

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



Διπλωματική Εργασία με θέμα:

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Της φοιτήτριας:
Κωστάκη Αθανασία (Α.Μ.: 20616)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΚΑΤΙΑ ΛΑΖΑΡΙΔΗ

ΑΘΗΝΑ 2010

Ευχαριστίες...

Ευχαριστώ, καταρχήν, πολύ την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Κάτια Λαζαρίδη για την καλή συνεργασία.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ όλους τους φίλους που με βοήθησαν κατά τη συλλογή του υλικού αλλά και κατά την μετάφραση των ξενόγλωσσων συγγραμμάτων για τη συγγραφή της εργασίας αυτής.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογενεια μου για την στήριξη και την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια διεξαγωγής της εργασίας μου αλλά και καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Σε αυτούς αφιερώνω και την παρούσα εργασία.

Κωστάκη Αθανασία,

Αθήνα 2010.

Περιεχόμενα

<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</u>	5
<u>ABSTRACT.....</u>	6
<u>1ο ΜΕΡΟΣ: ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....</u>	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Η διαθέσιμη ενέργεια.....	11
<u>2ο ΜΕΡΟΣ: ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....</u>	13
2.1 Αφαλάτωση για την παραγωγή πόσιμου νερού.....	13
2.2 Ιστορία και παραδείγματα αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα.....	14
2.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης.....	17
2.4 Εισαγωγή στις μεθόδους αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	24
2.4.1 Ηλιακή αφαλάτωση.....	25
2.5 Αιολική αφαλάτωση.....	27
<u>3ο ΜΕΡΟΣ: ΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗ.....</u>	29
3.1 Αρχή λειτουργίας.....	29
3.2 Παραδείγματα ηλιακής απόσταξης σε παγκόσμια κλίμακα.....	29
3.3 Ηλιακοί αποστακτήρες.....	33
3.4 Τμήματα των συστημάτων ηλιακής απόσταξης.....	38
3.5 Τύποι ηλιακών αποστακτήρων.....	39
3.6 Παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία και την απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων.....	43
3.7 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα εγκατάστασης των ηλιακών αποστακτήρων.....	46
<u>4ο ΜΕΡΟΣ: ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ.....</u>	47
4.1 Γενικά.....	47
4.2 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου.....	47
4.3 Πλωτός Αυτοδύναμος Ηλιακός Αποστακτήρας (Π.Α.Η.Α).....	48
4.4 Συνδυασμένη παραγωγή αλατιού και νερού με ηλιακή ενέργεια.....	52
<u>5ο ΜΕΡΟΣ: ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....</u>	56
5.1 Γενικά.....	56
5.2 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου.....	56

5.3 Τεχνικές αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας.....	57
5.4 Οικονομικά στοιχεία.....	63
5.5 Μελέτη περίπτωσης στην Ελλάδα: Μονάδες αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα.....	63
5.6 Συμπεράσματα.....	66

6ο ΜΕΡΟΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ

ΕΛΛΑΔΑ.....

6.1 Διαχείριση των υδατικών πόρων στη Μεσόγειο και στην Ελλάδα.....	67
6.2 Η πρόοδος της αφαλάτωσης στην Ελλάδα.....	68
6.2.1 Έργα σε λειτουργία του Ομίλου Vector.....	69
6.2.2 Μονάδες Αντίστροφης Όσμωσης στα Ελληνικά Νησιά.....	71
6.2.3 Ελλάδα: Η πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στον κόσμο.....	71
6.2.4 Μονάδα Αφαλάτωσης Δεκέλειας.....	72
6.2.5 Σταθμός αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη Μήλο.....	73
6.3 Εφαρμογές υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης.....	76

7ο ΜΕΡΟΣ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....

7.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας.....	79
7.2 Πόσο εφικτό είναι στο μέλλον να χρησιμοποιηθεί ευρέως η αφαλάτωση με χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας.....	81
7.3 Τεχνικά αποτελέσματα	82
7.4 Οικονομικά αποτελέσματα.....	85
7.5 Γενική κατανομή των Α.Π.Ε. για αφαλάτωση στην αγορά.....	89

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ.....

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ελλάδα είναι μια από τις 7 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας. Το πρόβλημα είναι πιο έντονο στις νησιωτικές περιοχές. Η αφαλάτωση, σε σύγκριση με τις συμβατικές παρεμβάσεις για εφοδιασμό νερού, έχει πλεονεκτική θέση από άποψη οικονομικού κόστους και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των συστημάτων αφαλάτωσης είναι οι μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις που παραδοσιακά παρέχονται από συμβατικές μορφές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια).

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η δυνατότητα εφαρμογής και η αξιοπιστία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στα συστήματα αφαλάτωσης έχουν συζητηθεί εκτενώς ως μια καινοτόμος προσέγγιση για την αφαλάτωση του νερού οικονομικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Επιπλέον, τα αποτελέσματα πολλών ερευνητικών προγραμμάτων έχουν δείξει ότι οι ΑΠΕ / συστήματα αφαλάτωσης θα μπορούσε να είναι οικονομικά ανταγωνιστική με τις συμβατικές μεθόδους ή άλλες πιθανές λύσεις, ειδικά σε απομακρυσμένες περιφέρειες όπου το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό και, ενδεχομένως, και υπάρχει κατάλληλο δυναμικό ΑΠΕ. Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια έχουν βρεθεί να είναι οι πιο αποτελεσματικές και οικονομικές ΑΠΕ για την τροφοδοσία συστημάτων αφαλάτωσης.

Η παρούσα εργασία αναλύει τις στρατηγικές διαχείρισης των υδάτων που βασίζονται σε προηγμένα συστήματα αφαλάτωσης που κινούνται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Δίνεται έμφαση στις δυνάμεις της αγοράς και τη σχέση των τιμών της τεχνολογίας και των δυνατοτήτων της αγοράς. Στην εργασία επίσης αναλύονται κάποιες μελέτες περίπτωσης για την Ελλάδα και ιδιαίτερα για τα νησιά του Αιγαίου (Δωδεκάνησα και Κυκλάδες).

ABSTRACT

Greece is one of the 7 EU countries suffering from water shortages. The problem is most acute in the islands. Desalination, compared with conventional interventions for water supply, has an advantage in terms of economic costs and environmental impacts. The biggest drawback of desalination systems is the large energy requirements that have traditionally provided by conventional energy (fossil fuels and electricity).

During the last decade, the applicability and reliability of renewable energy sources (RES) desalination systems have been extensively discussed as an innovative approach to desalinate water economically and environmentally friendly. Moreover, the results of several research programs have shown that RES / desalination systems could be economically competitive with conventional methods, or other possible solutions, especially in remote regions where electricity costs are high and, perhaps, an appropriate potential RES. Wind and solar energy have been found to be the most effective and economical renewable energy to power desalination systems.

This paper analyzes the strategies of water management based on advanced desalination systems powered by renewable energy sources. Emphasis on market forces and the relative prices of technology and market opportunities. The work also analyzes some case studies of Greece and especially the Aegean Islands (Dodecanese and the Cyclades).

1ο ΜΕΡΟΣ: ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Το νερό και η ενέργεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους με μία πολύπλοκη σχέση. Χρειαζόμαστε ενέργεια για να μεταφέρουμε το νερό, να το κατεργαστούμε, ώστε να μετατραπεί σε πόσιμο ή κατάλληλο για χρήση στη βιομηχανία και την γεωργία, για να το αντλήσουμε και σε περιπτώσεις έλλειψης νερού να αφαλατώσουμε το αλμυρό ή το θαλάσσιο νερό. Η ίδια η μάζα του νερού είναι μία πηγή ενέργειας, ανανεώσιμη, την οποία μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ως κινητική ενέργεια των ποταμών, των ωκεανών, ή ως δυναμική ενέργεια λόγω υψομετρικής διαφοράς. Αντίθετα για την παραγωγή ενέργειας χρειαζόμαστε νερό, ώστε να παραχθεί ατμός και ηλεκτρικό ρεύμα.¹

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

Όσον αφορά τις χρήσεις του νερού στη χώρα μας, η γεωργία καταναλώνει το 87%, τα νοικοκυριά (αστική χρήση) και ο τουρισμός το 10% και η βιομηχανία το 3%. Στη χώρα μας το πρόβλημα είναι πιο έντονο στις νησιωτικές περιοχές λόγω της μορφολογίας του εδάφους και των ελάχιστων πηγών νερού που συνήθως δεν είναι πόσιμο αλλά υφάλμυρο. Η κατάσταση επιδεινώνεται ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών και της ξηρασίας καθώς και εξαιτίας της αυξημένης τουριστικής κίνησης στις περιοχές αυτές. Ο τουρισμός που συνεπάγεται και την μεταφορά των υδατικών καταναλώσεων του παραθεριστή που έχει συνηθίσει στην πόλη του είναι ο κυριότερος παράγοντας. Επίσης η κατασκευή των τουριστικών υποδομών όπως ξενοδοχεία κτλ, για την εξυπηρέτηση του εισερχόμενου πληθυσμού και οι ανάγκες αυτών των υποδομών για λειτουργίες όπως πότισμα, πισίνες, ίδιες χρήσεις κτλ δυσχεραίνουν την κατάσταση.

Η κατάσταση δεν είναι ίδια σε κάθε νησί. Πιο έντονα είναι τα προβλήματα στα άνυδρα

1. ¹ Tomas Markvart, Ηλεκτρισμός από Ηλιακή Ενέργεια, Εκδόσεις ΙΩΝ 2003, Μετάφραση, Γιώργος Γαρύφαλλος, Γρηγόρης Σκούντζος

νησιά των Κυκλάδων όπως η Αμοργός, το Κουφονήσι, η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σχοινούσα, η Φολέγανδρος, η Τήνος, η Σίκινος, η Θηρασία, η Δονούσα και η Μήλος. Είναι αναμενόμενο το γεγονός ότι η λειψυδρία είναι πιο έντονη σε μικρά νησιά καθώς και σε νησιά που δεν έχουν γνωρίσει πολύ μεγάλη τουριστική ανάπτυξη καθώς αφενός δεν υπάρχουν οι αναγκαίοι πόροι για να χρηματοδοτηθούν κάποιες δαπανηρές λύσεις και αφετέρου υπάρχει έλλειψη πηγών πόσιμου νερού στα εδάφη αυτά, κάτι που δίκαια οδηγεί στην απόδοση του χαρακτηρισμού “ξερονήσια”.

Για πολλούς από τους παράγοντες που δημιουργούν το πρόβλημα υπαίτιος είναι ο άνθρωπος καθώς συχνά προκαλεί ρύπανση των υδάτινων πόρων από βιομηχανικά, αστικά, αγροτικά λύματα και απορρίμματα τα οποία οδηγούν σε φαινόμενα ευτροφισμού και υφαλμυρισμού. Η εντατική άντληση του νερού από υδρογεωτρήσεις διευκολύνει την εισροή του θαλασσινού νερού καταστρέφοντας ουσιαστικά τον υδροφόρο ορίζοντα.



Υπάρχουν όμως και παράγοντες που συνεισφέρουν στο πρόβλημα που δεν έχουν να κάνουν με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Το μικρό ύψος των βροχοπτώσεων και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές αυτές προκαλούν μικρή προσφορά νερού. Επίσης η μικρή έκταση των νησιών περιορίζει την ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκεντρωθεί στα εδάφη τους. Η ολόπλευρη προσβολή των νησιών από την θάλασσα ευνοεί την επιφανειακή αλλά και την υπόγεια απορροή καθώς και διάφορα

φαινόμενα υφαλμύρωσης που καταστρέφουν τυχόν υπόγεια αποθέματα πόσιμου νερού. Οι κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως η έντονη ηλιοφάνεια κάνουν την εξάτμιση να είναι πολύ έντονη γεγονός που οδηγεί μεγάλο ποσοστό του νερού της βροχής να επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, αλλά όχι ήσσονος σημασίας, πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη υδατικής διαχείρισης και στρατηγικής προστασίας των υδάτων που θα μπορούσε να εξισορροπήσει τα όποια προβλήματα λειψυδρίας υπάρχουν.

Η ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων και οι λύσεις για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της λειψυδρίας και η αξιολόγηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών της αυτών των εναλλακτικών λύσεων απαιτεί μια αξιόπιστη εκτίμηση των διαθέσιμων πόρων και της αξιοποίησης του νερού και η ακριβής εκτίμηση των σημερινών και των μελλοντικών αναγκών νερού.

Οι παραδοσιακές τεχνικές εφοδιασμού που πραγματοποιούνται με σκοπό να καλύψουν τις αυξανόμενες ανάγκες σε νερό μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς υπάρχει μια τάση να φθάνουν τα υδρολογικά όρια με την εξάντληση των υδροφόρων ορίζοντων ή την αλάτωση των παράκτιων υδροφορέων, και να διαταράσσουν τα φυσικά οικοσυστήματα από τη μείωση των απορροών και την ξήρανση των υγροτόπων. Η γεώτρηση στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, η κατασκευή φραγμάτων και η εκτροπή των ποταμών, η μεταφορά νερού μεταξύ των λεκανών, η κατασκευή των συστημάτων συλλογής επιφανειακών υδάτων και τεράστιες οικονομικές επενδύσεις για ενισχυμένα δίκτυα νερού είναι κοινές και ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι που εμπίπτουν στον τομέα αυτό.

Η αφαλάτωση, σε σύγκριση με τις συμβατικές παρεμβάσεις για εφοδιασμό νερού, έχει πλεονεκτική θέση από άποψη του οικονομικού κόστους και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των συστημάτων αφαλάτωσης είναι οι μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις που παραδοσιακά παρέχονται από συμβατικές μορφές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια). Μεταξύ των διαφόρων τεχνικών αφαλάτωσης, η αντίστροφη όσμωση (RO) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας μεμβράνης και των χαμηλών ενεργειακών αναγκών της σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες αφαλάτωσης. Οι διαδικασίες ηλεκτροδυσάλυσης (ED) έχουν δείξει επίσης ελκυστικά αποτελέσματα στην παροχή γλυκού νερού παραγωγής, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που το νερό των ζωοτροφών είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε αλάτι, όπως και οι εφαρμογές υφάλμυρου νερού.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η δυνατότητα εφαρμογής και η αξιοπιστία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στα συστήματα αφαλάτωσης έχουν συζητηθεί εκτενώς ως μια καινοτόμος προσέγγιση για την αφαλάτωση του νερού οικονομικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Επιπλέον, τα αποτελέσματα πολλών ερευνητικών προγραμμάτων έχουν δείξει ότι οι ΑΠΕ / συστήματα αφαλάτωσης θα μπορούσε να είναι οικονομικά ανταγωνιστική με τις συμβατικές μεθόδους ή άλλες πιθανές λύσεις, ειδικά σε απομακρυσμένες περιφέρειες όπου το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό και, ενδεχομένως, και υπάρχει κατάλληλο δυναμικό ΑΠΕ. Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια έχουν βρεθεί να είναι οι πιο αποτελεσματικές και οικονομικές ΑΠΕ για την τροφοδοσία RO και ED συστημάτων αφαλάτωσης υπό την προϋπόθεση ότι οι μηχανισμοί ελέγχου είναι σε θέση να διαχειρίζονται επαρκώς τη διαλείπουσα φύση αυτών των ενεργειακών πηγών. Με βάση αυτές τις διαπιστώσεις, ο προσδιορισμός των δυνατοτήτων της αγοράς για τα ΑΠΕ συστήματα αφαλάτωσης είναι τα επόμενα φυσικά βήματα για την αξιολόγηση της αναμενόμενης συμβολής τους στην επίλυση των προβλημάτων έλλειψης νερού.

Το συντονιστικό κέντρο της παρούσας εργασίας έγκειται στην ανάπτυξη μιας μεθόδου για την αξιολόγηση των δυνητικών αγορών για τις ΑΠΕ που κινούν συστήματα αφαλάτωσης. Η μέθοδος περιλαμβάνει τη διερεύνηση των προβλημάτων έλλειψης νερού, την εκτίμηση της οικονομικής αξιοποίησης του δυναμικού ΑΠΕ, την αξιολόγηση προηγμένων ΑΠΕ / συστημάτων αφαλάτωσης, και τη σύγκριση των καθεστώτων αυτών με την παραδοσιακή χρήση από πλευράς προσφοράς-παρέμβασης, προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί το διαθέσιμο δυναμικό της αγοράς των ΑΠΕ αφαλάτωσης για την παροχή γλυκού νερού. Δίνεται έμφαση στο επιχείρημα ότι η αύξηση της αποδοχής των δυνάμεων της αγοράς είναι αναγκαία για μια αποτελεσματική λύση των σημερινών και μελλοντικών προβλημάτων του νερού.

Η παρούσα εργασία αναλύει τις στρατηγικές διαχείρισης των υδάτων που βασίζονται σε προηγμένα συστήματα αφαλάτωσης που κινούνται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το πλαίσιο για την ανάπτυξη μιας διαδικασίας απόφασης, η οποία παρακολουθεί τα προβλήματα της έλλειψης νερού και προσδιορίζει τη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης ενέργειας, που παρουσιάζεται. Το κόστος των εναλλακτικών λύσεων, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος της ενέργειας και των κερδών από την πώληση ενέργειας στο δίκτυο, είναι κατ'εκτίμηση. Δίνεται έμφαση στις δυνάμεις της αγοράς και τη σχέση των τιμών της τεχνολογίας και των δυνατοτήτων της αγοράς.

Στην εργασία επίσης αναλύονται κάποιες μελέτες περίπτωσης για την Ελλάδα και ιδιαίτερα για τα νησιά του Αιγαίου (Δωδεκάνησα και Κυκλάδες).²

1.2 Η διαθέσιμη ενέργεια

Η ενέργεια είναι μία φυσική ποσότητα απαραίτητη για την διατήρηση της ζωής και την καλυτέρευσή της. Προσφέρεται σε διάφορες μορφές: ως θερμότητα, ως φως, ως ακτινοβολία, ως ύλη, και έμμεσα ως ηλεκτρισμός. Η εκμετάλλευση των συμβατικών πηγών ενέργειας ελαττώνει τα αποθέματά τους και παράλληλα μολύνει το περιβάλλον. Αντίθετα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ανεξάντλητες, αφού ανανεώνονται συνέχεια. Η παροχή τους είναι συνεχής και αστείρευτη αλλά θέτει ορισμένα όρια ως προς την ανώτερη εκμεταλλεύσιμη ποσότητα στην μονάδα του χρόνου.

Στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας συμπεριλαμβάνεται και η απορριπτόμενη ενέργεια από διάφορες χημικές βιομηχανίες ή ηλεκτρικούς σταθμούς. Η εναλλακτική πηγή ενέργειας διατίθεται είτε ως ζεστό νερό είτε ως ατμός. Οι πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος διαθέτουν τεράστιες ποσότητες ατμού χαμηλής θερμοκρασίας, με χαμηλό θερμικό περιεχόμενο που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί επωφελώς σε μεθόδους απόσταξης που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες.

² «Αφαλάτωση», Αλέξανδρος Σ. Αλεξάκης, εκδόσεις Μιχάλη Σιδέρη

Πίνακας 1.2.1 Εκτιμήσεις των πιθανών παροχών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα

Πηγή ενέργειας	όρια: Quads/έτος	kJ/έτος	kWh/έτος	MW	toe/έτος
Ηλιακή ακτινοβολία, στη γήινη επιφάνεια	10 έως 20	5.4×10^{18}	1.5×10^{18}		1.3×10^{14}
Γεωθερμική ενέργεια πιθανά αποθέματα προσιτά αποθέματα		8×10^{27} 1.4×10^{26}	2.22×10^{24} 3.90×10^{22}		1.57×10^{20} 2.75×10^{18}
Υδραυλική ενέργεια πιθανά αποθέματα προσιτά αποθέματα	3 έως 4		44.4×10^{22} 2.9×10^{22}		3.12×10^{19} 2.05×10^{18}
Λιωλική ενέργεια	10 έως 40			6.05×10^6	
Βιομάζα: φυτική απορρίμματα	2 έως 10 2 έως 10	2.9×10^{12}	8.2×10^8		5.7×10^4
Θερμική ενέργεια Ωκεανών	0 έως 20			2.7×10^8	
Ενέργεια παλιρροιών	$\ll 1.0$			3.0×10^4	
Ενέργεια κυμάτων*	$\ll 1.0$				
Βάθμωση αλμυρότητα.	$\ll 1.0$				

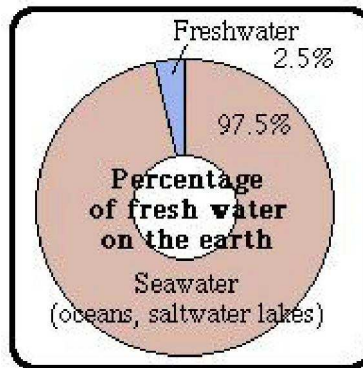
Το μέγεθος του ενεργειακού δυναμικού κάθε ανανεώσιμης πηγής ενέργειας εξαρτάται άμεσα από τις τοπικές συνθήκες της περιοχής στην οποία αναφέρεται. Η στήλη 1 δίνει μια γενική εκτίμηση για τα κατώτερα και ανώτερα όρια του ενεργειακού δυναμικού, παγκόσμια. Οι τρεις επόμενες στήλες παρουσιάζουν την ενέργεια η οποία παρέχεται ως θερμότητα και θα μπορούσε να εξαχθεί ως θερμική ενέργεια ή ηλεκτρισμός, εάν ήταν δυνατόν να γίνει ολική εκμετάλλευση των πηγών. Η τελευταία στήλη δίνει την δυνητική ενέργεια σε αντίστοιχους τόνους πετρελαίου.³

³ Ενέργεια: Πηγές – Εφαρμογές – Εναλλακτικές Λύσεις, Ευγενίδειο Ίδρυμα, Αθήνα 1996

2ο ΜΕΡΟΣ: ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

2.1 Αφαλάτωση για την παραγωγή πόσιμου νερού

Το νερό είναι ένα από τα σημαντικότερα αγαθά της ανθρωπότητας, βασικός παράγοντας και στοιχείο της ανθρώπινης εξέλιξης και του πολιτισμού. Το γλυκό νερό που υπάρχει στην γη αποτελεί μόλις το 3%. Το υπόλοιπο είναι αλμυρό.



Σχήμα 2.1.1 Κατανομή του νερού στην γη

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού της γης, οι αυξημένες ανάγκες που προκύπτουν από την ανάπτυξη της βιομηχανίας και της γεωργίας, καθώς και η αυξανόμενη μόλυνση των υδάτινων πόρων του πλανήτη μας, έχουν οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα λειψυδρίας σε συγκεκριμένες περιοχές, λαμβάνοντας υπ' όψιν και την ύπαρξη μεγάλων, παραδοσιακά ξηρών περιοχών όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι σε υψηλά επίπεδα, ενώ οι βροχοπτώσεις σπάνιες. Έντονο πρόβλημα λειψυδρίας, αν και παράδοξο, σημειώνεται στις παράκτιες περιοχές και στα νησιά. Η μόνη ανεξάντλητη πηγή νερού είναι οι ωκεανοί το νερό των οποίων όμως είναι υψηλής αλμυρότητας. Στην περίπτωση που οι περιοχές διαβρέχονται από θάλασσα και δεν διαθέτουν φυσικές υδάτινες πηγές ή όταν τα υπάρχοντα αποθέματα έχουν μολυνθεί σε σημείο που οι συμβατικοί, φυσικοί ή χημικοί τρόποι καθαρισμού δεν αποδίδουν, η *αφαλάτωση* του θαλάσσιου ή υφάλμυρου νερού αποτελεί λύση του προβλήματος. Η *αφαλάτωση* είναι μια φυσική διεργασία διαχωρισμού των αλάτων από το νερό ή από υδατικά διαλύματα και χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα για παραγωγή νερού για οικιακή χρήση (πόσιμο νερό), κοινοτική, αγροτική και βιομηχανική. Σαν *πρώτη ύλη* για την τροφοδότηση μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης χρησιμοποιείται θαλάσσιο ή αλμυρό νερό ή και υφάλμυρο νερό, η περιεκτικότητα των οποίων σε άλατα είναι μεγαλύτερη από το ανώτατο επιτρεπτό όριο των προδιαγραφών για την συγκεκριμένη χρήση.

