την δημιουργία του ταμιευτήρα και την προμήθεια υδροστροβίλου. Αυτό εκτινάσσει το κόστος υλοποίησής τους κάτι που την δεδομένη στιγμή τα καθιστά μη συμφέροντα.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω δεδομένα, τα υβριδικά συστήματα λειτουργούν παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό συνεπάγεται ότι είναι ιδανικά για να τροφοδοτούν μονάδες αφαλάτωσης με χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας όπως είναι οι μονάδες που βασίζονται σε τεχνικές μεμβρανών. Αντιθέτως, οι μονάδες που λειτουργούν με τεχνικές εξάτμισης δεν μπορούν να τροφοδοτηθούν από υβριδικά συστήματα καθώς είναι ασύμφορη η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας για την εξάτμιση του ρευστού, υπάρχουν πηγές ενέργειας με πολύ χαμηλότερα κόστη για αυτή την διαδικασία όπως είναι η καύση ορυκτών καυσίμων.

Φαίνεται λοιπόν πως ένα υβριδικό σύστημα τοποθετημένο σε μια μονάδα αφαλάτωσης με τεχνολογία μεμβρανών έχει την ικανότητα συνεχούς λειτουργίας καλύπτοντας μάλιστα μεγάλο μέρος της ενέργειας από ΑΠΕ. Αυτό

περιορίζει το κόστος λειτουργίας της μονάδος αυξάνοντας τις δυνατότητες παραγωγής νερού σε ένα ικανοποιητικό κόστος, καθιστώντας την συμφέρουσα και ανταγωνιστική. Ειδικότερα, φαίνεται πως σε μικρές μονάδες, στις οποίες είναι ασύμφορη η χρήση οποιασδήποτε άλλης μορφής ενέργειας πέραν της ηλεκτρικής, το κέρδος από την εφαρμογή ενός υβριδικού συστήματος είναι αρκετά μεγάλο και υπερκαλύπτει τα κόστη εγκατάστασης.

Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη του ανθρώπου και η εξέλιξή του στην πορεία των ετών βασίστηκε σε πολύ μεγάλο μέρος στην ύπαρξη του νερού. Με την χρήση του νερού κατάφερε να παραμείνει εν ζωή και ακολούθως να καλλιεργήσει την γη του για να παράξει τροφή. Για αυτό από την αρχαιότητα έως σήμερα, οι μεγαλύτεροι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν σε περιοχές με επαρκές κατάλληλο προς χρήση νερό.

Η αύξηση του αριθμού των ανθρώπων στον πλανήτη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αναγκών τους σε νερό. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των βροχοπτώσεων και την ερημοποίηση συγκεκριμένων περιοχών του πλανήτη. Αυτό σημαίνει πως οι έως τώρα ποσότητες κατάλληλου προς χρήση νερού δεν επαρκούν και απαιτείται η αύξηση της ποσότητας του διαθέσιμου κατάλληλου νερού.

Η αύξηση του διαθέσιμου κατάλληλου νερού μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος είναι η αύξηση των αποθηκευτικών χώρων, των φραγμάτων δηλαδή. Με αυτό τον τρόπο συλλέγεται βρόχινο νερό το οποίο εν συνεχεία καταναλώνεται. Αυτή η λύση έχει καταρχήν πολύ υψηλό κόστος. Κατά δεύτερον ο αριθμός των φραγμάτων που μπορεί να δημιουργηθεί είναι συγκεκριμένος και εξαρτάται από την μορφολογία του εδάφους. Κατά τρίτον, τα φράγματα συλλέγουν βρόχινο νερό άρα και πάλι υπάρχει εξάρτηση από την ποσότητα βροχόπτωσης.

Ο δεύτερος τρόπος για να αυξηθεί η διαθεσιμότητα πόσιμου νερού είναι η παραγωγή του με αφαλάτωση του αλμυρού θαλασσινού νερού. Η θάλασσα προς το παρόν φαντάζει ανεξάντλητη με ποσότητες νερού πολύ μεγαλύτερες από τις ανάγκες του ανθρώπου. Το πρόβλημα όμως είναι ότι το θαλασσινό νερό είναι αλμυρό με αποτέλεσμα να μην είναι κατάλληλο για κατανάλωση. Αντιθέτως, για να καταναλωθεί πρέπει να υποστεί επεξεργασία

κατά την διάρκεια της οποίας θα αφαιρεθούν τα άλατά του, θα υποστεί δηλαδή την διεργασία της αφαλάτωσης. Κατόπιν της διαδικασίας αυτής είναι πλέον κατάλληλο προς χρήση.

