

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο» αποτελεί την Διπλωματική Εργασία του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».

Πολύ δελεαστικό κίνητρο για την επιλογή του θέματος της παρούσας εργασίας στάθηκε η επιθυμία μου να ολοκληρώσω τον κύκλο των σπουδών του παρόντος ΔΠΜΣ με έναν συνδυασμό των βασικών μου σπουδών, που είναι το πτυχίο του Μηχανολόγου Μηχανικού Ε.Μ.Π. με την θεματολογία της «Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υδατικών Πόρων». Φιλοδοξώ ότι η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει το έναυσμα για την περαιτέρω εμβάθυνση στο μεγάλο θέμα της αφαλάτωσης, το οποίο δεν έχει διερευνηθεί ακόμα, στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού, όπως διαπίστωνα από μια πρώτη έρευνα στην βιβλιοθήκη των διπλωματικών εργασιών του ΔΠΜΣ.

Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι να καταλήξει σε ένα συμπέρασμα κατά πόσον η αφαλάτωση μπορεί να αποτελέσει την λύση για τις ελλειμματικές σε νερό περιοχές της χώρας μας.

Το θέμα αφορά στην διερεύνηση και καταγραφή των εφαρμοζόμενων τεχνολογιών αφαλάτωσης τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, όσο και στον ελληνικό χώρο, δεδομένου του έντονου προβλήματος από την έλλειψη πόσιμου νερού σε όλο τον κόσμο, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, της πληθυσμιακής αύξησης και της αλόγιστης χρήσης πόσιμου νερού.

Σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει τόσο η εμπειρία των άλλων κρατών, ιδιαίτερος αυτών που αντιμετωπίζουν έντονο πρόβλημα έλλειψης πόσιμου νερού, αλλά και η συντήρηση και η καλύτερη διαχείριση των αποθεμάτων του φρέσκου νερού που πρέπει να κάνει η χώρα μας υπό το πρίσμα της αυξανόμενης ζήτησης αλλά και της περιβαλλοντικής μόλυνσης. Οι ειδικοί σε θέματα περιβάλλοντος και νερού κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου για την

ανάγκη έναρξης μιας παγκόσμιας «Μπλε Επανάστασης» για να δοθούν λύσεις στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας σε τοπικό, εθνικό, ή ακόμα και υπερεθνικό επίπεδο.

Για την ενίσχυση των αποθεμάτων φρέσκου νερού μια τεχνολογικά εφικτή και συμφέρουσα λύση είναι η αφαλάτωση, ουσιαστικά η διαδικασία μετατροπής του θαλασσινού νερού σε πόσιμο και κατάλληλο για χρήση. Με δεδομένο ότι, το 97% του νερού στον πλανήτη είναι θαλάσσιο, η αφαλάτωση φαντάζει ως η μοναδική λύση για την ουσιαστική αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας.

Στην εισαγωγή παρουσιάζεται η ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας της αφαλάτωσης καθώς και μια συνοπτική καταγραφή της παρούσας κατάστασης στον κόσμο. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι εφαρμοζόμενες τεχνολογίες αφαλάτωσης, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια εμπειριστατωμένη καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης τόσο στον κόσμο, όσο και στην χώρα μας αλλά και στην Κύπρο, η οποία έχει να επιδείξει ιδιαίτερη πρόοδο στην χρήση της αφαλάτωσης.

Στο επόμενο (τέταρτο) κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του κόστους της μεθόδου, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο συνδυασμός αφαλάτωσης με Α.Π.Ε. και στο έκτο γίνεται αναφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η μέθοδος αυτή.

Θα ήθελα πολύ να ευχαριστήσω τον Λέκτορα Ε.Μ.Π. κ. Νίκο Μαμάση για την καθοδήγησή του και την καθαρή και πρακτική οπτική του που με βοήθησε να συντάξω μια εργασία η οποία, πέρα από το θεωρητικό της υπόβαθρο, καταλήγει σε πρακτικά συμπεράσματα για το μέλλον και την δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου αφαλάτωσης, ιδιαίτερα για την χώρα μας, όπου ο νησιωτικός της διαμελισμός κάνει επιτακτική την ανάγκη αντιμετώπισης της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου και κυρίως στα πολύ ξηρά νησιά των Κυκλάδων.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον Μηχανολόγο Μηχ/κό κ. Χρήστο Αναστασόπουλο για την γενικότερη βοήθεια και συνδρομή που μου παρείχε κατά την διάρκεια της παρακολούθησης του ΔΜΠΣ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	Σελίδα i
ABSTRACT.....	Σελίδα v
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	Σελίδα 1
2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	Σελίδα 7
2.1. Συνήθεις Μέθοδοι Αφαλάτωσης.....	Σελίδα 7
Πολυβάθμια εκτόνωση	
Πολυβάθμια εξάτμιση	
Εξάτμιση με συμπίεση ατμών	
Ηλιακή απόσταξη	
Αντίστροφη ώσμωση	
Ηλεκτροδιάλυση	
2.2. Σύγκριση μεθόδων Αφαλάτωσης.....	Σελίδα 26
3. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ.....	Σελίδα 30
3.1. Κόσμος.....	Σελίδα 30
3.2. Ελλάδα.....	Σελίδα 39
3.3. Κύπρος.....	Σελίδα 51
4. ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	Σελίδα 60

5. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΕ Α.Π.Ε	Σελίδα 66
5.1. Συνδυασμός Ανεμογεννητριών- Αφαλάτωσης	Σελίδα 67
5.2. Συνδυασμός Φωτοβολταϊκών –Αφαλάτωσης	Σελίδα 69
5.3. Συνδυασμός άλλων Α.Π.Ε. – Αφαλάτωσης	Σελίδα 70
6. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	Σελίδα 76
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	Σελίδα 88
8. ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	Σελίδα 93

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με τον όρο «αφαλάτωση» χαρακτηρίζουμε οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης των αλάτων από μια αλατούχα ουσία και συνήθως από αλατούχα ύδατα. Επομένως, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Στις μέρες μας, 13600 μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν παγκοσμίως. Το 11% αυτών των μονάδων εγκαταστάθηκαν τα τελευταία χρόνια (πριν το 2000). Το 38% αυτών βρίσκονται στον Περσικό Κόλπο και το 17% στις ΗΠΑ. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF) και η αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis, RO), καθεμιά απ' τις οποίες παράγει το 43% του παγκόσμιου προϊόντος. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης παρέχει αξιοπιστία σε όλο το εύρος μεγεθών παραγωγής (από λίγα λίτρα έως εκατοντάδες κυβικά μέτρα ανά ημέρα), λόγω και της συμπαγούς και εύκολης σχετικά με τις άλλες μεθόδους κατασκευής της. Με βάση το κόστος κατασκευής επιλεγμένων μονάδων σε διαφορεές χώρες την τελευταία 15/ετία το κόστος αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση διαμορφώνεται διαχρονικά από 1,50 € το 2001 μέχρι 0,20 € το 2005.

Τα τελευταία χρόνια η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού αναπτύσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς, που φαίνεται ότι στο μέλλον θα αποτελέσει μια από τις κύριες πηγές υδροδότησης. Σήμερα εκτιμάται ότι σε όλο τον κόσμο λειτουργούν πολυάριθμες μονάδες αφαλάτωσης, που παράγουν πάνω από 50 εκατ. m³/ημ. πόσιμου νερού.

Η αφαλάτωση στην Ελλάδα, αν και θα μπορούσε να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση για το πρόβλημα της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου και κυρίως στα πολύ ξηρά νησιά των Κυκλάδων, όπου το κόστος του μεταφερόμενου νερού είναι πολύ υψηλό, δεν χρησιμοποιείται ευρέως.

Με δεδομένη την σημαντική ηλιοφάνεια και την έντονη παρουσία των ανέμων στα ελληνικά νησιά, Έλληνες και ξένοι επιστήμονες οδηγήθηκαν στη σχεδίαση και την δημιουργία της πρώτης στον κόσμο πλωτής μονάδας αφαλάτωσης, η οποία χρησιμοποιεί για τη λειτουργία της μονάχα ανανεώσιμες πηγές

ενέργειας: τον άνεμο για την κυρίως λειτουργία του «πλωτού εργοστασίου» και επικουρικά τον ήλιο για την ηλεκτροδότηση των συστημάτων ελέγχου και τηλεχειρισμού της. Η πρώτη αυτή μονάδα που ονομάστηκε με το όνομα Υδριάδα, παρμένο από την ελληνική μυθολογία, κόστισε 2,8 εκατ. €, όμως, το κόστος για τις επόμενες αντίστοιχες υπολογίζεται ότι δεν πρόκειται να ξεπεράσει τα 700.000€. Τόσο η σχεδίαση όσο και τα αποτελέσματα από τη λειτουργία της πλατφόρμας αφαλάτωσης έχουν κερδίσει τις εντυπώσεις σε εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο.

Οι κύριες μονάδες αφαλάτωσης στην Κύπρο είναι η μονάδα αφαλάτωσης Δεκέλειας και η μονάδα αφαλάτωσης Λάρνακας. Αναμφίβολα η συνεισφορά της αφαλάτωσης στην αντιμετώπιση του υδατικού προβλήματος της Κύπρου είναι μεγάλη, αλλά παρόλα αυτά οι μονάδες αφαλάτωσης φαίνεται να είναι μια πολυδάπανη, ενεργοβόρα και περιβαλλοντικά επιβαρύνουσα λύση για το υδατικό πρόβλημα, σε αντίθεση με την πολιτική της βέλτιστης διαχείρισης των υφιστάμενων πόρων.

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης συνήθως χρησιμοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις κόστους οι οποίες επηρεάζουν σαφώς και το κόστος του παραγόμενου νερού. Είναι αναγκαίο το αφαλατωμένο νερό να καταναλώνεται κοντά στην περιοχή παραγωγής του, καθόσον η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις από τον τόπο που παράγεται αυξάνει το κόστος απαγορευτικά. Συνεπώς η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία της εγκατάστασης θα πρέπει να διατίθεται στην ευρύτερη περιοχή της μονάδας αφαλάτωσης.

Οι μονάδες αφαλάτωσης παρουσιάζουν δύο κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων: επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας και επιπτώσεις από την απόρριψη της άλμης. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν σχετικά χαμηλό κόστος, καθόσον προέρχονται από δωρεάν πρώτη ύλη αλλά δεν προσφέρονται πάντα για την χρήση τους στις μονάδες αφαλάτωσης. Φυσικά δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι προσιτές, όμως δεν έχουν βρει ευρύτερη εφαρμογή ακόμα και σε μικρές μονάδες αφαλάτωσης

Η λύση της αφαλάτωσης είναι μια καλή τεχνοοικονομικά επιλογή, εκεί όπου υπάρχει ανάγκη για νερό και άρα για επιβίωση. Σχετικές μελέτες για συγκεκριμένα νησιωτικά μέρη έχουν δείξει ότι πρόκειται για μια βιώσιμη και κερδοφόρα επένδυση για οποιονδήποτε επιχειρήσει την υλοποίησή της, δημοτική ή κοινοτική επιχείρηση, ακόμα και το Δημόσιο.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι το κόστος των μονάδων αφαλάτωσης εξαρτάται από την δυναμικότητα της μονάδας αλλά και τον συνδυασμό τους με ΑΠΕ. Επίσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας στην αφαλάτωση και αποθήκευσης ενέργειας στα αιολικά, ανεβάζει σημαντικά το κόστος του έργου και άρα την τιμή του νερού, οπότε αναιρεί τα οφέλη του. Ίσως το πρόβλημα για την γενικευμένη χρήση μεθόδων αφαλάτωσης δεν είναι τόσο οικονομικό, εφόσον το κόστος του παραγόμενου νερού δεν είναι κατ' ανάγκην απαγορευτικό, αλλά οι επιπτώσεις που υπάρχουν από τις μονάδες αφαλάτωσης.

Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος της αφαλάτωσης θα μπορούσε να αποτελέσει λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού, δεν είναι άμοιρη επιπτώσεων. 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.

Οι χώρες χρησιμοποιούν την αφαλάτωση για να λύσουν τα επείγοντα προβλήματα που προκύπτουν από την έλλειψη του νερού, ζυγίζοντας αυτά με τις όποιες επιπτώσεις επιφέρει η αφαλάτωση.

Η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος που μπορεί να προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα και ποσότητα πόσιμου νερού, ανεξάρτητα από το κλίμα της περιοχής και επιβάλλεται να επιδιωχθεί σαν λύση. Όμως είναι αδύνατον να

καλύψει όλες τις ανάγκες ύδρευσης, πρέπει να λειτουργεί συμπληρωματικά σε μια ευρύτερη πολιτική ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων και επ' ουδενί πρέπει να αντικαταστήσει τις προσπάθειες για συλλογή του βρόχινου νερού, τον περιορισμό των διαρροών από το δίκτυο ύδρευσης, και την επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών στην αγροτική παραγωγή που δεν είναι υδροβόρες, έτσι ώστε να γίνεται η μέγιστη εξοικονόμηση νερού

ABSTRACT

With the term "**desalination**" we usually characterize any activity of abstraction of salts from a saline substance and from saline waters. Consequently, the desalination is a method of recuperation of potable water from marine water, brackish rivers and lakes. In our days, 13600 of desalination units function worldwide. About 11% of them were installed during the last years (before 2000). 38% of these stand in the Persian Gulf and the 17% in the USA. The more widespread methods are the multiple stage flashing (MSF) and the reverse osmosis (RO), while each one of these produces the 43% of the world product. The method of reverse osmosis provides reliability in all the breadth of sizes of production (from few litres until hundreds cubic metres per day), due inter alia to its relatively compact and easy manufacturing, compared to other methods. On a cost basis of manufacture of selected units in different countries the last 15 years, the cost of desalination with reverse osmosis is shaped diachronically by 1,50 Euros in 2001 up to 0,20 Euros in 2005.

During the last years the desalination of marine water is developed with very fast rythms, which indicates that in the future it will constitute one from the main sources of water feeder. Today it is appreciated that in all the world function many units of desalination, that produce over 50 millions m³/day of potable water.

The desalination in Greece is not widely used, even though it could constitute a viable solution for the problem of water shortage in the islands of the Aegean Sea and mainly in the very arid islands of Cyclades, where the cost of transported water is very high,.

Considering the plenty of sunlight and the intense presence of winds in the Greek islands, Greek and foreigner scientists were led to the designing and the creation of the first in the world navigable unit of desalination, which uses for its operation only renewable sources of energy: the wind for the mainly operation of "navigable factory", and complementarily the sun for the electrification of its operational and remote control systems. This first unit that was named Hydiada, a name taken from the Greek mythology, had a cost of 2,8 millions €, however, the cost for the next corresponding ones is estimated not exceeding the 700.000 €. So much the designing what the results from the operation of the desalination platform have gained the impressions in national but also in international level.

The main desalination units in Cyprus are the ones in Dekelia and in Larnaka. Indubitably the contribution of desalination in the confrontation of the water problem in Cyprus is big. Nevertheless the units of desalination appear to be an expensive, energy consuming and environmentally overloading solution for the water problem, contrary to the policy of the most optimal management of the existing resources.

The big desalination installations usually use conventional forms of energy, which present important cost fluctuations, which, in their turn, also influence of course the cost of produced water. It is necessary for the desalinated water to be consumed near its region of production, because its long distance transportation away from its production place increases the cost prohibitively. Consequently the required energy for the installation's operation should be disposed within the range of the wider region of the desalination unit.

The desalination units bring forward two categories of environmental repercussions: the ones derived from the use of energy and the ones derived from the brine rejection. The Renewable Sources of Energy (RSE) have relatively low cost, in as far as they emanate from free of charge raw material

but are not always offered for their use in the desalination units. Naturally they do not pollute the environment and are accessible, however they have not even found wider application in small desalination units.

The solution of desalination is a good choice from the technical-financial point of view, especially in cases of water need and hence survival. Relative studies on specific islander locations have shown that it is a viable and profitable investment for anyone willing to attempt its concretisation, municipal or community enterprise, even the State.

At this very point we should mark that the cost of desalination units depends on the unit capacity but also their combination with RSE. Besides, the systems of energy recuperation in the desalination and storage of energy in aeolian systems, raise considerably the cost of work and hence the price of water, therefore reverses its profits. The problem for the generalised use of desalination methods seems to be not so much economic, provided that the cost of produced water is not necessarily prohibitory, but the existence of repercussions from the desalination units.

Despite the fact that the desalination method could constitute a solution in the problem of lack of water, it is not by itself free from repercussions. The condensate of the dense brine returns into the sea, so that the water salinity is increased in enough distance from the point of expense and the marine ecosystem is influenced. Consequently a very careful study is required, depending on the region, in the place of the brine rejection point. Moreover, the drawn water is pre-chlorinated in order to protect the membranes, the cost of which is particularly high. Accordingly the rinsing of the membranes spills into the sea together with the brine condensate, overloading farther the marine ecosystem.

The countries that use the desalination are trying to resolve the urgent problems that result from the lack of water, balancing between them and the various repercussions caused by the desalination.

The desalination is a method that can offer satisfactory quality and quantity of potable water, independent from the climate of region, and must be sought as a solution. However it is impossible to cover all the needs of water supply, and it should function additionally in a wider policy of completed management of water resources, and in no case should replace the efforts for collection of rain water, the restriction of escapes from the network of water supply, and the choice of suitable cultures in the rural production that is not water consuming, so as to achieve the highest saving of water.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η κακή διαχείριση των υδατικών πόρων, η λειψυδρία, οι ακραίες μετεωρολογικές μεταβολές είναι κάποιοι από τους λόγους που ώθησαν πολλές χώρες στον κόσμο στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ύδρευσης. Ιδιαίτερα η κακή διαχείριση των υδατικών πόρων, το σημαντικότερο αίτιο της λειψυδρίας, οφείλεται στην υπεράντληση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, στην έλλειψη σχεδίου διαχείρισης, στην κακή υποδομή αναφορικά με τα δίκτυα ύδρευσης και αποθήκευσης νερού, αλλά και στην υιοθέτηση μη αποτελεσματικών λύσεων.

Συχνά οι εναλλακτικές λύσεις που επελέγησαν όπως π.χ. η κατασκευή λιμνοδεξαμενών δεν αποδείχθηκαν οικονομικά βιώσιμες για να δώσουν την λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μεταφορά του νερού με δεξαμενόπλοια στα ελληνικά νησιά, που είναι τις τελευταίες δεκαετίες ο δημοφιλέστερος τρόπος παροχής νερού, γεγονός όμως που επιφέρει μεγάλη οικονομική επιβάρυνση στο κράτος.

Το κόστος νερού ανά κυβικό μέτρο στα ελληνικά νησιά φαίνεται να είναι από 2 έως 7 €, ενώ η ποιότητά του δεν είναι η κατάλληλη για πόσιμο. Επίσης, συχνά είναι δύσκολη έως ανέφικτη η διάθεσή του λόγω αυξημένης ζήτησης είτε λόγω αδυναμίας προσέγγισης των δεξαμενόπλοιων στα λιμάνια των πιο μικρών νησιών. Παρόλα αυτά, θεωρείται μέχρι τις μέρες μας η μοναδική λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας των μικρών νησιών.

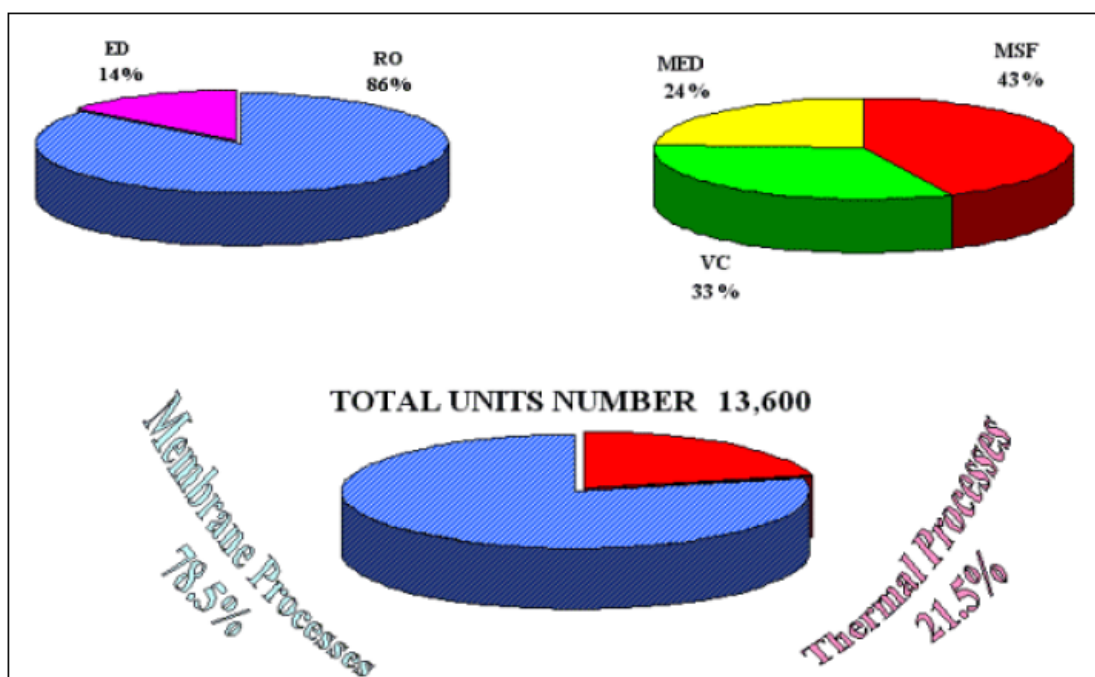
Η χρήση μονάδων αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου ή αποσταγμένου νερού από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό διαφαίνεται να είναι η ουσιαστική λύση στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας. Αρκετές χώρες ανά τον κόσμο όπως η Ινδία και η Κίνα, λόγω ραγδαίας πληθυσμιακής αύξησης και αναπτυσσόμενης βιομηχανίας, έχουν ξεκινήσει να επενδύουν σε μονάδες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού. Αλλά και χώρες της Μεσογείου (Μάλτα, Ισπανία) καθώς και η Σαουδική Αραβία καλύπτουν πολύ

μεγάλο μέρος των αναγκών τους σε νερό από την χρήση των μονάδων αφαλάτωσης.

Με τον όρο **«αφαλάτωση»** χαρακτηρίζουμε οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης των αλάτων από μια αλατούχα ουσία και συνήθως από αλατούχα ύδατα. Επομένως, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε περιοχές δίπλα στην θάλασσα, αλλά φτωχές σε πόσιμο νερό. Η μεγάλη ανάπτυξη της αφαλάτωσης ξεκίνησε τον 20^ο αιώνα όταν εμφανίστηκε λειψυδρία σε πολλές περιοχές της γης. Όπως γνωρίζουμε το 97,3% των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στους ωκεανούς αναμειγμένο με διάφορα διαλυμένα άλατα, έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η χρήση του ούτε ως πόσιμο, ούτε σε βιομηχανικές διεργασίες.

Η ιδέα της αφαλάτωσης ξεκινά από τους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς οι οποίοι εξάτμιζαν το θαλασσινό νερό γύρω στον 4^ο αιώνα π.χ., όπως το περιγράφει ο Αριστοτέλης. Άλλη περιγραφή αφαλάτωσης αναφέρεται σε Άραβα συγγραφέα του 8^{ου} αιώνα που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Πολύ αργότερα, με την ανάπτυξη της ατμοπλοΐας, παρουσιάστηκε μεγάλη ανάγκη ποσοτήτων καθαρού ύδατος για την κίνηση των ατμομηχανών, έτσι ώστε να μην προκαλείται ταχύτατη διάβρωση και επομένως, κατέστη επιτακτική η ανάγκη αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού.

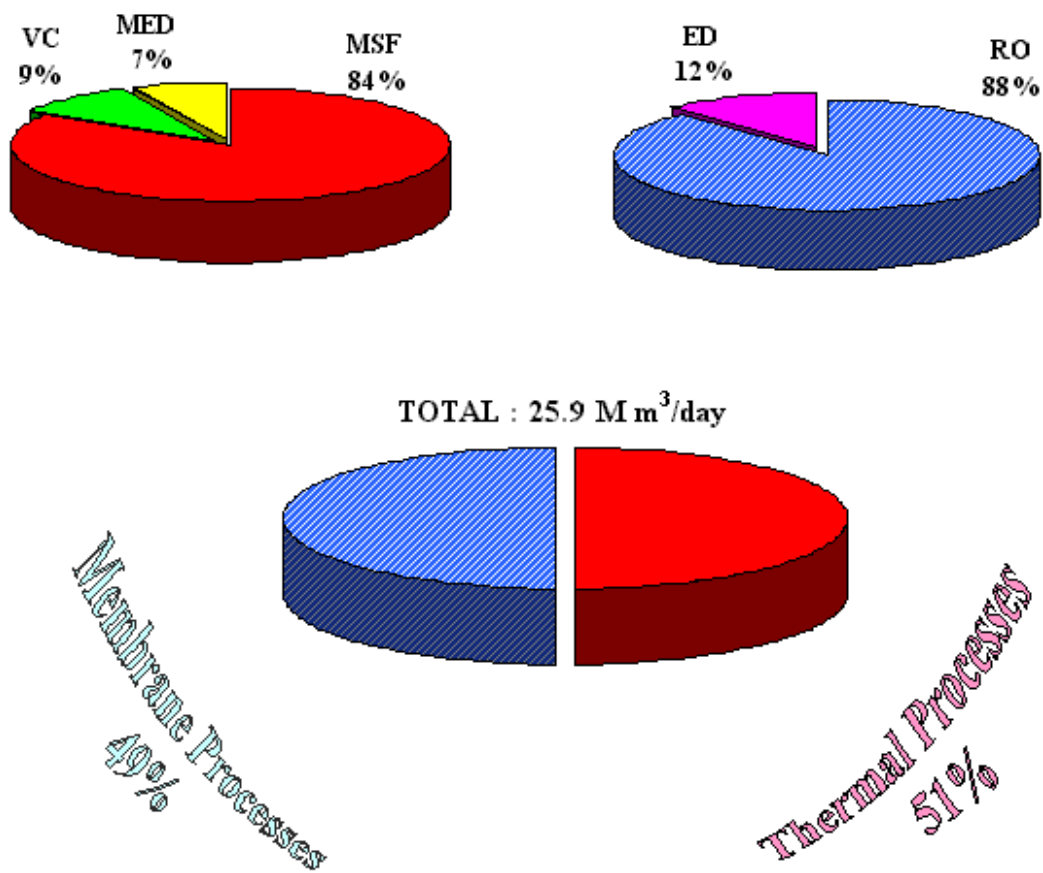
Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Τον ίδιο χρόνο οι Άγγλοι εγκατέστησαν την πρώτη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στο Άντεν για τις ανάγκες του στόλου τους. Το πρώτο μεγάλο εργοστάσιο αφαλάτωσης θαλασσινού νερού εγκαταστάθηκε στις Ολλανδικές Αντίλλες το 1930. Κατά την δεκαετία του 1970 ξεκίνησε η λειτουργία μεγάλων βιομηχανικών μονάδων αφαλάτωσης στη Ρωσία, ΗΠΑ, Μεξικό, στη Σαουδική Αραβία, Κουβέιτ, Αίγυπτο κλπ. Η Ισπανία αναδεικνύεται ο μεγαλύτερος χρήστης της μεθόδου, έχοντας ξεκινήσει την αφαλάτωση στα Κανάρια Νησιά πριν περίπου 40 χρόνια. Και σήμερα ακόμα, διαθέτει το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης στην νότια πλευρά της χώρας.