2.2 Ιστορία και παραδείγματα αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα

Η ιστορία της αφαλάτωσης ξεκινάει από πολύ παλιά. Οι πρώτες προσπάθειες για αφαλάτωση του νερού έγιναν από τους αρχαίους χρόνους έως και τον Μεσαίωνα, ενώ το 1675 κατατέθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μία συσκευή απόσταξης θαλάσσιου νερού για την παραγωγή πόσιμου νερού. Από τότε και έως τις αρχές του 20^{ου} αιώνα η πρόοδος ήταν σχετικά αργή. Το ενδιαφέρον έγινε έντονο μετά το τέλος του 2^{ου} Παγκοσμίου πολέμου, όπου τα επόμενα χρόνια σημειώθηκε ραγδαία αύξηση και βελτίωση των τεχνικών και εφαρμογών αφαλάτωσης. Σήμερα λειτουργούν περίπου σε όλο τον κόσμο 9000 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με συνολική παροχή περίπου 18.700.000 m³ / d

Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι έντονο στη Βορειοδυτική Κίνα, τη δυτική και νότια Ινδία, σε μεγάλα τμήματα του Πακιστάν και του Μεξικού, και στις δυτικές ακτές των ΗΠΑ και την Νότιας Αμερικής.

Αυστραλία: Στην Δυτική Αυστραλία υπάρχουν αρκετά υπόγεια νερά, υφάλμυρα με περιεκτικότητα σε αλάτι περίπου 0,3%. Παρόμοιες συνθήκες επικρατούν και στο New South Wales και στη Νότια Αυστραλία. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν παντού έντονη, οπότε θα μπορούσε να γίνει αξιοποίηση των υπόγειων νερών με τη βοήθεια ηλιακών αποστακτήρων. Έχει αποδειχθεί ότι η ηλιακή απόσταξη στην Αυστραλία αποτελεί την οικονομικότερη μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού. Η μεγαλύτερη αποστακτική εγκατάσταση αξιοποίησης υφάλμυρων νερών στην Αυστραλία βρίσκεται στο Coober Pedy στα νότια της ηπείρου. Οι αποστακτήρες καλύπτονται από γυάλινη επιφάνεια 3,8 km². Η μονάδα ξεκίνησε την λειτουργία της τον Νοέμβριο του 1966 και εξυπηρετεί ένα μικρό συνοικισμό⁴

⁴ Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης, Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης, Αθήνα 1995

Πίνακας 2.2.1 Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, χωρητικότητας μεγαλύτερης των 10 m³ που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Τοποθεσία	νερό τρο- φοδότση.	τεχνολογία αφαλάτωσης	χωρητι. m ³ /d	τεχνολογία αναννώσ.	χαρακτη- ριστικά
Bouzeah, Αλγερία	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	20,0	φωτοβολταϊκά	2.74 kW -peak
El-Hamrawein Αίγυπτος	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	80.0	φωτοβολταϊκά	25.9 kW
CEN, Cada- rach, Γαλλία	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	60.0	επίπεδοι συλλέκτες	
Borkum Island, Γερμανία	θαλάσσιο	μηχανική ε- πανασυμπίε.	7,2 - 48	αιολική,	45 kW, maximum
Ruegen Island, Γερμανία	θαλάσσιο	μηχανική ε- πανασυμπίε.	48- 360	αιολική,	300 kW, maximum
Trisai Center, Ιταλία	αλμυρό	θερμική επα- νασυμπίεση	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	παραβολικές σκάφ.	220 m ²
Κατάρ	θαλάσσιο	MSF	20,0	ηλιακή λίμνη	
Platforma Al- meria, Ισπανία	θαλάσσιο	14-βαθμίδες MED	172.8	παραβολικές σκάφ.	2672 m ²
Almeria, Ισπανία	θαλάσσιο	αντίστροφη ώσμωση	60.0	φωτοβολταϊκά	836 m ²
Umm-Al Nar, Abu-Dabi,	θαλάσσιο	18-βαθμίδων MEB	100-120	συλλέκτες κενού	1862 m ²
El-Paso, Texas, USA	αλμυρό	24-βαθμίδων MEB	19,0	ηλιακή λίμνη	3355 m ²
Υπό κατασκευή					
Λιβύη	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	1000	φωτοβολταϊκά	
Λιβύη	θαλάσσιο	ME	500	παραβολικοί συλλέκτες	
Λιβύη	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	2000	αιολική	

εργατών μεταλλείων. Το πρωτογενές νερό προέρχεται από βάθος 70 m με περιεκτικότητα σε αλάτι 2,4%.

Ανταρκτική: Στο Davis Basis λειτουργεί ηλιακός αποστακτήρας ο οποίος τροφοδοτείται από δεξαμενή χωρητικότητας 70 lt γεμάτη με αλατόνερο από όπου η τροφοδοσία περνά σε ένα ρηχό δοχείο κατασκευασμένο από μαύρο πλαστικό υλικό καλυμμένο με ένα ημισφαιρικό γυάλινο κάλυμμα. Η συσκευή μπορεί να συναρμολογηθεί εντός 30 λεπτών, καθώς και κατάλληλα συσκευασμένη να ριχθεί με αλεξίπτωτα. Παράγονται περίπου 10 lt πόσιμου νερού την ημέρα.

Λιβύη: Στο Tobruk λειτουργεί συσκευή αφαλάτωσης βασισμένη στην διαδικασία παραγωγής γλυκού νερού με εξάτμιση και μετέπειτα συμπύκνωση. Η εγκατάσταση παρέχει 10 μετρικούς τόνους νερού ημερησίως, υπάρχει όμως μια μικρή ποσότητα άλατος. ΗΠΑ: Από τους τεχνικούς του στρατού των ΗΠΑ επινοήθηκε ένας απλός φορητός ηλιακός αποστακτήρας, με κύρια χρήση τον εξοπλισμό των σωσιβίων λέμβων. Η συσκευή αποτελείται από πέντε υπερκείμενα στρώματα από διαφορετικά υλικά, εκταμένα σε λεπτό πλαίσιο. Το πάνω στρώμα είναι πλαστικό φύλλο, το δεύτερο είναι χοντρό χαρτόνι κρεπ, το τρίτο είναι από υδρόφιλο υλικό, το τέταρτο αλουμίνιο και το πέμπτο είναι ένα κομμάτι ύφασμα. Ο αποστακτήρας ποτίζεται με θαλασσινό νερό και στην συνέχεια εκτίθεται στο ηλιακό φως, με αποτέλεσμα το νερό να εξατμιστεί λόγω της παραγόμενης θερμότητας. Έπειτα συμπυκνώνεται επάνω στο φύλλο του αλουμινίου γλυκό νερό.

Ισραήλ: Οι απαιτήσεις σε γλυκό νερό ανέρχονται ετησίως περίπου στα 1,8 δισεκατομμύρια m³. Ο καθηγητής A.Kogan ανέπτυξε μια νέα οικονομική μέθοδο ηλιακής αφαλάτωσης για την λύση του προβλήματος. Η μέθοδος Kogan- Rose υλοποιείται σε δύο φάσεις: Στην πρώτη φάση το θαλασσινό νερό που έχει θερμανθεί από τον ήλιο συμπυκνώνεται με συσκευή αντιρροής όπου ψυχρό ρεύμα αφαλατωμένου νερού ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Έτσι το ρεύμα του θαλασσινού νερού γίνεται ψυχρότερο προς την κατεύθυνση ροής του αφήνοντας αλάτι, ενώ το αφαλατωμένο νερό γίνεται θερμότερο. Στην συνέχεια η θερμότητα που έχει απορροφηθεί από το αφαλατωμένο ρεύμα, επανακτάται με εναλλάκτη θερμότητας.

Τουρκμενία: Στην Τουρκμενία, την νοτιότερη Σοβιετική Δημοκρατία της Μέσης Ασίας, ολικής επιφάνειας 488.100 km^2 βρίσκεται η αμμώδης έρημος Karakum, με επιφάνεια 350.000 km^2 . Η έρημος είναι ολοκληρωτικά εκτεθειμένη στον ήλιο και τους ανέμους. Δια μέσου των αιώνων έχουν συσσωρευτεί τεράστιες αλυσίδες φυσικών προχωμάτων και λόφων. Έχει 250 ημέρες ηλιοφάνεια και απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία $+49^\circ \text{C}$, με απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία -32°C . Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν εκτεταμένες εγκαταστάσεις άρδευσης, το πρόβλημα της ύδρευσης των πόλεων και των χωριών της Τουρκμενίας παραμένει έντονο. Για το λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί σε μεγάλη έκταση στην έρημο της Τουρκμενίας εγκαταστάσεις μετατροπής του υπόγειου αλμυρού νερού της ερήμου, σε πόσιμο, με χρήση της ηλιακής ενέργειας. Ιαπωνία: Λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης με ημερήσια παροχή 6300 εκατομμύρια λίτρα.

Το 1995 υπήρχαν παγκοσμίως πάνω από 11.000 μονάδες αφαλάτωσης -τα δύο τρίτα από αυτές στη Μ. Ανατολή, κυρίως στη Σαουδική Αραβία - με συνολική απόδοση 7,4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού το χρόνο. Μερικές χώρες που αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα έλλειψης νερού, όπως το Ισραήλ, έχουν αναπτύξει καλλιέργειες σε ξηρό περιβάλλον, με εξαιρετικά περιορισμένα αποθέματα νερού, που είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι. Στον πίνακα 2.2.1 βλέπουμε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, χωρητικότητας μεγαλύτερης των 10 m^3 που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

2.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Γενικά υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι αφαλάτωσης:

- 1) Μέθοδοι θερμικής απόσταξης- διαχωρισμός του νερού από το αλατούχο διάλυμα
- 2) Μέθοδοι με μεμβράνες-διαχωρισμός του αλατιού από το αλατούχο διάλυμα

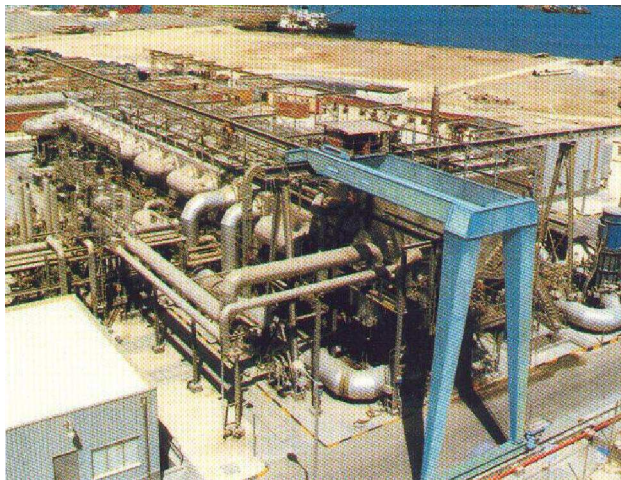
1) Μέθοδοι θερμικής απόσταξης

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος που αποτελεί το 76% του συνόλου των μεθόδων αφαλάτωσης για εγκαταστάσεις με παροχές μεγαλύτερες από $4000 \text{ m}^3 / \text{d}$ και το 59,4% για παροχές μεταξύ 100 και $4000 \text{ m}^3 / \text{d}$.

Στις μεθόδους θερμικής απόσταξης η ενέργεια μπορεί να προέρχεται από συμβατικά καύσιμα ή ανανεώσιμες πηγές. Κατά αυτή την μέθοδο είναι απαραίτητη η αλλαγή φάσης του νερού, δηλαδή θα πρέπει να μετατραπεί από την υγρή φάση στην αέρια κατά την εξάτμιση, και στην συνέχεια να μετατραπεί από την αέρια στην υγρή φάση κατά την συμπύκνωση. Η λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης χρησιμοποιείται κατ' επανάληψη για την προθέρμανση της τροφοδοσίας, ενώ την ίδια στιγμή ο ατμός συμπυκνώνεται για την παραγωγή πόσιμου νερού. Αυτό γίνεται σε διάφορες διαβαθμίσεις που η κάθε μία βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση (κενό) από την προηγούμενη. Η ενεργειακή απαίτηση αυτών των συστημάτων αναφέρεται συνήθως σαν ο λόγος των μονάδων απεσταγμένου νερού ανά μονάδα ατμού ή ανά 2326 KJ (1000Btu) θερμικής ενέργειας που αντιστοιχεί με την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης στους 73°C. Αυτό είναι γνωστό σαν ο λόγος απόδοσης (ΛΑ).

Οι μέθοδοι θερμικής απόσταξης είναι οι ακόλουθες:

1) Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flushing, MSF)- Πολυδιάστατοι αποστακτήρες άμεσων εξατμίσεων (ΠΑΕ)



Σχήμα 2.3.1 Πολυδιάστατοι αποστακτήρες άμεσων εξατμίσεων (ΠΑΕ)

2) Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED)-Αποστακτήρες πολλαπλών διαβαθμίσεων (ΠΔ)



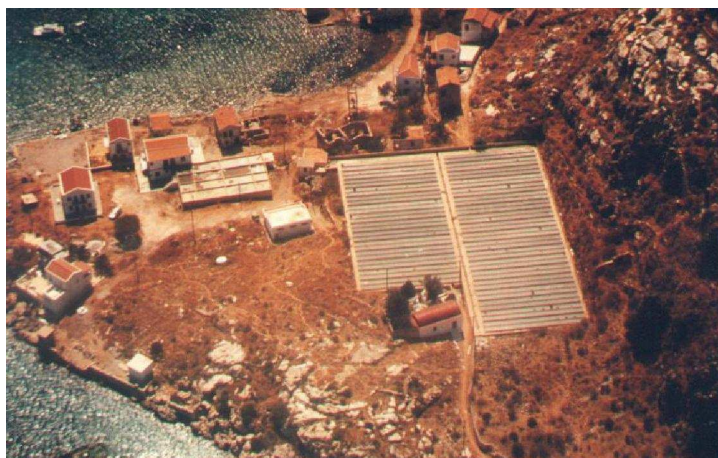
Σχήμα 2.3.2 Αποστακτήρες πολλαπλών διαβαθμίσεων (ΠΔ)

3) **Εξάτμιση με Επανασυμπίεση Ατμών (Vapour Compression, VC)**-Αποστακτήρες με συμπίεση ατμού (ΣΑ)



Σχήμα 2.3.3 Αποστακτήρες με συμπίεση ατμού (ΣΑ)

4) **Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation)** Ηλιακοί αποστακτήρες (ΗΑ)

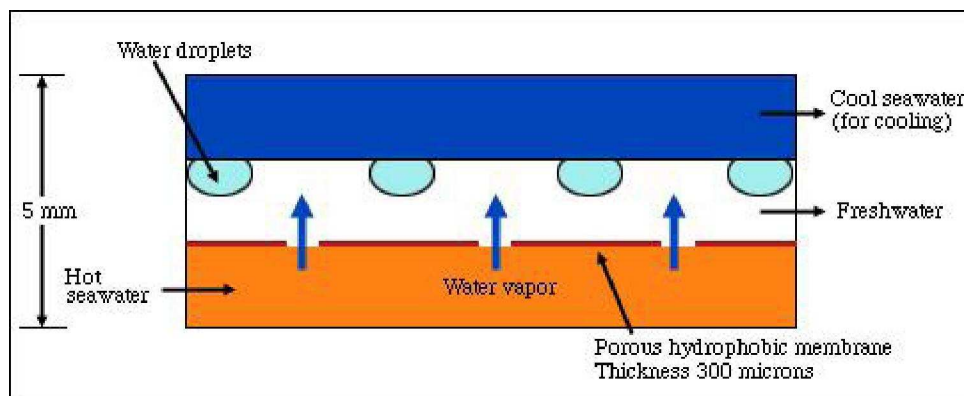


Σχήμα 2.3.4 Ηλιακοί αποστακτήρες (ΗΑ)

2) Μέθοδοι με μεμβράνες

Η μέθοδος πλεονεκτεί κυρίως στην αφαλάτωση υφαλμυρού νερού. Κατά αυτή την μέθοδο γίνεται χρήση ειδικών μεμβρανών οι οποίες επιτρέπουν την διέλευση των μορίων του άλατος αλλά όχι του νερού. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι εγκαταστάσεις που λειτουργούν με την διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης. Για την τεχνική αυτή απαιτείται χρήση μικρού ποσοστού ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιστροφή της τάσης που έχουν τα μόρια του άλατος να βρίσκονται σε διάλυμα με το νερό και έπειτα να επιτευχθεί ο διαχωρισμός μέσω των μεμβρανών. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να φτάσει τα 7kWh ανά 5000lt πόσιμου νερού, και μπορεί να προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια μετά από φωτοβολταϊκή μετατροπή, καθιστώντας το σύστημα αυτοδύναμο.

Το παραγόμενο αφαλατωμένο νερό είναι αρκετά μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, με αποτέλεσμα να είναι ικανό για κάθε χρήση. Ο χειρισμός μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης είναι αρκετά απλός.⁵



Σχήμα 2.3.5 Μηχανισμός της μεθόδου με μεμβράνες

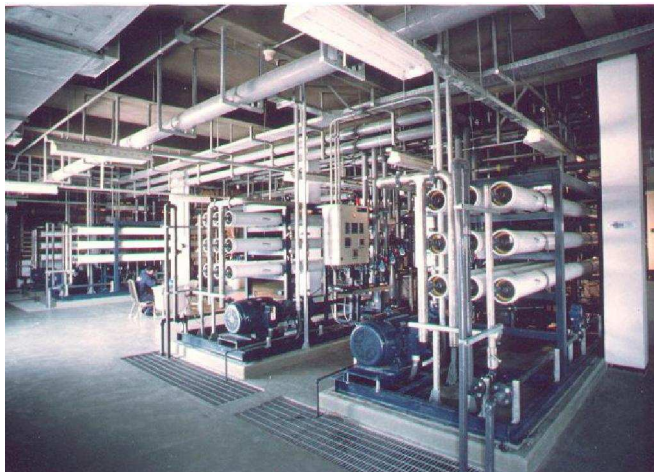
Οι μέθοδοι με μεμβράνες είναι:

1) Αντιστροφή όσμωση (ΑΩ) **-(Reverse Osmosis, RO)**: αποτελεί το 32,6% του παραγόμενου νερού με εγκαταστάσεις με παροχές μεγαλύτερες από 4000 m³ / d και το 19,5% για παροχές μεταξύ 100 και 4000 m³ / d

(α) χωρίς ανάκτηση ενέργειας

(β) με ανάκτηση ενέργειας (ΑΩ-ΑΕ)

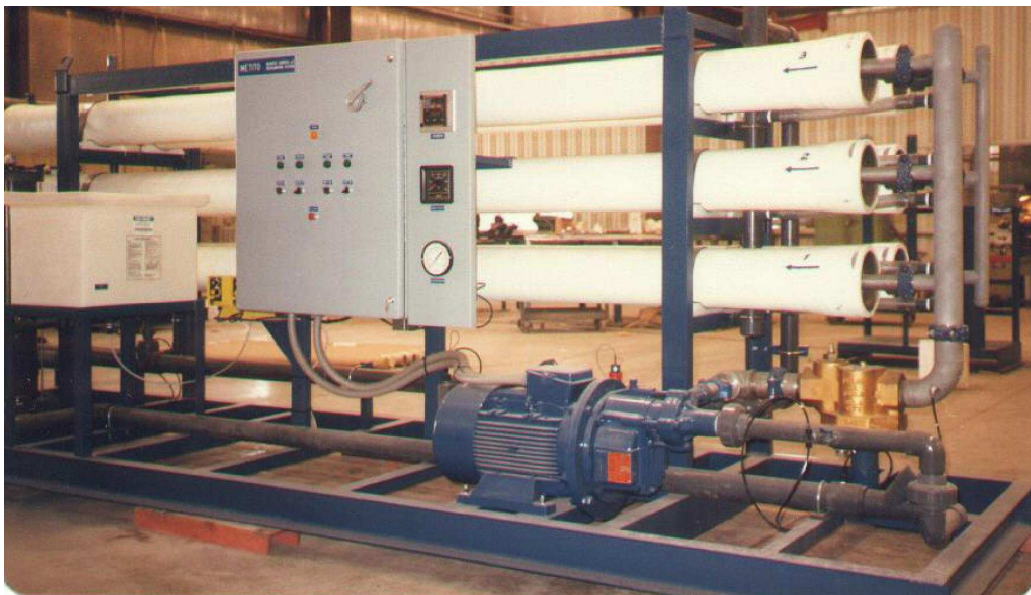
2. ⁵«Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001



Σχήμα 2.3.6 Εγκατάσταση αντίστροφης όσμωσης



Σχήμα 2.3.7 Μονάδα Αντίστροφης Οσμωσης Θαλασσινού Νερού, 1.5 κ.μ./ημ., ΚΑΠΕ



Σχήμα 2.3.8 Μονάδα Αντίστροφης Οσμωσης Υφάλμυρου Νερού, 400 κ.μ./ημ., Riyadh, K.S.A.

2) Ηλεκτροδιάλυση (ΗΔ) **-(Electrodialysis, ED/EDR)**: που αντιπροσωπεύει το 2,3 % του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού για εγκαταστάσεις με παροχές μεγαλύτερες από $4000 \text{ m}^3 / \text{d}$ και το 5,7% για παροχές μεταξύ $100 \text{ } 4000 \text{ m}^3 / \text{d}$.

Σχήμα 2.3.9 Εγκατάσταση ηλεκτροδιάλυσης



Εκτός από τις δύο κύριες κατηγορίες υπάρχουν και οι ακόλουθες μέθοδοι αφαλάτωσης:

Υβριδικές μέθοδοι: που είναι συνδυασμοί διάφορων μεθόδων με παράλληλη λειτουργία.

Οι μέθοδοι αυτές έχουν βρει μεμονωμένη εφαρμογή. *Ψύξη*: η μοναδική εγκατάσταση με την μέθοδο ψύξης που κατασκευάστηκε με το πρόγραμμα Soleras στο Yabu της Σαουδικής Αραβίας, έχει τεθεί εκτός λειτουργίας λόγω πολλών προβλημάτων λειτουργίας. Είχε χωρητικότητα 210 m³/d αφαλατωμένο νερό και τροφοδοτείτο με θαλάσσιο νερό. Η πηγή ενέργειας ήταν παραβολικά κάτοπτρα με εστίαση αιχμής.