Η αναγκαιότητα παραγωγής πόσιμου νερού σε αρκετές περιοχές του πλανήτη ώστε να συνεχίσει να υπάρχει εκεί η ζωή (όπως για παράδειγμα στις χώρες της Μέσης Ανατολής) οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων τεχνικών αφαλάτωσης, τεχνικών οι οποίες αναλύθηκαν με λεπτομέρεια στην παρούσα εργασία. Κατά την μελέτη των τεχνικών αυτών προκύπτουν κάποια συμπεράσματα τα οποία μπορούν να συμπυκνωθούν στα παρακάτω σημεία.

- Οι τεχνικές αφαλάτωσης με εξάτμιση είναι οι πρώτες τεχνικές που εμφανίστηκαν σε σταθμούς μεγάλης κλίμακος. Αυτό έγινε γιατί η τεχνολογία απόσταξης ήταν ήδη γνωστή και απλά εφαρμόστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό για την αφαλάτωση του νερού.
- Οι τεχνικές εξάτμισης χαρακτηρίζονται από μεγάλες παραγωγές πόσιμου νερού αλλά ταυτίζονται και με μεγάλες καταναλώσεις ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των πεδίων εφαρμογής τους. Πρακτικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν τεχνικές εξάτμισης, για να είναι οικονομικά σκόπιμη η εφαρμογή τους, πρέπει να γειτνιάζουν με θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Από τους σταθμούς αυτούς λαμβάνουν τα απορρίμματα ενέργειας τα οποία χρησιμοποιούν για να εξατμίσουν με χαμηλό κόστος το προς αφαλάτωση νερό.
- Οι τεχνικές εξάτμισης έχουν χρησιμοποιηθεί σε μερικές από τις μεγαλύτερες μονάδες αφαλάτωσης στην Μέση Ανατολή. Η αφθονία σε ορυκτά καύσιμα στην περιοχή αυτή έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του κόστους ενέργειας κάτι που συνεπάγεται μικρό κόστος λειτουργίας της μονάδος. Δεδομένου του ότι η Μέση Ανατολή είναι η περιοχή με τις περισσότερες ανάγκες αφαλάτωσης γίνεται

-
- αντιληπτό γιατί οι τεχνικές εξάτμισης κατέχουν σχεδόν το μισό του συνολικού ποσοστού μονάδων αφαλάτωσης.
- Οι κύριες τεχνικές εξάτμισης που χρησιμοποιούνται είναι η πολυβάθμια εξάτμιση και η πολυβάθμια εκτόνωση. Οι υπόλοιπες τεχνικές έχουν ελάχιστες εφαρμογές και κυρίως σε πολύ μικρές μονάδες.
 - Οι τεχνικές μεμβρανών εμφανίστηκαν αργότερα. Παρόλα αυτά συγκεντρώνουν μια σειρά από πλεονεκτήματα με αποτέλεσμα αυτή την στιγμή έστω και οριακά να επικρατούν στην αγορά μονάδων αφαλάτωσης.
 - Το συγκριτικό τους πλεονέκτημα σε σχέση με τις τεχνικές εξεπίστευσης είναι οι πολύ χαμηλότερες απαιτήσεις τους για ενέργεια που επιτρέπουν την εγκατάστασή τους σε οιοδήποτε σημείο μιας χώρας, αρκεί να υπάρχει πρόσβαση στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η κύρια κατανάλωσή τους είναι η ηλεκτρική ενέργεια για την χρήση ενός συμπιεστή. Βέβαια δεν υπάρχει η δυνατότητα της χρήσης των απορριμμάτων ενέργειας θερμοηλεκτρικών σταθμών για την βελτίωση του βαθμού απόδοσης.
 - Η απόδοση των τεχνικών αφαλάτωσης μεμβράνης συνεχώς αυξάνεται καθώς εμφανίζονται όλο και καλύτερες, αποδοτικότερες μεμβράνες. Άλλωστε η εξέλιξη των μεμβρανών είναι το κύριο σημείο που εστιάζουν οι επιστήμονες στην βελτίωση των τεχνικών μεμβράνης.
 - Η κύρια τεχνική μεμβράνης που χρησιμοποιείται είναι η τεχνική της αντίστροφης ώσμωσης. Μάλιστα τα ποσοστά της βαίνουν αυξανόμενα με αποτέλεσμα περί τις μισές μονάδες αφαλάτωσης να είναι μονάδες αντίστροφης ώσμωσης. Με πολύ χαμηλά ποσοστά, υποδεκαπλάσια, εμφανίζονται οι μονάδες ηλεκτροδιάλυσης και νανοδιήθησης. Βέβαια συγκεντρώνουν μερικά χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την περαιτέρω διεύρυσή τους τα επόμενα χρόνια.