Σχήμα 1: Ποσοστό παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διεργασίες για το έτος 2006

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Στις μέρες μας, λειτουργούν 13600 μονάδες αφαλάτωσης παγκοσμίως. Το 11% αυτών των μονάδων εγκαταστάθηκαν τα τελευταία χρόνια (πριν το 2000). Το 38% αυτών βρίσκονται στον Περσικό Κόλπο και το 17% στις ΗΠΑ. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF) και η αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis, RO), καθεμιά απ' τις οποίες παράγει το 43% του παγκόσμιου προϊόντος. Παρ' ότι όμως αυτές οι μέθοδοι έχουν την ίδια παραγωγή, η RO χρησιμοποιείται στο 68% των περιπτώσεων και μια τυπική μονάδα έχει μέση παραγωγή 1200 m³/ημέρα, ενώ η MSF χρησιμοποιείται σε ποσοστό μόλις 9% και μια τυπική μονάδα έχει μέση παραγωγή 8800 m³/ημέρα.



Σχήμα 2: Δυναμικότητα παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διεργασίες για το έτος 2006

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Το χρονικό της Αφαλάτωσης

350 π.Χ. Ο Αριστοτέλης πειραματίζεται με τον διαχωρισμό νερού και αλατιού

200 μ.Χ. Ναυτικοί μεταφέρουν μικρές πρωτόγονες μονάδες αφαλάτωσης στα πλοία τους

16ος αιώνας Τα πλοία που εξερευνούν τους ωκεανούς μεταφέρουν μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περίπτωση ανάγκης.

1890 Στην Δυτική Αυστραλία λόγω του ξηρού κλίματος κατασκευάζονται μονάδες αφαλάτωσης (πάντα με την θερμαντική μέθοδο). Το νερό ήταν ακριβό, δεδομένου ότι τα 4.5 λίτρα νερού κόστιζαν όσο το ένα τρίτο του μισθού του ανειδίκευτου εργάτη.

Τέλη 19ου αιώνα Η μέθοδος απόσταξης του Rillieux αρχίζει και εφαρμόζεται και στην αφαλάτωση

1950 Η Αμερικανική κυβέρνηση ιδρύει το Τμήμα Αλμυρού Νερού με σκοπό να υποστηρίξει την έρευνα για την αφαλάτωση

1950 Ξεκινά μια νέα μέθοδος θερμαντικής αφαλάτωσης και εφαρμόζεται σε χώρες της Μέσης Ανατολής

1960 Ξεκινούν στο πανεπιστήμιο UCLA της Καλιφόρνια τα πειράματα πάνω στην αντίστροφη ώσμωση με την κατασκευή των πρώτων μεμβρανών από δύο ερευνητές, τους Sydney Loeb και Shrinivasa Sourirajan

1965 Η πρώτη πειραματική μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης

τέλος δεκαετίας '70 Ο John Cadotte του America's Midwest Research Institute και του Film Tec Corporation εφεύρει μια πολύ βελτιωμένη μεμβράνη που θα χρησιμοποιηθεί καθολικά στα επόμενα χρόνια.

1980 Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης που εξυπηρετεί πόλη, ξεκινά την λειτουργία της στην Jeda της Σαουδικής Αραβίας

1990-2003 Το κόστος της αφαλάτωσης πέφτει στο ένα τρίτο.

- 2006** Μελέτη που δημοσιεύεται στο επιστημονικό περιοδικό Science αναφέρει ότι η χρήση νανοσωλήνων άνθρακα μπορεί να βελτιώσει πολύ την παραγωγή καθαρού νερού
- 2006** Μελέτη στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αφαλάτωσης από το Pacific Institute (όχι απαγορευτικές αλλά ούτε και αμελητέες)

Πηγή: [Φιλελεύθερο Ζάντε » Blog Archive Αφαλάτωση: 'Μάννα' εκ θαλάσσης :](#)

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

2.1. Συνήθεις μέθοδοι αφαλάτωσης

Σύμφωνα με την Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης, οι διεργασίες αφαλάτωσης γενικά διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

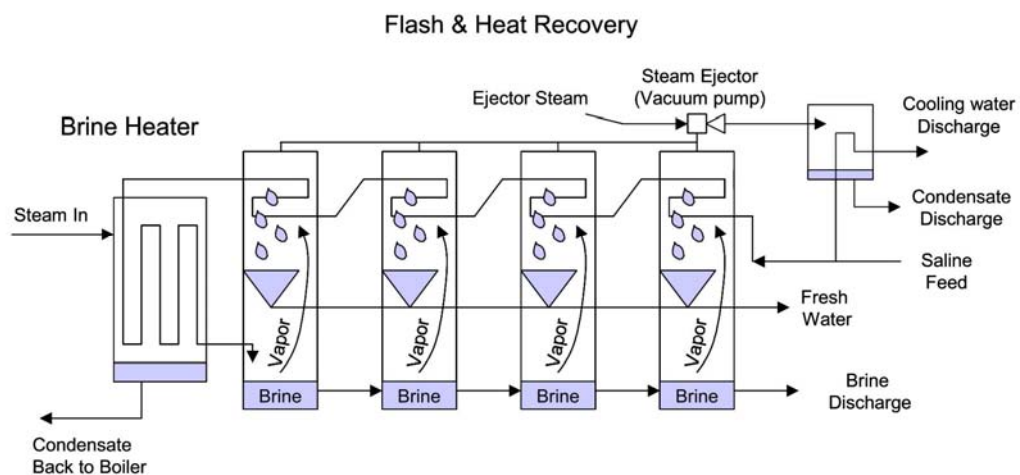
- ✚ Σε διεργασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης (θερμικές διεργασίες). Αυτές είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση. Η δεύτερη όμως δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Όσον αφορά την απόσταξη, οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF), η πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED), η εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC) και η ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)
- ✚ Σε διεργασίες οι οποίες πραγματοποιούνται σε μια μόνο φάση, δηλαδή την υγρή. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED), οι οποίες χρησιμοποιούν μεμβράνες για την απομάκρυνση των αλάτων

α) Πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF)



Σχήμα 3: Εγκατάσταση πολυβάθμιας εκτόνωσης στη Μέση Ανατολή

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης



Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εκτόνωσης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Τέτοιες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη Μέση Ανατολή: Σαουδική Αραβία, Εμιράτα, Κουβέιτ, καλύπτοντας το 40% της παγκόσμιας χρήσης αφαλάτωσης.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η αρχή λειτουργίας τους είναι η εξής:

Το θαλασσινό νερό, αφού θερμανθεί σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη από το σημείο βρασμού εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο όπου επικρατεί πίεση χαμηλότερη από την πίεση κορεσμού και επομένως το νερό ατμοποιείται. Ο ατμός έρχεται σε επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το κρύο θαλασσινό νερό και υγροποιείται. Στη συνέχεια συλλέγεται ως καθαρό νερό.

Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται στους επόμενους θαλάμους με την υπολειπόμενη άλμη και με πίεση συνεχώς μειούμενη (για να παρακολουθήσει την αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας της άλμης). Συχνά είναι συμφέρον οι εγκαταστάσεις αυτές της αφαλάτωσης να βρίσκονται κοντά σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ώστε να γίνεται καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου. Δηλαδή ο ατμός υψηλής πίεσης πρώτα εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ισχύος και κατόπιν χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση.

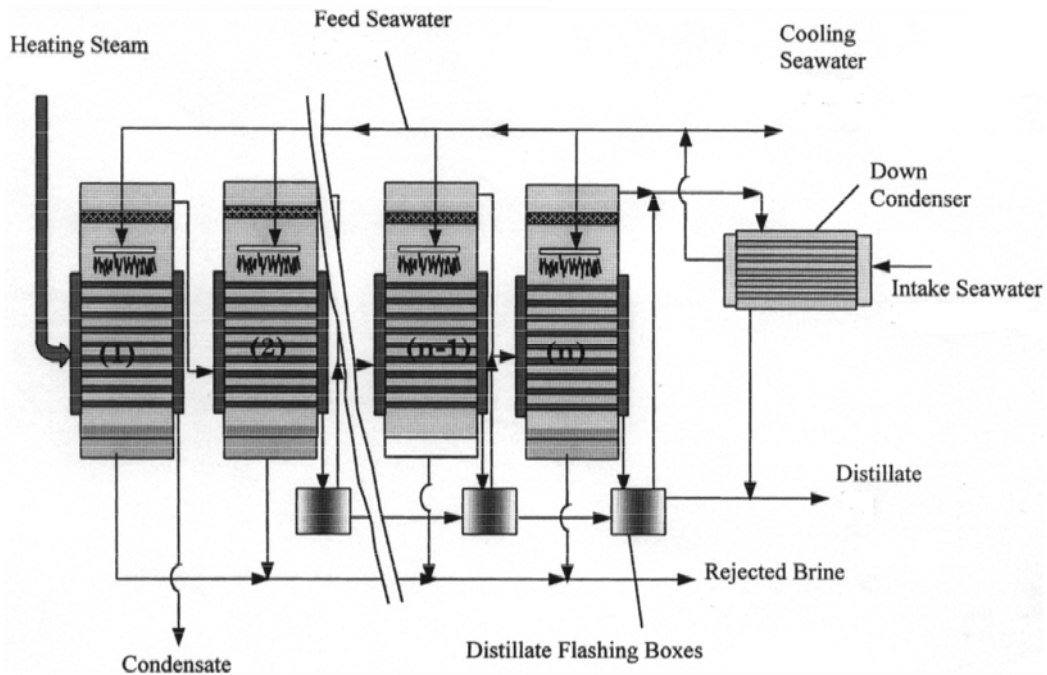
Μπορούμε δυνητικά να θεωρήσουμε ως βαθμό απόδοσης των θερμικών μονάδων αφαλάτωσης το πηλίκιο της μάζας του παραγόμενου αποσταγμένου νερού προς την μάζα του ατμού που χρησιμοποιήθηκε. Για την συγκεκριμένη αυτή μέθοδο, ένας τυπικός βαθμός απόδοσης είναι περίπου 8, ενώ μια μονάδα 20 βαθμίδων απαιτεί περίπου 290 kJ/kg προϊόντος.

β) Πολυβάθμια εξάτμιση (multiple effect distillation)



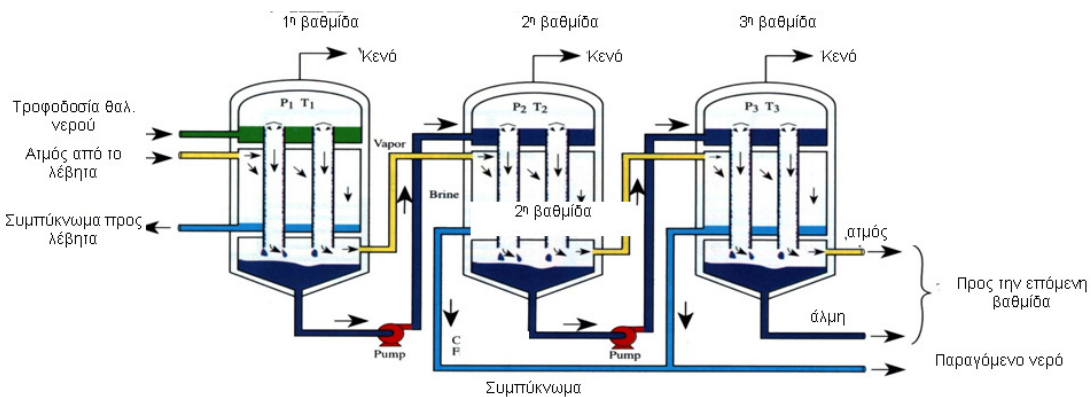
Σχήμα 5: Εγκατάσταση πολυβάθμιας εξάτμισης στο Ομάν (3 x 2400 m³/ημέρα)

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης



Σχήμα 6.1 : Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εξάτμισης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης



Σχήμα 6.2 : Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εξάτμισης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Η πολυβάθμια εξάτμιση δεν είναι και τόσο διαδεδομένη, διότι λόγω τεχνικών προβλημάτων αντικαταστάθηκε σταδιακά τα τελευταία χρόνια από την

πολυβάθμια εκτόνωση. Σήμερα παρ' όλα αυτά, λόγω του ότι παρουσιάζει καλύτερο συντελεστή θερμικής απόδοσης αρχίζει να ξανακερδίζει έδαφος.

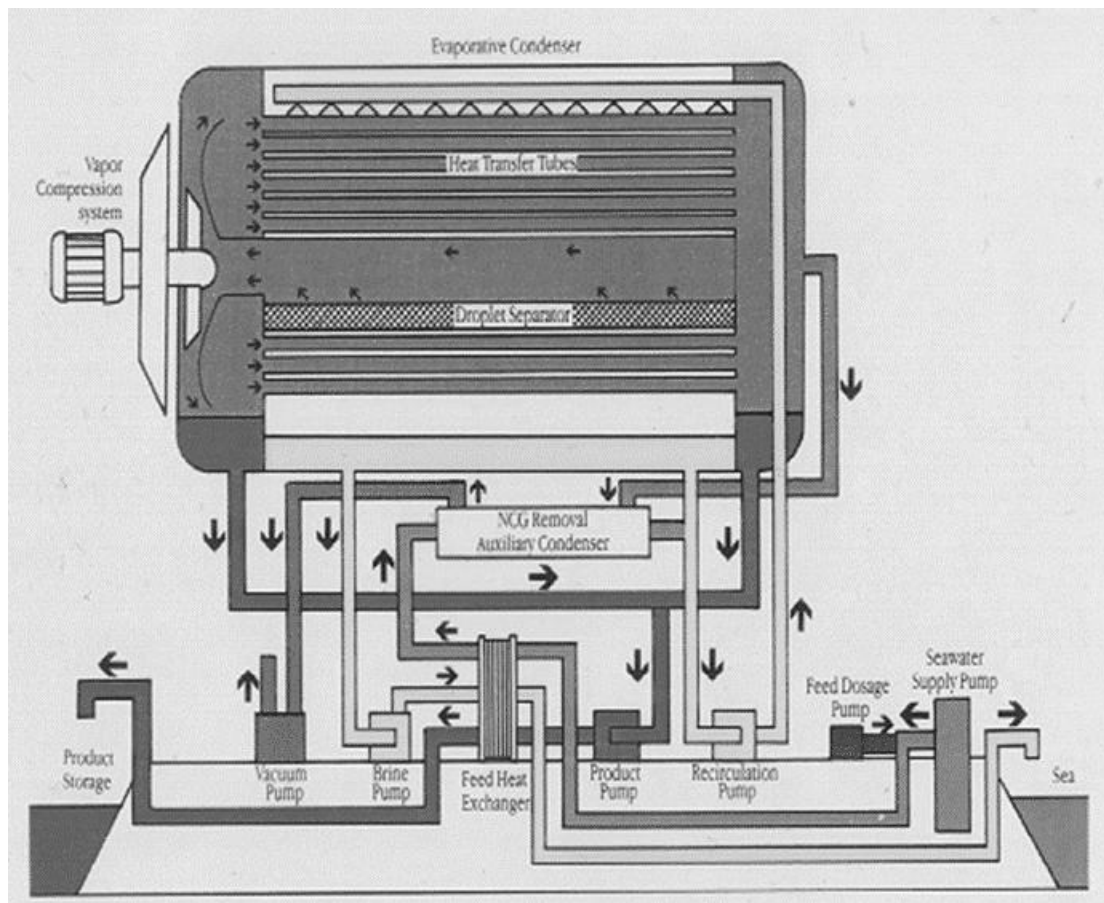
Στην πολυβάθμια εξάτμιση ο ατμός περνάει μέσα από σωλήνες, ενώ το κρύο θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω τους δημιουργώντας ένα πολύ λεπτό στρώμα νερού, το οποίο εξατμίζεται άμεσα. Έτσι, μέρος του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται σαν καθαρό νερό, ενόσω συνεχίζουν στην επόμενη βαθμίδα ο υπόλοιπος ατμός μαζί με το υπόλοιπο θαλασσινό νερό που απέμεινε από την ατμοποίηση. Και στη μέθοδο αυτή σε κάθε θάλαμο υπάρχει αντλία κενού που υποβοηθά την εξάτμιση, με βαθμιαία μειούμενη πίεση σε κάθε βαθμίδα, που ισούται με την πίεση κορεσμού στην αντίστοιχη θερμοκρασία του κάθε θαλάμου. Αυτό έχει σαν όφελος να επιτρέπει την λειτουργία τόσο σε υψηλή όσο και σε χαμηλή θερμοκρασία, συχνά δε, η μέγιστη θερμοκρασία βρασμού μπορεί να είναι μέχρι και 55° C, έτσι ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί χαμηλού επιπέδου απορριπτόμενη θερμότητα από άλλες θερμικές διεργασίες. Στη μέθοδο αυτή συχνά χρησιμοποιούνται και συμπιεστές (μηχανικοί ή θερμικοί), ενώ οι παραλλαγές της προκύπτουν απ' την οριζόντια ή κάθετη διάταξη των σωλήνων ατμού και τη φορά του ατμού σε σχέση με την άλμη (ομορορή, αντιρορή ή παράλληλη).

γ) Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (vapor compression)



Σχήμα 7: Εγκατάσταση εξάτμισης με συμπίεση ατμών

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης



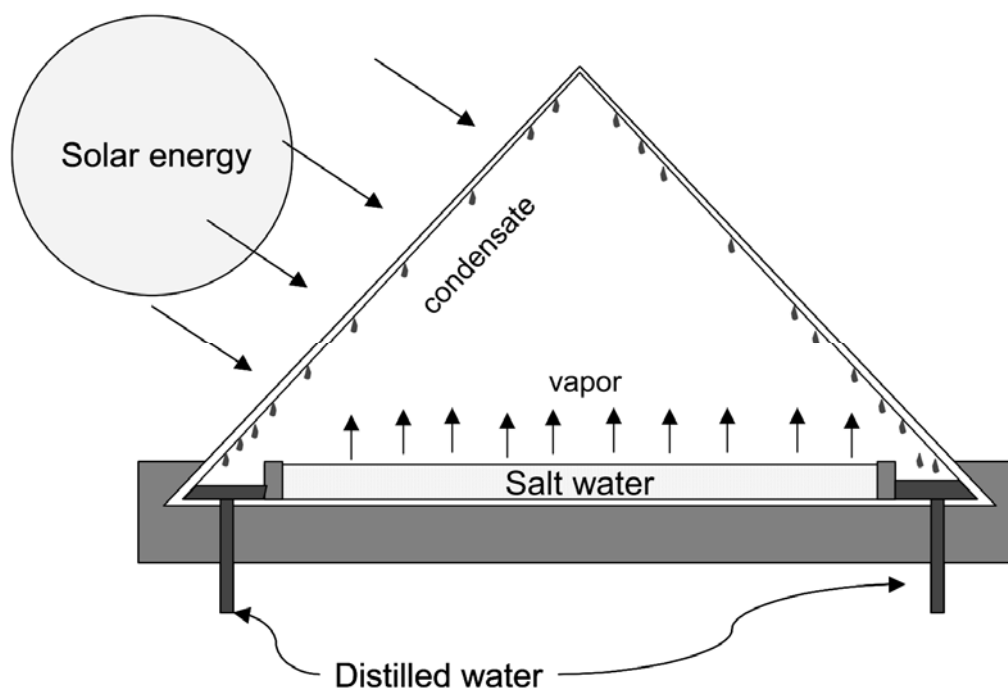
Σχήμα 8: Σχηματική απεικόνιση της εξάτμισης με συμπίεση ατμών

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Η μέθοδος αυτή είναι απλούστερη των προηγούμενων, και πιο αποτελεσματική. Το κρύο νερό της θάλασσας ψεκάζεται πάνω σε σωλήνες που τους διαπερνά καυτός ατμός, θερμαίνεται και εξατμίζεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση. Σκόπιμη είναι η δημιουργία λεπτού στρώματος νερού πάνω στους σωλήνες για την καλύτερη απόδοση της εγκατάστασης. Κατόπιν οι καθαροί υδρατμοί συλλέγονται, συμπυκνώνονται και λαμβάνονται ως προϊόν. Η μέθοδος αυτή διαφέρει από τις προηγούμενες

καθόσον λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και η εξάτμιση προκαλείται αποκλειστικά και μόνο από την χαμηλή πίεση. Έτσι δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη πηγής θερμότητας. Η μέθοδος αυτή μπορεί να παράγει μέχρι και 3000 m³/ημέρα.

δ) Ηλιακή απόσταξη (solar distillation)



Σχήμα 9: Σχηματική απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για την χρήση της ηλιακής ενέργειας στην αφαλάτωση, βασίζεται στην αρχή του θερμοκηπίου. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν ελάχιστο ή μηδενικό κόστος λειτουργίας εφόσον δεν χρησιμοποιούν κανενός είδους καύσιμο και ως εκ τούτου δεν ρυπαίνουν καθόλου το περιβάλλον: οι ακτίνες του ήλιου διέρχονται μέσα από μια διαφανή οροφή και θερμαίνουν το θαλασσινό νερό που βρίσκεται στον πυθμένα. Αυτό εξατμίζεται

και ανεβαίνει στην οροφή που είναι κεκλιμένη, οπότε συμπυκνώνεται πάλι και συλλέγεται ως προϊόν από κατάλληλη διάταξη. Η μέγιστη θερμοκρασία ενός τέτοιου θερμοκηπίου φτάνει περίπου τους 45° – 55° το καλοκαίρι. Το μοναδικό κόστος είναι αυτό των υλικών κατασκευής και ως εκ τούτου θα πρέπει να αναζητηθούν σχετικώς φτηνά υλικά κατασκευής. Βέβαια, η απόδοση τέτοιων εγκαταστάσεων είναι χαμηλή, περίπου 3,5 λίτρα καθαρό νερό ανά m² εδάφους, και μάλιστα νερό όχι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται και περαιτέρω επεξεργασία.

ε) Αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis)



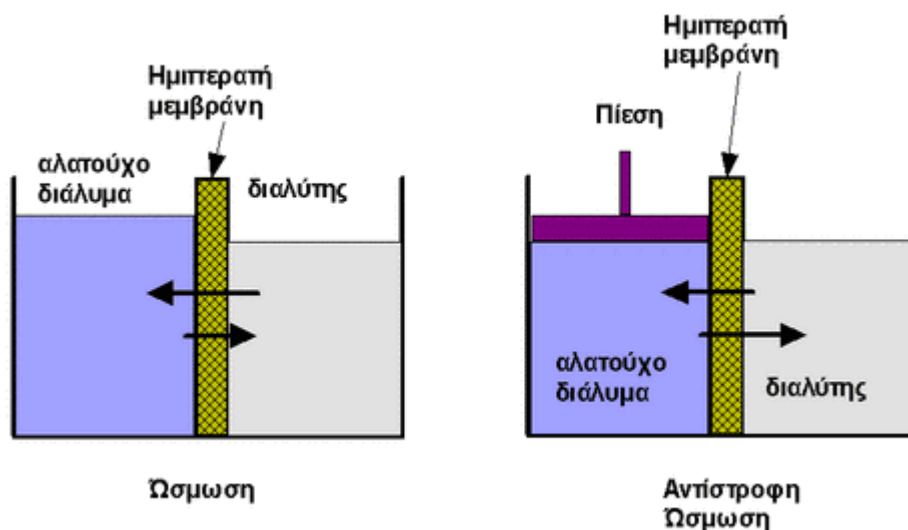
Σχήμα 10: Εγκατάσταση αντίστροφης ώσμωσης (Δεκέλεια Κύπρου, δυναμικότητα 40.000 m³/ημέρα)

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Διάγραμμα ροής της αντίστροφης ώσμωσης

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο φαινόμενο της ώσμωσης, το οποίο απαντάται πολύ συχνά στη φύση και στις λειτουργίες των κυττάρων, όπως π.χ. του δέρματος, των νεφρών κλπ.

Το φαινόμενο της ώσμωσης είναι το εξής:



Σχήμα 11: Το φαινόμενο της ώσμωσης

Πηγή: Mark Wilf, (2007), [The guidebook to Membrane Desalination Technology. Reverse Osmosis- Διαδίκτυο](#)

Τα δύο τμήματα του δοχείου που φαίνεται στο σχήμα χωρίζονται από μια μεμβράνη πορώδους υλικού του οποίου οι πόροι είναι πολύ μικροί. Το ένα τμήμα περιέχει ποσότητα καθαρού νερού, ενώ το άλλο ίση ποσότητα νερού με διαλυμένα μόρια αλατιού σε αυτό. Οι στάθμες αρχικά βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, ενώ μετά από λίγη ώρα η στάθμη του τμήματος που περιέχει το αλάτι ανεβαίνει διότι τα μόρια του νερού που βρίσκονται στο τμήμα με το καθαρό νερό διέρχονται της μεμβράνης. Το διάλυμα δηλαδή με την μικρότερη συγκέντρωση θα περάσει μέσα από την μεμβράνη προς το πυκνότερο διάλυμα μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις.

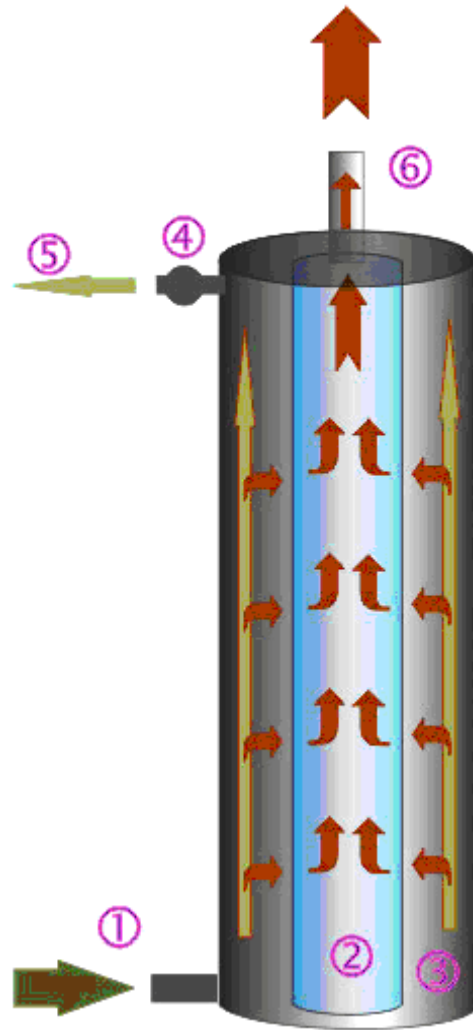
Αν με κάποιο τρόπο ανακοπεί η πορεία των μορίων του καθαρού νερού προς το αλατούχο, εφαρμόζοντας κάποια πίεση, τότε η ροή σταματά και τα δύο διαλύματα βρίσκονται κάτω από μια ισορροπία πιέσεων. Η πίεση που εφαρμόζεται, ονομάζεται *ωσμωτική πίεση*.