Όλες οι μέθοδοι της αφαλάτωσης απαιτούν σημαντική ποσότητα ενέργειας για να πετύχουν τον διαχωρισμό αλάτων από το θαλάσσιο νερό. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα διότι η καύση μεγάλων ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων : πετρέλαιο, είδη ορυκτού άνθρακα, φυσικά καύσιμα αέρια μολύνει το περιβάλλον. Επίσης πρόβλημα αποτελεί και η εύρεση των μεγάλων ποσοτήτων των συμβατικών καυσίμων. Αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη και εξέλιξη τεχνικών αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ, οι οποίες έχουν μικρό κόστος και διατίθενται ελεύθερα και καθιστούν τις εγκαταστάσεις αυτοδύναμες. Παρά τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ η χρήση τους δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί τεχνολογικά σε βαθμό τέτοιο ώστε να είναι ανταγωνιστικές των συμβατικών πηγών ενέργειας.⁶

Αυτό οφείλεται κυρίως στην διάχυτη μορφή τους, δηλαδή στην αραιωμένη ποσότητα της ενέργειας που καθιστά την συμπύκνωση ή την συλλογή τους μια δαπανηρή επιχείρηση. Η ενέργεια δηλαδή θα πρέπει να συμπυκνωθεί και έπειτα να μετατραπεί σε μια εύχρηστη μορφή ενέργειας. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι η ασταθής και κυμαινόμενη ροή τους.

2.4 Εισαγωγή στις μεθόδους αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η τρέχουσα έρευνα στον τομέα των συστημάτων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επικεντρώνεται στην αξιολόγηση των δυνατοτήτων της αγοράς, την ανάπτυξη των εγκαταστάσεων και στην επίδειξη της βελτιωμένης διασύνδεσης μεταξύ Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αφαλάτωσης. Οι βιώσιμες πολιτικές διαχείρισης πόρων νερού είναι, ωστόσο, το μεγαλύτερο μέσο για την προώθηση της ανάπτυξης των συστημάτων αυτών.

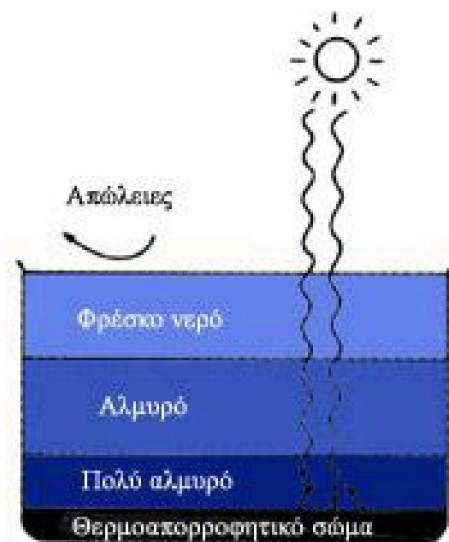
Έρευνα από την Ευρωπαϊκή Έπιτροπή, έδειξε μία σημαντική αγορά δυναμικού για την ανάπτυξη των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενεργειας στις Ανατολικές Μεσογειακές χώρες, όπως η Κύπρος, η Αίγυπτος, το Ισραήλ, το Λίβανο και

⁶ Ηλεκτρική Ενέργεια και Περιβάλλον Ο.Ε.Δ.Β. Τομέας Ηλεκτρολογικός, Αθήνα 2001

η Παλαιστίνη. Η ανάλυση των εποχιακών και χωρικών διακυμάνσεων της παροχής ύδατος και της ζήτησης δείχνει ότι τα προβλήματα έλλειψης νερού σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο υπάρχουν ή αναμένεται να εμφανιστούν στο εγγύς μέλλον. Μια παρόμοια ανάλυση στην Ελλάδα προσδιόρισε τα νησιά του Αιγαίου ως τις πιο άγονες περιοχές της χώρας.

Στις επόμενες δύο παραγράφους γίνεται μία σύντομη περιγραφή των δύο βασικότερων μεθόδων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: την ηλιακή και την αιολική. Εκτενέστερη ανάλυση ακολουθεί σε επόμενα κεφάλαια της εργασίας.

2.4.1 Ηλιακή αφαλάτωση



Σχήμα 2.4.1 Γενικός Μηχανισμός της ηλιακής αφαλάτωσης

Οι πρώτες προσπάθειες για ηλιακή αφαλάτωση ξεκίνησαν αρκετά νωρίς, ενώ το 1870 κατατέθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια. Εκεί περιγράφονταν οι βασικές αρχές της ηλιακής απόσταξης, δηλαδή το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η εξάτμιση και η συμπύκνωση υδρατμών, η χρήση μαύρης επιφάνειας για αύξηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας κ.λ.π. . Οι ίδιες αρχές εξακολουθούν να εφαρμόζονται μέχρι και σήμερα με την διαφορά ότι τα σύγχρονα συστήματα είναι εξοπλισμένα με συσκευές μέτρησης και ελέγχου.

Γενικά το σύστημα Ηλιακής αφαλάτωσης είναι το σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας την ηλιακή. Κλασικό παράδειγμα της ηλιακής αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται από τη φύση είναι η βροχή. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να

χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση του αλμυρού νερού, άμεσα είτε μετατρεπόμενη σε θερμική ενέργεια , είτε έμμεσα μετατρεπόμενη σε ηλεκτρική. Στην άμεση ηλιακή χρήση – δηλαδή τις μεθόδους ηλιακής απόσταξης- οι διεργασίες πραγματοποιούνται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως συνάγεται και από το όνομά τους, τα άμεσα συστήματα χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή πόσιμου νερού με μία μόνο συσκευή που ονομάζεται ηλιακός αποστακτήρας (Solar still) . Αυτός χρησιμοποιείται τόσο για την συλλογή της ενέργειας, όσο και για την παραγωγή πόσιμου νερού. Στην έμμεση ηλιακή χρήση, δηλαδή στις μεθόδους με μεμβράνες η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας και χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση του συστήματος αφαλάτωσης. Γι’ αυτό το λόγο απαιτούνται δύο ξεχωριστά υποσυστήματα, ένα για την συλλογή της ηλιακής ενέργειας και ένα για την παραγωγή πόσιμου νερού. Τα έμμεσα συστήματα χρησιμοποιούν συμβατικά συστήματα αφαλάτωσης με τη διαφορά ότι αντί της χρήσης μιας συμβατικής μορφής ενέργειας (ντίζελ ή ηλεκτρισμό), χρησιμοποιούν την ηλιακή ή και τις δύο.

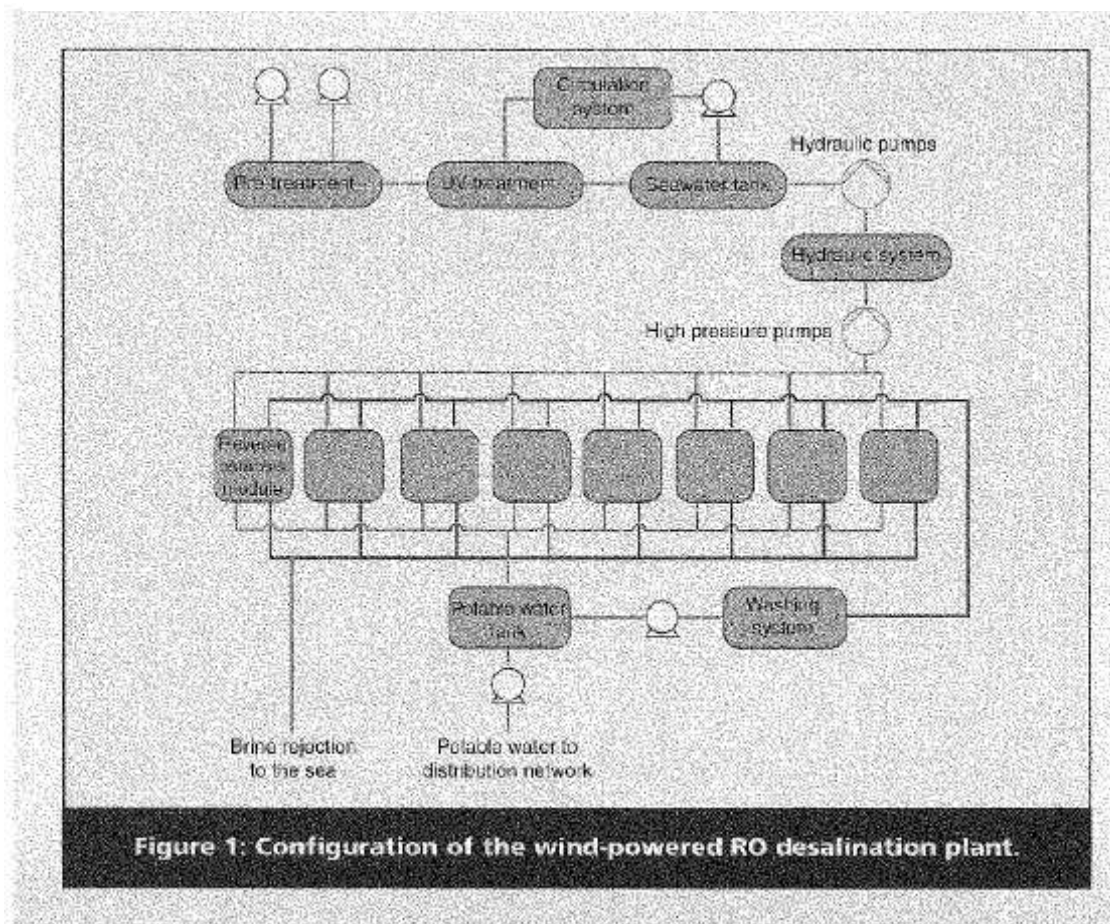
Οι συμβατικές μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ηλιακή ενέργεια είναι:

- 1) Πολυδιάστατοι αποστακτήρες άμεσων εξατμίσεων (ΠΑΕ)
- 2) Αποστακτήρες πολλαπλών διαβαθμίσεων (ΠΔ)
- 3) Αποστακτήρες με συμπίεση ατμού (ΣΑ)
- 4) Αντιστροφή όσμωση (ΑΩ)
- 5) Ηλεκτροδιάλυση (ΗΔ)⁷

3. ⁷ J. A. Eibling, S. G. Talbert , G.O.G. Lof, “Solar stills for community Use. Digest of technology” , Solar energy, Vol. 13 , p. 263-276,1971.

2.5 Αιολική Αφαλάτωση

Σχήμα 2.5.1 Γενικός Μηχανισμός της αιολικής αφαλάτωσης

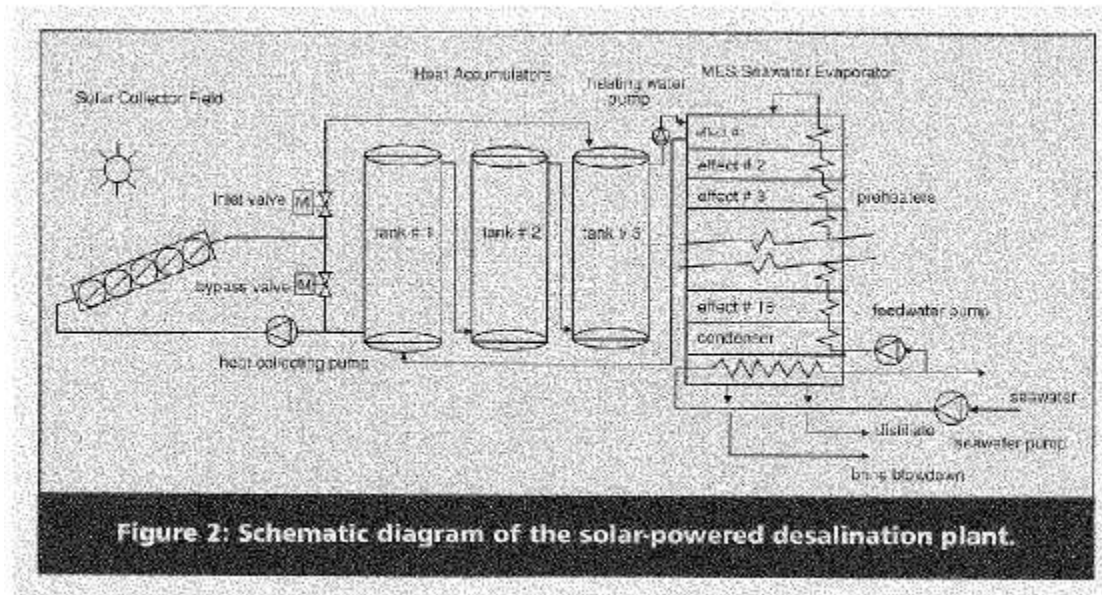


Η αφαλάτωση με αιολική ενέργεια είναι λιγότερο διαδεδομένη μέθοδος αφαλάτωσης η οποία έχει τεθεί σε εφαρμογή τα τελευταία χρόνια.

Το 1998, μια εγκατάσταση που χρησιμοποιούσε αιολική ενέργεια δημιουργήθηκε στη Σύρο, ένα νησί του Αιγαίου στην Ελλάδα, και εν μέρει χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ανεμογεννήτρια και το εργοστάσιο αντίστροφης όσμωσης έχουν εγκατασταθεί σε δύο διαφορετικές τοποθεσίες ορισμένες 1.5 km μακριά. Η ανεμογεννήτρια ήταν ανεγέρμενη στην κορυφή του λόφου για να πάρει την μέγιστη δύναμη του ανέμου και συνδέθηκε μέσω μίας γραμμής μεταφοράς μέσης τάσης προς την εγκατάσταση αντίστροφης όσμωσης που βρισκόταν στην ακτή. Η ισχύς από την ανεμογεννήτρια ήταν ρυθμισμένη σε ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας που περιελάμβανε ντίζελ γεννήτρια, μπαταρίες και μία γεννήτρια σφονδύλου. Η παραγωγή αυτή τροφοδοτεί την μονάδα και το ηλεκτρικό δίκτυο. Η μονάδα περιείχε οκτώ

παράλληλες ενότητες (Σχήμα 2.5.1), οι οποίες επέτρεπαν την ικανότητα του συστήματος να ποικίλλει από 60-900m³/day σύμφωνα με την διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Η μέγιστη κατανάλωση ισχύος ήταν 200 kW.

Η εγκατάσταση της Σύρου είναι μία από τις μεγαλύτερες μονάδες αντιστροφής όσμωσης με ανανεώσιμες πηγες ενέργειας (αιολική) που αποκαλύπτουν τις δυνατότητες των συστημάτων αυτών να στηρίζουν ολόκληρες κοινότητες.⁸



Σχήμα 2.5.2 Σχηματική απεικόνιση της αιολικής αφαλάτωσης

⁸ ΚΑΠΕ, 1998, Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας www.cres.gr

3ο ΜΕΡΟΣ:ΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗ

3.1 Αρχή λειτουργίας

Η ηλιακή απόσταξη νερού αποτελεί τον αρχαιότερο και απλούστερο τρόπο εφαρμογής και εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Είναι η πιο απλή και πιο φυσική, διότι κάνει χρήση των βασικών αρχών και διεργασιών που συμβαίνουν καθημερινά στο περιβάλλον.

Μία ποσότητα νερού που περιέχεται σε μία μαύρη επιφάνεια (basin) και που βρίσκεται εντός ενός θαλάμου (still) τελείως στεγανού, θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία πέφτει επάνω της, αφού πρώτα περάσει διαμέσου του διαφανούς καλύμματος του στεγανού θαλάμου (cover). Οι ατμοί που σχηματίζονται λόγω της εξάτμισης, ανέρχονται από την επιφάνεια του νερού και κατευθύνονται προς την εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος. Εκεί, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας συμπυκνώνονται σε αφαλατωμένο νερό, το οποίο λόγω της κλίσης του καλύμματος ρέει στα πλάγια και συλλέγεται σε συλλεκτικά αυλάκια (gutters).

3.2 Παραδείγματα ηλιακής απόσταξης σε παγκόσμια κλίμακα

Χιλή: Η πρώτη μεγάλη εγκατάσταση ηλιακής απόσταξης κατασκευάστηκε το 1872 από τον Σουηδό μηχανικό Carlos Wilson στο Las Salinas της Χιλής για να εφοδιαστούν οι ανθρακωρύχοι με πόσιμο νερό. Η έλλειψη πόσιμου νερού ήταν ιδιαίτερα έντονη σε ύψος 1.400 m και σε απόσταση 120 km από το λιμάνι Antofagasta. Υπήρχε νερό με περιεκτικότητα άλατος μόνο 14%. Έτσι κατασκευάστηκε ηλιακός αποστακτήρας με 60 δοχεία που το καθένα είχε διαστάσεις 1,20 m x 60 cm, με τον οποίο επιτεύχθηκε μέση απόδοση 22.500 λίτρων απεσταγμένου νερού την ημέρα. Σε επιφάνεια 1m αντιστοιχούσε μέση απόδοση 4,6 λίτρων. Η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια σε αυτό το υψόμετρο υπολογίστηκε σε 8.000 kcal ανα m² την ημέρα. Με αυτό τον τρόπο ο αποστακτήρας είχε βαθμό απόδοσης 35%. Ο αέρας είχε θερμοκρασία 60° C όταν ο ήλιος βρισκόταν στο ζενίθ, πράγμα που μείωνε την απόδοση.

Στο Coya Sur της Χιλής το 1951 κατασκευάστηκε μεγαλύτερη εγκατάσταση αποτελούμενη από 10 δοχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα επιφανείας 44.000 m². Σε αυτή την εγκατάσταση εξατμίζονται κατά μέσο όρο 236.000 λίτρα νερού την ημέρα για να

συμπυκνωθούν διαλύματα νιτρικού οξέως.⁹

Η πρόοδος στο πεδίο των ηλιακών αποστακτήρων συζητήθηκε τον Νοέμβριο του 1955 από 800 ειδικούς που ήρθαν από 35 χώρες στο συνέδριο ηλιακής ενέργειας στο Phoenix και Tucson της Πολιτείας Αριζόνα των ΗΠΑ. Παρουσιάστηκαν 8 σχέδια εγκαταστάσεων. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα σχέδια του R.P Lappala του ερευνητικού εργαστηρίου Bjorkston της Φιλανδίας καθώς και της καθηγήτριας Dr. Telkes από την Νέα Υόρκη.

Η καινοτομία του Lappala ήταν η κάλυψη των επιφανειών συμπύκνωσης του αποστακτήρα με λεπτό φύλλο από πολυμερισμένη πολυβινυλική αλκοόλη. Ο διαποτισμός της επιφάνειας επιτάχυνε την συμπύκνωση.

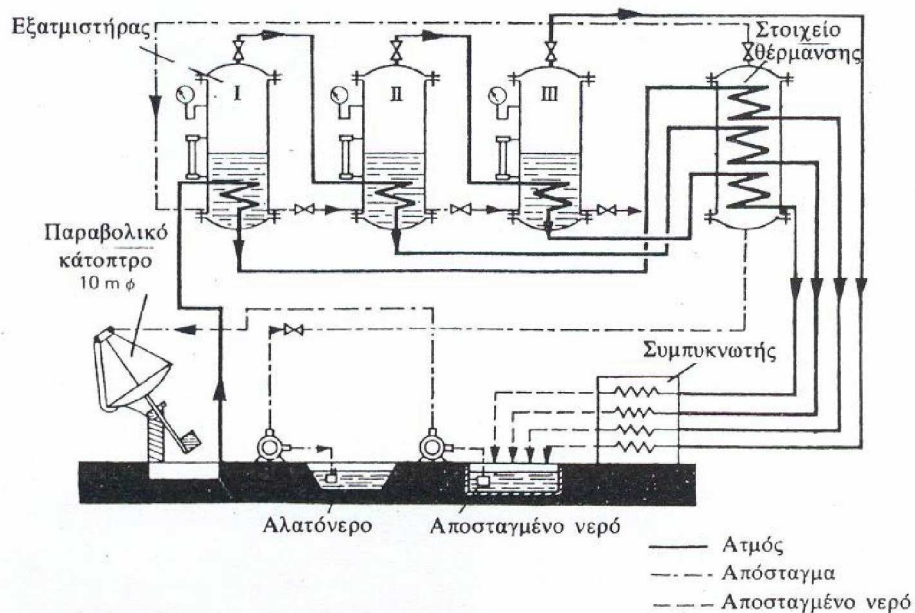
Αίγυπτος: Ο Theodor Ziem ανέπτυξε στην Αίγυπτο μια μέθοδο για την απόσταξη του νερού και άλλων υγρών χωρίς ανακλαστήρες και συλλέκτες. Λόγω της απλότητας της βρήκε σύντομα οπαδούς. Η αρχή λειτουργίας ήταν η ακόλουθη:

Το προς απόσταξη διάλυμα έμπαινε μέσα σε Η. Α σχήματος κιβωτίου. Η βάση και τα τοιχώματα του Η. Α ήταν καλά μονωμένα, και το κάλυμμα ήταν από τζάμι που είχε αυλακώσεις και ήταν τοποθετημένο με κλίση ως προς το επίπεδο του πυθμένα. Η ηλιακή ακτινοβολία θέρμαινε το εσωτερικό του αποστακτήρα σε τέτοιο βαθμό ώστε να παράγονται ατμοί. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία ήταν μικρότερη της εσωτερικής τότε οι παραγόμενοι ατμοί συμπυκνώνονταν πάνω στο γυάλινο κάλυμμα. Έτσι το πρόβλημα της ξηρασίας της ερήμου ο Ziem το έλυσε με τον εξής τρόπο: Μέσα στον αποστακτήρα έβαλε ένα πολύ υγροσκοπικό αλάτι (χλωριούχο ασβέστιο). Το βράδυ αφαιρούσε το κάλυμμα και το υγροσκοπικό αλάτι απορροφούσε την ατμοσφαιρική υγρασία σχηματίζοντας με αυτήν διάλυμα. Την ημέρα τοποθετούσε το κάλυμμα και ο ήλιος απόσταζε το νερό του διαλύματος, ξεραίνοντας και πάλι το αλάτι.

ΗΠΑ: Στις ΗΠΑ ο William Rhodes τροποποίησε τον Η.Α της καθηγήτριας Maria Telkes. Το δοχείο συμπύκνωσης που μοιάζει με θερμοκήπιο σκεπασμένο με γυαλί , το κατασκεύασε από ανοξείδωτο χάλυβα για να είναι στεγανό. Στο δοχείο αποθήκευσης υπάρχει αγωγός από νεοπρένιο. Η εγκατάσταση ήταν ακριβότερη από μια με ξύλινα δοχεία άλλα ήταν πιο αξιόπιστη και φθηνότερη από τις συμβατικές συσκευές απόσταξης.

⁹ E. D. Howe, B. W. Tleimat, “Twenty years of work on solar distillation at the University of California”, Solar energy, Vol.16, p.97-105, 1974.

Σοβιετική Ένωση: Στην Σοβιετική Ένωση πάνω από ένα εκατομμύριο τετραγωνικά χιλιόμετρα είναι άγονα. Για την άρδευση αυτών των περιοχών πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια. Ο καθηγητής baum στην Τασκένδη κατασκεύασε παραβολοειδείς ανακλαστήρες που χρησιμοποιούνται για αφαλάτωση του νερού με απόσταξη, ή με ψύξη και παγοποίηση. Οι αποστακτήρες του καθηγητή Baum βασίζονται στην αρχή της επανάκτησης της λανθάνουσας θερμότητας. Ο ατμός που παράγεται με την ηλιακή ενέργεια, αντί να συμπυκνωθεί στα τζάμια των παραθύρων διοχετεύεται σε εναλλάκτη θερμότητας που ψύχεται με υφάλμυρο νερό. Κατά την συμπύκνωση ο ατμός αποδίδει τις « θερμίδες εξάτμισης» του και ζεσταίνει το νερό που διαρρέει τον εναλλάκτη. Ο ατμός που παράγεται στην βαθμίδα αυτή, συμπυκνώνεται σε άλλον εναλλάκτη που αποτελεί την επόμενη βαθμίδα. Στο Σχήμα 3.2.1 παρατηρούμε μια τέτοια εγκατάσταση 3 βαθμίδων.