-
- Η αναγκαιότητα για ελαχιστοποίηση των ορυκτών καυσίμων τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους οδήγησε στον συνδυασμό των μονάδων αφαλάτωσης με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ειδικότερα, η ενέργεια που χρησιμοποιούν οι μονάδες αφαλάτωσης παράγεται από ΑΠΕ.
 - Οι τεχνικές αφαλάτωσης με μεμβράνες, εξαιτίας της χαμηλής ενέργειας που απαιτούν, συνδυάζονται εύκολα με διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αντίθετα, οι τεχνικές εξάτμισης οι οποίες απαιτούν υψηλά ποσά ενέργειας συνδυάζονται είτε με γεωθερμική ενέργεια προερχόμενη από πεδία υψηλής ενθαλπίας είτε με ηλιακή ενέργεια.
 - Δημιουργία υβριδικών συστημάτων αποτελούμενων από διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εφεδρικές πηγές ενέργειας επιτρέπει την συνεχή λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης ανεξαρτήτως της μεταβολής της παραγωγής από τις ΑΠΕ. Απλά οι ΑΠΕ σε αυτή την περίπτωση καλύπτουν ένα ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.
 - Η λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ επιτρέπει την ανεξαρτητοποίηση της θέσης τους σε σχέση με τα δίκτυα ενέργειας. Αντιθέτως, επιτρέπει την εγκατάστασή τους σε απομακρυσμένες θέσεις με αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

1. Abutayeh, M., Li, C., Goswami, D.Y., Stefanakos, E.K., 2014, «Solar Desalination», Chapter 13 in Book J. Kucera, “*Desalination: Water from Water*”, Wiley-Scrivener, Salem, Massachusetts, USA.
2. Ahuchaogu, A.A., Chukwu, O.J., Obike, A.I., Igara, C.E., Chidi, N.I., Echeme, J.B.O., 2018, «Reverse Osmosis Technology, its Applications and Nano-Enabled Membrane», *International Journal of Advanced Research in Chemical Science*, Vol. 5(2), pp 20-26.
3. Akhter, N., Sodiq, A., Giwa, A., Daer, S., Arafat, H.A., Hasan, S.W., 2015, «Recent Advancements in Forward Osmosis Desalination: A Review», *Chemical Engineering Journal*, Vol. 281, pp 502-522.
4. Al-Moutaz, I.S., Wazeer, I., 2014, «Current Status and Future Directions of MED-TVC Desalination Technology», *Desalination and Water Treatment Journal*, pp 1-9.
5. Ambarita, H., 2016, «Study on the Performance of Natural Vacuum Desalination System Using Low Grade Heat Source», *Case Studies in Thermal Engineering Journal*, Vol. 8, pp 346-358.
6. Asiedu-Boateng, P., Yamoah, S., Ameyaw, F., Dzide, S., Tuffour-Acheampong, K., 2012, «Performance Analysis of Thermal Vapour Compression Desalination System Coupled to Cogeneration Nuclear Power Plant», *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, Vol. 4(8), pp 941-948.
7. Bin Amer, A.O., 2009, «Development and Optimization of ME-TVC Desalination System», *Desalination Journal*, Vol 249 (3), pp 1315-1331.
8. Cipollina, A., Tzen, E., Subiela, V., Papapetrou, M., Kochikowski, J., Schwantes, R., Wieghaus, M., Zaragosa, G., 2014, «Renewable Energy Desalination: Performance Analysis and Operating Data of