Εάν αυξηθεί η τεχνητή πίεση στο αλατούχο διάλυμα, θα συμβεί το εξής φαινόμενο: το νερό που υπάρχει στο αλατούχο διάλυμα θα περνά στο διαμέρισμα με το καθαρό νερό και η στάθμη αυτού του διαμερίσματος θα ανεβαίνει. Μέσα από τους πόρους της μεμβράνης διέρχεται μόνο το καθαρό νερό, ενώ το αλάτι παραμένει στο διαμέρισμα του αλατούχου διαλύματος και η στάθμη του συνεχώς κατεβαίνει.

Η τεχνική αυτή, η οποία προκάλεσε το αντίθετο φαινόμενο από την ώσμωση ονομάζεται *αντίστροφη ώσμωση*.

Στην διαδικασία αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση συμβαίνει το εξής:

Με αντλία υψηλής πίεσης διοχετεύεται το αλμυρό νερό στο σύστημα μεμβρανών. Η πίεση που ασκείται έχει σχέση με την αλατότητα του προς αφαλάτωση νερού, καθόσον η διαφορά αυτή οφείλεται στην διαφορετική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων μέσα στο νερό. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να φτάσει τα 7KWh ανά 5.000 lt πόσιμου νερού, και μπορεί να προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια μετά από φωτοβολταϊκή μετατροπή, καθιστώντας το σύστημα αυτοδύναμο. Η αντίστροφη ώσμωση πραγματοποιείται μέσα σε χαλύβδινα δοχεία που περιέχουν διατάξεις διαδοχικών ζευγών μεμβρανών που φτάνουν μέχρι τις 200. Η διάρκεια ζωής των μεμβρανών είναι 1 ½ -2 χρόνια.



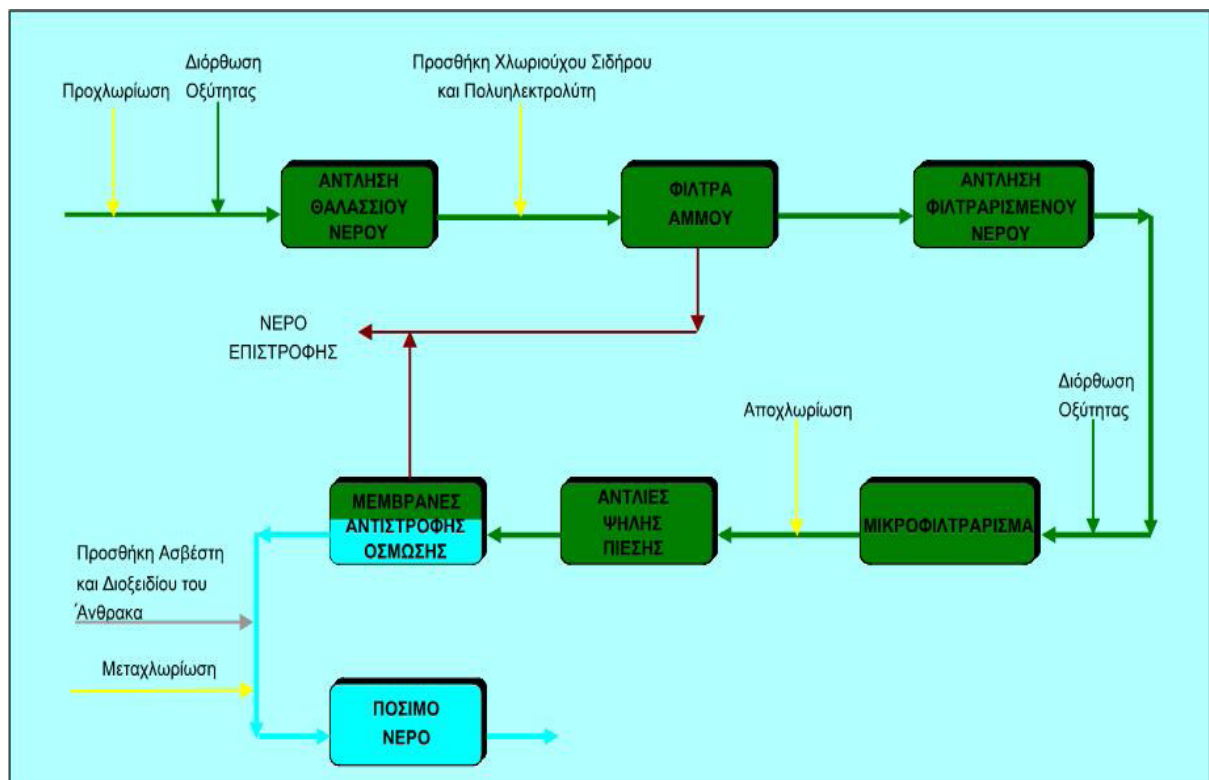
Σχήμα 12: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας συσκευής αντίστροφης ώσμωσης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Το προς καθαρισμό νερό εισέρχεται 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

Για το θαλάσσιο νερό, που πρωτίστως μας ενδιαφέρει, χρειάζονται ορισμένα στάδια επεξεργασίας:

- Στάδιο προεπεξεργασίας
- Στάδιο αντίστροφης ώσμωσης
- Τελικό στάδιο επεξεργασίας



Σχήμα 13: Διάγραμμα ροής αφαλάτωσης με σύστημα αντίστροφης όσμωσης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία: Οι μονάδες αφαλάτωσης στην Κύπρο, Η σημασία τους στην Διαχείριση των Υδατικών πόρων και οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις, Γεωργίου Μαριάννα

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 (αφαλάτωση Σίκινος)

Στάδιο αντίστροφης ώσμωσης

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.

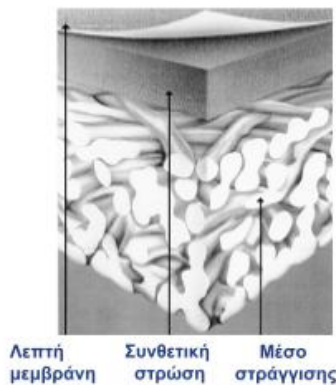
Τελικό στάδιο επεξεργασίας

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:

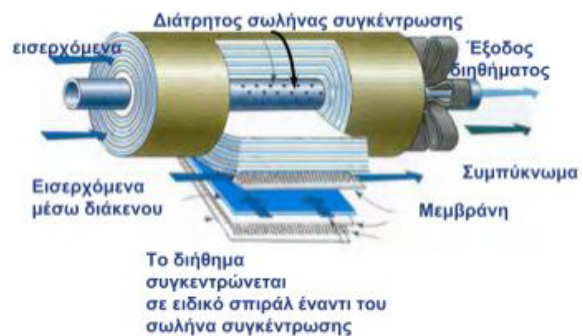
- Απομάκρυνση αερίων, όπως το υδρόθειο
- Ρύθμιση της οξύτητας (pH) και αύξηση της σκληρότητας (με προσθήκη ειδικά επεξεργασμένου ασβέστη και διοξειδίου του άνθρακα)
- Τελική χλωρίωση

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 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%.

Μεμβράνη λεπτού συνθετικού φιλμ



Μεμβράνη σπирάλ



Σχήμα 14: Τύποι Μεμβρανών

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Τύποι μεμβρανών

Οι μεμβράνες κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις τύπους:

(Πηγή: *Mark Wilf, (2007), The guidebook to Membrane Desalination Technology. Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems, ΚΑΠΕ - Σχεδιασμός συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, 2006*)

1. Επίπεδος τύπος
2. Σπειροειδής μεμβράνη
3. Σωληνωτός τύπος
4. Τύπος τριχοειδών ινών

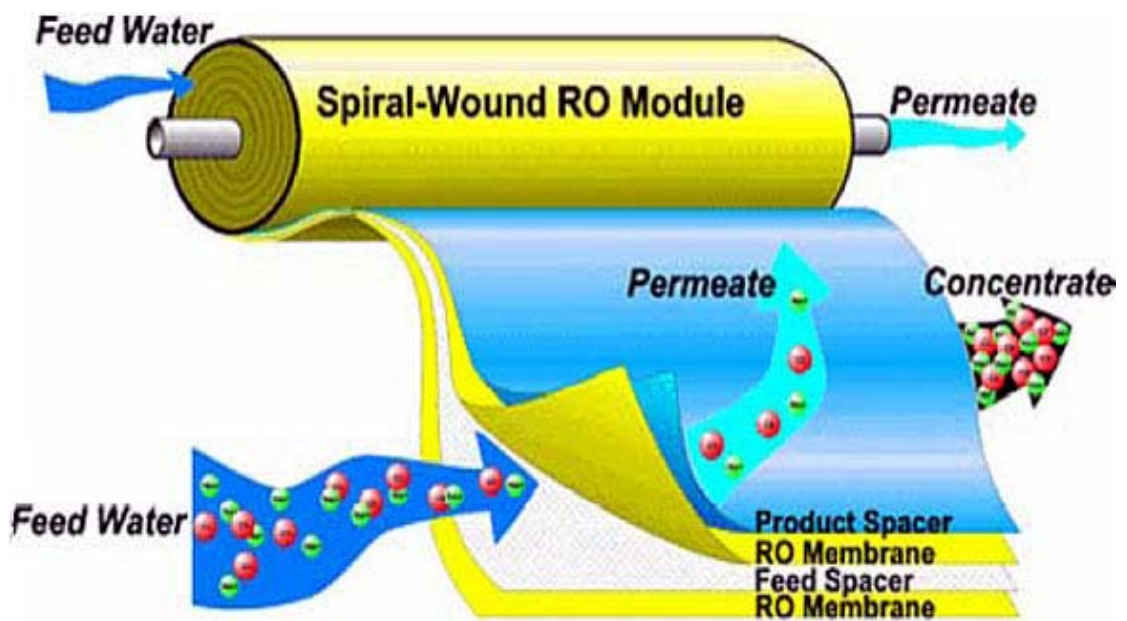
Τα συστήματα μεμβρανών έχουν κυλινδρικό σχήμα διότι έτσι, οι δυνάμεις πίεσης που ασκεί το νερό στην μεμβράνη κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια εσωτερικά του κυλίνδρου όπου και εξισορροπούνται. Η ικανότητα απόδοσης του συστήματος εξαρτάται από τον αριθμό των μεμβρανών που τοποθετούνται στην εγκατάσταση σε παράλληλη συστοιχία.

Τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης είναι τα εξής:

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

- Πολλές φορές η επιλογή της μεμβράνης γίνεται περισσότερο με κριτήριο τη συμβατότητα, παρά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν την ικανότητα φίλτρανσης και τη ροή του νερού διαμέσου αυτής

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης



Σχήμα 15: Σχηματική διαδικασία της RO, η οποία χρησιμοποιεί σπειροειδή μεμβράνη

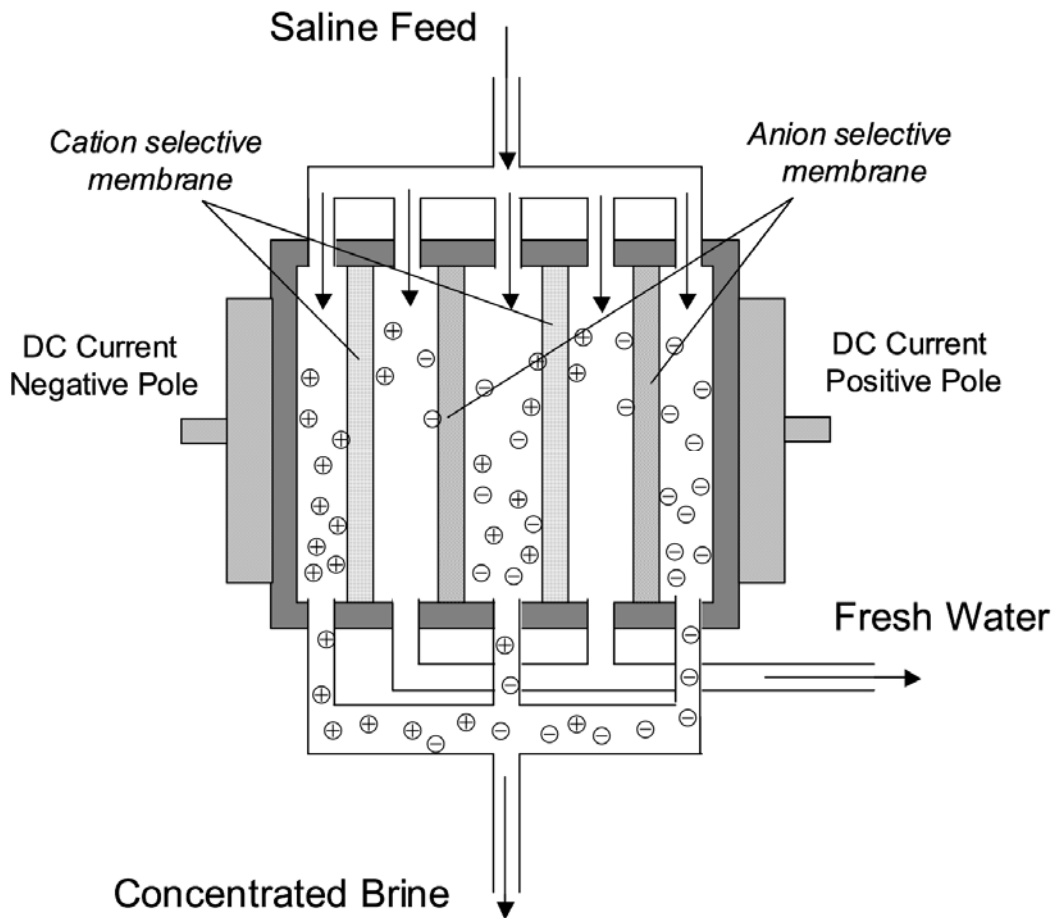
Πηγή: Mark Wilf, (2007), The guidebook to Membrane Desalination Technology. Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems

στ) Ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis)



Σχήμα 16: Εγκατάσταση ηλεκτροδιάλυσης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης



Σχήμα 17: Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτροδιάλυσης

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η αρχή της ηλεκτρόλυσης για να καθαρίσει το νερό. Το προς αφαλάτωση νερό περνάει μέσα από ένα σύστημα φορτισμένων μεμβρανών που διαχωρίζουν τα ιόντα των διαλυμένων αλάτων και τα απομακρύνουν από το καθαρό νερό. Τα ιόντα είναι οι – θετικά και αρνητικά – ηλεκτρικά φορτισμένες μονάδες των μετάλλων και των ριζών που βρίσκονται στο νερό.

Έστω ότι μέσα σε ένα δοχείο διαλύεται μια ποσότητα χλωριούχου νατρίου. Σε αυτήν την υδάτινη μάζα θα υπάρχουν ιόντα Νατρίου και ιόντα Χλωρίου. Στη συνέχεια εφαρμόζεται στο διάλυμα ηλεκτρική τάση μέσω δύο ηλεκτροδίων

που βυθίζονται μέσα στο διάλυμα και επομένως επιβάλλεται ένα ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο διάλυμα. Τα φορτισμένα ιόντα κινούνται προς την κατεύθυνση των ηλεκτροδίων εκείνων που έχουν αντίθετο φορτίο με αυτά.

Στην αφαλάτωση με ηλεκτρόλυση, το ηλεκτρολυτικό κελί περιλαμβάνει δύο μεμβράνες σαν διαχωριστικά τοιχώματα. Στα πλευρικά τοιχώματα υπάρχουν τα ηλεκτρόδια της συσκευής που συνδέονται με πηγή συνεχούς ρεύματος. Στην συσκευή διοχετεύεται θαλασσινό νερό.

Κατά την κίνησή τους, τα διαλυμένα ιόντα προσκολλώνται στις μεμβράνες με επιλεκτικό τρόπο. Τα ιόντα των αλάτων που συνήθως περιλαμβάνονται στο νερό διαπερνούν τις μεμβράνες εγκαταλείποντας τον ενδιάμεσο θάλαμο. Έτσι ο ενδιάμεσος θάλαμος περιέχει νερό με λιγότερα άλατα και επομένως πιο καθαρό. Είναι προφανές ότι η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να λειτουργήσει με μη ιοντικά στερεά, ενώ επίσης η απαιτούμενη ενέργεια είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων. Γι'αυτό η μέθοδος αυτή προτιμάται σε υφάλμυρα νερά, με σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων.

Συχνά, για την βέλτιστη λειτουργία των μεμβρανών, εφαρμόζεται αντιστροφή των πεδίων, ώστε τα τμήματα των μεμβρανών που είχαν μαζέψει πολλά άλατα καθαρίζονται από την ροή του καθαρού νερού.

2.2. Σύγκριση Μεθόδων αφαλάτωσης

Η ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται στην αφαλάτωση είναι ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα.

Για να επιλέξει κάποιος μια συγκεκριμένη μέθοδο πρέπει να λάβει υπόψη του:

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

- Τη διαθεσιμότητα και την εμπειρία του προσωπικού

Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης						
Μέθοδος	Νερό Τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Παραγωγή Προϊόντος (m ³ /ημέρα)	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας	Κόστος Εγκατάστασης €/ (m ³ /ημέρα)
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	1.000-60.000	Θερμική/Ηλεκτρική	290kJ/kg 4-6KWh/m ³	1000-2000
MED	Θαλασσινό	Θερμική	500-20.000	Θερμική/Ηλεκτρική	270kJ/kg 2,5-3 KWh/m ³	850-1750
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	25-2.500	Ηλεκτρική	8-15 KWh/m ³	1000-2350
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	0,4->70.000	Ηλεκτρική	<5KWh/ m ³ <3KWh/ m ³ με ανάκτηση ενέργειας	650-4400
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	2,5->50.000	Ηλεκτρική	0,5-3 KWh/m ³	300-2000
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	15-50.000	Ηλεκτρική	1,5-4 KWh/m ³	1000-5000

Πίνακας 1

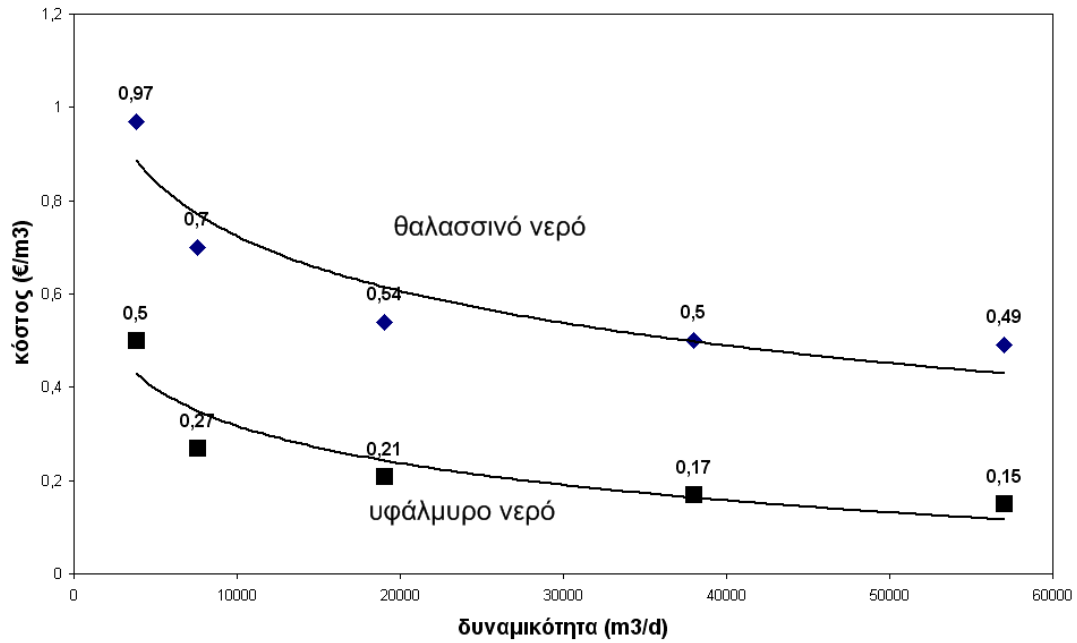
Εκτός από τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, οι μονάδες που χρησιμοποιούν τεχνολογίες MSF, MED VC, χρησιμοποιούν και θερμική ενέργεια για θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Εξ αιτίας της χαμηλής απόδοσης της μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, υπάρχει ένα υψηλό ενεργειακό πέναλτι αν η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Γενικά πάντως οι ανάγκες σε ενέργεια των μονάδων αφαλάτωσης είναι πάρα πολύ υψηλές, με ενδεικτικές τιμές 15 KWh/m³ για τις μονάδες VC ή καταναλώσεις που μπορεί να ξεπερνούν τις 20 KWh/m³ για μονάδες MSF.

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης έχει γενικά επικρατήσει στην αφαλάτωση του υφάλμυρου αλλά και του θαλασσινού νερού λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους της: η ενεργειακή της κατανάλωση ανέρχεται περίπου στις 2,5 KWh/m³ σε μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (με τη

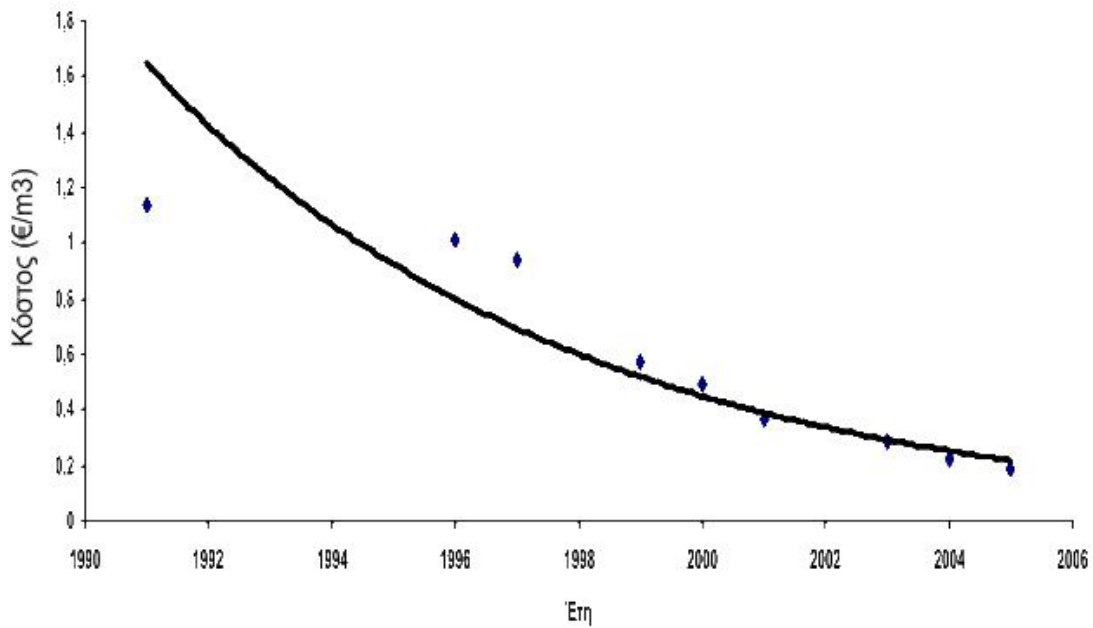
χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (energy recovery devices). Για μονάδες που δεν κάνουν χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας οι ενεργειακές καταναλώσεις είναι της τάξεως των 5-8 kWh/m³.

Επίσης η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης παρέχει αξιοπιστία σε όλο το εύρος μεγεθών παραγωγής (από λίγα λίτρα έως εκατοντάδες κυβικά μέτρα ανά ημέρα), λόγω και της συμπαγούς και εύκολης σχετικά με τις άλλες μεθόδους κατασκευής της. Ενδεικτικό επενδυτικό κόστος μονάδων RO μετά το 1995 βρίσκεται ανάμεσα σε 500 και 1000 USD ανά μ³/ημέρα. Η τιμή της μονάδας του αφαλατωμένου νερού που παράγεται (από υφάλμυρο) κυμαίνεται γύρω στα 0,5 USD/m³, δηλαδή φθηνότερο από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Αυτό οφείλεται στην συνεχή βελτίωση και εξέλιξη των μεμβρανών, την βελτίωση της απόδοσης των αντλιών, την σωστή επιλογή των υλικών και την κατάλληλη σχεδίαση. Παρ' όλα αυτά το τελικό κόστος του παραγόμενου νερού κάθε μονάδας επηρεάζεται από τη λογική του “economies of scale” και από τοπικούς παράγοντες όπως το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού, το κόστος χημικών, το κόστος μεταφοράς νερού, κλπ.

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το κόστος του παραγόμενου νερού είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που οφείλονται στο απορριπτέο νερό (άλμη) από τις μονάδες αφαλάτωσης. Η μελέτη της θαλάσσιας περιοχής, η σωστή σχεδίαση του συστήματος απόρριψης (χρήση διανομέων άλμης (brine distributors), χρήση αγωγών νερού απόρριψης μεγάλου μήκους σε απόσταση από την ακτή, κλπ.) ενδέχεται να αυξήσουν κατά ένα ποσοστό το κόστος επένδυσης, όμως θεωρούνται απαραίτητα μέσα πρόληψης για τη θαλάσσια ισορροπία της περιοχής.



Κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού



Σχήμα 18: Κόστος έργων αφαλάτωσης βασισμένο σε σειρά έργων που έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία 15 χρόνια

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Παρατηρούμε απ' τα παραπάνω διαγράμματα ότι το κόστος του παραγόμενου νερού φθίνει όσο αυξάνει η ποσότητα καθώς και με το πέρασμα του χρόνου, δηλαδή την ωρίμανση της τεχνολογίας.

Το κόστος του παραγόμενου νερού από τις μονάδες αφαλάτωσης στα Ελληνικά νησιά κυμαίνεται από 0,75 – 3 €/m³ για το θαλάσσιο νερό, ενώ για υφάλμυρο το κόστος κυμαίνεται στα 0,40 €/m³.

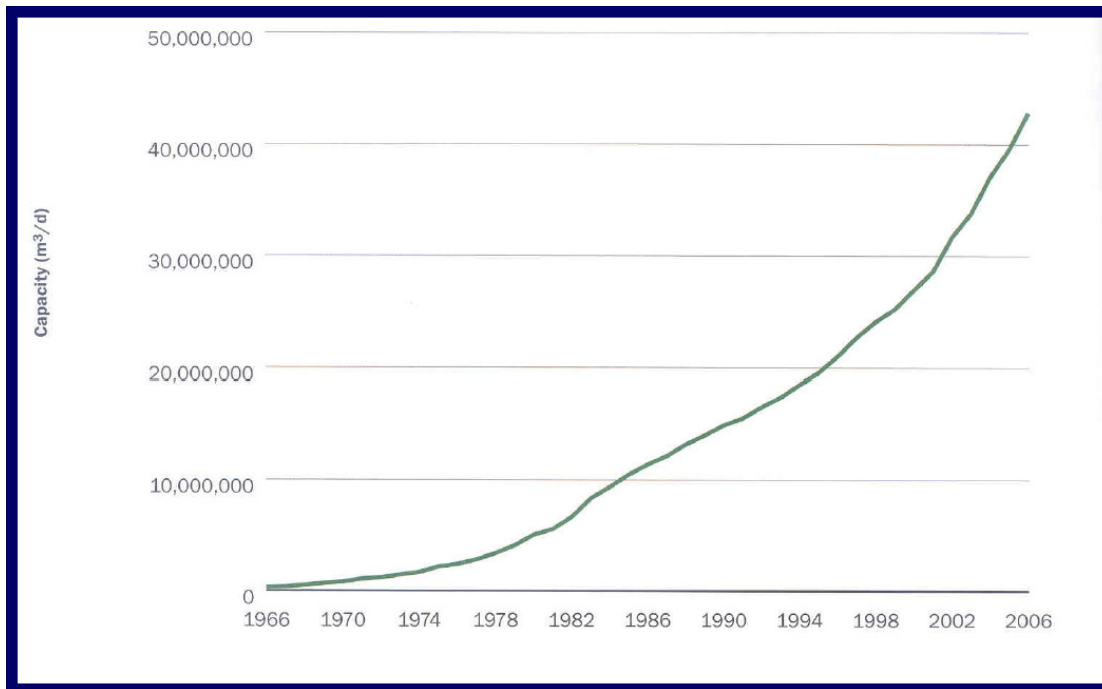
3. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ

3.1. Κόσμος

Τα τελευταία χρόνια η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού αναπτύσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς, που φαίνεται ότι στο μέλλον θα αποτελέσει μια από τις κύριες πηγές υδροδότησης.