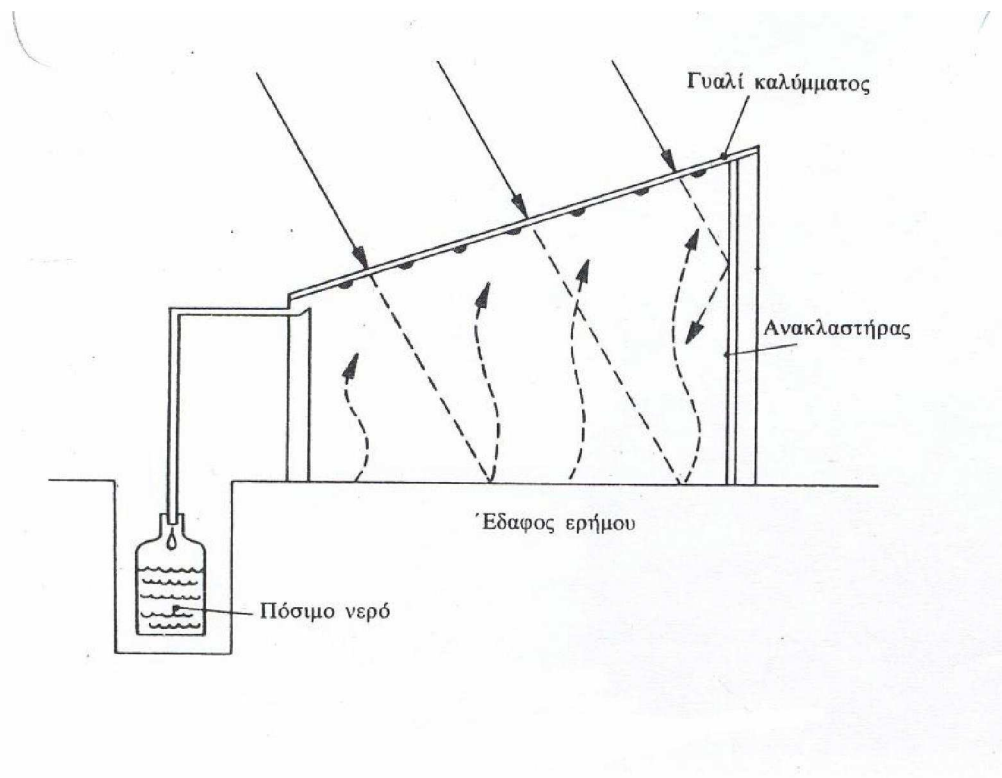
Σχήμα 3.2.1 Εγκατάσταση αφαλάτωσης 3 βαθμίδων

Γαλλία: Μια σημαντική εγκατάσταση απόσταξης κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που κατασκευάστηκε στην Γαλλία σε βιομηχανική κλίμακα λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο:

Μια μεγάλη λεκάνη στεγανοποιημένη ως προς το περιβάλλον, περιέχει το προς απόσταξη νερό και έχει σαν βάση ένα μεταλλικό πλαίσιο με υαλοπίνακα. Με την επίδραση των ηλιακών ακτινών το νερό εξατμίζεται σιγά-σιγά και έπειτα συμπυκνώνεται

στους υαλοπίνακες που παραμένουν περίπου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το αποσταγμένο νερό τρέχει στα τζάμια που είναι υπό κλίση και συγκεντρώνεται σε μια εκροή που βρίσκεται πάνω από κάθε τζάμι. Για την μεταφορά του το πλαίσιο λύνεται σε τέσσερα μέρη. Τα τζάμια είναι στεγανά. Υπάρχει ένα εξωτερικό αυλάκι για την συλλογή του απεσταγμένου νερού από τις διάφορες εκροές καθώς και μία διάταξη για το γέμισμα και άδειασμα της λεκάνης που χρησιμεύει και σαν υπερχειλίση. Το αποσταγμένο νερό με αυτή την συσκευή ήταν απόλυτα απαλλαγμένο από άλατα.¹⁰

Αποστακτήρας του Kobayashi:



Σχήμα 3.2.2 Ηλιακός αποστακτήρας του Kobayashi

¹⁰ E.Sartori, “ Solar still versus solar evaporator: A comparative study between their thermal behaviours”, Solar energy, Vol 56, p.199-206, 1996

Ο διευθυντής Kobayashi του Ιαπωνικού Ινστιτούτου Ηλεκτρικών Ερευνών στο Kawasaki πρότεινε την παρακάτω διάταξη:

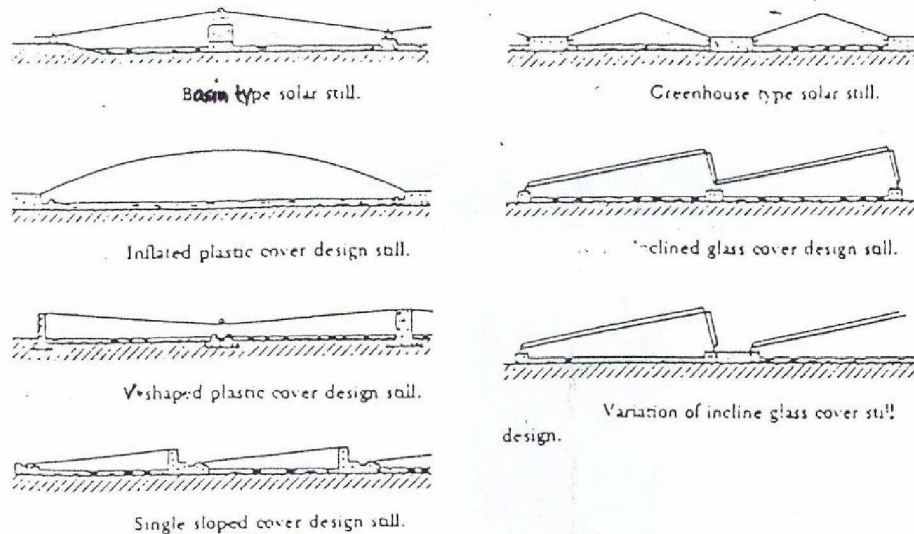
Ο αποστακτήρας στηρίζεται σε οριζόντιο έδαφος στο οποίο ανοίγεται μια οπή. Η ηλιακή ενέργεια εξατμίζει την υγρασία του χώματος η οποία συμπυκνώνεται στο γυάλινο κάλυμμα και συγκεντρώνεται σε ειδικό δοχείο. Η αναπλήρωση της εξατμισμένης υγρασίας στο χώμα γίνεται με τον μηχανισμό της τριχοειδούς αναρρίχησης, χάρη στα υπόγεια νερά τα οποία πρακτικά βρίσκονται παντού. Η απόδοση της συσκευής δεν είναι μεγάλη αλλά φτάνει για να ικανοποιήσει τις ανάγκες ενός ατόμου στην έρημο. Και την νύχτα μπορεί να συγκεντρωθεί νερό από το έδαφος με την βοήθεια του καλύμματος του αποστακτήρα που την ημέρα πρέπει να βρίσκεται κάθετα προς την ηλιακή ακτινοβολία, επειδή το έδαφος διαθέτει ακόμα πολλή θερμότητα.

3.3 Ηλιακοί αποστακτήρες

Γενικά οι ηλιακοί αποστακτήρες παραγωγής πόσιμου νερού λειτουργούν φθηνότερα από τα υπόλοιπα συστήματα λόγω του ότι δεν απαιτούν χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλιακοί αποστακτήρες ποικίλουν σε πλάτος από 1m έως 3m κι έχουν μήκος 50m. Βέβαια υπάρχουν περιορισμοί στην χρήση των αποστακτήρων όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ καθώς και μειωμένη ηλιοφάνεια. Μειονέκτημα επίσης αποτελεί η απαίτηση για μεγάλες επιφάνειες και μικρές τιμές απολαβής. Οι εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κεφαλαίου εγκατάστασης (capital cost). Από την στιγμή που θα αποσβεστεί η επένδυση, η εγκατάσταση θα λειτουργεί με σταθερό ρυθμό για πολλά χρόνια με μηδαμινά έξοδα λειτουργίας (operation costs) επειδή το κόστος της παρεχόμενης ηλιακής ενέργειας είναι μηδέν και δεν απαιτούνται άλλες μορφές μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα λειτουργικά έξοδα των αποστακτήρων είναι κυρίως έξοδα συντήρησης και άλλα απρόβλεπτα από φθορές ή βλάβες, κυρίως των αντλιών.

Διάφοροι τύποι αποστακτήρων έχουν κατασκευαστεί με παραλλαγές στην γεωμετρία, τα υλικά κατασκευής και στις μεθόδους κατασκευής και λειτουργίας που έχουν βρει εφαρμογές κάτω από ειδικές περιπτώσεις λειτουργίας. Στόχος είναι η αύξηση του βαθμού απόδοσης ανάλογα με την συγκεκριμένη εφαρμογή. Μερικοί από αυτούς είναι ο φορητός φουσκωτός τύπος, ο τύπος με ημισφαιρικό πλαστικό κάλυμμα , ο κυκλικός τύπος και ο τύπος εδάφους που

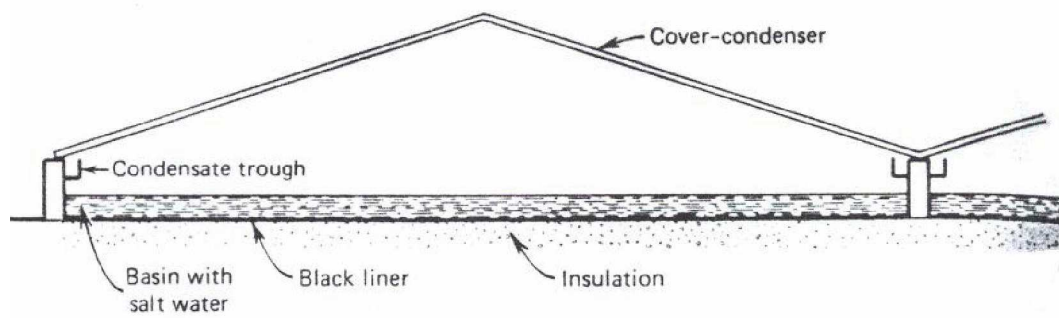
χρησιμοποιεί την υγρασία του εδάφους. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τους κυριότερους τύπους αποστακτήρων που έχουν χρησιμοποιηθεί πειραματικά τα τελευταία χρόνια.¹¹



Σχήμα 3.3.1 Διάφορα σχέδια πειραματικών ηλιακών αποστακτήρων

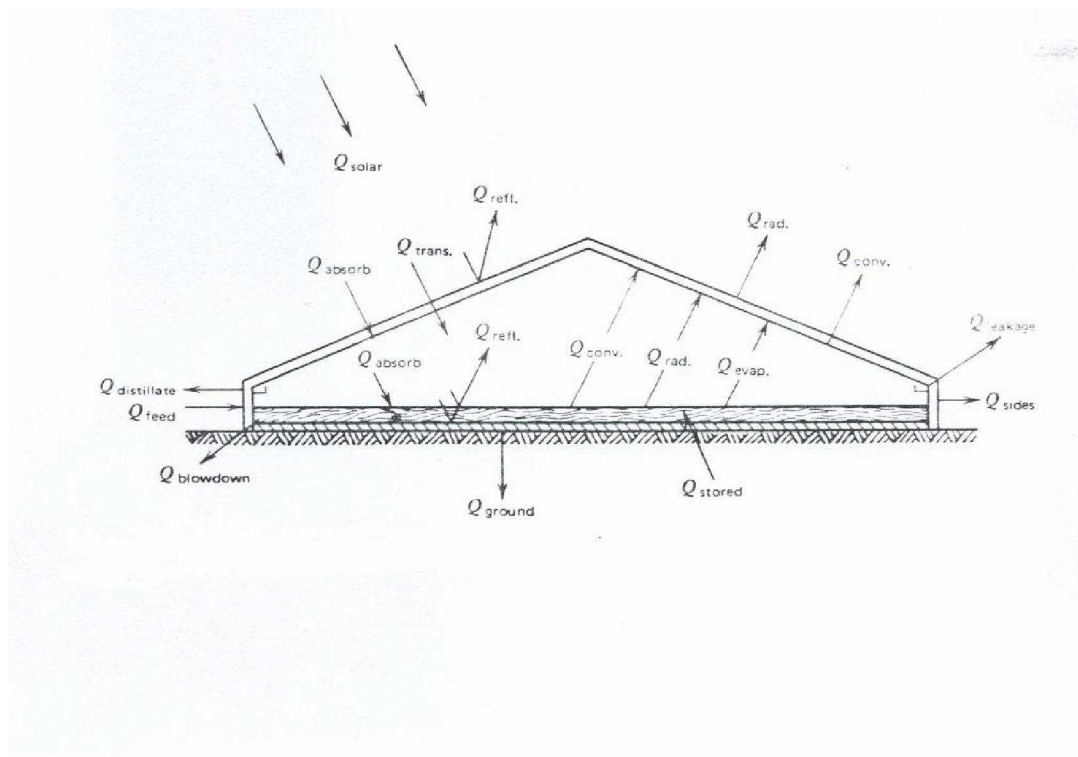
Παρά τις διάφορες παραλλαγές των αποστακτήρων η περισσότερο χρησιμοποιούμενη διάταξη είναι αυτή του αποστακτήρα τύπου λεκάνης-οροφής (basin type).

¹¹ G.N Tiwaris, H.N. Singh, Ragesh Tripathi, “ Present status of solar distillation”, Solar energy, 75, (2003), p.367-373.



Σχήμα 3.3.2 Ηλιακός αποστακτήρας τύπου λεκάνης οροφής

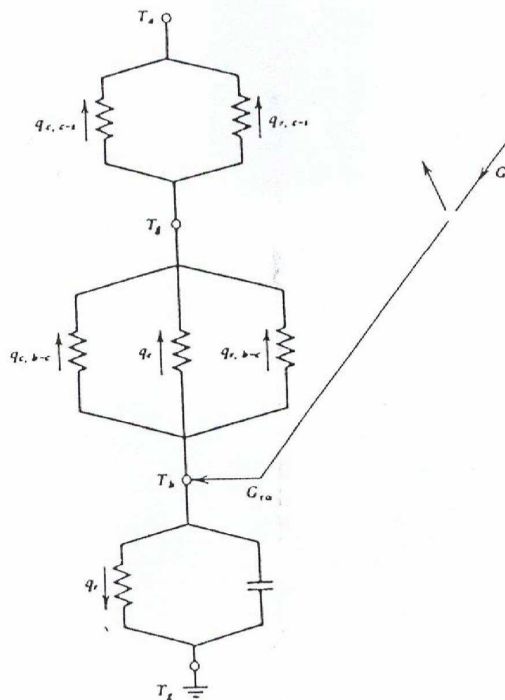
Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η ροή ενέργειας από και προς τον ηλιακό αποστακτήρα.



Σχήμα 3.3.3 Ο μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας σε αποστακτήρα τύπου λεκάνης οροφής (Talbert et al 1970)

Σκοπός του σχεδιασμού ενός αποστακτήρα είναι η αύξηση του Q_{evap} , δηλαδή η μεταφορά της απορροφημένης από τους υδρατμούς ηλιακής ακτινοβολίας προς το κάλυμμα- συμπτυκνωτή, καθώς αυτή είναι ευθέως ανάλογη με την παραγωγικότητα του αποστακτήρα. Όλη η άλλη μεταφορά ενέργειας από τη λεκάνη στο περιβάλλον θα πρέπει να εξαλείφεται. Το θερμικό δίκτυο για έναν αποστακτήρα τύπου λεκάνης είναι το εξής: Η μεταφορά ενέργειας από την λεκάνη στο κάλυμμα γίνεται με την εξάτμιση- συμπίκνωση σε συνδυασμό με την συναγωγή και την ακτινοβολία. Οι διαφυγές από το πίσω μέρος του αποστακτήρα είναι προς το έδαφος. Το βάθος του νερού στον αποστακτήρα είναι συνήθως τέτοιο που η απόδοση του να υπολογίζεται. Η απόδοση του αποστακτήρα μετριέται με την διαφορά εξάτμισης- συμπίκνωσης από την λεκάνη προς το κάλυμμα. Ένα θερμικό δίκτυο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Παράγοντες για διαρροές, διαφυγές από τα άκρα, είσοδο του νερού τροφοδοσίας και διαφυγές άλμης η προϊόντος δεν σημειώνονται.¹²

Σχήμα 3.3.4 Βασικό θερμικό δίκτυο σε αποστακτήρα τύπου λεκάνης



¹² J. W. Bloemer, J. A. Eibling, I.R. Irwin, G.O.G. Lof, "A practical basin-type solar still", Solar energy, Vol. 9, No4, p.197-200.

Πίνακας 3.3.1 Μεγάλοι ηλιακοί αποστακτήρες τύπου λεκάνης

Country	Location	Date Built	Basin Size	Cover ^a	Purpose ^b
Australia ^c	Muresk I ^d	1963	4,000 ft ²	G	WS
	Muresk II ^d	1966	4,000 ft ²	G	WS
	Muresk IV	1971	2,513 ft ²	G	WS
	Muresk Mk VI	1973	1,960 ft ²	G	WS
	Cooper Pedy ^d	1966	34,000 ft ²	G	WS
	Cooper Pedy Mk VI ^d	1972	4,900 ft ²	G	WS
	Caiguna ^d	1966	4,000 ft ²	G	WS
	Caiguna Mk VII ^e	1972	400 ft ²	G	WS
	Hamelin Pool ^d	1966	6,000 ft ²	G	WS
	Griffith ^d	1967	4,450 ft ²	G	E
	Griffith Mk VI ^d	1970	2,513 ft ²	G	E
	Griffith Mk VII	1972	1,504 ft ²	G	E
	Townsville	1971	2,513 ft ²	G	E
	Darwin Mk VI	1972	980 ft ²	G	WS
	Mt. Derrimut Mk VI	1972	490 ft ²	G	WS
Cape Verde Islands	Santa Maria do Sal ^d	1965	8,000 ft ²	P	WS
Chile	Las Salinas ^d	~1872	48,000 ft ²	G	WS
	Quillagua	1968	1,076 ft ²	G	
Greece	Symi ^d	1964	28,920 ft ²	P	E,WS
	Symi II ^d	1968	27,924 ft ²	P	WS
	Aegina ^d	1965	16,040 ft ²	P	E,WS
	Aegina II ^d	1968	15,766 ft ²	P	WS
	Salamis ^d	1965	4,180 ft ²	P	E,WS
	Patmos	1967	93,000 ft ²	G	WS
	Kimolos	1967	27,000 ft ²	G	WS
	Nisyros	1969	22,000 ft ²	G	WS
	Fiskardo	1971	23,628 ft ²	G	WS
	Kionion	1971	25,776 ft ²	G	WS
	Megisti	1973	27,150 ft ²	G	WS
India	Bhavnagar	1965	4,050 ft ²	G	E
Mexico	Natividad Island,	1969	1,024 ft ²	G	WS
	Baja California				
Pakistan	Gwadar I	1969	3,286 ft ²	G	WS
	Gwadar II	1972	97,433 ft ²	G	WS
Spain	Las Marinas ^d	1966	9,350 ft ²	G	WS
Tunisia	Chakmou	1967	4,730 ft ²	G	WS
	Mahdia	1968	14,000 ft ²	G	WS
USA	Daytona Beach, Florida				
	Original Deep Basin ^d	1959	2,450 ft ²	G	E
	Second Deep Basin ^d	1961	2,650 ft ²	G	E
	Large Inflated Plastic ^d	1959	2,330 ft ²	P	E
	Church World Service ^d	1963	1,600 ft ²	P	E
USSR	Bakharden, Turkmenia ^d	1969	6,450 ft ²	G	E,WS
	Bukhara region, Uzbek SSR ^f	1975	5425 ft ²	G	E
West Indies	Petit St. Vincent	1967	18,400 ft ²	P	WS
	Haiti	1969	2,400 ft ²	G	WS

^a G = glass, P = plastic.

^b E = experimental, WS = water supply.

^c Australia stills of Mk VI and Mk VII types constructed with bottom insulation under part or all of stills.

^d No longer operating.

^e Waste heat also supplied.

^f Multiple-ledge tilted type.

Σκοπός του σχεδιασμού ενός ηλιακού αποστακτήρα είναι η μεγιστοποίηση του q_e , που είναι ανάλογο της διαφοράς πίεσης ατμών ανάμεσα στην λεκάνη και το κάλυμμα. Άρα θα πρέπει στην λεκάνη να έχουμε όσο το δυνατόν υψηλότερη θερμοκρασία, η οποία θα αυξήσει το λόγο μεταφοράς της θερμότητας από εξάτμιση- συμπίκνωσης προς αυτή λόγω της διάδοσης και ακτινοβολίας. Οι ρηχές λεκάνες με μικρή θερμοχωρητικότητα θα αυξήσουν γρήγορα την θερμότητα τους από τις βαθιές λεκάνες και θα λειτουργούν σε πιο ψηλές θερμοκρασίες.

Κατά τον σχεδιασμό όμως του αποστακτήρα προκύπτουν διάφορα προβλήματα που τον καθιστούν δαπανηρό και μειώνουν την απόδοσή του. Κρύσταλλοι αλατιού συσσωρεύονται στις λεκάνες και αναπτύσσονται διάφοροι μικροοργανισμοί. Οι διαρροές επίσης δημιουργούν διάφορα προβλήματα όπως διαφυγή του αποστάγματος πάλι πίσω στην λεκάνη, διαφυγή του αλμυρού νερού από το δοχείο και διαφυγή του υγρού αέρα από διάφορα ανοίγματα. Ο σχεδιασμός κινείται κυρίως προς δύο κατευθύνσεις: Α) αποστακτήρες με βαθιές λεκάνες που καταλαμβάνουν μεγάλη περιοχή, κατασκευάζονται με καθορισμένες τεχνικές, είναι ανθεκτικοί και φτηνοί Β) Οι αποστακτήρες με ρηχές λεκάνες οι οποίοι έχουν χαμηλότερη θερμοχωρητικότητα, παράγουν περισσότερο νερό αλλά είναι πιο ακριβοί στην κατασκευή.

