

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΣΤΕΡΓΙΩΤΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ (Α.Μ. 5585)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στις τεχνικές αφαλάτωσης του θαλασσινού και του υφάλμυρου νερού.

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η μελέτη και η σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης καθώς και γενικότερα η αποτίμηση της αφαλάτωσης ως μία αξιόπιστη λύση στο εντεινόμενο, σε παγκόσμιο επίπεδο, πρόβλημα της λειψυδρίας.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Μαρία Θεοδοροπούλου για την υπόδειξη του θέματος καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Στεργιώτης Απόστολος
Ιούνιος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει σαν θέμα την τεχνολογία της αφαλάτωσης. Βασικός στόχος είναι η ανάλυση και η σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης, η δυνατότητα συνδυασμού της αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και η περιβαλλοντική και οικονομική αποτίμηση των μονάδων αφαλάτωσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή και καταγράφονται οι βασικοί σταθμοί στην εξέλιξη των μεθόδων αφαλάτωσης από τα αρχαία χρόνια έως σήμερα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στους υδατικούς πόρους καθώς και στο πρόβλημα της λειψυδρίας στην Ελλάδα και στον κόσμο.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι θερμικές μέθοδοι αφαλάτωσης δηλαδή οι μέθοδοι που περιλαμβάνουν την αλλαγή φάσης του νερού από υγρό σε ατμό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης που είναι ότι καλύτερο έχει να επιδείξει η σχετική τεχνολογία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται ορισμένες ειδικές μέθοδοι αφαλάτωσης που είτε έχουν κριθεί, για την ώρα, αντιοικονομικές, είτε βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται οι δυνατότητες τροφοδότησης των μονάδων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όπως είναι προφανές, το θέμα αυτό έχει τεράστια οικονομική και περιβαλλοντική σημασία.

Στο έβδομο κεφάλαιο δίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό των μονάδων αφαλάτωσης.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται η οικονομική αποτίμηση των μονάδων αφαλάτωσης και παρουσιάζονται στοιχεία για το κόστος του παραγόμενου νερού ανά μέθοδο αφαλάτωσης.

Στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία για τις μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν σήμερα στην Ελλάδα, στην Κύπρο και στον κόσμο. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην Υδριάδα, την πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης που λειτουργεί αποκλειστικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τέλος, στο δέκατο κεφάλαιο παραθέτονται συμπερασματικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μεθόδων αφαλάτωσης και

γίνεται μία αναφορά στις προοπτικές που ανοίγονται σήμερα για την
αφαλάτωση σε διεθνές επίπεδο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 Γενικά	1
------------------	---

2 ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ

2.1 Γενικά.....	5
2.2 Περιεκτικότητα του Νερού σε Στερεές Ουσίες.....	5
2.3 Κατανομή των Υδάτινων Πόρων.....	7
2.4 Κατανάλωση Νερού.....	9
2.5 Το Πρόβλημα της Λειψυδρίας.....	10
2.6 Οι Υδάτινοι Πόροι της Ελλάδας.....	14
2.7 Αφαλάτωση	20

3. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

3.1 Γενικά.....	24
3.2 Πολυβάθμια Εξάτμιση.....	24
3.3 Πολυβάθμια Εκτόνωση.....	29
3.4 Συμπύεση Ατμού.....	32
3.5 Ηλιακή Εξάτμιση.....	35

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

4.1 Γενικά.....	38
4.2 Ηλεκτροδιάλυση.....	38
4.3 Αντίστροφη Ώσμωση.....	41
4.3.1 Οι Μembrάνες της Αντίστροφης Ώσμωσης.....	48
4.3.2 Ανάκτηση Ενέργειας.....	56

5. ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

5.1 Γενικά.....	58
5.2 Κρυστάλλωση.....	58
5.3 Εναλλαγή Ιόντων.....	60
5.4 Ύγρανση-Αφύγρανση.....	62
5.5 Απόσταξη με Μembrάνες.....	63
5.6 Νανοδιήθηση.....	64

6. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 Γενικά.....	66
6.2 Ηλιακή Ενέργεια.....	70
6.3 Αιολική Ενέργεια.....	72
6.4 Γεωθερμική Ενέργεια.....	76
6.5 Υδατοπτώσεις.....	77
6.6 Βιομάζα-Καύση Απορριμμάτων.....	78
6.7 Ενέργεια από τους Ωκεανούς.....	78

7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

7.1 Γενικά.....	80
-----------------	----

7.2 Άντληση Νερού Τροφοδοσίας.....	80
7.3 Χρήση Ενέργειας.....	81
7.4 Απόρριψη Άλμης.....	81

8. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

8.1 Γενικά.....	83
8.2 Κόστος Αρχικής Επένδυσης.....	83
8.3 Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης.....	84
8.4 Κόστος Αφαλατωμένου Νερού.....	85

9. Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ

9.1 Η Αφαλάτωση σε Διεθνές Επίπεδο.....	89
9.2 Η Αφαλάτωση στην Ελλάδα.....	96
9.3 Η Αφαλάτωση στην Κύπρο.....	98

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

10.1 Σύγκριση των Μεθόδων Αφαλάτωσης.....	101
7.2 Κριτήρια Επιλογής Μεθόδου.....	102
7.3 Προοπτικές της Αφαλάτωσης.....	103

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Νομοθετικό Πλαίσιο.....	105
-------------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	110
--------------------------	------------

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τις τεχνικές αφαλάτωσης. Η αφαλάτωση (desalination) είναι μια διαδικασία ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό, υφάλμυρο ή χαμηλής ποιότητας νερό, μέσω διεργασιών αφαίρεσης αλάτων από τα αλατούχα ύδατα. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού είναι μια διαδικασία που έχει χρησιμοποιηθεί από την αρχαιότητα για την παραγωγή πόσιμου νερού. Σήμερα, που το πρόβλημα της λειψυδρίας απειλεί όλο και μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη, η αφαλάτωση προβάλλει ως μία αξιόπιστη λύση για τη συνεχή και αδιάλειπτη τροφοδοσία με πόσιμο νερό.

Όλες οι μέθοδοι αφαλάτωσης έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αντικειμενικά βέλτιστη μέθοδος. Ένας από τους βασικούς στόχους της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση των σημαντικότερων μεθόδων αφαλάτωσης. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί από μια μονάδα αφαλάτωσης εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες. Όλες οι μέθοδοι έχουν σημαντικές ενεργειακές απαιτήσεις όπως και περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δεν μπορούν να αγνοηθούν.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη δυνατότητα τροφοδότησης των μονάδων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους του παραγόμενου νερού καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μονάδων αφαλάτωσης.

Τέλος, παρουσιάζονται στοιχεία για τις μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν στην Ελλάδα, στην Κύπρο και διεθνώς καθώς και στοιχεία που δείχνουν τη δυναμική της εξέλιξης της αφαλάτωσης σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο τα τελευταία χρόνια.

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η διαδικασία αφαλάτωσης μέσω εξάτμισης ήταν γνωστή στην αρχαία Ελλάδα οι ναυτικοί της οποίας χρησιμοποιούσαν στα μεγάλα ταξίδια τους μικρές συσκευές απόσταξης θαλασσινού νερού, ενώ το 350 π.χ. είχε μελετηθεί πειραματικά από τον Αριστοτέλη. Στην εικόνα 1.1 απεικονίζεται ίσως η πρώτη εφαρμογή της αφαλάτωσης με εξάτμιση του θαλασσινού νερού σύμφωνα με τη μαρτυρία του Αλέξανδρου από την πόλη Αφροδισιάδα της Μικράς Ασίας. Οι ναύτες αφού βράσουν το θαλασσινό νερό χρησιμοποιούν μεγάλα σφουγγάρια για να συλλέξουν τους υδρατμούς.



Εικόνα 1.1 Ναύτες παράγουν πόσιμο νερό με εξάτμιση του θαλασσινού νερού.

Επίσης περιγραφή αφαλάτωσης αναφέρεται από Άραβα συγγραφέα του 8^{ου} αιώνα που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Κατά τον μεσαίωνα ο Giovanni Battista della Porta στο πολύτομο βιβλίο του “*Magiae Naturalis*” παρέχει περιγραφές πολλών μεθόδων αφαλάτωσης καθώς και μία μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού από την υγρασία της ατμόσφαιρας. Από όλες τις μεθόδους που παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στην αναφορά της χρήσης της ηλιακής ενέργειας για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού.

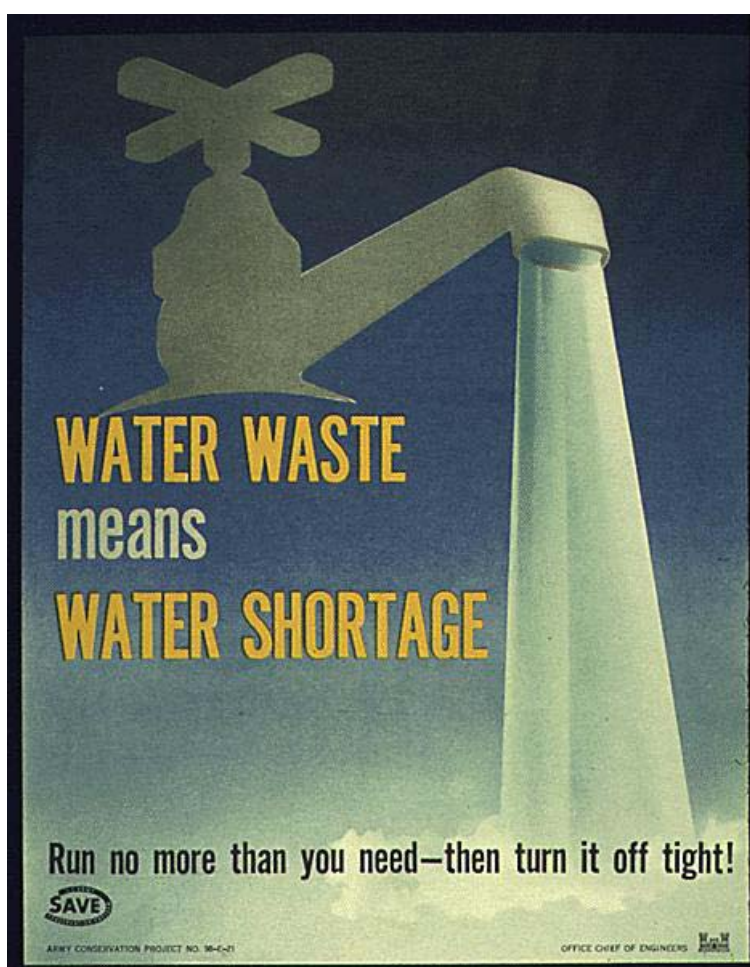
Τον 16ο αιώνα οι Ευρωπαίοι Θαλασσοπόροι μεταφέρουν στα πλοία τους, μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περίπτωση ανάγκης. Το 1675 και το 1683 κατατέθηκαν τα δύο πρώτα διπλώματα ευρεσιτεχνίας για μεθόδους αφαλάτωσης με απόσταξη θαλασσινού νερού και λίγο αργότερα εγκαταστάθηκαν στην Αγγλία οι τρεις πρώτοι αποστακτήρες για την παραγωγή γλυκού νερού από το θαλασσινό. Το 1724 ο Γάλλος ναύαρχος Deslanes συγκέντρωσε σε μία αναφορά του όλες τις τεχνικές που χρησιμοποιούνταν στην εποχή του για την παραγωγή γλυκού νερού στα ποντοπόρα πλοία και το 1739 ο φυσιολόγος Stephan Hales εξέδωσε ένα βιβλίο, φημισμένο στην εποχή του, το οποίο περιείχε πλήρεις περιγραφές όλων των προβλημάτων που σχετίζονταν με την αφαλάτωση.

Το 1850 ο Αμερικανός μηχανικός Norbert Rillieux αναπτύσσει μεθόδους απόσταξης της ζάχαρης που ελαττώνουν τις απαιτήσεις ενέργειας κατά 80%, οι οποίες θα εφαρμοστούν αργότερα, στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, και στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Το 1869 οι Άγγλοι εγκατέστησαν την πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στο Άντεν για τις ανάγκες του στόλου τους. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση νερού με ηλιακή ενέργεια δόθηκε στις ΗΠΑ το 1870. Το 1872 ο Σουηδός μηχανικός Carlos Wilson σχεδίασε και κατασκεύασε την πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια παροχής 22.5 m³/ημέρα. Οι αποστακτήρες εγκαταστάθηκαν σε μία περιοχή της Χιλής με υψόμετρο 1200 m όπου υπήρχαν ορυχεία ορυκτών αλάτων και αργύρου. Η μονάδα αυτή ξεκίνησε να λειτουργεί το 1874 και τροφοδοτείτο με την άλμη από την έκπλυση των ορυκτών αλάτων και κάλυπτε τις ανάγκες σε πόσιμο νερό των εργαζομένων στα ορυχεία. Η μονάδα αυτή λειτούργησε για 40 χρόνια έως ότου εξαντλήθηκαν τα ορυχεία. Ήδη, από το 1890 λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης στη Δυτική Αυστραλία. Το κόστος όμως είναι πολύ μεγάλο. Τα 4.5 λίτρα νερού κοστίζουν όσο το ένα τρίτο του μισθού του ανειδίκευτου εργάτη. Το πρώτο μεγάλο εργοστάσιο αφαλάτωσης θαλασσινού νερού εγκαταστάθηκε στις Ολλανδικές Αντίλλες το 1930.

Μετά το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου άρχισε να εκδηλώνεται τεράστιο ενδιαφέρον για την αφαλάτωση σαν αποτέλεσμα της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης καθαρού νερού υψηλής ποιότητας. Το 1950 η Αμερικανική κυβέρνηση δημιουργεί ειδική υπηρεσία (OSW-Office of Saline Water) και χρηματοδοτεί τις έρευνες για την αφαλάτωση ενώ αρχίζουν οι πρώτες σύγχρονες εφαρμογές θερμικής αφαλάτωσης σε χώρες της Μέσης Ανατολής. Το 1960 ξεκινούν στο πανεπιστήμιο UCLA της Καλιφόρνια τα πρώτα πειράματα στην Αντίστροφη Όσμωση με την κατασκευή των πρώτων μεμβρανών από τους ερευνητές, Sydney Loeb και Shrinivasa Sourirajan. Το 1965 κατασκευάζεται η πρώτη πειραματική μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με την μέθοδο της Αντίστροφης

Όσμωσης. Στη δεκαετία του 1970 ξεκίνησε η λειτουργία μεγάλων βιομηχανικών μονάδων αφαλάτωσης σε ΗΠΑ, Σοβιετική Ένωση, Μεξικό, Σαουδική Αραβία, Κουβέιτ, Αίγυπτο, Ισπανία και αλλού.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 ο ερευνητής John Cadotte συνεργάτης του America's Midwest Research Institute και της Film Tec Corporation εφευρίσκει μια εξαιρετικά βελτιωμένη μεμβράνη η χρήση της οποίας γενικεύεται τα επόμενα χρόνια. Την περίοδο 1990-2003 πραγματοποιείται σημαντική τεχνολογική πρόοδος στην αντίστροφη όσμωση με αποτέλεσμα τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας, της ποιότητας του νερού και κυρίως τη μείωση του κόστους αφαλάτωσης.



Εικόνα 1.2 Αφίσα της περιόδου του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου που καλεί τους πολίτες να κάνουν οικονομία στο νερό.

Το 2006 σε εργασία που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Science γνωστοποιήθηκε η επιτυχής κατασκευή νανοσωλήνων άνθρακα (carbon-nanotube membrane) που μειώνουν το κόστος παραγωγής κατά 3-4 φορές, λόγω της πολύ χαμηλότερης πίεσης που απαιτείται. Η μέθοδος βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο και σύμφωνα με εκτιμήσεις θα

μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανική κλίμακα τα επόμενα 6 με 8 χρόνια. Την ίδια χρονιά με τη δημοσίευση της παραπάνω εργασίας δημοσιεύονται και τα αποτελέσματα έρευνας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αφαλάτωσης. Οι επιπτώσεις αυτές αν και δεν είναι απαγορευτικές, σίγουρα δεν είναι και αμελητέες.

Η έλλειψη νερού είναι ένα πρόβλημα που υπάρχει εδώ και πολλά χρόνια κάτι που αποδεικνύεται και από την αφίσα που φαίνεται στην εικόνα 1.2. Πάντως στην εποχή μας το πρόβλημα της λειψυδρίας απειλεί πολύ μεγάλο μέρος του πληθυσμού της Γης και η αφαλάτωση φαίνεται να είναι ο μοναδικός τρόπος αποτελεσματικής αντιμετώπισης της. Έτσι, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικά άλματα στην ανάπτυξη και τη βελτιστοποίηση των μεθόδων αφαλάτωσης.

2. ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το νερό αναμφισβήτητα αποτελεί πηγή ζωής για τον πλανήτη και κινητήρια δύναμη του ανθρώπινου πολιτισμού. Όσοι το έχουμε θεωρούμε την ύπαρξη του δεδομένη. Σε παγκόσμιο επίπεδο όμως η κατάσταση είναι πολύ ανησυχητική. Τα παγκόσμια αποθέματα νερού κατάλληλου για χρήση συνεχώς μειώνονται λόγω μιας πληθώρας αιτιών που θα αναλυθούν στη συνέχεια. Ο κίνδυνος δεν είναι μακροπρόθεσμος αλλά βρίσκεται στο κατώφλι μας. Ήδη ένα μεγάλο ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού υφίσταται τις συνέπειες. Το γεγονός αυτό καθιστά απαραίτητη τη λήψη μέτρων ώστε να προστατευτούν και να αυξηθούν τα αποθέματα καθαρού νερού.

2.2 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΣΤΕΡΕΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Η διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού ή νερού για βιομηχανική και αγροτική χρήση από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό προϋποθέτει την πλήρη γνώση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του προς επεξεργασία νερού. Το νερό που υπάρχει σε οποιαδήποτε μορφή στην επιφάνεια της Γης ή υπογείως πάντα περιέχει διαλυμένες στερεές ουσίες. Αυτό συμβαίνει λόγω της μεγάλης διαλυτικής ικανότητας του νερού. Οι διαλυμένες ουσίες είναι κυρίως άλατα χωρίς όμως να αποκλείεται και η παρουσία άλλων στερεών όπως το διοξείδιο του πυριτίου.

Η περιεκτικότητα του νερού σε στερεές ουσίες ονομάζεται TDS (Total Dissolved Solids, συνολικά διαλυμένα στερεά) και μετριέται σε μέρη στο εκατομμύριο (ppm). Σύμφωνα με την περιεκτικότητα TDS το νερό χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

- Πόσιμο νερό με $TDS < 500$ ppm
- Ελαφρά υφάλμυρο νερό με TDS λίγο υψηλότερο του 500 ppm
- Υφάλμυρο νερό με $2000 \text{ ppm} < TDS < 10000$ ppm
- Θαλασσινό νερό με $30000 \text{ ppm} < TDS < 50000$ ppm
- Άλμη (ή Άρμη) με $TDS > 50000$ ppm

Να σημειωθεί ότι το ελαφρά υφάλμυρο νερό μπορεί να είναι και πόσιμο σύμφωνα με σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την σχετική Ελληνική νομοθεσία. Στη διεθνή βιβλιογραφία το πόσιμο νερό ονομάζεται και φρέσκο νερό. Η άλμη (κοινά: αλατόνερο ή σαλαμούρα)

χρησιμοποιείται κυρίως για την συντήρηση των τροφίμων και συνήθως είναι το απόρριμμα των μονάδων αφαλάτωσης.

Πάντως η περιεκτικότητα σε διαλυμένα στερεά δεν είναι σταθερή για κάθε κατηγορία νερού. Όλες οι θάλασσες δεν έχουν την ίδια περιεκτικότητα σε στερεές ουσίες. Κλειστές θάλασσες με μικρή εξάτμιση λόγω μικρής ηλιοφάνειας και επειδή δέχονται γλυκά νερά ποταμών έχουν χαμηλή περιεκτικότητα TDS. Για παράδειγμα η Βόρεια θάλασσα έχει 28000 ppm και η Βαλτική θάλασσα μόλις 15000 ppm. Αντίθετα η Ερυθρά θάλασσα και η Μεσόγειος έχουν TDS 40000 ppm και η θάλασσα του Σουέζ 78000 ppm. Ακόμα και μία συγκεκριμένη πηγή υφάλμυρου ή πόσιμου νερού δεν έχει σταθερή περιεκτικότητα. Παράγοντες όπως η ταχύτητα άντλησης, το ύψος των βροχοπτώσεων και η υπόγεια διάθεση λυμάτων επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά αλλά και το μικροβιακό της φορτίο.

Το θαλασσινό νερό περιέχει όλα σχεδόν τα γνωστά στοιχεία σε μορφή ιόντων. Τα περισσότερα όμως από αυτά βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες που μπορούν να αγνοηθούν. Μία τυπική σύσταση του θαλασσινού νερού δίνεται στον πίνακα 2.1. Όπως είναι αναμενόμενο το χλώριο και το νάτριο κυριαρχούν αλλά υπάρχουν και άλλα ιόντα. Τα άλατα του μαγνησίου και του ασβεστίου αποτελούν τη λεγόμενη σκληρότητα του νερού η οποία είναι σε ένα βαθμό απαραίτητη. Υψηλή όμως σκληρότητα δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στη διαδικασία της αφαλάτωσης. Να σημειωθεί ότι στο θαλασσινό νερό περιέχονται ακόμη και σπάνια μέταλλα όπως ουράνιο, χρυσός, λευκόχρυσος, τιτάνιο κ.α. Κατά καιρούς μάλιστα έχουν παρουσιαστεί διάφορες μελέτες που επεξεργάζονται ιδέες για το πως είναι δυνατό να ανακτηθούν αυτά από τη θάλασσα. Προς το παρόν όλες οι προτάσεις που έχουν διατυπωθεί είναι οικονομικά ασύμφωρες.

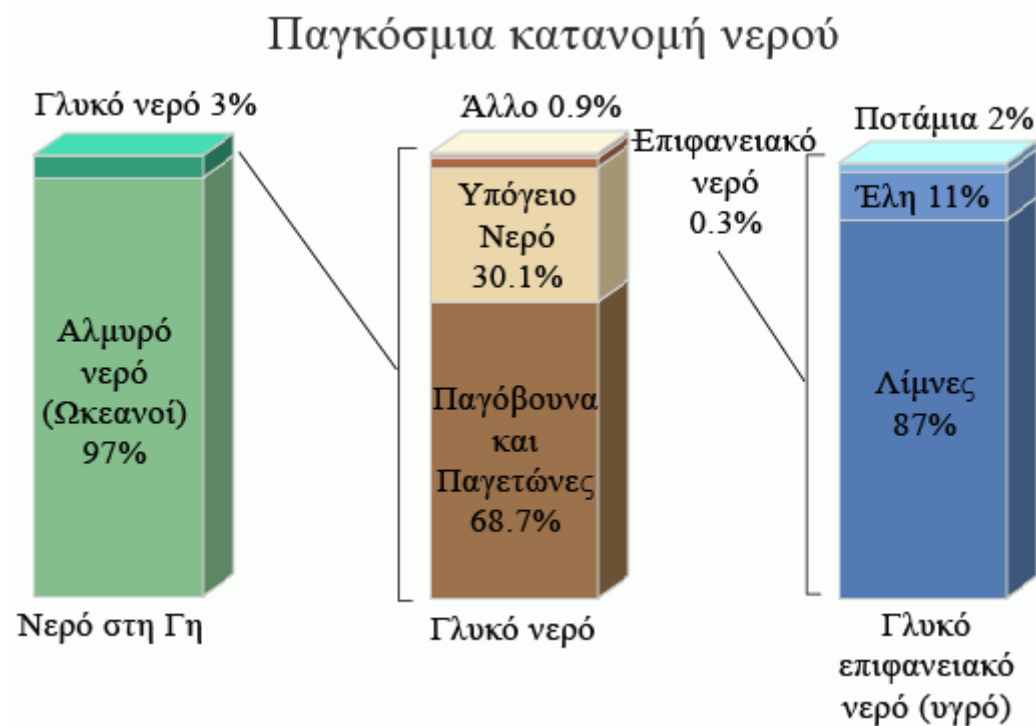
Πίνακας 2.1 Τυπική σύσταση θαλασσινού νερού

Ιόν	Περιεκτικότητα (ppm)
Na ⁺	10561
Mg ⁺⁺	1272
Ca ⁺⁺	400
K ⁺	380
Cl ⁻	18980
SO ₄ ⁻⁻	2649
HCO ₃ ⁻	142
Br ⁻	65
Άλλα Στερεά	34
TDS	34483

Ένας άλλος τρόπος περιγραφής της περιεκτικότητας του νερού σε διάφορες στερεές ουσίες είναι η αλατότητα. Με τον όρο αυτό περιγράφεται η περιεκτικότητα σε ολικά στερεά όταν όλα τα ανθρακικά άλατα έχουν μετατραπεί σε οξείδια, όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα άλατα έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα άλατα και όλες οι οργανικές ουσίες έχουν οξειδωθεί πλήρως.

2.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η ποσότητα του νερού που υπάρχει στη Γη υπολογίζεται σε περίπου 1.4 δισεκατομμύρια km³. Από αυτά περίπου το 3% είναι φρέσκο νερό δυνητικά κατάλληλο για χρήση από τους ανθρώπους και το 97% είναι θαλασσίνο νερό. Το μεγαλύτερο ποσοστό όμως του φρέσκου νερού (68.7%) βρίσκεται με τη μορφή παγόβουνων στους πόλους ή με τη μορφή παγετώνων στις κορυφές των βουνών. Ένα ποσοστό της τάξης του 30.1% αποτελούν τα υπόγεια ύδατα. Τελικά, υπολογίζεται ότι μόλις το 0.3% της συνολικής ποσότητας νερού που υπάρχει στη Γη είναι φρέσκο νερό που βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης σε λίμνες, ποτάμια κ.τ.λ. (σχήμα 2.1).

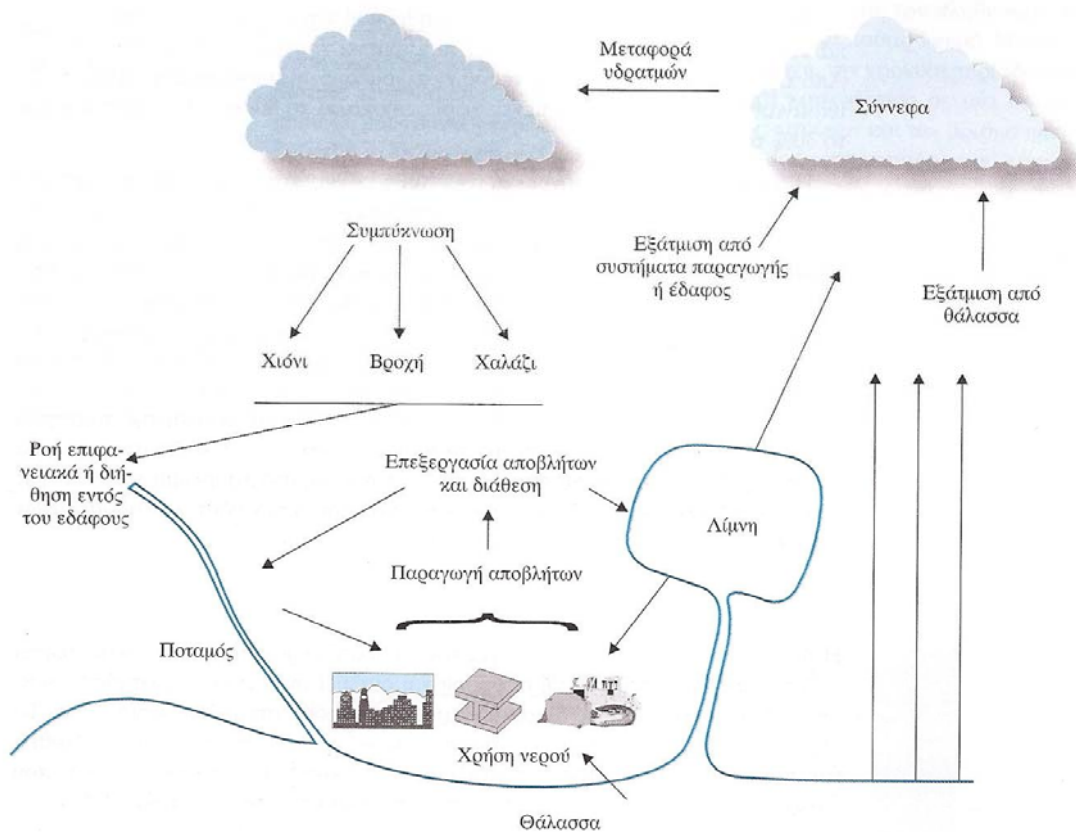


Σχήμα 2.1 Παγκόσμια κατανομή των υδάτινων πόρων.

Οι διαθέσιμες ποσότητες νερού παρουσιάζουν μία άνιση κατανομή στις διάφορες περιοχές της Γης. Για παράδειγμα, η κεντρική Ασία και το

μεγαλύτερο μέρος του στερεού φλοιού της Γης που περικλείεται μεταξύ 40° βόρειου και 40° νότιου γεωγραφικού πλάτους χαρακτηρίζονται σαν ξηρές ή ημίξηρες εκτάσεις. Στις ξηρές περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις είναι κάτω από 250 cm³ το χρόνο δεν μπορεί να ευδοκιμήσει κανένα είδος σιτηρών. Στις ημίξηρες όπου οι βροχοπτώσεις κυμαίνονται από 250 έως 600 cm³ το χρόνο ευδοκούν πολύ λίγα είδη σιτηρών.

Η βροχή και το χιόνι είναι οι πηγές του φυσικού νερού. Καθώς το νερό πέφτει από τα σύννεφα προς τη γη απορροφά ή διαλύει συστατικά της ατμόσφαιρας, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, μικροοργανισμοί, στερεά σωματίδια κ.τ.λ. Το νερό που φτάνει στην επιφάνεια της γης μπορεί να ρέει επιφανειακά, να διηθείται ή να εξατμίζεται. Έτσι σχηματίζεται ο λεγόμενος υδρολογικός κύκλος ή κύκλος του νερού ο οποίος φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Ο υδρολογικός κύκλος.

Από την συνολική ποσότητα νερού που πέφτει πάνω στη γη, το μεγαλύτερο μέρος πέφτει στις υγρές επιφάνειες, λίμνες, ποταμούς, θάλασσες γιατί αυτές καλύπτουν μεγαλύτερη έκταση. Ένα άλλο μέρος πέφτει στο έδαφος το οποίο ή απορροφάται εμπλουτίζοντας τον υδροφόρο ορίζοντα ή ρέει μέσω των ποταμών προς τη θάλασσα.

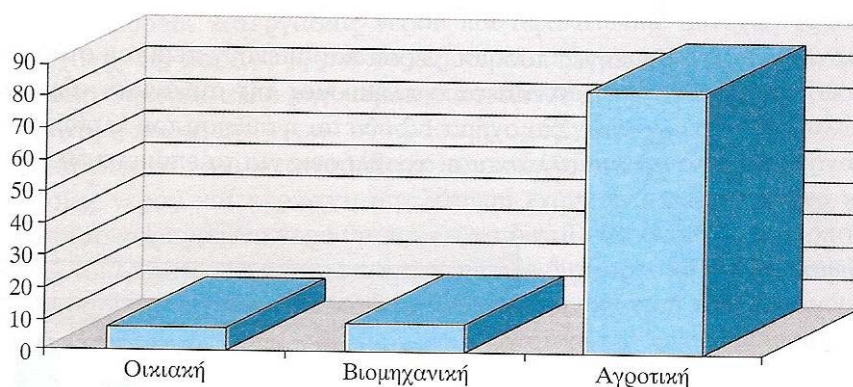
Συνεπώς το νερό είτε από την ατμόσφαιρα είτε από το έδαφος διαλύει διάφορα συστατικά. Έτσι, το νερό, είτε επιφανειακό είτε υπόγειο, περιέχει οργανική ύλη, μικροοργανισμούς και ανόργανες ενώσεις. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι το νερό οπουδήποτε κι αν βρίσκεται δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα από τον άνθρωπο αλλά μόνο μετά από κατάλληλη επεξεργασία σε μικρή ή μεγάλη κλίμακα.

Επιπλέον δεν θα πρέπει να περιμένουμε ότι η σύσταση του νερού σε διαλυμένα συστατικά θα είναι η ίδια σε όλα τα μέρη της Γης. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σύστασης νερού ακόμα και στο νερό που διατίθεται από τα δίκτυα ύδρευσης των διαφόρων πόλεων.

Οι θάλασσες, τα ποτάμια και οι λίμνες αποτελούν τα λεγόμενα επιφανειακά νερά και καλύπτουν το 70% της επιφάνειας της Γης. Μεγάλες όμως ποσότητες νερού συγκρατούνται στο έδαφος και στο υπέδαφος και αποτελούν τα λεγόμενα υπόγεια νερά. Το 50% των υπόγειων νερών βρίσκεται σε βάθος πάνω από 800 m.

2.4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

Η κατανάλωση νερού ποικίλει ανάλογα με την περιοχή, την χρονική περίοδο και το βιοτικό επίπεδο. Αν διαιρέσουμε την συνολική κατανάλωση σε μία ορισμένη περιοχή και χρονική περίοδο με τον αριθμό των κατοίκων και τον αριθμό ημερών προκύπτει ο δείκτης κατανάλωσης νερού (water index consumption) που είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος.



Σχήμα 2.3 Ποσοστιαία κατανάλωση νερού.

Σήμερα σε μία αναπτυσσόμενη χώρα, για τον υπολογισμό της κατανάλωσης για οικιακή χρήση, χρησιμοποιείται ο δείκτης κατανάλωσης νερού που κυμαίνεται από 150 έως 350 lt/ημέρα ανά κάτοικο. Πάντως, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3 η κατανάλωση νερού για οικιακή χρήση είναι ένα πολύ μικρό κλάσμα της συνολικής κατανάλωσης γλυκού νερού. Έχει υπολογισθεί ότι η απαιτούμενη ποσότητα νερού για γεωργική χρήση

είναι 1.3 m³ νερό για κάθε τετραγωνικό μέτρο καλλιεργήσιμου εδάφους το χρόνο.

Η οικιακή κατανάλωση μοιράζεται σε γενικές γραμμές στις εξής χρήσεις:

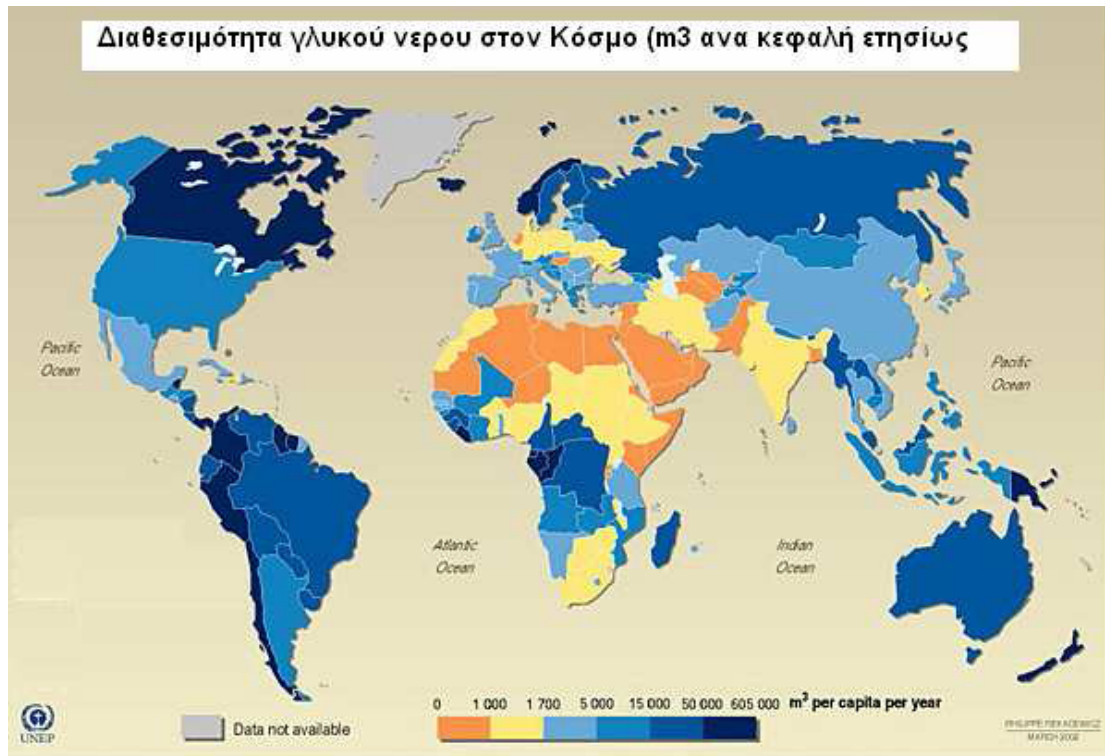
- 41% στη χρήση της τουαλέτας.
- 37% για σωματικό πλύσιμο
- 6% στην κουζίνα
- 5% για πόση
- 4% για πλύσιμο ρούχων
- 4% για καθαριότητα χώρων
- 3% για πότισμα κήπων

2.5 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ

Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σήμερα 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι ζουν σε περιοχές που έχουν πρόβλημα ύδρευσης και ο αντίστοιχος αριθμός αναμένεται να είναι 1.8 δισεκατομμύρια άνθρωποι το 2025. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Επιπλέον, 4.8 δισεκατομμύρια άνθρωποι, δηλαδή το 80% του παγκόσμιου πληθυσμού ζουν σε περιοχές με σοβαρό κίνδυνο, όσον αφορά την ασφάλεια του νερού. Ακόμα, 30 από τους 47 μεγαλύτερους ποταμούς της γης κινδυνεύουν, εξαιτίας ανθρώπινων παρεμβάσεων, ενώ 65% των ποταμών της γης απειλούνται, από μέτρια έως σοβαρά, με απώλεια βιοποικιλότητας. Σημειώνεται, επίσης, ότι το 90% των υγροτόπων και των πεδιάδων κατάκλισης στην Ευρώπη, έχουν ήδη απαλειφθεί. Οι ειδικοί, κρούουν εδώ και χρόνια τον κώδωνα του κινδύνου, επισημαίνοντας ότι μία περιβαλλοντική κρίση, θα είναι πολύ πιο δύσκολα αναστρέψιμη και με πολύ πιο δυσάρεστες συνέπειες, από την οικονομική.

Αρκετές από τις χώρες που αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας βρίσκονται στην Μέση Ανατολή καθώς και στην λεκάνη της Μεσογείου. Το κοινό σε αυτές τις περιοχές όσο αφορά τις κλιματολογικές συνθήκες είναι οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, καθώς και οι έντονες συνθήκες ξηρασίας των περιοχών αυτών που ορισμένες φορές αγγίζουν τα όρια της ερημοποίησης.

Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται ενδεικτικά στοιχεία για τη μείωση των αποθεμάτων νερού σε ορισμένες χώρες της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής που αντιμετωπίζουν πολύ οξυμμένο το πρόβλημα της λειψυδρίας.



Σχήμα 2.4 Διαθεσιμότητα γλυκού νερού σε παγκόσμιο επίπεδο.

Πίνακας 2.2 Κατά κεφαλήν διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι (m³/άτομο)

Χώρα	1970	1990	2010	2025
Λίβανος	1700	1650	1400	1150
Συρία	2100	1080	730	500
Μαρόκο	2000	1080	900	750
Αίγυπτος	1650	1000	620	450
Αλγερία	1050	550	420	380
Τυνησία	900	450	380	300
Ισραήλ	570	280	250	250
Λιβύη	230	120	90	70

Η Ελλάδα είναι μια από τις 7 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας μαζί με την Μάλτα, την Ισπανία, την Κύπρο, το Βέλγιο, την Πορτογαλία και την Ιταλία. Όπως εύκολα διαπιστώνει κανείς, η κατάσταση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς οι παραπάνω χώρες έχουν συνολικό πληθυσμό 130.000.000 κατοίκους, ποσοστό 27% επί του συνολικού πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Σύμφωνα με ορισμένους επιστήμονες η κυριότερη αιτία για την έλλειψη φρέσκου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο είναι η υπερθέρμανση του

πλανήτη ή αλλιώς φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μία αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ειδικά στις ορεινές περιοχές μπορεί να αλλάξει την αναλογία χιονοπτώσεων και βροχοπτώσεων, οδηγώντας σε περισσότερη βροχή και λιγότερο χιόνι. Αυτή η αλλαγή έχει σαν αποτέλεσμα περισσότερες πλημμύρες και μεγαλύτερη απορροή κατά την διάρκεια της περιόδου των βροχών. Έτσι, όλο και λιγότερο νερό παραμένει με τη μορφή πάγου και χιονιού στα μεγάλα υψόμετρα, προς χρήση κατά τις περιόδους ξηρασίας. Για παράδειγμα, η μάζα πάγου και χιονιού στα Ιμαλάια έχει αρχίσει να ελαττώνεται με υψηλό ρυθμό προκαλώντας μία σημαντική πτώση της στάθμης των υδάτων (12-20%) σε πολλά μεγάλα ποτάμια της Ασίας τα οποία έχουν τις πηγές τους σε αυτήν την οροσειρά.