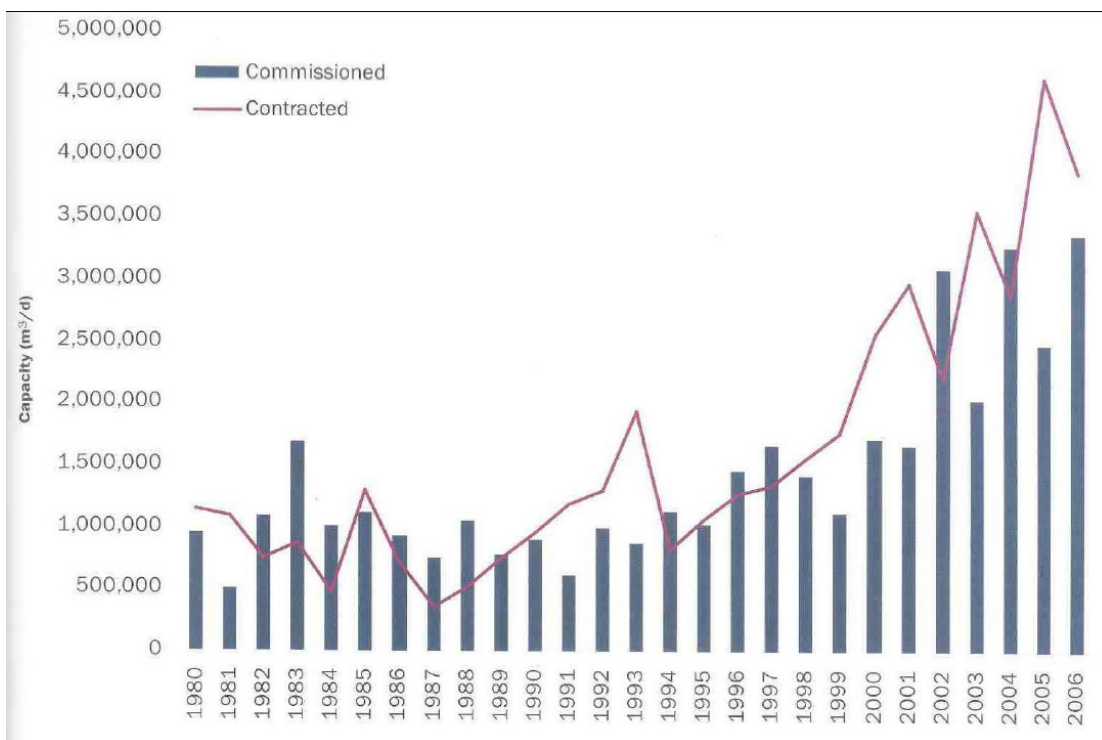
(Πηγές: «Φιλελεύθερο Ζάντε» Blog Archive_Αφαλάτωση_Μάννα' εκ θαλάσσης Ερώτηση προς Υπουργούς ΠΕΧΩΔΕ και Εσωτερικών σχετικά με εργοστάσια αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά, 09/04/2008 από τον Βουλευτή Μ. Παπαγιαννάκη ΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΠΑΑ/ΤΕΕ_για την αφαλάτωση, Δημοσιευμένο στο Διαδίκτυο, Διαχείριση Υδατικών Πόρων στα νησιά του Αιγαίου: Σύνοψη Εναλλακτικών Λύσεων Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Αιμιλία Κονδύλη και Γεώργιος Κορμπάκης, Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά – Διαδίκτυο)

Σήμερα εκτιμάται ότι σε όλο τον κόσμο λειτουργούν πολυάριθμες μονάδες αφαλάτωσης, που παράγουν πάνω από 50 εκατ. m³/ημ. πόσιμου νερού. Οι εγκαταστημένες μονάδες αντίστροφης ώσμωσης έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Έκθεση της Global Water Intelligence προβλέπει αύξηση μεγαλύτερη του 100% στη χρήση αφαλατωμένου νερού παγκοσμίως, μέσα στα επόμενα χρόνια.



Σχήμα 19: Εγκατεστημένη δυναμικότητα παγκοσμίως (m³/d)

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα αφαλάτωσης στο νησιωτικό χώρο, Δρ. Δ. Μανωλάκος, Μηχ/γος Μηχ/κός ΕΜΠ



Σχήμα 20: Δυναμικότητα εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης παγκοσμίως 1980-2006

Στην λύση της αφαλάτωσης και της αξιοποίησης του θαλασσινού νερού προχωρούν αρκετές χώρες του πλανήτη για να αντιμετωπίσουν τη λειψυδρία. Μάλιστα συχνά οι επενδύσεις γίνονται από ιδιωτικές εταιρείες, γεγονός που βοηθάει τα αναπτυσσόμενα κράτη τα οποία δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να προχωρήσουν σε τέτοιες επενδύσεις.

Υπολογίζεται ότι τα επόμενα 8 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 500.000 m³ νερού την ημέρα.

(Πηγή: International Desalination Association -leading global organization dedicated to desalination, desalination technology and water reuse)

Στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, βόρεια της κομητείας του Σαν Ντιέγκο, έχει κατασκευαστεί το πρώτο μεγάλο εργοστάσιο αφαλάτωσης, κόστους 300 εκ. δολαρίων, το μεγαλύτερο στο δυτικό ημισφαίριο, αποτελώντας ταυτόχρονα ένα πείραμα για την δυνατότητα τέτοιων τεράστιων εγκαταστάσεων να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες ύδρευσης πυκνοκατοικημένων περιοχών, προστατεύοντας παράλληλα το περιβάλλον των ακτών του Ειρηνικού ωκεανού. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης μέχρι σήμερα θεωρείται αυτό του Τζουμπάιλ στη Σαουδική Αραβία, ενώ την τρίτη θέση των μεγαλύτερων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης καταλαμβάνει το εργοστάσιο της Φοθτζαίρα στα Αραβικά Εμιράτα.

Το εργοστάσιο της Καλιφόρνια, έχει δυναμικότητα επεξεργασίας 400 εκ. λίτρων θαλασσινού νερού ανά ημέρα, με την διαδικασία της αντίστροφης

ώσμωσης. Αν τηρηθούν οι προδιαγραφές της κατασκευής του, η παραγωγή πόσιμου νερού στα τέλη του 2012 θα είναι περίπου 200 εκ. λίτρα την ημέρα. Οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θα προσφέρουν πόσιμο νερό σε εννέα δημοτικές εταιρείες ύδρευσης της βόρειας κομητείας του Σαν Ντιέγκο, καλύπτοντας ποσοστό 10% των αναγκών της περιοχής σε πόσιμο νερό

Πολλές παραθαλάσσιες κοινότητες στην Καλιφόρνια έως τα σύνορα με το Μεξικό, εξετάζουν την κατασκευή ανάλογων εγκαταστάσεων, όμως έχουν κατατεθεί από περιβαλλοντικές οργανώσεις δικαστικές ενστάσεις κατά της κατασκευής του υποστηρίζοντας ότι η άντληση μεγάλων όγκων θαλάσσιου νερού θα επηρεάσει ανεπανόρθωτα τον πληθυσμό των ψαριών και την ποιότητα του θαλάσσιου οικοσυστήματος της περιοχής, που μπορεί να καταστραφεί από την απόρριψη στον ωκεανό εξίσου μεγάλων όγκων θαλασσινού νερού, υποπροϊόντος της αφαλάτωσης.

Μονάδα Αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Ώσμωση(SWRO), Πέρθ, KWinana, Αυστραλία



Σχήμα 21: Αεροφωτογραφία του νέου εργοστασίου κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η εγκατάσταση παρέχει κάλυψη 17% των αναγκών του Πέρθ και είναι η μεγαλύτερη συνεισφορά στο ολοκληρωμένο σύστημα υδροδότησης της περιοχής.

Πηγή: [Desalination in Western Australia](#)

Τον Νοέμβριο του 2006 έγινε η επίσημη έναρξη της λειτουργίας των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη ώσμωση στην

Δυτική Αυστραλία και της πρώτης εγκατάστασης στη χώρα που χρησιμοποιεί την αφαλάτωση ως μια σημαντική πηγή νερού. Έχοντας να αντιμετωπίσει προοπτική ξήρανσης του κλίματος, η Εταιρία Ύδρευσης της Δυτ. Αυστραλίας διερευνά μια σειρά από επιλογές για να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση, γεγονός που καθιστά την οικοδόμηση μιας δεύτερης εγκατάστασης SWRO πολύ σοβαρή προοπτική.



Σχήμα 22: Σειρά μεμβρανών Degremont, παρόμοιες με εκείνες που προορίζονται για τις εγκαταστάσεις αντίστροφης ώσμωσης θαλασσινού νερού (SWRO) οι οποίες, όταν ολοκληρωθούν, θα είναι οι μεγαλύτερες του είδους στο νότιο ημισφαίριο

Πηγή: [Desalination in Western Australia](#)

Το εργοστάσιο βρίσκεται στην KWinana, 25 περίπου χλμ. Νότια της πόλης του Πέρθ, και έχει αρχική ημερήσια ικανότητα 140.000 m³/ημέρα με στόχο την επέκταση σε 250.000 m³/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 εκατομμυρίων πληθυσμού.



Σχήμα 23: Η περιοχή KWinana, όπου κατασκευάζεται η νέα μονάδα αφαλάτωσης, είναι το κέντρο της Δυτικής Αυστραλίας, της βαριάς βιομηχανίας και βρίσκεται περίπου 25 χιλιόμετρα νότια του Περθ. Η περιοχή ήδη φιλοξενεί τη νέα μεγάλη μονάδα ανάκτησης του νερού.

Πηγή: [Desalination in Western Australia](#)

Το συνολικό κόστος του έργου ήταν AUS \$387 εκατ., με ετήσιο κόστος λειτουργίας του κάτω από \$20 εκατ. – λιγότερο από ένα δολάριο την εβδομάδα για κάθε νοικοκυριό.

Η αυξανόμενη ανησυχία για την συρρίκνωση του φυσικού νερού σε όλη την περιοχή, μετά από τις θερμότερες και ξηρές περιόδους στο κλίμα των τελευταίων ετών, ενήργησε ως βασική κινητήρια δύναμη για το έργο. Ο

χειμώνας του 2001 ήταν από τις φτωχότερες σε εισροή νερού στους ταμιευτήρες που εξυπηρετούν το Πέρθ και την γύρω περιοχή, και στην συνέχεια, το 2002, η περιοχή υπέστη την χειρότερη ξηρασία των χρόνων που υπάρχουν καταγραφές.

Η αρχική σκέψη ήταν η εφαρμογή ενός μεσοπρόθεσμου σχεδίου ανάκαμψης που θα περιελάμβανε περιορισμούς στην χρήση καταιονισμού, ώστε να επιτευχθεί μια προσωρινή αύξηση των υπόγειων υδάτων και περαιτέρω, στην αύξηση της ικανότητας προσφοράς. Αυτό οδήγησε στην κατασκευή τριών γεωτρήσεων στον υδροφόρο ορίζοντα Yarragadee βαθιά κάτω από τα βόρεια προάστια του Πέρθ και ακόμα εννέα γεωτρήσεων στα ρηχά υδροφόρα στρώματα του Mirrabooka. Επίσης κατασκευάστηκαν δύο νέα φράγματα στα νοτιοδυτικά, όπου οι βροχοπτώσεις ήταν φυσικά πιο άφθονες – στο Samson Brook και στο Wokalup Creek.

(Πηγή: The Perth Seawater Desalination Plant- Water Corporation Australia – Διαδίκτυο)

Για να διασφαλιστεί το μέλλον του εφοδιασμού σε μακροπρόθεσμη βάση, η Εταιρία ύδρευσης υιοθέτησε αυτό που αποκαλείται «ασφάλεια στρατηγικής μέσω πολυμορφίας». Έτσι τον Σεπτέμβριο του 2004 ξεκίνησε διαγωνισμός για την μελέτη νέων εγκαταστάσεων και τον Απρίλιο του 2005 έγινε η ανάθεση και η έναρξη της κατασκευής.

Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το εργοστάσιο είναι περιοχή περιβαλλοντικής ευαισθησίας και για τον λόγο αυτό έχουν μελετηθεί εκτενώς οι πιθανές επιπτώσεις λειτουργίας του νέου εργοστασίου και έχουν επιβληθεί αυστηρές προϋποθέσεις παρακολούθησης που αφορούν την θερμοκρασία, τα ιζήματα κλπ. Μετά την αφαλάτωση, το νερό που παράγεται, υφίσταται επεξεργασία με άσβεστο, χλώριο και φθόριο πριν από την αποθήκευσή του και την εν συνεχεία ανάμιξή του με νερό από άλλες πηγές πριν εισέλθει στο ολοκληρωμένο σύστημα εφοδιασμού του Δήμου. Η ηλεκτρική ενέργεια για την μονάδα αφαλάτωσης προέρχεται από το Αιολικό Πάρκο που αποτελείται από 48 ανεμογεννήτριες.

Αριθμοί για την Αφαλάτωση

- 97%** του νερού στο πλανήτη είναι θαλασσινό νερό και ακατάλληλο για πόση ή για άρδευση
- 33-37** γραμμάρια στερεών σωματιδίων περιέχονται σε ένα λίτρο θαλασσινού νερού (37,000 μέρη στο εκατομμύριο)
- 10 -15** γραμμάρια στερεών σωματιδίων περιέχονται σε ένα λίτρο υφάλμυρου νερού (*brackish water*)
- 99%** των στερεών σωματιδίων πρέπει να αφαιρεθούν από το θαλασσινό νερό για να καταστεί πόσιμο. (το πόσιμο νερό δεν μπορεί να έχει παρά 500 μέρη στο εκατομμύριο)
- 1 δις** άνθρωποι σήμερα ζουν σε περιοχές που έχει πρόβλημα ύδρευσης
- 1.8 δις** άνθρωποι ο αντίστοιχος αριθμός το 2025
- 13.080** μονάδες αφαλάτωσης υπάρχουν στον κόσμο
- 300** εκατ δολάρια (200 εκατομμύρια €) το κόστος νέας μονάδας αφαλάτωσης στο *San Diego* της Καλιφόρνια
- 2.9 δις** δολάρια (περίπου 2 δις €) το κόστος της μονάδας που κατασκευάζεται τώρα στην *Μελβούρνη* της Αυστραλίας
- 55.6** εκατομμύρια κυβικά μέτρα, η ποσότητα νερού που παράγεται με αφαλάτωση σήμερα ανά έτος
- 0.5%** Το ποσοστό της κατανάλωσης νερού παγκοσμίως, που παράγεται με αφαλάτωση

- 1.5 \$.** Το κόστος παραγωγής ενός κυβικού μέτρου πόσιμου νερού από αφαλάτωση στις αρχές της δεκαετίας του '90
- 0.5\$** δολάριο. Το κόστος παραγωγής ενός κυβικού μέτρου πόσιμου νερού από αφαλάτωση το 2003
- 0.75\$** (0.5 €). Το αντίστοιχο κόστος σήμερα, λόγω της αύξησης της τιμής των υλικών και της ενέργειας.
- 3000** σπίτια θα μπορούσαν να ηλεκτροδοτηθούν με την ίδια ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται μία μονάδα αφαλάτωσης
- 8 KWh** η ενέργεια που χρειάζεται για την αφαλάτωση ενός κυβικού μέτρου θαλασσινού νερού το 1980 στην Σαουδική Αραβία
- 3.7 KWh** η ενέργεια που χρειάζεται για να αφαλατωθεί ένα κυβικό μέτρο θαλασσινού νερού σήμερα
- 15%** το ποσοστό περεταίρω εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με τις υπάρχουσες μεθόδους
- 20%** το ποσοστό περεταίρω εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με μεμβράνες νέας γενιάς
- 50%** του θαλασσινού νερού που ωθείται με μεγάλη πίεση στην ωσμωτική μεμβράνη, παράγεται σαν καθαρό νερό. Το άλλο μισό, συγκεντρώνει όλα τα άλατα και τα αλά σωματίδια (ρεύμα υπολειμμάτων), και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας με το πέρασμα σε μία τουρμπίνα.
- 75%** το ποσοστό ανάκτησης της ενέργειας από το 'ρεύμα υπολειμμάτων' το 1980 με την μέθοδο της ανάστροφης ώσμωσης
- 96%** το αντίστοιχο ποσοστό σήμερα.

3.2. Ελλάδα

Η αφαλάτωση στην Ελλάδα, αν και θα μπορούσε να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση για το πρόβλημα της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου και κυρίως στα πολύ ξηρά νησιά των Κυκλάδων, όπου το κόστος του μεταφερόμενου νερού είναι πολύ υψηλό, δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Την διετία 2004-2006 δαπανήθηκαν από το ελληνικό κράτος 25,5 εκατομμύρια € για την μεταφορά νερού στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου, ενώ μόνο μέσα στο 2006 δαπανήθηκαν περίπου 9,5 εκατομμύρια €, κόστος το οποίο υπολογίζεται ότι ανταποκρίνεται στην κατασκευή 15 μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, συνολικής παραγωγής 30.000 m³ την ημέρα, με μέσο κόστος παραγωγής 0,4 € / m³ .

Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα					
Μονάδα	Έτος κατασκευής (αρχικά)	Τύπος	Δυναμικότητα (m ³ /ημέρα)	Αρχικό κόστος (10 ⁶ €)	Λειτουργικό Κόστος (€)
Σύρος 1 (Ερμούπολη)	1992	RO (SW)	800	0,589	1,25
Σύρος 2 (Ερμούπολη)	1997	RO (SW)	800	1,482	1,25
Σύρος 3 (Ερμούπολη)	2001	RO (SW)	2X250	0,346	1
Σύρος 4 Άνω Σύρος	2000	RO (SW)	250	0,215	0,5
Σύρος 5 (Άνω Σύρος)	2002	RO (SW)	500	0,4	0,5
Σύρος 6 (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	4X500	0,313	1
Σύρος 7 (Άνω Σύρος)	2005	RO (SW)	2X500	1	0,4
Σχοινούσα	2004	RO (SW)	100	0,12	0,7
Μύκονος (Κόρφου) νέα	2001	RO (SW)	3X650	1,276	0,5
Πάρος (Νάουσα)	2001	RO (SW)	1200	0,415	0,5
Τήνος (παλαιά)	2001	RO (SW)	500	0,434	0,62
Τήνος(νέα)	2005	RO (SW)	500	0,376	0,62
Οίας, Σαντορίνη, 1η	1994	RO	220		2
Οίας, Σαντορίνη, 2η	2000	RO	320	0,211	2

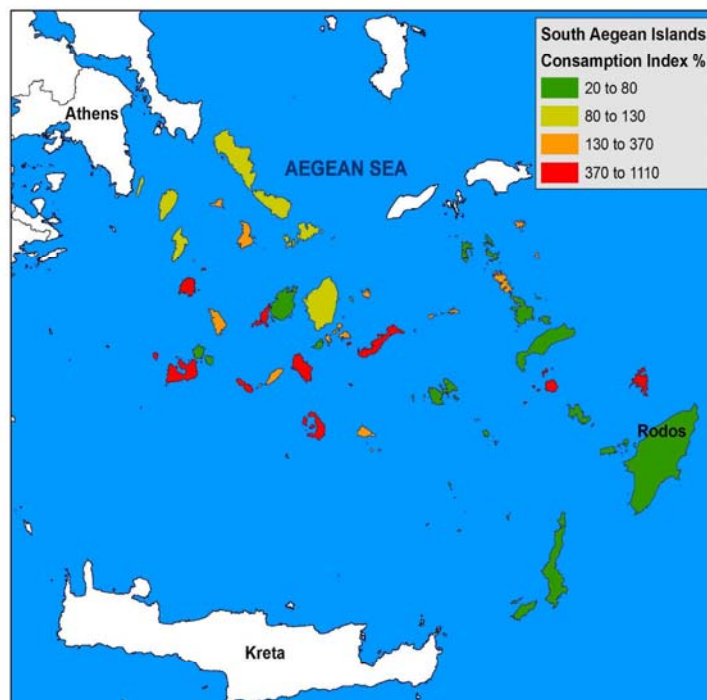
Οίας, Σαντορίνη, 3η	2002	RO	160		2
Σίφνος	2002	RO (BW)	500	0,224	3,5
Δήμος Ομηρούπολης, Χίος	2000	RO (BW)	600	0,205	0,3
Δήμος Ομηρούπολης, Χίος	2005	RO	3X1000	0,71	0,26
Δήμος Ομηρούπολης, Χίος	2005	RO	500	0,2	0,26
Νίσυρος (παλαιά)	1991	RO	300	0,572	
Νίσυρος, (νέα)	2002	RO	350	0,295	0,66
Ιθάκη 1η	1981	RO	620	0,264	2,88
Ιθάκη, 2η	2003	RO	520	0,587	0,58
Λέρος ΔΕΥΑ)	2001	RO	200	0,074	0,13
Δήμος Κασσωπαίων	2001	RO	500	0,117	0,13
Δήμος Ποσειδωνίας	2002	RO (SW)	2X250	0,464	0,56
Δήμος Ποσειδωνίας	2005	RO (SW)	2X250	0,574	0,45
Δήμος Αγ. Γεωργίου	2002	RO	500	0,102	0,3
Δήμος Παξών 1η	2005	RO	330	0,26	0,51
Δήμος Παξών 2η	2005	RO	150	0,162	0,59
Δήμος Παξών 3η	2007	RO (SW)	250	0,211	0,51
Δήμος Δυστίων	2006	RO (BW)	400	0,2	0,3
Δήμος Σίφνου	2007	RO (SW)	250		
Δήμος Ίου	2003	RO (SW)	1000		
Δήμος Ιθάκης	2005	RO (SW)	200	0,22	
Δήμος Οινουσών	2005	RO (SW)	500		
Δήμος Πόρου	2006	RO (BW)	1000	0,2	0,3

Πίνακας 2

Πηγή: Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, «Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης

Το Αιγαίο έχει πλούσιο ηλιακό και αιολικό δυναμικό και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά και οι

ανεμογεννήτριες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργειακή τροφοδοσία των μονάδων αφαλάτωσης.



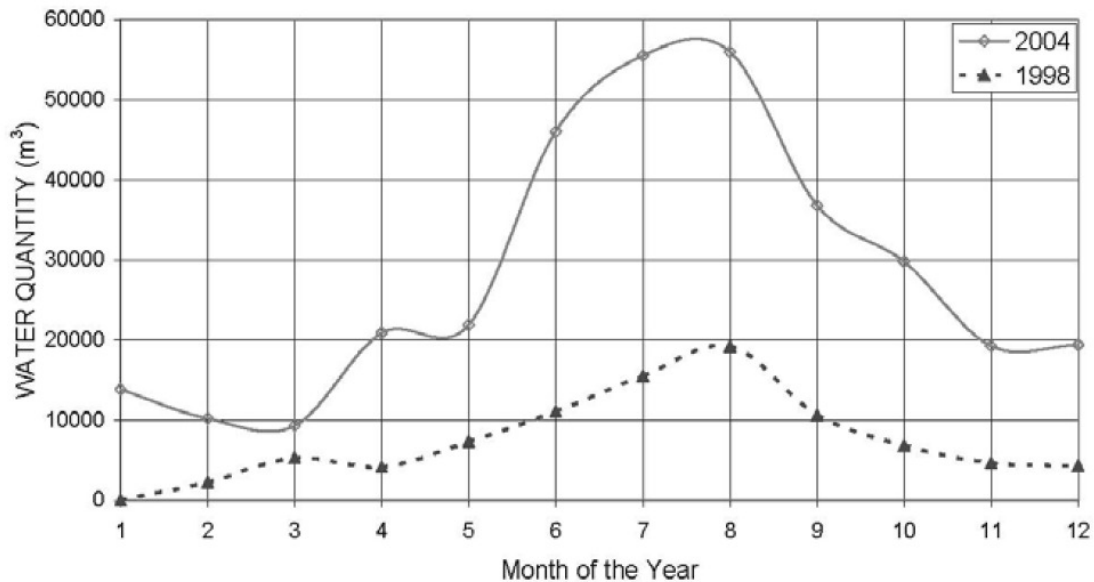
Σχήμα 24: Δείκτης κατανάλωσης νερού στις Κυκλάδες $\Delta KN = \text{ζήτηση} / \text{διαθεσιμότητα}$

Πηγή: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα αφαλάτωσης στο νησιωτικό χώρο, Δρ. Δ. Μανωλάκος, Μηχ/γος Μηχ/κός ΕΜΠ

Οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σήμερα στον τουρισμό, στην γεωργία και στην κτηνοτροφία, καλούνται να καλύψουν με ίδιους πόρους το κόστος για την εξασφάλιση καθαρού νερού. Η εξασφάλιση υψηλής ποιότητας φρέσκου νερού μέσω αφαλάτωσης αναμένεται να μειώσει αρκετά το κόστος αυτό, βελτιώνοντας τις συνθήκες επιχειρηματικής δραστηριότητας. Επίσης, η εξασφάλιση πόσιμου νερού θα αναβαθμίσει το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών στην τουριστική βιομηχανία, ωφελώντας αντίστοιχα την τοπική οικονομία. Τα νησιά προσελκύουν ήδη αρκετές χιλιάδες επισκεπτών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες

Η κάλυψη των αναγκών σε φρέσκο νερό δεν είναι παντού η ίδια, αλλά ποικίλλει από νησί σε νησί, καθώς στα μεγαλύτερα ή τα πιο τουριστικά (Σύρος, Τήνος, Μύκονος, Σίφνος, Σέριφος, Κως, Ρόδος) έχουν εγκατασταθεί μονάδες αφαλάτωσης, ενώ σε άλλα μικρότερα, οι ανάγκες καλύπτονται από μικρής έκτασης έργα και δεξαμενές, των οποίων η απόδοση εξαρτάται άμεσα από τις βροχοπτώσεις.