3.4 Τμήματα των συστημάτων ηλιακής απόσταξης

Τα συστήματα ηλιακής απόσταξης μπορούν να κατασκευαστούν με πολλούς τρόπους. Στόχος είναι η αξιολόγηση και η προσαρμογή διαφόρων υλικών για την χρήση τους στην κατασκευή αποστακτηρίων. Έτσι χωρίζουμε το ηλιακό αποστακτήριο σε τμήματα, εξετάζοντας τα διάφορα υλικά κατασκευής τους σε σχέση με τις απαιτήσεις της λειτουργίας που εκτελεί το κάθε τμήμα μέσα στην μονάδα:

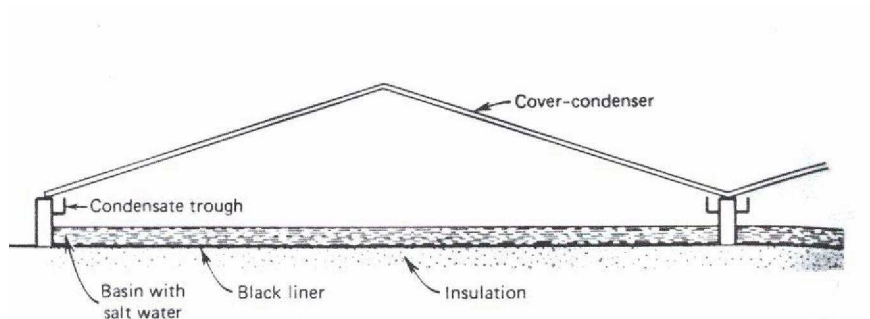
1. Γενικά χαρακτηριστικά των ηλιακών αποστακτηρίων
2. Διαφανές κάλυμμα
3. Διάταξη εξάτμισης
4. Πλαίσιο του ηλιακού αποστακτηρίου
5. Υλικά στεγανοποίησης
6. Μονώσεις
7. Βοηθητικά εξαρτήματα(σωληνώσεις, αντλίες και δεξαμενές αποθήκευσης)¹³

¹³ J. A. Eibling, S. G. Talbert , G.O.G. Lof, “Solar stills for community Use. Digest of technology” , Solar energy, Vol. 13 , p. 263-276,1971

3.5 Τύποι ηλιακών αποστακτήρων

3.5.1 Ηλιακός αποστακτήρας μιας βαθμίδας (single-effect)

Είναι η απλούστερη μονάδα ηλιακής απόσταξης. Αποτελείται από μία δεξαμενή βαμμένη με μαύρο χρώμα ή επικαλυμμένη με υλικό μαύρου χρώματος, η οποία περιέχει το νερό προς αφαλάτωση. Η δεξαμενή καλύπτεται στο πάνω μέρος της από διαφανές κάλυμμα υπό κλίση, συνήθως γυαλί ή πλαστικό, μέσω του οποίου μπορεί να περνάει η ηλιακή ακτινοβολία.¹⁴



Σχήμα 3.5.1.1 Ηλιακός αποστακτήρας μιας βαθμίδας

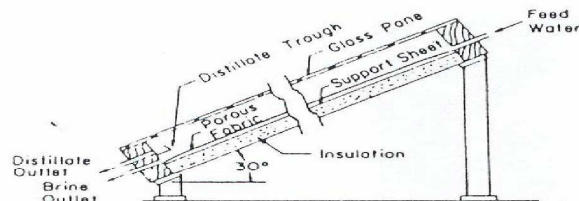
¹⁴ Hanson, W. Zachritz, K. Stevens, L. Mimbela, R. Polka, L. Cisneros,
“Distillate water quality of a single basin solar still: Laboratory and field studies”,
Solar energy, Vol 76, p.635-645, 2004.

3.5.2 Πολυβάθμιος ηλιακός αποστακτήρας(multi-effect

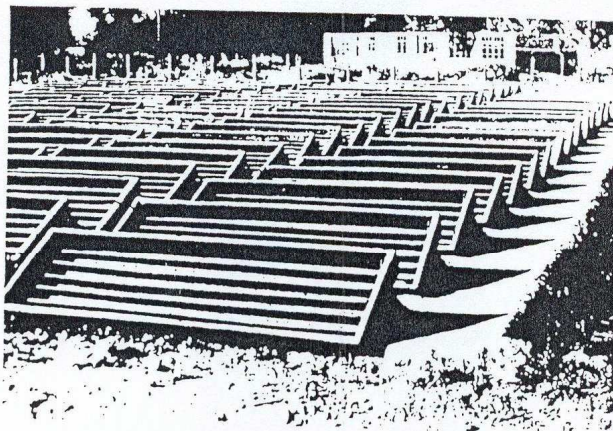
Οι πολυβάθμιες μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης σχεδιάστηκαν για την αύξηση του βαθμού απόδοσης. Αυτό γίνεται λόγω του ότι μία τέτοια μονάδα παράγει μεγαλύτερη ποσότητα αφαλατωμένου νερού για δεδομένη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση της λανθάνουσας θερμότητας που απελευθερώνεται από τους υδρατμούς που συμπυκνώνονται στο εσωτερικό μέρος του καλύμματος, στην κάτω βαθμίδα της πολυβάθμιας εγκατάστασης. Η θερμότητα αυτή θερμαίνει το αλμυρό νερό της αμέσως επόμενης βαθμίδας προς τα επάνω, σε χαμηλότερη όμως θερμοκρασία.

3.5.3 Κεκλιμένοι αποστακτήρες

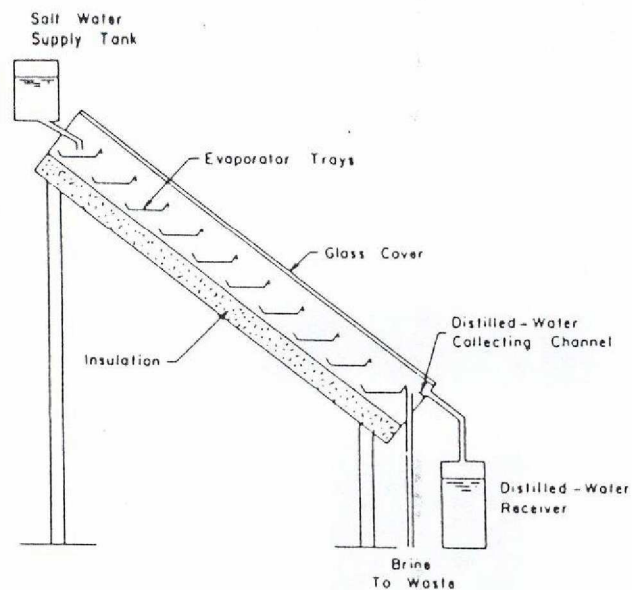
Το μειονέκτημα των απλών μονάδων ηλιακής απόσταξης είναι ότι η οριζόντια επιφάνεια του νερού δέχεται λιγότερη ακτινοβολία από το να ήταν κεκλιμένη, (εκτός αν η μονάδα βρίσκεται κοντά στον ισημερινό). Με αυτό το σκεπτικό έχουν κατασκευαστεί διάφοροι τύποι ηλιακών αφαλατωτών με κεκλιμένη την επιφάνεια του νερού. Το πρόβλημα είναι η διατήρηση μίας όσο το δυνατόν κεκλιμένης επιφάνειας του νερού, δηλαδή η αύξηση της ακτινοβολίας που δέχεται το νερό λόγω κλίσης. Η διατήρηση αυτής της κλίσης του νερού μπορεί να προσομοιωθεί με την χρήση κατάλληλου πορώδους υλικού (wick) , το οποίο απορροφά το αλμυρό νερό. Το υλικό αυτό προσαρμόζεται σε πλαίσιο, το οποίο διατηρείται σε κλίση. Το αλμυρό νερό αφήνεται να ρέει αργά από την πάνω πλευρά του πορώδους υλικού με ελεγχόμενο ρυθμό και καθώς κατεβαίνει προς τα κάτω το διαβρέχει. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί εξάτμιση του νερού και οι υδρατμοί συμπυκνώνονται στο διαφανές κάλυμμα, το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω από το πορώδες υλικό.



Σχήμα 3.5.3.1 Σχηματική αντιπροσωπευτική τομή κεκλιμένου αποστακτήρα με ύφασμα



Σχήμα 3.5.3.2 Κεκλιμένος ηλιακός αποστακτήρας με πολλαπλά ράφια Ε.Ε.Σ.Δ



Σχήμα 3.5.3.3 Σχηματική αντιπροσωπευτική τομή κεκλιμένου αποστακτήρα με πολλαπλά Πάφια

Όλες οι μονάδες ηλιακής απόσταξης απαιτούν την παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας για την λειτουργία τους. Θα πρέπει όμως να μπορούν να παράγουν κάποιες ποσότητες αφαλατωμένου νερού και την νύχτα ή σε περιόδους με συννεφιά. Η λειτουργία και ο σχεδιασμός τους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η αρχική θερμοκρασία του νερού, η πτώση της θερμοκρασίας του και το βάθος του νερού. Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού επιτυγχάνεται με αύξηση της θερμοχωρητικότητας της συσκευής, είτε με ρύθμιση του πάχους του προς αφαλάτωση νερού ή/ και με ξεχωριστή αποθήκευση θερμότητας.

3.6 Παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία και την απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων

Βασικό μειονέκτημα των ηλιακών αποστακτήρων αποτελεί η σχετική χαμηλή απολαβή η οποία κυμαίνεται περίπου από 2 έως 4,5 l/m² απορροφητικής επιφάνειας την ημέρα. Για την εύρεση τρόπων βελτιστοποίησης και αύξηση του βαθμού απόδοσης των εγκαταστάσεων, είναι απαραίτητη η γνώση των παραγόντων που επηρεάζουν την λειτουργία τους. Έχει αποδειχθεί ότι οι παράγοντες αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- *Κλιματολογικές παράμετροι:*

A) *Ηλιακή ακτινοβολία:* η ηλιακή ακτινοβολία παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην αύξηση της απολαβής του αποστακτήρα. Η ένταση και η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζουν άμεσα την απολαβή του αποστακτήρα

B) *Θερμοκρασία του περιβάλλοντος:* Η επίδρασή της στην απολαβή δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η αυξανόμενη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ευνοεί την αφαλάτωση, αυξάνοντας την απόδοση του αποστακτήρα.

Γ) *Ταχύτητα του αέρα:* Οι απόψεις διίστανται για την επίδρασή της στην απολαβή του αφαλατωτή. Ορισμένα πειράματα έδειξαν ότι η αύξηση της ταχύτητας του αέρα αυξάνει την απολαβή του αποστακτήρα για σταθερή θερμοκρασία νερού. Άλλα πειράματα έδειξαν ότι η αύξηση της ταχύτητας του αέρα μειώνει ελαφρά την απολαβή.

- *Επίδραση διαφόρων κατασκευαστικών και άλλων παραμέτρων στην απολαβή του ηλιακού αποστακτήρα και τεχνικές αύξησης της απολαβής:*

1) Η προσθήκη βαφών, διαλυτών στο νερό, διαφόρων χρωμάτων στο προς αφαλάτωση νερό, οδηγεί σε περαιτέρω απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την μάζα του νερού. Η τεχνική αυτή δοκιμάστηκε με μαύρη, κόκκινη, και σκούρα πράσινη βαφή. Παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη της μαύρης βαφής αυξάνει την απολαβή κατά 29%, το μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τις άλλες βαφές.

2) Η εύρεση βέλτιστου στην κλίση του καλύμματος. Έχει βρεθεί ότι υπάρχει ένα βέλτιστο στην κλίση του καλύμματος σχετικά με την παραγωγή νερού, το οποίο είναι μεταξύ 10 και 25 μοιρών για τις εύκρατες περιοχές. Το βέλτιστο εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες. Η χρήση διπλού

καλύμματος έδειξε ότι μειώνει την απόδοση του αφαλατωτή κατά 25-30% και επίσης αυξάνει και το κόστος του αφαλατωτή.

3) Η ροή του αλμυρού νερού τροφοδότησης στον αφαλατωτή επηρεάζει σε κάποιο βαθμό την απολαβή. Για μια ορισμένη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας, η απολαβή αυξάνει με μείωση της ροής.

4) Η συγκέντρωση των αλάτων στο αλμυρό νερό επιδρά αρνητικά στην απόδοση και οδηγεί και σε σύντομη φθορά του αποστακτήρα.

5) Για την αύξηση της απολαβής τα πρωινά και τις μέρες με συννεφιά γίνεται τοποθέτηση μαύρων απορροφητικών κομματιών στο αλμυρό νερό.

6) Η απολαβή αυξάνεται όταν μειωθεί η επιφάνεια μεταξύ της δεξαμενής και της επιφάνειας όπου γίνεται η συμπύκνωση των υδρατμών.

7) Το βάθος του αλμυρού νερού έχει ασήμαντη επίδραση επί της απολαβής του αποστακτήρα όταν αυτός είναι καλά μονωμένος, ενώ όταν δεν υπάρχει μόνωση επιδρά έντονα και ιδιαίτερα σε μικρότερα πάχη. 8) Το υλικό του καλύμματος επηρεάζει την απολαβή. Τα υλικά είναι γυαλί και πλαστικό. Το γυαλί είναι το συνηθέστερο υλικό. Συνήθως το γυαλί μετά από κατάλληλες κατεργασίες αυξάνει την απολαβή, αλλά και ορισμένοι τύποι πλαστικών οδηγούν σε αυξημένη απολαβή. Το ερώτημα για την χρήση γυάλινων ή πλαστικών καλυμμάτων παραμένει αναπάντητο. Αρκετές έρευνες έχουν γίνει σχετικά με το υλικό του καλύμματος. Σε μια μελέτη στο Los Angeles ο H.R. Hay παρατηρεί ότι στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις απόσταξης προτιμάται το πλαστικό κάλυμμα γιατί αποδίδει περισσότερο. Το Office of Saline Water (Υποδιεύθυνση του Υπουργείου Εσωτερικών των ΗΠΑ) προτείνει εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με πλαστικό διότι αντέχουν καλύτερα σε σφοδρές κακοκαιρίες. Το πλαστικό είναι πιο εύκαμπτο και λιγότερο εύθραυστο από το γυαλί. Το Batelle Memorial Institute επισημαίνει ότι τα πλαστικά καλύμματα έχουν το μειονέκτημα ότι έλκουν την σκόνη λόγω των ηλεκτροστατικών ιδιοτήτων τους. Αυτό επιβάλλει τακτικότερο πλύσιμο των πλαστικών καλυμμάτων σε σχέση με τα γυαλίνα.

9) Με διάφορες τεχνικές προώθησης φυσαλίδων ξηρού αέρα στην μάζα του αλμυρού νερού παρατηρήθηκε αύξηση της απολαβής του ηλιακού αφαλατωτή κατά 34%, ενώ με παράλληλη ψύξη του καλύμματος η απολαβή αυξάνει κατά 48%. Επίσης η ανατάραξη του αλμυρού νερού συνεχώς με κάποιο τρόπο προκαλεί αύξηση της απολαβής λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας εξάτμισης που δημιουργείται.

10) Η τεχνική προώθησης μίγματος αέρα-ατμών στον αφαλατωτή με την

βοήθεια φυσητήρα σε κλειστό κύκλωμα, αυξάνει την απολαβή του αποστακτήρα κατά 33-35%.

11) Χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές ψύξης του καλύμματος, το κάλυμμα διατηρείται σε αρκετά χαμηλή θερμοκρασία, και έτσι η συμπύκνωση των ατμών του νερού είναι πιο έντονη. Με αυτές τις τεχνικές παρατηρείται αύξηση της απολαβής κατά 28%.

12) Ο ηλιακός αποστακτήρας με γυάλινες πλευρές παρουσιάζει μεγαλύτερη απολαβή από τον αντίστοιχο κατασκευασμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα. Επίσης η τοποθέτηση περυγίων στην πίσω πλευρά του αποστακτήρα προκαλεί αύξηση της απολαβής.

13) Μία τεχνική για την αύξηση της επιφάνειας συμπύκνωσης των ατμών είναι η τοποθέτηση γυάλινων σωλήνων στο επάνω τμήμα του αποστακτήρα οι οποίοι τον διαπερνούν σε όλο το μήκος του.

· Εκτός από τις κατασκευαστικές μετατροπές, η απολαβή έχει αποδειχτεί ότι αυξάνεται και στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Όταν στο σχεδιασμό προβλεφθεί και η συλλογή του βρόχινου νερού. Επειδή οι βροχοπτώσεις παρατηρούνται σε περιόδους που τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας είναι πεσμένα, ενώ ο αποστακτήρας παράγει νερό κυρίως σε περιόδους με υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, η ετήσια απόδοση του αποστακτήρα είναι αυξημένη διότι διατηρείται σε σχετικά σταθερά επίπεδα όλο το χρόνο.
- Όταν με κάποιο τρόπο γίνει θέρμανση του αλμυρού νερού. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη και γρηγορότερη εξάτμιση του νερού παράγοντας περισσότερο αφαλατωμένο. Το αλμυρό νερό μπορεί να θερμανθεί είτε προθερμαίνοντας το πριν την είσοδο στην δεξαμενή του αποστακτήρα, είτε αυξάνοντας την θερμοκρασία του τοποθετώντας εναλλάκτη θερμότητας, είτε με απευθείας θέρμανσή του στην δεξαμενή με βοήθεια κυκλοφορητή.

Η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από θερμαντικό στοιχείο, απορριπτόμενη θερμότητα διάφορων θερμικών διεργασιών ή από ηλιακούς συλλέκτες. Η θέρμανση του νερού της δεξαμενής με την χρήση συλλεκτών μπορεί να αυξήσει την απολαβή του συστήματος κατά 63%. ¹⁵

¹⁵ «Διυλιστήρια νερού και μονάδες αφαλάτωσης», Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων

3.7 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα εγκατάστασης των ηλιακών αποστακτήρων

Μειονεκτήματα:

- 1)Άμεση εξάρτηση από ηλιακή ακτινοβολία
- 2)Σχετικά υψηλό κόστος παραγόμενου νερού
- 3)Απαίτηση μεγάλων επιφανειών εγκατάστασης
- 4)Σχετικά μικρές τιμές απολαβής
- 5)Υψηλό κόστος εγκατάστασης

Πλεονεκτήματα:

- 1)ευκολία κατασκευής και συναρμολόγησης
- 2)η εγκατάσταση μπορεί να κατασκευαστεί από υλικά που βρίσκονται διαθέσιμα στην περιοχή της εγκατάστασης ή κοντά σε αυτή, ελαχιστοποιώντας έτσι τα έξοδα μεταφοράς.
- 3)Είναι ελαφριά στην μεταφορά
- 4)Δεν χρειάζεται σχεδόν καθόλου συντήρηση επειδή δεν αποτελούνται από κινούμενα μέρη
- 5)έχουν ικανοποιητική διάρκεια ζωής η οποία κυμαίνεται από 10-20 χρόνια
- 6)Δεν απαιτούν εξωτερικές πηγές που να καταναλώνουν ενέργεια για την λειτουργία τους
- 7)Αντέχουν ισχυρούς ανέμους με κατάλληλο σχεδιασμό
- 8)Χρησιμοποιούνται και σαν συλλέκτες βρόχινου νερού
- 9)Κατασκευάζονται από υλικά που δεν μολύνουν το νερό
- 10)Συνδυάζονται εύκολα με ηλιακούς συλλέκτες

Συμπεράσματα:

Η ηλιακή απόσταξη είναι ευρύτατα διαδεδομένη και ειδικότερα στην Ελλάδα όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι αυξημένη πολλούς μήνες το χρόνο. Η αρχή λειτουργίας της, η εξάτμιση του αλμυρού νερού και συμπύκνωση του γλυκού, είναι αρκετά απλή και δεν απαιτεί χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο βαθμός απόδοσής του μπορεί να αυξηθεί με διάφορες κατασκευαστικές τεχνικές, καθώς και προθέρμανση του αλμυρού νερού. Για όλα τα παραπάνω οι ηλιακοί αποστακτήρες θεωρούνται η πιο συμφέρουσα λύση για παροχή νερού σε άγονες, απομακρυσμένες περιοχές (όπως νησιά) όπου μπορεί να γίνει και συνδυασμός με ηλιακούς συλλέκτες.

4ο ΜΕΡΟΣ: ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ

4.1 Γενικά

Οι συμβατικές μέθοδοι ηλιακής αφαλάτωσης παρά τα πλεονεκτήματα παρουσιάζουν παράλληλα και διάφορες ελλείψεις που εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, τον τόπο τοποθέτησης της μονάδας, τις απαιτήσεις αφαλατωμένου νερού και άλλες παραμέτρους. Γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί συνδυασμένες μέθοδοι ηλιακής αφαλάτωσης και απόσταξης, οι οποίες είτε βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο είτε έχουν εφαρμοστεί. Ανάλογες των μεθόδων είναι και οι συσκευές που χρησιμοποιούνται. Οι μέθοδοι και συσκευές που θα εξετάσουμε είναι:

- Πλωτός αυτοδύναμος ηλιακός αποστακτήρας
- Ηλιακή αφαλάτωση δια καταιωνισμού και αντλίας θερμότητας
- Αφαλάτωση με μηχανική συμπίεση υγρού αέρα
- Ηλιακό υβριδικό σύστημα αφαλάτωσης και θέρμανσης νερού
- Συνδυασμένη παραγωγή αλατιού και νερού με ηλιακή ενέργεια¹⁶

4.2 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου

Κατά την διάρκεια του σχεδιασμού ενός συστήματος η πρώτη ανάγκη που προκύπτει είναι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αφαλάτωσης. Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι οι ακόλουθοι:

1. Η ευκολία ή τα προβλήματα που υπάρχουν λόγω του συνδυασμού της μεθόδου με την ηλιακή ενέργεια.
2. Η αποδοτικότητα της μεθόδου σε σχέση με την κατανάλωση πρωτεύοντος ενέργειας
3. Η ποσότητα και ποιότητα του παραγόμενου νερού που απαιτείται για την συγκεκριμένη εφαρμογή σε συνδυασμό με την έκταση εφαρμογής των διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης.
4. Η απαιτούμενη αρχική επεξεργασία θαλάσσιου νερού
5. Το αρχικό κόστος των μηχανημάτων
6. Η έκταση της γης που απαιτείται για την εγκατάσταση ή και που μπορεί να υπάρξει για την συγκεκριμένη εφαρμογή

¹⁶ «Review of water resources and desalination technologies», James E. Miller, Materials Chemistry Department, Sandia National Laboratories

7. Ποιότητα νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο)

8. Διαθεσιμότητα και εμπειρία προσωπικού

4.3 Πλωτός Αυτοδύναμος Ηλιακός Αποστακτήρας (Π.Α.Η.Α)

Ο *Πλωτός Αυτοδύναμος Ηλιακός Αποστακτήρας* (Π.Α.Η.Α) πραγματοποιεί απόσταξη θαλασσινού νερού ή εναλλακτικά απόσταξη άλλων κατηγοριών νερού όπως λύματα, απόβλητα, έλη, κτλ με χρήση της ηλιακής ενέργειας χωρίς άλλη βοηθητική πηγή ενέργειας όπως ηλεκτρική, κινητήρια ή θερμική.

Η μέθοδος που εφαρμόζεται είναι *η ηλιακή απόσταξη με την βοήθεια προθερμασμένου αέρα*, ο οποίος λειτουργεί ως φορέας της απόσταξης αλλά και της συμπύκνωσης.

Ο όρος « πλωτός » αναφέρεται στην περίπτωση όπου ο εξατμιστήρας επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας ή της λίμνης. Η συσκευή όμως μπορεί να τοποθετηθεί και στην ξηρά σε μόνιμη θέση ή μετακινούμενη (π.χ πάνω σε σιδηροτροχιές όταν πρόκειται να γίνει χρήση στις αλυκές ή ξήρανση λυμάτων).

Ο όρος « αυτοδύναμος » τονίζει ότι η απόσταξη και η μετέπειτα συμπύκνωση πραγματοποιούνται χωρίς άλλη βοηθητική πηγή ενέργειας εκτός από την ηλιακή και από τον άνεμο.

Η απόσταξη γίνεται με τη βοήθεια φυσικού ελκυσμού του ατμοσφαιρικού αέρα, ο οποίος προθερμαίνεται στον πλωτό αποστακτήρα και στη συνέχεια παρασύρει τους υδρατμούς που αναπτύσσονται και τους μεταφέρει σε σταθερό αερόψυκτο συμπυκνωτήρα επί ξηράς, κυκλωνικού τύπου. Ο φυσικός ελκυσμός ενισχύεται από το δημιουργούμενο κενό, που παράγεται από ένα περιστρεπτό ακροφύσιο ανέμου, που προσανατολίζεται αυτόματα προς την κατεύθυνση του πνέοντος ανέμου. Ο συμπυκνούμενος ατμός συλλέγεται στον κάτω κωνικό πυθμένα του συμπυκνωτήρα. Χαρακτηριστικό του Π. Α. Η. Α είναι ότι η λειτουργία του βασίζεται στον αέρα (τη ροή και τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του), γι' αυτό το λόγο ο εξατμιστήρας είναι χωριστά από τον συμπυκνωτήρα.