-
- Existing RES Desalination Plants», *Desalination and Water Treatment Journal*, pp 1-21.
9. Cooley, H., Gleik, P.H., Wolff, G., 2006, «Desalination, with a Grain of Salt», Pacific Institute, California Perspective.
 10. Hatzikioseyan, A., Vidlai, R., Kousi, P., 2017, «Modelling and Thermodynamic Analysis of a Multi Effect Distillation (MED) Plant for Seawater Desalination», Laboratory of Environmental Science and Engineering, School of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens (NTUA), Athens.
 11. Gleik, P.H., 2003, «Water Use». *Annual Review of Environment and Resources*, Vol.28, pp 275-314.
 12. Goosen, M., Mahmoudi, H., Ghaffour, N., 2010, «Water Desalination Using Geothermal Energy», *Journal Energies*, Vol. 3, pp 1423-1442.
 13. Kadi, K.E., Janajreh, I., 2017, «Desalination by Freeze Crystallization: An Overview», *Journal of Thermodynamics & Environmental Engineering*, Vol. 15(2), pp 103-110.
 14. Koutroulis, E., Kolokotsa, D., 2010, «Design Optimization of Desalination Systems Power-Supplied by PV and W/G Energy Sources», *Desalination Journal*, Vol. 258, pp 171-181.
 15. Lanxess, 2013, «Reverse Osmosis Theory: Principles of Reverse Osmosis Membrane Separation», Lanxess Editions, Koln, Germany.
 16. Lienhard, J.H., Antar, M.A., Bilton, A., Blanco, J., Zaragoza, G., 2012, «Solar Desalination», Chapter 9 in Book “*Annual Review of Heat Transfer*”, Beggel House.
 17. Mabrouk, A., Abotaleb, A., Tahir, F., Koc, M., Al-Rashid, A., 2017, «High Performance MED Desalination Plants Part I: Novel Design MED Evaporator», Conference Paper in “The International Desalination Association World Congress”, October 15, Sao Paulo, Brazil.

-
18. Marini, M., Palomba, C., Rizzi, P., Casti, E., Marcia, A., Paderi, M., 2017, «A Multicriteria Analysis Method as a Decision-Making Tool for Sustainable Desalination: The Asinara Island Case Study», *Desalination and Water Treatment Journal*, Vol.61, pp 274-283.
 19. Mentis, D., Karalis, G., Zervos, A., Howells, M., Taliotis, C., Bazilian, M., Rogner, H., 2016, «Desalination Using Renewable Energy Sources on the Arid Islands of South Aegean Sea», *Journal Energy*, Vol.94, pp 262-272.
 20. Moreira, F.S., Antunes, A.M., Freitas, M.A.V., 2019, «Trends in Wind-Power Desalination for Water Supply», *Journal of Environmental Protection*, Vol. 10, pp 807-820.
 21. Nannarone, A., Toro, C., Sciubba, E., 2017, «Multi-Stage Flash Desalination Process: Modeling and Simulation», *Proceedings of ECOS 2017, "The 30th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation, and Environmental Impact of Energy Systems"*, July 2-6, San Diego, California, USA.
 22. Narayan, G.P., Lienhard, J.H., 2014, «Humidification Dehumidification Desalination», Chapter 9 in Book J. Kucera, "*Desalination: Water from Water*", Wiley-Scrivener, Salem, Massachusetts, USA.
 23. Nebbia, G., Nebbia – Menozi G., 1966, «A Short History of Water Desalination», Volume *Acqua Dolce Dal Mare*, *Inchiesta Internazionale*, 18-19 April, Milano, pp 129-172.
 24. Nicoll, P.G., 2013, «Forward Osmosis: A Brief Introduction», Conference Paper, "*The International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse*", Tianjin, China.
 25. Ortiz, J.M., Sotoca, J.A., Exposito, E., Gallud, F., Garcia-Garcia, V., Montiel, V., Aldaz, A., 2005, «Brackish Water Desalination by Electrodialysis: Batch Recirculation Operation Modelling», *Journal of Membrane Science*, Vol.252, pp 65-75.