Στα νησιά του Αιγαίου (Λέρος, Νίσυρος, Θήρα, Ίος, Μήλος, Σίφνος, Πάρος, Σύρος, Μύκονος, Τήνος, Κίμωλος, Οινούσες και Χίος) έχουν εγκατασταθεί μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης και καλύπτουν το 2% της ζήτησης αρδευτικού νερού και περίπου το 4,1% της ζήτησης σε νερό ύδρευσης. Συγκεκριμένα στη Νίσυρο, η μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού λειτουργεί από το 1991, δυναμικότητας 800 m³ ανά ημέρα.



Σχήμα 25: Εποχιακή διακύμανση στις εισαγόμενες ποσότητες νερού το 1998 και το 2004 στις Κυκλάδες

Πηγή: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα αφαλάτωσης στο νησιωτικό χώρο, Δρ. Δ. Μανωλάκος, Μηχ/γος Μηχ/κός ΕΜΠ

Το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών έχει εκπονήσει ένα μεγάλο ευρωπαϊκό πρόγραμμα για τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση 10 μονάδων αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές στις χώρες Ιορδανία, Μαρόκο, Τουρκία και Κύπρο.

ΥΔΡΙΑΔΑ

Με δεδομένη την σημαντική ηλιοφάνεια και την έντονη παρουσία των ανέμων στα ελληνικά νησιά, Έλληνες και ξένοι επιστήμονες οδηγήθηκαν στη σχεδίαση και την δημιουργία της πρώτης στον κόσμο πλωτής μονάδας αφαλάτωσης, η οποία χρησιμοποιεί για τη λειτουργία της μονάχα ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: τον άνεμο για την κυρίως λειτουργία του «πλωτού εργοστασίου» και επικουρικά τον ήλιο για την ηλεκτροδότηση των συστημάτων ελέγχου και τηλεχειρισμού της.



Σχήμα 26: Κατασκευή Υδριάδας

Πηγή: Διαδίκτυο- Ριζόπουλος Γιάννης, Pathfinder τεχνολογείν: «Πλωτή αιολική μονάδα ασφαλάτωσης: λύση για τα άνυδρα νησιά», Νοέμβριος 2007

Η πρώτη αυτή μονάδα που ονομάστηκε με το όνομα Υδριάδα, παρμένο από την ελληνική μυθολογία (οι Υδριάδες ήταν Νύμφες των γλυκών νερών), κόστισε 2,8 εκατ. €, όμως, το κόστος για τις επόμενες αντίστοιχες υπολογίζεται ότι δεν πρόκειται να ξεπεράσει τα 700.000 €.

Οι μελέτες των επιστημόνων τόσο του ιδιωτικού όσο και του δημόσιου τομέα, ξεκίνησαν το 2003 και διήρκεσαν περίπου 2,5 χρόνια ενώ η κατασκευή του συστήματος διήρκεσε περίπου 6 μήνες. Στην κατασκευή συμμετείχαν οι κάτωθι φορείς:

Πανεπιστήμιο Αιγαίου (ανάδοχος), ΤΕΧΝΑΒΑ ΑΕ, Reflection ΕΠΕ, Algosystems ΑΕ, Lamda Shipyrads ΑΕ, ΠΙΣΕΥ, ΚΑΠΕ, Ι. Κουιμάνης & Συνεργάτες, Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Ελληνικός Νηογνώμονας ΑΕ



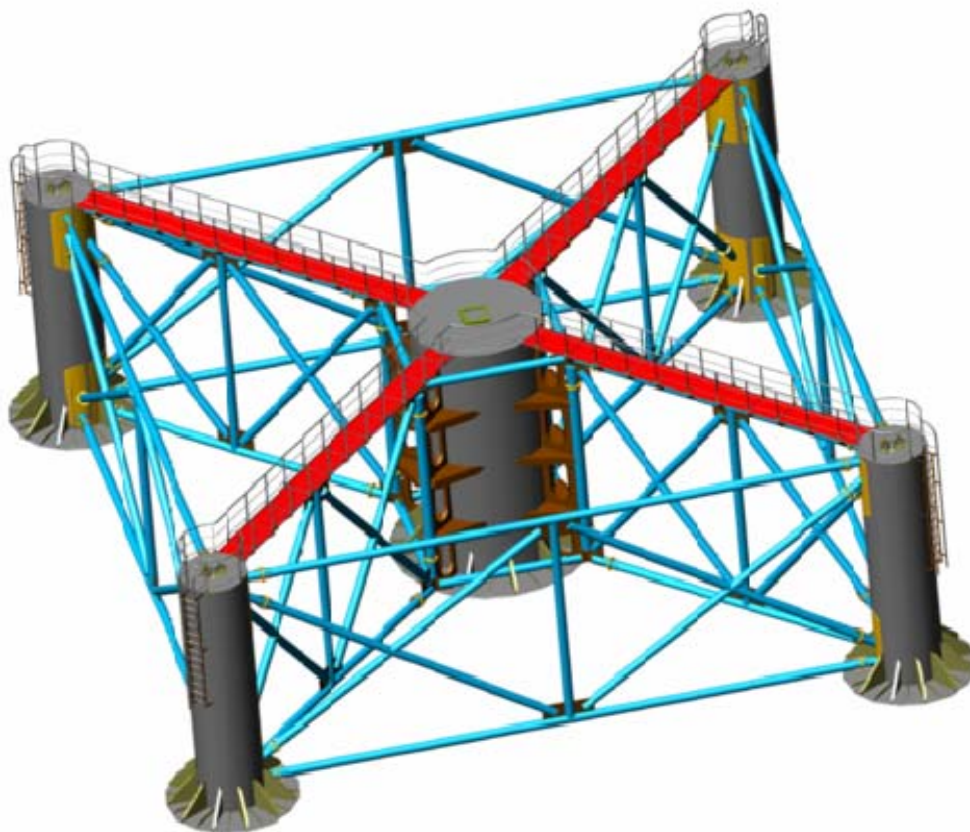
Σχήμα 27: Ναυπήγηση Υδριάδας

Πηγή: Διαδίκτυο- Ριζόπουλος Γιάννης, Pathfinder τεχνολογείν: «Πλωτή αιολική μονάδα αφαλάτωσης: λύση για τα άνυδρα νησιά», Νοέμβριος 2007

Η πλωτή κατασκευή με την ενσωματωμένη ανεμογεννήτρια έπρεπε να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε τα δυνατά μποφόρ του Αιγαίου να μην επηρεάζουν τη λειτουργία της. Θα πρέπει να παραμένει «ακίνητη» κάτω από τις πιο δύσκολες καιρικές συνθήκες (έχει αντέξει άνεμους 10 και 11 μποφόρ), ώστε να μπορεί να λειτουργεί η ανεμογεννήτρια, η οποία χρησιμοποιεί τις πιο προηγμένες τεχνολογικά συνιστώσες της παγκόσμιας αγοράς

Αρχικά, λειτούργησε δοκιμαστικά για 6 μήνες στον κόλπο της Ελευσίνας, όπου σε ένα ιδιαίτερα μολυσμένο θαλασσινό περιβάλλον, απεδείχθη ότι μπορεί να λειτουργήσει άψογα, χωρίς τη χρήση χημικών. Στη συνέχεια, το σύστημα εγκαταστάθηκε στην Ηρακλεία, στις μικρές Κυκλάδες, όπου και λειτουργεί χωρίς κανένα πρόβλημα, παρά το γεγονός ότι επανειλημμένα έχει

βρεθεί σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Η κατασκευή, η οποία ζυγίζει 150 τόνους και καλύπτει έκταση μισού στρέμματος, έχει ύψος όσο μια δεκαώροφη πολυκατοικία και παράγει 70.000 λίτρα πόσιμου νερού το 24ωρο.



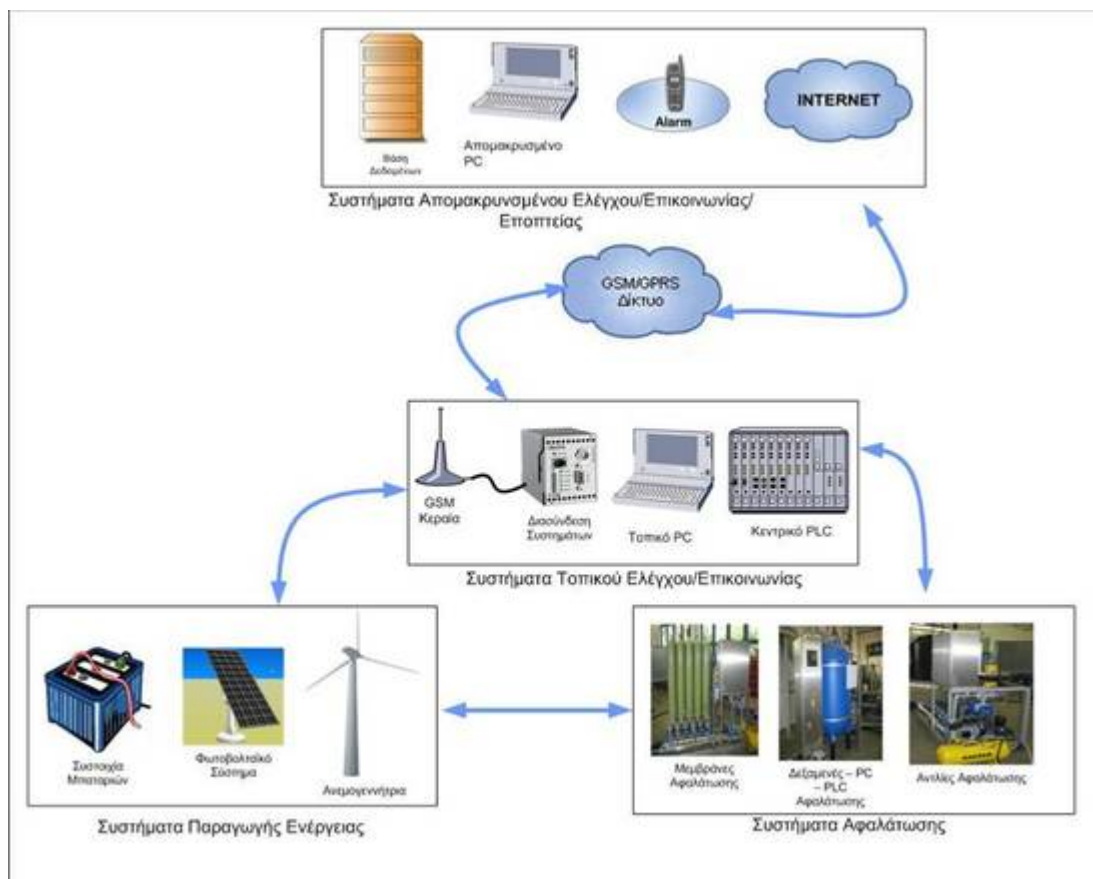
Σχήμα 28: Σχηματική αναπαράσταση πλωτής κατασκευής Υδριάδας

Πηγή: Διαδίκτυο- Ριζόπουλος Γιάννης, Pathfinder τεχνολογείν: «Πλωτή αιολική μονάδα αφαλάτωσης: λύση για τα άνυδρα νησιά», Νοέμβριος 2007

Η πλωτή κατασκευή αποτελείται από τέσσερις περιφερειακούς κυλινδρικούς πλωτήρες και έναν κεντρικό, που συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικό δίκτυωμα, ώστε σε συνδυασμό με τη γεωμετρία της κατασκευής να ελαχιστοποιείται η επίδραση των κυμάτων. Στους τρεις ορόφους του πλωτήρα, είναι εγκατεστημένα το «εργοστάσιο» αφαλάτωσης – που βασίζεται στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης και έχει την ικανότητα (στο πιλοτικό σύστημα) να παράγει νερό αρκετό για 300 άτομα -, το κέντρο ελέγχου του συστήματος και η δεξαμενή αποθήκευσης του πόσιμου νερού. Δηλαδή, ένα

«εργοστάσιο» αφαλάτωσης το κέντρο έλεγχου του συστήματος, τα ηλεκτρολογικά/ηλεκτρονικά συστήματα, οι αυτοματισμοί (για τοπική και απομακρυσμένη λειτουργία) και τα υπόλοιπα βοηθητικά συστήματα, καθώς και τα συστήματα ασφάλειας.

Κατά την κατασκευή οι επιστήμονες είχαν να αντιμετωπίσουν προκλήσεις σε τεχνικό επίπεδο: έπρεπε να γίνει ειδικός σχεδιασμός που να επιτρέπει την σύζευξη πλωτού και ανεμογεννήτριας, να υπάρχει αυτόματο σύστημα GPRS για την παρακολούθηση και τον τηλεχειρισμό της μονάδας, έτσι ώστε να μην απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και να γίνονται όλα αυτοματοποιημένα. Αυτό είναι φανερό ότι μειώνει αισθητά το κόστος λειτουργίας.



Σχήμα 29: Ενεργειακή διασύνδεση συστημάτων Υδριάδας

Πηγή: Διαδίκτυο- Ριζόπουλος Γιάννης, Pathfinder technologies: «Πλωτή αιολική μονάδα αφαλάτωσης: λύση για τα άνυδρα νησιά», Νοέμβριος 2007

Έχει επιτευχθεί απόλυτα οικολογική λειτουργία, εφόσον το σύστημα δεν χρησιμοποιεί καύσιμα παρά μόνο αιολική και ηλιακή ενέργεια μέσω ανεμογεννήτριας και φωτοβολταϊκών κυψελών (δεν χρειάζεται η σύνδεσή της με δίκτυο της ΔΕΗ) και βέλτιστος βαθμός απόδοσης της αφαλάτωσης, εφόσον λειτουργεί με μεταβλητή παροχή ισχύος. Στα συστήματα που τροφοδοτούνται αποκλειστικά και μόνο από ΑΠΕ, η διαθέσιμη ισχύς είναι συνεχώς μεταβαλλόμενη: δηλαδή, φυσάει πολύ έχουμε πολύ διαθέσιμη ισχύ, φυσάει λιγότερο έχουμε λιγότερη. Σε συνθήκες, λοιπόν, μεταβαλλόμενης ενέργειας με την πιλοτική λειτουργία του συστήματος έχουν επιβεβαιωθεί τα ερευνητικά αποτελέσματα. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι και στα πλοία υπάρχουν μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες όμως λειτουργούν με την ενέργεια γεννητριών Diesel, που σημαίνει ότι το κόστος λειτουργίας είναι αρκετά υψηλό και προφανώς δεν είναι καθόλου φιλικές προς το περιβάλλον.

Η μονάδα κατασκευάστηκε σε ναυπηγείο, ρυμουλκήθηκε στον τόπο εγκατάστασης, αλλά μπορεί να μεταφερθεί εύκολα και παντού αλλού.

Η τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης χρησιμοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε δεν έγινε χρήση καθόλου χημικής επεξεργασίας του θαλασσινού νερού, με ελαχιστοποίηση των φαινομένων επικαθίσεων οργανικών και ανοργάνων ενώσεων στις μεμβράνες ώσμωσης και με απόδοση που φτάνει τα 70 m³ νερό την ημέρα.

Κατά την δοκιμαστική λειτουργία της μονάδας ελέγχθηκαν όλα τα συστήματα σε πραγματικές συνθήκες και έγιναν όλες οι διορθώσεις. Μια τέτοια μονάδα έχει την δυνατότητα να κατασκευαστεί στο ίδιο ή σε ακόμα μεγαλύτερο μέγεθος στο ναυπηγείο και να ταξιδέψει στον τελικό ή πρόσκαιρο προορισμό της, δίνοντας γρήγορα λύση σ' όποιο πρόβλημα παρουσιαστεί. Η όλη εγκατάσταση συνιστά ένα σύνθετο πλωτό ναυπήγημα.



Σχήμα 30: Ρυμούλκηση Υδριάδας

Πηγή: Διαδίκτυο- Ριζόπουλος Γιάννης, Pathfinder τεχνολογείν: «Πλωτή αιολική μονάδα αφαλάτωσης: λύση για τα άνυδρα νησιά», Νοέμβριος 2007

Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του όλου εγχειρήματος, έτσι ώστε να μην υπάρξει επέμβαση στο νησιωτικό τοπίο με δρόμους, εγκαταστάσεις, καλώδια ρεύματος κλπ. Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι από τη λειτουργία της μονάδας περιορίζονται ουσιαστικά στην απόθεση του αλμυρού νερού (ύστερα από την αφαλάτωση), η οποία γίνεται στο ανοικτό πέλαγος, μακριά από τις ακτές, και σε μικρές ποσότητες. Για την αντιμετώπιση, όμως, και αυτού του ζητήματος, σχεδιάζεται για τον επόμενο σταθμό να συνδυάζεται το αλμυρό νερό από την έξοδο της μονάδας με τα καυσαέρια της τοπικής μονάδας ΔΕΗ του νησιού. Ο στόχος είναι να δεσμεύεται το CO₂ από τα καυσαέρια στο αλάτι του αλμυρού νερού, και από την ένωση αυτή να παράγεται νερό για άρδευση, καθώς και βιομηχανικό

προϊόν σόδας, που θα πωλείται για την παραγωγή απορρυπαντικών και άλλων βιομηχανικών προϊόντων, χωρίς να απορρίπτεται τίποτα στη θάλασσα.

Συνοπτικά λοιπόν, έχουν επιτευχθεί τα κάτωθι:

- Όσον αφορά τη **μονάδα αφαλάτωσης**:
 - βέλτιστη ενεργειακή απόδοση,
 - μείωση του φαινομένου των οργανικών και ανόργανων επικαθίσεων στις μεμβράνες
 - αύξηση του βαθμού απόδοσης του κύκλου λειτουργίας
 - λειτουργία χωρίς χημική επεξεργασία.
- Όσον αφορά την **πλωτή κατασκευή**:
 - καλή συμπεριφορά σε διάφορες καιρικές συνθήκες ανέμου και κυματισμού.
 - συμμόρφωση με όλους τους κανονισμούς και συμβατότητα με τις σχετικές προδιαγραφές που αφορούν πλωτές κατασκευές,
 - παρακολούθηση από Νηογνώμονα και νηολόγηση.
- Όσον αφορά την **ενεργειακή διασύνδεση**: ευέλικτη και αξιόπιστη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της διαδικασίας αποκλειστικά και μόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Όσον αφορά τη **συνολική λειτουργία του συστήματος**: πλήρως αυτοματοποιημένο και τηλε - παρακολουθούμενο, χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη ανθρώπων πάνω στην πλωτή μονάδα (ούτε εξειδικευμένου προσωπικού στα μικρά νησιά).

Τόσο η σχεδίαση όσο και τα αποτελέσματα από τη λειτουργία της πλατφόρμας αφαλάτωσης έχουν κερδίσει τις εντυπώσεις σε εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο. Το έργο έχει κερδίσει το βραβείο Lloyd's για καινοτόμο ναυτική κατασκευή, καθώς και Ειδική Μνεία στο έργο «Πλωτή, αυτόνομη και φιλική για το περιβάλλον μονάδα αφαλάτωσης, Νότιο Αιγαίο, Ελλάδα» από την Επιτροπή του διαγωνισμού των Βραβείων RegioStars 2008 που αφορούν την επιβράβευση των πιο καινοτόμων περιφερειακών σχεδίων της Ευρώπης

Ενδιαφέρον έχει εκδηλωθεί από πολλές χώρες, είτε μέσω των πρεσβειών τους είτε απευθείας, από επαφές που έχουν κάνει αρμόδιοι παράγοντες, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει εκφραστεί από την Κύπρο και τις ΗΠΑ.

ΜΗΛΟΣ

Έχει εγκατασταθεί μονάδα αφαλάτωσης κοντά στα Μανδράκια από τον Ιούλιο του 2007, έργο προϋπολογισμού 3,5 εκατ. €, ενταγμένο στο Γ' Κ.Π.Σ., Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας. Το έργο αυτό πρόκειται να καλύψει τις ανάγκες του νησιού, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, όπου λόγω της αύξησης του τουρισμού, τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα του νερού δεν είναι επαρκής και ικανοποιητική.

Η Μονάδα Αφαλάτωσης, που καλύπτεται ενεργειακά από το Αιολικό Πάρκο, που βρίσκεται στη θέση «Κουτσουνόρραχη», αποτελείται από:

- 2 μονάδες των 1.000 m³ / ημέρα (σύνολο 2.000 m³ με προοπτική να επεκταθεί μέχρι το 2011 στα 3.000 m³) που «φιλοξενούνται» σε containers
- αντλίες και αγωγούς που μεταφέρουν το θαλασσινό νερό στις μονάδες από όπου αφαλατώνεται
- 4 δεξαμενές λειτουργίας και τροφοδότησης πόσιμου νερού, με χωρητικότητα 3.000 m³, στις οποίες διοχετεύεται το νερό και στη συνέχεια μεταφέρεται στο νησί
- ένα καταθλιπτικό αγωγό, που έχει μήκος 2.500 m και μεταφέρει νερό κατάλληλο προς κατανάλωση στις δεξαμενές λειτουργίας και τροφοδότησης, και τέλος
- μια ανεμογεννήτρια με 850 KW που στηρίζει ενεργειακά τη Μονάδα Αφαλάτωσης.

3.3. Κύπρος

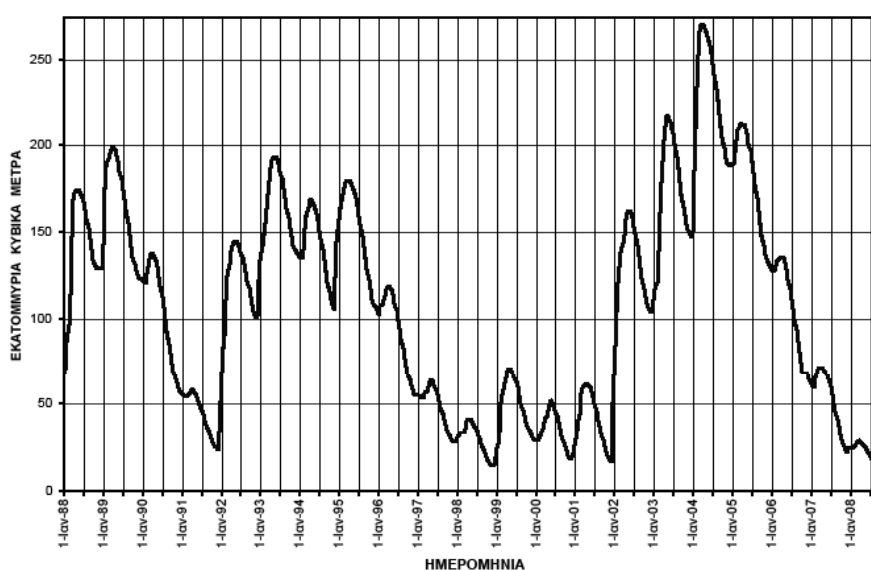
Σχεδόν όλοι οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι της Κύπρου προέρχονται από τους ταμειυτήρες. Η μέση ετήσια βροχόπτωση (περιλαμβανομένης και της

χιονόπτωσης) ανέρχεται σε 500 mm, παρατηρείται μόνο κατά τους χειμερινούς μήνες, είναι γεωγραφικά ανομοιόμορφα κατανομημένα και παρουσιάζει μεγάλη διαχρονική διακύμανση με συνεχείς ανομβρίες. Μόνο ένα ποσοστό 20% προσφέρεται για χρήση αφού το υπόλοιπο 80% επιστρέφει στην ατμόσφαιρα σαν εξάτμιση.

(Πηγές: Χρίστος Μιχαηλίδης: «Η Αφαλάτωση στην Κύπρο», Εκτελεστικός Μηχανικός, Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Σεπτέμβριος 2009, Γεωργίου Μαριάννα: «Οι Μονάδες Αφαλάτωσης στην Κύπρο, η σημασία τους στην Διαχείριση των Υδατικών Πόρων και οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις» Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο)

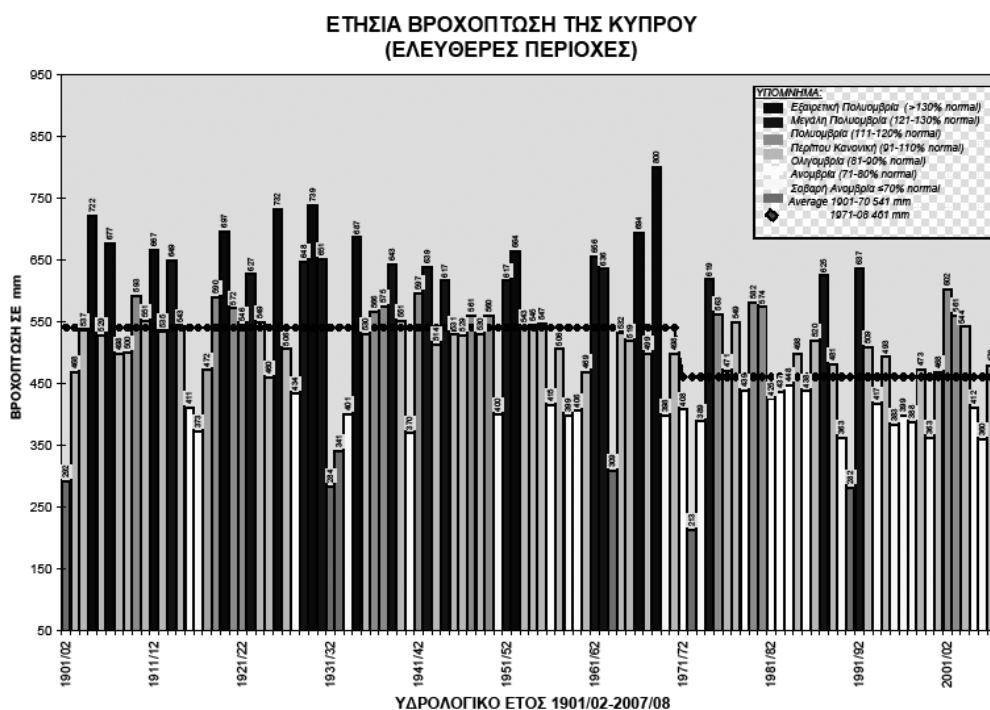
Η Κύπρος σήμερα κινείται με γρήγορους ρυθμούς οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης και η διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί προτεραιότητα στα προγράμματα βελτίωσης της ποιότητας ζωής.

Από το 1970 η βροχόπτωση μειώνεται. Ο μέσος όρος της δεκαετίας 1990/ 2000 ήταν μειωμένος κατά 15% σε σύγκριση με την περίοδο 1960/ 1990 Η συχνότητα των ανομβριών αυξήθηκε. Η δεκαετία 1990/ 2000 περιείχε 7 έτη ανομβρίας.