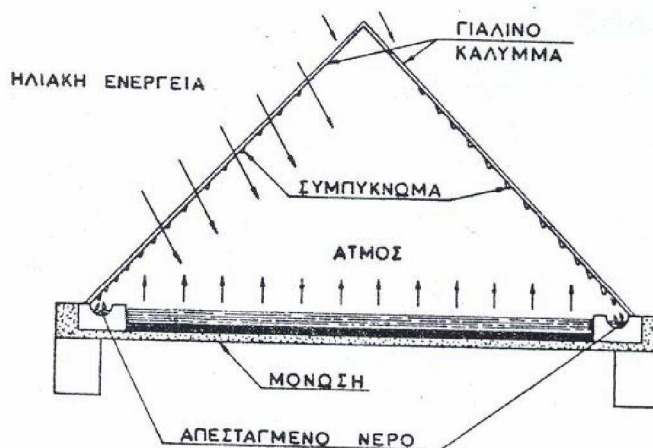
συμπυκνωτήρα. Στο επάνω μέρος του συμπυκνωτήρα έχει τοποθετηθεί ένα περιστρεφόμενο ακροφύσιο ανέμου, που προσανατολίζεται αυτόματα προς την κατεύθυνση του ανέμου. Το κάτω τμήμα του συμπυκνωτήρα είναι διαμορφωμένο σε κωνικό δοχείο συλλογής του απεσταγμένου νερού. Ο εξατμιστήρας με τον συμπυκνωτήρα συνδέονται με εύκαμπτο πλαστικό σωλήνα που επιτρέπει οποιαδήποτε μετακίνηση του πλωτού αποστακτήρα με τον σταθερό συμπυκνωτήρα.

Λειτουργία: Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει και στον προθερμαντήρα αέρος και στον εξατμιστήρα με αποτέλεσμα να προθερμαίνει τον αέρα που εισέρχεται στον εξατμιστήρα και την ποσότητα του νερού που βρίσκεται στο εσωτερικό του πλωτήρα. Λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ προθερμασμένου και ατμοσφαιρικού αέρα και λόγω της διαφοράς υψομέτρου μεταξύ εισόδου και εξόδου του αέρα, δημιουργείται φυσικός ελκυσμός, ο οποίος αυξάνει την φυσική ατμοποίηση του νερού. Ο ελκυσμός αυξάνεται με την βοήθεια του ανέμου μέσω του περιστρεπτού ακροφυσίου που δημιουργεί κενό λόγω της αυξήσεως της ταχύτητας εξόδου του αέρα από το ακροφύσιο. Ο ελκυσμός που δημιουργείται, προκαλεί ένα ρεύμα ζεστού αέρα ο οποίος βοηθάει στην εξάτμιση του νερού και μεταφέρει τον ζεστό υγρό αέρα στον ατμοδιαχωριστήρα-συμπυκνωτήρα. Ο υδρατμός στροβιλιζόμενος στην ψυχρή μεταλλική επιφάνεια του συμπυκνωτήρα συμπυκνώνεται και συλλέγεται στον κάτω κωνικό πυθμένα του. Ο συμπυκνωτήρας περιβάλλεται από ένα εξωτερικό κυλινδρικό κάλυμμα με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει την κατακόρυφη ροή αέρος γύρω από τον συμπυκνωτήρα. Με την διάταξη αυτή ο συμπυκνωτήρας προστατεύεται από την ηλιακή ακτινοβολία και επίσης λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας δημιουργείται μικρός φυσικός ελκυσμός του αέρα στον κενό χώρο μεταξύ συμπυκνωτήρα και καλύμματος που συντελεί στην ψύξη.¹⁷

¹⁷ «Desalination: Current Situation And Future Prospects», Dr. Pinhas Glueckstern

Σύγκριση με συνήθη ηλιακό αποστακτήρα

Παρακάτω βλέπουμε την διάταξη ενός συνήθη ηλιακού αποστακτήρα, καθώς και έναν τυπικό ισολογισμό ενέργειας για έναν συνήθη και έναν πλωτο αυτοδύναμο ηλιακό αποστακτήρα



Ένέργεια	Ποσοστόν επί τοις % 'Ηλιακής Ένέργειας	
	Συνήθης Ηλιακός Αποστακτήρ	Π.Α.Η.Α.
Έξατμιση	32	78
Απώλειαι στο έδαφος	2	-
Ανακλώμενη ακτινοβολία	12	12
Ηλιακή ακτινοβολία απορροφούμενη από τό κάλυμμα καί τό φύλμ συμπύκνωσης	10	10
Ακτινοβολία από τό νερό στην δεξαμενή	25	-
Εσωτερική κυκλοφορία αέρος	7	-
Άδηλοι απώλειες, (έπανεξάτμιση του συμπυκνώματος)	12	-
Σύνολον	100	100

Σχήμα 4.3.2 Συγκριτικός ισολογισμός ενέργειας ηλιακών αποστακτήρων

Εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ο Π.Α.Η.Α σε σύγκριση με τον συνήθη ηλιακό αποστακτήρα υπερτερεί και ως προς το βαθμό απόδοσης, δηλαδή έχει μεγαλύτερη παροχή απεσταγμένου νερού ανά μονάδα επιφάνειας υγρού kg/m^2 , και επίσης έχει μικρότερες απώλειες
- Ο Π.Α.Η.Α μπορεί να παράγει απεσταγμένο νερό και την νύχτα εφ' όσον φυσάει άνεμος ή όταν έχει συννεφιά με σημείο λειτουργίας το Α, χωρίς προθέρμανση του αέρα, αλλά με ελκυσμό που προέρχεται από τον άνεμο.
- Δεν χρειάζεται καμμία ειδική εγκατάσταση (σωληνώσεις, αντλίες, κτλ)
- Είναι αυτοδύναμος, δηλαδή δεν χρειάζεται για την λειτουργία καμία άλλη μορφή ενέργειας, ηλεκτρική ή κινητήρια.
- Η κατασκευή του μπορεί να γίνει σε πολλά μεγέθη, πολύ μικρός ή πολύ μεγάλος, σε φορητή ή μόνιμη εγκατάσταση.
- Μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις, σε ξήρανση λυμάτων, αλυκές, κ.ά

4.4 Συνδυασμένη παραγωγή αλατιού και νερού με ηλιακή ενέργεια

Ο στόχος της συγκεκριμένης εγκατάστασης είναι η συνδυασμένη παραγωγή αλατιού και αφαλατωμένου νερού με χρήση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Ως φορέας της απόσταξης χρησιμοποιείται ο ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος θερμαίνεται με ηλιακή ενέργεια, παρασύρει εν συνεχεία τους υδρατμούς από τον ηλιακό αποστακτήρα και στην συνέχεια τους συμπυκνώνει σε ξεχωριστό υδρόψυκτο συμπυκνωτήρα με κυκλωνικού τύπου διαχωριστήρα αέρα. Το παραγόμενο αλάτι που βρίσκεται στον πυθμένα του αποστακτήρα απάγεται με σύστημα κενού.

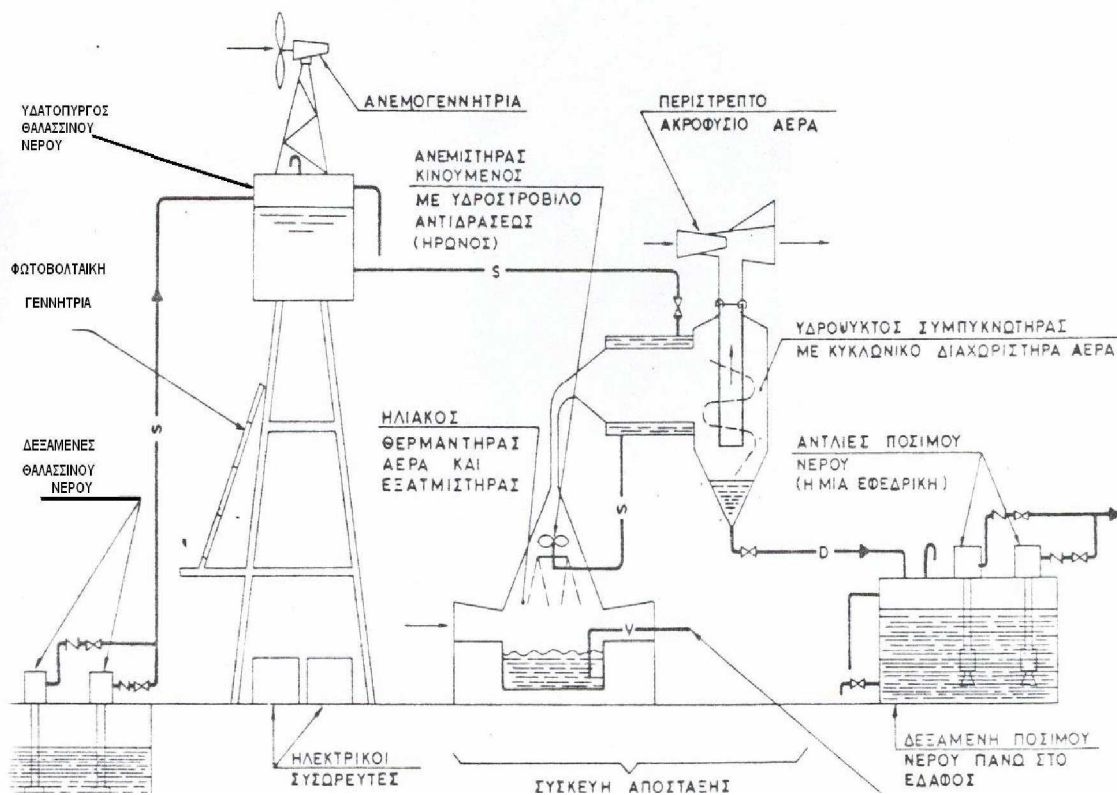
Περιγραφή της εγκατάστασης:

Η εγκατάσταση είναι σχεδιασμένη ως αυτοδύναμη και είναι πιο αποδοτική από τις συμβατικές αλυκές, με επιπλέον κέρδος την ταυτόχρονη παραγωγή αφαλατωμένου νερού.

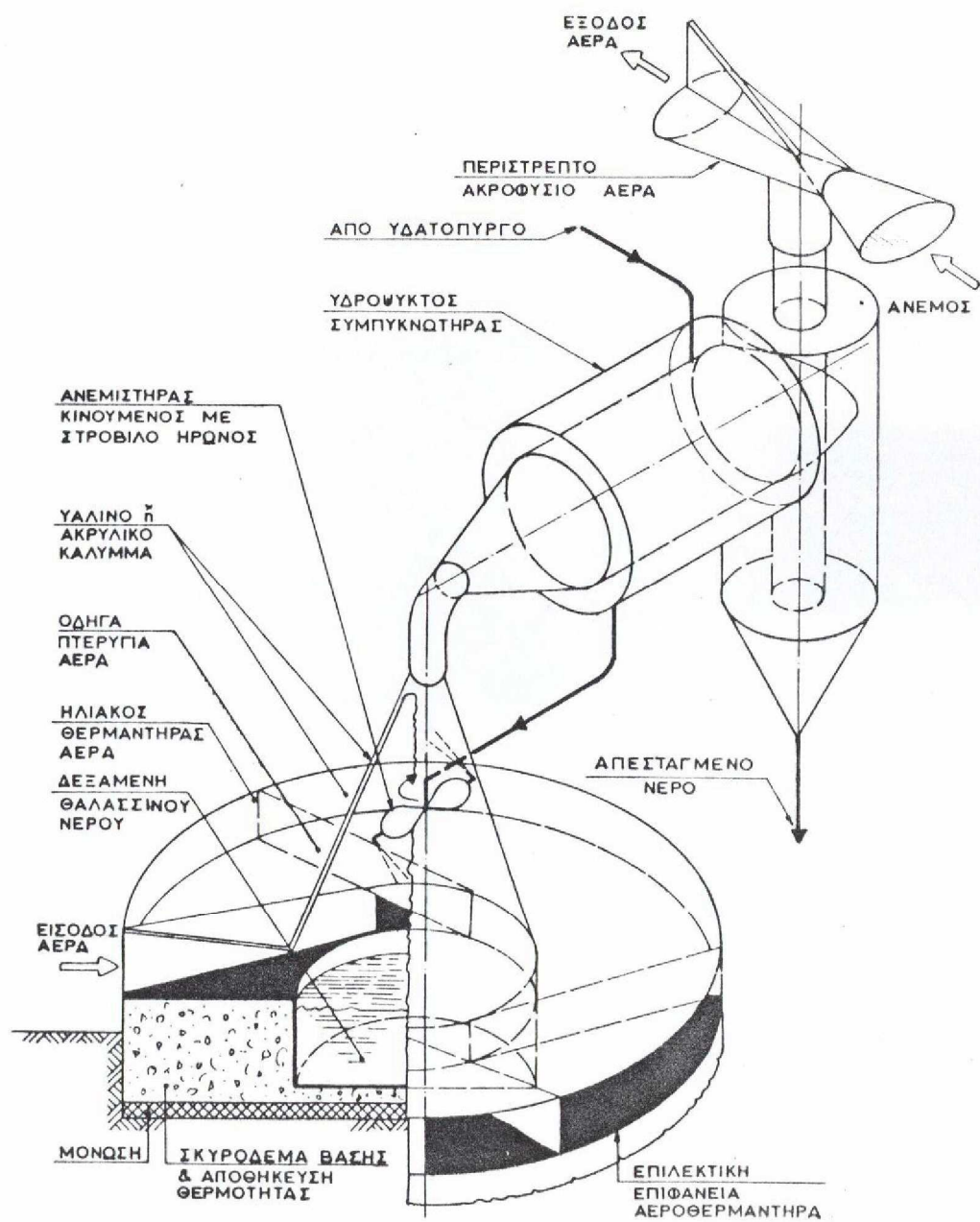
Χλωριούχο νάτριο (Αλάτι)

Το αλάτι είναι προϊόν μέγιστης σημασίας τόσο για την διατροφή των ανθρώπων και των ζώων του πλανήτη, αλλά και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή διάφορων χημικών

προϊόντων, όπως σόδα, χλωριούχο ασβέστιο, θειικό νάτριο, υδροχλώριο, χλωρίνη και άλλα. Το θαλασσίνο νερό περιέχει περίπου 35.000 ppm διαλελυμένων αλάτων, από τα οποία το μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτει το χλωριούχο νάτριο. Για την παραγωγή αλατιού η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η απόσταξη θαλασσινού νερού. Στην Ελλάδα και σε χώρες που περιβάλλονται από θάλασσα χρησιμοποιούνται οι αλυκές, όπου το νερό εξατμίζεται με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας και στον πυθμένα παραμένει το αλάτι. Η μέθοδος όμως απαιτεί μεγάλες εκτάσεις γης και απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, το οποίο καθώς εξατμίζεται πάει χαμένο. Λύση στο πρόβλημα της σπατάλης νερού αποτελεί η ακόλουθη μέθοδος που αποτελεί τροποποίηση της μεθόδου του Πλωτού Αυτοδύναμου ηλιακού αποστακτήρα. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή νερού και αλατιού, αποδοτικότερα από τις συμβατικές αλυκές.



Σχήμα 4.4.1 Σχηματική παράσταση εγκατάστασης



Σχήμα 4.4.2 Σχηματική παράσταση εγκατάστασης

Συμπεράσματα

Τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης είναι τα ακόλουθα:

- 1) Ο συνδυασμός αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα, του νερού και της ταχύτητας του αέρα, μαζί με τον καταιωνισμό του νερού έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της εξάτμισης
- 2) Μπορεί να συνεχίσει την λειτουργία του και το βράδυ ή και με βροχή χωρίς προθέρμανση αέρα, αλλά με ελκυσμό που προέρχεται από τον άνεμο και τον ανεμιστήρα- υδροστρόβιλο
- 3) Είναι αυτοδύναμη
- 4) Μπορεί να κατασκευαστεί εύκολα σε διάφορα μεγέθη. Η τυποποίηση του στοιχείου εξάτμισης-συμπύκνωσης μειώνει το κόστος της εγκατάστασης
- 5) Η παραγωγή αλατιού ανά m^2 είναι πολλές φορές μεγαλύτερη των παραδοσιακών αλυκών
- 6) το κόστος [παραγωγής αλατιού προβλέπεται μικρότερο διότι με την ίδια εγκατάσταση παράγονται δύο προϊόντα, νερό και αλάτι
- 7) Η προτεινόμενη εγκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί τροποποιημένη με αερόψυκτο συμπυκνωτήρα ως δεύτερη βαθμίδα εξάτμισης άλμης ή λυμάτων ή μολυσμένων νερών.

5ο ΜΕΡΟΣ: ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

5.1 Γενικά

Η αφαλάτωση με αιολική ενέργεια, λόγω του χαμηλού κόστους και της τεχνολογικής ωριμότητας, με τα ισχυρά συστήματα αφαλάτωσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιείται ευρέως ως κύρια μέθοδος, αντικαθιστώντας τις υπολοιπες ενεργειοβόρες μεθόδους αφαλάτωσης, αφού μπορεί να λειτουργήσει σύμφωνα με την λογική της αειφόρου ανάπτυξης. Για να αποδειχθεί η τεχνική σκοπιμότητα της αιολικής αφαλάτωσης τόσο με αντίστροφη όσμωση και μηχανική συμπίεση ατμού, έχουν αναπτυχθεί συστήματα που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την αιολική για αφαλάτωση. Τα οικονομικά οφέλη της αιολικής αφαλάτωσης είναι πολλά. Το κόστος σύμφωνα με το τι αναμένεται για ένα συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης αποδεικνύεται ιδιαίτερα ανταγωνιστικού κόστους, σε περιοχές με υψηλούς πόρους ανέμου που αντικαθιστούν το υψηλό κόστος της ενέργειας των μη-ανανεώσιμων πηγών. Μπορεί, λοιπόν, να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η αιολική αφαλάτωση μπορεί να είναι ανταγωνιστική σε σχέση με άλλα συστήματα αφαλάτωσης, καθώς και έχει τη δυνατότητα να παρέχει ασφαλές και καθαρό πόσιμο νερό σε ένα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

5.2 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου

Τα μεγάλης κλίμακας συστήματα βασίζονται στη χρήση των φυσικών και οικονομικών μοντέλων που παρουσιάζονται για να βοηθήσουν το σχεδιασμό και την οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια με τις μεθόδους της αντίστροφης όσμωσης και μηχανικής ατμόσφαιρικής συμπίεσης. Τα προτεινόμενα μοντέλα αντιμετωπίζουν ρητά τους επιχειρησιακούς περιορισμούς και και υπολογίζουν βέλτιστες στρατηγικές λειτουργίας για την παραγωγή νερού με το ελάχιστο δυνατό κόστος όταν η ισχύς ποικίλλει. Η μεθοδολογία παρέχει ένα ρεαλιστικό κόστος νερού όσον αφορά τον υπολογισμό των στατιστικών περιγραφών των τοπικών ταχυτητων ανέμου.

Η αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση και μηχανική ατμόσφαιρική συμπίεση είναι αποδεδειγμένα οι τεχνολογίες που απαιτούν ένα σχετικά χαμηλό ποσό ενέργειας. Είναι δύσκολο να οριστεί εκ των προτέρων μια τεχνολογία που να δίνει μια ανάλυση κόστους-βέλτιστης λύσης όταν συνδυάζεται με μία ανεμογεννήτρια.

Και οι δύο τεχνολογίες έχουν τα υπέρ και τα κατά τους:¹⁸

Η αντίστροφη όσμωση χαρακτηρίζεται από υψηλή ενεργειακή απόδοση που επιτυγχάνεται με συγκεκριμένη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλή ως 3 kWh/m³. Η σπονδυλωτή φύση των συστημάτων αντίστροφης όσμωσης επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή της διαδικασίας στις μεταβαλλόμενες συνθήκες ανέμου. Στην πραγματικότητα, εάν το σύστημα αντίστροφης όσμωσης διαθέτει βαλβίδες που μπορούν δυναμικά να ενεργοποιήσουν και να απενεργοποιήσουν τα πλοία αντίστροφης όσμωσης, τότε η ζήτηση ενέργειας με αντίστροφη όσμωση μπορεί να προσαρμοστεί στο διαθέσιμο αιολικής ενέργειας. Σε συνάρτηση με την αύξηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος, αυτό προσφέρει υψηλό βαθμό ευελιξίας στο σχεδιασμό του συστήματος και μειώνει το συνολικό κόστος του νερού.

Η βασική τεχνολογική πρόκληση για την ολοκλήρωση της αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βρίσκεται σε αλληλεπίδραση μεταξύ ισχυρής παραγωγής που χαρακτηρίζεται από σημαντικό χρονικό διακυμάνσεων και μιας τεχνολογίας αφαλάτωσης που έχει σχεδιαστεί ειδικά για σταθερή κατάσταση λειτουργίας και διαθέτει πληθώρα των περιοριστικών λειτουργικών ορίων.

Η κύρια δύναμη των τεχνολογιών συμπίεσης ατμού έγκειται στην απλότητά του και στην ευρωστία του. Τα ανάλογα μηχανικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών και του συμπιεστή, αποτελούν δύο μηχανές ροής υγρών, με κατάληξη σε δύο διαφορετικές ισχυρές εξόδους σχετικές η μία με την άλλη, επιτρέποντας στο σύστημα να λειτουργεί αποτελεσματικά ακόμη και με μεταβλητή ταχύτητα. Σε εξάρτηση με αυτό, μία βοηθητική θερμάστρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της μεταβλητή φύσης της πηγής ενέργειας, καθώς και στην παροχή της αρχικής πηγής ενέργειας για την διαδικασία κατά την εκκίνηση.

5.3 Τεχνικές αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας

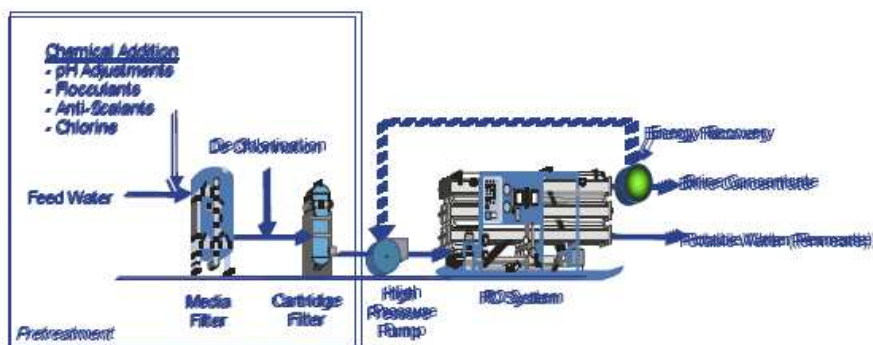
Έχουν μελετηθεί δύο διαφορετικά συστήματα σε χωριστά προγράμματα: ένα με το σύστημα αντίστροφης όσμωσης, που επιτρέπει κάποια αλληλεπίδραση με το ηλεκτρικό δίκτυο, και ένα άλλο με μηχανική πίεση ατμού σε ένα σύστημα σε νησί χωρίς πλέγμα. Σημείο εκκίνησης για τα δύο συστήματα ήταν ισχύς του ανέμου που είναι διαθέσιμη για τον αιολικό στρόβιλο. Η ιδέα ήταν να γίνει χρήση των υφιστάμενων εξαρτημάτων, στο

¹⁸ «Ανεμοκινητήρες», Γ. Μπεργελές, εκδόσεις Συμewών 2005

μέτρο του δυνατού, για να αυξηθεί η αξιοπιστία και η αποδοχή του συστήματος.