Η πληθυσμιακή αύξηση αποτελεί μια εξίσου σημαντική αιτία έλλειψης φρέσκου νερού παγκοσμίως. Όπως είναι φανερό η ζήτηση φρέσκου νερού μεταβάλλεται ανάλογα με τη δημογραφική αύξηση σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε σχετικές μελέτες γίνεται η πρόβλεψη ότι ο πληθυσμός της Γης θα είναι 8.5 με 9 δισεκατομμύρια το 2050 ενώ οι μεγαλύτεροι ρυθμοί πληθυσμιακής αύξησης αφορούν τις χώρες του αναπτυσσόμενου κόσμου. Η αύξηση του πληθυσμού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης φρέσκου νερού όχι μόνο για οικιακή χρήση αλλά και για αγροτική, βιομηχανική χρήση, για παραγωγή ενέργειας κ.τ.λ. Να σημειωθεί ότι ο τριπλασιασμός του παγκόσμιου πληθυσμού τον προηγούμενο αιώνα συνοδεύτηκε από εξαπλασιασμό της κατανάλωσης καθαρού νερού. Επιπλέον, η οικονομική ανάπτυξη και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων μεγάλων χωρών όπως η Κίνα και η Ινδία οδήγησε στην σημαντική αύξηση κατανάλωσης αγαθών η παραγωγή των οποίων απαιτεί νερό.

Η αστυφιλία είναι ένα κοινωνικό φαινόμενο που οδηγεί σε αλόγιστη χρήση του νερού. Το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού που κατοικεί στις πόλεις από 14% που ήταν το 1900 έφτασε το 29% το 1950 και αναμένεται να ξεπεράσει το 60% το 2030. Η αστυφιλία οδήγησε στη μείωση των αποθεμάτων νερού αφενός λόγω της υπερεκμετάλλευσης των υδροφόρων στρωμάτων από τις μεγαλουπόλεις και αφετέρου λόγω της μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα που προκαλείται από τις τεράστιες ποσότητες λυμάτων που αυτές παράγουν.

Η αλόγιστη χρήση του νερού στη γεωργία αποτελεί επίσης μια σημαντική αιτία της μείωσης των αποθεμάτων φρέσκου νερού. Σε πολλές περιπτώσεις η άρδευση πραγματοποιείται με εξαιρετικά αντικοινωνικό τρόπο. Οι περισσότεροι καλλιεργητές δεν κατανοούν το οικονομικό κόστος της σπατάλης νερού ή δεν διαθέτουν τα απαραίτητα κεφάλαια για την βελτίωση των τεχνολογιών άρδευσης.

Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι περίπου το 20% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Αν και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα

υδροηλεκτρικά εργοστάσια είναι χρήσιμη η αλόγιστη χρήση σε πολλές περιπτώσεις έχει οδηγήσει σε πολύ υψηλά περιβαλλοντικά κόστη με αντίκτυπο στα αποθέματα νερού.

Η κακή διαχείριση των υδατικών πόρων, που θεωρείται από τα σημαντικότερα αίτια στο πρόβλημα της λειψυδρίας, οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση του υπόγειου και του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα, στην έλλειψη σχεδίου διαχείρισης, στην κακή υποδομή όσον αφορά στα δίκτυα ύδρευσης και αποθήκευσης νερού, αλλά και στην τάση για προσωρινές και μη αποτελεσματικές λύσεις. Σε πολλές περιπτώσεις, οι εναλλακτικές λύσεις που εφαρμόστηκαν, όπως π.χ. η κατασκευή λιμνοδεξαμενών, δεν θεωρήθηκαν ικανές ή οικονομικά βιώσιμες για να αποτελέσουν τη λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας.

Οι επιπτώσεις της έλλειψης φρέσκου νερού είναι πάρα πολλές και τραγικές. Άμεσο αποτέλεσμα είναι οι ασθένειες και οι θάνατοι ανθρώπων που χρησιμοποιούν μολυσμένα αποθέματα νερού. Έχει δειχθεί ότι η χρήση νερού υγειονομικώς μη αποδεκτής ποιότητας στις αναπτυσσόμενες χώρες προκαλεί το 80-90% των ασθενειών και το 30% των θανάτων. Στις χώρες του αναπτυσσόμενου κόσμου υπολογίζεται ότι περίπου 3900 παιδιά πεθαίνουν κάθε ημέρα από διάρροια λόγω έλλειψης πόσιμου νερού.

Ήδη έχουν αρχίσει διαμάχες μεταξύ κρατών που μοιράζονται τον έλεγχο μεγάλων ποτάμιων συστημάτων. Δεν είναι λίγοι αυτοί που υποστηρίζουν ότι ο επόμενος μεγάλος πόλεμος θα γίνει για το νερό.

Σημαντική είναι επίσης η έλλειψη φρέσκου νερού για την χλωρίδα και την πανίδα. Στην Ευρώπη η ραγδαία εξαφάνιση των υγροτόπων είχε σαν αποτέλεσμα ανάλογη μείωση στη βιοποικιλότητα.

Τέλος, η έλλειψη νερού αναμένεται στο μέλλον να οδηγήσει κάποιους πληθυσμούς να μεταναστεύσουν από τον τόπο διαμονής τους δημιουργώντας πολλά πολιτικά και κοινωνικά προβλήματα.

Όπως είναι φανερό, η αντιμετώπιση της λειψυδρίας είναι υψίστης σημασίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι ανάγκη να παρθούν αποφάσεις από κυβερνητικούς φορείς, την τοπική αυτοδιοίκηση και τις περιβαλλοντικές οργανώσεις, προκειμένου να εξοικονομηθεί νερό και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της λειψυδρίας. Οι προτεινόμενες λύσεις είναι οι εξής:

- Κατασκευή λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων.
- Κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης.
- Βελτίωση των υποδομών με αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων δικτύων για περιορισμό των απωλειών.
- Ενημέρωση καταναλωτών για ορθότερη χρήση του νερού.
- Κατασκευή παράλληλου δικτύου κατώτερης ποιότητας νερού για χρήσεις στις οποίες δεν απαιτείται άριστης ποιότητας νερό.

- Επεξεργασία των λυμάτων και ανακύκλωση του νερού εξόδου του βιολογικού καθαρισμού για δευτερεύουσες χρήσεις (πότισμα, καθαριότητα, οικοδομικές εργασίες, πλυντήρια αυτοκινήτων, χρήση στα λιμάνια κ.τ.λ.).
- Μεταφορά νερού με πλοία σε νησιά που έχουν έλλειψη νερού, ως λύση ανάγκης σε περιπτώσεις που οι άλλες λύσεις δεν εφαρμόζονται.

Ένα πολύ μεγάλο μέρος του γλυκού νερού της Γης βρίσκεται στα παγωμένα στρώματα της Ανταρκτικής και της Αρκτικής. Οι πάγοι και τα παγόβουνα είναι καθαρό νερό γιατί καθώς το νερό κρυσταλλώνεται στη θερμοκρασία 0°C διαχωρίζεται από τα άλατα που περιείχε αρχικά. Αυτή άλλωστε είναι και η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος αφαλάτωσης με κρυστάλλωση που θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο. Έτσι από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα διατυπώθηκε η πρόταση για την μεταφορά παγόβουνων από την Ανταρκτική ή το Βόρειο Πόλο με ρυμούλκηση στις παραθαλάσσιες χώρες που χρειάζονταν νερό. Παρόλο που το όλο εγχείρημα θυμίζει μυθιστόρημα επιστημονικής φαντασίας δεν ήταν λίγες οι εταιρείες που έκαναν σχετικές μελέτες και όπως αποδείχθηκε το έργο αυτό είναι πραγματοποιήσιμο με την υπάρχουσα τεχνολογία. Δεν πραγματοποιήθηκε γιατί θεωρήθηκε οικονομικά ασύμφορο και γιατί η εξέλιξη άλλων τεχνολογιών (αφαλάτωσης) κατέστησαν αυτό το έργο ανταγωνιστικά κατώτερο.

2.6 ΟΙ ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Η Ελλάδα θεωρείται χώρα με επαρκείς υδατικούς πόρους, επιφανειακούς και υπόγειους. Είναι γεγονός πως η χώρα περιλαμβάνει αναλογικά με το μέγεθος της σημαντικό αριθμό ποταμών και λιμνών και επίσης οι γεωλογικές τις συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη υπόγειων υδροφοριών. Παρόλα αυτά, οι διαθέσιμες αυτές ποσότητες δεν είναι δυνατόν πάντα να αξιοποιηθούν. Οι λόγοι είναι οι παρακάτω:

- Η γεωμορφολογία της χώρας
- Η χωρική και χρονική ανισοκατανομή των υδατικών πόρων
- Η χωρική και χρονική ανισοκατανομή της ζήτησης, αντίθετη με την κατανομή της προσφοράς
- Η μεγάλη ακτογραμμή-παράκτιοι υφάλμυροι υδροφόροι ορίζοντες
- Η αστυφιλία
- Το μεγάλο πλήθος μικρής έκτασης κατοικημένων νησιών, τα οποία συχνά είναι άνυδρα
- Η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές ποταμών που έρχονται από γειτονικά κράτη

- Η μη εφαρμογή σχεδίων αειφορικής διαχείρισης, κατά την οποία θα προβλέπεται τόσο το οικονομικό και τεχνικό κόστος, όσο και το περιβαλλοντικό. Το νερό αποτελεί φυσικό πόρο, κοινωνικό και οικονομικό αγαθό καθώς και περιβαλλοντικό στοιχείο
- Η πλημμελής και αποσπασματική αντιμετώπιση της διαχείρισης από την πολιτεία. Η πολυδιάσπαση και η ανταγωνιστικότητα των σχετικών με τους υδατικούς πόρους αρμοδιοτήτων σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, η απουσία προσωπικού και υλικοτεχνικής υποδομής, η έλλειψη σχεδιασμού και προγραμματισμού έχουν το προφανές αποτέλεσμα μιας περιστασιακής και μη ορθολογικής διαχείρισης.

Αν στα παραπάνω προσθέσουμε τη μείωση των βροχοπτώσεων λόγω της κλιματικής αλλαγής και την καταστροφή των δασών καταλαβαίνουμε γιατί η κατάσταση των υδατικών πόρων της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα δυσοίωνη. Όσον αφορά τις χρήσεις του νερού στη χώρα μας, η γεωργία καταναλώνει το 87%, τα νοικοκυριά (αστική χρήση) και ο τουρισμός το 10% και η βιομηχανία το 3%.

Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στη χώρα θεσμικά καλύπτεται από το Ν. 1739/1987 με τον οποίο, μεταξύ άλλων ορίζεται το αρμόδιο για τους φυσικούς πόρους Υπουργείο Ανάπτυξης και συγκεκριμένα η Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων ως φορέας για την διαχείριση των υδατικών πόρων. Επίσης για λόγους μεθοδολογίας, αλλά και οργανωτικούς και διοικητικούς, θεσμοθετούνται τα 14 υδατικά διαμερίσματα της χώρας (σύνολα λεκανών απορροής με κατά το δυνατόν όμοιες υδρολογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες), τα οποία αποτελούν το περιφερειακό επίπεδο στον τομέα της διαχείρισης του νερού.



Σχήμα 2.5 Τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας.

Στο βόρειο, βορειοανατολικό και βορειοδυτικό τμήμα της χώρας, εκτείνονται σημαντικά ποτάμια συστήματα, αλλά και λιμναία. Τα περισσότερα ποτάμια συστήματα είναι διακρατικά. Επίσης και κάποιες από τις λίμνες που βρίσκονται στα σύνορα της χώρας, χωρίζονται σε δύο τμήματα. Η διαχείριση των διακρατικών λιμνών και ποταμών, μέχρι στιγμής είναι προβληματική. Όσον αφορά τα υπόγεια ύδατα, η στάθμη τους βρίσκεται σε καλά επίπεδα. Στην περιοχή επίσης εντοπίζονται σημαντικά γεωθερμικά πεδία. Οι λεκάνες απορροής αυτού του τμήματος της χώρας, ως επί το πλείστον παρουσιάζουν πλεονασματικό υδατικό ισοζύγιο. Σημαντικό αστικό κέντρο, σε αυτό το τμήμα, αποτελεί η πόλη της Θεσσαλονίκης.

Στο κεντρικό τμήμα της χώρας, βρίσκεται η Θεσσαλία και η Στερεά Ελλάδα. Ο θεσσαλικός κάμπος, λόγω των εντατικών αγροτικών δραστηριοτήτων, έχει υποστεί υπεράντληση των υπόγειων υδάτων, οπότε οι υδροφορείς, εδώ, είναι σημαντικά υποβαθμισμένοι. Αξιοποιήσιμα είναι κυρίως τα επιφανειακά ύδατα. Η ζήτηση νερού σε αυτό το τμήμα βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα και φαίνεται να διατηρεί αυτόν τον αυξητικό ρυθμό. Το ισοζύγιο τείνει να είναι ελλειμματικό. Σε αυτό το τμήμα βρίσκεται το νησιωτικό σύμπλεγμα των Σποράδων, η Εύβοια, καθώς και τα πολεοδομικά συγκροτήματα της Αθήνας και του Πειραιά.

Στο νότιο τμήμα της χώρας, εντοπίζεται το σοβαρότερο έλλειμμα υδατικών πόρων. Οι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας είναι το πιο χαρακτηριστικό φαινόμενο αυτής της περιοχής. Τα ποτάμια συστήματα έχουν μετατραπεί σε εποχικούς χείμαρρους. Λιμναία συστήματα δεν συναντώνται. Τα υπόγεια ύδατα δεν εμπλουτίζονται ικανοποιητικά, καθώς η κύρια πηγή τροφοδοσίας τους, οι βροχοπτώσεις δεν επαρκούν. Στο νότιο τμήμα της Ελλάδας βρίσκεται η Πελοπόννησος, η Κρήτη και ένας σημαντικός αριθμός νησιών. Όσον αφορά την περιοχή της Πελοποννήσου, διακρίνεται σε τρία τμήματα. Το βόρειο και δυτικό τμήμα έχουν πλεόνασμα υδάτων. Αντιθέτως το ανατολικό τμήμα έχει έλλειμμα υδατικών πόρων.

Στο Υδατικό Διαμέρισμα των Νήσων Αιγαίου, η προσφορά είναι κατά πολύ μικρότερη από τη ζήτηση. Οπότε εύκολα εννοείται ότι η ζήτηση είτε δεν καλύπτεται είτε καλύπτεται από εισαγόμενες ποσότητες υδάτων. Από τη στιγμή που οι προσφερόμενες ποσότητες νερού δεν καλύπτουν τις ανάγκες, το ισοζύγιο είναι ελλειμματικό. Διαχείριση των υδατικών πόρων λοιπόν είναι η διαχείριση του ελλείμματος.

Στον Πίνακα 2.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατάσταση που επικρατεί για τους υδατικούς πόρους της χώρας ανά υδατικό Διαμέρισμα, δίνοντας το ισοζύγιο προσφοράς-ζήτησης σε κάθε ένα από αυτά.

Πίνακας 2.3 Προσφορά και Ζήτηση Υδατικών Πόρων ανά Υδατικό Διαμέρισμα (1 hm=100 m)

Υδατικό Διαμέρισμα	Προσφορά (hm ³)	Ζήτηση (hm ³)	Ισοζύγιο
Δυτική Πελοπόννησος	73	55	Πλεονασματικό
Βόρεια Πελοπόννησος	122	104	Πλεονασματικό
Ανατολική Πελοπόννησος	56	67	Ελλειμματικό
Δυτική Στερεά Ελλάδα	415	82	Ισχυρά Πλεονασματικό
Ήπειρος	193	33	Ισχυρά Πλεονασματικό
Αττική	56	54	Οριακά Πλεονασματικό
Ανατολική Στερεά Ελλάδα	128	187	Ελλειμματικό
Θεσσαλία	210	335	Ελλειμματικό
Δυτική Μακεδονία	159	136	Πλεονασματικό
Κεντρική Μακεδονία	137	130	Οριακά Πλεονασματικό
Ανατολική Μακεδονία	354	132	Πλεονασματικό
Θράκη	424	253	Πλεονασματικό
Κρήτη	130	133	Οριακά Ελλειμματικό
Νησιά Αιγαίου	7	25	Ελλειμματικό

Οι ανεξέλεγκτες γεωτρήσεις έχουν προκαλέσει τεράστιο πρόβλημα με την διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο ορίζοντα με αποτέλεσμα την υφαλμύρωση του νερού. Το πρόβλημα περιπλέκεται εξαιτίας του γεγονότος ότι οι παραθαλάσσιες αυτές περιοχές εκτός από γεωργικές είναι και πυκνοκατοικημένες ενώ δέχονται και μεγάλο αριθμό τουριστών. Στον χάρτη του σχήματος 2.6 που δημοσιεύθηκε στην εφημερίδα Καθημερινή της 20/4/2008 περιγράφονται οι προβληματικές περιοχές με κόκκινο χρώμα.

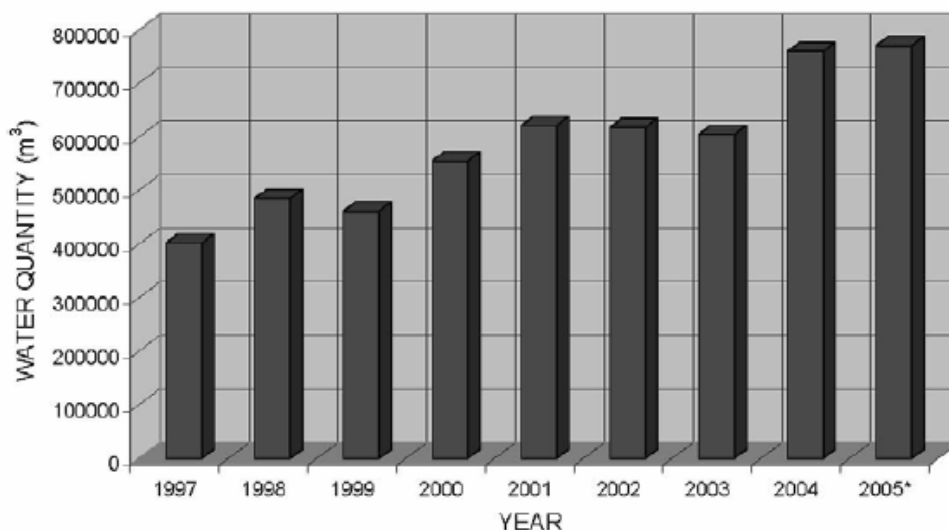


Σχήμα 2.6 Περιοχές της Ελλάδας όπου παρουσιάζεται υφαλμύρωση του υδροφόρου ορίζοντα.

Στη χώρα μας το πρόβλημα είναι πιο έντονο στις νησιωτικές περιοχές λόγω της μορφολογίας του εδάφους και των ελάχιστων πηγών νερού που συνήθως δεν είναι πόσιμο αλλά υφάλμυρο. Η κατάσταση επιδεινώνεται ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών και της ξηρασίας καθώς και εξαιτίας της αυξημένης τουριστικής κίνησης στις περιοχές αυτές. Ο τουρισμός που συνεπάγεται και την μεταφορά των υδατικών καταναλώσεων του παραθεριστή που έχει συνηθίσει στην πόλη του είναι ο κυριότερος παράγοντας. Επίσης η κατασκευή των τουριστικών υποδομών όπως ξενοδοχεία κ.τ.λ. για την εξυπηρέτηση του εισερχόμενου πληθυσμού και οι ανάγκες αυτών των υποδομών για λειτουργίες όπως πότισμα, πισίνες, ίδιες χρήσεις κ.τ.λ. δυσχεραίνουν την κατάσταση.

Η μεταφορά του νερού με πλοία υδροφόρες είναι σωτήρια λύση για μεγάλο πλήθος νησιών εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Η μέθοδος αυτή αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια τον πιο διαδεδομένο τρόπο παροχής νερού, γεγονός όμως που επιβαρύνει κατά πολύ το ταμείο του κράτους. Από αναφορές, στα ελληνικά νησιά το κόστος του νερού ανά κυβικό μέτρο κυμαίνεται από 2 έως 7 ευρώ, ενώ ποιοτικά δεν χαρακτηρίζεται ως πόσιμο. Επιπλέον, η διάθεσή του δεν είναι πάντα εφικτή είτε λόγω της αυξημένης ζήτησης ή είτε λόγω της αδυναμίας προσέγγισης των

δεξαμενόπλοιων στα λιμάνια των μικρών νησιών. Παρόλα αυτά ακόμα και σήμερα θεωρείται από πολλούς ως η μοναδική λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας των ελληνικών νησιών.



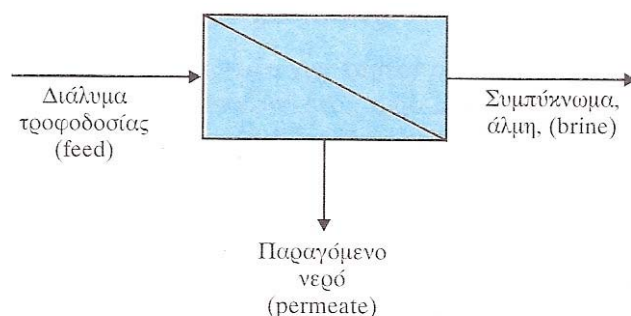
Σχήμα 2.7 Η χρονική εξέλιξη των εισαγόμενων ποσοτήτων νερού στα Δωδεκάνησα.

Τα νησιά που υδροδοτούνται με πλωτά μέσα είναι η Αμοργός, τα Κουφονήσια, η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σχοινούσα, η Φολέγανδρος, η Τήνος, η Σίκινος, η Θηρασιά, η Δονούσα, η Μήλος, το Αγαθονήσι, οι Λειψοί, η Μεγίστη, η Νίσυρος, η Πάτμος, η Σύμη, η Χάλκη, η Παλιόνησος και η Ψέριμος. Χαρακτηριστικό των τελευταίων χρόνων είναι ότι εκτός από τα προαναφερθέντα νησιά, λόγω της όξυνσης του προβλήματος, αναγκάζονται να συμπληρώσουν τις ανάγκες τους με μεταφορά νερού και μεγάλα νησιά όπως η Ίος και η Μήλος που παραδοσιακά δεν είχαν τέτοια προβλήματα.

Η λύση της κατασκευής φραγμάτων χρησιμοποιείται για να εκμεταλλευτούμε το ανάγλυφο του εδάφους των νησιών, με τις έντονες κλίσεις και υψομετρικές διαφορές που προκαλεί δυσκολία στην κατακράτηση του νερού. Το έντονο ανάγλυφο του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα, ειδικά σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων, σημαντικό ποσοστό του νερού να σχηματίζει χείμαρρους οι οποίοι κατευθύνονται ανεξέλεγκτοι προς την θάλασσα και δεν αξιοποιούνται κατάλληλα.

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Μυκόνου, η οποία είναι σχετικά ξερό νησί, όπου μετά την κατασκευή 2 φραγμάτων στην περιοχή Μαραθώ χωρητικότητας 3 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού και 1 εκατομμυρίου κυβικών μέτρων νερού λύθηκε το πρόβλημα της ύδρευσης.

επίσης και για τον καθαρισμό υφάλμυρου νερού. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις μέσω της αφαλάτωσης παράγεται επιτραπέζιο αλάτι ως υποπροϊόν.



Σχήμα 2.9 Η διεργασία της αφαλάτωσης.

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης έχουν αναπτυχθεί πάρα πολύ τα τελευταία χρόνια εξασφαλίζοντας μείωση του κόστους παραγωγής αλλά και φρέσκο νερό υψηλής ποιότητας. Επιπλέον οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης μπορούν να προσφέρουν ασφαλή και αδιάλειπτη τροφοδοσία με νερό σε αντίθεση με λύσεις όπως μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια που προαναφέρθηκαν.

Για τη σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας, η παραγωγή νερού από μονάδες αφαλάτωσης θα πρέπει να συνδυαστεί με:

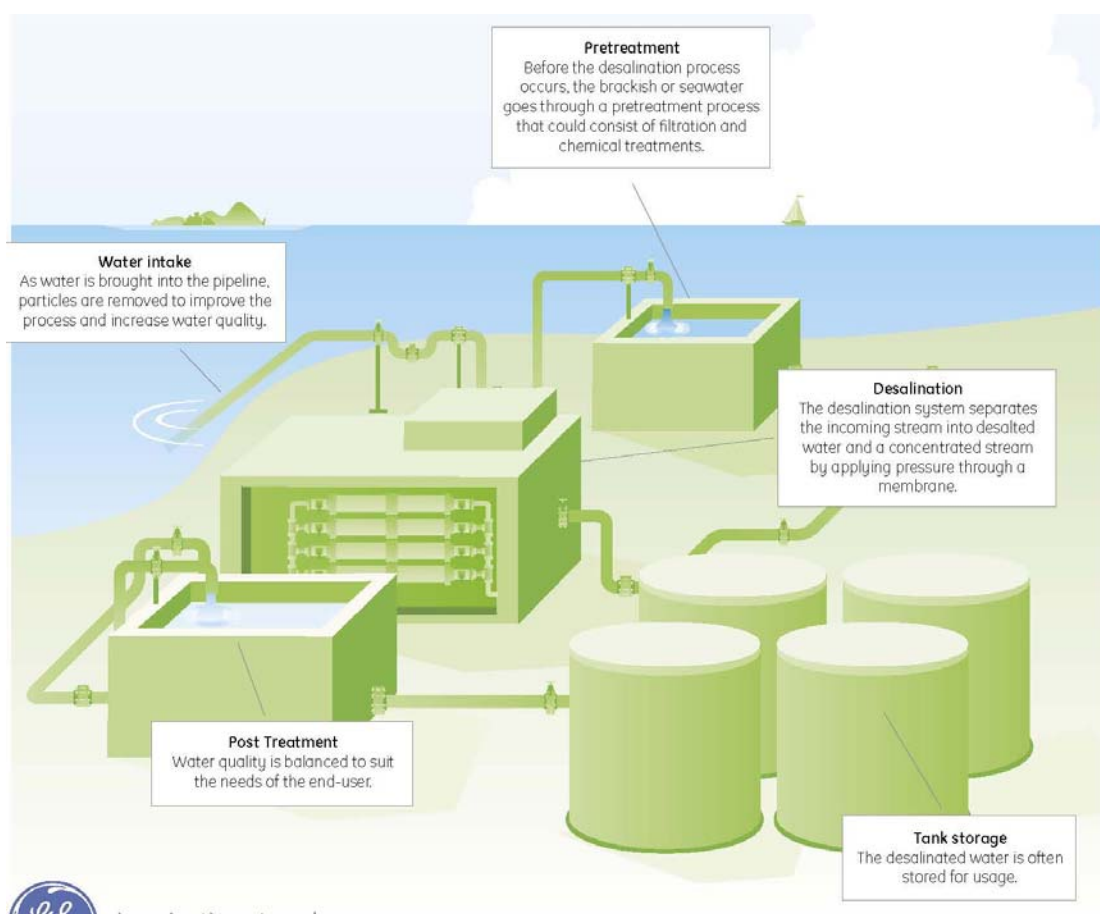
- Μέτρα εξοικονόμησης και σωστής διαχείρισης των υδατικών πόρων.
- Μεθόδους επαναχρησιμοποίησης του νερού.
- Ανάπτυξη διαχρονικών πολιτικών όσον αφορά στην προστασία και στη διάθεση των υδάτων.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις θερμικές μεθόδους ή μεθόδους εξάτμισης και τις μεθόδους μεμβρανών. Υπάρχουν επίσης και άλλες μέθοδοι οι οποίες βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο ή δεν είναι γενικά συμφέρουσες από οικονομική άποψη. Οι μέθοδοι εξάτμισης χρησιμοποιούνται σήμερα μόνο στις πετρελαιοπαραγωγούς χώρες της Μέσης Ανατολής που διαθέτουν άφθονους ενεργειακούς πόρους ενώ στις υπόλοιπες χώρες χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος της Αντίστροφης Όσμωσης που ανήκει στις μεθόδους μεμβρανών και είναι πιο οικονομική. Όλες οι τεχνικές αφαλάτωσης απαιτούν, άλλες περισσότερο και άλλες λιγότερο, για την σωστή και αποδοτική λειτουργία τους ειδική προ-κατεργασία του αλατούχου διαλύματος τροφοδοσίας καθώς και μετά-επεξεργασία του νερού που παράγεται.

Πρέπει να σημειωθεί ότι διαδικασίες αφαλάτωσης συμβαίνουν σε πολλά είδη του ζωικού βασιλείου. Έτσι, πολλά γνωστά θαλασσινά

πουλιά, όπως ο γλάρος, ο πελεκάνος, ο θαλασσοβάτης κ.α. χάρη σε έναν αδένα μπορούν και μεταβάλλουν την περιεκτικότητα των αλάτων στο θαλασσινό νερό, καθιστώντας το έτσι κατάλληλο για βιολογική χρήση.

Η θεωρητική ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού είναι 0.71 kWh/m^3 παραγόμενου νερού για θαλασσινό νερό με TDS 35000 ppm και φτάνει περίπου 1 kWh/m^3 παραγόμενου νερού για νερό τροφοδοσίας με διπλάσιο TDS. Αυτή η τιμή αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού. Όπως είναι φυσικό στην πράξη η απαιτούμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το παραπάνω θεωρητικό όριο.



Σχήμα 2.10 Αναπαράσταση των βασικών τμημάτων μιας τυπικής μονάδας αφαλάτωσης

Παρόλο που έχουν αναπτυχθεί πολλές και διαφορετικής φιλοσοφίας μέθοδοι αφαλάτωσης, η βασική διαδικασία και τα επί μέρους στάδια όλου του συστήματος παραμένουν ίδια. Στο σχήμα 2.10 φαίνεται η δομή μιας τυπικής μονάδας αφαλάτωσης. Αρχικά, λοιπόν, το θαλασσινό νερό συλλέγεται μέσω σωληνώσεων, ενώ συγχρόνως αφαιρούνται σωματίδια προκειμένου να έχει καλύτερη απόδοση η διαδικασία αλλά και να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού (Water intake).

Στη συνέχεια, το ρεύμα θαλασσινού νερού διέρχεται από μια διαδικασία, ο οποία προηγείται της αφαλάτωσης, όπου φιλτράρεται ή και επεξεργάζεται χημικά αναλόγως τη μέθοδο αφαλάτωσης (Pretreatment).

Το νερό μετά από αυτό το στάδιο είναι έτοιμο για να περάσει από το κύριο μέρος της εγκατάστασης (Desalination). Εδώ, το σύστημα αφαλάτωσης διαχωρίζει το ρεύμα εισόδου σε ένα ρεύμα με αφαλατωμένο νερό και σε ένα ρεύμα με συμπυκνωμένη άλμη. Η μέθοδος με την οποία διαχωρίζεται το ρεύμα θαλασσινού νερού ποικίλει. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές διεργασίες αφαλάτωσης, οι οποίες θα αναλυθούν σε επόμενα κεφάλαια. Αξίζει να αναφέρουμε επίσης, ότι η απόρριψη αυτής της άλμης στη θάλασσα, είναι πιθανόν να έχει επιπτώσεις στη θαλάσσια πανίδα. Συνεπώς η εκμετάλλευση της είναι αναγκαία (παραγωγή άλατος). Το αφαλατωμένο νερό επεξεργάζεται εκ νέου, για να ικανοποιηθούν κάποιες απαιτήσεις ποιότητας, προκειμένου να είναι κατάλληλο για χρήση (Post Treatment). Τέλος, πολλές φορές, το παραγόμενο νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές στην περίπτωση που η εκμετάλλευση του δεν απαιτείται να είναι άμεση (Water Storage).

Δύο χαρακτηριστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται ευρέως στην κατεργασία του νερού και κυρίως στις διεργασίες αφαλάτωσης είναι η *ανάκτηση* (Recovery) και η *απόρριψη αλάτων* (Salt Rejection, SR). Η ανάκτηση δείχνει το ποσοστό του παραγόμενου νερού από το διάλυμα τροφοδοσίας και ορίζεται ως:

$$\text{Ανάκτηση (\%): } r = \frac{\dot{V}_p}{\dot{V}_f} \times 100$$

όπου \dot{V}_p είναι η ογκομετρική παροχή του παραγόμενου νερού και \dot{V}_f του διαλύματος τροφοδοσίας.

Η ποιότητα του παραγόμενου νερού, που χαρακτηρίζεται από την ικανότητα απόρριψης των αλάτων που περιέχονται στο διάλυμα τροφοδοσίας. Έτσι η απόρριψη αλάτων ορίζεται ως:

$$\text{Απόρριψη αλάτων (\%): } R = \frac{c_f - c_p}{c_f} \times 100$$

όπου c_f είναι η συγκέντρωση σε άλατα του διαλύματος τροφοδοσίας και c_p η συγκέντρωση σε άλατα του παραγόμενου νερού.

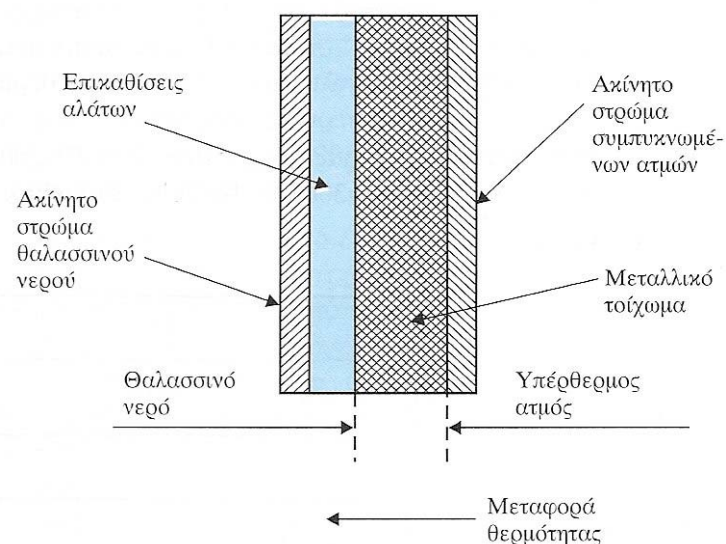
3. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι θερμικές μέθοδοι ή μέθοδοι εξάτμισης περιλαμβάνουν την αλλαγή φάσης του νερού, από υγρό σε αέριο. Οι κυριότερες θερμικές μέθοδοι είναι η Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multiple Stage Distillation, MSD ή Multi-Effect Boiling, MEB ή Multiple Effect Distillation, MED), η Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF), η Συμπύεση του Ατμού (Vapor Compression VC) και η Ηλιακή Εξάτμιση (Solar Distillation, SD).

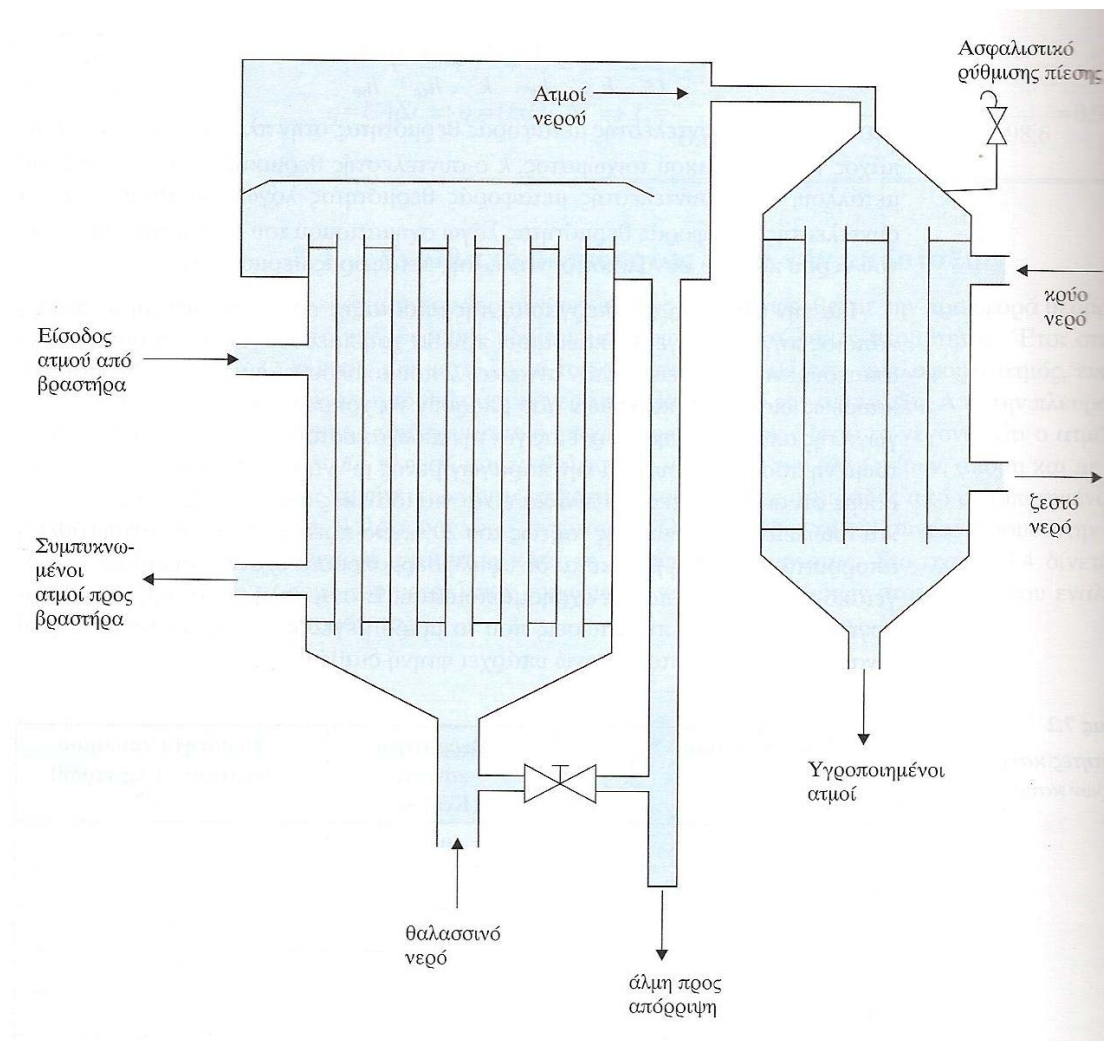
3.2 ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

Η μέθοδος της εξάτμισης είναι η πρώτη ιστορικά μέθοδος αφαλάτωσης που εφαρμόστηκε. Η βασική ιδέα είναι πολύ απλή. Το θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό θερμαίνεται και μετατρέπεται σε ατμό ενώ τα στερεά που περιέχει παραμένουν αμετάβλητα, εφόσον βέβαια η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 300°C.



Σχήμα 3.1 Μεταφορά θερμότητας κατά την εξάτμιση.

Η εξάτμιση του νερού επιτυγχάνεται με προσφορά θερμότητας από υπέρθερμους υδρατμούς μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Έτσι, στην μία πλευρά του μεταλλικού τοιχώματος του εναλλάκτη κυκλοφορεί υπέρθερμος υδρατμός ενώ από την άλλη πλευρά κυκλοφορεί το προς αφαλάτωση νερό. Από την πλευρά αυτή συμβαίνουν επικαθίσεις αλάτων. Αν και οι υδρατμοί από τη μία πλευρά και το θαλασσινό νερό από την άλλη ρέουν με μεγάλες συνήθως ταχύτητες, πάντα σχηματίζονται ακίνητες στοιβάδες εκατέρωθεν του μεταλλικού τοιχώματος από υγροποιημένο ατμό και θαλασσινό νερό αντίστοιχα (σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.2 Απλή εξάτμιση.