Σχήμα 31.1: Αποθέματα νερού σε όλα τα φράγματα 1/1/1988 – 1/10/2008

Πηγή: Χρίστος Μιχαηλίδης: «Η Αφαλάτωση στην Κύπρο», Εκτελεστικός Μηχανικός, Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Σεπτέμβριος 2009



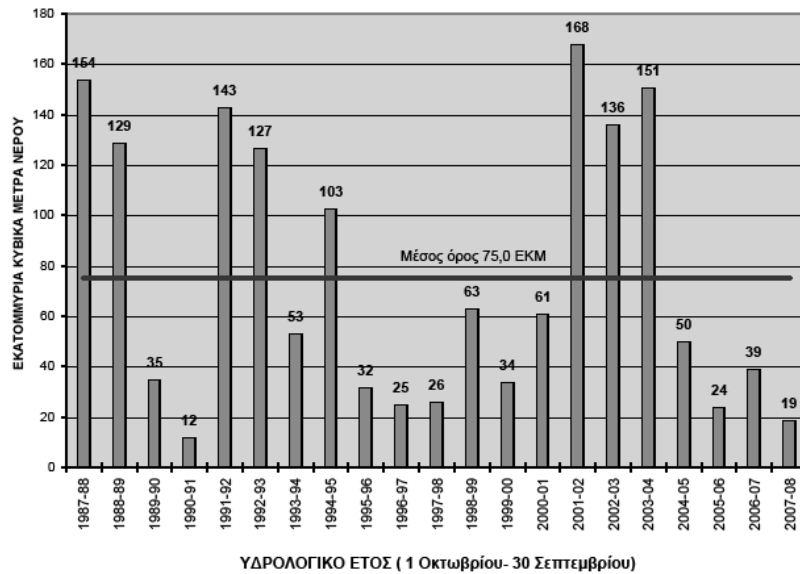
Σχήμα 31.2: Ετήσια βροχόπτωση της Κύπρου

Πηγή: Χρίστος Μιχαηλίδης: «Η Αφαλάτωση στην Κύπρο», Εκτελεστικός Μηχανικός, Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Σεπτέμβριος 2009

Τα αποτελέσματα του ελλείμματος νερού κατά την δεκαετία 1990-2000 στην Κύπρο ήταν η μείωση της παροχής νερού για ύδρευση μέχρι και 20% της κανονικής και η μείωση του νερού άρδευσης μέχρι και 70% της κανονικής. Ως συνέπεια ήταν προβλήματα οικονομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά.

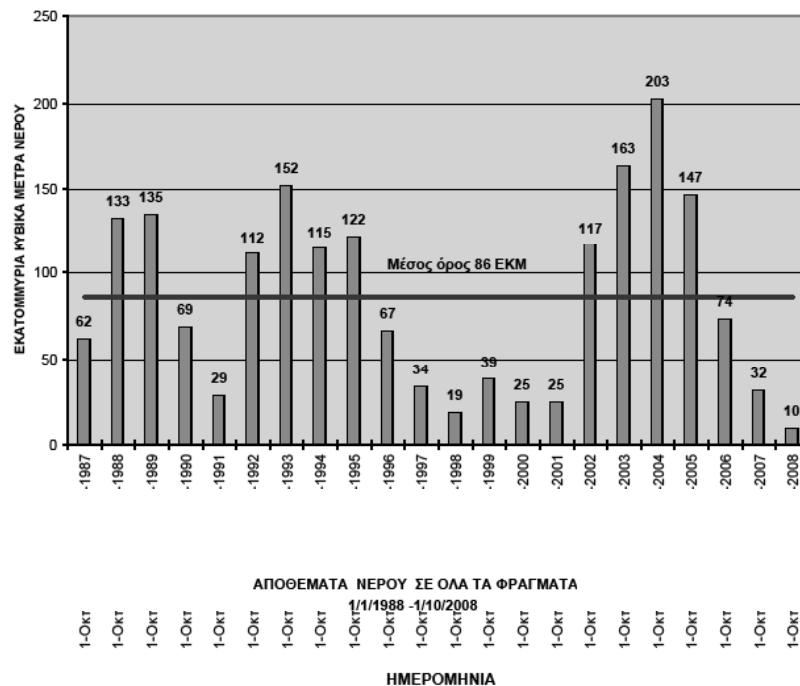
Οι μονάδες αφαλάτωσης στην Κύπρο δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της πολιτικής για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας, καθώς προστίθεται περισσότερο νερό στο υδατικό ισοζύγιο, εξισώνοντας έτσι την ζήτηση και την

προσφορά νερού. Με τις μονάδες αφαλάτωσης υπάρχει σταθερή παραγωγή νερού και υπάρχει ανεξαρτητοποίηση από τις κλιματολογικές συνθήκες.



Σχήμα 32.1: Εισροή νερού στα φράγματα 1987 – 2008

Πηγή: Χρίστος Μιχαηλίδης: «Η Αφαλάτωση στην Κύπρο», Εκτελεστικός Μηχανικός, Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Σεπτέμβριος 2009



Σχήμα 32.2: Αποθήκευση νερού στα φράγματα 1987 – 2008

Πηγή: Χρίστος Μιχαηλίδης: «Η Αφαλάτωση στην Κύπρο», Εκτελεστικός Μηχανικός, Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Σεπτέμβριος 2009

Στις αρχές του 2008 οι υδρευτικές ανάγκες της Λευκωσίας, της Λάρνακας και της Αμμοχώστου ήταν 43.000.000 m³/έτος. Με τις μονάδες αφαλάτωσης η παραγωγή είναι 30.000.000 m³/έτος (ελάχιστη ποσότητα) έως 33.000.000 m³/έτος (μέγιστη ποσότητα), δηλαδή καλύπτουν περίπου το 75% της ζήτησης.



Σχήμα 33: Μονάδες αφαλάτωσης στην Κύπρο

Πηγή: Γεωργίου Μαριάννα: «Οι Μονάδες Αφαλάτωσης στην Κύπρο, η σημασία τους στην Διαχείριση των Υδατικών Πόρων και οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις» Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Οι κύριες μονάδες αφαλάτωσης στην Κύπρο είναι οι εξής:

- Μονάδα αφαλάτωσης Δεκέλειας
- Μονάδα αφαλάτωσης Λάρνακας

Οι μονάδες λειτουργούν με το σύστημα BOOT (Build, Own, Operate and Transfer). Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, ιδιωτική εταιρία, σε συμφωνία με την Κυπριακή Κυβέρνηση, αναλαμβάνει την ανέγερση, την λειτουργία και την εκμετάλλευση του διυλιστηρίου για δέκα χρόνια, οπότε αυτό μετά θα περιέλθει στο δημόσιο. Παρέχεται επίσης το δικαίωμα εξαγοράς της μονάδας πριν την συμπλήρωση δέκα χρόνων. Στα πλαίσια λειτουργίας του συστήματος έχει

συμφωνηθεί κατώτατο όριο παραγωγής: δηλαδή σε περίπτωση αυξημένων βροχοπτώσεων και άρα μειωμένων απαιτήσεων σε νερό αφαλάτωσης, η κυβέρνηση είναι υποχρεωμένη να αγοράζει την συγκεκριμένη ποσότητα η οποία έχει συμφωνηθεί σαν κατώτατο όριο.

Η κάθε μονάδα αποτελείται από έργα πολιτικού μηχανικού, υδραυλικά, μηχανολογικά, ηλεκτρολογικά κλπ. Και το θαλασσινό νερό αντλείται από βάθος τουλάχιστον 5m από την επιφάνεια της θάλασσας και 2m από τον βυθό. Το μισό από το αντλούμενο νερό θα αφαλατώνεται και το υπόλοιπο θα επιστρέφει στην θάλασσα με το επιπλέον άλας.

Έγινε επέκταση του δυναμικού της μονάδας της Δεκέλειας από 40.000 m³ που ήταν αρχικά, σε 50.000 m³ τον Ιούλιο του 2008 και σε 60.000 m³ τον Απρίλιο του 2009. Κόστος: €0,78/m³

Η μονάδα της Λάρνακας επεκτάθηκε από 52.000 m³ σε 62.000 m³ τον Ιανουάριο του 2009 με κόστος €1,32/m³



Σχήμα 34: Το εσωτερικό μίας μονάδας αφαλάτωσης ανάστροφης ώσμωσης στην Κύπρο

Πηγή: Γεωργίου Μαριάννα: «Οι Μονάδες Αφαλάτωσης στην Κύπρο, η σημασία τους στην Διαχείριση των Υδατικών Πόρων και οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις» Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Εκτός από αυτές τις κύριες μονάδες, υπάρχουν και άλλες μικρότερες που λειτουργούν:

- Κινητή μονάδα στη Μονή δυναμικότητας 20.000 m³ για 3 χρόνια από Δεκέμβριο 2008 έως Δεκέμβριο 2011 με κόστος: €1,387/m³

- Μονάδα αφαλάτωσης νερού του υδροφορέα Γαρούλλη, δυναμικότητας 10.000 m³, από Ιανουάριο του 2009 έως Ιανουάριο του 2014, με κόστος: € 0,2992/m³

Παρότι οι τιμές δεν είναι συγκρίσιμες διότι αφορούν διαφορετικού τύπου επένδυση, παρατηρείται ότι το κόστος είναι δυσανάλογα μεγάλο λόγω απόσβεσης του κεφαλαίου.

Τα προγραμματιζόμενα νέα έργα αφαλάτωσης στην Κύπρο είναι τα ακόλουθα:

- Νέα Μονάδα στην Λεμεσό δυναμικότητας 40.000 m³ (60.000 m³)
- Κινητή Μονάδα στην Πάφο, δυναμικότητας 20.000 m³
- Νέα Μονάδα στην Πάφο δυναμικότητας 30.000 m³ (40.000 m³)
- Αφαλάτωση στον Βασιλικό (κινητή και μόνιμη)
- Πλωτή Μονάδα 30.000 - 50.000 m³

Τα κριτήρια επιλογής του χώρου των μονάδων αφαλάτωσης ήταν τα εξής:

- Να είναι εκτός και σχετικά μακριά από οικιστικές, τουριστικές και παραθεριστικές περιοχές.
- Να είναι περιοχές κοντά στην θάλασσα, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μόλυνσης σε περίπτωση ατυχήματος από την διέλευση αγωγών άλμης διαμέσου γης
- Ο χώρος να είναι κοντά σε άλλα υδραυλικά έργα ώστε να υπάρχει εύκολη και γρήγορη σύνδεση των μονάδων για την μεταφορά του αφαλατωμένου νερού.
- Το θαλάσσιο περιβάλλον να προσφέρει καλής ποιότητας νερό, ώστε να μην υπάρχει ο κίνδυνος μόλυνσης ή ρύπανσης ή επηρεασμός της ποιότητάς του
- Η περιοχή να μην έχει χαρακτηριστεί ως χώρος με ειδική περιβαλλοντική σημασία.

Η τυπική Μονάδα Αφαλάτωσης απαρτίζεται από τα κάτωθι:

- Υποθαλάσσιοι αγωγοί μεταφοράς θαλάσσιου νερού και απόρριψης άλμης.
- Αντλιοστάσιο θαλάσσιου νερού.
- Χερσαίοι αγωγοί μεταφοράς νερού και απόρριψης άλμης
- Εργοστάσιο Αφαλάτωσης
- Προεπεξεργασία
- Αντίστροφη Ώσμωση
- Τελική επεξεργασία
- Δεξαμενή και αντλιοστάσιο αφαλατωμένου νερού
- Αγωγός μεταφοράς αφαλατωμένου νερού

Αναμφίβολα η συνεισφορά της αφαλάτωσης στην αντιμετώπιση του υδατικού προβλήματος της Κύπρου είναι μεγάλη, αλλά παρόλα αυτά οι μονάδες αφαλάτωσης φαίνεται να είναι μια πολυδάπανη, ενεργοβόρα και περιβαλλοντικά επιβαρύνουσα λύση για το υδατικό πρόβλημα, σε αντίθεση με την πολιτική της βέλτιστης διαχείρισης των υφιστάμενων πόρων. Οι οικολογικές οργανώσεις αναφέρουν ότι η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού είναι της τάξης των 6 KWh ανά m^3 ανά ημέρα. Η ενέργεια αυτή συγκρινόμενη με την μέση οικιακή κατανάλωση ενέργειας η οποία είναι της τάξης των 8 KWh ανά καταναλωτή (νοικοκυριό) ανά ημέρα, είναι ενδεικτική των μεγεθών και του αναλόγου κόστους.

4. ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Το κόστος των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

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

(Πηγές: Δεληγιάννη, E. and B. Μπελεσιώτης: «Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης», Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, 475 pp., Αθήνα, 1995)

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, καθώς και στο κονδύλι των «απροβλέπτων».

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αναφέρεται στις ενεργειακές δαπάνες που απαιτεί η εγκατάσταση, το κόστος του εργατοτεχνικού προσωπικού, αναλώσιμα, ανταλλακτικά κλπ. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από δύο παραμέτρους: 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 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 κλπ. και αποτελεί το υπόλοιπο 50-85% του κόστους συντήρησης και λειτουργίας. Συχνά το ενεργειακό κόστος αγγίζει το 60% του μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

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.

Αναλυτικότερα, τάξη κόστους του παραγόμενου νερού, ανάλογα με την δυναμικότητα και ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας, φαίνεται στους παρακάτω πίνακες:

Είδος νερού που χρησιμοποιείται	Δυναμικότητα μονάδας αφαλάτωσης (m ³ /ημέρα)	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	<1.000	0,63- 1,06
	5.000 - 60.000	0,21- 0,43
Θαλασσινό	<1.000	1,78- 9,00
	1.000 - 5.000	0,56- 3,15
	12.000 - 60.000	0,35- 1,30
	>60.000	0,40- 0,80

Πίνακας 3

Πηγή: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα αφαλάτωσης στο νησιωτικό χώρο, Δρ. Δ. Μανωλάκος, Μηχ/γος Μηχ/κός ΕΜΠ

Είδος νερού που χρησιμοποιείται	Πηγή Ενέργειας	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο (αλατότητα < 10000 ppm)	Συμβατική	0,21- 1,06
	Φ/Β	4,5- 10,32
Θαλασσινό (αλατότητα > 10000 ppm)	Γεωθερμία	2,00
	Συμβατική	0,35- 2,70
	Άνεμος	1,00- 5,00
	Φ/Β	3,14- 9,00

Πίνακας 4

Πηγή: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα αφαλάτωσης στο νησιωτικό χώρο, Δρ. Δ. Μανωλάκος, Μηχ/γος Μηχ/κός ΕΜΠ

Άλλη παράμετρος που έχει επίρεια στο τελικό κόστος του παραγόμενου νερού είναι ο συντελεστής διαθεσιμότητας της μονάδας. Αυτός ερμηνεύεται ως ποσοστό του χρόνου που η μονάδα αφαλάτωσης παράγει ποσότητα ίση ή μικρότερη της ονομαστικής ετήσιας δυναμικότητας.

Π.χ.: Μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, δυναμικότητας 100 m³ /ημέρα, παράγει 100x365x1 = 36500 m³/έτος με συντελεστή διαθεσιμότητας 100%. Ενώ αν η ίδια μονάδα λειτουργεί 10% του χρόνου με δυναμικότητα λιγότερη από 365 m³/d, τότε η ετήσια παραγωγή θα είναι 100 x 365 x 0.9=32850 m³/έτος.

Όταν αυξάνεται ο συντελεστής διαθεσιμότητας, αυξάνεται και το ετήσιο μεταβλητό κόστος λειτουργίας, αλλά συνήθως τα έσοδα από την πώληση του νερού υπερκαλύπτουν αυτό το αυξημένο κόστος. 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.

Η αύξηση της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας αυξάνει το αρχικό κόστος κατασκευής της μονάδας, ενώ 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, ενώ 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.

Τα τελευταία χρόνια με αφορμή διάφορα υπό κατασκευή φράγματα και άλλα έργα υδατικών πόρων, ιδιαίτερα σε νησιώτικες περιοχές, γράφονται και συζητούνται κόστη παραγωγής πόσιμου νερού από αυτά τα έργα σε σύγκριση με αυτά από μονάδες αφαλάτωσης. Οι συγκρίσεις αυτές συνήθως δε λαμβάνουν υπόψη τους τις τελευταίες εξελίξεις και τάσεις κυρίως σε ότι αφορά αυτές των μεμβρανών μακροδιήθησης, υπερδιήθησης, μικροδιήθησης, αντίστροφης ώσμωσης και άλλων.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, πολλά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Σαντορίνη, ακόμα και η Σύρος) αντιμετωπίζουν δυσκολίες εφόσον είναι αναγκασμένα να κάνουν οικονομία στο νερό. Το κόστος της μεταφοράς του πόσιμου νερού είναι της τάξεως των 8-9 €/m³ ενώ καταβάλλονται άλλα 0,70 €/m³ στην ΕΥΔΑΠ. Ενώ τελικά γίνεται μεταφορά περισσότερων από 2.500.000 m³ νερού στα άνυδρα νησιά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αυτά δεν φτάνουν για να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες λόγω τουρισμού.

Η τιμή του αφαλατωμένου νερού φτάνει τα 4 €/m³ ενώ σε κάποιες περιπτώσεις οι δήμοι γίνονται πελάτες ιδιωτικών εταιρειών. Στην Μήλο δραστηριοποιείται ιδιωτική εταιρία με ανεμογεννήτριες, κατόπιν εγκρίσεως του Υπουργείου Ανάπτυξης, και η οποία με την υπό κατασκευή μονάδα αφαλάτωσης που θα δουλεύει με αιολική ενέργεια, θα παράγει ποσότητα νερού ικανή να καλύψει τις ανάγκες του νησιού. Με τον τρόπο όμως αυτό ο Δήμος θα μετατραπεί σε πελάτη της εταιρίας και όχι σε συνέταιρο.

Ακόμα μία λύση που φαίνεται να υιοθετούν αρκετοί κάτοικοι είναι η αγορά μονάδας αφαλάτωσης από ιδιώτες. Στη Σύρο, παραδείγματος χάρη, υπάρχουν επιχειρηματίες, οι οποίοι υπολογίζοντας το κόστος μιας τέτοιας μονάδας σε σύγκριση με την αγορά πόσιμου νερού από το δήμο, αποφάσισαν να εγκαταστήσουν δικές τους μονάδες αντίστροφης ώσμωσης θαλασσινού νερού.

Το 2006 μεταφέρθηκαν 510.000 m³ νερού στην Αμοργό, Κουφονήσια, Κίμωλο, Ηρακλεία, Σχοινούσα, Φολέγανδρο, Σίκινο, Θηρασιά και Μήλο προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες των κατοίκων και των χιλιάδων τουριστών που επισκέφθηκαν τα νησιά. Συγκεκριμένα, οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού στα άνυδρα νησιά των Κυκλάδων από το 1997 μέχρι και το 2006 στοίχησαν στο Υπουργείο Αιγαίου συνολικά 48.000.000 €, ποσό που αντιστοιχούσε συνολικά σε 9.000.000 m³. Τα κρατικά χρήματα, που δαπανήθηκαν σε ναυτιλιακές εταιρίες, που διαθέτουν "βυτιοφόρα" πλοία και τα οποία το 2006 μετέφεραν νερό στις Κυκλάδες, ανέρχονται στο ποσό των 4.057.000 €, με "πρωταθλήτρια" στην κατανάλωση για την ίδια χρονική περίοδο τη Μήλο με 262.000 m³ ενώ ακολουθεί η Φολέγανδρος με 54.500 m³. Αρκετοί πιστεύουν ότι αν τα χρήματα αυτά είχαν επενδυθεί για την κατασκευή κατάλληλων έργων τότε, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί η καλοκαιρινή λειψυδρία και η τιμή του εμφιαλωμένου νερού δεν θα έφτανε σε ύψη.

Σε πολλές Μεσογειακές χώρες με τους διαθέσιμους σήμερα νέους τύπους μεμβρανών και κυρίως τη συνεχώς μειούμενη ενέργεια ανά μονάδα όγκου παραγόμενου νερού, το λειτουργικό κόστος της αφαλάτωσης αλλά και το κόστος της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μειώνεται χρόνο με το χρόνο δραστηρικά. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις επιφανειακών ταμιευτήρων, δεν υπολογίζονται τα κόστη της επεξεργασίας και μεταφοράς, προκειμένου το συλλεγόμενο σ' αυτούς νερό να καταστεί πόσιμο και φυσικά διαθέσιμο στους καταναλωτές.

Με δεδομένα τα παραπάνω στο προσεχές μέλλον προβλέπεται ότι το κόστος του αφαλατωμένου νερού, ιδιαίτερα των υφάλμυρων νερών, θα μειωθεί σε επίπεδα μικρότερα από τους συμβατικούς υδατικούς πόρους. Στη Μάλτα, όπου το 70% του συνολικού νερού που καταναλώνεται είναι αφαλατωμένο

νερό και το κόστος του είναι με τις μεμβράνες που σήμερα χρησιμοποιούνται 0,46 €/m³. Με νέες μεμβράνες που δοκιμάζονται το κόστος μπορεί να πέσει στα 0,34 €/m³.

Στην Κύπρο τη χώρα με την μεγαλύτερη πυκνότητα φραγμάτων σε όλο τον κόσμο, η υδροδότηση αντιμετωπίστηκε αποτελεσματικά την τελευταία 10ετία με τις μονάδες αφαλάτωσης.

Συμπερασματικά, με βάση το κόστος κατασκευής επιλεγμένων μονάδων σε διάφορες χώρες την τελευταία 15/ετία το κόστος αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση διαμορφώνεται διαχρονικά από 1,50 € το 2001 μέχρι 0,20 € το 2005.

5. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ - ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΜΕ ΑΠΕ

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης συνήθως χρησιμοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις κόστους οι οποίες επηρεάζουν σαφώς και το κόστος του παραγόμενου νερού. Είναι αναγκαίο το αφαλατωμένο νερό να καταναλώνεται κοντά στην περιοχή παραγωγής του, καθόσον η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις από τον τόπο που παράγεται αυξάνει το κόστος απαγορευτικά. Συνεπώς η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία της εγκατάστασης θα πρέπει να διατίθεται στην ευρύτερη περιοχή της μονάδας αφαλάτωσης.

Κατά κανόνα η ηλεκτρική ενέργεια διατίθεται σε όποια ποσότητα και απόσταση είναι απαραίτητο, αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο με την θερμική ενέργεια. Η μεταφορά της θερμότητας ακόμα και σε μικρές αποστάσεις είναι πολύ ακριβή.

(Πηγές: Mohamed, E. S., G. Papadakis, E. Mathioulakis, and V. Belessiotis (2008), A direct coupled photovoltaic seawater reverse osmosis desalination system toward battery based systems -- a technical and economical experimental comparative study, Desalination, Garcia-Rodriguez, L. (2003), Renewable energy applications in desalination: state of the art, Solar Energy)

Διάφορες βιομηχανίες απορρίπτουν τεράστιες ποσότητες θερμικής ενέργειας είτε ως αέρα ψύξης στην ατμόσφαιρα, είτε ως νερό ψύξης στο περιβάλλον. Η περιεκτικότητα σε θερμική ενέργεια είναι χαμηλή, όμως επειδή οι ποσότητες είναι πολύ μεγάλες, θα μπορούσε υπό προϋποθέσεις, η ενέργεια αυτή να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση.

Σε πολλές βιομηχανίες (τσιμεντοβιομηχανίες, βιομηχανίες παραγωγής γυαλιού, σιδηροβιομηχανίες κλπ.) τα προϊόντα ψύχονται στο τελικό ή σε ενδιάμεσο στάδιο κατεργασίας με πολύ υψηλές θερμοκρασίες, όπως αυτές που αναπτύσσονται σε αεριοστρόβιλους ή στο σώμα και στα καυσαέρια των μηχανών diesel.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν σχετικά χαμηλό κόστος, καθόσον προέρχονται από δωρεάν πρώτη ύλη αλλά δεν προσφέρονται πάντα για την χρήση τους στις μονάδες αφαλάτωσης. Φυσικά δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι προσιτές, όμως δεν έχουν βρει ευρύτερη εφαρμογή ακόμα και σε μικρές μονάδες αφαλάτωσης. Οι λόγοι είναι οι εξής:

- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν έχουν συνεχή ροή ώστε να ανταποκρίνονται στην ζήτηση της παραγωγής
- Δεν μπορούν να αποθηκευτούν σε ποσότητα ή ένταση που απαιτείται για την σωστή λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης
- Η τεχνολογία του συνδυασμού αφαλάτωσης και ΑΠΕ δεν είναι επαρκώς εξελιγμένη ώστε να παρέχεται φθηνή ενέργεια σε χαμηλό κόστος. Συνήθως η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται προέρχεται από φωτοβολταϊκά.

(Πηγή: Νικητάκος Νικήτας.: «Ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Θαλάσσιο Περιβάλλον», εκδόσεις Σιδέρη, 2008)

5.1. Συνδυασμός Ανεμογεννητριών – Αφαλάτωσης

Οι ανεμογεννήτριες ήρθαν στο προσκήνιο της ενεργειακής τεχνολογίας λόγω των ενεργειακών κρίσεων στα μέσα της δεκαετίας του εβδομήντα και λόγω της ολοένα και επιδεινούμενης υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Η κύρια εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, δηλαδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο και η τροφοδοσία της στα τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα.



Σχήμα 35: Ανεμογεννήτριες

Πηγή: Ευγενία Τζέν: «Μια εναλλακτική λύση στη λειψυδρία», Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση, τεύχος Ιανουαρίου 2001- Διαδίκτυο

Η σύζευξη των ανεμογεννητριών με συστήματα αφαλάτωσης είναι τεχνικά εφικτή και οικονομικά ελκυστική με την προϋπόθεση η μονάδα αφαλάτωσης να είναι είτε αντίστροφης ώσμωσης είτε ηλεκτροδιάλυσης και βέβαια, να υπάρχει δυνατότητα μεγάλης αποθήκευσης της ενέργειας και συστήματα ηλεκτρονικά που να διαχειρίζονται την μεγάλη μεταβλητότητα της αιολικής ενέργειας.

Στην Ελλάδα έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για χρήση ανεμογεννητριών σε απ' ευθείας σύνδεση με μονάδες αφαλάτωσης και σε συνδυασμό μάλιστα και με χρήση φωτοβολταϊκών, με μεγάλη επιτυχία, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Μάλιστα η πλωτή ανεμογεννήτρια τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μεγαλύτερη και σταθερή.

5.2. Συνδυασμός Φωτοβολταϊκών – Αφαλάτωσης

Η κύρια πηγή ενέργειας που εισέρχεται στην γήινη ατμόσφαιρα προέρχεται από τον ήλιο, ο οποίος συνεχώς αποβάλλει μέρος της μάζας του εκπέμποντας κύματα και σωματίδια υψηλής ενέργειας, στο διάστημα.

Η ένταση της ηλιακής ενέργειας που διασχίζει τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας είναι 1367 W /m^2 και είναι η πλέον αξιοποιούμενη από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η τεχνολογία στο θέμα της κάλυψης θερμικών αναγκών συνεχώς εξελίσσεται και προσπαθεί να γίνει ανταγωνιστική σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο η τεχνολογία της ηλιακής απόσταξης, η οποία απαιτεί απλές κατασκευές και εύκολη τοποθέτηση.

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. Αντίθετα, η συνδυασμένη λειτουργία φωτοβολταϊκών με συστήματα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης δεν είναι ακόμα αρκετά ώριμη, δεδομένης της μεγάλης ποσότητας ενέργειας που απαιτείται, και άρα υψηλού κόστους των φωτοβολταϊκών γεννητριών.

Η ηλιο-κινούμενη αφαλάτωση (solar assisted) περιλαμβάνει συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική, όμως δεν έχουν βρει ευρεία εμπορική εφαρμογή.