Αντίστροφη όσμωση

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία πίεσης με γνώμονα μία μεμβράνη διαχωρισμού στην οποία το νερό υπό πίεση από αλατούχο διάλυμα χωρίζεται από τις διαλυμένες ουσίες μέσω διάχυσης σε μια ημι-διαπερατή μεμβράνη. Η πίεση που απαιτείται για την κίνηση στη διαδικασία διαχωρισμού εξαρτάται από την αντίσταση της μεμβράνης και την αλατούχο συγκέντρωση του νερού. Μια επισκόπηση του συστήματος αντίστροφης όσμωσης και των μεγάλων εξαρτημάτων φαίνεται στο σχήμα 5.3.1.¹⁹



Σχήμα 5.3.1: Στάδια της διαδικασίας και τα στοιχεία των συστημάτων αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης.

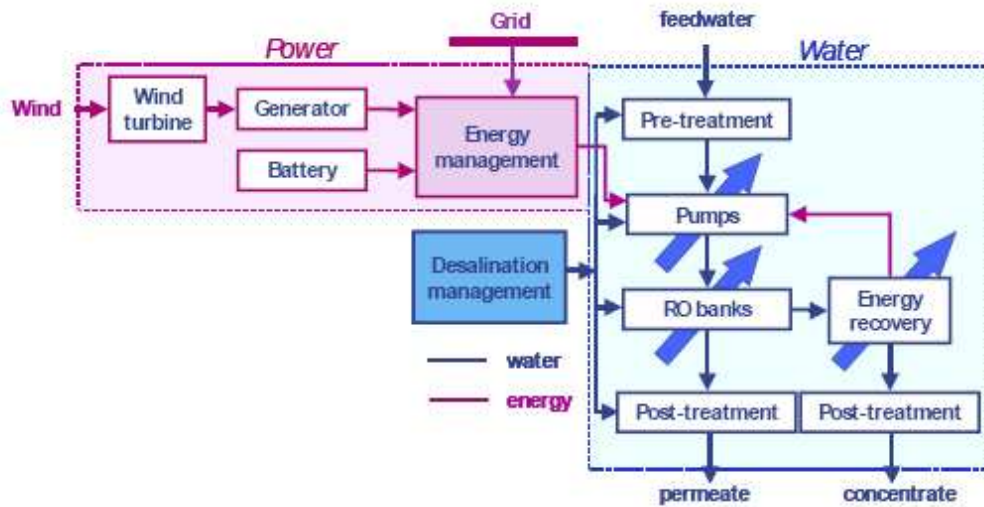
Η προεπεξεργασία είναι κρίσιμης σημασίας για την εξασφάλιση της καθαριότητας των επιφανειών μεμβράνης για τη διατήρηση των επιδόσεων και τη μείωση χρωματισμού ή υποβάθμισης. Συνεπώς, τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται μέσω διήθησης. Τυπικά, η προεπεξεργασία περιλαμβάνει επίσης την διήθηση και την προσθήκη οξέος ή άλλες χημικές ουσίες για να αναστέλλει την καθίζηση αλάτων και την ανάπτυξη μικροβίων.

Τέλος, η προσθήκη χημικών χρησιμοποιείται επίσης για να εξασφαλισθεί το pH και τα επίπεδα αλκαλικότητας να είναι εντός ορισμένου ορίου που αντιστοιχεί στη μεμβράνη με τις απαιτήσεις του κατασκευαστή. Το σύστημα αντίστροφης όσμωσης αποτελείται από πολλαπλά δοχεία πίεσης που είναι συνδεδεμένα παράλληλα, και κάθε κλειστό δοχείο αποτελείται από πολλαπλά στοιχεία στη σειρά. Από τη στιγμή που η πτώση πίεσης σε ένα σύστημα αντίστροφης όσμωσης είναι μικρή, η πυκνή άλμη έχει σημαντική

¹⁹ «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας», Ιωάννης Καλδέλλης, εκδόσεις Σταμούλης 2005

ενεργειακή πίεση, η οποία αν ανακτηθεί μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα του συνολικού συστήματος.

Για όλα τα τμήματα του συστήματος, έχουν δημιουργηθεί φυσικά και οικονομικά μοντέλα, προκειμένου να καταστεί δυνατή μια λεπτομερής μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος τόσο σε σταθερή κατάσταση και σε μεταβατικές συνθήκες. Αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνουν επίσης περιορισμούς του τρέχοντος εξοπλισμού που θα μπορούσαν να περιορίσουν το χώρο του σχεδιασμού.



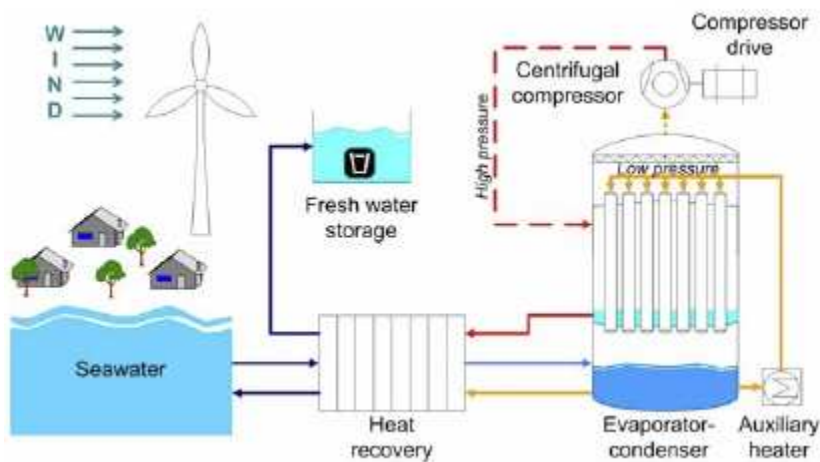
Σχήμα 5.3.2. Συνιστώσες του μοντέλου του συστήματος για την αιολική αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση.

Μηχανική συμπίεση ατμού

Η αφαλάτωση με μηχανική συμπίεση ατμού χρησιμοποιεί μια μέθοδο παρόμοια με την διαδικασία απόσταξης, στην οποία η θερμότητα παρέχεται σε ένα υγρό, προκαλώντας μία ουσία εντός της τροφής να εξατμιστεί ενώ παραμένουν οι άλλες. Για την αφαλάτωση, το απεσταγμένο νερό εξατμίζεται από το θαλασσινό νερό. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται στην ενεργοποίηση ενός δυναμικού συμπιεστή, ο οποίος αυξάνει την πίεση και τη θερμοκρασία του προκύπτοντος αποσταγμένου νερού. Με τη χρήση ενός συμπιεστή, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα και παρέχει την απαραίτητη θερμότητα για την εξαγωγή ατμού από το υφάλμυρο νερό. Η ενέργεια θερμότητας ανακτάται από τον εξατμιστήρα - ψυκτήρα και από την ανάκαμψη εναλλακτικής θερμότητας. Δεδομένου ότι η πλειονότητα της θερμότητας ανακτάται, αυτή η διαδικασία αφαλάτωσης είναι μία από τις λιγότερο ενεργοβόρες.

Με αυτόν τον τρόπο, ο κύκλος είναι συνεχής με εξαίρεση ορισμένες από τις αρχικές απαιτήσεις ενεργειας κατά τη διάρκεια της εκκίνησης (συνήθως παρέχεται από ένα ηλεκτρικό θέρμαντήρα). Ο στροβίλος (που κινείται από τον άνεμο) και η δυναμική πίεση είναι δύο ρευστές ταμειακές μηχανές, που λειτουργούν από παρόμοιες αρχές που θα τους επιτρέψουν να ποικίλλουν σχετικά το ένα με το άλλο. Η διαδικασία είναι επίσης πολύ εύρωστη με διαθεσιμότητα πάνω από το 97%. Η ισχύς του ανέμου ως εκ τούτου, είναι σε ιδανική θέση για την διαδικασία αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση ατμού.

Ορισμένες μονάδες επίδειξης αιολικής αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση ατμού είναι σήμερα σε λειτουργία, όπως για το νησί της Ruegen στη Γερμανία και μια άλλη εγκατάσταση στο νησί Gran Kanάρια στην Ισπανία, με διάφορους βαθμούς επιτυχίας. Η τουρμπίνα ανέμου παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο συμπιεστή, βοηθητική θερμότητα και όλο τον περιφερειακό εξοπλισμό, επιτρέποντας του να λειτουργεί ως ένα ανεξάρτητο σύστημα (Σχήμα 5.3.3). Επιπλέον, αυτό το σύστημα έχει ως πρότυπο την εξέταση φυσικών και οικονομικών πτυχών.



Σχήμα 5.3.3. Συμβατική αιολική διαδικασία μηχανικής πίεσης ατμού

Αποτελέσματα

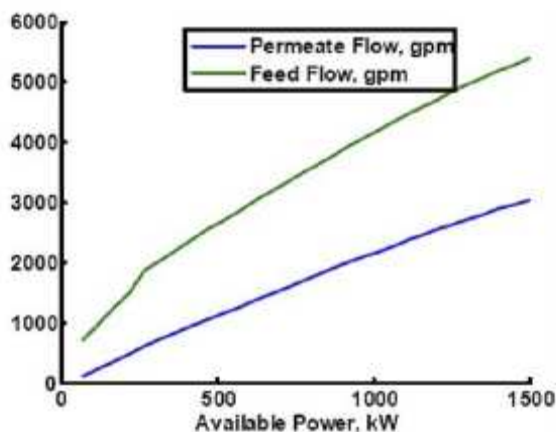
Αντίστροφη όσμωση

Είναι προφανές ότι η παραγωγή του νερού της αιολικού συστήματος αφαλάτωσης εξαρτάται από τη διαθέσιμη ισχύ. Για το σύστημα αντίστροφης όσμωσης, η εξάρτηση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 5.3.4. Υπό τις καλύτερες δυνατές συνθήκες, ένα τέτοιο σύστημα σχεδιασμένο για μια τουρμπίνα 1,5 MW μπορεί να παράγει μέχρι $5500 \text{ m}^3 / \delta$.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η διάρθρωση του κόστους κυριαρχείται από τις

δαπάνες για την αρχική επένδυση, αλλά όπως με όλα τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης η διατήρηση των συστημάτων αυτών πρέπει ακόμη να ληφθούν υπόψη

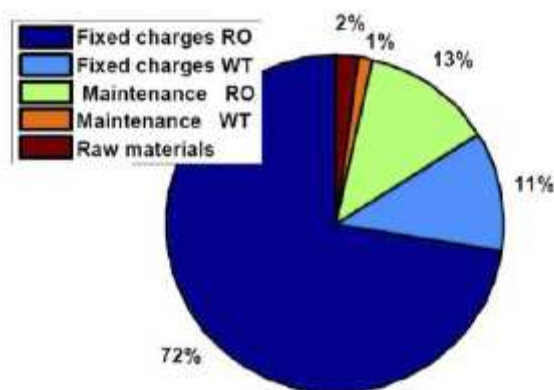
20



Σχήμα 5.3.4. Απόδοση προϊόντος ανάλογα με την χρήση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας .

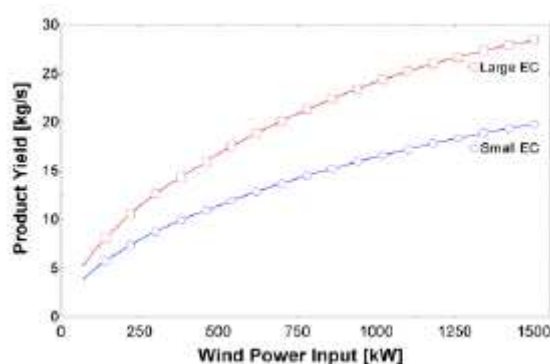
Μηχανική συμπίεση ατμού

Με τον υπολογισμό της απόδοσης για μια τοποθεσία ανέμου από τον υπολογισμό της αναμενόμενης απόδοσης κατά ποικίλες εισροές αιολικής ενέργειας (Σχήμα 5.3.6), μπορεί να θεωρηθεί ότι έως $1.350 \text{ m}^3 / \text{d}$ μπορούν να παραχθούν. Αναμενόμενο εύρος για το κόστος του νερού μπορεί να καθοριστεί βασιζόμενο σε διάφορες τεχνικές και υλικά αφαλάτωσης. (Σχημα 5.3.7)



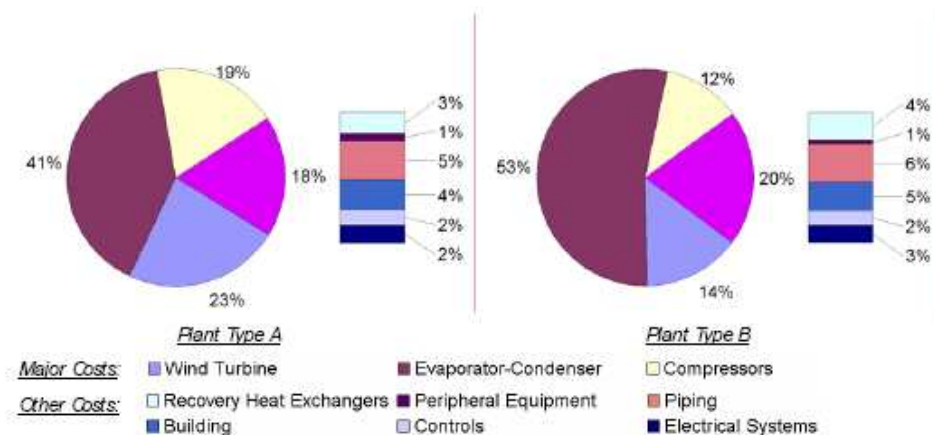
²⁰ Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005

Σχήμα 5.3.5. Στοιχεία κόστους νερού για την αιολική αφαλάτωση.



Σχήμα 5.3.6. Απόδοση προϊόντος για δύο συστήματα αιολικής αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση ατμού με διαφορετικά μεγέθη.

Από την ανάλυση, διαπιστώνεται ότι η αιολική αφαλάτωση με μηχανική συμπίεση ατμού είναι ανταγωνιστική σε σχέση με τις συμβατικές διαδικασίες αφαλάτωσης και με ένα σύστημα αντίστροφης όσμωσης. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω, ανάλογα με τα τοπικά χαρακτηριστικά του τόπου και τις οικονομικές συνθήκες.



Σχήμα 5.3.7. Διακυμάνσεις του κόστους διαδικασίας για αφαλάτωση με μηχανική συμπίεση ατμού ανάλογα με το μέγεθος των εγκαταστάσεων και την επιλογή των υλικών.

5.4 Οικονομικά στοιχεία

Τα οικονομικά στοιχεία των συστημάτων αιολικής αφαλάτωσης διαφέρουν από αυτά των συμβατικών συστημάτων δεδομένου ότι η οικονομία των πρώτων είναι σχεδόν αποκλειστικά βασισμένη στα πάγια έξοδα του συστήματος. Δεν υπάρχει κόστος καυσίμων για το σύστημα από τη στιγμή που οι ανεμογεννήτριες, που είναι σε μεγάλο βαθμό κεφαλαιουχικές δαπάνες, αντικαθιστούν το κόστος καυσίμου του συστήματος. Ως εκ τούτου, η ενεργειακή απόδοση δεν είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας όσον αφορά τα λειτουργικά έξοδα, αλλά αρκετά σημαντικός για την οικονομία της μεθόδου, που επηρεάζεται κυρίως από τον μέσο ετήσιο ρυθμό παραγωγής νερού, η οποία συνδέεται άμεσα με την ενεργειακή απόδοση. Για ένα μέσο αιολικής ενέργειας που διατίθεται για μια συγκεκριμένη επένδυση κεφαλαίου, η πιο αποτελεσματική διαδικασία θα παράγει το πιο πολύ νερό, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της μεταβλητής κόστους. Κατα συνέπεια, η όλη διαδικασία έχει αναλυθεί από μια οικονομική προοπτική, με λεπτομέρειες που καταβάλλονται για τα κυριότερα συστατικά .

Ωστόσο, υπάρχουν αρκετοί εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις διαδικασίες αφαλάτωσης. Ως εκ τούτου, δεν είναι έγκυρο να δοθεί ένας γενικός αριθμός για το κόστος του νερού. Οι μελέτες δείχνουν ότι τα δύο συστήματα μπορούν να λειτουργούν παρέχοντας καθαρό νερό από το θαλασσινό νερό, με το κόστος νερού να κυμαίνεται στα 1,10 με 1,50 δολάρια ΗΠΑ εάν ένας κατάλληλος χώρος επιλεγεί και τα συστήματα λειτουργήσουν δεόντως.²¹

5.5 Μελέτη περίπτωσης στην Ελλάδα: Μονάδες αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα

Για την πλειονότητα των ελληνικών νησιών, οι υδάτινοι πόροι είναι λιγοστοί, περιορίζοντας έτσι την οικονομική ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών. Για να αντιμετωπιστούν αυξημένες απαιτήσεις πόσιμου νερού, περισσότερα από 2.500.000 κ.μ. καθαρού νερού μεταφέρονται ετησίως για τα νησιά αυτά με κόστος που πλησιάζει την τιμή των 7€/ κ.μ. Από την άλλη πλευρά, το τελικό κόστος νερού σε τοπικό επίπεδο που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) με βάση τις μονάδες αφαλάτωσης, αναμένεται να είναι αρκετά χαμηλότερο από αυτή την αξία. Στην προτεινόμενη ανάλυση

«Σημειώσεις Αιολικής Ενέργειας», Ζερβός Αρθούρος, διδακτικές σημειώσεις, 2005

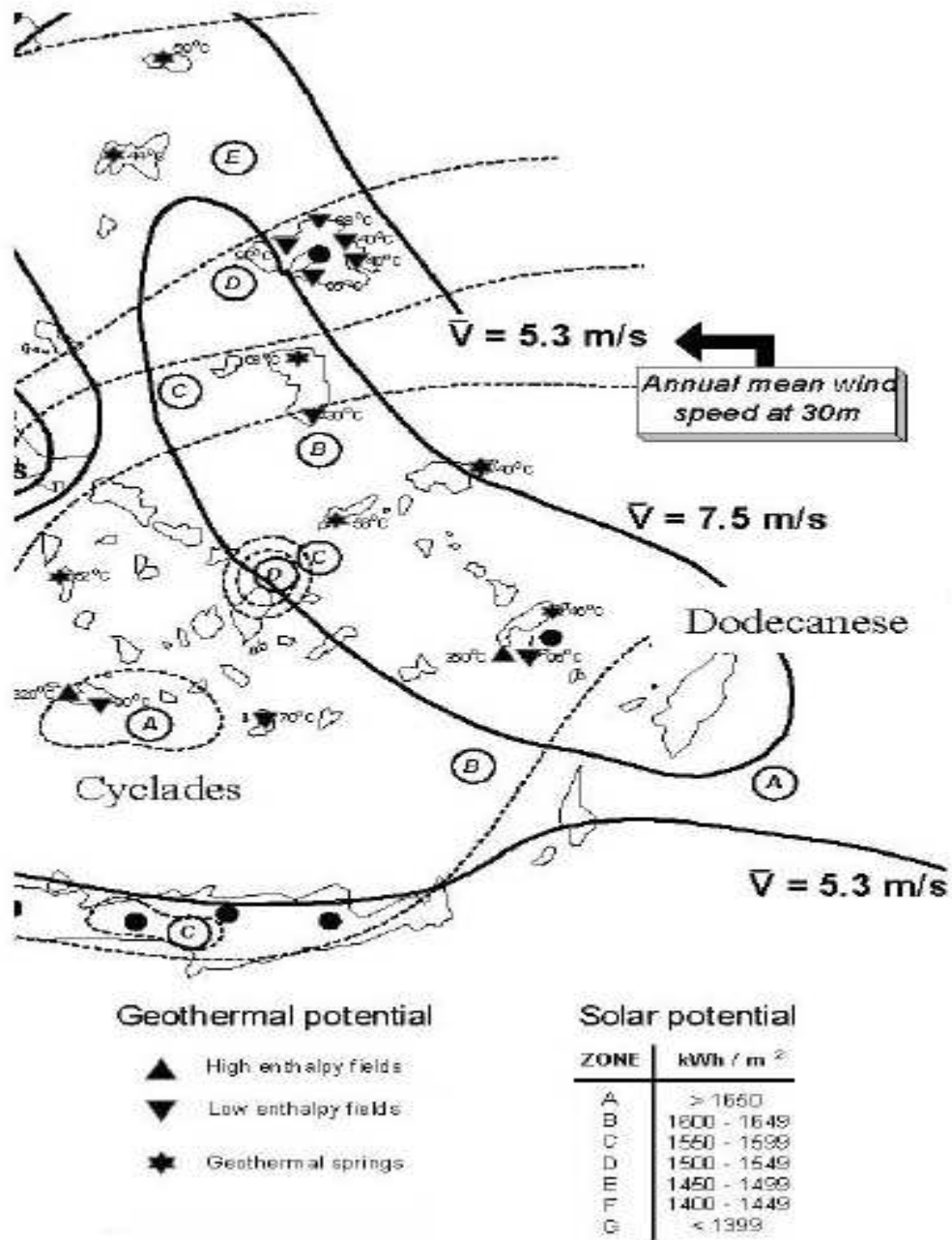
όλων των παραμέτρων κόστους του προβλήματος λαμβάνονται υπόψη, συμπεριλαμβανομένου του κόστους κεφαλαίου των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας, το κόστος κατανάλωσης ενέργειας, τον ετήσιο δείκτη κόστους κεφαλαίου της τοπική οικονομία και το αντίστοιχο ποσοστό πληθωρισμού. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού λαμβάνουν οπωσδήποτε τη στήριξη της χρησιμοποίησης των ΑΠΕ με βάση μονάδες αφαλάτωσης ως η πιο ελπιδοφόρα και βιώσιμη μέθοδος για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε φρέσκο, πόσιμο νερό των μικρών και μεσαίων ελληνικών νησιών με ελάχιστο κόστος, χωρίς να παραβλέπονται τα σημαντικά περιβαλλοντικά και μακρο-οικονομικά οφέλη.

Το Αιγαίο Αρχιπέλαγος περιλαμβάνει εκατοντάδες μικρά και μεσαίου μεγέθους νησιά, που βρίσκονται στο νοτιοανατολικό άκρο της Ευρώπης. Ολόκληρη η περιοχή διαθέτει εξαιρετικό δυναμικό αιολικής ενέργειας δεδομένου ότι σε πολλά νησιά η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 9 m / s σε 30 m ύψος (Σχήμα 5.5.1). Στο πλαίσιο αυτό, πολυάριθμες ανεμογεννήτριες λειτουργούν στην περιοχή για πολλά χρόνια, ενώ κατά τη διάρκεια των τελευταίων είκοσι χρόνων, έχουν κατασκευαστεί σύγχρονα αιολικά πάρκα.

Ωστόσο, η στοχαστική συμπεριφορά του ανέμου και η διακύμανση των ημερήσιων και εποχιακών φορτίων ηλεκτρικής ενέργειας, σε όλα σχεδόν τα δίκτυα των νησιών, οδηγεί ουσιαστικά σε όρια διείσδυσης ενέργειας, ιδίως κατά την περίοδο χαμηλής κατανάλωσης κατά την διάρκεια του έτους. Έτσι, πολλές φορές η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα αιολικά πάρκα, δεν μπορεί να απορροφηθεί από το τοπικό δίκτυο. Ως εκ τούτου, μπορεί να απευθυνθεί σε συμπληρωματικές δραστηριότητες, όπως η αφαλάτωση του νερού στο ελάχιστο κόστος.