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η διαδικασία αφαλάτωσης με απλή εξάτμιση. Το θαλασσινό νερό θερμαίνεται στον εναλλάκτη θερμότητας από υδρατμούς στη θερμοκρασία βρασμού ή υπέρθερμους οι οποίοι υγροποιούνται και επιστρέφουν στο βραστήρα. Το αλατούχο νερό φτάνει στο σημείο βρασμού του το οποίο είναι υψηλότερο από το σημείο βρασμού του καθαρού νερού, φαινόμενο που περιγράφεται από το νόμο

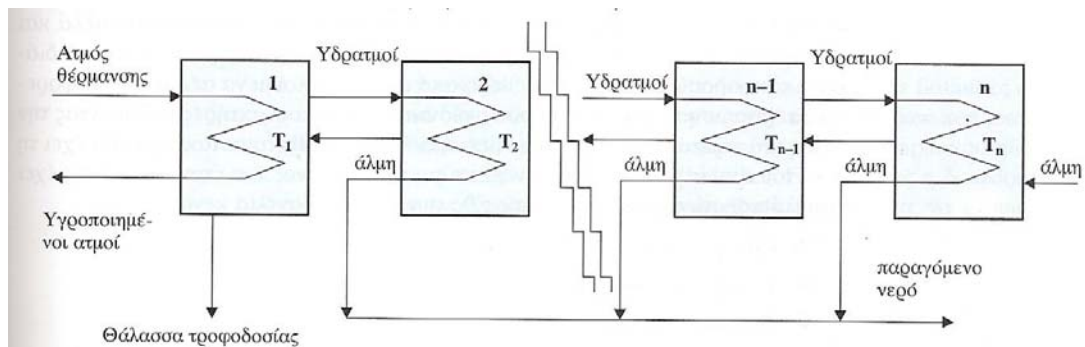
του Raoult. Τότε, οι ατμοί του νερού αρχίζουν να ανέρχονται στην αποστακτική στήλη. Η θερμοκρασία των υπέρθερμων υδρατμών πρέπει οπωσδήποτε να είναι μεγαλύτερη από το σημείο βρασμού του αλατούχου νερού. Καθώς το νερό εξατμίζεται και ανέρχεται στην αποστακτική στήλη η συγκέντρωση σε αλάτι του αλατούχου νερού που απομένει αυξάνεται και τελικά απορρίπτεται από την έξοδο ως άλμη. Σε κάποιες περιπτώσεις η άλμη ανακυκλώνεται ώστε να παραχθεί περισσότερο καθαρό νερό από αυτήν. Το παραγόμενο νερό που είναι σε μορφή ατμού υγροποιείται μέσω ενός συμπυκνωτή και αφού περάσει από την κατάλληλη επεξεργασία διατίθεται στην κατανάλωση.

Η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας στους αποστακτήρες μιας βαθμίδας οδήγησε στην κατασκευή πολυβάθμιων αποστακτήρων (εικόνα 3.1), δηλαδή πολλών αποστακτήρων συνδεδεμένων σε σειρά, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας του συστήματος. Επιπλέον, με τη χρήση πολυβάθμιων αποστακτήρων δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον άλμη και νερό ψύξης υψηλού θερμικού περιεχομένου που αποτελεί θερμική μόλυνση για το περιβάλλον. Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των πολυβάθμιων αποστακτήρων είναι το γεγονός ότι η μείωση της πίεσης λειτουργίας κάθε σταδίου έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του σημείου βρασμού του διαλύματος. Έτσι, οι ατμοί που παράγονται στον πρώτο αποστακτήρα καθώς περνούν από τον δεύτερο αποστακτήρα, ψύχονται και η θερμότητα που αποδίδουν χρησιμοποιείται για το βράσιμο του θαλασσινού νερού στον δεύτερο αποστακτήρα. Με άλλα λόγια, κάθε αποστακτήρας από τον δεύτερο και έπειτα χρησιμοποιείται ως συμπυκνωτής για τον ατμό που παράγεται από τον προηγούμενο στη σειρά αποστακτήρα. Η παραγόμενη άλμη από την πρώτη βαθμίδα, που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, αποτελεί το διάλυμα τροφοδοσίας στην δεύτερη βαθμίδα κ.τ.λ.

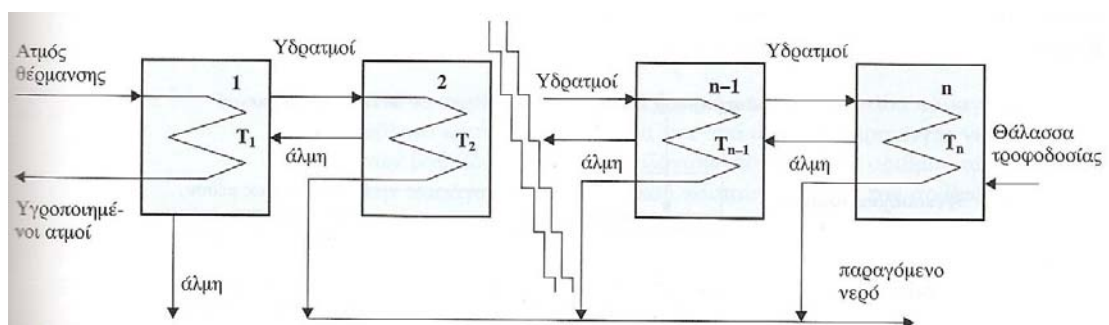
Στο σχήμα 3.3 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας μιας εγκατάστασης πολυβάθμιας εξάτμισης όπου το διάλυμα τροφοδοσίας περνάει διαδοχικά από τις βαθμίδες απόσταξης, από τη βαθμίδα υψηλής στη βαθμίδα χαμηλής θερμοκρασίας. Η πολυβάθμια εξάτμιση μπορεί να επιτευχθεί επίσης με τους παραγόμενους ατμούς και το διάλυμα τροφοδοσίας να ρέουν σε αντίθετες κατευθύνσεις (σχήμα 3.4). Ένας ακόμη εναλλακτικός τρόπος λειτουργίας είναι η παράλληλη τροφοδοσία όλων των βαθμίδων με το διάλυμα τροφοδοσίας (σχήμα 3.5). Η επιλογή του τρόπου λειτουργίας μιας εγκατάστασης πολυβάθμιας εξάτμισης εξαρτάται από τη μεταβολή της διαλυτότητας των αλάτων σε σχέση με τη θερμοκρασία της άλμης και της μέγιστης συγκέντρωσής της.



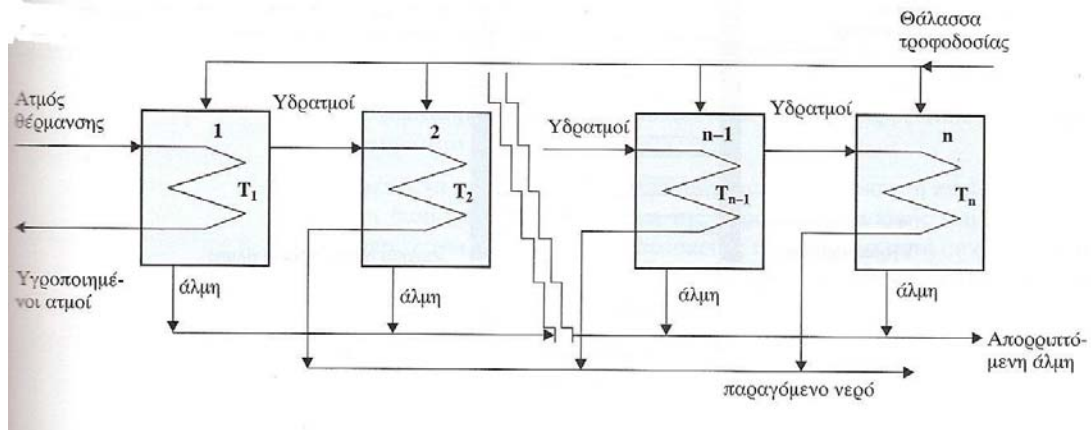
Εικόνα 3.1 Εγκατάσταση πολυβάθμιας εξάτμισης στο Ομάν.



Σχήμα 3.3 Πολυβάθμια εξάτμιση με ατμούς και άλμη στην ίδια κατεύθυνση.

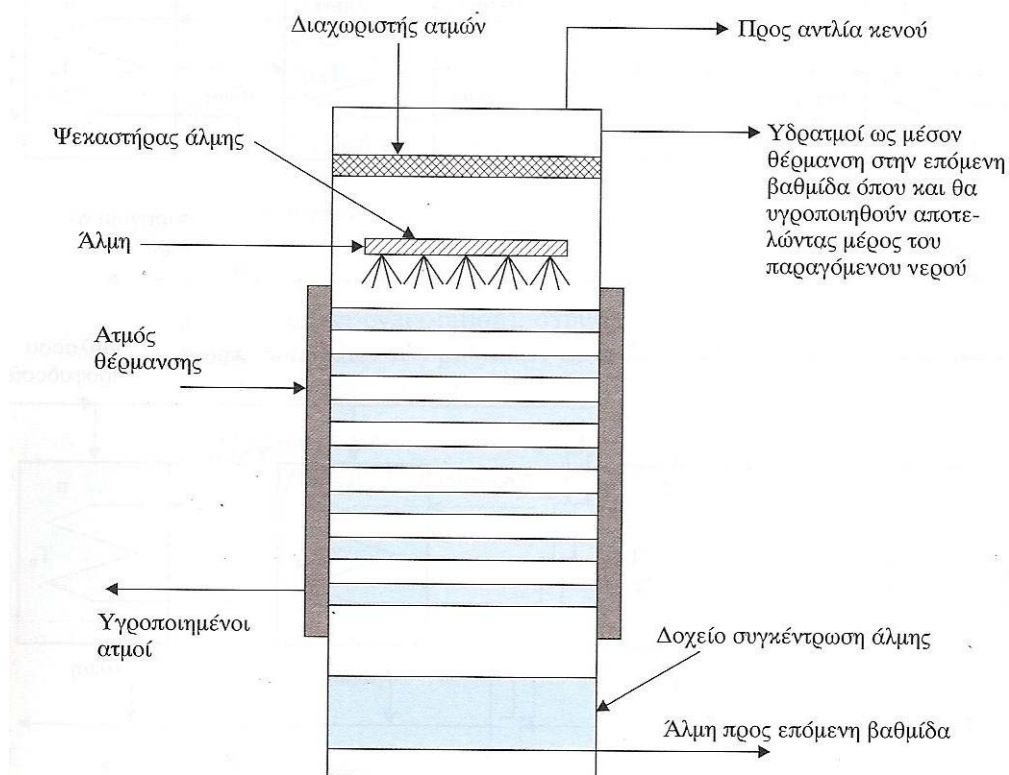


Σχήμα 3.4 Πολυβάθμια εξάτμιση με ατμούς και άλμη σε αντίθετη κατεύθυνση.



Σχήμα 3.5 Πολυβάθμια εξάτμιση παράλληλης τροφοδοσίας.

Είναι απαραίτητο όλοι οι αποστακτήρες να περιλαμβάνουν αντλία κενού η οποία χρησιμοποιείται για την πτώση της πίεσής τους κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση. Ακόμη απαιτούνται αντλίες για την διακίνηση του παραγόμενου νερού και της άλμης. Επίσης σε κάθε βαθμίδα περιέχονται: εναλλάκτης θερμότητας, διαχωριστής ατμών, ακροφύσια ψεκασμού άλμης και δοχείο συγκέντρωσης άλμης. Η δομή ενός αποστακτήρα φαίνεται στο σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 Δομή μιας βαθμίδας της πολυβάθμιας εξάτμισης.

3.3 ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΕΚΤΟΝΩΣΗ

Η μέθοδος αφαλάτωσης με πολυβάθμια εκτόνωση ή αλλιώς πολυβάθμια αστραπιαία εξαέρωση εφαρμόζεται σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής αφαλατωμένου νερού και αποτελεί μία καινοτόμο θεώρηση της απόσταξης. Τέτοιες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη Μέση Ανατολή: Σαουδική Αραβία, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Κουβέιτ κ.α. καλύπτοντας το 40% της παγκόσμιας παραγωγής πόσιμου νερού με αφαλάτωση.

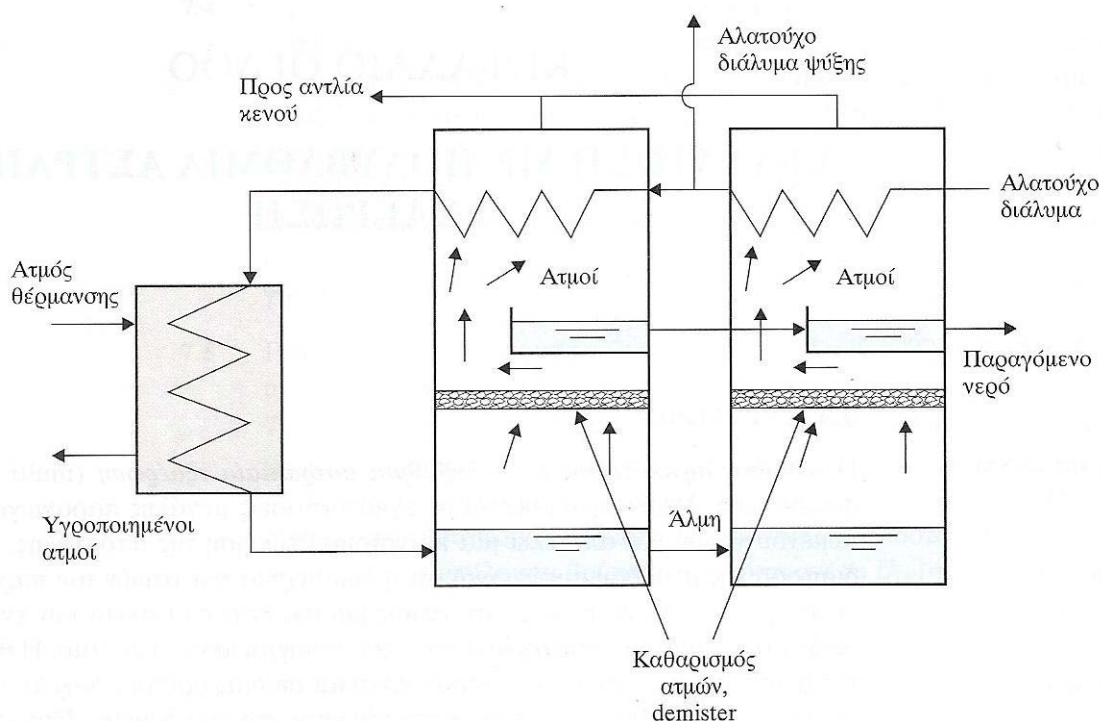


Εικόνα 3.2 Εγκατάσταση πολυβάθμιας εκτόνωσης στη Μέση Ανατολή.

Η βασική διαφορά της μεθόδου αυτής είναι ότι η δημιουργία των ατμών του παραγόμενου νερού γίνεται σε όλη τη μάζα της άλμης και όχι στην επιφάνεια των εναλλακτών όπως στην απόσταξη που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η θέρμανση της άλμης και η εξάτμιση του νερού γίνονται σε διαφορετικά δοχεία, σε αντίθεση με την πολυβάθμια απόσταξη όπου γίνονται στο ίδιο δοχείο. Έτσι, στην πολυβάθμια εκτόνωση το αλμυρό νερό θερμαίνεται με έναν εναλλάκτη θερμότητας κάτω από πίεση έτσι ώστε να αποφεύγεται ο βρασμός του και στη συνέχεια διοχετεύεται σε ένα δοχείο όπου επικρατεί χαμηλή πίεση και εκεί λαμβάνει χώρα η εξαέρωση του νερού.

Στο σχήμα 3.7 δίνεται παραστατικά η αρχή λειτουργίας της μεθόδου. Το νερό τροφοδοσίας που μπορεί να είναι θαλασσίνο νερό, άλμη ή υφάλμυρο νερό, θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιεί θερμούς ατμούς για μέσο θέρμανσης. Για λόγους οικονομίας ενέργειας το νερό τροφοδοσίας έχει προθερμανθεί από τους παραγόμενους ατμούς. Η πίεση παραμένει λίγο μεγαλύτερη από την τάση ατμών για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Στη συνέχεια το θερμό πλέον διάλυμα εισέρχεται στον

πρώτο θάλαμο όπου η πίεση είναι μικρότερη από την τάση ατμών. Έτσι, το διάλυμα εξαερώνεται αστραπιαία από όλη τη μάζα του μέχρις ότου η πίεση γίνει ίση με την τάση ατμών του διαλύματος. Για το βρασμό απαιτούνται σημαντικά ποσά θερμότητας (λανθάνουσα θερμότητα βρασμού), τα οποία προσφέρονται από το θερμό διάλυμα τροφοδοσίας το οποίο και ψύχεται. Αποτέλεσμα της ψύξης του διαλύματος είναι η μείωση τελικά της τάσης κορεσμένων ατμών του έτσι ώστε τελικά να έχουμε παύση του βρασμού. Οι παραγόμενοι ατμοί υγροποιούνται στον συμπυκνωτή, ο οποίος χρησιμοποιεί ως μέσο ψύξης το εισερχόμενο διάλυμα τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας στην κατανάλωση ενέργειας. Η παραγόμενη άλμη διοχετεύεται στο επόμενο στάδιο όπου και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

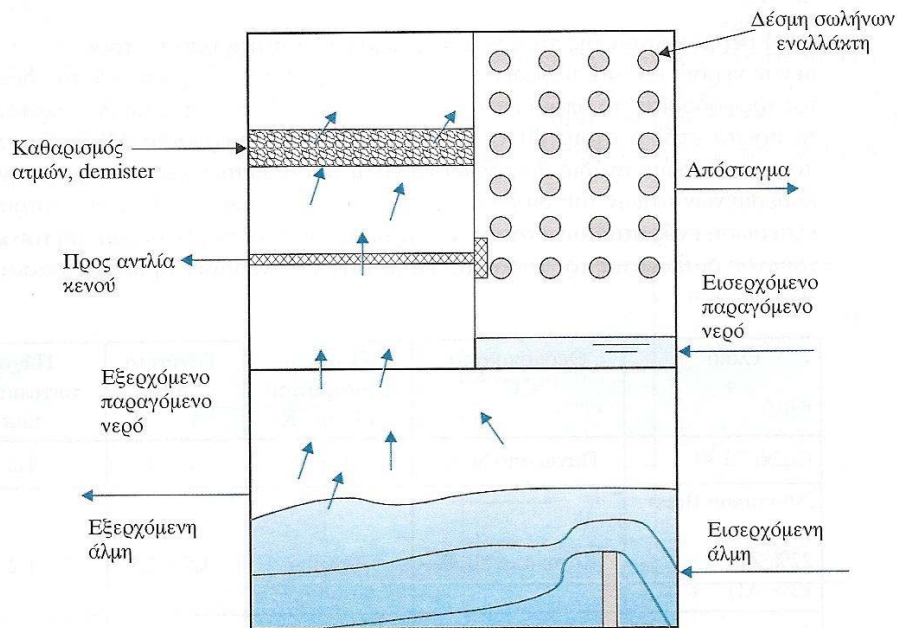


Σχήμα 3.7 Αρχή λειτουργίας της πολυβάθμιας εκτόνωσης.

Στο σχήμα 3.8 δίνεται λεπτομερώς η δομή μιας βαθμίδας της πολυβάθμιας εκτόνωσης. Κάθε βαθμίδα περιλαμβάνει:

- Το δοχείο της άλμης με διαστάσεις ίδιες με τις διαστάσεις της βαθμίδας και ύψος 20-50 cm.
- Το σύστημα μεταφοράς της άλμης από βαθμίδα σε βαθμίδα προωθώντας ταυτόχρονα την ανάμειξη του διαλύματος.
- Το διαχωριστήρα ατμών που αποτελείται από συρμάτινο πλέγμα σε στρώσεις. Στόχος είναι ο διαχωρισμός των σταγονιδίων άλμης που παρασύρονται από τους ατμούς.

- Τη δέσμη σωλήνων του εναλλάκτη, εντός των οποίων ρέει το διάλυμα τροφοδοσίας ενώ ταυτόχρονα υγροποιούνται οι παραγόμενοι ατμοί.
- Το δοχείο που συλλέγεται το παραγόμενο νερό.
- Το σύστημα εξαερισμού και δημιουργίας κενού, για την αποβολή μη συμπυκνούμενων αερίων, όπως O_2 , N_2 κ.τ.λ.
- Όργανα ελέγχου και μετρήσεων, όπως θερμοζεύγη, δείκτες στάθμης, αγωγιμόμετρα κ.τ.λ.



Σχήμα 3.8 Δομή μιας βαθμίδας της πολυβάθμιας εκτόνωσης.

Η καλή και αποδοτική λειτουργία της πολυβάθμιας εκτόνωσης περιλαμβάνει και άλλες παρεμβάσεις όπως:

- Προ-κατεργασία του διαλύματος τροφοδοσίας έτσι ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο η πιθανότητα δημιουργίας επικαθίσεων αλάτων ή επιστρώματος λάσπης.
- Αποφυγή συσσώρευσης αερίων στους χώρους αστραπιαίας απόσταξης με τη χρήση αντλιών κενού. Η συσσώρευση αερίων θα αυξήσει την πίεση και συνεπώς θα μειώσει το βρασμό.
- Χρησιμοποίηση πολλών βαθμίδων. Με τον τρόπο αυξάνεται η απόδοση της εγκατάστασης ενώ χρησιμοποιείται μικρότερη επιφάνεια στους εναλλάκτες θερμότητας.
- Χρησιμοποίηση της παραγόμενης άλμης και του παραγόμενου νερού για προθέρμανση του διαλύματος τροφοδοσίας.
- Χρησιμοποίηση ατμού χαμηλής πίεσης, 1.5 bar, ο οποίος είναι διαθέσιμος σε χαμηλή τιμή ή ως παραπροϊόν άλλων βιομηχανικών

εγκαταστάσεων. Η πολυβάθμια εκτόνωση δεν χρειάζεται στο πρώτο στάδιο ιδιαίτερα υψηλή θερμοκρασία. Θερμοκρασίες λίγο υψηλότερες των 100°C θεωρούνται ικανοποιητικές.

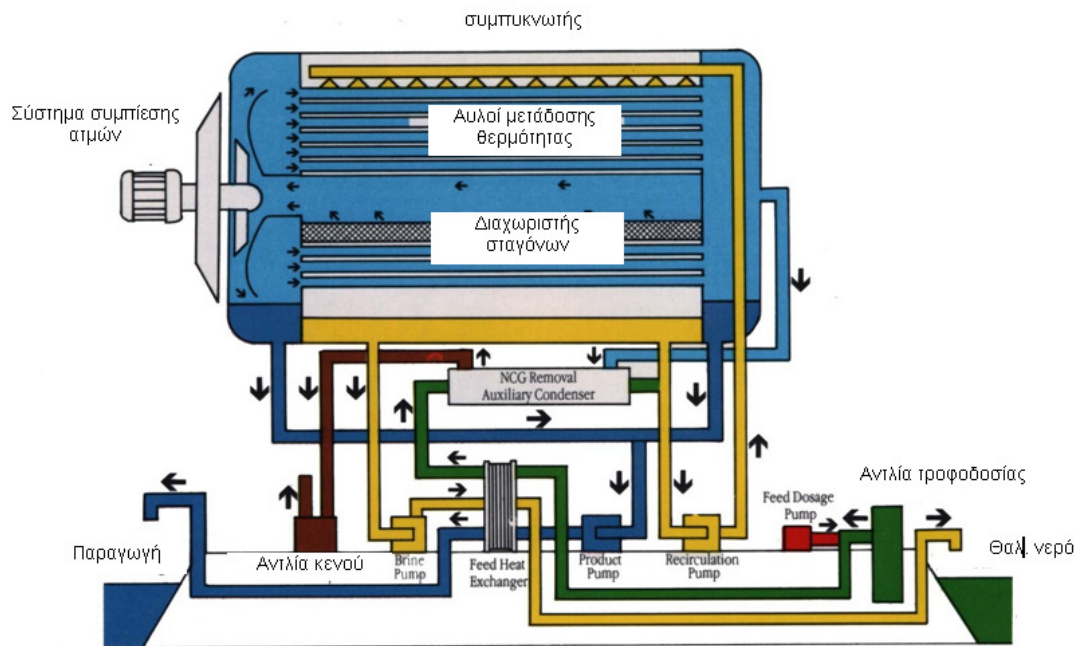
- Επαναχρησιμοποίηση της άλμης σε ανάμειξη με θαλασσινό νερό. Η ενέργεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους προκατεργασίας και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας διότι το θερμικό περιεχόμενο της άλμης δεν απορρίπτεται.

Από την εμφάνιση της μεθόδου της πολυβάθμιας εκτόνωσης στα τέλη της δεκαετίας του 1950 έχουν επέλθει σημαντικές βελτιώσεις στο σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία της με αποτέλεσμα να αποτελεί την πλέον αξιόπιστη θερμική μέθοδο αφαλάτωσης. Η μέθοδος της πολυβάθμιας εκτόνωσης επέλυσε σοβαρά προβλήματα που παρουσιάζονταν στην απόσταξη, όπως οι επικαθίσεις αλάτων, η μόλυνση των επιφανειών και φαινόμενα διάβρωσης. Ο λόγος που δεν συμβαίνει σημαντική επικαθίση αλάτων είναι ότι οι ατμοί εξέρχονται από το θερμό διάλυμα σε δοχείο εξάτμισης και τα τυχόν σχηματιζόμενα άλατα παραμένουν στο διάλυμα. Επίσης, η πολυβάθμια εκτόνωση μείωσε σημαντικά την απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή νερού με θερμική μέθοδο. Αρκεί να αναφερθεί ότι ενώ η ενέργεια που απαιτείται στις κλασσικές μεθόδους απόσταξης είναι 25-70 kWh/m³, στην πολυβάθμια εκτόνωση είναι 4-10 kWh/m³. Σήμερα το μεγαλύτερο ποσό του αφαλατωμένου νερού που παράγεται παγκοσμίως χρησιμοποιεί την πολυβάθμια εκτόνωση.

3.4 ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ

Η μέθοδος της συμπίεσης ατμού είναι μέθοδος εξάτμισης που αξιοποιεί την εξάρτηση του σημείου βρασμού του νερού από την ατμοσφαιρική πίεση. Η διαδικασία περιλαμβάνει την συμπίεση του ατμού και την αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας της εξάτμισης μέσω του συμπιεστή-εναλλάκτη θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την συμπίεση των ατμών σε υψηλότερη πίεση, και την επαναθέρμανση των ατμών σε κατάλληλη πίεση και θερμοκρασία ώστε η ενέργεια που προστίθεται στο σύστημα να αντισταθμίζει τις απώλειες πίεσης και να κρατά το διάλυμα στο σημείο βρασμού. Θερμότητα από εξωτερική πηγή παρέχεται στο σύστημα, μόνο κατά την έναρξη της λειτουργίας της εγκατάστασης και για το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να φτάσει το διάλυμα τροφοδοσίας στο σημείο βρασμού. Με τη διακοπή παροχής ενέργειας, το σύστημα διατηρείται σε λειτουργία μόνο από την προσφερόμενη ενέργεια του συμπιεστή και από πιθανή συμπλήρωση των απωλειών θερμότητας. Η υπόλοιπη εξωτερική ενέργεια που απαιτείται

για την εγκατάσταση είναι αυτή για την κίνηση των αντλιών κυκλοφορίας των διαλυμάτων.



Σχήμα 3.9 Σχηματική απεικόνιση της αφαλάτωσης με συμπίεση ατμών.



Εικόνα 3.3 Μονάδα αφαλάτωσης με συμπίεση ατμού στη Σαρδηνία.

Η συμπίεση του ατμού μπορεί να γίνεται μηχανικά οπότε η μέθοδος ονομάζεται Μηχανική Συμπίεση Ατμών (Mechanical Vapor Compression, MVC) ή θερμικά οπότε η μέθοδος ονομάζεται Θερμική Συμπίεση Ατμών (Thermal Vapor Compression, TVC).

Η μέθοδος συμπίεσης του ατμού χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρής με μέτριας κλίμακας μονάδες αφαλάτωσης. Οι μονάδες MVC έχουν δυνατότητα παραγωγής της τάξης των 3000 m³/ημέρα ενώ οι

μονάδες που χρησιμοποιούν την TVC έχουν δυνατότητα παραγωγής της τάξης των 20000 m³/ημέρα. Τα συστήματα MVC έχουν γενικά ένα μόνο στάδιο ενώ τα συστήματα TVC έχουν συνήθως πολλά στάδια. Αυτή η διαφορά προκύπτει από το γεγονός ότι τα συστήματα MVC έχουν την ίδια ειδική κατανάλωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα παραγόμενου νερού) ανεξάρτητα από τον αριθμό των σταδίων ενώ η απόδοση των συστημάτων TVC αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταδίων. Η μέγιστη καταναλισκόμενη ενέργεια μιας μονάδας αφαλάτωσης με συμπίεση ατμού είναι περίπου 8kWh/m³ παραγόμενου νερού.

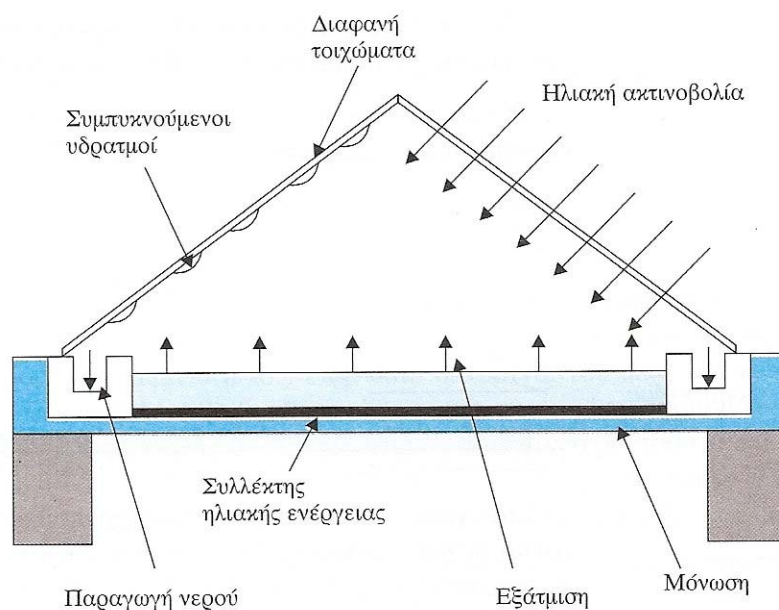


Εικόνα 3.4 Μηχανικός συμπιεστής ατμού της ENCON.

3.5 ΗΛΙΑΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού είτε άμεσα, στους ηλιακούς αποστακτήρες, είτε έμμεσα. Στη δεύτερη περίπτωση η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται πρώτα σε άλλη μορφή ενέργειας η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με κάποια από τις μεθόδους που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αφαλάτωση κινούμενη με ηλιακή ενέργεια και θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 6.

Η ηλιακή απόσταξη νερού αποτελεί τον αρχαιότερο και απλούστερο τρόπο εφαρμογής και εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Είναι η πιο απλή και πιο φυσική, διότι κάνει χρήση των βασικών αρχών και διεργασιών που συμβαίνουν καθημερινά στο περιβάλλον. Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι γενικά απλοί στην κατασκευή τους. Αποτελούνται από ένα δοχείο εξάτμισης που η επιφάνειά απορροφά ισχυρά την ηλιακή ακτινοβολία και ένα διαφανές κάλυμμα που επιτρέπει την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

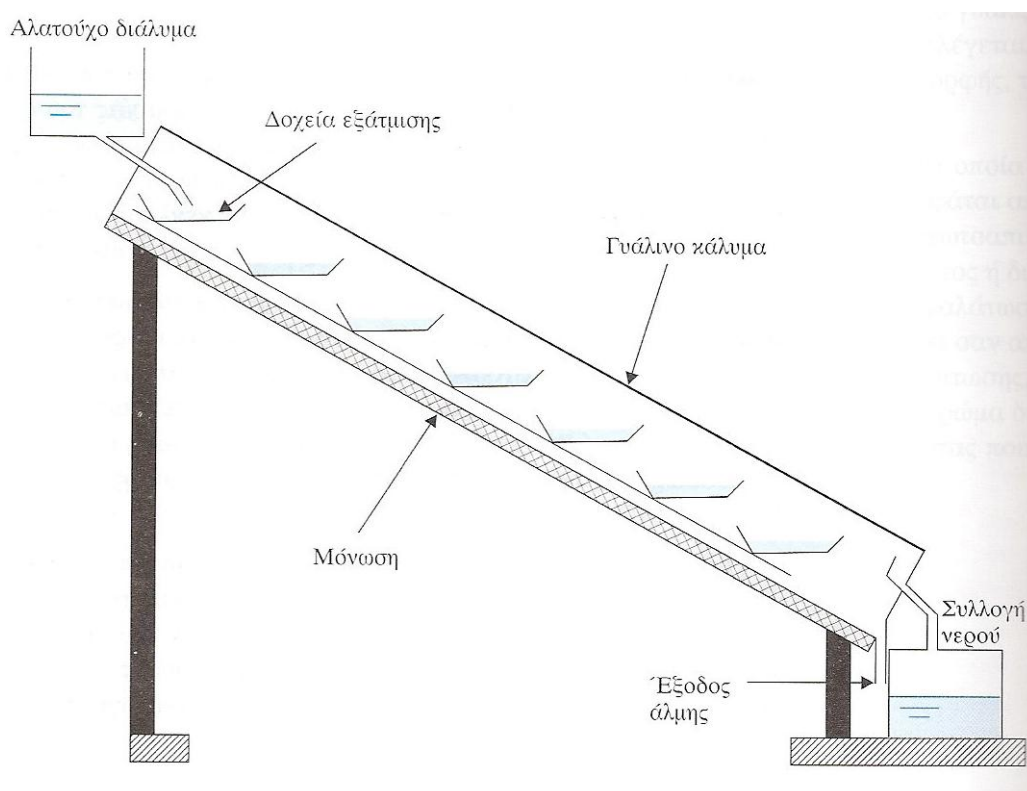


Σχήμα 3.10 Ηλιακός αποστακτήρας.

Στο σχήμα 3.10 εικονίζεται ένας ηλιακός αποστακτήρας τύπου θερμοκηπίου. Η βάση του δοχείου εξάτμισης είναι πάντα καλυμμένη από ένα φωτοαπορροφητικό υλικό (μαύρη χρωστική ουσία ή διάφορα πολυμερή υλικά). Το θαλασσινό νερό διοχετεύεται στο δοχείο εξάτμισης όπου το νερό εξατμίζεται και οι υδρατμοί ανέρχονται προς τα επάνω. Στη διάφανη επιφάνεια, που συνήθως είναι κατασκευασμένη από γυαλί, οι

ατμοί συμπυκνώνονται σχηματίζοντας ένα λεπτό στρώμα που ρέει προς τη βάση όπου και συλλέγεται. Η διαφανής επιφάνεια έχει κατεργασθεί εσωτερικά ώστε να διαβρέχεται από το νερό. Διαφορετικά, οι συμπυκνούμενοι ατμοί θα συσσωρεύονταν σε ορισμένα σημεία της εσωτερικής επιφάνειας σχηματίζοντας σταγονίδια τα οποία θα επέστρεφαν στο αλατούχο διάλυμα.

Στο σχήμα 3.11 εικονίζεται ένας άλλος σχεδιασμός που περιλαμβάνει πολλά οριζόντια δοχεία εξάτμισης ενώ ο αποστακτήρας είναι κεκλιμένος. Το θαλασσινό νερό διοχετεύεται από την κορυφή, υπερχειλίζει στα επόμενα δοχεία και τελικά αποβάλλεται ως άλμη. Το αφυδατωμένο νερό συλλέγεται από το επικλινές διαφανές κάλυμμα.



Σχήμα 3.11 Πολλαπλός κεκλιμένος ηλιακός αποστακτήρας.

Η παραγωγή νερού των ηλιακών αποστακτήρων μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με τη χρήση καθρεπτών, φακών κ.τ.λ. για την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και επιπλέον τα λειτουργικά έξοδα των αποστακτήρων είναι πολύ μικρά και αφορούν κυρίως έξοδα συντήρησης και άλλα απρόβλεπτα από φθορές ή βλάβες, κυρίως των αντλιών. Παρόλα αυτά η παραγόμενη ποσότητα νερού ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας των δοχείων εξάτμισης είναι πολύ μικρή καθιστώντας την μέθοδο οικονομικά ασύμφορη. Δηλαδή, αν και το κόστος λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων είναι σχεδόν μηδενικό, το

κόστος επένδυσης ανά παραγόμενο κυβικό μέτρο νερού είναι ιδιαίτερα υψηλό.

Γενικά, η χρήση της ηλιακής εξάτμισης για την παραγωγή αφαιρωμένου νερού μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε μονάδες μικρής δυναμικότητας και κυρίως στις περιπτώσεις που δεν είναι διαθέσιμη άλλη μορφή ενέργειας.



Εικόνα 3.5 Εγκατάσταση ηλιακού αποστακτήρα.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι μέθοδοι μεμβρανών, αντίθετα με τις θερμικές, δεν περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης του νερού αλλά χρησιμοποιούν μεμβράνες για την κατακράτηση των αλάτων. Οι κυριότερες μέθοδοι μεμβρανών είναι η Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED) και η Αντίστροφη Ωσμωση (Reverse Osmosis, RO).

4.2 ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μία μέθοδος αφαλάτωσης στην οποία τα άλατα υπό μορφή ιόντων απομακρύνονται από την κύρια μάζα του νερού μέσω μεμβρανών. Η κινητήρια δύναμη που απομακρύνει τα ιόντα είναι ένα ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από ένα συνεχές ρεύμα. Έτσι, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνάρτηση της αρχικής συγκέντρωσης των ιόντων στο νερό. Γι' αυτό το λόγο η ηλεκτροδιάλυση εφαρμόζεται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού με σχετικά χαμηλή συγκέντρωση αλάτων και όχι θαλασσινού νερού.



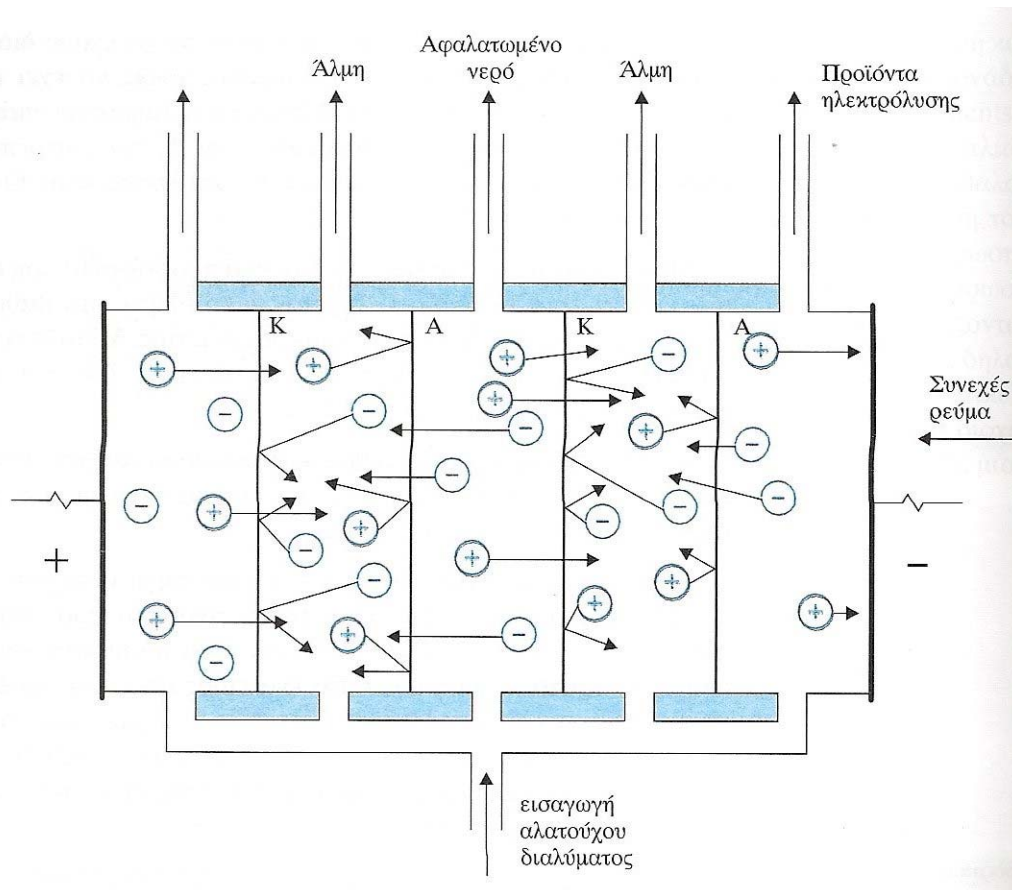
Εικόνα 4.1 Μονάδα ηλεκτροδιάλυσης.

Αν και η αρχή της μεθόδου είναι γνωστή εδώ και ογδόντα χρόνια, η εφαρμογή της σε μεγάλη κλίμακα πραγματοποιήθηκε τα τελευταία είκοσι πέντε χρόνια, ιδιαίτερα με την ανάπτυξη της αντίστροφης

ηλεκτροδιάλυσης (Electrodialysis Reversal, EDR), όπου έχουμε συνεχή εναλλαγή της φοράς του ηλεκτρικού πεδίου. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροδιάλυση διακρίνονται σε κατιονικές, που επιτρέπουν την διόδο των κατιόντων και ανιονικές, που επιτρέπουν την διόδο των ανιόντων.