(Πηγές: Πέππα Φλώρα: «Ηλιακή Αφαλάτωση και Μελέτη Ηλιακού Αποστακτήρα στην Περιοχή της Αθήνας Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα Νοέμβριος 2007, Γ. Παλιεράκης: «Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Αθήνα 2007)

Συχνά η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από την συνεργασία ηλεκτρικών πηγών διαφόρων ειδών, όπου η μια πηγή υποβοηθά και δρα συμπληρωματικά ως προς την άλλη ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη απόδοση με το μικρότερο δυνατόν κόστος. Τα συστήματα αυτού του τύπου

ονομάζονται «υβριδικά» εφόσον αποτελούνται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών.

Πιο συγκεκριμένα, στα αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνεργάζονται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγά 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.

5.3. Συνδυασμός άλλων ΑΠΕ με αφαλάτωση

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον στερεό πυρήνα της γης και, πρακτικά, στα ρευστά που βρίσκονται στον εξωτερικό φλοιό της γης, σε βάθος έως και 5 χλμ. όπου μπορεί να φτάσει η εξόρυξη. 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 ευρύτερη περιοχή. 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 απ' ευθείας αφαλατωμένο συμπύκνωμα
- Εάν η γεωθερμική πηγή παράγει μίγμα νερού και ατμού, τότε αρχικά εκτονώνεται κατάλληλα για την παραγωγή ατμού, κατόπιν ο υδρατμός διοχετεύεται σε αμοστρόβιλο και η θερμή άλμη διοχετεύεται στα εξατμιστήρια της αφαλάτωσης
- Εάν η γεωθερμική πηγή παράγει μίγμα στο οποίο το υγρό βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία σε σχέση με τον ατμό, το μίγμα διοχετεύεται σε εξατμιστήρια πολλαπλών εκτονώσεων.

Ως προς τον συνδυασμό των άλλων ΑΠΕ με την αφαλάτωση, πρέπει να αναφερθεί ότι 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, 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 120.000 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.

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

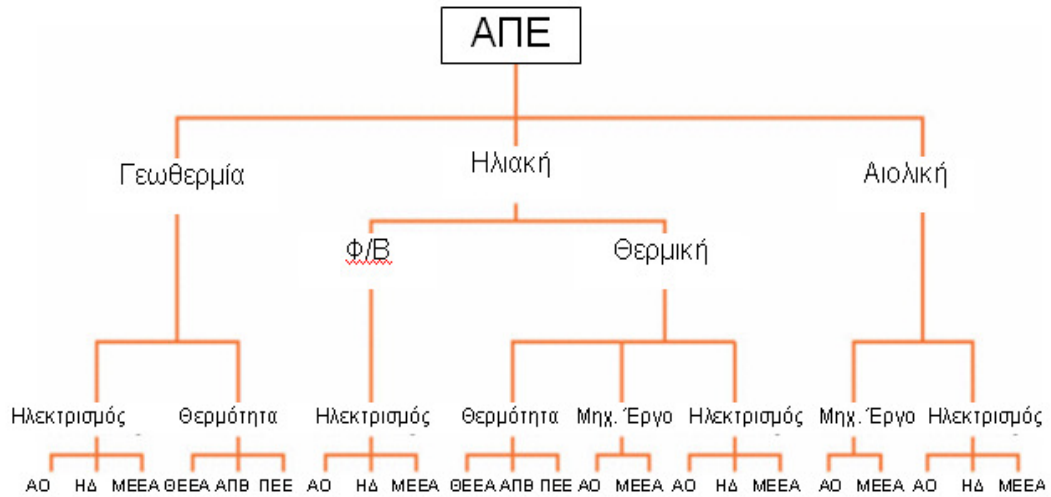
Εκτός από την χρήση ΑΠΕ για εξοικονόμηση ενέργειας, έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας στις μονάδες αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, καθόσον η άλμη εξέρχεται από την εγκατάσταση αντίστροφης ώσμωσης σε υψηλή πίεση. Επομένως, είναι λογικό να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ανάκτησης 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.

Η μέθοδος αυτή μειώνει κατά πολύ την δαπανώμενη ενέργεια ανά m³ 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 στρόβιλου 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.

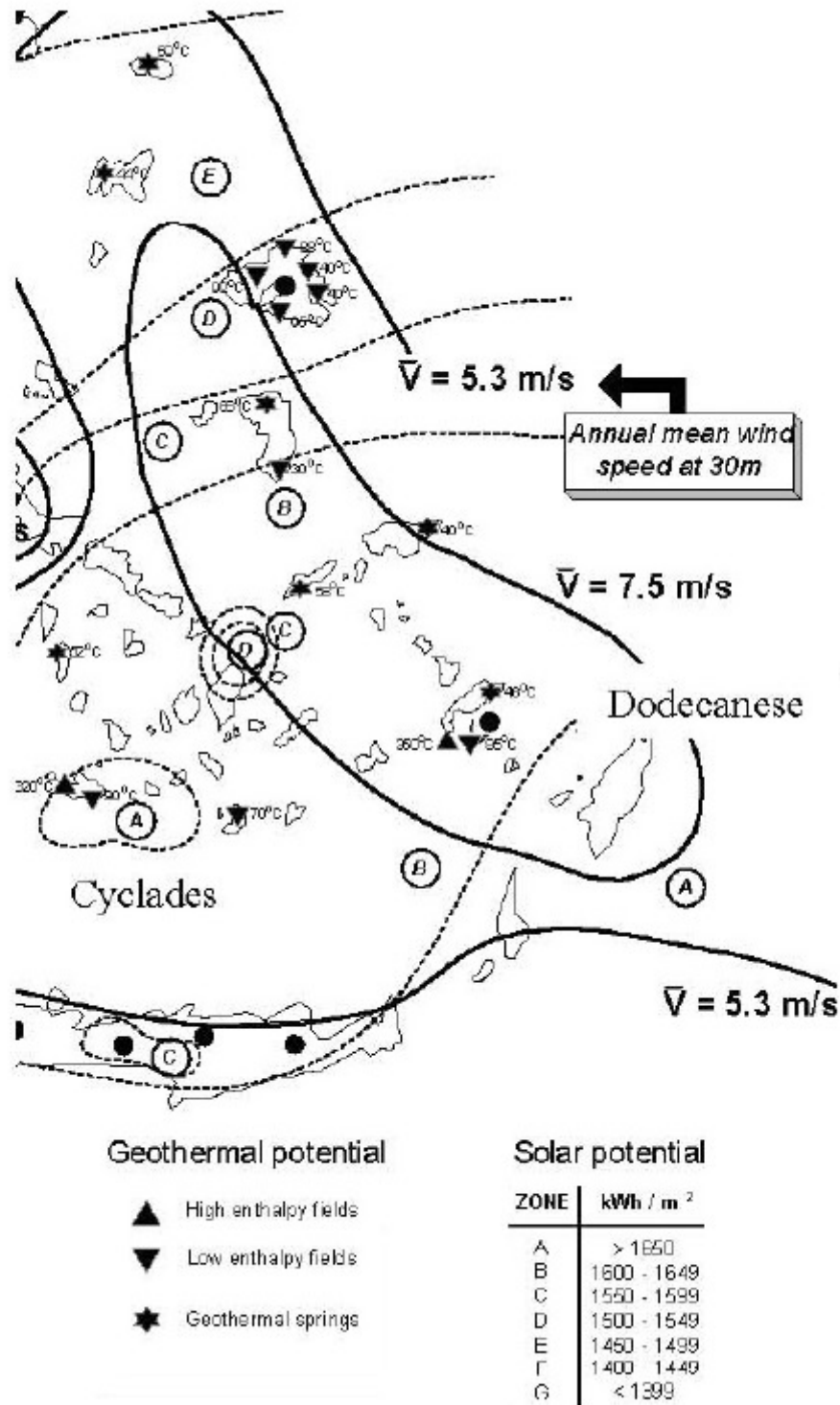
Μέχρι σήμερα, έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί διάφορα εξελιγμένα συστήματα ανάκτησης ενέργειας για χρήση σε αφαλάτωση. Η απόδοση των συστημάτων αυτών είναι τόσο μεγάλη, ώστε η απόσβεσή τους μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και σε ένα έτος λειτουργίας.

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.



Σχήμα 36: Συνδυασμός Αφαλάτωσης και ΑΠΕ

Πηγή: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα αφαλάτωσης στο νησιωτικό χώρο, Δρ. Δ. Μανωλάκος, Μηχ/γος Μηχ/κός ΕΜΠ



Σχήμα 37: Δυναμικό ΑΠΕ στο Αιγαίο

Πηγή: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Συστήματα αφαλάτωσης στο νησιωτικό χώρο, Δρ. Δ. Μανωλάκος, Μηχ/γος Μηχ/κός ΕΜΠ

Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, χωρητικότητας μεγαλύτερης των 10 m³ που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Τοποθεσία	Νερό Τροφοδοσίας	Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Χωρητικότητα m³/d	Τεχνολογία Α.Π.Ε.	Χαρακτηριστικά
Bouzeah, Αλγερία	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	20,0	φωτοβολταϊκά	2,74 KW-peak
EI-Hamrawein, Αίγυπτος	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	80,0	φωτοβολταϊκά	25,9 KW
CEN, Cadarach, Γαλλία	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	60,0	επίπεδοι συλλέκτες	
Borkum Island, Γερμανία	θαλάσσιο	μηχανική επανασυμπίεση	7,2-48	αιολική	45 KW, maximum
Ruegen Island, Γερμανία	θαλάσσιο	μηχανική επανασυμπίεση	48-360	αιολική	300 KW, maximum
Trisai Center, Ιταλία	αλμυρό	θερμική επανασυμπίεση	184,4	επίπεδοι συλλέκτες	25.000 m ²
Cituis, Δυτική Ιάβα	θαλάσσιο	αντίστροφη ώσμωση	36	φωτοβολταϊκά	19,2 KW-peak
Takami Island, Ιαπωνία	θαλάσσιο	16-βαθμίδες MES	16	επίπεδοι συλλέκτες	
Kuwait	θαλάσσιο	12-βαθμίδες MSF	100,0	παραβολικοί συλλέκτες	220 m ²
Κατάρ	θαλάσσιο	MSF	20,0	ηλιακή λίμνη	
Platforma Almeria, Ισπανία	θαλάσσιο	14-βαθμίδες MED	172,8	παραβολικοί συλλέκτες	2672 m ²
Almeria, Ισπανία	θαλάσσιο	αντίστροφη ώσμωση	60,0	φωτοβολταϊκά	836 m ²
Umm-Al Nar, Abu-Dabi	θαλάσσιο	18-βαθμίδες MEB	100-120	συλλέκτες κενού	1862 m ²
EI-Paso, Texas, USA	αλμυρό	24-βαθμίδες MEB	19,0		3355 m ²
Λιβύη	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	1000	φωτοβολταϊκά	
Λιβύη	θαλάσσιο	ME	500	παραβολικοί συλλέκτες	
Λιβύη	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	2000	αιολική	

Πίνακας 5

6. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι μονάδες αφαλάτωσης παρουσιάζουν δύο κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων:

- Επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας
- Επιπτώσεις από την απόρριψη της άλμης



Σχήμα 38: Αυτόνομη Μονάδα Αφαλάτωσης Αντίστροφης Ωσμωσης στα Κανάρια Νησιά με φωτοβολταϊκά κελιά.

Πηγή: Περιοδικό *Science Illustrated* - Διαδίκτυο

Επίσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διακρίνονται:

- Κατά το στάδιο της κατασκευής
 - Ηχορύπανση
 - Αισθητική ρύπανση
 - Δημιουργία σκόνης
- Κατά το στάδιο λειτουργίας

Όπως παρουσιάστηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η αφαλάτωση απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας, η οποία εξαρτάται φυσικά από την ύπαρξη ή όχι συστήματος ανάκτησης της υδραυλικής ενέργειας της άλμης. Επίσης η χρήση συμβατικών καυσίμων παράγει αέριους ρύπους προς το περιβάλλον όπως CO, CO₂, SO₂ και NO_x, καθώς και στερεά σωματίδια. Σύμφωνα με την

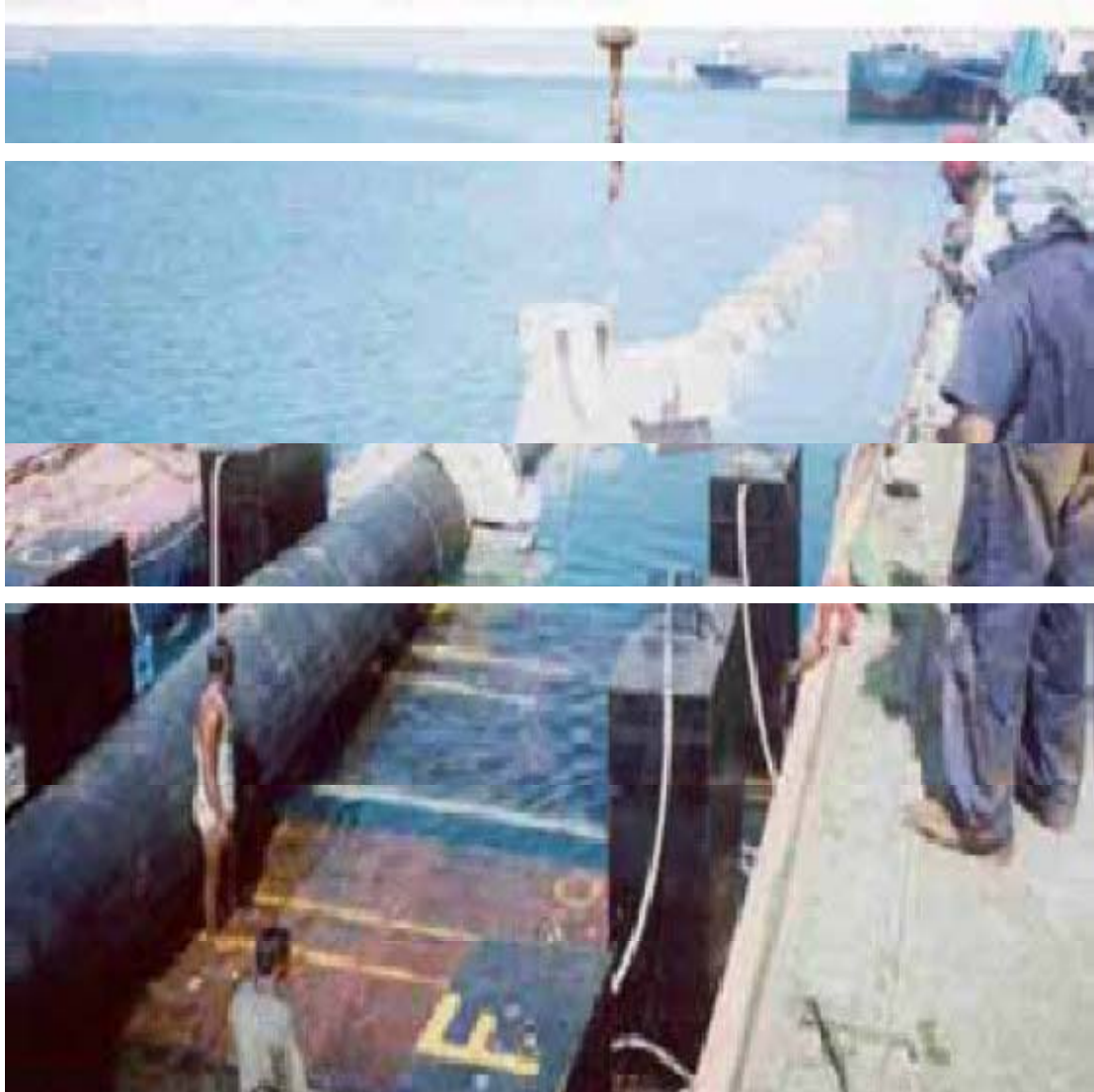
Συνθήκη του Κιότο υπάρχει δέσμευση μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 5% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2008 - 2012.

Στο πλαίσιο λοιπόν της προστασίας του περιβάλλοντος, εντάσσεται ο συνδυασμός των ενεργειακών καταναλώσεων των μονάδων αφαλάτωσης με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πλέον ο συνδυασμός των τεχνολογιών είναι εφαρμόσιμος και τεχνοοικονομικά εφικτός. Η αποτελεσματικότητα και η απόδοση του συνδυασμού των τεχνολογιών αυτών εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως το δυναμικό των ΑΠΕ (αιολικό, ηλιακό), η ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού (υφάλμυρο ή θαλασσινό), κλπ. Επίσης, εξαρτάται από την ικανότητα του συστήματος να παρέχει σταθερή ισχύ και συνεχή λειτουργία, άρα πρέπει να υπάρχει σχεδιασμός για αποθήκευση ενέργειας. Η χρήση όμως συσσωρευτών που εξασφαλίζουν σταθερή παροχή ισχύος στην μονάδα αφαλάτωσης αυξάνει κατά πολύ το κόστος της εγκατάστασης. Είναι χαρακτηριστικό ότι η αφαλάτωση ξεκίνησε να χρησιμοποιείται κυρίως στη Μέση Ανατολή όπου υπάρχει έλλειψη νερού, αλλά άφθονη ενέργεια με την μορφή του πετρελαίου.

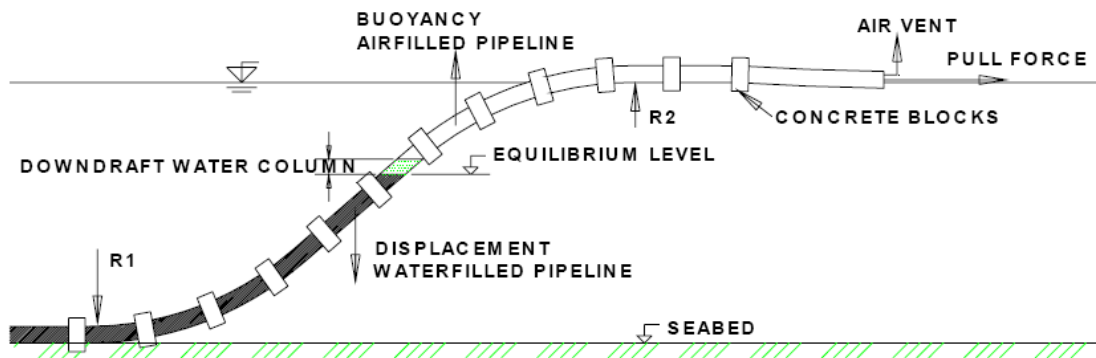
Η παραγόμενη άλμη από τις μονάδες αφαλάτωσης θεωρείται ρυπαντική προς το περιβάλλον διότι έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων από το θαλασσινό νερό και μεγαλύτερη θερμοκρασία. Στην αντίστροφη ώσμωση υπάρχει συμπύκνωση της εξερχόμενης άλμης κατά 1,3 – 1,7 φορές. Επίσης περιέχει χημικές ουσίες από την επεξεργασία του νερού, διότι το αντλούμενο νερό προχλωριώνεται για την προστασία των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται ως φίλτρα, και επομένως η απόρριψη της άλμης στη θάλασσα, συνήθως χωρίς περιοριστικά μέτρα, επηρεάζει την ισορροπία των οικοσυστημάτων και των θαλάσσιων ειδών και καταστρέφουν την θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα. Το θαλασσινό νερό είναι φυσικό περιβάλλον και περιέχει ολόκληρο οικοσύστημα από πλαγκτόν, ασπόνδυλα και ψάρια. Παρουσιάζεται λοιπόν θνησιμότητα μικρών οργανισμών (πλαγκτόν, αυγά, μικρά ψάρια) λόγω συμπαρασυρμού στην εισροή της μονάδας. Επίσης, υπάρχει θνησιμότητα μεγάλων θαλάσσιων ειδών (ενήλικα ψάρια, ασπόνδυλα, πουλιά) λόγω πρόσκρουσης στον αγωγό εισροής.

Μέθοδοι άντλησης νερού – Απόληψης αλμόποιπου

Αγωγοί ανοικτού άκρου (open intake)

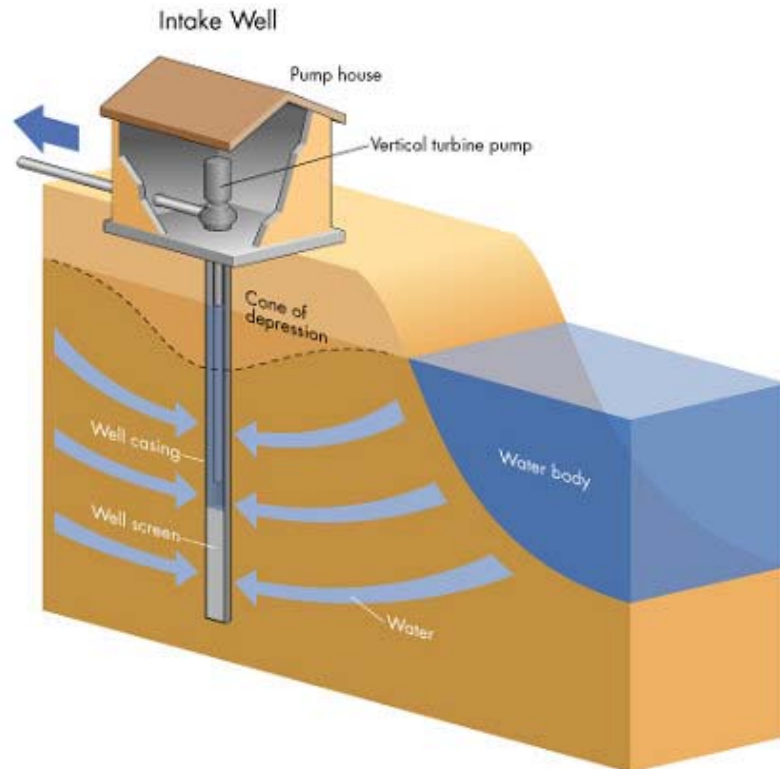


Σχήμα 39.1: Αγωγοί ανοικτού άκρου (Open intake)

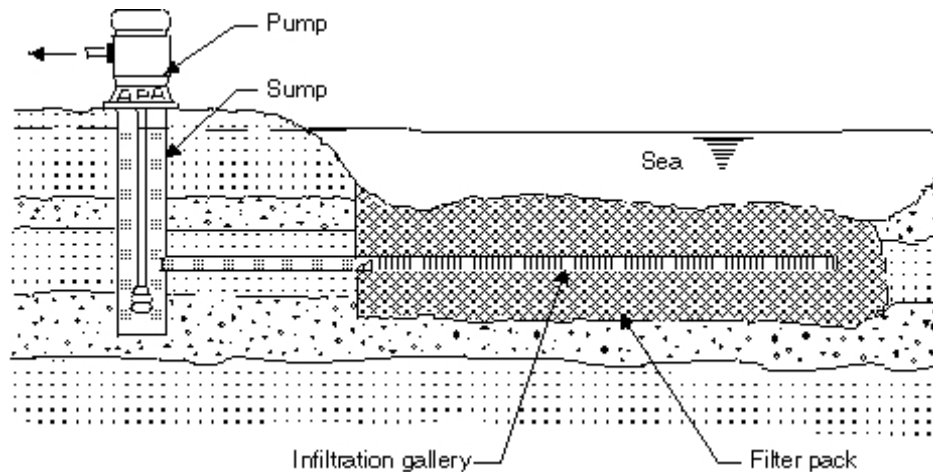


S-LAY INSTALLATION OF FLEXIBLE PIPELINES

Σχήμα 39.2: Αγωγοί ανοικτού άκρου (Open intake)



Σχήμα 40: Beach Well

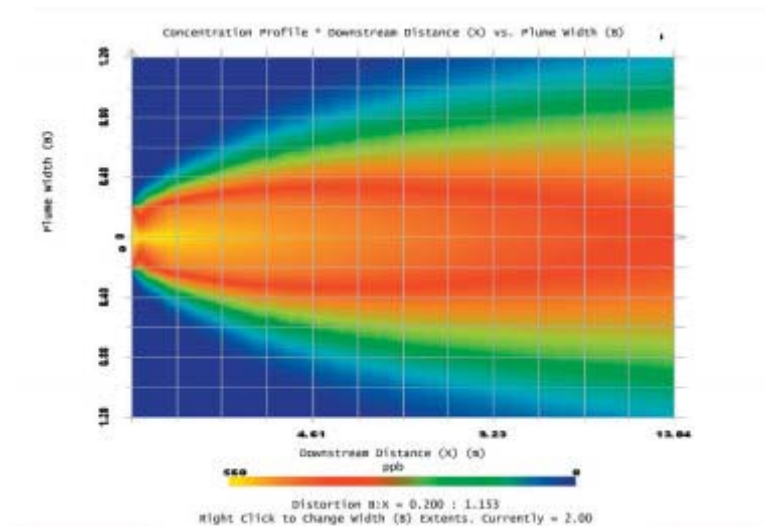
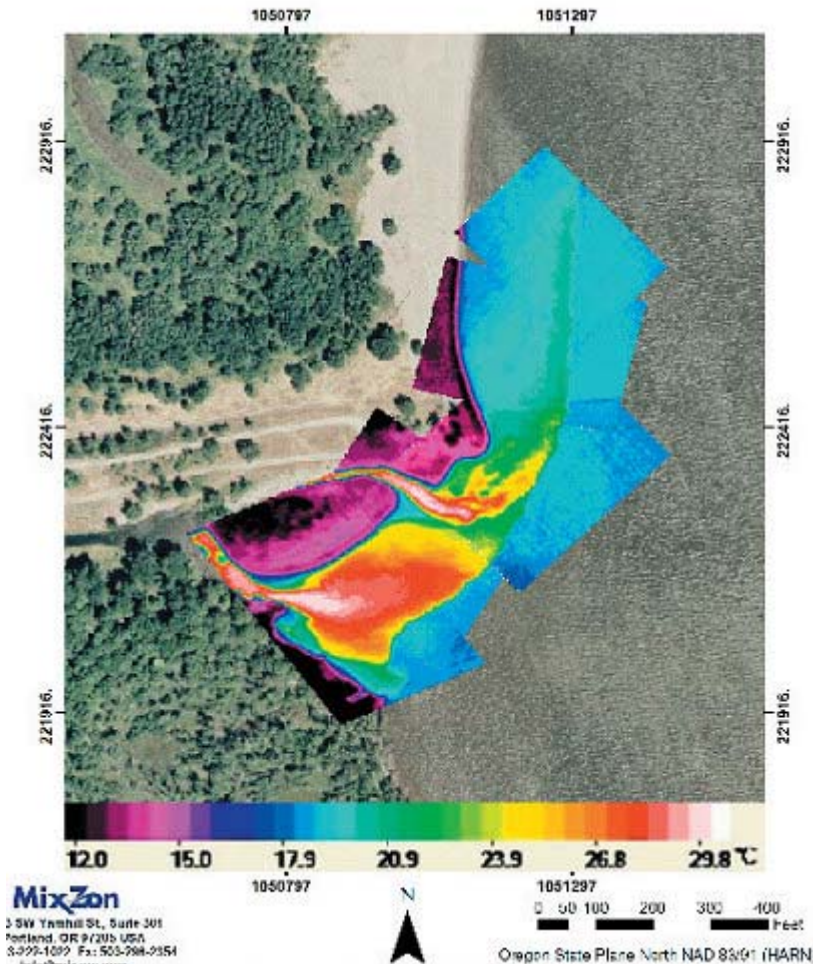


Σχήμα 41: Στοές διήθησης (infiltration galleries)

Πηγή: Poster Energy 09 -Desalination, Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, Εργαστήριο Οργάνωσης παραγωγής

Τα αποπλύματα των μεμβρανών επίσης απορρίπτονται στη θάλασσα μαζί με το αλμόλιπο. Για την δημιουργία ενός κυβικού γλυκού νερού, απαιτείται άντληση τριών περίπου κυβικών θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Συχνά με την απορρόφηση θαλασσινού νερού, απορροφώνται θαλάσσιοι μικροοργανισμοί και πλαγκτόν, μέχρι και μικρά ψάρια.