-
26. Perlman, H., Μακρόπουλος, Χ., Κουτσογιάννης, Δ., 2016, «Ο Υδρολογικός Κύκλος», Γεωλογική Υπηρεσία ΗΠΑ.
 27. Pontie, M., Dearuw, J.S., Plantier, S., Edouard, L., Baily, L., 2013, «Seawater Desalination: Nanofiltration – A Substitute for Reverse Osmosis?», *Desalination and Water Treatment Journal*, Vol. 51, pp 485-494.
 28. Rahman, M.S., Ahmed, M., 2007, «Freezing-Melting Process and Desalination: Review of Present Status and Future Prospects», *International Journal Nuclear Desalination*, Vol.2 (3), pp 253-264.
 29. Sagle, A., Freeman, B., 2017, «Fundamentals of Membranes for Water Treatment», University of Texas Publications, Austin.
 30. Said, A.S., Emtir, M., Mujtaba, I.M., 2013, «Flexible Design and Operation of Multi-Stage Flash (MSF) Desalination Process Subject to Variable Fouling and Variable Freshwater Demand», *Processes Journal*, Vol.1, pp 279-295.
 31. Salinas-Rodrigues, S.G., Schippers, J.C., Kennedy, M.D., 2016, «The Process of Reverse Osmosis», Chapter in Book Burn, S., Gray, S., *“Efficient Desalination By Reverse Osmosis: A Guide to RO Practice”*, IWA Publishing, London, UK.
 32. Simoes, T., Varela, L., Coelho, L., Abreu, A., Matias, M., Abril, C., Joyce, A., Giestas, M., Loureiro, D., 2014, «Autonomous HDH Solar Seawater Desalination», *Conference Proceedings, ISES Conference, “Eurosun 2014”*, 16-198 September, Aix Les Bains, France
 33. Sosa-Fernandez, P.A., Post, J.W., Bruning, H., Leermakers, F.A.M., Rinjaarts, H.H.M., 2018, «Electrodialysis-based Desalination and Reuse of Seawater and Brackish Polymer-flooding Produced Water», *Desalination Journal*, Vol 447, pp 120-132.

-
34. Strathmann, H., 2015, «Assessment of Electrodialysis Water Desalination Process Costs», Article, Institute of Chemical Engineering. University of Stuttgart.
 35. Ullah, I., Rasul, M.G., 2018, «Recent Developments in Solar Thermal Desalination Technologies: A Review», *Journal Energies*, Vol. 12, pp 119-150.
 36. Voutchkov, N., 2010, «Introduction to Reverse Osmosis Desalination», A SunCan Online Continuing Education Course, SunCan Editions.
 37. Voutchkov, N., 2013, «Desalination Engineering: Planning and Design», McGraw Hill Editions.
 38. Xu, L., Chen, Y.P., Wu, P.H., Huang, B.J., 2020, «Humidification – Dehumidification (HDH) Desalination System with Air-Cooling Condenser and Cellulose Evaporative Pad», *Journal Water*, Vol.12, pp 142-255.
 39. Wafi, M.K., Hussain, N., Abdalla, O., Al-Far, M.D., Al-Hajaj, N.A., Alzonikkah, K.F., 2019, «Nanofiltration as a Cost Saving Desalination Process», *SN Applied Sciences*, Vol.1, pp 751-758.
 40. World Bank, 2012, «Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa», MENA Development Report, International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, Washington, USA.
 41. Wu, L., Xiao, S., Gao, C., 2012, «Simulation of Multi-Stage Flash (MSF) Desalination Process», *Advances in Materials Physics and Chemistry*, Vol. 2, pp 200-205.
 42. WRC, 2014, «Desalination in the GCC: The History, the Present and the Future», Desalination Experts Group, Water Resources Committee, The Cooperation Council for the Arab States of the Gulf (GCC), General Secretariat.

-
43. Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ., 2015, «Διαχείριση Υδατικών Πόρων», Σημειώσεις ομώνυμου μαθήματος, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
44. Μπούτσικου, Ε., Δραγανίγος, Α., 2019, «Αφαλάτωση και Συνοδά Έργα», Μονάδα Οργάνωσης της Διαχείρισης Αναπτυξιακών Προγραμμάτων ΜΟΔ, Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων, Αθήνα.