Η δομή και η λειτουργία μιας μονάδας ηλεκτροδιάλυσης φαίνεται στο σχήμα 4.1. Η μονάδα ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από μία σειρά στενών θαλάμων πάχους 1mm, διά μέσω των οποίων κινείται με τη βοήθεια αντλίας το αλατούχο διάλυμα που προορίζεται για αφαλάτωση. Οι θάλαμοι πρέπει να έχουν μικρό πάχος ώστε αφενός να παρουσιάζουν μικρή ηλεκτρική αντίσταση και αφετέρου να εμποδίζεται η υπερβολική αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης. Οι θάλαμοι αυτοί έχουν περιττό πλήθος και χωρίζονται μεταξύ τους από ανιονικές (Α) και κατιονικές (Κ) μεμβράνες τοποθετημένες εναλλάξ. Μεταξύ των μεμβρανών υπάρχει διαχωριστικό πλέγμα από κάποιο αδρανές πολυμερικό υλικό έτσι ώστε οι μεμβράνες να διατηρούνται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους. Τα εξωτερικά τμήματα φέρουν ηλεκτρόδια στα οποία διοχετεύεται συνεχές ρεύμα. Η τάξη μεγέθους της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζεται είναι 1 Volt ανά κελί. Το όλο σύστημα, δηλαδή οι μεμβράνες, το πλέγμα διαχωρισμού και τα ηλεκτρόδια αποτελούν τη δέσμη ηλεκτροδιάλυσης.

Όταν τα ηλεκτρόδια συνδεθούν με μία πηγή συνεχούς ρεύματος τα ιόντα αρχίζουν να κινούνται. Τα ανιόντα κινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) και τα κατιόντα προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος). Κατά την κίνησή τους όμως συναντούν τις μεμβράνες οι οποίες επιτρέπουν τη διέλευση μόνο σε ένα είδος από αυτά. Η διαδικασία διόδου και απόρριψης των αντίστοιχων ιόντων από τις μεμβράνες φαίνεται στο σχήμα 4.1. Αν εστιάσουμε την προσοχή μας στο κεντρικό κελί, τα κατιόντα κινούνται από τα δεξιά προς τα αριστερά και τα ανιόντα αντίθετα. Έτσι, και τα δύο είδη ιόντων εγκαταλείπουν το κελί, με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης σε άλατα του νερού και άρα την παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Η εναλλαγή του είδους των μεμβρανών δεν επιτρέπει την αντικατάσταση των ιόντων που εγκαταλείπουν ένα κελί από ομοειδή τους ιόντα διπλανών κελιών. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή εναλλάξ στα κελιά αφαλατωμένου νερού και άλμης. Στα δύο ακραία κελιά έχουμε προϊόντα ηλεκτρόλυσης τα οποία απορρίπτονται όπως και η άλμη.



Σχήμα 4.1 Δέσμη ηλεκτροδιάλυσης σε λειτουργία.

Η καρδιά του συστήματος ηλεκτροδιάλυσης είναι οι μεμβράνες. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται είναι ιοντικές έτσι ώστε να έχουν την δυνατότητα επιλεκτικής απόρριψης ιόντων. Είναι κατασκευασμένες από πολυμερή υλικά και είναι αδιάλυτες στο νερό.

Για την αποφυγή επικαθίσεων αλάτων στις μεμβράνες η πολικότητα αντιστρέφεται κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα, οπότε έχουμε την αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση. Η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση λειτουργεί με συνεχές ρεύμα του οποίου η πολικότητα αλλάζει λίγες φορές το λεπτό. Σήμερα, όλες οι εγκαταστάσεις ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιούν αυτήν την εξελιγμένη τεχνική.

Η αφαλάτωση με ηλεκτροδιάλυση θα μπορούσε να ολοκληρωθεί με ένα πέρασμα του υφάλμυρου νερού. Αυτή η επιλογή θα απαιτούσε μονάδες μεγάλου όγκου και υψηλές τιμές έντασης ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, προτιμάται η χρήση περισσότερων περασμάτων. Δηλαδή, τα προϊόντα από την πρώτη δέσμη διοχετεύονται σε δεύτερη, τα προϊόντα της δεύτερης σε τρίτη κ.τ.λ. Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μερικών κυβικών μέτρων νερού την ημέρα μέχρι χιλιάδες κυβικά μέτρα νερού την ημέρα, χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη υφάλμυρο νερό.

Σε μία μονάδα ηλεκτροδιάλυσης καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της δέσμης των κελιών καθώς και ενέργεια για τη λειτουργία των αντλιών διακίνησης των ρευστών. Συνήθως, η δεύτερη ενέργεια είναι πολύ μικρότερη της πρώτης. Η καταναλισκόμενη ενέργεια εξαρτάται από τη συγκέντρωση του διαλύματος και από τον επιθυμητό βαθμό απόρριψης των αλάτων. Μία πρώτη εκτίμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά κυβικό μέτρο νερού δίνεται από τη σχέση:

$$E(\text{kWh/m}^3)=0.7+0.7 \text{ ανά } 1000 \text{ ppm αλάτων που απορρίπτονται}$$

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η δαπανώμενη ενέργεια εξαρτάται και από τη δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας ηλεκτροδιάλυσης ανά μονάδα επιφάνειας μεμβρανών. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο γρήγορα παράγεται νερό από τη μονάδα ηλεκτροδιάλυσης τόσο μεγαλύτερο ποσό ενέργειας δαπανάται ανά χιλιόγραμμο παραγόμενου νερού.

4.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μία διαδικασία αφαλάτωσης με την οποία ο διαλύτης ενός διαλύματος, που συνήθως είναι το νερό, μεταφέρεται μέσω κατάλληλης μεμβράνης και διαχωρίζεται από τα άλλα συστατικά του διαλύματος με την άσκηση εξωτερικής πίεσης. Οι ημιπερατές μεμβράνες που επιτρέπουν την διόδου του νερού αλλά όχι των αλάτων αποτελούν την καρδιά του συστήματος αφαλάτωσης με την μέθοδο αυτή.

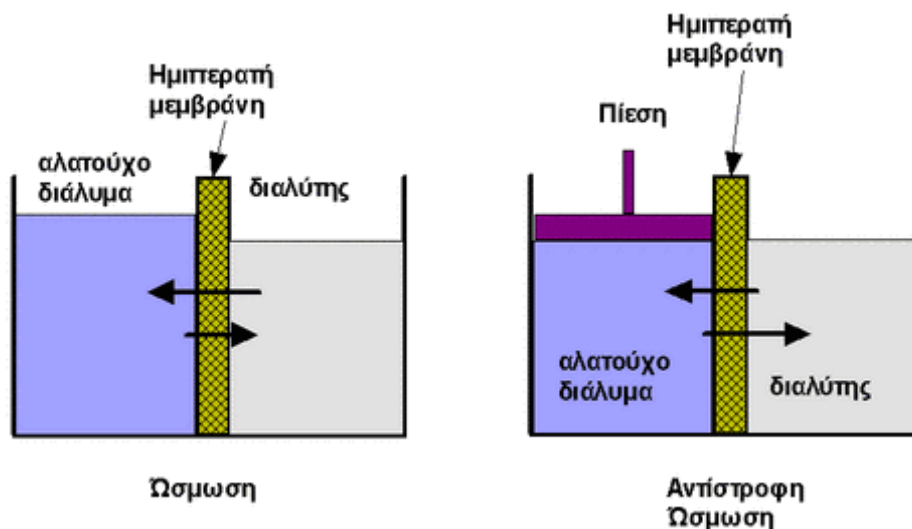
Η μέθοδος αυτή είναι το αντίστροφο φαινόμενο από το φαινόμενο της ώσμωσης, το οποίο απαντάται πολύ συχνά στη φύση και στις λειτουργίες των κυττάρων, όπως π.χ. του δέρματος, των νεφρών κ.τ.λ. Οι βασικές αρχές της ώσμωσης και της αντίστροφης ώσμωσης φαίνονται παραστατικά στο σχήμα 4.2. Στο αριστερό δοχείο του σχήματος 4.2 η ταχύτητα διόδου του νερού από τον καθαρό διαλύτη προς το διάλυμα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διόδου από το διάλυμα προς το διαλύτη. Έτσι μακροσκοπικά μεταφέρεται νερό προς το αλατούχο διάλυμα με σκοπό την εξίσωση των συγκεντρώσεων και το φαινόμενο ονομάζεται ώσμωση. Η εξωτερική πίεση που θα έπρεπε να ασκήσουμε ώστε να σταματήσει το φαινόμενο της ώσμωσης ονομάζεται ώσμωση και δίνεται από το γνωστό νόμο του van' t Hoff:

$$\Pi=CRT$$

όπου Π η οσμωτική πίεση, C η συγκέντρωση του διαλύματος, R η σταθερά των ιδανικών αερίων και T η απόλυτη θερμοκρασία.

Εάν τώρα, όπως στο δεξιό δοχείο του σχήματος 4.2, ασκήσουμε μία εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική πίεση, με τη βοήθεια ενός εμβόλου στην πλευρά του διαλύματος, τότε το νερό θα μεταφέρεται

από το διάλυμα προς το διαλύτη. Αυτή είναι η διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης.



Σχήμα 4.2 Ωσμωση και αντίστροφη ώσμωση.

Η διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης φαίνεται αναλυτικά στο σχήμα 4.3. Το προς καθαρισμό νερό εισέρχεται, με τη βοήθεια μιας αντλίας υψηλής πίεσης, από την είσοδο (1) στη συσκευή και καταλαμβάνει το χώρο (3). Υπάρχουν δυο διέξοδοι: η (5) και η (6). Ο χώρος (3) βρίσκεται υπό πίεση και το νερό εξαναγκάζεται κατά ποσοστό 25% περίπου να διέλθει μέσα από τη μεμβράνη (2), οπότε και καθαρίζεται και εξέρχεται από την (6) ως προϊόν, είτε μόλις η πίεση ξεπεράσει το όριο της βαλβίδας (4) να βγει από την έξοδο (5), σε ποσοστό 75% περίπου, παρασύροντας μαζί του και τις ακαθαρσίες.

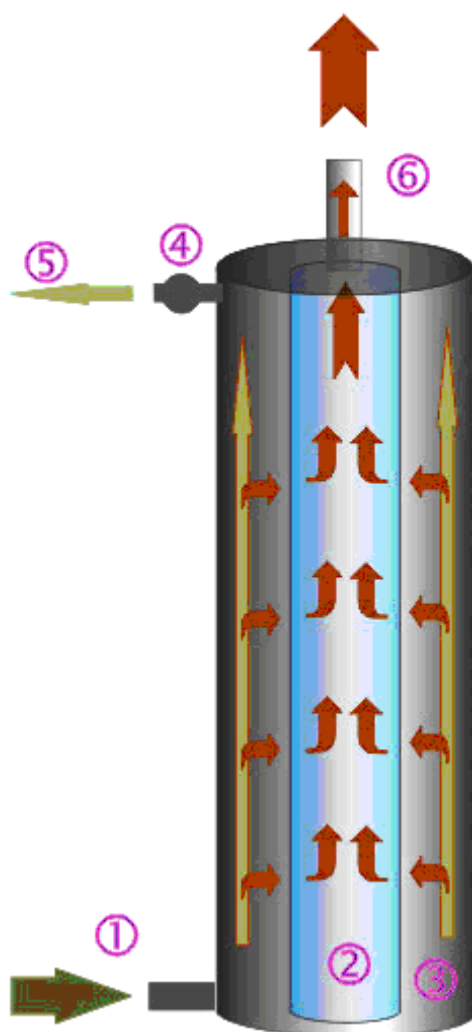
Η πίεση λειτουργίας μιας εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης καλείται να υπερνικήσει:

- την οσμωτική πίεση
- τις απώλειες τριβών
- την αντίσταση των μεμβρανών
- την πίεση εκροής του προϊόντος νερού

Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση λειτουργίας της εγκατάστασης από το άθροισμα των παραπάνω όρων τόσο μεγαλύτερη θα είναι η παροχή μέσω της μεμβράνης και άρα η διεργασία θα είναι περισσότερο αξιοποιήσιμη στην πράξη.

Η διαπερατότητα (permeability) ενός συστατικού του διαλύματος αλλά και του διαλύτη μέσω της μεμβράνης δείχνει την ικανότητα διόδου από αυτήν. Δίνεται συνήθως ως παροχή ανά μονάδα εφαρμοζόμενης πίεσης και ανά μονάδα εμβαδού της μεμβράνης και είναι χαρακτηριστικό

μέγεθος για κάθε μεμβράνη σε σταθερή θερμοκρασία. Συμβολίζεται με το k και μετράται σε μονάδες s/m.



Σχήμα 4.3 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας μιας συσκευής αντίστροφης ώσμωσης.

Για την σωστή και αποδοτική λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης απαιτείται η προεπεξεργασία του διαλύματος τροφοδοσίας καθώς και η μετεπεξεργασία του παραγόμενου νερού. Αναλυτικά τα στάδια που αποτελούν την συνολική διεργασία είναι τα παρακάτω:

Στάδιο προεπεξεργασίας

Το πρώτο αυτό στάδιο επεξεργασίας του θαλασσινού νερού είναι το πιο σημαντικό, διότι ουσιαστικά συμβάλλει στην προστασία των μεμβρανών. Δηλαδή πρέπει να καταστραφούν οι μικροοργανισμοί και να αποφευχθεί η εναπόθεση αλάτων στις μεμβράνες. Η προεπεξεργασία του θαλάσσιου νερού συνήθως περιλαμβάνει:

- Φίλτρο εισόδου (με τοποθέτηση σχάρας στην αναρρόφηση για να μην εισέλθουν ψάρια, φύκια και πλαστικά)
- Προχλωρίωση του θαλάσσιου νερού (με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου)
- Προσθήκη οξέος (συνήθως θειικό οξύ για τη ρύθμιση της οξύτητας και την αποφυγή απόθεσης αλάτων)
- Συσσωμάτωση των κολλοειδών/οργανικών ουσιών (με προσθήκη χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη)
- Φίλτρο άμμου (περιλαμβάνει άμμο, χαλίκια και ανθρακίτη για την κατακράτηση ακόμα μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων)
- Φίλτρα πολυπροπυλενίου (για κατακράτηση των στερεών ουσιών με μέγεθος μέχρι και 1μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες)
- Αποχλωρίωση (με θειούχο νάτριο ή φίλτρο ενεργού άνθρακα, γιατί οι μεμβράνες καταστρέφονται στην παρουσία ελεύθερου χλωρίου)
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία

Στάδιο αντίστροφης όσμωσης

Στο στάδιο του διαχωρισμού στις μεμβράνες, αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν την πίεση που απαιτείται ώστε το νερό να περάσει μέσα από τις μεμβράνες και να απορρίψει τα άλατά του. Αυτή η πίεση είναι μεταξύ 54 και 80 ατμόσφαιρες. Καθώς ένα μέρος του νερού περνάει μέσα από τις μεμβράνες, στο υπόλοιπο νερό αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων. Την ίδια στιγμή ένα μέρος του νερού που τροφοδοτείται στις μεμβράνες απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από αυτές. Χωρίς αυτή την ελεγχόμενη απόρριψη, η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό θα συνέχιζε να αυξάνει, με επακόλουθο την εναπόθεση των υπερκορεσμένων αλάτων και αύξηση της οσμωτικής πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών. Η ποσότητα του νερού αυτού είναι μεταξύ 20% και 70% της ροής τροφοδοσίας και εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό τροφοδοσίας.

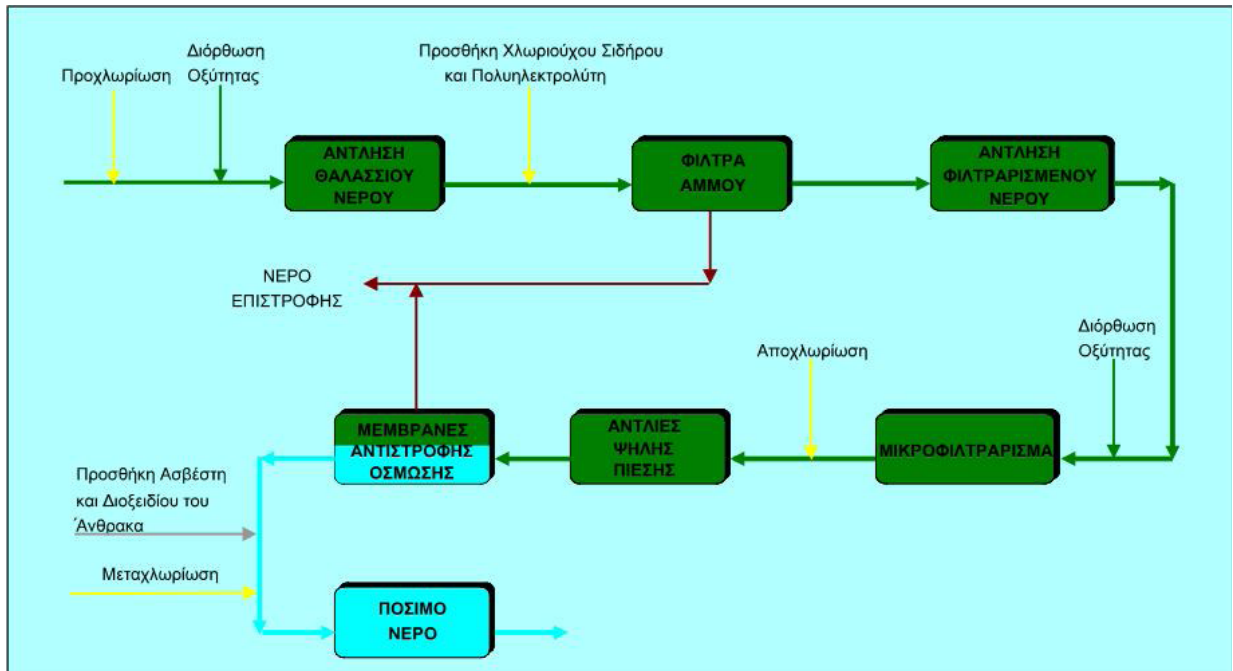
Τελικό στάδιο επεξεργασίας

Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας γίνεται σταθεροποίηση του παραγόμενου νερού και προετοιμασία του για τη διανομή του ως πόσιμου νερού. Το στάδιο αυτό μπορεί να αποτελείται από:

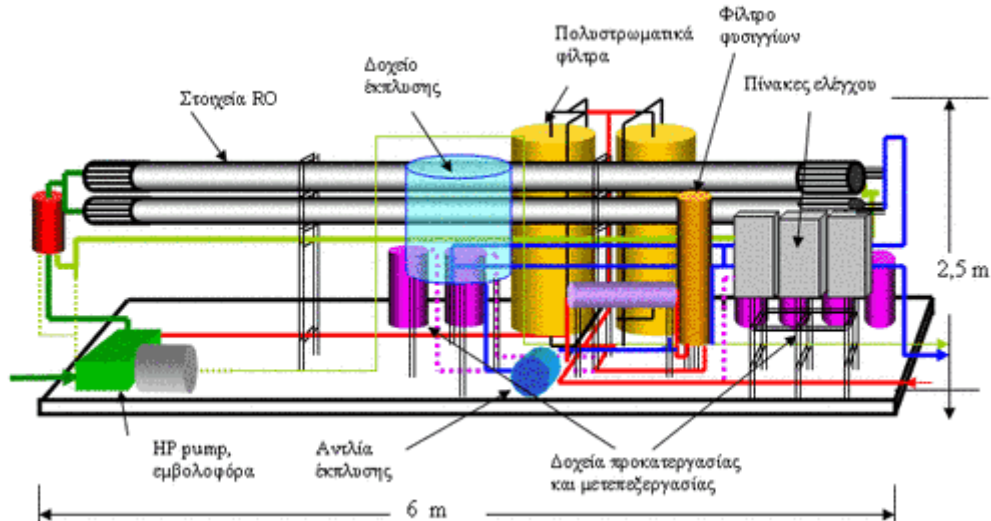
- Απομάκρυνση αερίων, όπως το υδρόθειο
- Ρύθμιση της οξύτητας (pH) και αύξηση της σκληρότητας (με προσθήκη ειδικά επεξεργασμένου ασβέστη και διοξειδίου του άνθρακα)
- Τελική χλωρίωση

Η συνολική διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης συμπεριλαμβανομένων των σταδίων προ και μετά-επεξεργασίας του

νερού φαίνεται σχηματικά στο διάγραμμα ροής του σχήματος 4.4 ενώ η δομή μιας τέτοιας μονάδας φαίνεται στο σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.4 Διάγραμμα ροής της αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση.



Σχήμα 4.5 Δομή μιας μικρής μονάδας αντίστροφης ώσμωσης.

Είναι φανερό ότι στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης η ενέργεια που απαιτείται καταναλώνεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στις αντλίες για τη συμπίεση του νερού. Επειδή η οσμωτική πίεση (που πρέπει να υπερνικηθεί) είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων, η αντίστροφη ώσμωση είναι η πρώτη επιλογή για υφάλμυρα νερά, με την απαιτούμενη πίεση λειτουργίας να είναι 15-25 bar, ενώ για θαλάσσιο

νερό είναι 54-80 bar, αφού η οσμωτική του πίεση είναι περίπου 25 bar. Η σημαντικότερη απώλεια ενέργειας είναι η εκτόνωση της άλμης, όταν βγαίνει με υψηλή πίεση απ' τη συσκευή και γι' αυτό, σε μεγάλες κυρίως μονάδες, υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής, π.χ. υδροστρόβιλοι, με αποτελεσματικότητα μέχρι και 95%.



Εικόνα 4.2 Μονάδες αντίστροφης όσμωσης στην εγκατάσταση αφαλάτωσης στην Δεκέλεια της Κύπρου.

Πίνακας 4.1 Τυπικές απορρίψεις στερεών ουσιών από τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης

Ουσία	Ποσοστιαία Απόρριψη (%)	Ουσία	Ποσοστιαία Απόρριψη (%)
Νάτριο	95-97	Χλώριο	95-97
Ασβέστιο	96-98	Βρώμιο	94-96
Μαγνήσιο	96-98	Κυάνιο	90-95
Κάλιο	95-97	Βάριο	95-98
Σίδηρος	98-99	Ράδιο	95-98
Μαγγάνιο	98-99	Σελήνιο	95-98
Αλουμίνιο	99+	Στρόντιο	95-98
Αμμωνία	88-95	Φθορίδιο	90-95
Χαλκός	98-99	Μόλυβδος	95-98
Νικέλιο	98-99	Θεικό άλας	95-98
Ψευδάργυρος	98-99	Χρωμικό άλας	90-95
Κάδμιο	96-98	Απορρυπαντικά	95-98
Άργυρος	94-96	Εντομοκτόνα	95-98

Η υπάρχουσα τεχνολογία των μεμβρανών σήμερα μας παρέχει τιμές απόρριψης άλατος μεγαλύτερες του 90% (πίνακας 4.1) τόσο για θαλασσινό όσο και για υφάλμυρο νερό. Το ποσοστό ανάκτησης στις μεμβράνες ξεκίνησε από χαμηλά ποσοστά, της τάξης του 10-20% για να φτάσει σήμερα σε τιμές άνω του 50%. Αυτό οφείλεται στην ωρίμανση της τεχνολογίας σχεδίασης και κατασκευής των μεμβρανών.



Εικόνα 4.3 Μονάδα Αντίστροφης Οσμωσης Θαλασσινού Νερού, 1.5 m³/ημέρα, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται κάποια στοιχεία που χαρακτηρίζουν την εξέλιξη της τεχνολογίας της αντίστροφης ώσμωσης τα τελευταία χρόνια.

Πίνακας 4.2 Εξέλιξη Τεχνολογίας Αντίστροφης Όσμωσης

Παράμετρος	1980	1990	2000
Ανάκτηση (%)	25	40-50	55-65
Πίεση λειτουργίας (bar)	70	83	97
Περιεκτικότητα TDS παραγόμενου νερού (ppm)	500	300	<200
Ειδική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ³)	12	6	3-5

Συγκεντρωτικά, η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων

Η αντίστροφη όσμωση μπορεί να απομακρύνει σταθερά και αποτελεσματικά τα διαλυμένα άλατα, τις διαλυμένες οργανικές ουσίες, τα μικροσκοπικά σωματίδια (ζωντανά και νεκρά μικρόβια και πολλά άλλα μικροσκοπικά σωματίδια) από το νερό. Συνεπώς, είναι ιδανική για ένα μεγάλο τομέα εφαρμογών από την παραγωγή πεντακάθολου νερού έως την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

Τεχνική διαχωρισμού για εξοικονόμηση ενέργειας

Η αντίστροφη όσμωση προφυλάσσει το νερό από την εξάτμιση, αποτελώντας μία ενεργειακά οικονομική τεχνική διαχωρισμού που απαιτεί λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

Εύχρηστη ως μέθοδος συγκέντρωσης και αποκατάστασης

Η αντίστροφη όσμωση δεν χρειάζεται θέρμανση, μπορεί να συγκεντρώσει και να μετατρέψει πολύτιμα υλικά της διαδικασίας σε διαλυτή μορφή χωρίς τον εκφυλισμό που θα μπορούσε να είχαν υποστεί τέτοια υλικά κάτω από άλλες συνθήκες.

Συμπαγής εξοπλισμός

Οι μονάδες μπορούν να κατανεμηθούν σε μία τρισδιάστατη διάθρωση, που να παρέχει εξαιρετική αποτελεσματικότητα χώρου, έτσι ώστε ο χώρος που χρειάζεται για την εγκατάσταση να ελαχιστοποιηθεί.

Απλός χειρισμός και έλεγχος

Η αντίστροφη όσμωση είναι απλή διαδικασία, χωρίς περίπλοκο χειρισμό και έλεγχο, ενώ η συντήρηση γίνεται εύκολα και χωρίς προβλήματα.

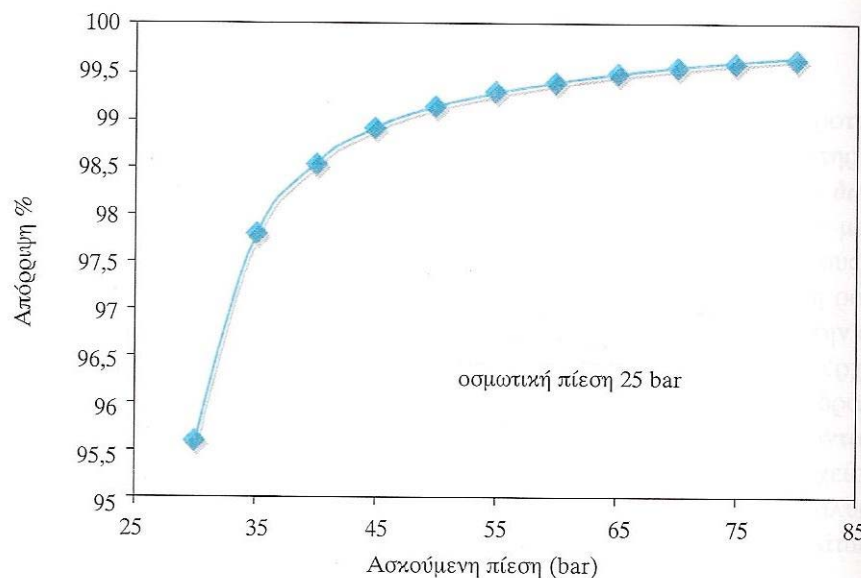
4.3.1 Οι Μεμβράνες της Αντίστροφης Όσμωσης

Μία μεμβράνη για να είναι κατάλληλη για τη διεργασία της αντίστροφης όσμωσης, θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μεγάλη απόρριψη αλάτων με υψηλή διαπερατότητα διαλύτη.
- Ικανότητα να σχηματίζει λεπτά διαχωριστικά στρώματα μεγάλης αντοχής.

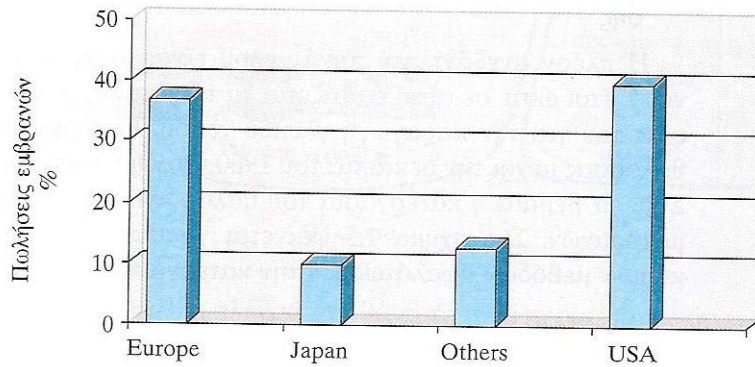
- Ικανότητα κατασκευής με μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο.
- Μεγάλο εύρος λειτουργικών παραμέτρων, πίεσης, θερμοκρασίας και είδους διαλύματος τροφοδοσίας.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής κυμαίνεται από 3-5 χρόνια, εξαρτώμενη από την ποιότητα του νερού προς επεξεργασία και τον τρόπο χρήσης και καθαρισμού.
- Μεγάλη αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια και βιολογικές επιθέσεις.
- Ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος pH.
- Χαμηλό κόστος.

Η απόρριψη αλάτων μιας μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης αυξάνεται αυξανόμενης της ασκούμενης πίεσης και μειώνεται αυξανόμενης της θερμοκρασίας ή της συγκέντρωσης σε άλατα του διαλύματος τροφοδοσίας.



Σχήμα 4.6 Απόρριψη αλάτων συναρτήσει της ασκούμενης πίεσης μιας τυπικής μεμβράνης αντίστροφης ώσμωσης.

Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η κατανομή της παγκόσμιας αγοράς μεμβρανών. Αξίζει να αναφερθεί ότι η παγκόσμια αγορά μεμβρανών πάσης φύσεως αναμένεται να αυξηθεί από 17 δισεκατομμύρια δολάρια το 1998 σε 75 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020.



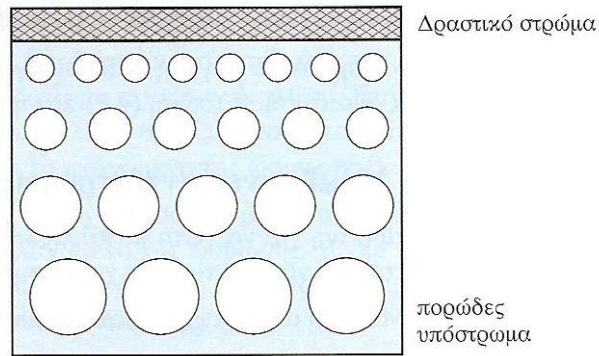
Σχήμα 4.7 Παγκόσμια αγορά μεμβρανών.

Μέχρι σήμερα δεν έχει κατασκευαστεί καμία μεμβράνη που να ικανοποιεί όλες τις παραπάνω ιδιότητες. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης:

- Οι ασύμμετρες μεμβράνες
- Οι σύνθετες μεμβράνες

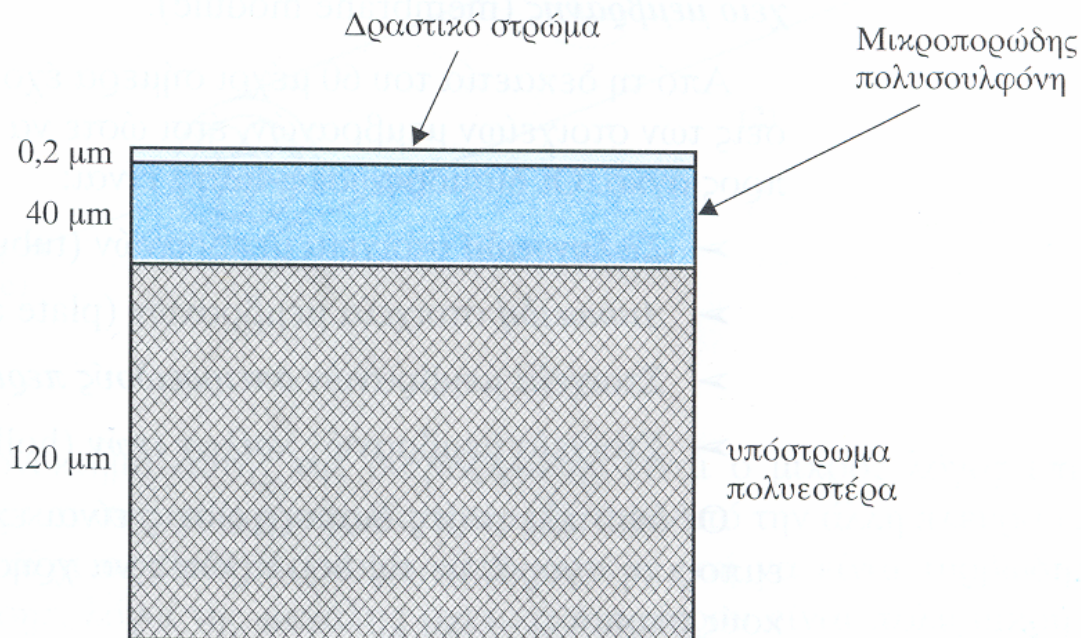
Το πρώτο είδος μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκε για αφαλάτωση από τους Loeb και Sourirajan ήταν ασύμμετρη μεμβράνη οξικής κυτταρίνης (cellulose acetate, CA) στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι σημερινές μεμβράνες CA κατασκευάζονται από μίγμα διοξειδίου και τριοξειδίου κυτταρίνης. Οι ασύμμετρες μεμβράνες αποτελούνται από δύο διαφορετικά στρώματα. Υπάρχει ένα πολύ λεπτό στρώμα (πάχους 0.1-2 μm), με ιδιότητες απόρριψης των αλάτων στην κορυφή και ακολουθεί ένα πορώδες υπόστρωμα πάχους 100-200 μm χωρίς ιδιότητες απόρριψης. Η δημιουργία της ασύμμετρης δομής των μεμβρανών οφείλεται στον τρόπο παραγωγής τους.

Αυτή η ειδική κατασκευή συνδυάζει καλές ιδιότητες απόρριψης αλάτων και υψηλή διαπερατότητα του νερού. Το εξωτερικό λεπτό στρώμα είναι υπεύθυνο για την απόρριψη των αλάτων, ενώ ταυτόχρονα λόγω του μικρού πάχους του επιτρέπει ικανοποιητική διαπερατότητα από το νερό. Το πορώδες υπόστρωμα παρέχει την απαιτούμενη μηχανική αντοχή ώστε η μεμβράνη να αντέχει τις εφαρμοζόμενες υψηλές πιέσεις.



Σχήμα 4.8 Ασύμμετρες μεμβράνες.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα κάθε στρώμα στις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης έχει διαφορετικές ιδιότητες. Έτσι είναι λογικό να προσπαθήσει κανείς να κατασκευάσει τα δύο στρώματα σε διαφορετικά στάδια. Έτσι κατασκευάζεται πρώτα το υπόστρωμα στήριξης που αποτελείται από πολυεστέρα, στην επιφάνεια του οποίου τοποθετείται ένα στρώμα μικροπορώδους πολυσουλφόνης στην κορυφή του οποίου τοποθετείται η μεμβράνη που έχει και τις απορριπτικές ιδιότητες. Το λεπτό στρώμα με τις απορριπτικές ιδιότητες είναι κατασκευασμένο από αρωματικά πολυαμίδια (aromatic polyamides, AP). Η μορφή των σύνθετων μεμβρανών δίνεται στο σχήμα 4.9.

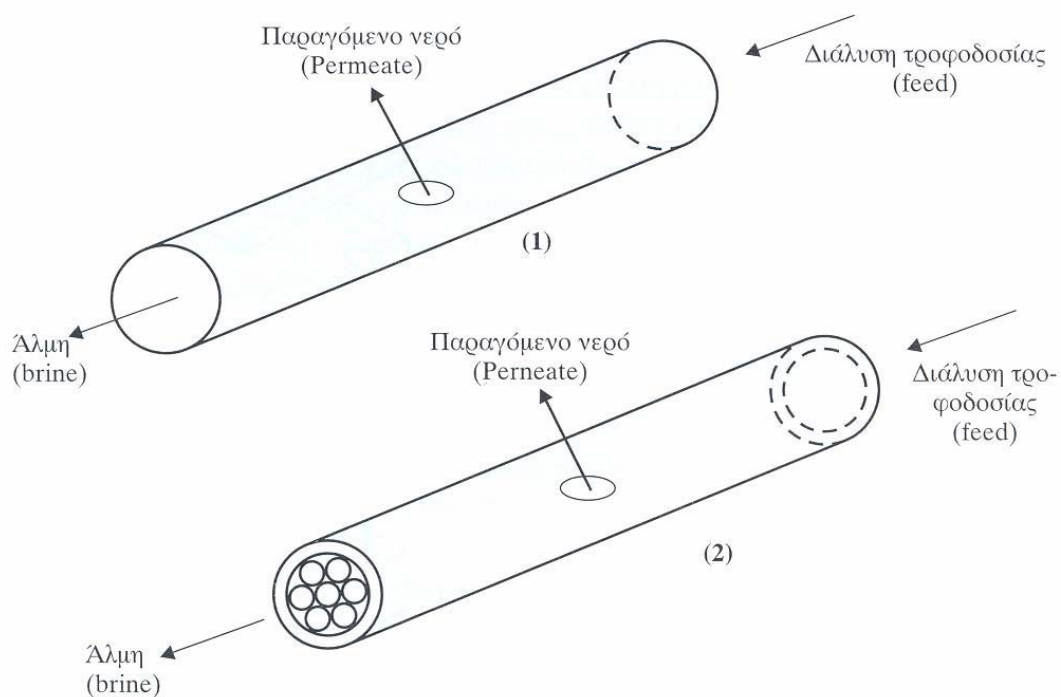


Σχήμα 4.9 Σύνθετες μεμβράνες.

Η διαπερατότητα των μεμβρανών σε νερό είναι σχετικά μικρή. Έτσι, για να έχουμε ικανοποιητική παραγωγή νερού θα πρέπει η επιφάνεια των μεμβρανών να είναι σημαντική. Όταν αναφερόμαστε στις μεμβράνες δεν εννοούμε μόνο το ενεργό στρώμα που εκτελεί τη διαδικασία της αφαλάτωσης αλλά και το υπόστρωμα. Ο όρος που χρησιμοποιείται για το ενεργό στρώμα και το υπόστρωμα συνολικά είναι στοιχείο μεμβράνης (membrane module). Από τη δεκαετία του 1960 έως σήμερα έχουν δοκιμαστεί διάφορες διαμορφώσεις των στοιχείων μεμβρανών έτσι ώστε να επιτευχθεί μέγιστος λόγος επιφάνειας προς όγκο. Οι διαμορφώσεις αυτές είναι:

- Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών
- Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών
- Στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης
- Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών

Οι δύο τελευταίες διαμορφώσεις είναι αυτές που κυριαρχούν στην παγκόσμια αγορά ενώ οι δύο πρώτες χρησιμοποιούνται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς.