Στην Κύπρο και στην Σαουδική Αραβία, όπου υπάρχουν οι μεγαλύτερες μονάδες στον κόσμο, έπειτα από χρόνια απόρριψης της άλμης στη θάλασσα, καταστράφηκε η χλωρίδα και η πανίδα σε ακτίνα πολλών χιλιομέτρων από τις εγκαταστάσεις της αφαλάτωσης. Η άλμη επίσης, δεν μπορεί να ταφεί στην γη διότι καταστρέφει τις καλλιέργειες.



Σχήμα 42: Μελέτη διασποράς αλμόλοιπου με κατάλληλα υπολογιστικά μοντέλα

Πηγή: Poster Energy 09 -Desalination, Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, Εργαστήριο Οργάνωσης παραγωγής

Οι συμβατικοί τρόποι για την διαχείριση της άλμης είναι η απόρριψή της απ' ευθείας πίσω στην θάλασσα, η απόρριψη σε σύστημα αποχέτευσης, η απόρριψη σε γεωτρήσεις ή απ' ευθείας στο έδαφος. Κάποιες φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλιακή λίμνη, με σκοπό την εξάτμιση του νερού, παραγωγή και συλλογή του αλατιού και αποθήκευση της θερμότητας. Για την απόρριψη της άλμης πρέπει να γίνει μελέτη βυθομέτρησης, μελέτη ανάγλυφου βυθού και μελέτη κυμάτων. Ορισμένα είδη θαλάσσιας βλάστησης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αλατότητα, όπως π.χ. τα φύκια *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, και *Caulerpa prolifera*.

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

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

Πίνακας 6

Πηγή: Κενανάκης Γιώργος, Κατσαράκης Νίκος, Σαββάκης Κώστας: «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Γενικό Τμήμα Θετικών Επιστημών, Τομέας Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών

Για όλα αυτά βεβαίως τα προαναφερόμενα, υπάρχουν λύσεις: ήδη αναφέρθηκε ότι οι ΑΠΕ μπορούν να προσφέρουν ενέργεια για τις ανάγκες της αφαλάτωσης, με μείωση της ταχύτητας απορρόφησης του θαλασσινού νερού δεν απορροφώνται τα μεγαλύτερα ψάρια, και η επιστροφή της άλμης με μεγάλη πίεση επιτρέπει την διασπορά της σε μεγάλη έκταση, ελαττώνοντας την αλλαγή στην αλμυρότητα του νερού.

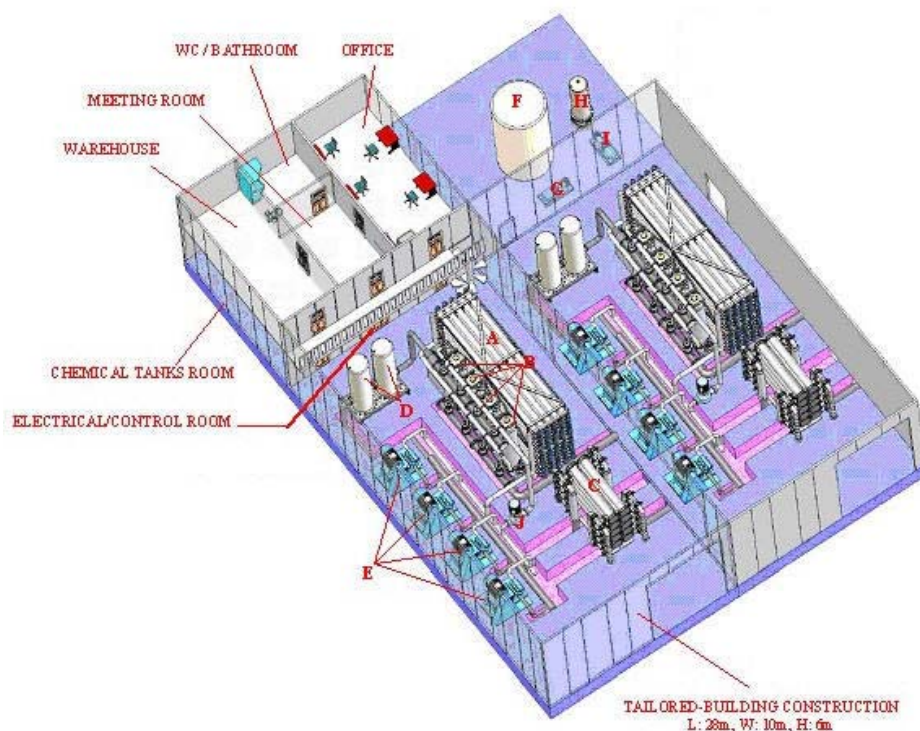
Άλλος περιβαλλοντικός κίνδυνος είναι η χημική ρύπανση του θαλασσινού νερού. Αυτή συμβαίνει από τα προϊόντα διάβρωσης, την προσθήκη αντισκωριακών μέσων, την προσθήκη οξέων, την προσθήκη απολυμαντικών μέσων, την προσθήκη αντιδραστηρίων κατά του αφρισμού και κροκιδωτικών. Έτσι η άλμη στην έξοδο των μονάδων αφαλάτωσης συχνά περιέχει μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων λόγω διάβρωσης των εσωτερικών επιφανειών. Τα μέταλλα αυτά είναι ο χαλκός, το νικέλιο, το χρώμιο και ο ψευδάργυρος στην περίπτωση μεθόδων με εξάτμιση, ή ο σίδηρος, το νικέλιο, το χρώμιο και το μολυβδαίνιο, στην περίπτωση της αντίστροφης ώσμωσης. Στην συνέχεια, τα βαρέα μέταλλα απορροφώνται από τα αιωρούμενα στερεά και με την συσσώρευσή τους στα ιζήματα, επιδρούν στους οργανισμούς και στο περιβάλλον.

Συχνά προστίθενται αντισκωριακά μέσα τόσο στις μεθόδους εξάτμισης όσο και στην αντίστροφη ώσμωση, που έχει ως παρενέργεια τον τοπικό ευτροφισμό λόγω του πολυφωσφορικού οξέος που υδρολύεται προς ορθοφωσφορικό οξύ. Εξάλλου, η προσθήκη οξέων αλλάζει το pH του θαλασσινού νερού, καθόσον το όξινο θαλασσινό νερό αποβάλλεται στην θάλασσα και απαιτείται μεγάλος χρόνος για αφομοίωση από το περιβάλλον με αρνητικές επιδράσεις στους οργανισμούς.

Με την προσθήκη αντιδραστηρίων κατά του αφρισμού, δημιουργούνται αλκυλιωμένες πολυγλυκόλες, λιπαρά οξέα, εστέρες λιπαρών οξέων, ενώ απαιτείται επίσης πλύση μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης με αλκαλικά διαλύματα (pH = 11-12), κάθε 3 έως 6 μήνες, για την απομάκρυνση λάσπης

και βιολογικών επικαθήσεων, πλύση με όξινα διαλύματα ($\text{pH} = 2-3$), για απομάκρυνση οξειδίων μετάλλων και σκουριάς και πλύση με απορρυπαντικά.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί και η περιβαλλοντική επίπτωση της ηχορύπανσης, τόσο στο στάδιο της κατασκευής της μονάδας αφαλάτωσης, όσο και στο στάδιο λειτουργίας, (μονάδες αντίστροφης ώσμωσης) με τις αντλίες υψηλής πίεσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, τις τουρμπίνες κλπ. Εξίσου σημαντική μπορεί να θεωρηθεί και η ενδεχόμενη αισθητική ρύπανση με την τοποθέτηση μονάδων αφαλάτωσης σε παραθαλάσσιες περιοχές. Επιβάλλεται η χωροθέτησή τους μακριά από αρχαιολογικούς χώρους και τουριστικά θέρετρα, καθόσον για μια μονάδα $5.000 - 10.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ απαιτείται έκταση 10.000 m^2 .



Σχήμα 43: Χωροταξία Μονάδων Αφαλάτωσης

Πηγή: Poster Energy 09 -Desalination, Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, Εργαστήριο Οργάνωσης παραγωγής

Σε κάποιες περιπτώσεις προτιμώνται τα θαλάσσια πηγάδια ως πηγές τροφοδοσίας σε σχέση με τα ανοιχτά συστήματα, όπου υπάρχει και η

φίλτραση μέσω άμμου. Όμως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να μην επηρεάσουν τον παράκτιο υδροφόρα και δεν προτιμώνται για μονάδες μέσης και μεγάλης δυναμικότητας λόγω των μικρών παροχών τους.

Παραδείγματα μονάδων Αντίστροφης Ωσμωσης σε λειτουργία

Μονάδα Bocabarraco, Ισπανία. Δυναμικότητα: 7.000 m³/day, Ανάκτηση: 45%		
Χημική σύνθεση εισροής και εκροής της μονάδας		
j.J. Sadhwani et al. / Desalination 185(2005) 1-8		
Συγκέντρωση (mg/L)	Θαλασσινό νερό	Άλμη
Ca²⁺	450	814
Mg²⁺	1520	2751
Na⁺	11415	20657
K⁺	450	824
Cl⁻	20800	37639
SO₄²⁻	3110	5628
TDS	38000	68764

Πίνακας 7

Πηγή: Κεανάκης Γιώργος, Κατσαράκης Νίκος, Σαββάκης Κώστας: «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Γενικό Τμήμα Θετικών Επιστημών, Τομέας Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών

Μονάδα Al-Wagan, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Δυναμικότητα: 100- 200 m ³ /day, Ανάκτηση: 70%		
Κατιόντα εισροής και εκροής της μονάδας		
A.M.O. Mohamed et al. /Desalination 182 (2005) 411-433		
Συγκέντρωση (mg/L)	Θαλασσινό νερό	Άλμη
Ca ²⁺	146,31	367,96
Mg ²⁺	112	282
Na ⁺	741,59	2248
K ⁺	8,46	68,49

Πίνακας 8

Μονάδα Al-Qua'a, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Δυναμικότητα: 100- 250 m ³ /day, Ανάκτηση: 70%		
Κατιόντα εισροής και εκροής της μονάδας		
A.M.O. Mohamed et al. /Desalination 182 (2005) 411-433		
Συγκέντρωση (mg/L)	Θαλασσινό νερό	Άλμη
Ca ²⁺	162,36	518,86
Mg ²⁺	104	337
Na ⁺	451,13	2880
K ⁺	27,24	94,64

Πίνακας 9

Πηγή: Κεανάκης Γιώργος, Κατσαράκης Νίκος, Σαββάκης Κώστας: «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Γενικό Τμήμα Θετικών Επιστημών, Τομέας Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών

Η σχετική Νομοθεσία είναι:

- Κ.Υ.Α. 15393/2332/2002

- ο Ν. 3010/2002, Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11 Ε.Ε. και 96/61 Ε.Ε.

2η κατηγορία: έργα και δραστηριότητες τα οποία, χωρίς να προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις, πρέπει να υποβάλλονται για την προστασία του περιβάλλοντος σε γενικές προδιαγραφές, όρους και περιορισμούς που προβλέπονται από κανονιστικές διατάξεις.

3η κατηγορία: έργα και δραστηριότητες που προκαλούν μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

ΟΜΑΔΑ 9 ^η : ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ							
Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΟΥ Ή ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΣΥΕ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΡΩΤΗ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΕΥΤΕΡΗ		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
			ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 1 ^η	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 2 ^η	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 3 ^η	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 4 ^η	
<i>Σύλλογή, καθαρισμός και διανομή νερού</i>							
265.	Αφαλάτωση νερού	410.0 α		> 100 m ³ /ημέρα	≤ 100 m ³ /ημέρα		Οι κοστίτητες αναφέρονται στην δυναμικότητα της εγκατάστασης ως προς το παραγόμενο προϊόν (όγκος νερού)

- ο Κ.Υ.Α. Η.Π. 11014/703/Φ104/2003

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

«Χρησιμοποιούμε πολύ περισσότερο νερό από ότι έχουμε διαθέσιμο. Η βραχυπρόθεσμη λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας ήταν μέχρι σήμερα η άντληση ακόμη μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού από τα επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα αποθέματα. Η υπερεκμετάλλευση δεν αποτελεί όμως βιώσιμη λύση. Έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα και στην ποσότητα των εναπομενόντων υδάτων καθώς και στα οικοσυστήματα, τα οποία εξαρτώνται από το νερό. Πρέπει να περιοριστεί η ζήτηση, να ελαχιστοποιηθούν οι ποσότητες των αντλούμενων υδάτινων πόρων και να δοθεί έμφαση στην αποτελεσματική χρήση τους»

Jacqueline McGlade, εκτελεστική διευθύντρια του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος



Σχήμα 44: Αεροφωτογραφία από το εργοστάσιο αφαλάτωσης στο Περθ της Δυτικής Αυστραλίας

Πηγή: [Water Corporation of Australia](http://www.watercorporation.com.au)

Σύμφωνα με όσα εκτέθηκαν ανωτέρω, η αφαλάτωση είναι πραγματικά μια λύση στο αδιέξοδο του υδατικού προβλήματος. Είναι μια λύση με την οποία αποφεύγονται σημαντικές επιπτώσεις από την έλλειψη του νερού, ο

άνθρωπος μπορεί να ζήσει κάτω από συνθήκες υγιεινής, χωρίς να στερείται έναν φυσικό πόρο που έχει καθοριστικό ρόλο στην επιβίωσή του.

Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος της αφαλάτωσης θα μπορούσε να αποτελέσει λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού, δεν είναι άμοιρη επιπτώσεων.

- Το κόστος των μονάδων αφαλάτωσης εξαρτάται από την δυναμικότητα της μονάδας αλλά και τον συνδυασμό τους με ΑΠΕ. Επίσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας στην αφαλάτωση και αποθήκευσης ενέργειας στα αιολικά, ανεβάζει σημαντικά το κόστος του έργου και άρα την τιμή του νερού, οπότε αναιρεί τα οφέλη του. Ίσως το πρόβλημα για την γενικευμένη χρήση μεθόδων αφαλάτωσης δεν είναι τόσο ζήτημα οικονομικό, εφόσον το κόστος του παραγόμενου νερού δεν είναι κατ' ανάγκην απαγορευτικό, αλλά σχετίζεται με τις επιπτώσεις που υπάρχουν από τις μονάδες αφαλάτωσης.
- 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.
- Μια ακόμη επίπτωση ενός εργοστασίου αφαλάτωσης αφορά στο θάνατο ψαριών και άλλων θαλάσσιων ειδών τα οποία απορροφώνται από τον αγωγό υδροληψίας κατά την απορρόφηση του θαλάσσιου νερού και προσκρούουν πάνω στα πλέγματα.

Θα πρέπει να μπορέσουμε να αμβλύνουμε τις επιπτώσεις που υπάρχουν από τις μονάδες αφαλάτωσης με την εκπόνηση μελετών σχετικά με την αναγκαιότητα των μονάδων, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη λήψη

ειδικών μέτρων και ρυθμίσεων τόσο κατά την εγκατάσταση όσο και κατά την επεξεργασία των μονάδων.

Για παράδειγμα, θα πρέπει οι μονάδες να κτίζονται σε περιοχές μη κατοικημένες, περιοχές που δεν έχουν χρήση ψυχαγωγίας (θαλάσσιο μπάνιο, φάρεμα κλπ.). 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.

Πρέπει να γίνεται επεξεργασία της άλμης και των χημικών ώστε να μην αποβάλλονται απ' ευθείας στην θάλασσα και προκαλούν μόλυνση και καταστροφή στην θαλάσσια ζωή και στην παράκτια περιοχή.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η λύση της αφαλάτωσης είναι μια καλή τεχνοοικονομικά επιλογή, εκεί όπου υπάρχει ανάγκη για νερό και άρα για επιβίωση. Σχετικές μελέτες για συγκεκριμένα νησιωτικά μέρη έχουν δείξει ότι πρόκειται για μια βιώσιμη και κερδοφόρα επένδυση για οποιονδήποτε επιχειρήσει την υλοποίησή της, δημοτική ή κοινοτική επιχείρηση, ακόμα και το Δημόσιο.

Μια καλή προσέγγιση σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, δίνει το κόστος παραγόμενου νερού από αφαλάτωση με τα σημερινά δεδομένα από **0,75 – 3,00 €/ m³** για τα ελληνικά νησιά, σε μια μεσαίας δυναμικότητας μονάδα αντίστροφης όσμωσης, όταν το κόστος μεταφοράς του νερού στα νησιά συχνά ξεπερνά και τα **9 €/ m³**.

Στην Αθήνα, το τίμημα ανά κυβικό μέτρο νερού από την ΕΥΔΑΠ ανέρχεται σε **0,65 €/ m³** (2^η κλίμακα κατανάλωσης, μετά τα πρώτα 14,5 κυβικά).

Συμπερασματικά:

1. Ο εξαιρετικά ενεργοβόρος χαρακτήρας των μεγάλων μονάδων αφαλάτωσης, **δυναμικότητας παραγωγής νερού μεγαλύτερης των 2.000 m³ ημερησίως, επιβάλλει την προσφυγή σε τοπικές εγκαταστάσεις ΑΠΕ για την ενεργειακή τους τροφοδοσία.** Σε αντίθετη περίπτωση και μόνο εξαιτίας αυτού, το γενικότερο περιβαλλοντικό ισοζύγιο προκύπτει έντονα αρνητικό.
2. Τα αλμόλοιπα της εγκατάστασης συνιστούν παράγοντα έντονης όχλησης και εύλογης επικινδυνότητας στην περιοχή διάθεσής τους (ιζηματογενέσεις, αύξηση αλατότητας, επικίνδυνες ουσίες από την παραγωγική διαδικασία, θερμοκρασία). Εάν το υδραυλικό τους φορτίο είναι υψηλό (π.χ. μεγαλύτερο των 2.000 m³/ημέρα), η θαλάσσια περιοχή εκβολής τους είναι σχετικά αβαθής, με μέτριας ή χαμηλής ταχύτητας ρεύματα (π.χ. κόλποι), στοιχεία εν γένει αποτρεπτικά για την κατασκευή της μονάδας, τότε **η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου θα πρέπει να εξετάσει διεξοδικά τους βιοτικούς παράγοντες της ευρύτερης θαλάσσιας περιοχής και τις επιπτώσεις των αλμολοίπων σ' αυτούς.** Τούτο ισχύει κατά μείζονα λόγο, όταν η μη διατάραξη του θαλάσσιου οικοσυστήματος της περιοχής επιβάλλεται και για λόγους προστασίας της παραδοσιακής παράκτιας αλιείας.
3. Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας των πιο πάνω επιπτώσεων των αλμολοίπων, **θα πρέπει να διερευνώνται με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων διασποράς που να είναι αντιπροσωπευτικά των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του συστήματος διάχυσης** (βάθος και ρεύματα περιοχής, φυσικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού, στάθμη των σημείων εκβολής από τους διαχύτες, φυσικά χαρακτηριστικά και αλατότητα αλμολοίπων κλπ.)
4. **Ιδιαίτερο βάρος θα πρέπει να δίνεται στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων επί του υπάρχοντος βιοτικού συστήματος κατά τη φάση κατασκευής των αγωγών εισρόφησης του θαλασσινού νερού και απόρριψης των αλμολοίπων.** Θα πρέπει, επίσης, να εξετάζεται υπό τις πραγματικές, κάθε φορά,

συνθήκες, η επίπτωση που θα έχει στο συγκεκριμένο θαλάσσιο οικοσύστημα η αναπόφευκτη καταστροφή του ζωικού και φυτικού πλαγκτόν, ωαρίων, γόνου και άλλων μικρών οργανισμών, που εισροφούνται προς τη μονάδα αφαλάτωσης, σε σχέση με τη δυνατότητα φυσικής ανανέωσης των πιο πάνω βιοτικών παραγόντων.

Οι χώρες χρησιμοποιούν την αφαλάτωση για να λύσουν τα επείγοντα προβλήματα που προκύπτουν από την έλλειψη του νερού, ζυγίζοντας αυτά με τις όποιες επιπτώσεις επιφέρει η αφαλάτωση.

Η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος που μπορεί να προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα και ποσότητα πόσιμου νερού, ανεξάρτητα από το κλίμα της περιοχής και επιβάλλεται να επιδιωχθεί ως λύση.

Δεδομένου ότι είναι αδύνατον να καλύψει όλες τις ανάγκες ύδρευσης, πρέπει να λειτουργεί συμπληρωματικά σε μια ευρύτερη πολιτική ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων και επ' ουδενί πρέπει να αντικαταστήσει τις προσπάθειες για συλλογή του βρόχινου νερού, τον περιορισμό των διαρροών από το δίκτυο ύδρευσης, και την επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών στην αγροτική παραγωγή που δεν είναι υδροβόρες, έτσι ώστε να γίνεται η μέγιστη εξοικονόμηση νερού.

Ο συνδυασμός αφαλάτωσης με ΑΠΕ είναι τεχνικά εφικτός και περιβαλλοντικά ωφέλιμος, παρουσιάζει όμως γενικά υψηλότερο κόστος σε σχέση με την συμβατική τροφοδοσία. Παρόλα αυτά, πρέπει να αποτελέσει προτεραιότητα σε μελλοντικές εφαρμογές με αντίστοιχη παροχή κινήτρων.

8. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Ελληνική Βιβλιογραφία

Μουτάφης Παναγιώτης: «Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών, Αθήνα 2008

Πέππα Φλώρα: «Ηλιακή Αφαλάτωση και Μελέτη Ηλιακού Αποστακτήρα στην Περιοχή της Αθήνας Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα Νοέμβριος 2007

Γ. Παλιεράκης: «Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Αθήνα 2007

Αναστάσιος Ι. Καράμπελας: «Προηγμένες Μέθοδοι για προστασία και ενίσχυση των υδατικών πόρων», Ινστιτούτο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Θεσσαλονίκη - Ημερίδα: «Η Συμβολή των Ερευνητικών Κέντρων στην Έρευνα την Τεχνολογική Ανάπτυξη και την Καινοτομία» Μέγαρο Μουσικής Αθηνών, 1η Απριλίου 2009

Γεωργίου Μαριάννα: «Οι Μονάδες Αφαλάτωσης στην Κύπρο, η σημασία τους στην Διαχείριση των Υδατικών Πόρων και οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις» Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, χρονολογία ανεξακρίβωτη

Κεανάνκης Γιώργος, Κατσαράκης Νίκος, Σαββάκης Κώστας: «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Γενικό Τμήμα Θετικών Επιστημών, Τομέας Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών, Ιεράπετρα, Φεβρουάριος 2008

Δημ. Μανωλάκος: «Συστήματα Αφαλάτωσης στον νησιωτικό χώρο», Μηχανολόγος Μηχ/κός Ε.Μ.Π., Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2009

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών, Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας, Εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής, Αφαλάτωση Νερού, Poster Energy Desalination 2009

Χρίστος Μιχαηλίδης: «Η Αφαλάτωση στην Κύπρο», Εκτελεστικός Μηχανικός, Υπουργείο Συγκοινωνιών και Έργων, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Σεπτέμβριος 2009

Αυλωνίτης, Σ. Α.: «Εισαγωγή στην τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης», 1st ed., 330-333 pp., Εκδόσεις "ΙΩΝ" Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε., ISBN 960-411-562-6, Αθήνα, 2006

Δεληγιάννη, Ε. and Β. Μπελεσιώτης: «Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης», Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, 475 pp., Αθήνα, 1995

Νικητάκος Νικήτας.: «Ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Θαλάσσιο Περιβάλλον», εκδόσεις Σιδέρη, 2008

Περιοδικό Science Illustrated Τεύχος 42, Ιούλιος 2007

Ριζόπουλος Γιάννης, Pathfinder technologείν: «Πλωτή αιολική μονάδα αφαλάτωσης: λύση για τα άνυδρα νησιά», Νοέμβριος 2007

Ευγενία Τζέν: «Μια εναλλακτική λύση στη λειψυδρία», Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση, τεύχος Ιανουαρίου 2001

ΣΚΑΙ: Τα νησιά "ξεδιψούν" με αφαλάτωση, 01/05/08

ΚΑΠΕ -: Σχεδιασμός συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, 2006

«Φιλελεύθερο Ζάντε» **Blog Archive_Αφαλάτωση_Μάννα'** εκ θαλάσσης ;

Ερώτηση προς Υπουργούς ΠΕΧΩΔΕ και Εσωτερικών σχετικά με εργοστάσια αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά, 09/04/2008 από τον Βουλευτή Μ. Παπαγιαννάκη

ΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΠΑΑ/ΤΕΕ_για την αφαλάτωση, Δημοσιευμένο στο Διαδίκτυο, χρονολογία ανεξακρίβωτη

Διαχείριση Υδατικών Πόρων στα νησιά του Αιγαίου: Σύνθεση Εναλλακτικών Λύσεων Ιωάννης Κ. Καλδέλλης, Αιμιλία Κονδύλη και Γεώργιος Κορμπάκης, Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά – Διαδίκτυο, χρονολογία ανεξακρίβωτη

2. Διεθνής Βιβλιογραφία

Online Encyclopedia: Wikipedia – Βικιπαίδεια, Desalination

Garcia-Rodriguez, L. (2003), Renewable energy applications in desalination: state of the art, *Solar Energy*, 75, 381-393.

Mark Wilf, (2007), *The guidebook to Membrane Desalination Technology. Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems. Processes, Design, Applications and Economics.* Balaban Desalination Publications, ISBN 0 – 86689 – 065 - 3

Mathioulakis, E., V. Belessiotis, and E. Delyannis (2007), Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art, *Desalination*, 203, 346.

Mohamed, E. S., G. Papadakis, E. Mathioulakis, and V. Belessiotis (2005), The effect of hydraulic energy recovery in a small sea water reverse

osmosis desalination system; experimental and economical evaluation, *Desalination*, 184, 241-246.

Mohamed, E. S., G. Papadakis, E. Mathioulakis, and V. Belessiotis (2006), An experimental comparative study of the technical and economic performance of a small reverse osmosis desalination system equipped with a hydraulic energy recovery unit, *Desalination*, 194, 239-250.

Mohamed, E. S., G. Papadakis, E. Mathioulakis, and V. Belessiotis (2008), A direct coupled photovoltaic seawater reverse osmosis desalination system toward battery based systems -- a technical and economical experimental comparative study, *Desalination*, 221, 17-22.

International Desalination Association (leading global organization dedicated to desalination, desalination technology and water reuse), Φεβρουάριος 2005

The Perth Seawater Desalination Plant- Water Corporation Australia - Διαδίκτυο