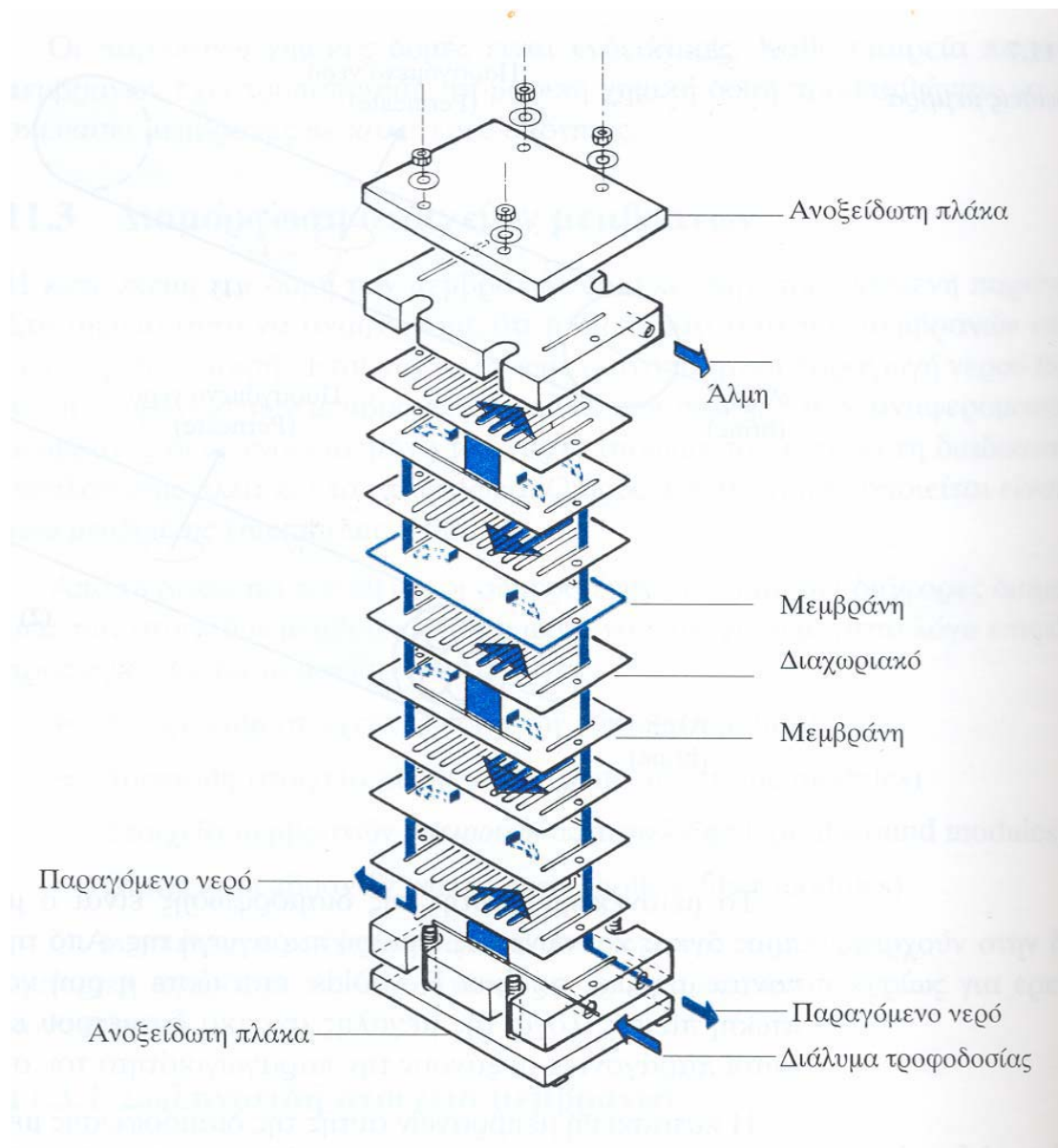


Σχήμα 4.10 Σωληνοειδείς μεμβράνες.

Τα σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών έχουν τη μορφή σωλήνων διαμέτρου 0.7-2.5 cm, οι οποίοι τοποθετούνται στο εσωτερικό ειδικών δοχείων με ανθεκτικά τοιχώματα. Η ενεργή επιφάνεια του στοιχείου μεμβράνης βρίσκεται στο εσωτερικό της. Έτσι, το διάλυμα τροφοδοσίας

διοχετεύεται στο εσωτερικό του στοιχείου. Το παραγόμενο νερό εξέρχεται κάθετα στη διεύθυνση ροής ενώ από το άλλο άκρο εξέρχεται η άλμη. Το δοχείο μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα στοιχεία μεμβρανών (σχήμα 4.10).

Το μειονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι ο μικρός λόγος επιφάνειας προς όγκο με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγικής της ικανότητας. Από την άλλη πλευρά επιτυγχάνονται μεγάλοι αριθμοί Reynolds έτσι ώστε η ροή να είναι τυρβώδης ενώ η πτώση πίεσης είναι πολύ μικρή λόγω της μεγάλης σχετικά διαμέτρου. Οι δύο αυτοί παράγοντες αυξάνουν την παραγωγικότητα του στοιχείου αυτού.



Σχήμα 4.11 Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών της εταιρείας Millipore.

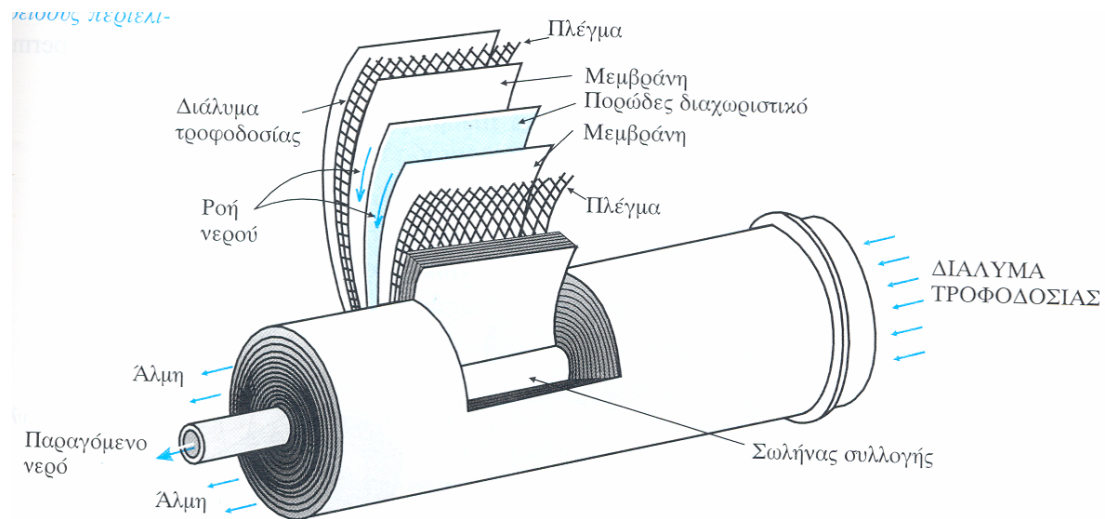
Τα δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών εναλλάσσονται με διαχωριστήρες. Τα στοιχεία αυτά έχουν την μορφή φακέλου με διαχωριστήρα στο εσωτερικό τους. Έτσι, το αλατούχο διάλυμα ρέει εξωτερικά του φακέλου των μεμβρανών υπό πίεση μέσω των σχισμών που υπάρχουν. Το νερό διέρχεται από τις μεμβράνες στο εσωτερικό του φακέλου και εξέρχεται από την ειδική σχισμή από όπου και συλλέγεται.

Στη διαμόρφωση της ελικοειδούς περιέλιξης δύο επίπεδα στοιχεία μεμβρανών τοποθετούνται το ένα απέναντι από το άλλο με τις δραστικές επιφάνειές τους στην εξωτερική πλευρά. Μεταξύ των μεμβρανών τοποθετείται πορώδες πολυμερές υλικό. Οι τρεις πλευρές συγκολλώνται ενώ η τέταρτη παραμένει ανοιχτή σχηματίζοντας ένα φάκελο. Το πορώδες φύλλο τοποθετείται έτσι ώστε οι μεμβράνες να μην έρχονται σε επαφή όταν ασκείται υψηλή πίεση και επιτρέπει στο παραγόμενο νερό να κινείται στο εσωτερικό των μεμβρανών προς το ανοιχτό άκρο του φακέλου. Το ανοικτό άκρο του φακέλου συγκολλάται στο σωλήνα συλλογής του παραγόμενου νερού. Ο σωλήνας αυτός είναι διάτρητος στα σημεία που βρίσκονται εντός του φακέλου των μεμβρανών, έτσι ώστε το παραγόμενο νερό εισέρχεται σε αυτόν και εξέρχεται από το άκρο του σωλήνα. Ο φάκελος τυλίγεται γύρω από το σωλήνα συλλογής μαζί με ειδικό πολυμερές πλέγμα, σχηματίζοντας την σπειροειδή περιέλιξη. Το πλέγμα δημιουργεί τον κατάλληλο χώρο μεταξύ των μεμβρανών ώστε να μπορεί να κινείται το αλατούχο διάλυμα, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί στροβίλους, εμποδίζοντας τον σχηματισμό στρωτής ροής (σχήμα 4.12). Το όλο σύστημα καλύπτεται από ειδική ρητίνη με υαλοβάμβακα και τοποθετείται σε ειδικό δοχείο πίεσης.

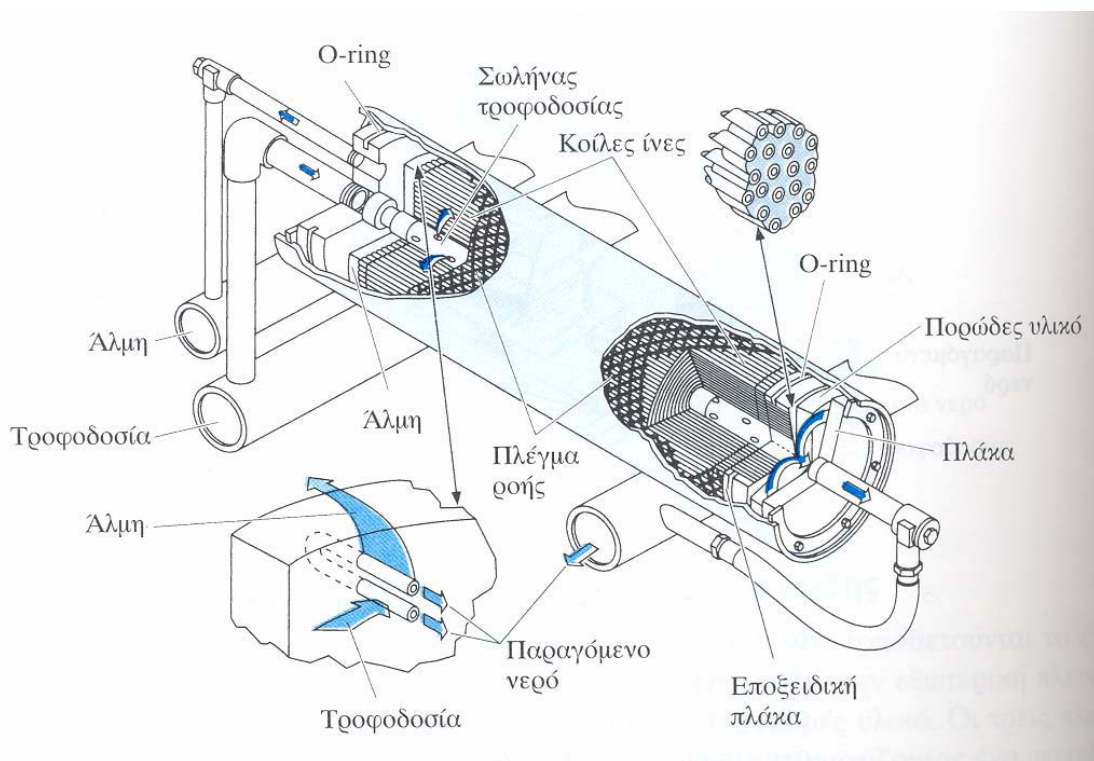
Στην πραγματικότητα κάθε στοιχείο μεμβράνης δεν περιέχει ένα φάκελο αλλά περισσότερους έτσι ώστε να μειωθεί το μήκος του δημιουργούμενου φακέλου για ένα ορισμένο όγκο. Το αλατούχο διάλυμα κινείται αξονικά κατά μήκος του σωλήνα συλλογής, ενώ το παραγόμενο νερό εισέρχεται εγκάρσια στο εσωτερικό του φακέλου, κινείται σπειροειδώς μέχρις ότου φτάσει στο σωλήνα συλλογής από το άκρο του οποίου εξέρχεται. Ένα ή περισσότερα στοιχεία μεμβρανών μπορούν να τοποθετούνται στη σειρά εντός των δοχείων πίεσης σχηματίζοντας ένα στοιχείο αντίστροφης ώσμωσης. Η πίεση λειτουργίας αυτών των στοιχείων φτάνει τα 80 bar, ενώ παρουσιάζουν υψηλό λόγο επιφάνειας προς όγκο. Σήμερα αποτελούν την πλέον διαδεδομένη διαμόρφωση μεμβρανών.

Οι μεμβράνες κοίλων ινών μπορούν να θεωρηθούν ως σωλήνες μεγάλου πάχους τοιχωμάτων και πολύ μικρού μεγέθους που δεν χρειάζονται καμία υποστήριξη. Οι κοίλες ίνες κάμπτονται στο μέσον για να σχηματίσουν σχήμα U και σχηματίζουν δέσμη διατασσόμενες παράλληλα με το κεκαμμένο άκρο τους βυθισμένο μέσα σε ειδική ρητίνη. Το αλατούχο διάλυμα κινείται κάθετα προς τις κοίλες ίνες υπό υψηλή

πίεση. Λόγω της ασκούμενης πίεσης το νερό εισέρχεται στο εσωτερικό των κοίλων ινών που αποτελούν τις ασύμμετρες μεμβράνες και κινείται κατά μήκος τους εξερχόμενο από το ανοικτό άκρο τους που βρίσκεται σε ειδικό πορώδες υλικό. Το όλο σύστημα τοποθετείται σε ειδικό δοχείο πίεσης που αποτελούν το στοιχείο αντίστροφης ώσμωσης, ονομαζόμενο και ως permeator (σχήμα 4.13).



Σχήμα 4.12 Στοιχείο μεμβράνης ελικοειδούς περιέλιξης.



Σχήμα 4.13 Στοιχείο μεμβρανών κοίλων ινών.

Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι το μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας μεμβράνης για δεδομένο όγκο. Έτσι με τη διαμόρφωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλικά με μικρό συντελεστή διαπερατότητας σε νερό. Σοβαρό μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι λόγω της κατασκευής τους λειτουργούν ως φίλτρα για τα αιωρούμενα συστατικά του διαλύματος τροφοδοσίας με αποτέλεσμα οι μεμβράνες αυτού του τύπου να μολύνονται πολύ εύκολα.

4.3.2 Ανάκτηση Ενέργειας

Έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας στις μονάδες αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, καθόσον η άλμη εξέρχεται από την εγκατάσταση αντίστροφης ώσμωσης σε υψηλή πίεση. Επομένως, είναι λογικό να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ανάκτησης της ενέργειας από την πίεση που περικλείει η άλμη για να συνεισφέρει στην απαιτούμενη συνολική ενέργεια της αφαλάτωσης. Αυτό συμβαίνει μέσω ενός υδροστροβίλου ο οποίος συνδέεται με ιμάντα με τον κινητήρα της αντλίας υψηλής πίεσης.



Εικόνα 4.4 Συσκευές ανάκτησης ενέργειας τύπου «Pressure Exchange» στη μονάδα αφαλάτωσης στη Δεκέλεια της Κύπρου.

Η μέθοδος αυτή μειώνει κατά πολύ την δαπανώμενη ενέργεια ανά κυβικό μέτρο αφαλατωμένου νερού, η οποία μπορεί να φτάσει ακόμα και σε εξοικονόμηση 40% στην δαπανώμενη ενέργεια στην αντλία υψηλής πίεσης, λόγω μηχανικής υποβοήθησης του ηλεκτροκινητήρα από τον στρόβιλο. Κάποιες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο αυτό, έχουν αναπτύξει σύστημα μονάδας αφαλάτωσης με συνδυασμένη χρήση

περιστροφικής πολυβάθμιας αντλίας και στροβίλου Pelton, ο οποίος κινεί μια άλλη πολυβάθμια αντλία σε σειρά με την πρώτη. Στο σύστημα αυτό, η ηλεκτροκίνητη αντλία αποδίδει μέρος μόνο της απαιτούμενης πίεσης, ενώ η υπόλοιπη απαιτούμενη πίεση προέρχεται από τον στρόβιλο και έτσι επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Μέχρι σήμερα, έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί διάφορα εξελιγμένα συστήματα ανάκτησης ενέργειας για χρήση σε αφαλάτωση. Η απόδοση των συστημάτων αυτών είναι τόσο μεγάλη, ώστε η απόσβεσή τους μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και σε ένα έτος λειτουργίας. Τέτοια συστήματα είναι ο εναλλάκτης πίεσης, ο οποίος επιτρέπει στο εισερχόμενο θαλασσινό νερό να πιεστεί από την απορριπτόμενη άλμη υψηλής πίεσης. Η ανάκτηση της ενέργειας με αυτόν τον τρόπο μπορεί να φτάσει το 94%. Άλλη αρχή ανάκτησης ενέργειας βασίζεται στην αρχή των αξονικών εμβόλων: δύο αντλίες συνδέονται ομοαξονικά, η μία εξ αυτών λειτουργεί αντίστροφα, ως στρόβιλος, εκμεταλλευόμενη την απορριπτόμενη ενέργεια της άλμης και παρέχοντας το αντίστοιχο μηχανικό έργο στην αντλία υψηλής πίεσης.

5. ΕΙΔΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται κάποιες ειδικές μέθοδοι αφαλάτωσης οι οποίες είτε έχουν κριθεί αντιοικονομικές με βάση τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες είτε βρίσκονται ακόμη σε καθαρά ερευνητικό στάδιο. Οι μέθοδοι αυτές είναι η Κρυστάλλωση (Freezing), η Εναλλαγή Ιόντων (Ion Exchange), η Ύγρανση-Αφύγρανση (Humidification-Dehumidification, HD), η Απόσταξη με Μεμβράνες (Membrane Distillation, MD) και η Νανοδιήθηση (Nanofiltering, NF).

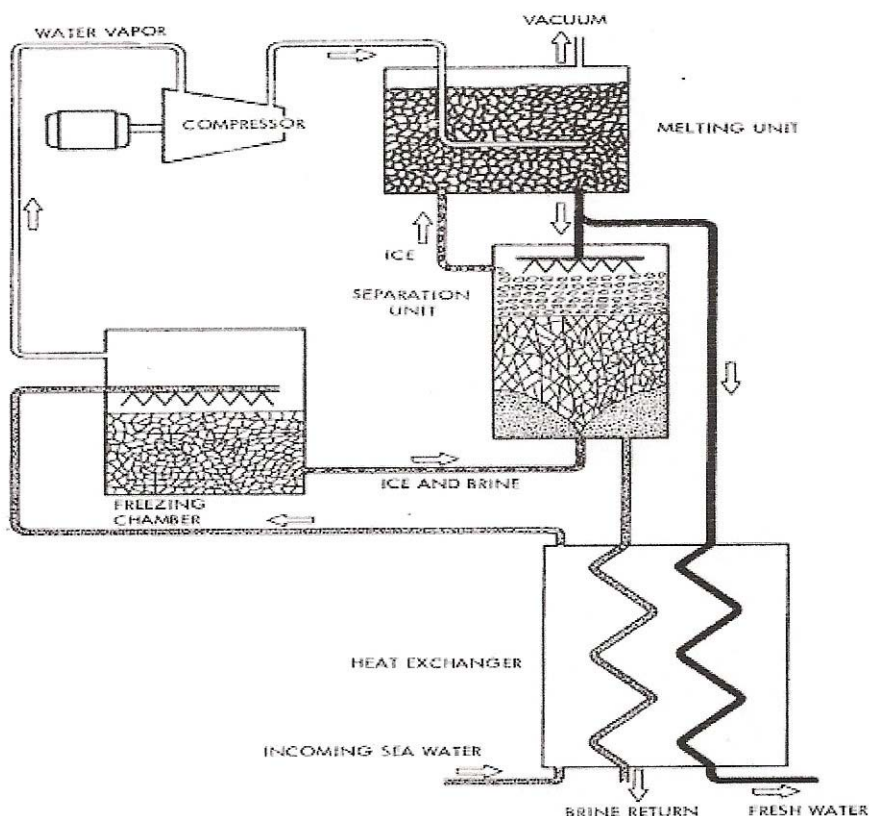
5.2 ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

Η μέθοδος αφαλάτωσης με κρυστάλλωση ή μέθοδος παγοποίησης βασίζεται στην ακόλουθη φυσικοχημική ιδιότητα των υγρών: όταν ένα υδατικό διάλυμα άλατος ψυχθεί μέχρι του σημείου πήξεώς του αποβάλλονται σε ορισμένες περιπτώσεις καθαροί κρύσταλλοι νερού καθώς και της ουσίας που έχει προστεθεί σε αυτό. Οι κρύσταλλοι των αλάτων συγκεντρώνονται κυρίως στην επιφάνεια του πάγου.

Όπως και στις θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης όπου το νερό μετατρέπεται από υγρό σε αέριο έτσι και στη μέθοδο της κρυστάλλωσης έχουμε μετατροπή της φάσης του νερού αλλά από υγρό σε στερεό. Η κρυστάλλωση παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα έναντι των θερμικών μεθόδων όπως ο μειωμένος κίνδυνος διάβρωσης από το αλμυρό νερό αφού οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές και η μειωμένη ενεργειακή δαπάνη αφού δεν απαιτείται εξαέρωση του νερού. Η παγοποίηση μπορεί να γίνεται με ή χωρίς χημικό πρόσθετο.

Παρά τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν και τη σχετική απλότητά της η αφαλάτωση με ψύξη δεν είναι ακόμη βιομηχανικά εκμεταλλεύσιμη και η μοναδική μονάδα που λειτούργησε στη Σαουδική Αραβία εγκαταλείφθηκε λόγω ανυπέρβλητων προβλημάτων. Η μέθοδος κρυστάλλωσης απέτυχε κυρίως διότι δεν κατέστη δυνατόν να σχηματισθούν μεγάλοι κρύσταλλοι πάγου. Οι λεπτοί κρύσταλλοι συκρατούσαν στην επιφάνεια τους τα άλατα για την απομάκρυνση των οποίων έπρεπε να χρησιμοποιείται σχεδόν η μισή ποσότητα του νερού. Έτσι η μέθοδος κρίθηκε αντιοικονομική.

Οι κοινές συσκευές ψύξης λειτουργούν όπως και τα οικιακά ψυγεία. Χρησιμοποιούν ένα ψυκτικό μέσο σε υγρή μορφή το οποίο εξατμίζεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Το ψυκτικό αυτό υγρό δεσμεύει θερμότητα από τον περιβάλλοντα χώρο για να εξατμιστεί και έτσι τον ψύχει. Το αέριο που παράγεται συλλέγεται με κατάλληλο τρόπο και υγροποιείται με συμπίεση για να χρησιμοποιηθεί ξανά.



Σχήμα 5.1 Αρχή λειτουργίας της αφαλάτωσης με κρυστάλλωση.

Μία πιο εξελιγμένη μέθοδος κρυστάλλωσης είναι η παγοποίηση υπό κενό. Αρχικά το θαλασσινό νερό προψύχεται περνώντας από έναν εναλλάκτη θερμότητας. Στη συνέχεια εισέρχεται σε ένα θάλαμο (υδρομετατροπέα) όπου επικρατεί χαμηλή πίεση (3 mm Hg). Στο θάλαμο αυτό εξατμίζεται περίπου το $\frac{1}{7}$ της ποσότητάς του. Με την εξάτμιση αυτή το νερό ψύχεται περισσότερο με αποτέλεσμα να παγώσει το μεγαλύτερο μέρος του. Κατόπιν το μείγμα πάγου-νερού οδηγείται σε ένα χώρο όπου διαχωρίζονται οι κρύσταλλοι του καθαρού νερού. Εκεί συναντούν τους ατμούς που είχαν παραχθεί προηγουμένως με αποτέλεσμα την υγροποίηση των παγοκρυστάλλων.

Στην παγοποίηση με ψυκτικό πρόσθετο (π.χ. βουτάνιο) αντί να εξατμιστεί ένα μέρος της ποσότητας του νερού, εξατμίζεται το ψυκτικό πρόσθετο αφαιρώντας μεγάλες ποσότητες θερμότητας από το νερό με

αποτέλεσμα την παγοποίηση του τελευταίου. Στη συνέχεια οι ατμοί του ψυκτικού μέσου διοχετεύεται ξανά στους παγοκρυστάλλους με αποτέλεσμα την υγροποίησή τους. Το καθαρό νερό που παράγεται περιέχει και μια ποσότητα του ψυκτικού μέσου. Έτσι απαιτείται και ένας ειδικός μηχανισμός για τον διαχωρισμό τους και το τελείως καθαρό νερό οδηγείται στην έξοδο της εγκατάστασης.

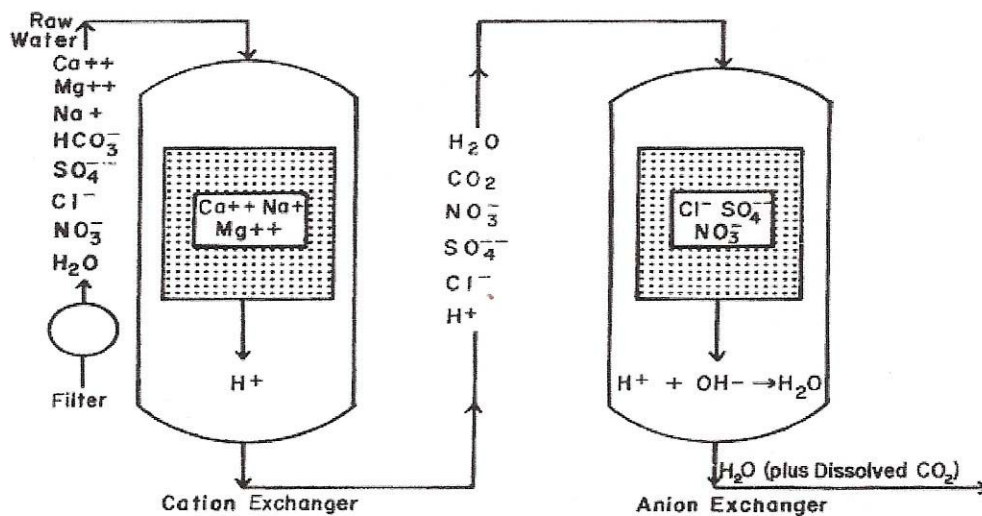
Εκτός από τις παραπάνω μεθόδους, κατά τις οποίες κρυσταλλώνεται μόνο το νερό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος της συγκρυστάλλωσης του νερού με κάποια άλλη ουσία που προστίθεται στο νερό όπως για παράδειγμα είναι το προπάνιο. Όπως πριν παράγονται κρύσταλλοι που δεν περιέχουν άλατα. Με την τήξη των κρυστάλλων λαμβάνονται δύο διαφορετικά υγρά, τα οποία εύκολα μπορούν να διαχωριστούν.

5.3 ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΙΟΝΤΩΝ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράφηκε η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης η οποία στηρίζεται στις ηλεκτρικές ιδιότητες των ιόντων και οδηγεί στον διαχωρισμό των ιόντων από ένα διάλυμα. Η μέθοδος εναλλαγής ιόντων (ή ιοντοανταλλαγή) είναι και αυτή μία ιοντική μέθοδος η οποία όμως σε αντίθεση με την ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιεί τις χημικές αντιδράσεις των ιόντων για τον διαχωρισμό. Η μέθοδος εναλλαγής ιόντων, χρησιμοποιεί ρητίνες ανιόντων και κατιόντων, οι οποίες προσροφούν τα ιόντα του διαλύματος και τα ανταλλάσσουν με τα κινητά ιόντα (H^+ ή OH^-) που βρίσκονται στο πλέγμα της ρητίνης.

Τα στρώματα των ρητίνων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.2, είναι τοποθετημένα σε σειρά ώστε το θαλασσινό νερό να έρχεται πρώτα σε επαφή με τον ανταλλακτήρα κατιόντων και στη συνέχεια με τον ανταλλακτήρα ανιόντων. Στον ανταλλακτήρα κατιόντων αφαιρούνται από το νερό κατιόντα και στη θέση τους τοποθετούνται κατιόντα υδρογόνου ενώ στον ανταλλακτήρα ανιόντων αφαιρούνται ανιόντα από το νερό και στη θέση τους τοποθετούνται ανιόντα υδροξυλίου. Έτσι οι προσμείξεις αφαιρούνται από το αλμυρό νερό δίνοντας φρέσκο νερό ενώ τα ιόντα υδρογόνου και υδροξυλίου αντιδρούν μεταξύ τους δίνοντας επιπλέον φρέσκο νερό.

Οι εγκαταστάσεις εναλλαγής ιόντων λειτουργούν χωρίς να παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα, έχουν γενικά χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, εργάζονται αυτόματα και επομένως έχουν μικρό λειτουργικό κόστος. Δεν παρουσιάζουν αξιόλογα προβλήματα διάβρωσης και το νερό τροφοδοτείται χωρίς καμιά προκατεργασία ή προσαρμογή του pH.



Σχήμα 5.2 Αφαλάτωση με εναλλαγή ιόντων.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης με εναλλάκτες ιόντων, κατατάσσονται γενικά σε δύο τύπους, 1) μέθοδος σταθεράς κλίνης και 2) μέθοδος συνεχούς λειτουργίας. Στην σταθερή κλίνη λειτουργίας οι ρητίνες τοποθετούνται σε δοχεία τα οποία ονομάζονται φίλτρα διότι φιλτράρουν το νερό μέσα από τις ρητίνες. Ενώ στις μεθόδους σταθερής κλίνης η ρητίνη παραμένει ακίνητη καθώς διοχετεύεται το διάλυμα ή το νερό διαμέσου της κλίνης, στις μεθόδους συνεχούς λειτουργίας η ρητίνη ιόντων κινείται μαζί με το διάλυμα, έως ένα καθορισμένο σημείο της στήλης.

Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με εναλλαγή ιόντων είναι τουλάχιστον προς το παρόν ασύμφορη οικονομικά. Αυτό συμβαίνει γιατί λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε άλατα του θαλασσινού νερού απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ρητινών για τη δέσμευση των ιόντων από μικρή σχετικά ποσότητα θαλασσινού νερού. Η μέθοδος της εναλλαγής ιόντων χρησιμοποιείται πάντως ευρύτατα στη διαδικασία αποσκλήρυνσης του πόσιμου νερού, δηλαδή, στην απομάκρυνση των ιόντων Ca και Mg από αυτό.

Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται στην εναλλαγή ιόντων είναι οργανικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους. Χωρίζονται σε κατιονικές και ανιονικές ανάλογα με την ιδιότητά τους να δεσμεύουν τα ανιόντα ή τα κατιόντα. Βασική προϋπόθεση για τη χρήση μιας ρητίνης είναι η τέλεια αδιαλυτότητα στο νερό η οποία επιτυγχάνεται με διακλαδώσεις μορίων εντός του πλέγματος της ρητίνης. Η δυναμικότητα μιας ρητίνης εκφράζει το ποσό των ιόντων το οποίο είναι δυνατό, να ανταλλαγεί.

Η αντίδραση ιοντοανταλλαγής είναι ταχύτατη και συνεχίζεται όσο υπάρχουν στη ρητίνη διαθέσιμες θέσεις ανταλλαγής ιόντων. Όταν όλες οι

ενεργές θέσεις της ρητίνης κορεστούν η τελευταία χάνει την ικανότητά της να κατακρατά τα ιόντα που περιέχει το νερό. Τότε η ρητίνη πρέπει να υποστεί τη διαδικασία της αναγέννησης για την αποκατάσταση των αρχικών ιδιοτήτων της. Η αναγέννηση περιλαμβάνει την κατεργασία της ρητίνης με οξέα και βάσεις για την απομάκρυνση των ιόντων που έχει ήδη κατακρατήσει η ρητίνη η οποία καθίσταται με αυτόν τον τρόπο ενεργή ξανά.

5.4 ΥΓΡΑΝΣΗ-ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ

Στην μέθοδο αφαλάτωσης με ύγρανση-αφύγρανση ο ξηρός αέρας ανακυκλώνεται με φυσική ή εξαναγκασμένη συναγωγή πάνω από θερμό θαλασσινό νερό. Όταν ο αέρας περνά πάνω από το θερμό θαλασσινό νερό στον εξατμιστή, το περιεχόμενό του σε υγρασία αυξάνεται. Στη συνέχεια ο αέρας διοχετεύεται στο συμπυκνωτή για αφύγρανση και ξαναγυρίζει στον εξατμιστή για να επαναληφθεί η διαδικασία. Μέρος των υδρατμών που περιέχονται στον αέρα μπορεί να ληφθεί φέρνοντας τον υγρό αέρα σε επαφή με μία ψυχρή επιφάνεια σε έναν εναλλάκτη θερμότητας.

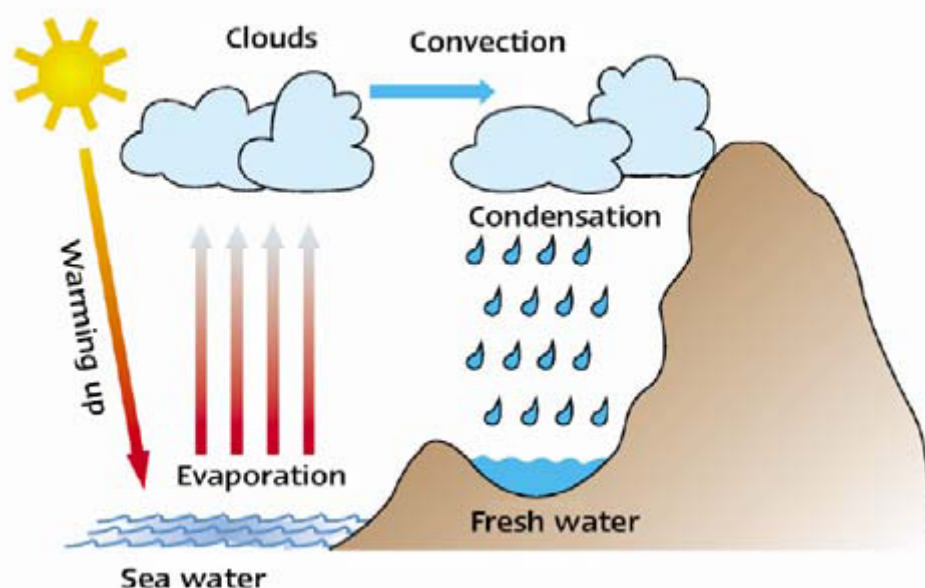


Εικόνα 5.1 Μονάδα ύγρανσης-αφύγρανσης δυναμικότητας $5\text{m}^3/\text{ημέρα}$ στην Τζέντα της Σαουδικής Αραβίας που χρησιμοποιεί επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες συνολικού εμβαδού 140 m^2 .

Με στόχο την οικονομία ενέργειας η λανθάνουσα θερμότητα που ελευθερώνεται κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας.

Η τεχνική της ύγρανσης-αφύγρανσης βασίζεται σε απλές και γνωστές φυσικές διαδικασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Το θαλασσινό νερό εξατμίζεται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, ο υδρατμός

ανέρχεται και στη συνέχεια συμπυκνώνεται λόγω χαμηλής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα τη βροχή. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3 Η φυσική διαδικασία σχηματισμού της βροχής αποτελεί την αρχή λειτουργίας της μεθόδου ύγρανσης-αφύγρανσης.

Τυπικά χαρακτηριστικά της μεθόδου αφαλάτωσης με ύγρανση-αφύγρανση είναι η ευελιξία όσον αφορά τη δυναμικότητα της μονάδας, η λειτουργία σε ατμοσφαιρική πίεση και η δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας δεν χρειάζεται να υποστεί καμία προ-κατεργασία.

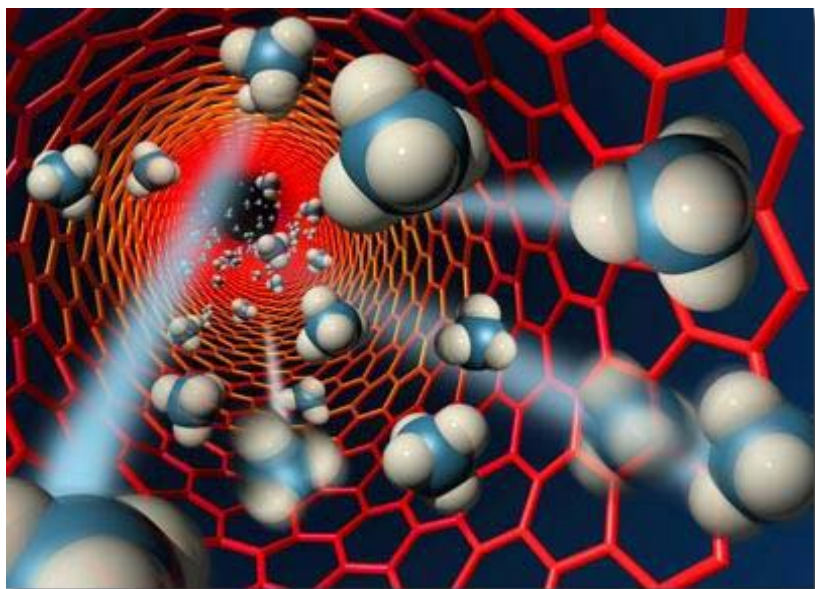
5.5 ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Στη μέθοδο της απόσταξης με μεμβράνη επιβάλλονται διαφορετικές θερμοκρασίες στις δύο πλευρές μιας κατάλληλης υδρόφοβης μεμβράνης. Στην πλευρά με τη μεγαλύτερη θερμοκρασία βρίσκεται το θαλασσινό νερό. Οι ατμοί που σχηματίζονται περνούν μέσα από τους πόρους της διαχωριστικής μεμβράνης και συλλέγονται στην άλλη πλευρά. Όπως είναι φανερό η κινούσα δύναμη της διαδικασίας είναι η διαφορά θερμοκρασίας. Αν και έχει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η δυνατότητα συνδυασμού με ηλιακή ενέργεια, η λειτουργία σε ατμοσφαιρική πίεση και το χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας δεν έχει χρησιμοποιηθεί ακόμη σε εφαρμογές ευρείας κλίμακας. Στα μειονεκτήματά της συμπεριλαμβάνονται ο χαμηλός ρυθμός παραγωγής αφαλατωμένου νερού και η αβεβαιότητα, για την ώρα, του κόστους του παραγόμενου φρέσκου νερού.

5.6 ΝΑΝΟΔΙΗΘΗΣΗ

Η νανοδιήθηση είναι μία διεργασία μεμβρανών με την οποία απορρίπτονται ουσίες μεγέθους μέχρι $0.001\mu\text{m}$. Οι μεμβράνες νανοδιήθησης είναι ανάλογες αυτών που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση όπως και η αρχή λειτουργίας τους. Οι μεμβράνες αυτές δεν παρουσιάζουν πόρους στην επιφάνειά τους και συνεπώς η απόρριψη ουσιών καθώς και η διόδος του νερού οφείλονται σε φαινόμενα διάλυσης-διάχυσης. Η διαφορά της μεθόδου αυτής από την αντίστροφη ώσμωση είναι ότι στη νανοδιήθηση η απόρριψη μονοσθενών αλάτων είναι μικρή και συνεπώς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αφαλάτωση. Χρησιμοποιείται όμως ευρύτατα για κάθε είδους κατεργασία του πόσιμου νερού. Από την άλλη πλευρά οι μεμβράνες νανοδιήθησης λειτουργούν σε χαμηλή πίεση (4-7 bar) και συνεπώς με μικρή ενεργειακή κατανάλωση γεγονός που καθιστά τη μέθοδο ιδιαίτερα ελκυστική.

Τα τελευταία χρόνια όμως η αφαλάτωση με νανοδιήθηση έχει αποκτήσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω κυρίως της κατασκευής μεμβρανών από νανοσωλήνες άνθρακα. Οι μεμβράνες αυτές αναμένεται να μειώσουν σημαντικά το κόστος της αφαλάτωσης. Μία πρώτη εκτίμηση είναι ότι το κόστος του αφαλατωμένου νερού με αυτήν τη μέθοδο θα είναι μειωμένο κατά 75% σε σχέση με την αντίστροφη ώσμωση. Οι μικρές ενεργειακές απαιτήσεις της μεθόδου οφείλονται κυρίως στη χαμηλή πίεση λειτουργίας.



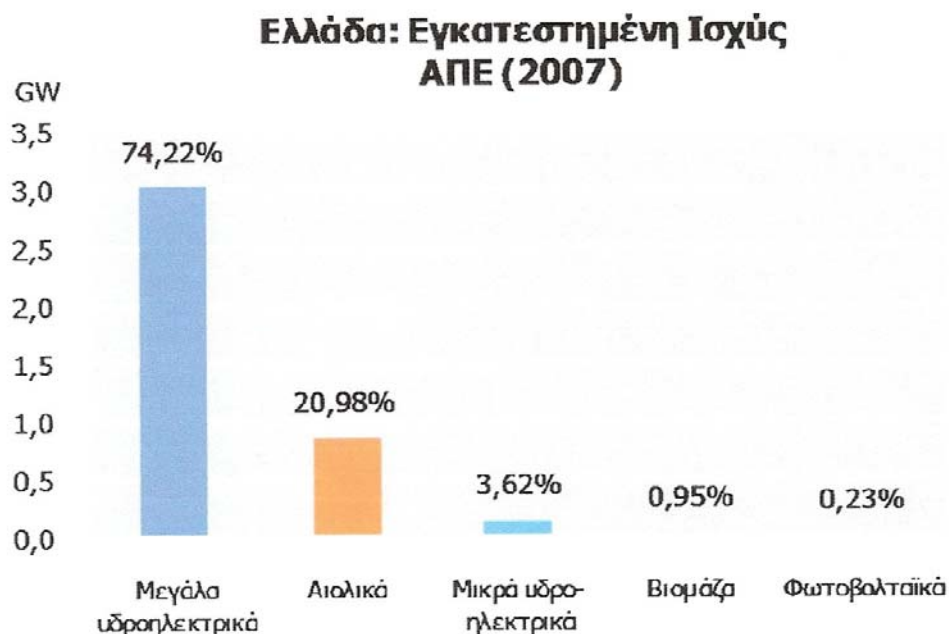
Εικόνα 5.2 Ροή μορίων μέσα από νανοσωλήνα άνθρακα με διάμετρο μικρότερη των 2nm.

Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι πάνω από 50000 φορές λεπτότεροι από μία ανθρώπινη τρίχα και λειτουργούν ως πόροι. Εσωτερικά είναι τελείως λείοι επιτρέποντας σε υγρά και αέρια να ρέουν ταχύτατα μέσα από αυτούς. Φυσικά λόγω του μικρού μεγέθους δεν επιτρέπουν τη διόδο σε μεγάλα μόρια. Η μεμβράνη σχηματίζεται με την κάλυψη των κενών ανάμεσα στους παράλληλους σωλήνες με ειδικό κεραμικό υλικό (συνήθως νιτρίδιο του πυριτίου) το οποίο παρέχει την απαιτούμενη ευστάθεια στο σύστημα. Οι σωλήνες έχουν τόσο μικρή διατομή που μόνο έξι μόρια νερού χωρούν να περάσουν. Λόγω των πολύ ειδικών ιδιοτήτων τους η παροχή νερού εμφανίζεται 100 με 10000 φορές μεγαλύτερη από την κλασικά αναμενόμενη. Να σημειωθεί ότι οι φυσικοί μηχανισμοί που επιτρέπουν τόσο ταχεία ροή δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί από τους ερευνητές αλλά αντιθέτως αποτελούν ανοικτό πεδίο έρευνας.

6. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ανανεωσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου σημαίνει ότι η ποσότητα που καταναλώνεται στο ίδιο χρονικό διάστημα αναπληρώνεται. Με την ανανεωσιμότητα συνδέεται η έννοια της αειφορίας. Η ανανεωσιμότητα αποτελεί ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η αειφορία της ορθολογικής διαχείρισης του πόρου. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) πρακτικά είναι ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον. Είναι λοιπόν οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η βιομάζα και η ενέργεια που προκύπτει από την καύση των απορριμμάτων, τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, τα βιοαέρια, η γεωθερμική ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς.



Σχήμα 6.1 Ισχύς εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. στην Ελλάδα (2007).

Στην Ελλάδα η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν έχει προχωρήσει με τους ρυθμούς που θα έπρεπε. Το μεγαλύτερο

μέρος των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης Α.Π.Ε. αφορά στα υδροηλεκτρικά έργα και ακολουθεί η αιολική ενέργεια όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη επιτυγχάνοντας ορθολογικότερη χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Το κόστος τους, δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ διατίθενται σε μικρά μεγέθη και έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας, με επαναλαμβανόμενα συστήματα σε πολλές περιπτώσεις.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου.

Τα κύρια μειονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα παρακάτω:

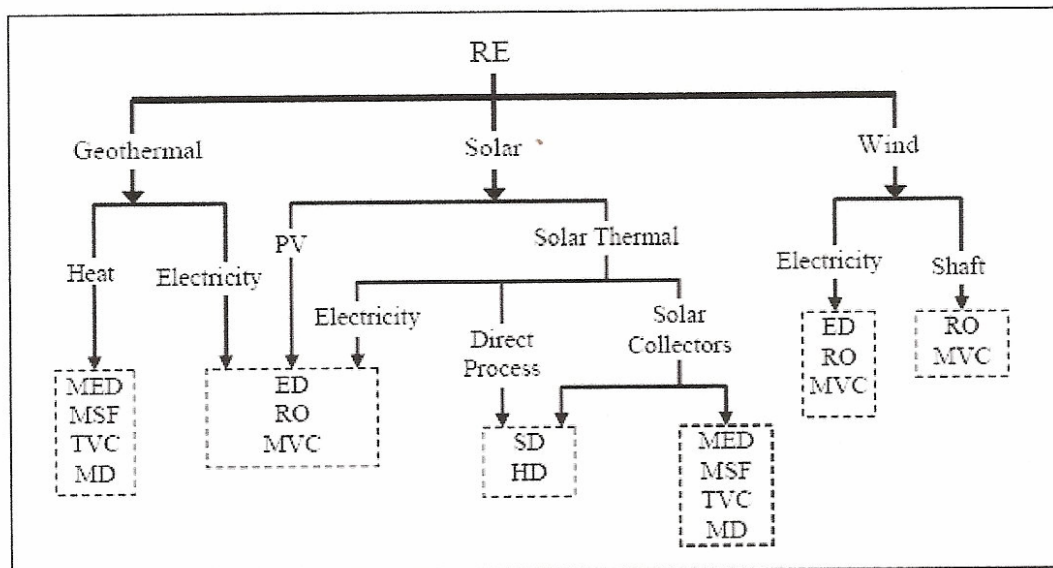
- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για να επιτευχθούν υψηλά επίπεδα ισχύος απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους, Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων είναι ακόμη υψηλό.

Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η αφαλάτωση είναι δύο διαφορετικές τεχνολογίες που όμως μπορούν γενικά να συνδυαστούν. Η σύνδεση των δύο τεχνολογιών αφορά τον τρόπο με τον οποίο η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα εκμετάλλευσης κάποιας ανανεώσιμης πηγής σε οποιαδήποτε μορφή (θερμότητα ή ηλεκτρική ενέργεια) θα προωθηθεί στην εγκατάσταση αφαλάτωσης. Οι πιθανοί συνδυασμοί φαίνονται στο σχήμα 6.1. Ήδη στο κεφάλαιο 3 έχει περιγραφεί η αφαλάτωση με ηλιακή εξάτμιση (SD).

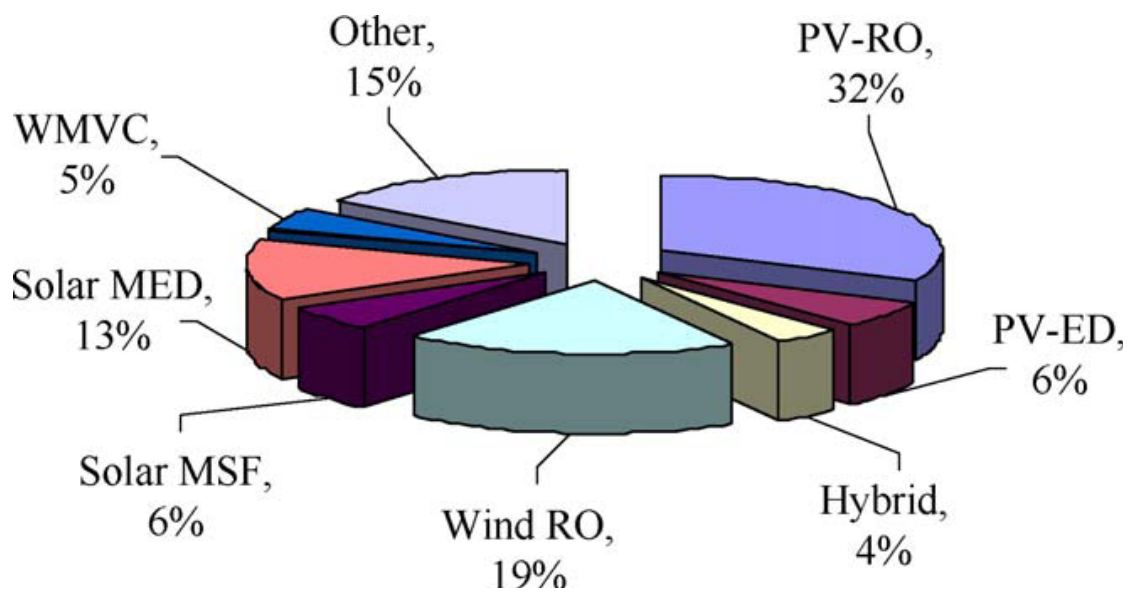
Σε πολλές περιπτώσεις προτείνεται η δημιουργία υβριδικών συστημάτων που μπορούν να τροφοδοτηθούν από περισσότερες από μία Α.Π.Ε. οι οποίες δρουν συμπληρωματικά με στόχο την πλήρη αυτοδυναμία της εγκατάστασης αλλά και την βέλτιστη απόδοση με το μικρότερο δυνατό κόστος. Σε κάθε περίπτωση επιβάλλεται η χρήση αποθηκευτικού μέσου, αφού οι μονάδες αφαλάτωσης απαιτούν σταθερή ισχύ τροφοδοσίας και οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από μεταβαλλόμενη παραγωγή ισχύος.

Η χρήση των Α.Π.Ε. στην αφαλάτωση είναι μία σχετικά νέα προσπάθεια, αποτελεί ανοικτό πεδίο έρευνας ενώ οι μονάδες που ήδη λειτουργούν έχουν μάλλον πιλοτικό χαρακτήρα και σχετικά μικρές δυναμικότητες. Σίγουρα όμως είναι μία πολλά υποσχόμενη διεπιστημονική προσπάθεια.

Πρέπει να τονιστεί ότι δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεθόδων αφαλάτωσης αποδοτικοί καθώς μπορεί να μην είναι βιώσιμοι. Για την επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού πρέπει να ληφθούν υπόψη πάρα πολλές παράμετροι όπως οι γεωγραφικές συνθήκες και η τοπογραφία της περιοχής που θα γίνει η εγκατάσταση, το είδος και η διαθεσιμότητα της ενέργειας με γνώμονα πάντα το χαμηλό κόστος, οι υπάρχουσες υποδομές στην περιοχή, η απαιτούμενη δυναμικότητα της εγκατάστασης, η περιεκτικότητα του νερού σε στερεές ουσίες κ.α. Στο σχήμα 6.1 φαίνονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 6.1 Συνδυασμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεθόδων αφαλάτωσης.



Σχήμα 6.2 Κατανομή των διαφόρων τύπων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται με ήπιες μορφές ενέργειας.

Στο σχήμα 6.2 φαίνονται τα ποσοστά χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ανά μέθοδο αφαλάτωσης σήμερα. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται ένας κατάλογος των σημαντικότερων μονάδων αφαλάτωσης διεθνώς που χρησιμοποιούν Α.Π.Ε.

Πίνακας 6.1 Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης δυναμικότητας άνω των 10m³/ημέρα που λειτουργούν με Α.Π.Ε.

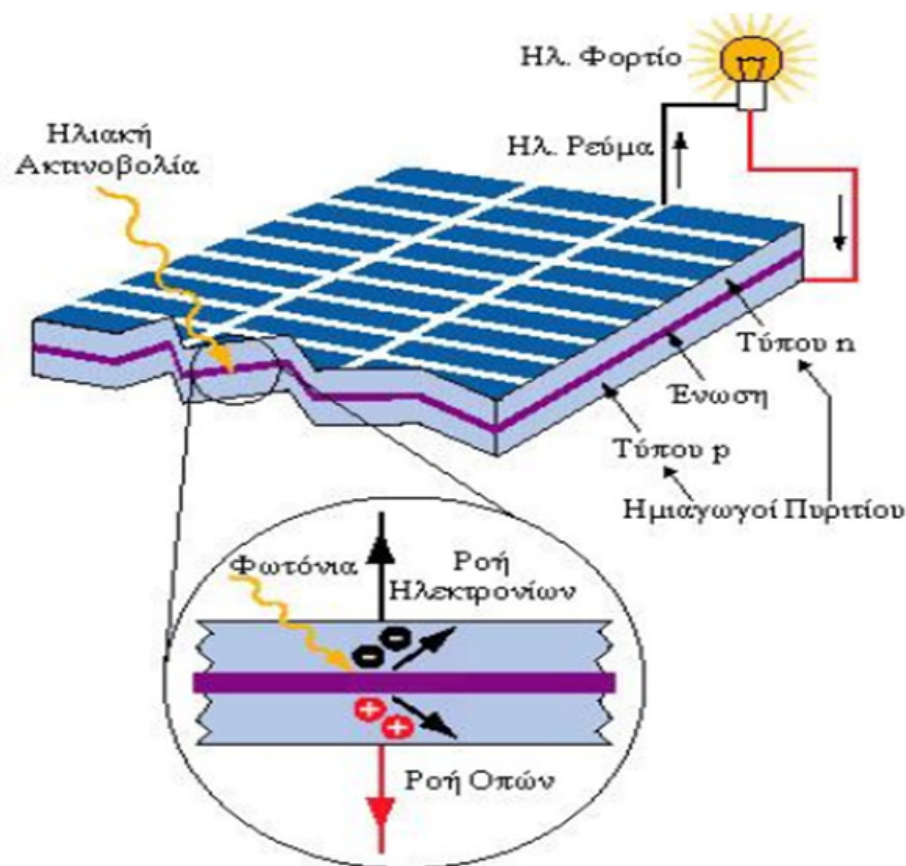
Τόπος	Νερό τροφοδοσίας	Μέθοδος αφαλάτωσης	Δυναμικότητα (m ³ /ημέρα)	Α.Π.Ε.
Bouzreah, Αλγερία	υφάλμυρο	RO	20	Ηλιακή
El-Hamrawein, Αίγυπτος	υφάλμυρο	RO	80	Ηλιακή
Cadarach, Γαλλία	υφάλμυρο	RO	60	Ηλιακή
Borkum, Γερμανία	θαλασσινό	MVC	7.2-48	Αιολική
Ruegen, Γερμανία	θαλασσινό	MVC	48-360	Αιολική
Trisai Center, Ιταλία	υφάλμυρο	TVC	184.4	Ηλιακή
Cituis, Ινδονησία	θαλασσινό	RO	36	Ηλιακή
Takami, Ιαπωνία	θαλασσινό	SD	16	Ηλιακή
Κουβέιτ	θαλασσινό	MSF	100	Ηλιακή
Κατάρ	θαλασσινό	MSF	20	Ηλιακή
Almeria, Ισπανία	θαλασσινό	MSD	172.8	Ηλιακή
Almeria, Ισπανία	θαλασσινό	RO	60	Ηλιακή
Αραβικά Εμιράτα	θαλασσινό	MSD	100-120	Ηλιακή
El Paso, ΗΠΑ	υφάλμυρο	MSD	19	Ηλιακή
Λιβύη	υφάλμυρο	RO	1000	Ηλιακή
Λιβύη	θαλασσινό	MD	500	Ηλιακή
Λιβύη	υφάλμυρο	RO	2000	Αιολική

6.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Καθημερινά, προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μια τεράστια ποσότητα ηλιακής ενέργειας, η οποία αν και αποτελεί ένα μικρό μόλις μέρος της ολικής ενέργειας που παράγεται από τον ήλιο, εντούτοις είναι

20.000 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο και με οποιαδήποτε μορφή. Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και ήδη χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης.

Σήμερα μπορεί κανείς να ισχυριστεί ότι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδυάζεται με πολύ καλά αποτελέσματα με τα συστήματα αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και με αυτά της αντίστροφης ώσμωσης για αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Φυσικά στην δεύτερη περίπτωση το κόστος είναι αρκετά σημαντικό λόγω του ότι απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας και το κόστος των απαιτούμενων φωτοβολταϊκών γεννητριών είναι αρκετά υψηλό.



Σχήμα 6.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Επιπλέον, στη μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης απαιτείται συνεχής τάση η οποία μπορεί να προσφερθεί απευθείας από τα φωτοβολταϊκά ενώ στην αντίστροφη ώσμωση οι αντλίες λειτουργούν με εναλασσόμενο ρεύμα κάτι που κάνει απαραίτητη την χρήση αντιστροφών DC/AC.

Στα αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνεργάζονται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγή

ζεύγη πετρελαίου ή/και με ανεμογεννήτριες. Πολλές φορές από την οικονομοτεχνική μελέτη ενός τέτοιου συστήματος προκύπτει ότι το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος συγκριτικά με το κόστος του αμιγώς φωτοβολταϊκού συστήματος είναι πολύ μικρότερο.



Εικόνα 6.1 Αυτόνομη μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης τροφοδοτούμενη με φωτοβολταϊκά στοιχεία στα Κανάρια Νησιά.

Μία επιπλέον δυνατότητα χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι η χρήση ηλιακής λίμνης για την τροφοδοσία με θερμότητα μιας μονάδας αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί την πολυβάθμια εκτόνωση. Αυτό μπορεί να συμβεί αν το νερό τροφοδοσίας της εγκατάστασης προέρχεται από τα βαθύτερα στρώματα της ηλιακής λίμνης όπου η θερμοκρασία είναι πάνω από 60°C οπότε δεν θα χρειαστεί επιπλέον θέρμανση. Σε γενικές γραμμές η ηλιακή λίμνη είναι μία δεξαμενή νερού μεγάλης έκτασης και βάθους από 1 έως 3 μέτρα, με μαύρο πυθμένα, στην οποία λόγω κατάλληλης βάθμωσης της πυκνότητας του υδατικού διαλύματος άλατος, στα βαθύτερα στρώματά της επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες, άνω των 60°C . Ουσιαστικά, η θερμότητα εγκλωβίζεται στα κατώτερα στρώματα και έτσι η ηλιακή λίμνη λειτουργεί ως αποθήκη θερμότητας. Τα κατώτερα στρώματα της λίμνης αποτελούν τη ζώνη μεταφοράς ενώ τα ανώτερα στρώματα αποτελούν τη ζώνη μόνωσης.

6.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Οι ανεμογεννήτριες έχουν σαν σκοπό την αποτελεσματική αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου για την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντικό χαρακτηριστικό κάθε ανεμογεννήτριας αποτελεί ο συντελεστής ισχύος, C_p , που ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που αποδίδεται από την ανεμογεννήτρια προς την ισχύ του ανέμου που διέρχεται από την επιφάνεια των πτερυγίων της. Ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μηχανής. Έτσι, η αεροδυναμική σχεδίαση των πτερυγίων των σύγχρονων μηχανών, έχει οδηγήσει σε υψηλότερους συντελεστές ισχύος και μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή για δεδομένη ταχύτητα ανέμου. Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο συντελεστής ισχύος έχει ως άνω όριο την τιμή $\frac{19}{27}$ που ονομάζεται όριο του Betz. Συνεπώς, η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού από την ανεμογεννήτρια μπορεί να γίνει μόνο μέχρι ένα ποσοστό της τάξης του 59%. Η μέγιστη τιμή αυτή, στην πράξη, δεν μπορεί να επιτευχθεί λόγω διαφόρων απωλειών κατά την αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου, και ένα τυπικό εύρος τιμών του συντελεστή είναι 20-40%.

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις που αποτελούνται από σειρές ανεμογεννητριών ονομάζονται αιολικά πάρκα. Η λειτουργία των ανεμογεννητριών δεν απαιτεί πρώτες ύλες, εκτός από την αιολική ενέργεια, και δεν εκπέμπει καμία μορφή ρύπου ή αποβλήτων. Το σημαντικότερο κριτήριο για την επιλογή του τύπου κατασκευής ενός αιολικού πάρκου είναι το αιολικό δυναμικό της περιοχής.



Εικόνα 6.2 Ανεμογεννήτριες.

Η σύζευξη των ανεμογεννητριών με εγκαταστάσεις αφαλάτωσης είναι τεχνικά εφικτή. Οι ανεμογεννήτριες είναι δυνατόν να τροφοδοτούν με ενέργεια κατά κύριο λόγο εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν την αντίστροφη ώσμωση και την ηλεκτροδιάλυση. Απαραίτητες προϋποθέσεις είναι αφενός η ύπαρξη κατάλληλου μηχανισμού αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και αφετέρου η χρήση πολύπλοκων ηλεκτρονικών υποδομών για τη διαχείριση της χρονικής μεταβλητότητας που ασφαλώς χαρακτηρίζει τη διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας. Να σημειωθεί ότι έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την τροφοδότηση με ανεμογεννήτριες και συστημάτων αφαλάτωσης με συμπίεση ατμού.

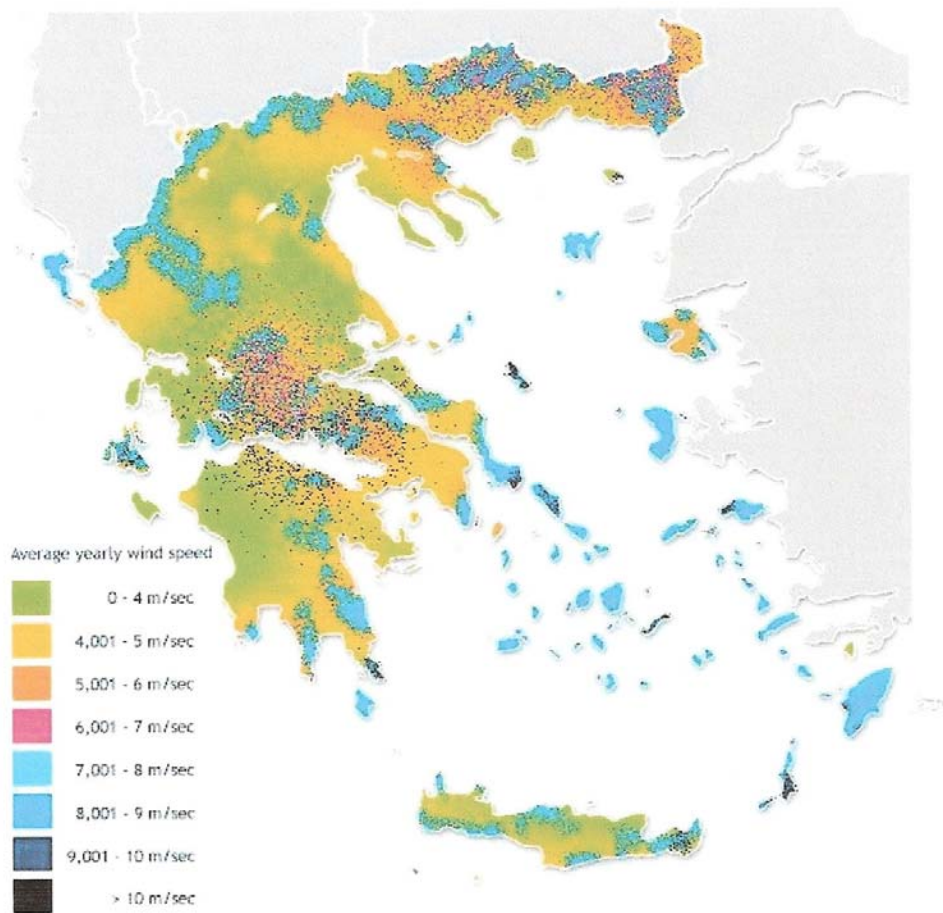


Εικόνα 6.3 Κινητή μονάδα αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί αιολική ενέργεια.

Μία εντελώς νέα εξέλιξη στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας έγινε στην Ιαπωνία με την κατασκευή από την εταιρεία ZENA Systems ενός αιολικού εξαγωνικού πύργου ύψους 50 μέτρων ο οποίος είναι ικανός να εκμεταλλεύεται την ενέργεια των ανέμων ανεξάρτητα από κατεύθυνση. Ο αέρας συμπιέζεται και μέσω τουρμπίνων η ενέργειά του μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Ο πύργος αυτός επιτυγχάνει μέγιστη εισροή αέρα σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται προορίζεται εκτός των άλλων χρήσεων και για εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Αυτός ο σταθμός εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καταλαμβάνει συνολική έκταση 13000m^2 και φαίνεται στην εικόνα 6.4



Εικόνα 6.4 Ο αιολικός πύργος της ZENA Systems στην Ιαπωνία.

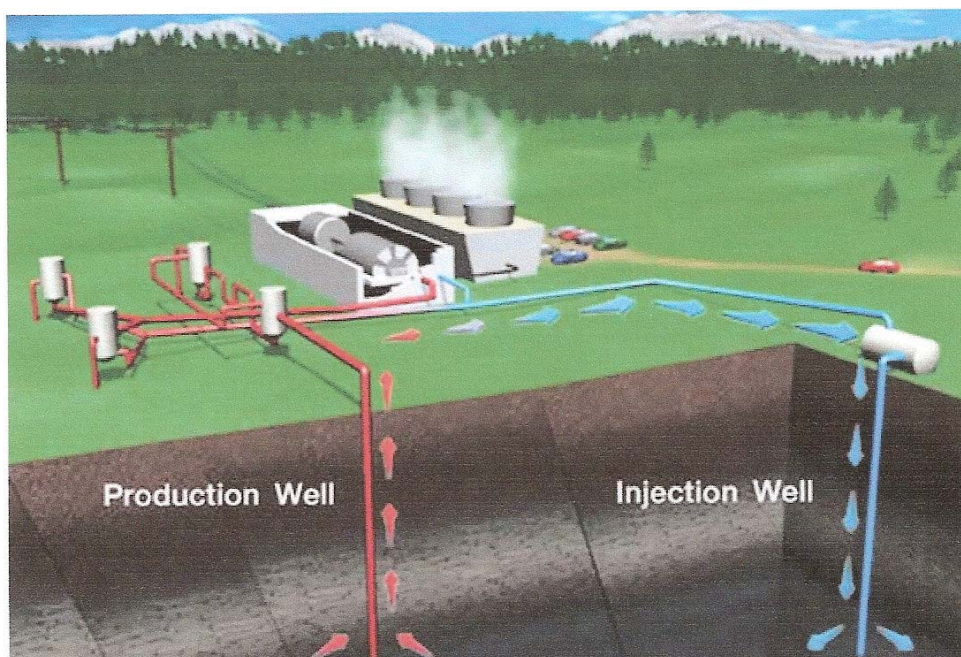


Σχήμα 6.4 Χάρτης του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας.

Η Ελλάδα είναι μία χώρα με πολύ σημαντικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό ειδικά στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές. Σύμφωνα με σχετικές εκτιμήσεις η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού θα μπορούσε να καλύψει το 14% του συνόλου των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια. Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται η κατανομή του αιολικού δυναμικού της χώρας.

6.4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι το σύνολο της θερμικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στα ρευστά στον εξωτερικό φλοιό της Γης. Η θερμοκρασία των ρευστών του φλοιού της γης αλλάζει τόσο με την αύξηση του βάθους όσο και από πηγή σε πηγή, στο ίδιο βάθος, αλλά σε διαφορετική περιοχή. Η μέση τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας είναι περίπου $33\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Km}$. Αποδείξεις της ύπαρξης γεωθερμικών ρευστών αποτελούν οι θερμοπίδακες, οι θερμές πηγές και οι υδροθερμικοί κρατήρες. Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60°C .



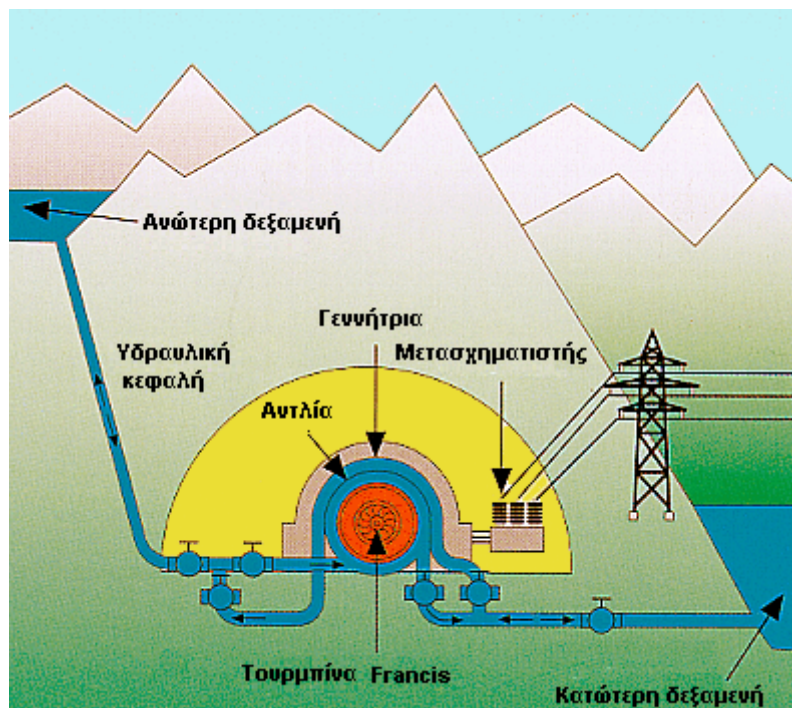
Εικόνα 6.5 Τυπική γεωθερμική εγκατάσταση.

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι γενικά οικονομικότερη από τη χρήση της ηλιακής ή της αιολικής ενέργειας. Η γεωθερμία μπορεί να συνδυαστεί με συστήματα αφαλάτωσης με τους ακόλουθους τρόπους:

- Εάν η γεωθερμική πηγή περιέχει στην μεγαλύτερη αναλογία ατμό υπό πίεση, ο ατμός μόλις συμπυκνωθεί, παράγει απευθείας αφαλατωμένο συμπύκνωμα.
- Εάν η γεωθερμική πηγή παράγει μείγμα νερού και ατμού, τότε αρχικά εκτονώνεται κατάλληλα για την παραγωγή ατμού και στη συνέχεια ο υδρατμός διοχετεύεται σε αμοστρόβιλο και η θερμή άλμη διοχετεύεται στους εξατμιστήρες της αφαλάτωσης.
- Εάν η γεωθερμική πηγή παράγει μείγμα στο οποίο το υγρό βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία σε σχέση με τον ατμό, το μείγμα διοχετεύεται σε εξατμιστήρες πολλαπλών εκτονώσεων.

6.5 ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΕΙΣ

Η ενέργεια των υδατοπτώσεων αφορά τη δυναμική ενέργεια του νερού. Καθώς το νερό πέφτει από υψηλότερη σε χαμηλότερη θέση η δυναμική ενέργεια που χάνει είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί και να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση εγκαταστάσεων αφαλάτωσης.



Σχήμα 6.4 Τυπική διάταξη ενός υδροηλεκτρικού έργου

Τα πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι αρκετά και σημαντικά:

- Η λειτουργία τους κρίνεται αξιόπιστη.

- Το κόστος λειτουργίας τους δεν είναι μεγάλο.
- Το κόστος συντήρησης τους είναι μικρό, δεδομένου ότι πρόκειται για απλές σχετικά εγκαταστάσεις.
- Το κόστος παραγωγής είναι πολύ μικρό και μεταβάλλεται ελάχιστα

6.6 ΒΙΟΜΑΖΑ-ΚΑΥΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Η θερμική και χημική ενέργεια της βιομάζας συνδέεται με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών, αγροτικών (φυτικών και ζωικών), και αστικών αποβλήτων. Υλικά φυτικής και ζωικής προέλευσης αντιμετωπίζονται ως ενεργειακοί πόροι. Η χρήση της βιομάζας αποτελεί λύση όχι μόνο για το ενεργειακό ζήτημα, αλλά και για αυτό της προστασίας του περιβάλλοντος. Εκμεταλλεύεται ουσιαστικά τα απορρίμματα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Η βιομάζα, γενικά, δεν αποτελεί ουσιαστική πηγή ενέργειας για την αφαλάτωση, επειδή η ίδια η βιομάζα χρειάζεται νερό για την παραγωγή της. Αντίθετα, η καύση των αστικών απορριμμάτων μπορεί να χρησιμεύσει σε μια κατοικημένη περιοχή, εφόσον παρέχει ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας με την μορφή καυσαερίων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού. Στη συνέχεια, η ενέργεια αυτή διοχετεύεται στη μονάδα αφαλάτωσης, η οποία μπορεί να λειτουργεί είτε με εξάτμιση είτε με αντίστροφη ώσμωση.

Έχουν γίνει διάφορες μελέτες για την πρακτική εφαρμογή της καύσης των σκουπιδιών για μεγάλες εγκαταστάσεις, όπως π.χ. για την πόλη Σαν Ντιέγκο στην Καλιφόρνια, όπου έχει υπολογιστεί ότι η παραγωγή ατμού, αν και χαμηλού θερμικού φορτίου, θα ήταν αρκετή για την παραγωγή 120000 m³/ημέρα αφαλατωμένου νερού με κόστος μόλις 0.1 €/m³. Όμως μέχρι σήμερα, τέτοιες μελέτες έχουν βρει εφαρμογή μόνο σε μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις με μικρές παροχές.

6.7 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΩΚΕΑΝΟΥΣ

Από το 1980 άρχισε να ερευνάται και η μέθοδος αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας των ωκεανών (Ocean Thermal Energy Conversion-O.T.E.C.) ιδιαίτερα στους ωκεανούς των τροπικών περιοχών. Οι ωκεανοί αποτελούν μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας η οποία είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί με χρήση του θερμοδυναμικού κύκλου Rankine. Επειδή η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ του νερού της επιφάνειας και του νερού που βρίσκεται σε βάθος 500 έως 1000 m μπορεί να φτάσει τους

27°C, η διαφορά αυτή είναι κατάλληλη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και αφαλατωμένου νερού. Η ενέργεια των ωκεανών είναι πιθανόν να είναι η καταλληλότερη για τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης, όμως δεν έχει αποδειχθεί υπό ποιες συνθήκες και σε ποιες περιοχές. Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι η εκμετάλλευση της παρουσιάζει μεγάλο κόστος επένδυσης και λειτουργίας

Επίσης, ερευνάται η τεχνολογία εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας των κυμάτων και των παλιρροϊκών φαινομένων.

7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι μονάδες αφαλάτωσης παρουσιάζουν αρκετά σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό τους. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης εντοπίζονται κυρίως στα παρακάτω σημεία:

- Επιπτώσεις από την άντληση του νερού τροφοδοσίας.
- Επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας
- Επιπτώσεις από την απόρριψη της άλμης

Επίσης, δευτερεύουσας σημασίας επιπτώσεις έχουμε την ηχορύπανση λόγω του θορύβου λειτουργίας των αντλιών υψηλής πίεσης και την μόλυνση που προκύπτει από τον καθαρισμό των μεμβρανών στις μεθόδους που τις χρησιμοποιούν. Επιπλέον για τη δημιουργία των μονάδων αφαλάτωσης δεσμεύονται μεγάλες παράκτιες εκτάσεις με αποτέλεσμα την τουριστική υποβάθμιση και την αισθητική ρύπανση των περιοχών στις οποίες αυτές εγκαθίστανται. Οποσδήποτε, είναι επιβεβλημένη η εγκατάσταση των μονάδων αφαλάτωσης μακριά από αρχαιολογικούς χώρους και τουριστικά θέρετρα, καθόσον για μια μονάδα με παραγωγή 5.000 -10.000 m³/ ημέρα απαιτείται έκταση 10.000 m².

Δυστυχώς δεν έχει γίνει ακόμη σε διεθνές επίπεδο μία συνολική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment, EIA) των μονάδων αφαλάτωσης. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η μέθοδος της Αντίστροφης Όσμωσης είναι η λιγότερο ενεργοβόρος και ρυπαίνουσα από τις λοιπές καθιερωμένες μεθόδους.

7.2 ΑΝΤΛΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Στο στάδιο της τροφοδοσίας (άντληση θαλασσινού νερού) σημειώνεται θνησιμότητα μικρών οργανισμών, όπως μικρά ψάρια, πλαγκτόν, αυγά ψαριών, αλλά και μεγαλύτερων θαλάσσιων ειδών, λόγω απορρόφησης ή πρόσκρουσης τους στον αγωγό εισροής. Η απορρόφηση μικρών και μεγάλων οργανισμών μπορεί να μειωθεί με κατάλληλη μείωση της ταχύτητας του νερού στον αγωγό τροφοδοσίας. Ακόμη, η απορρόφηση πλαγκτόν και αυγών μπορεί να μειωθεί επιπλέον

τοποθετώντας τον αγωγό τροφοδοσίας μακριά από τις παραγωγικές περιοχές π.χ. σε μεγάλο σχετικά βάθος.

7.3 ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η χρήση συμβατικών καυσίμων παράγει αέριους ρύπους προς το περιβάλλον όπως CO, CO₂, SO₂ και NO_x, καθώς και στερεά σωματίδια. Σύμφωνα με την Συνθήκη του Κιότο υπάρχει δέσμευση μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 5% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2008-2012. Στο πλαίσιο λοιπόν της προστασίας του περιβάλλοντος, εντάσσεται ο συνδυασμός των ενεργειακών καταναλώσεων των μονάδων αφαλάτωσης με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Πίνακας 5.1 Τιμές των εκπεμπόμενων ρύπων για τις σημαντικότερες τεχνικές αφαλάτωσης

Τεχνική Αφαλάτωσης	CO ₂ (Kg/m ³ νερού)	NO _x (g/m ³ νερού)	SO _x (g/m ³ νερού)	Σκόνη (g/m ³ νερού)
Αντίστροφη Ωσμωση (RO)	1.78	3.87	10.68	2.07
Πολυβάθμια Εξάτμιση (MED)	18.05	21.41	26.48	1.02
Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF)	23.41	28.3	27.91	2.04

7.4 ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΑΛΜΗΣ

Το συμπύκνωμα της πυκνής άλμης επιστρέφει στη θάλασσα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αλατότητα του νερού σε αρκετή απόσταση από το σημείο εξόδου και να επηρεάζεται το θαλάσσιο οικοσύστημα. Επομένως απαιτείται πολύ προσεκτική μελέτη, ανάλογα με την περιοχή, που αφορά στη θέση του σημείου απόρριψης της άλμης. Επιπλέον, το αντλούμενο νερό προχλωριώνεται για την προστασία των μεμβρανών, το κόστος των οποίων είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Κατά συνέπεια τα αποπλύματα των μεμβρανών καταλήγουν στη θάλασσα μαζί με το

συμπύκνωμα της άλμης, επιβαρύνοντας περισσότερο το θαλάσσιο οικοσύστημα. Επομένως η απόρριψη της άλμης στη θάλασσα, συνήθως χωρίς περιοριστικά μέτρα, επηρεάζει την ισορροπία των οικοσυστημάτων και των θαλάσσιων ειδών και καταστρέφει την θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα. Για την απόρριψη της άλμης πρέπει να γίνει μελέτη βυθομέτρησης, μελέτη ανάγλυφου βυθού και μελέτη των κυμάτων. Κάποιες φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλιακή λίμνη, με σκοπό την εξάτμιση του νερού και την παραγωγή αλατιού από την άλμη.

Στις μικρές μονάδες αφαλάτωσης και σε περιοχές με θαλάσσια ρεύματα οι επιπτώσεις δεν είναι πολύ σημαντικές αλλά σε μεγαλύτερες μονάδες, που λειτουργούν εδώ και χρόνια σε χώρες της Μέσης Ανατολής, παρατηρήθηκε καταστροφή της θαλάσσιας πανίδας και χλωρίδα σε ακτίνα αρκετών χιλιομέτρων από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης.

Εκτός από την αλατότητα, προβλήματα δημιουργούνται και από την αύξηση της θερμοκρασίας της άλμης κατά περίπου 3-4 °C στην αντίστροφη όσμωση έναντι 10-15 °C στις θερμικές μεθόδους.

Επιπλέον, στο στάδιο της προεπεξεργασίας αλλά και της τελικής επεξεργασίας χρησιμοποιούνται διάφορα χημικά (χλώριο,θειικό οξύ, ασβέστιο, διοξείδιο του άνθρακα, κ.τ.λ.) τα οποία και αυτά καταλήγουν στη θάλασσα. Η προσθήκη οξέων αλλάζει το pH του θαλασσινού νερού και απαιτείται μεγάλος χρόνος για αφομοίωση από το περιβάλλον με αρνητικές επιδράσεις στους οργανισμούς. Στους εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται κράματα χαλκού-νικελίου με αποτέλεσμα να παρατηρούνται συγκεντρώσεις (όχι πολύ σημαντικές) βαρέων μετάλλων που δεσμεύονται στα ιζήματα

Λόγω των ιδιοτήτων του Ελληνικού νησιωτικού χώρου (υψηλής ποιότητας αλλά οικολογικά ευαίσθητο θαλάσσιο περιβάλλον, περιοχές εξαιρετικού κάλλους, κ.τ.λ.) απαιτείται συστηματική παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της αφαλάτωσης. Η μελέτη των θαλασσίων ρευμάτων και της διασποράς της άλμης στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι απαραίτητη για τη σωστή επιλογή των τόπων εγκατάστασης καταρχήν των μονάδων αφαλάτωσης και στη συνέχεια των αγωγών απόρριψης.

8. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το κόστος των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Κόστος αρχικής επένδυσης
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Και τα δύο παραπάνω κόστη μαζί καθορίζουν το τελικό κόστος του παραγόμενου φρέσκου νερού. Όπως είναι φυσικό το κόστος του παραγόμενου νερού εξαρτάται, ανάμεσα στ' άλλα, πολύ ισχυρά από τη μέθοδο αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται.

8.2 ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Το κόστος της αρχικής επένδυσης περιλαμβάνει το κόστος μελέτης, κατασκευής, προμηθειών, δανειοδότησης, το κόστος για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης. Βέβαια, από όλα αυτά τα προαναφερόμενα κόστη, μεγαλύτερο είναι εκείνο της κατασκευής της εγκατάστασης αφαλάτωσης.

Το κόστος κατασκευής της μονάδας αποτελεί ένα ποσοστό 50-80% του αρχικού κόστους επένδυσης και περιλαμβάνει τα κόστη προμήθειας, κατασκευής και εγκατάστασης των συστημάτων αφαλάτωσης και των συστημάτων επεξεργασίας του νερού, πριν και μετά την αφαλάτωση. Το υπόλοιπο ποσοστό, δηλαδή το 20-50% αναφέρεται στα διαδικαστικά κόστη μελέτης, σχεδιασμού, αδειοδότησης και δανείων της εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα του νερού τροφοδοσίας τόσο αυξάνεται το αρχικό κόστος κατασκευής της μονάδας.

Οποσδήποτε θα πρέπει οι μονάδες να κτίζονται σε περιοχές μη κατοικημένες, που δεν χρησιμοποιούνται για ψυχαγωγία. Επίσης θα ήταν σκόπιμο οι μονάδες να βρίσκονται κοντά σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, έτσι ώστε να αποφεύγεται το οικονομικό αλλά και το περιβαλλοντικό κόστος από την μεταφορά της ενέργειας. Σημαντική παράμετρος επίσης είναι η εύκολη πρόσβαση του σταθμού στο δίκτυο διανομής του νερού για κατανάλωση ώστε να αποφευχθεί το κόστος της

μεταφοράς καθώς και το κόστος των εγκαταστάσεων που θα πρέπει να κατασκευαστούν για την μεταφορά του νερού.

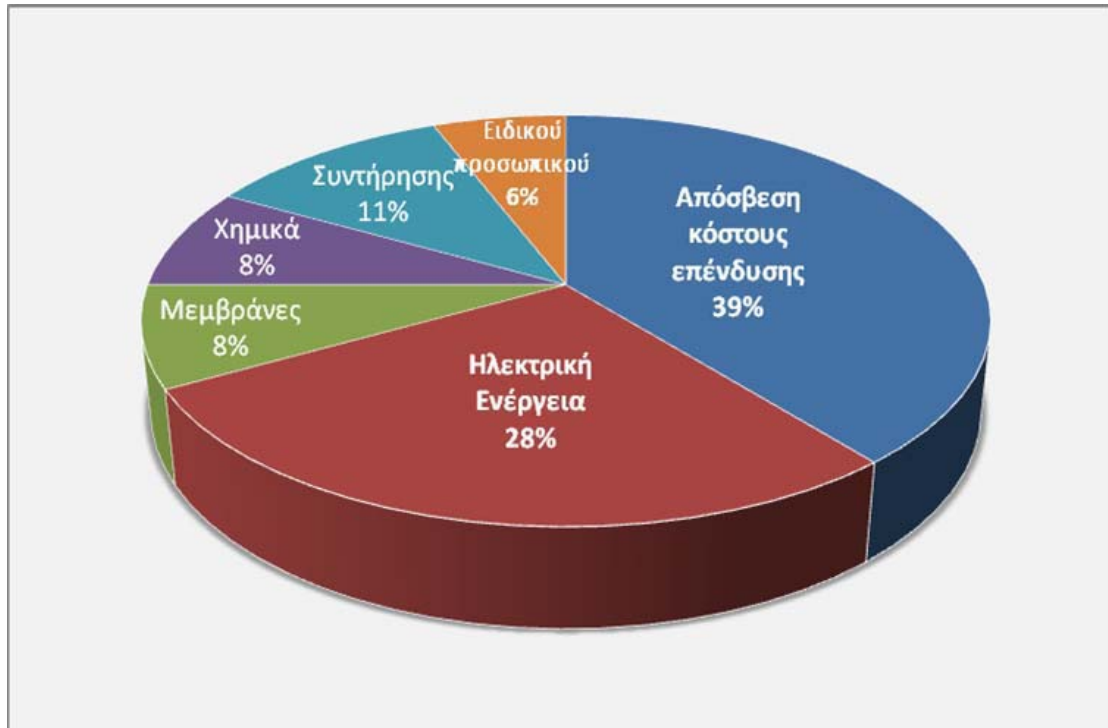
Στον πίνακα 8.1 φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας και το κόστος εγκατάστασης ως προς την ημερήσια δυνατότητα παραγωγής για τις σημαντικότερες μεθόδους αφαλάτωσης.

Πίνακας 8.1 Κατανάλωση ενέργειας και κόστος εγκατάστασης για τις κυριότερες μεθόδους αφαλάτωσης

Μέθοδος	Νερό τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Κατανάλωση ενέργειας (KWh/m ³)	Κόστος Εγκατάστασης €/ (m ³ /ημέρα)
MSF	θαλασσινό	Θερμική	4-6	1000-2000
MED	θαλασσινό	θερμική	2.5-3	850-1750
VC	θαλασσινό	ηλεκτρική	8-15	1000-2350
RO	θαλασσινό	ηλεκτρική	<5 <3 με ανάκτηση ενέργειας	650-4400
RO	Υφάλμυρο	ηλεκτρική	0.5-3	300-2000
ED	υφάλμυρο	ηλεκτρική	1.5-4	1000-5000

8.3 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αναφέρεται στις ενεργειακές δαπάνες που απαιτεί η εγκατάσταση, το κόστος του εργατοτεχνικού προσωπικού, αναλώσιμα, ανταλλακτικά κ.τ.λ. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από το σταθερό και το μεταβλητό κόστος. Το σταθερό κόστος αναφέρεται σε όλα τα κόστη που δεν εξαρτώνται από την ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού και είναι: τα εργατικά, η συντήρηση του εξοπλισμού, ο τεχνικός έλεγχος, τα κόστη για την περιβαλλοντική προστασία από την μονάδα αφαλάτωσης, τα κόστη ασφάλισης και διοίκησης, και συνήθως αποτελεί το 15-50% του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Η αυτοματοποίηση των διεργασιών που επιτρέπει η εισαγωγή νέων τεχνολογιών μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Το μεταβλητό κόστος εξαρτάται από την παραγόμενη ποσότητα νερού και αναφέρεται στην ενέργεια που καταναλώνεται, την απαιτούμενη χημική επεξεργασία, αντικατάσταση ανταλλακτικών που φθείρονται, απομάκρυνση άλμης κ.τ.λ. και αποτελεί το υπόλοιπο 50-85% του κόστους συντήρησης και λειτουργίας. Συχνά το ενεργειακό κόστος αγγίζει το 60% του μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

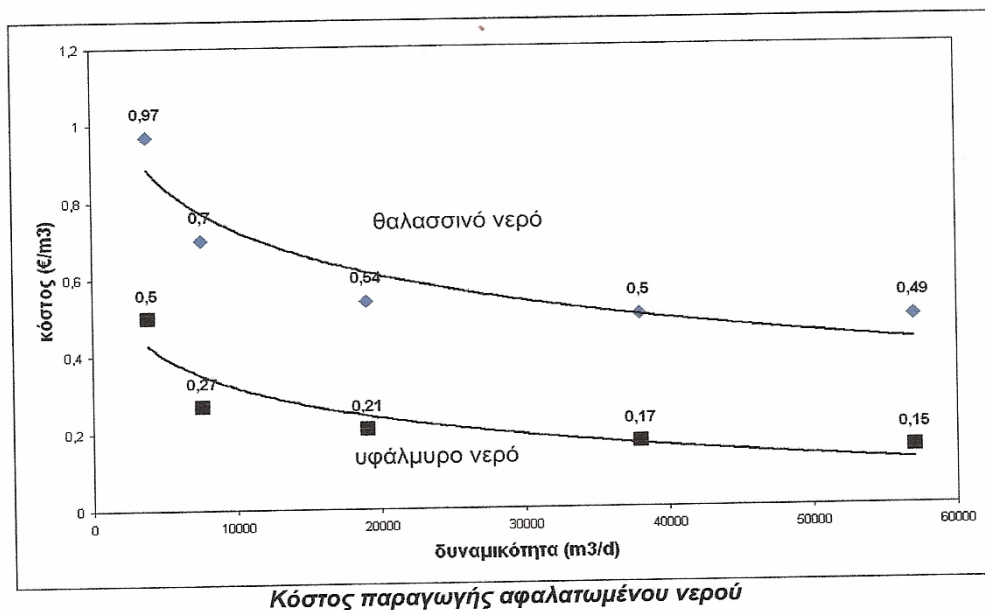


Σχήμα 8.1 Τυπική κατανομή των εξόδων μιας μονάδας αντίστροφης ώσμωσης.

8.4 ΚΟΣΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Είναι προφανές ότι για την οικονομική αξιολόγηση μιας μονάδας αφαλάτωσης υπολογίζεται το άθροισμα των κοστών που αναφέρθηκαν παραπάνω σε €/m³. Μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το κόστος παραγωγής του αφαλατωμένου νερού είναι το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης (οικονομία κλίμακας). Συγκριτικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι π.χ. μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με δυναμικότητα 5.000 m³/ημέρα έχει κόστος παραγόμενου νερού κατά μέσο όρο 1,5€/m³ ενώ όταν η δυναμικότητα αυξηθεί σε 20.000 m³/ημέρα το κόστος μειώνεται σε 0,75€/m³ κατά μέσο όρο και για πολύ μικρή μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας 10 m³/ημέρα το κόστος μπορεί να φτάσει και τα 5€/m³. Θα πρέπει βέβαια να εξετάζεται σε κάθε περίπτωση και το κόστος επένδυσης ανά μονάδα προϊόντος.

Στο σχήμα 8.2 φαίνεται η εξάρτηση του κόστους του παραγόμενου νερού συναρτήσει της δυναμικότητας για τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Στο σχήμα φαίνονται οι κατώτερες τιμές κόστους που έχουν προκύψει από συγκριτικά στοιχεία διαφόρων μονάδων αντίστροφης ώσμωσης.



Σχήμα 8.2 Εξάρτηση του κόστους του παραγόμενου νερού από τη δυναμικότητα της μονάδας στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης.

Η διατιθέμενη ενέργεια και η τιμή της είναι από τους σημαντικούς παράγοντες που καθορίζουν το τελικό κόστος παραγωγής νερού. Θα πρέπει να εξετασθεί η δυνατότητα εγκατάστασης συστήματος ανάκτησης ενέργειας όπου αυτό είναι δυνατό.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος του παραγόμενου νερού, κυρίως από μονάδα αντίστροφης ώσμωσης είναι η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, δηλαδή η αλατότητα, η θερμοκρασία, η θολότητα, η ύπαρξη οργανικής ουσίας, η ύπαρξη χημικών στοιχείων όπως το πυρίτιο, μαγνήσιο και το κάλιο. Στις τεχνολογίες αντίστροφης ώσμωσης και ηλεκτροδιάλυσης όσο χαμηλότερη η συγκέντρωση TDS στο νερό τροφοδοσίας, τόσο χαμηλότερη είναι η κατανάλωση ενέργειας και τόσο λιγότερες χημικές ουσίες είναι απαραίτητες για την προεπεξεργασία. Όσον αφορά στις θερμικές μεθόδους το TDS του νερού τροφοδοσίας πρακτικά δεν επηρεάζει το κόστος του παραγόμενου νερού. Η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά μειώνει το κόστος παραγωγής αλλά καταστρέφει τις συστοιχίες των μεμβρανών. Τέλος, οι χημικές ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό τροφοδοσίας αυξάνουν το κόστος της επεξεργασίας που πρέπει να προηγηθεί.

Σημαντικό ρόλο παίζει και η ποιότητα του προς χρήση νερού. Η απαιτούμενη υψηλή ποιότητα του πόσιμου νερού αυξάνει σημαντικά το συνολικό κόστος της μονάδας. Ο τρόπος διαχείρισης της άλμης επίσης επηρεάζει το κόστος, με την απόρριψη της άλμης στην θάλασσα να είναι η πιο φθηνή λύση ενώ άλλη μέθοδος όπως π.χ. η χρήση ηλιακής λίμνης αυξάνει σε μεγάλο βαθμό το κόστος του νερού.

Τέλος, το κόστος του παραγόμενου νερού καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο αφαλάτωσης. Κάθε μέθοδος έχει διαφορετικό κόστος παραγωγής νερού σε συνδυασμό με τους παράγοντες που ήδη αναφέρθηκαν. Δεν είναι δυνατή η σύγκριση του κόστους παραγωγής απλά εξετάζοντας τις διάφορες μεθόδους. Κάθε μέθοδος θα πρέπει να εξετασθεί στο συγκεκριμένο τόπο και για τη συγκεκριμένη δυναμικότητα και να αξιολογηθεί σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Για παράδειγμα η ηλιακή εξάτμιση δεν θα πρέπει να επιλεγεί σε μία περιοχή με μικρή ηλιοφάνεια ενώ ενδεχομένως η επιλογή της να συμφέρει σε μία περιοχή με μεγάλη ηλιοφάνεια. Έτσι, για κάθε μέθοδο θα πρέπει να αξιολογηθούν οι παρακάτω παράγοντες:

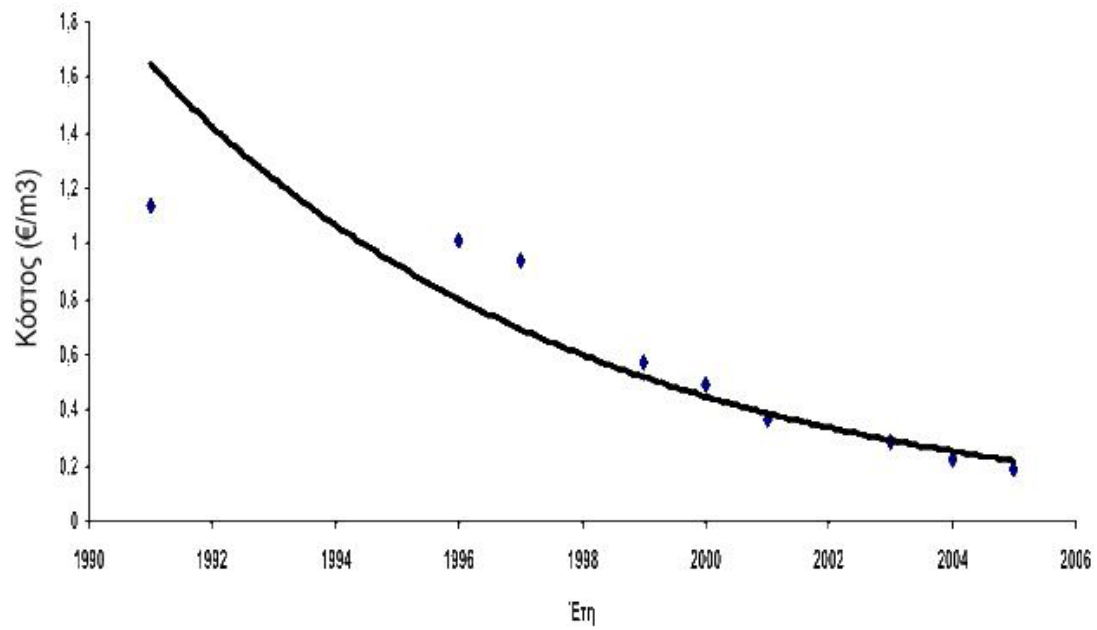
- Το κόστος επένδυσης και η οικονομική διάρκεια ζωής της μονάδας.
- Η δυναμικότητα της μονάδας.
- Το κόστος λειτουργίας.
- Η ύπαρξη ανταλλακτικών.
- Η ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού.
- Η συχνότητα και το κόστος συντήρησης.
- Η διάρκεια της αξιόπιστης λειτουργίας.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το κόστος του αφαλατωμένου νερού για τις σημαντικότερες μεθόδους αφαλάτωσης με παράμετρο τη δυναμικότητα της αντίστοιχης μονάδας. Τα στοιχεία έχουν προκύψει από διάφορες υφιστάμενες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στην Ελλάδα και παγκοσμίως.

Πίνακας 8.2 Κόστος παραγόμενου νερού για τις κυριότερες μονάδες αφαλάτωσης με θαλασσινό νερό τροφοδοσίας

Μέθοδος αφαλάτωσης	Δυναμικότητα (m ³ /ημέρα)	Κόστος νερού (€/m ³)
MED	<100	2-8
	12000-55000	0.76-1.56
	>91000	0.42-0.81
MSF	23000-528000	0.42-1.40
VC	1000-1200	1.61-2.13
RO	<100	1.2-1.5
	250-4800	0.56-3.14
	15000-320000	0.36-0.53

Να σημειωθεί ότι το κόστος του παραγόμενου νερού μειώνεται συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων και γενικά της ωρίμανσης των τεχνικών αφαλάτωσης.



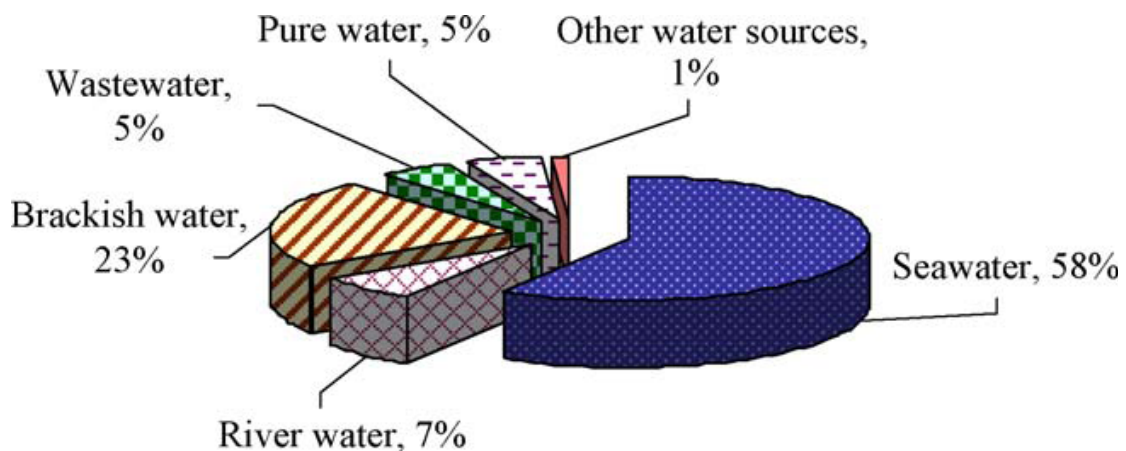
Σχήμα 8.3 Χρονική εξέλιξη του ελάχιστου κόστους του αφαλατωμένου νερού ανεξάρτητα από τη μέθοδο αφαλάτωσης.

9. Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ

9.1 Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΕ ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ

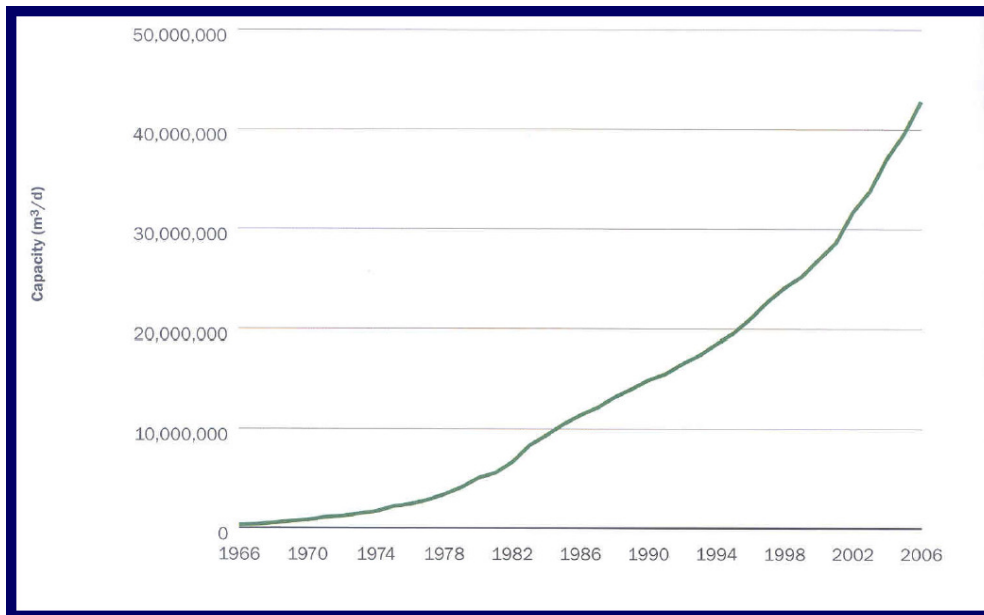
Η χρήση μονάδων αφαλάτωσης για την παραγωγή καθαρού νερού (πόσιμου ή αποσταγμένου) από υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό είναι ίσως η πιο αξιόπιστη λύση στην ουσιαστική αντιμετώπιση της λειψυδρίας. Ηδη αρκετές χώρες της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής, όπως η Ισπανία, η Μάλτα και η Σαουδική Αραβία καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών τους σε νερό με τη χρήση συστημάτων αφαλάτωσης. Επιπλέον, χώρες όπως η Ινδία και η Κίνα που χαρακτηρίζονται από συνεχή πληθυσμιακή αύξηση και ραγδαία αναπτυσσόμενη βιομηχανία, έχουν ξεκινήσει να επενδύουν δυναμικά σε μονάδες αφαλάτωσης για τη παραγωγή καθαρού νερού.

Σήμερα το αφαλατωμένο νερό αποτελεί το $\frac{1}{1000}$ του γλυκού νερού που χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Η συνολική παραγωγή αφαλατωμένου νερού είναι 25.9 εκατομμύρια m^3 /ημέρα ενώ λειτουργούν περίπου 13600 μονάδες αφαλάτωσης. Πάρα πολλές μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν στον Περσικό κόλπο με συνολική δυναμικότητα το 45% της παγκόσμιας δυναμικότητας ενώ αλλά πολύ σημαντικά κέντρα δραστηριότητας μονάδων αφαλάτωσης είναι η Μεσόγειος θάλασσα, η Ερυθρά θάλασσα, η Καλιφόρνια, η Κίνα και η Αυστραλία.

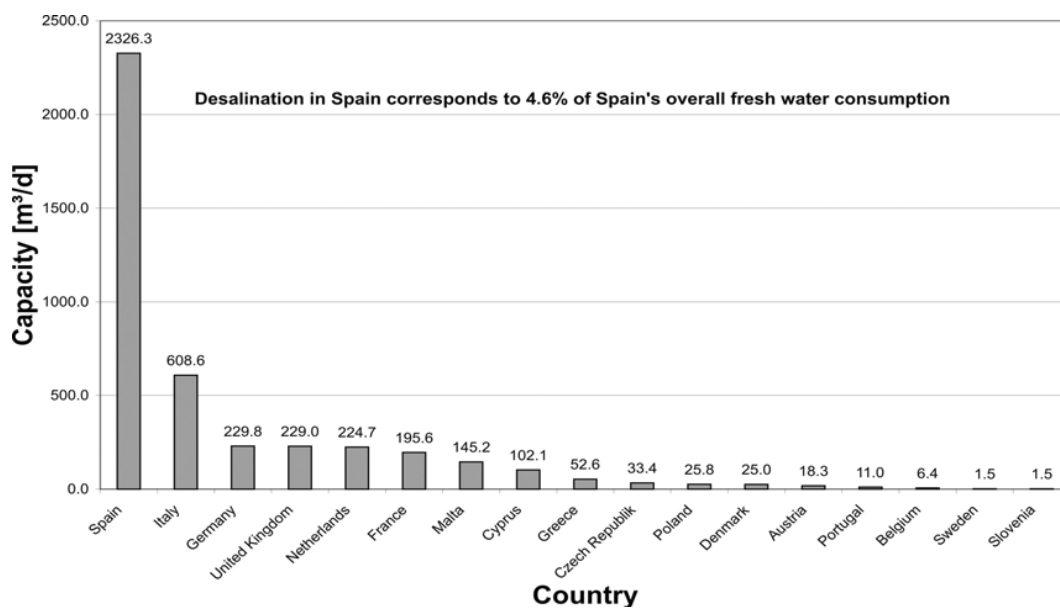


Σχήμα 9.1 Κατανομή των παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης με βάση το νερό τροφοδοσίας.

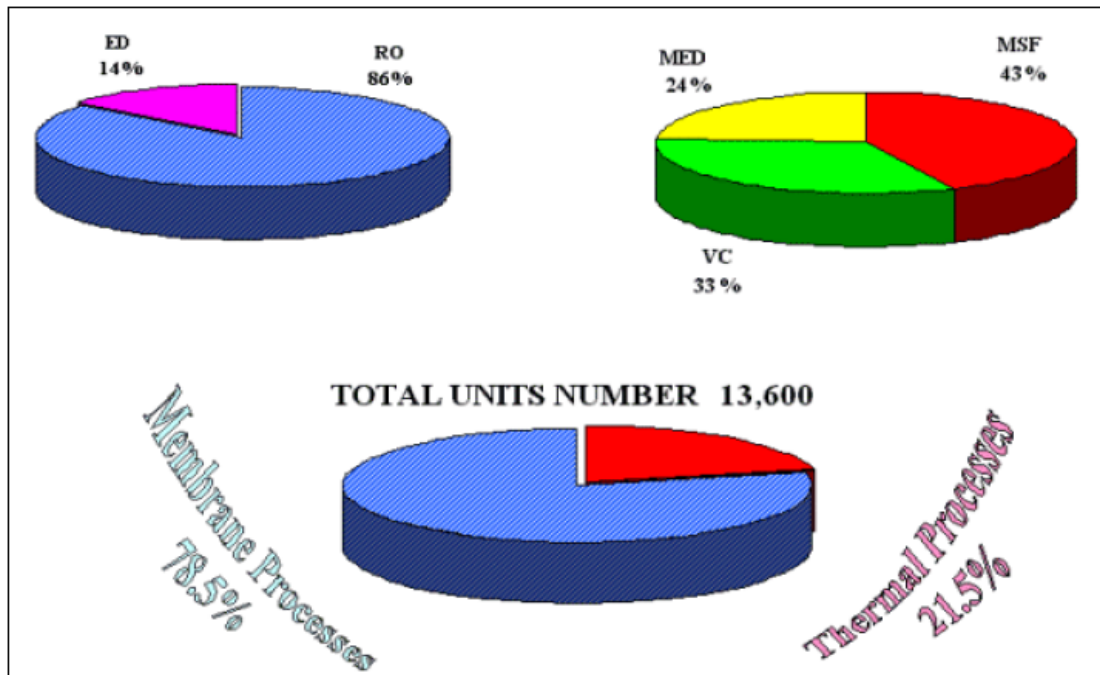
Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα το μεγαλύτερο ποσοστό των μονάδων αφαλάτωσης λειτουργεί με θαλασσινό νερό και ακολουθεί το υφάλμυρο ενώ η συνολική δυναμικότητα των μονάδων ακολουθεί μια σαφώς ανοδική πορεία τα τελευταία χρόνια όπως φαίνεται στο σχήμα 9.2. Έκθεση της Global Water Intelligence προβλέπει αύξηση μεγαλύτερη του 100% στη χρήση αφαλατωμένου νερού παγκοσμίως, μέσα στα επόμενα χρόνια.



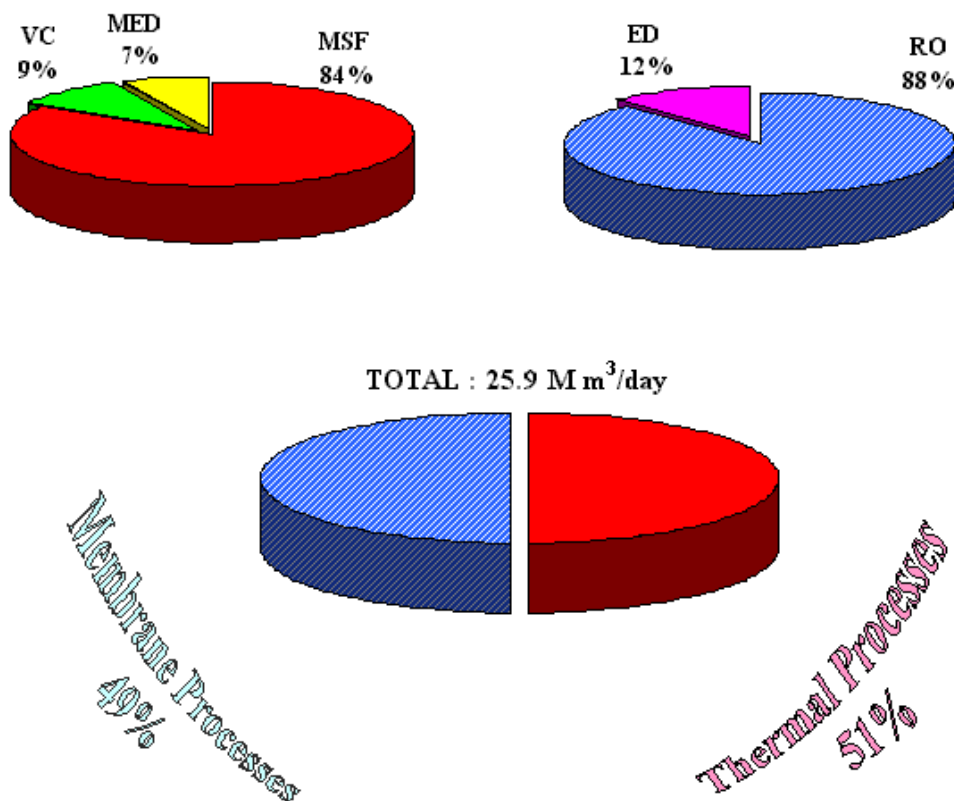
Σχήμα 9.2 Χρονική εξέλιξη της δυναμικότητας των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης διεθνώς.



Σχήμα 9.3 Δυναμικότητα των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης στις Ευρωπαϊκές χώρες.



Σχήμα 9.4 Ποσοστά των μονάδων αφαλάτωσης παγκοσμίως που χρησιμοποιούν μεθόδους μεμβρανών και θερμικές μεθόδους.

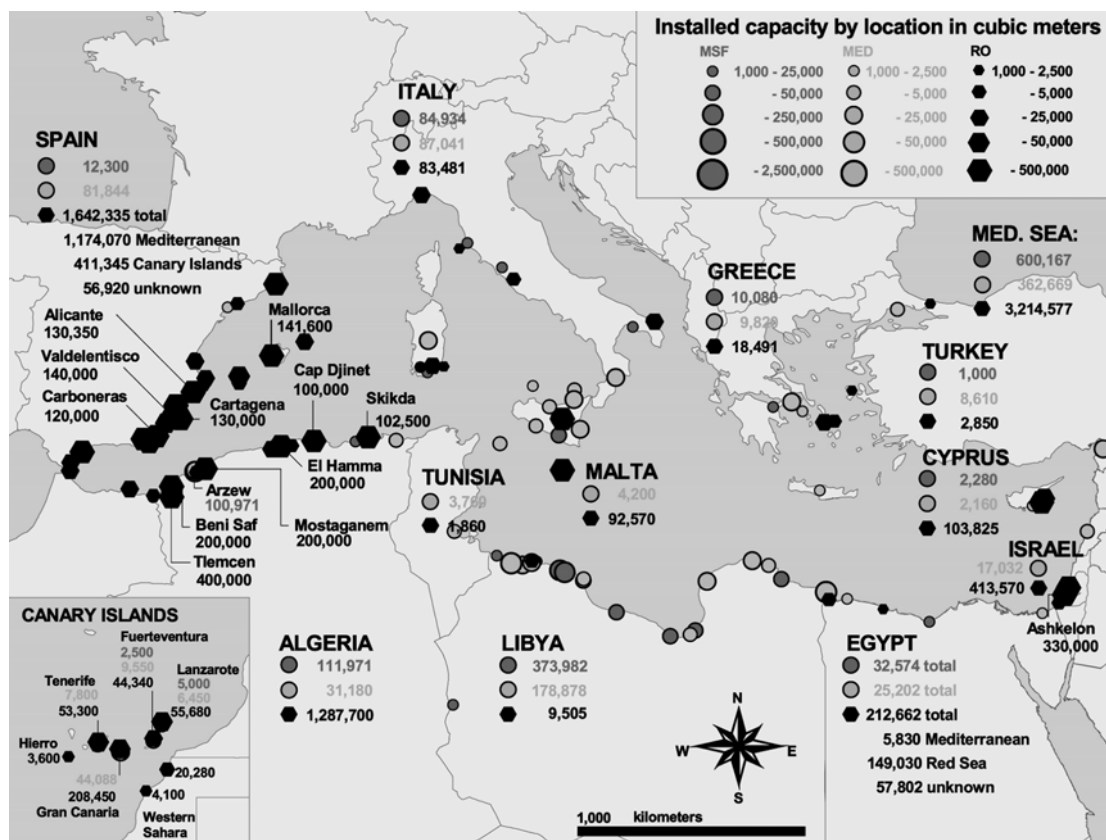


Σχήμα 9.5 Ποσοστά της συνολικής δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης παγκοσμίως που χρησιμοποιούν μεθόδους μεμβρανών και θερμικές μεθόδους.

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι στις μονάδες αφαλάτωσης παγκοσμίως είναι η αντίστροφη ώσμωση και η πολυβάθμια εκτόνωση όπως φαίνεται και στα παραπάνω σχήματα.



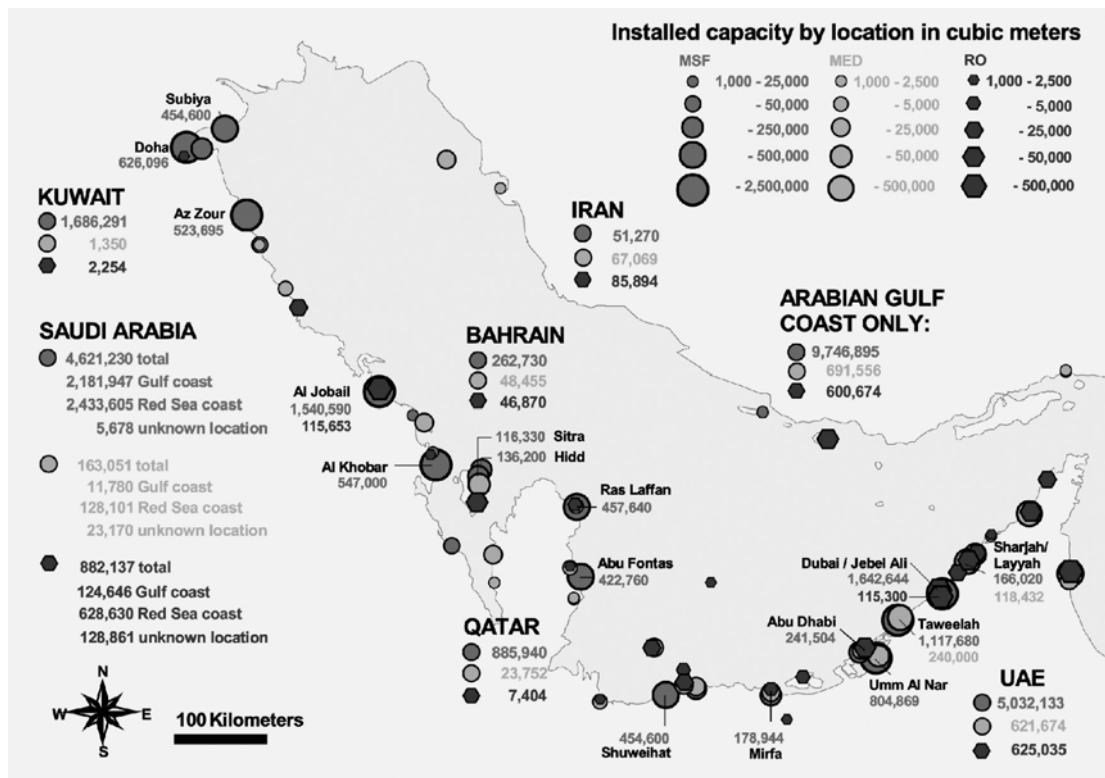
Εικόνα 9.1 Η μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση Ashkelon στο Ισραήλ.



Σχήμα 9.4 Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στη Μεσόγειο θάλασσα δυναμικότητας άνω 1000 m³/ημέρα.

Στην Ευρώπη κυριαρχεί η Ισπανία και ακολουθούν η Ιταλία, η Γερμανία και άλλες χώρες. Η Κύπρος παρά τον μικρό πληθυσμό της βρίσκεται στην όγδοη θέση από πλευράς συνολικής δυναμικότητας και η Ελλάδα στην ένατη. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης της Ευρώπης βρίσκεται σήμερα στην Καρθαγένη της Νότιας Ισπανίας. Χρησιμοποιεί την αντίστροφη ώσμωση και έχει δυναμικότητα 140000m³/ημέρα.

Οι εγκαταστάσεις που βρίσκονται στον Περσικό κόλπο κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούν τις θερμικές μεθόδους ενώ στις υπόλοιπες περιοχές κυριαρχεί η αντίστροφη ώσμωση. Στην Καλιφόρνια άρχισαν το 2009 να λειτουργούν δύο μονάδες αντίστροφης ώσμωσης με δυναμικότητα 200000m³/ημέρα η κάθε μία ενώ ο σχεδιασμός είναι να κατασκευαστούν μονάδες συνολικής δυναμικότητας δύο εκατομμυρίων m³/ημέρα έως το 2030. Η δυναμικότητα των μονάδων που βρίσκονται στην Κίνα φτάνει το ένα εκατομμύριο m³/ημέρα.



Σχήμα 9.7 Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στον Περσικό κόλπο δυναμικότητας άνω 1000 m³/ημέρα.



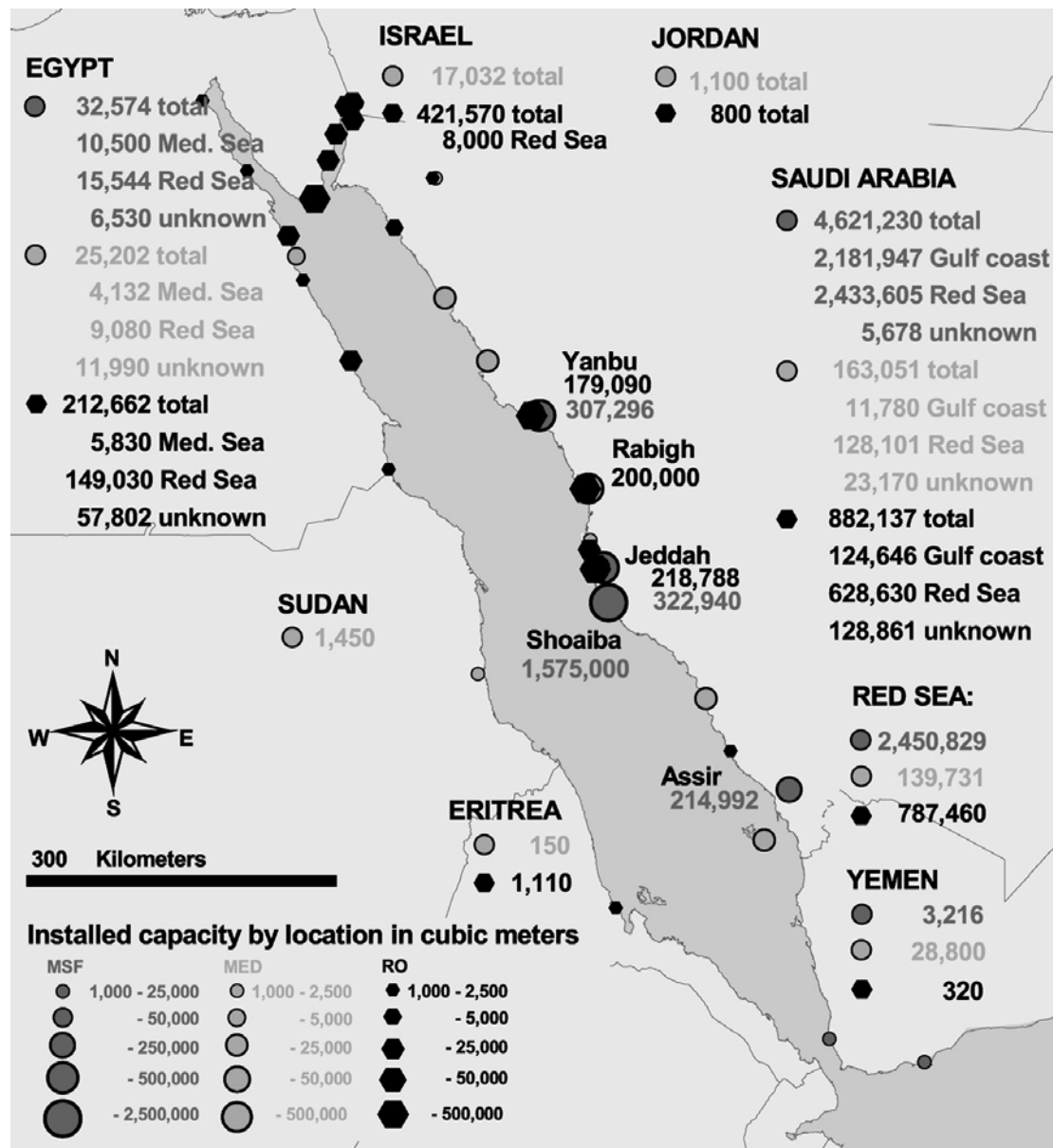
Εικόνα 9.2 Μονάδα αφαλάτωσης MSF στο Al Jubail της Σαουδικής Αραβίας.



Εικόνα 9.3 Εργοστάσιο αφαλάτωσης στο Περθ της Δυτικής Αυστραλίας.

Τον Νοέμβριο του 2006 έγινε η επίσημη έναρξη της λειτουργίας μιας πολύ σημαντικής εγκατάστασης αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη ώσμωση στην Δυτική Αυστραλία. Το εργοστάσιο βρίσκεται στην KWinana, 25 περίπου χιλιόμετρα νότια του Πέρθ, και έχει αρχική ημερήσια ικανότητα $140.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ με στόχο την επέκταση σε $250.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$, γεγονός που το καθιστά το μεγαλύτερο εργοστάσιο του είδους του στο νότιο ημισφαίριο και το μεγαλύτερο στον κόσμο που τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Καλύπτει το 17% των αναγκών του Πέρθ που συνιστά την μεγαλύτερη συνεισφορά στο ολοκληρωμένο σύστημα υδροδότησης της περιοχής, βοηθώντας στην εξυπηρέτηση 1.5 εκατομμυρίου ανθρώπων. Η ηλεκτρική ενέργεια για την

μονάδα αφαλάτωσης προέρχεται από το Αιολικό Πάρκο που αποτελείται από 48 ανεμογεννήτριες.



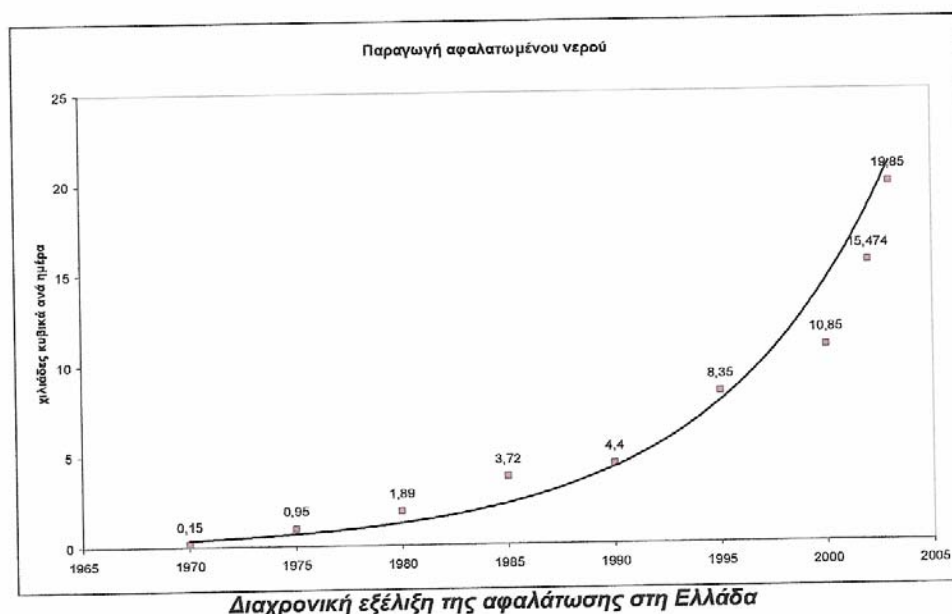
Σχήμα 9.8 Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στην Ερυθρά θάλασσα δυναμικότητας άνω 1000 m³/ημέρα.

Μία σημαντική εξέλιξη αποτελούν οι πλωτές μονάδες αφαλάτωσης. Στην περίπτωση αυτή το πλοίο-εργοστάσιο αγκυροβολείται σε μία απόσταση όχι μακριά από την ακτή στην οποία μεταφέρονται οι ποσότητες του πόσιμου νερού. Δύο τέτοιες πλωτές μονάδες έχουν κατασκευαστεί στη Γερμανία. Η μία, με δυναμικότητα 5000m³/ημέρα, είναι αγκυροβολημένη στη Βόρεια Θάλασσα και η άλλη, με δυναμικότητα 2500m³/ημέρα, στις ακτές του Αμπού Ντάμπι.

Σε χώρες που χρησιμοποιούν την πυρηνική ενέργεια όπως οι Η.Π.Α. και η Ιαπωνία, έχουν γίνει μελέτες για την παράλληλη εκμετάλλευση της παραγόμενης από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες θερμικής ενέργειας στην αφαλάτωση. Ο παραγόμενος ατμός στον πυρηνικό αντιδραστήρα αφού περάσει από έναν ατμοστρόβιλο οδηγείται σε σειρά αποστακτήρων για συμπύκνωση. Έχουν κατασκευαστεί αρκετές τέτοιες εγκαταστάσεις, ειδικά στις Η.Π.Α., οι οποίες εκτός της χρησιμότητάς τους παρουσιάζουν και ιδιαίτερο τεχνολογικό ενδιαφέρον ειδικά όσον αφορά τον τρόπο που γίνεται η μετατροπή του ατμού σε νερό στους αποστακτήρες.

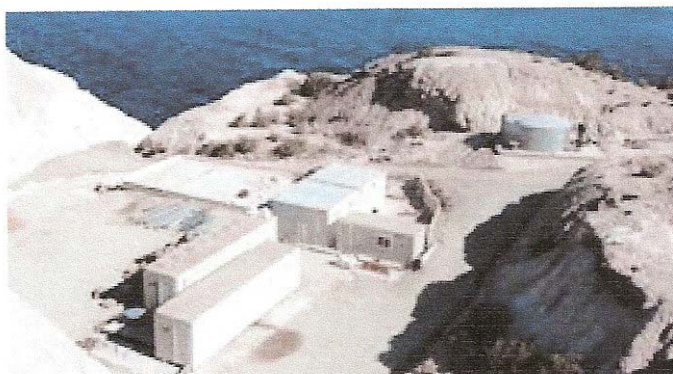
10.2 Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης στην Ελλάδα εγκαινιάστηκε στη Σύμη στις 10 Οκτωβρίου 1964. Σήμερα λειτουργούν 48 μονάδες αφαλάτωσης, όλες με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης και το κόστος του παραγόμενου νερού κυμαίνεται από 0.30 έως 2.70€/m³. Η συνολική δυναμικότητα είναι 23970m³/ημέρα ενώ οι δυναμικότητες των μονάδων αυτών κυμαίνονται από 100 έως 2000 m³/ημέρα. Οι περισσότερες μονάδες βρίσκονται στις Κυκλάδες και οι υπόλοιπες σε άλλα νησιά του Αιγαίου αλλά και του Ιονίου πελάγους.



Σχήμα 9.9 Χρονική εξέλιξη της δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα.

Οποσδήποτε είναι επιτακτική ανάγκη η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την τροφοδοσία με ενέργεια των μονάδων αφαλάτωσης δεδομένης της ηλιοφάνειας και του μεγάλου αιολικού δυναμικού της χώρας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης στη Μήλο η οποία λειτουργεί αποκλειστικά με αιολική ενέργεια και καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του νησιού ακόμα και τους καλοκαιρινούς μήνες. Η μονάδα αυτή εξασφαλίζει στους κατοίκους της Μήλου υψηλής ποιότητας πόσιμο νερό σε χαμηλή τιμή και με μηδενική επιβάρυνση στο περιβάλλον. Έχει δυναμικότητα 2240 m³/ημέρα και η ανεμογεννήτρια έχει ισχύ 600kW.



Εικόνα 9.4 Η μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στην «Υδριάδα», την πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στον κόσμο που λειτουργεί αποκλειστικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και είναι εξ' ολοκλήρου Ελληνικής μελέτης και κατασκευής. Η «Υδριάδα» βρίσκεται στην Ηρακλειά των Μικρών Ανατολικών Κυκλάδων ένα νησάκι που βρίσκεται κοντά στη Νάξο και έχει παραγωγή περίπου 70 m³/ημέρα, είναι ενεργειακά αυτόνομη, λόγω της ανεμογεννήτριας και των επικουρικών φωτοβολταϊκών που διαθέτει, ενώ τα έξοδα συντήρησης ανέρχονται σε μόλις 0.2 ευρώ ανά κυβικό μέτρο και ο έλεγχός της γίνεται εξ' αποστάσεως με σύστημα GPRS κινητής τηλεφωνίας. Η ομάδα που την κατασκεύασε ισχυρίζεται ότι θα ετοιμάσει άλλες τρεις πολύ μεγαλύτερες πλατφόρμες που θα παράγουν 200 κυβικά μέτρα την ημέρα η καθεμία και θα εγκατασταθούν σε νησιά του Αιγαίου. Η κατασκευή αυτή έχει το σοβαρό πλεονέκτημα ότι μπορεί να τοποθετηθεί σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, όπου ο άνεμος είναι ισχυρότερος, ενώ αντέχει σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, οπότε η παραγωγή πόσιμου νερού είναι συνεχής.



Εικόνα 9.5 Η Υδριάδα.

Κατασκευαστικά, αποτελείται από τέσσερις περιφερειακούς κυλινδρικούς πλωτήρες και έναν κεντρικό, συνδεδεμένους με μεταλλικό δικτύωμα, σε μια γεωμετρία που να ελαχιστοποιεί την επίδραση των κυμάτων. Στους τρεις ορόφους του κεντρικού πλωτήρα βρίσκονται όλα τα συστήματα. Στον ένα όροφο λειτουργεί η μονάδα αφαλάτωσης, που βασίζεται στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης. Στον ενδιάμεσο όροφο βρίσκεται το κέντρο ελέγχου, που παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού της εξέδρας από απόσταση, ενώ ο κάτω όροφος χρησιμοποιείται ως δεξαμενή για την αποθήκευση του παραγόμενου πόσιμου νερού. Η «Υδριάδα» έχει ύψος μιας δεκαώροφης πολυκατοικίας, ζυγίζει 150 τόνους και κόστισε 2.800.000 ευρώ. Πάντως οι επόμενες «Υδριάδες» αναμένεται να κοστίζουν μέχρι 700.000 ευρώ.

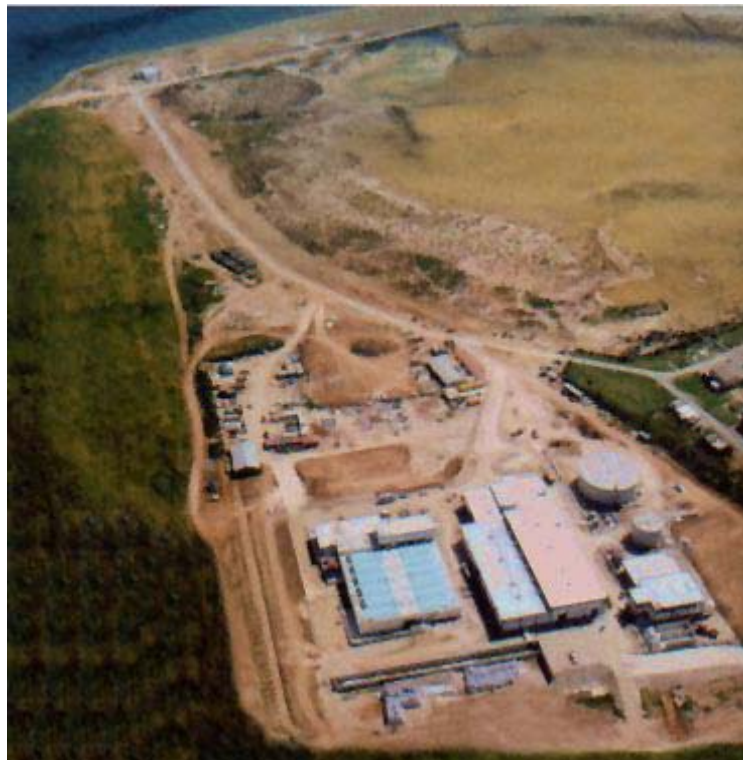
10.3 Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ

Για την αντιμετώπιση της έλλειψης πόσιμου νερού δημιουργήθηκαν μονάδες αφαλάτωσης στην Κύπρο με σκοπό την απεξάρτηση από τη βροχόπτωση της παροχής πόσιμου νερού στα μεγάλα αστικά και τουριστικά κέντρα. Την 1η Απριλίου 1997 άρχισε να λειτουργεί η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης στη Δεκέλεια, ενώ τον Απρίλιο του 2001 άρχισε να λειτουργεί και η δεύτερη μονάδα αφαλάτωσης δίπλα στο αεροδρόμιο της Λάρνακας. Η αφαλάτωση της Δεκέλειας αρχικά είχε δυναμικότητα 40000 m³/ημέρα ενώ σήμερα μετά από δύο διαδοχικές επεκτάσεις η δυναμικότητά της είναι 60000 m³/ημέρα. Η μονάδα της

Λάρνακας αρχικά παρήγαγε 52.000m³ πόσιμο νερό την ημέρα και από τον Ιανουάριο του 2009 η δυναμικότητά της έφτασε τα 62000 m³/ημέρα. Οι δύο αυτές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης καλύπτουν σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες των επαρχιών Λάρνακας, Λευκωσίας και της ελεύθερης Αμμοχώστου.



Εικόνα 9.6 Η μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση στη Λάρνακα.



Εικόνα 9.7 Αεροφωτογραφία της μονάδας αφαλάτωσης στη Λάρνακα.

Τον Δεκέμβριο του 2008 ολοκληρώθηκε η κατασκευή της κινητής μονάδας αφαλάτωσης Μονής η οποία παράγει 20000 m³/ημέρα. Η μονάδα αυτή θα εξυπηρετεί τις ανάγκες της Λεμεσού μέχρι το τέλος του 2011. Επίσης, τον Ιανουάριο 2009 ξεκίνησε τη λειτουργία της η κινητή μονάδα επεξεργασίας νερού του Υδροφορέα του ποταμού Γαρύλλη δυναμικότητας 10000 m³/ημέρα για τις υδρευτικές ανάγκες της Λεμεσού. Η διάρκεια του Συμβολαίου είναι πέντε χρόνια. Για την κάλυψη των αναγκών της Επαρχίας Λεμεσού για τα επόμενα είκοσι χρόνια αποφασίστηκε η κατασκευή μόνιμης μονάδας στην περιοχή Ακρωτηρίου-Επισκοπής δυναμικότητας 40000 m³/ημέρα με δυνατότητα επέκτασης στα 60000m³/ημέρα. Η μονάδα είναι υπό κατασκευή και αναμένεται να λειτουργήσει πριν το καλοκαίρι του 2012.

Για την κάλυψη των αναγκών της επαρχίας Πάφου έχει κατασκευαστεί στην περιοχή Κουκλιών κινητή μονάδα Αφαλάτωσης δυναμικότητας 30000 m³/ημέρα. Η μονάδα τέθηκε σε λειτουργία το Νοέμβριο του 2010 και η διάρκεια του συμβολαίου είναι τρία χρόνια. Η κατασκευή μόνιμης μονάδας στην Πάφο βρίσκεται υπό μελέτη.

Σύμφωνα με το Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων της Κύπρου οι μονάδες αυτές είναι αρκετές για την πλήρη επίλυση του προβλήματος εξασφάλισης πόσιμου νερού. Σήμερα, η αφαλάτωση προσφέρει το 12% των υδάτινων πόρων της Κύπρου. Το νερό που παράγεται συνάδει με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Στην Κύπρο το αφαλατωμένο νερό ελέγχεται πριν πάει στα σπίτια κάθε δύο ώρες. Είναι πόσιμο νερό με τις υψηλότερες προδιαγραφές.

Όσον αφορά την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μονάδων αφαλάτωσης, σύμφωνα με δημοσιευμένα στοιχεία του Τμήματος Ανάπτυξης Υδάτων παίρνονται τα παρακάτω μέτρα:

- Η παραγόμενη άλμη από την επεξεργασία του θαλασσινού νερού θα πρέπει να απορρίπτεται στη θάλασσα σε βάθος τουλάχιστον 15 m και σε απόσταση το λιγότερο 1 km από την ακτή.
- Το θαλάσσιο περιβάλλον γύρω από το σημείο απόρριψης της άλμης θα πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς, και τα αποτελέσματα θα πρέπει να βρίσκονται σε αποδεκτά όρια.

Τέλος, να σημειωθεί ότι η Κυπριακή Δημοκρατία δίνει τη δυνατότητα στα ξενοδοχεία του νησιού να κατασκευάσουν μικρές μονάδες αφαλάτωσης με κρατική επιχορήγηση.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

10.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Γενικά δεν γίνεται να βγει ένα συμπέρασμα για το ποια μέθοδος αφαλάτωσης είναι η βέλτιστη. Η κάθε μέθοδος μπορεί να αξιολογηθεί μόνο με βάση τις δεδομένες απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος. Η βέλτιστη μέθοδος είναι σε κάθε περίπτωση αυτή που παράγει αξιόπιστα την ζητούμενη ποσότητα νερού στην αναμενόμενη ποιότητα και με ένα αποδεκτό κόστος. Να σημειωθεί ότι σε όλες τις μεθόδους, αλλού περισσότερο και αλλού λιγότερο, απαιτείται κάποια προ-επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας και κάποια μετα-επεξεργασία του παραγόμενου νερού. Στις μεθόδους μεμβρανών γενικά απαιτούνται περισσότερα και στάδια προ- και μετά-επεξεργασίας με αρνητικές επιπτώσεις στο κόστος. Ακόμα, όλες οι μέθοδοι έχουν κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα.

Τα πλεονεκτήματα των μεθόδων με μεμβράνες έναντι των θερμικών μεθόδων είναι:

- Χαμηλό κόστος εγκατάστασης.
- Χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση.
- Υψηλή δυναμικότητα σε σχέση με το χώρο που καταλαμβάνουν οι μονάδες.
- Υψηλές τιμές ανάκτησης.
- Για να γίνει συντήρηση δεν απαιτείται όλη η μονάδα να σταματήσει να λειτουργεί.
- Οι μεμβράνες απορρίπτουν και τα μικροβιακά περιεχόμενα.
- Λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τα πλεονεκτήματα των θερμικών μεθόδων έναντι των μεθόδων με μεμβράνες είναι:

- Αξιόπιστη και δοκιμασμένη τεχνολογία.
- Δίνουν νερό υψηλότερης ποιότητας.
- Δεν επηρεάζονται από την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας.
- Όχι κόστος αντικατάστασης μεμβρανών.

Στον πίνακα 10.1 παρουσιάζονται τα μεγέθη μονάδων στα οποία μπορούν να εφαρμοστούν οι διάφορες μέθοδοι καθώς και τυπικές τιμές ανάκτησης νερού και TDS παραγόμενου νερού.

Επιπλέον, οι μέθοδοι μεμβρανών συνεργάζονται καλά με τις Α.Π.Ε. Ακόμη, οι μεμβράνες της αντίστροφης ώσμωσης έχουν χρόνο

ζωής 5-7 χρόνια ενώ οι μεμβράνες της ηλεκτροδιάλυσης 7-10 χρόνια. Φυσικά όπως έχει ήδη αναφερθεί η ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιείται μόνο για υφάλμυρο νερό, άρα έχει πολύ μικρότερο πεδίο εφαρμογών από την αντίστροφη ώσμωση που χρησιμοποιείται και σε υφάλμυρο και σε θαλασσινό νερό. Με βάση όλα τα παραπάνω μπορούμε να καταλάβουμε γιατί οι εγκαταστημένες μονάδες αντίστροφης ώσμωσης έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

Πίνακας 10.1 Συγκριτικά στοιχεία μεθόδων αφαλάτωσης

Μέθοδος αφαλάτωσης	Κλίμακα εφαρμογής	TDS παραγόμενου νερού (mg/l)	Ανάκτηση (%)
RO	μικρή-μεγάλη	<500	30-60
MED	μικρή-μεσαία	<10	0-65
MSF	μεσαία-μεγάλη	<50	25-50
VC	μικρή	<10	~50

10.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Κατά τη μελέτη εγκατάστασης μιας μονάδας αφαλάτωσης, πρέπει να εξετάζονται διαφορές παράμετροι, για να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- Συνεργασία με Α.Π.Ε. που αφθονούν στην περιοχή
- Πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας μονάδας
- Ενεργειακές απαιτήσεις
- Μέγεθος της παραγωγής
- Ποιότητα του πόσιμου νερού
- Είδος νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό ή υφάλμυρο)
- Απαιτήσεις επεξεργασίας νερού τροφοδοσίας
- Κόστος επένδυσης
- Η επιφάνεια γης που απαιτείται για την εγκατάσταση του εξοπλισμού
- Διαθεσιμότητα και εμπειρία προσωπικού

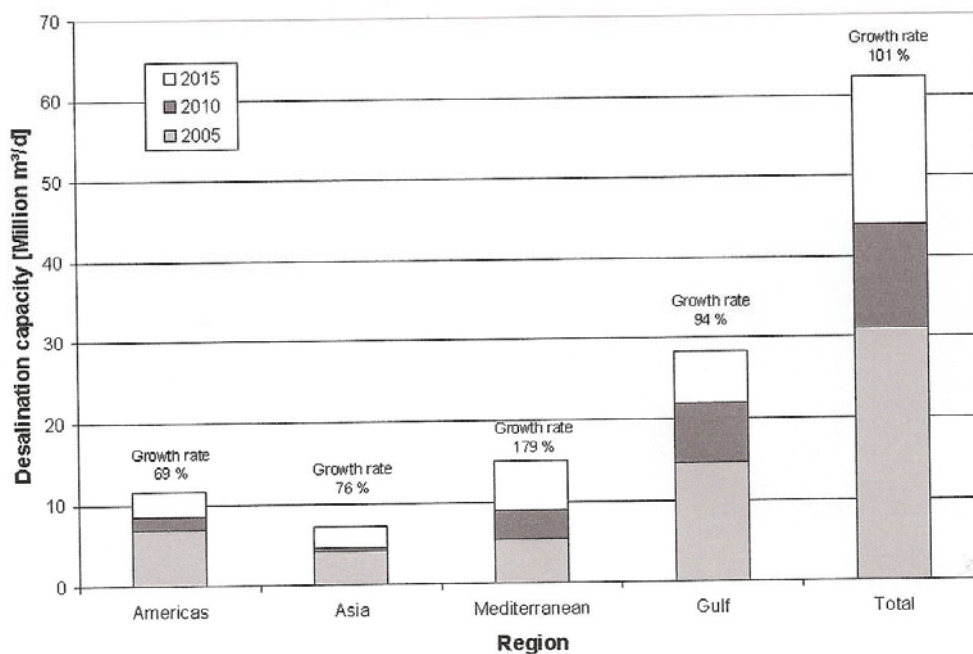
Η επιλογή της μεθόδου έχει να κάνει με πολλές παραμέτρους όπως η τοποθεσία, οι ειδικές καταστάσεις κάθε περιοχής, η διαθεσιμότητα της ενέργειας, η προέλευση του νερού (αλμυρό ή υφάλμυρο) κ.τ.λ. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες μέθοδοι απαιτούν μια προεργασία με χημικά στο νερό που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία αλάτων, η διάβρωση, η γήρανση και η γενικότερη δυσλειτουργία του εξοπλισμού. Σε κάποιες από τις

διαδικασίες απαιτείται και η χημική επεξεργασία του νερού μετά το τέλος της αφαλάτωσης.

10.3 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η αφαλάτωση δεν θεωρείται πλέον σαν ένα προσωρινό μέτρο αντιμετώπισης της λειψυδρίας, αλλά σαν ένας υπαλλακτικός υδάτινος πόρος. Τα τελευταία χρόνια η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού αναπτύσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς και φαίνεται ότι στο μέλλον θα αποτελέσει μια από τις κύριες πηγές υδροδότησης. Οι σημαντικότεροι λόγοι είναι οι εξής:

- Η αφαλάτωση μπορεί να προσφέρει ασφαλή και αδιάλειπτη τροφοδοσία σε φρέσκο νερό σταθερής ποιότητας.
- Η αφαλάτωση μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά σε μία ευρύτερη πολιτική ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτινων πόρων.
- Ο συνδυασμός της αφαλάτωσης με τις Α.Π.Ε. είναι τεχνικά εφικτός και περιβαλλοντικά ωφέλιμος, παρουσιάζει όμως γενικά υψηλότερο κόστος σε σχέση με τη συμβατική τροφοδοσία.
- Η αφαλάτωση με Α.Π.Ε. πρέπει να αποτελέσει προτεραιότητα σε μελλοντικές εφαρμογές με αντίστοιχη παροχή κινήτρων.
- Η αφαλάτωση είναι η μόνη πηγή νερού που είναι ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες



Σχήμα 10.1 Ρυθμοί ανάπτυξης της δυναμικότητας αφαλάτωσης ανά περιοχή και συνολικά.

Στην λύση της αφαλάτωσης και της αξιοποίησης του θαλασσινού νερού προχωρούν όλο και περισσότερες χώρες του πλανήτη για να αντιμετωπίσουν τη λειψυδρία. Υπολογίζεται ότι τα επόμενα λίγα χρόνια θα επενδυθούν 90 δισ. δολάρια στην ανάπτυξη μονάδων αφαλάτωσης και σε έργα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού. Τις μεγαλύτερες επενδύσεις θα πραγματοποιήσει το Ισραήλ, ενώ στην Αλγερία θα κατασκευαστεί η μεγαλύτερη σε όλο τον κόσμο μονάδα αφαλάτωσης που θα προσφέρει 500000 κυβικά μέτρα νερού την ημέρα.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα οι ρυθμοί αύξησης της δυναμικότητας αφαλάτωσης είναι εντυπωσιακοί. Ο Περσικός κόλπος αναμένεται να παραμείνει η μεγαλύτερη αγορά για εξοπλισμό μονάδων αφαλάτωσης λόγω πληθυσμιακής αύξησης και της ανάγκης αντικατάστασης του πεπαιωμένου εξοπλισμού. Η περιοχή της Μεσογείου παραμένει στη δεύτερη θέση όσον αφορά τη δυναμικότητα αφαλάτωσης αλλά με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης από όλες τις άλλες περιοχές. Ακολουθούν και αυτές με σημαντικούς ρυθμούς αύξησης η Ασία και η Αμερική.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Δεν υπάρχει ειδικό νομοθετικό πλαίσιο για την αφαλάτωση αλλά εφαρμόζεται η νομοθεσία για τη διαχείριση των υδατικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος.

Ν.1739/1987 «Διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 201/19-20.11.1987): Ο νόμος αυτός εισάγει για πρώτη φορά στη χώρα μας, τη διαχείριση υδάτινων πόρων και επιχειρεί να θέσει σε κάποια τάξη την πολυνομία και την ασάφεια που επικρατούσε μέχρι τότε. Στα πλαίσια αυτού του νόμου η Ελλάδα χωρίστηκε σε 14 υδατικά διαμερίσματα με κύριο κριτήριο τις υδρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν (Δυτικής Πελοποννήσου, Ανατολικής Πελοποννήσου, Βόρειας Πελοποννήσου, Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, Ηπείρου, Αττικής, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και Εύβοιας, Θεσσαλίας, Δυτικής Μακεδονίας, Κεντρικής Μακεδονίας, Ανατολικής Μακεδονίας, Θράκης, Κρήτης και Νησιών Αιγαίου). Αρμόδιες αρχές για τη διαχείριση κατά κατηγορία χρήσης των υδατικών πόρων ορίστηκαν: α) Το Υπουργείο Γεωργίας για την αγροτική χρήση (άρδευση, κτηνοτροφία, ιχθυοκαλλιέργεια, αγροτοβιομηχανία). β) Το Υπουργείο Εσωτερικών για την ύδρευση εκτός από την ύδρευση Αθηνών και Θεσσαλονίκης που ανήκει και στην αρμοδιότητα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. γ) Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων για τη χρήση με σκοπό την προστασία, όπως ορίζεται στην παρ. 1 του άρθρου 11. δ) Το Υπουργείο Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας για τη βιομηχανική και την ενεργειακή χρήση, ανεξάρτητα από την αρμοδιότητά του για τους φυσικούς πόρους. ε) Το Υπουργείο μεταφορών και Επικοινωνιών για τη χρήση των υδάτων στις μεταφορές. στ) Το Υπουργείο Πολιτισμού για τις αθλητικές χρήσεις. ζ) Ο Εθνικός Οργανισμός Τουρισμού για ιαματικές και χρήσεις αναψυχής. η) Η αρμοδιότητα για κάθε άλλη χρήση ασκείται από το Υπουργείο Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας. Αρμόδιοι Φορείς για την εκπόνηση και εκτέλεση προγραμμάτων έρευνας των υδατικών πόρων ή για τη συμμετοχή σ' αυτά είναι τα Υπουργεία Εσωτερικών, Υγείας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, Γεωργίας, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Βιομηχανίας, Ενέργεια, και Τεχνολογίας, καθώς και η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και το Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών.

Άλλα σχετικά νομοθετήματα και αποφάσεις σε άμεση ή έμμεση σχέση με την αφαλάτωση:

N.3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000». (ΦΕΚ Α΄ 280/9.12.2003)

N. 2744/1999 «Για την αναδιοργάνωση της ΕΥΔΑΠ» (ως ΕΥΔΑΠ ΑΕ) και ίδρυση της ΕΥΔΑΠ Παγίων, σύμφωνα με το άρθρο 4 του Νόμου.

N. 1069/1980 (ΦΕΚ Α 191) «Σύσταση Ενιαίων Επιχειρήσεων Ύδρευσης-Αποχέτευσης» (ΔΕΥΑ).

ΚΥΑ Α5/288/1986 σε εναρμόνιση με την Οδηγία ΕΟΚ 80/778 «Ποιότητα πόσιμου νερού». Υγειονομική Διάταξη Α5/2280/1983 (ΦΕΚ Β 720) «Προστασία υδάτων ύδρευσης περιοχής πρωτεύουσας» και η τροποποίησή της ΚΥΑ Α5/5180/1988.

ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ Β 892) σε εναρμόνιση με την Οδηγία 98/83/ΕΕ «Ποιότητα νερού για ανθρώπινη κατανάλωση».

N.Δ. 608/1948 (ΦΕΚ Α 97) «περί διοικήσεως και διαχειρίσεως των δι' αρδεύσεως χρησιμοποιουμένων υδάτων», όπως συμπληρώθηκε με τις διατάξεις των: Ν. 1988/1952 (ΦΕΚ Α 34) «περί γεωτρήσεων» (άρθρο 3, παρ. 3). Ν.Δ. 3881/1958 (ΦΕΚ Α 181) «περί έργων εγγείων βελτιώσεων», όπως τροποποιήθηκε και συμπληρώθηκε με τις διατάξεις των Ν.Δ. 1218/1972, Ν.Δ. 1277/1972, Ν. 414/1976, Β.Δ. 2/1949 (άρθρο 10), Ν.Δ. 3784/1957 (άρθρο 12).

Β.Δ. 13.9.59 (ΦΕΚ Α 243) «περί Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων».

Π.Δ. 499/1975 (ΦΕΚ Α 163) «περί της αστυνομίας επί των αρδευτικών υδάτων και έργων των διοικουμένων από τους ΓΟΕΒ», όπως τροποποιήθηκε με το Π.Δ.999/1980(ΦΕΚ Α 252/1982).

Π.Δ. 328/2000 (ΦΕΚ 268), «Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ» με το οποίο συστάθηκε και λειτουργεί ο Διαχειριστής, με βάση το άρθρο 14 του παραπάνω νόμου. Ν. 1559/1985, «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις».

N. 3175/2003 που αφορά κυρίως την εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού.

N. 3468/2006, Προσαρμογή στο ελληνικό δίκαιο της Οδηγίας 2001/77 και την προώθηση κατά προτεραιότητα στην εσωτερική αγορά της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης.

Π.Δ. 658/1981 «για την προστασία της ιχθυοπανίδας των λιμνών και ποταμών».

Π.Δ. 1180/1981 «περί ρυθμίσεως θεμάτων ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών κλπ. και της εκ τούτων διασφαλίσεως του

περιβάλλοντος εν γένει». Υγειονομική Διάταξη Ε1β 221/1965 «περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων».

ΚΥΑ 46399/1352/1986, «Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, κολύμβηση, διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά, και καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών, μέθοδος μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας, και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα», σε συμμόρφωση με τις οδηγίες 75/440/ΕΟΚ, 76/180/ΕΟΚ, 77/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ.

ΚΥΑ 69269/5387/1990, «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και περιεχόμενο μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων».

ΚΥΑ 18186/1988 (144/ΦΕΚ 197/1987, ΥΣ70/ΦΕΚ 90/1990), διάφορες αποφάσεις για οριακές τιμές επικίνδυνων ουσιών στα υγρά απόβλητα και στα νερά.

ΚΥΑ 26857/553/1988 (ΦΕΚ Α 196), «Προστασία των υπόγειων υδάτων από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών, σε συμμόρφωση με την Οδηγία 80/68/ΕΟΚ».

Ν.Α. 191/1974 (ΦΕΚ Α 350), «Κύρωση της συνθήκης για την προστασία των διεθνούς ενδιαφέροντος υδροτόπων (1971)».

ΚΥΑ 16190/1335/1997, «Μείωση της ρύπανσης των υδάτων που προκαλείται έμμεσα ή άμεσα από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης και την πρόληψη της περαιτέρω ρύπανσης αυτού του είδους».

ΚΥΑ 20419/2522 (ΦΕΚ 1212Β/18-9-2001) «Προσδιορισμός των νερών που υφίστανται νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης - κατάλογος ευπρόσβλητων περιοχών».

ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ Β 192), «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία και διάθεση αστικών λυμάτων».

ΚΥΑ 19661/1982/1999 (ΦΕΚ Β1811), Τροποποίηση της ΚΥΑ 5673/400/1997: Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών λυμάτων σύμφωνα με το άρθρο 5 (παρ. 1) της απόφασης αυτής.

ΠΥΣ 2/1-2-2001 (ΦΕΚ Α 15), «Καθορισμός των κατευθυντήριων και οριακών τιμών ποιότητας των νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον Κατάλογο ΙΙ της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4ης Μαΐου 1976».

ΚΥΑ 4859/726/1-3-2001 (ΦΕΚ Β 253), «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδατικού περιβάλλοντος από απορρίψεις και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον Κατάλογο ΙΙ της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4ης Μαΐου 1976».

ΚΥΑ 50388/2704/Ε103/12-12-2003 (ΦΕΚ Β 1866), Τροποποίηση και συμπλήρωση της ΠΥΣ 2/1-2-2001 «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδατικού περιβάλλοντος από απορρίψεις και ειδικότερα

καθορισμός οριακών τιμών ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον Κατάλογο ΙΙ της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4ης Μαΐου 1976 (Α' 15)».

ΚΥΑ 43504/5-12-2005 (ΦΕΚ 1784 Β/20-12-2005) «Κατηγορίες αδειών χρήσης υδάτων και εκτέλεσης έργων αξιοποίησής τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος αυτών». Υπουργική Απόφαση 34685/6-12-2005 (ΦΕΚ 1736 Β/19-12-2005)

Υ.Α. 26798/22-6-2005 (ΦΕΚ 1736 Β/9-12-2005) «Τρόπος λειτουργίας του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων».

ΥΑ 23970/20-06-2007 (ΦΕΚ Υ.Ο.Δ.Δ. 271) «Τροποποίηση συγκρότησης Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων».

ΚΥΑ 49139/24-11-2005 (ΦΕΚ 1695 Β/2-12-2005) «Οργάνωση της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων».

ΚΥΑ 476301/16-11-2005 (ΦΕΚ 1688 Β/1-12-2005) «Διάρθρωση της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας».

ΚΥΑ 16175/824 (ΦΕΚ 530Β/28-04-06) «Πρόγραμμα δράσης για την περιοχή του κάμπου Θεσσαλονίκης-Πέλλας-Ημαθίας που έχει χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητη ζώνη από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης».

ΚΥΑ 25638/2905 (ΦΕΚ 1422Β/22-10-2001) «Πρόγραμμα δράσης για το Θεσσαλικό πεδίο που έχει χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητη ζώνη από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης».

ΚΥΑ 20417/2520 (ΦΕΚ 1195Β/14-9-2001) «Πρόγραμμα δράσης για την περιοχή του Κωπαϊδικού πεδίου που έχει χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητη ζώνη από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης».

ΚΥΑ 20416/2519 (ΦΕΚ 1196Β/14-9-2001) «Πρόγραμμα δράσης για την περιοχή του Αργολικού πεδίου που έχει χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητη ζώνη από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης».

ΚΥΑ 20417/2520 (ΦΕΚ 1195Β/14-9-2001) «Πρόγραμμα δράσης για τη Λεκάνη του Πηνειού Ν. Ηλείας που έχει χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητη ζώνη από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης».

Ν. 3010/2002 (ΦΕΚ Α 91), «Εναρμόνιση του 1650/1985 με τις Οδηγίες 97/1/ΕΕ και 96/61/ΕΕ, διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις»,

Τροποποίηση της Σύμβασης της Βαρκελώνης που υιοθετήθηκε στις 10 Ιουνίου 1995 στη Βαρκελώνη. Έχει κυρωθεί (ΦΕΚ Α 144/2002), καθώς και το πρωτόκολλο για τις χερσαίες πηγές ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος που περιλαμβάνει.

Ν. 2450/1997 (ΦΕΚ Α 249/1997). Διεθνής Σύμβαση για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε διασυνοριακό επίπεδο, συνηφθείσα στις 25 Φεβρουαρίου 1991 (ΕΣΡΟΟ Φιλανδίας).

Ν. 855/1978 (ΦΕΚ Α 235/1978), Σύμβαση της Βαρκελώνης του 1976 για την Προστασία της Μεσογείου Θάλασσας από τη ρύπανση.
Άρθρα 967, 968 και 969 του Αστικού Κώδικα σχετικά με την κυριότητα των υδάτων. Επίσης τα άρθρα 970, 914, 1003–1005 και 1027.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ-ΑΡΘΡΑ

1. Αλεξιάκης Α., *Αφαλάτωση*, εκδόσεις Σιδέρη 1993.
2. Αυλωνίτης Σ., *Εισαγωγή στην Τεχνολογία Νερού και Αφαλάτωσης*, εκδόσεις Ίων 2006.
3. Δαγκαλίδης Α., *Αφαλάτωση Νερού*, Κλαδική Μελέτη, Τράπεζα Πειραιώς, Ιανουάριος 2009.
4. Καπλάνης Σ., *Ηλιακή Μηχανική*, εκδόσεις Ίων 2004.
5. Μανωλάκος Δ., «Συστήματα Αφαλάτωσης στο Νησιωτικό Χώρο», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 3 Μαρτίου 2009.
6. Στυλιανού Ι., «Αφαλάτωση, Υπαλλακτική Πηγή Νερού», Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων Κύπρου.
7. Τζεν Ε., «Μέθοδοι Αφαλάτωσης–Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Συμπόσιο: Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη Ανάπτυξη, 2001.
8. Eltawil M., Zhengming Z. and Yuan L., «A Review of Renewable Energy Technologies Integrated with Desalination Systems», *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13**, 2245-2262 (2009).
9. Fritzmann C. et al, «State-of-the-Art of Reverse Osmosis Desalination», *Desalination* **216**, 1-76 (2007).
10. Holt J. K. et al, «Fast Mass Transport Through Sub–2-Nanometer Carbon Nanotubes», *Science* **312**, 1034-1037 (2006).
11. Kalogirou S., «Seawater Desalination Using Renewable Energy Sources», *Progress in Energy and Combustion Science* **31**, 242-281 (2005).
12. Khawaji A., Kutubkhanah I., and Wie J., «Advances in Seawater Desalination Technologies», *Desalination* **221**, 47-69 (2008).
13. Lattemann S. and Höpner T., «Environmental Impact and Impact Assessment of Seawater Desalination», *Desalination* **220**, 1-15 (2008).

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://wikipedia.org>

<http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf>

<http://www.dwc-water.com/technologies/desalination/index.html>