Ανακεφαλαιώνοντας, το σημαντικό ανανεώσιμο δυναμικό της περιοχής, το οποίο μέχρι τώρα εν μέρει έχει αξιοποιηθεί, μπορεί να ανταποκριθεί στις ενεργειακές ανάγκες των κατάλληλα σχεδιασμένων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης σε λογικό κόστος. Στην πραγματικότητα, τον Ιούλιο του 2005, το Ελληνικό Υπουργείο Ανάπτυξης έκανε πρόσκληση υποβολής προτάσεων με σκοπό την επιδότηση με ποσοστό μεγαλύτερο από 40% για την ανέγερση εγκαταστάσεων αφαλάτωσης βασιζόμενων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι πρώτες επενδύσεις που υποβλήθηκαν είναι υπό αξιολόγηση.²²

²² J.K. Kaldellis, E.M. Kondili, "The water shortage problem in the Aegean archipelago islands: cost-effective desalination prospects", p.123-138, 2007



Σχήμα 5.5.1: Διαθέσιμο Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Αιγαίο

5.6 Συμπεράσματα

Για να κατανοήσουμε τη σκοπιμότητα της αιολικής αφαλάτωσης, αναλύθηκαν όλες οι διαδικασίες τόσο με αντίστροφη όσμωση και όσο και με διαδικασίες συμπίεσης ατμού και το κόστος του νερού προσδιορίστηκε. Τα δυναμικά αποτελέσματα από τις διεργασίες, λαμβάνοντας επίσης υπόψη την ποικιλία του ανέμου, έχουν μελετηθεί, η σκοπιμότητα της χρήσης του ανέμου ως πηγή ενέργειας για την αφαλάτωση έχει αποδειχθεί.

Το σύστημα αντίστροφης όσμωσης είναι η λύση της επιλογής, εάν υπάρχει τουλάχιστον κάποια αδύναμη διαθέσιμη σύνδεση με το δίκτυο, μπορεί να παράγει νερό σε ελαφρώς χαμηλότερο κόστος, κυρίως λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας ειδικών.

Αν πρόκειται για μεμονωμένες αιτήσεις για περαιτέρω μακρινούς χώρους, η διαδικασία με συμπίεση ατμού είναι μια πολύ κατάλληλη διαδικασία για την αφαλάτωση που οφείλεται στη μεταβλητότητα της λειτουργίας. Καθώς τα οικονομικά στοιχεία της διαδικασίας αιολικής αφαλάτωσης σε μεγάλο βαθμό εξαρτώνται από την τοποθεσία, μία διεξοδική ανάλυση των τοπικών συνθηκών είναι απαραίτητη .

Σε γενικές γραμμές, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αφαλάτωση με αιολική ενέργεια μπορεί να είναι ανταγωνιστική με τα άλλα συστήματα αφαλάτωσης ενώ παρέχει ασφαλή και καθαρό πόσιμο νερό αποτελεσματικά με ένα περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο, προσφέροντας αειφόρο λύση στις αυξανόμενες ανάγκες φρέσκου νερού.

6.1 Διαχείριση των υδατικών πόρων στη Μεσόγειο και στην Ελλάδα

Η έλλειψη νερού αποτελεί ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα σε όλη την περιοχή της Μεσογείου, καθώς συνδέεται άμεσα με το ξηρό κλίμα της περιοχής και τις αυξημένες ανάγκες από τον τουρισμό και τη γεωργία. Ο τουρισμός, η αστική ανάπτυξη, η σύγχρονη γεωργία, η βελτίωση της ποιότητας ζωής και η βιομηχανοποίηση οδηγούν στην εκτεταμένη χρήση των υδατικών πόρων. Το πρόβλημα μάλιστα αναμένεται να επιδεινωθεί τα επόμενα χρόνια, λόγω αλλαγών στις χρήσεις γης και κοινωνικο-οικονομικών μεταβολών, αλλά και λόγω της πιθανότητας μείωσης των βροχοπτώσεων, εξαιτίας των κλιματικών μεταβολών. Η περιορισμένη ύπαρξη υδάτινων αποθεμάτων σε όλες τις παράκτιες μεσογειακές χώρες έχει οδηγήσει σε μια εξάντληση των υπόγειων αποθεμάτων, λόγω της υπεράντλησης. Το πρόβλημα όμως της διαχείρισης των υδατικών πόρων δεν είναι μόνο ποσοτικό (λειψυδρία) αλλά και ποιοτικό, ενώ συνδέεται και με τη διάβρωση, η οποία μειώνει την ικανότητα αποθήκευσης του νερού στο έδαφος.

Η ρύπανση και γενικά όλες οι ανεπιθύμητες ποιοτικές αλλαγές στους υδατικούς πόρους δεν είναι πάντοτε αναστρέψιμες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ο κίνδυνος υφαλμύρωσης των υπόγειων υδάτων και παράκτιων υδροφορέων (λόγω υπεράντλησης), ειδικά στις παράκτιες πεδινές γεωργικές εκτάσεις, και η άμεση ρύπανση πηγών νερού από τα απόβλητα (κυρίως υγρά), τα φυτοφάρμακα και τα χημικά λιπάσματα. Έτσι, παρατηρείται σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων. Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η Ελλάδα είναι το πρόβλημα της εισαγόμενης ρύπανσης, καθώς το 25% των επιφανειακών υδάτων της Ελλάδας προέρχεται από γειτονικές χώρες, μέσω των ποταμών Έβρου, Νέστου, Στρυμόνα και Αξιού.

Οι περιοχές της Μεσογείου και οι ακτές της Ευρώπης ή της Βόρειας Αφρικής έχουν αυξημένη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και μεγάλη ηλιοφάνεια κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Η μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια κυμαίνεται ανάλογα με την τοποθεσία από 1800 έως 2100 kWh/m², ενέργεια η οποία θεωρείται κατάλληλη για δυαδικές εγκαταστάσεις παραγωγής τόσο ενέργειας, όσο και αφαλατωμένου νερού.

Επί πλέον τα περισσότερα νησιά της Μεσογείου όσο και οι ακτές της διαθέτουν ελεύθερη εδαφική επιφάνεια που επιτρέπει εγκαταστάσεις αφαλάτωσης όλων των μεθόδων. Ως μία από τις πιο άνομβρες χώρες της Ευρώπης παρουσιάζεται η Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat, ενώ το 38% του νερού που αποταμιεύεται από τις βροχοπτώσεις μένει αναξιοποίητο.

Ειδικότερα στην Ελλάδα η λύση της ηλιακής απόσταξης προτιμάται για απόμακρες κοινότητες και περιοχές με έλλειψη νερού, όπως νησιωτικές. Σε συνδυασμό με το γεγονός των υψηλών επιπέδων ακτινοβολίας στα ελληνικά νησιά πολλούς μήνες το χρόνο, συστήματα ηλιακής απόσταξης που χρησιμοποιούν ηλιακούς συλλέκτες μπορούν αρκετά ικανοποιητικά και με πολύ καλά αποτελέσματα να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή όχι μόνο αφαλατωμένου νερού αλλά και ζεστού νερού χρήσης.²³

6.2 Η πρόοδος της αφαλάτωσης στην Ελλάδα

Τα νησιά που θεωρούνται άνυδρα, δηλαδή παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα λειψυδρίας είναι: Νίσυρος, Μεγίστη, Χάλκη, Αγαθονήσι, Λειψοί και Σύμη, Κίμωλος, Σαντορίνη, Τήνος, Ίος, Κέα, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Κύπρος, Πάτμος. Πρόβλημα επίσης εντοπίζεται και στην Θεσσαλία. Μόνο από πέρυσι τα αποθέματα σε Μαραθώνα, Υλίκη, Μόρνο και Εύηνο μειώθηκαν κατά 339 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, υπήρξε δηλαδή μια μείωση που έφτασε το 26,4%. Για την επιλογή της μεθόδου αφαλάτωσης θα πρέπει να προηγηθεί διεξοδική και εμπεριστατωμένη προκαταρκτική έρευνα κοινή για όλα τα νησιά. Αντικείμενο της ερευνητικής μελέτης θα είναι η συλλογή στοιχείων και εμπειρίας από τη διεθνή εφαρμογή της αφαλάτωσης, προκειμένου να επιλεγεί για τα νησιά η βέλτιστη μέθοδος.

Στόχος είναι η ίδρυση νέων μονάδων αφαλάτωσης καθώς και η συντήρηση και αναβάθμιση των ήδη υπαρχόντων ώστε να δοθεί λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας.

Στην Ελλάδα στα νησιά Νίσυρος, Κίμωλος, Κεφαλονιά, Ιθάκη και Καστελόριζο υπάρχουν εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης για την ύδρευση με πόσιμο νερό με μέση επιφάνεια εξάτμισης 2.450 m². Οι εγκαταστάσεις αυτές σχεδιάστηκαν να παράγουν ανάλογα με την κατασκευαστική διάταξη και το κλίμα από 7,5 μέχρι 15 m² πόσιμο νερό ανά m² την ημέρα.

²³ Eftihia Tzen, Marios Sigalas, «Clean water», Refocus, pages 30-31, 2004

Η παλαιότερη μονάδα αφαλάτωσης στη νήσο Πάτμο είναι αρκετά μεγάλη. Σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και τέθηκε σε λειτουργία από τον καθηγητή Δρ. Α. Δεληγιάννη και την σύζυγό του. Η μονάδα αυτή είχε επιφάνεια εξάτμισης 8,665 m² και παρήγαγε κατά μέσο όρο 25.000 λίτρα νερού την ημέρα. Η δεξαμενή που ήταν γεμάτη με θαλασσινό νερό είχε επενδυθεί με μαύρο φύλλο βουτυλικού ελαστικού. Το περιεχόμενο θαλασσινό νερό που επικαλυπτόταν με γυαλί είχε βάθος μόνο 2cm. Το θαλασσινό νερό έφθανε τους 60-70° C με την θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και αλλαζόταν κάθε 2-4 ημέρες ανάλογα με την εποχή του έτους. Η απομακρυσμένη άλμη είχε περιεκτικότητα σε αλάτι σχεδόν τριπλάσια από την αρχική. Πριν την κατασκευή της μονάδας το πόσιμο νερό προερχόταν από τις βροχοπτώσεις και την προμήθεια από δεξαμενόπλοια.²⁴

Στα νησιά Σύμη και Αίγινα οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (που αργότερα σταμάτησαν να λειτουργούν) είχαν καλυφθεί με πλαστικό, ενώ στην Πάτμο με γυαλί. Σε σύγκριση με αυτές τις δύο πρωτοπόρους εγκαταστάσεις η εγκατάσταση της Πάτμου παρουσίαζε αξιοσημείωτες βελτιώσεις. Η κατασκευή του καλύμματος ήταν ανθεκτικότερη. Επίσης είχε δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε όλα τα μέρη να είναι επισκέψιμα. Η εγκατάσταση ήταν διαιρεμένη σε 71 μονάδες ανά 3,29 cm x 40m η καθεμία που συγκροτούνταν σε ομάδες. Ενώ στην Σύμη υπήρχε υπερχείλιση μέσα στον αποστακτήρα, στην Πάτμο η στάθμη της θάλασσας ελεγχόταν έξω από την συσκευή. Έτσι αποφεύχθηκε ο σχηματισμός κρυστάλλων θειικού ασβεστίου στα διάφορα σημεία της δεξαμενής.²⁵

6.2.1 Έργα σε λειτουργία του Ομίλου Vector

N. Θηρασιά 1994

Ανάπτυξη και επίδειξη αυτόνομης αιολικής μονάδας αφαλάτωσης N. Θηρασίας.

Το έργο ισχύος 15kW, 5 m³ / ημ. χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα APAS RENACT94-0055 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και υλοποιήθηκε σε συνεργασία με την Αναπτυξιακή Ε

²⁴ J.K. Kaldellis, E.M. Kondili, "The water shortage problem in the Aegean archipelago islands: cost-effective desalination prospects", p.123-138, 2007

²⁵ J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias, E. Kondili, "Renewable energy desalination plants for the Greek islands, technical and economic considerations", p.187-203, 2004

N. Σύρος 1997

Ανάπτυξη και επιδεικτική λειτουργία αιολικής μονάδας αφαλάτωσης 500 kW, 2ης γενιάς (Σύρος). Το έργο χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα Joule (JOR3-CT95-0018) και υλοποιήθηκε σε συνεργασία με το Ε.Μ.Π.

6.2.2 Μονάδες Αντίστροφης Οσμωσης στα Ελληνικά Νησιά

Περιοχή	Ημ/νία εγκατάστασης	Κμ/ ημέρα	Νερό
Ορνός	1989	1,200	θαλασσινό
Μύκονος			
Ερμούπολις	1989	1,200	θαλασσινό
Σύρος	1993	800	
Κίτι	1998/99	960	
Σύρος	1993	144	θαλασσινό
Οία	1994	400	θαλασσινό
Σαντορίνη	1998	150	
Θηρασιά	1997	200 1/h	θαλασσινό
Ομηρούπολις	2000	600	υφάλμυρο
Νίσυρος	1991	300	θαλασσινό
Ιθάκη	1983	500	θαλασσινό

6.2.3 Ελλάδα: Η πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στον κόσμο

Η πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στον κόσμο είναι έτοιμη να τοποθετηθεί στην Ηρακλεία. Η μονάδα αυτή, όπως και οι άλλες που θα ακολουθήσουν, είναι ελληνικής κατασκευής και ελληνικής τεχνολογίας και έχουν πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις κοινές μονάδες που λειτουργούν στην ξηρά.

Αρχικά, οι μονάδες αυτές τοποθετούνται μέσα στην θάλασσα όπου οι άνεμοι είναι ισχυρότεροι και σταθεροί. Επίσης, δεν επιβαρύνει το περιβάλλον (καθώς δεν συνδέεται με το δίκτυο της ΔΕΗ και κατ' επέκταση δεν ξοδεύει καθόλου ρεύμα) αφού λειτουργεί αποκλειστικά με αιολική και ηλιακή ενέργεια. Αφαλατώνει πολύ μεγαλύτερες ποσότητες νερού, με πολύ μικρότερο κόστος, ενώ έχει ειδικό σύστημα για να μειώνει τον κυματισμό στην περιοχή λειτουργίας του.

Τρεις ακόμα πλωτές μονάδες κατασκευάζονται (σε αρκετά μικρότερο κόστος από την αρχική) οι οποίες θα είναι πολύ μεγαλύτερες της αρχικής και θα έχουν τριπλάσια παραγωγικότητα. Οι νέες μονάδες θα τοποθετηθούν στην Σύμη, στην Αμοργό και σε ένα νησί των Κυκλάδων.



Οι μονάδες αυτές θα ελαττώσουν το πρόβλημα της υδροδότησης των νησιών, ωστόσο οι ειδικοί υποστηρίζουν πως στο μέλλον χρειαστούν και άλλες μονάδες για να καλύψουν την ζήτηση, κυρίως κατά την τουριστική περίοδο.

6.2.4 Μονάδα Αφαλάτωσης Δεκέλειας

Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης μεγάλης δυναμικότητας που λειτουργεί στην Κύπρο είναι αυτή της Δεκέλειας όπου χρησιμοποιείται η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης. Η Μονάδα Αφαλάτωσης Δεκέλειας λειτούργησε την 1η Απριλίου 1997, με δυναμικότητα 20 000 κυβικά μέτρα νερού την ημέρα, ενώ από τις 18 Μαΐου 1998, η δυναμικότητα της Μονάδας αυξήθηκε στα 40 000 κυβικά μέτρα. Το παραγόμενο νερό καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες της ελεύθερης περιοχής Αμμοχώστου, μέρος των αναγκών της Λάρνακας και μέρος των αναγκών της Λευκωσίας.



Σχήμα 6.2.4.1 Γενική άποψη της Μονάδας Αφαλάτωσης Δεκέλειας

6.2.5 Σταθμός αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη Μήλο

Ένα πρωτοποριακό έργο, το πρώτο στην Ελλάδα, το οποίο συμβάλλει όχι μόνο στην αυτονομία του νησιού, αλλά και στην ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του, καθώς και στην ανάπτυξη του νησιού γενικότερα. Η λειτουργία του έργου επιτυγχάνει την πλήρη υποκατάσταση του ύδατος που μέχρι πρότινος προερχόταν από μεταφορά υδροφόρων πλοίων ή από τοπικές γεωτρήσεις με πόσιμο νερό άριστης ποιότητας.

Η μονάδα της Μήλου έχει σχεδιαστεί, ώστε να καλύπτει πλήρως, τόσο τις βραχυπρόθεσμες ανάγκες του νησιού σε νερό, καλύπτοντας, μάλιστα, και τις καλοκαιρινές αιχμές του συστήματος, όσο και τις μακροπρόθεσμες ανάγκες του σε ορίζοντα εικοσαετίας, με πρόβλεψη επέκτασής της το 2015 κατά 1.120 m³/d, με το σκεπτικό των πανομοιότυπων δομικών μονάδων (modular units) που επεκτείνουν τη δυναμικότητα, συνδεόμενες μεταξύ τους.

Ο ΟΜΙΛΟΣ ΙΤΑ, μέσω της θυγατρικής εταιρείας του «Αιολική Μήλου», έχει εγκαταστήσει και λειτουργεί από το περασμένο καλοκαίρι στη Μήλο μια μονάδα αφαλάτωσης, δυναμικότητας 2.600 κυβ. μετρ. πόσιμου νερού την ημέρα, που μπορεί να καλύψει όλες τις ανάγκες του νησιού. Η μονάδα αυτή αντισταθμίζει την απαιτούμενη για τη λειτουργία της ηλεκτρική ενέργεια από ίση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προέρχεται από μια ανεμογεννήτρια ισχύος 600 kW, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο μηδενική επιβάρυνση στο περιβάλλον και ταυτόχρονα υψηλής ποιότητας πόσιμο νερό σε χαμηλή τιμή.

Το όλο, επίσης, σύστημα αντιστάθμισης ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες χρήσιμες πληροφορίες, όπως π.χ. τα αποθέματα νερού στις δεξαμενές, την ποιότητα του νερού, τα δρομολόγια των πλοίων, τα διαθέσιμα κρεβάτια στα ενοικιαζόμενα δωμάτια του νησιού κ.τ.λ., παρέχονται από ένα εξελιγμένο ηλεκτρονικό σύστημα SCADA, που η εταιρεία ανέπτυξε γι' αυτόν το σκοπό, και καταγράφονται σε οθόνες που υπάρχουν σε καίρια σημεία του νησιού, όπως στο δημαρχείο και στο λιμάνι άφιξης των πλοίων. «Ο Όμιλος Εταιρειών ΙΤΑ αντιμετώπισε το πρόβλημα της λειψυδρίας της Μήλου με ασφαλή, οικονομικό, προηγμένης τεχνολογίας και, προπάντων, οικολογικό τρόπο» αναφέρει η διοίκηση της εταιρείας.

Σημειώτέον ότι δεν υπάρχει κανένα όριο στη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, διότι είναι σχεδιασμένη και κατασκευάζεται στη βάση των modules, γεγονός που συντελεί στην εύκολη και γρήγορη επεκτασιμότητά της, ανάλογα με τις ανάγκες παραγωγής νερού.

Έχει δοθεί, βέβαια, η δέουσα προσοχή στη χωροθέτηση της μονάδας, έτσι ώστε να μην υπάρχει καμία επιβάρυνση στο φυσικό περιβάλλον. Δε χρησιμοποιούνται επικίνδυνες ουσίες και η απαιτούμενη για τη λειτουργία της μονάδας ενέργεια εξασφαλίζεται από τον άνεμο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αρχιτεκτονική σχεδίαση του έργου έχει πραγματοποιηθεί από τον αρχιτέκτονα Αλέξανδρο Τομπάζη, τον πρωτοπόρο της οικολογικής (βιοκλιματικής) αρχιτεκτονικής στην Ελλάδα.

Τα εγκαίνια του έργου έγιναν στις 23.05.08 στο νησί της Μήλου, παρουσία εκπροσώπων της κυβέρνησης, τοπικών αρχών και πλήθους κόσμου.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Ειδικότερα, για την παραγωγή πόσιμου νερού, χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό μετά από επεξεργασία, αφαλάτωση και, εν συνεχεία, εμπλουτισμό. Η μέθοδος αφαλάτωσης που επιλέχθηκε είναι η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO), η οποία βασίζεται, κυρίως, στην τεχνολογία ειδικών μεμβρανών, με εφαρμογή υψηλής πίεσης νερού, και χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, ο σχεδιασμός της μονάδας αφαλάτωσης της Μήλου βασίζεται στη χρήση των πλέον αξιόπιστων υλικών, καθώς και της πλέον σύγχρονης τεχνολογίας αντίστροφης ώσμωσης, που επιτρέπει την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και χημικών και έχει ως βασική κατεύθυνση τη βελτιστοποίηση της λειτουργικής αποδοτικότητας και αξιοπιστίας.

Είναι σημαντικό, επίσης, να τονιστεί ότι, σε αντίθεση με άλλες παρόμοιες εφαρμογές αφαλάτωσης, στη μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου, χάρη στο σχεδιασμό της και στην τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιήθηκε, δεν πραγματοποιείται προχλωρίωση – αποχλωρίωση και δοσομέτρηση θειικού οξέος στην είσοδο των μεμβρανών, ούτε στο παραγόμενο νερό, και, γενικά, έχει επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή χρήση χημικών.

Το θαλασσινό νερό που αντλείται από τη θάλασσα περνάει αρχικά από μια φάση προεπεξεργασίας, με αυτόματα πολυστρωματικά φίλτρα για την κατακράτηση ξένων σωμάτων και οργανισμών. Ως χημικό προκατεργασίας χρησιμοποιείται μόνο αντικαθαλατωτικό, κατάλληλο για χρήση σε μονάδες αφαλάτωσης παραγωγής πόσιμου νερού.

Με το πρωτοποριακό αυτό σύστημα ανακτάται το 97% της πίεσης του συμπυκνώματος και μεταφέρεται στο φρέσκο θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται εντυπωσιακά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, προσφέροντας παράλληλα υψηλή απόδοση και λειτουργική αξιοπιστία, ακόμα και για σημαντικές μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας της μονάδας (αλατότητα, θερμοκρασία

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης παράγεται από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, με την επέκταση του υφιστάμενου Αιολικού Πάρκου της Αιολικής Μήλου Α.Ε. στη θέση «Κουτσουνόρρα-χη» με μία νέα ανεμογεννήτρια ισχύος 850 kW. Ουσιαστικά, δηλαδή, η ηλεκτρική ενέργεια την οποία καταναλώνει η μονάδα αφαλάτωσης από το δίκτυο αντισταθμίζεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εγχέεται στο δίκτυο από την ανεμογεννήτρια.

<http://www.elsevier.com/locate/jbiotec>

for the political movement, and the latter has been the dominant force in the development of the movement. The movement has been a response to the political and economic conditions in the country, and it has been a response to the political and economic conditions in the country. The movement has been a response to the political and economic conditions in the country, and it has been a response to the political and economic conditions in the country.

[illegible]

Abstract: *Staphylococcus aureus* is a leading cause of nosocomial infection. The purpose of this study was to determine the prevalence of *S. aureus* in the nasal cavity of patients in a tertiary care hospital. A total of 100 patients were enrolled in the study. The prevalence of *S. aureus* in the nasal cavity was 100%. The results of this study suggest that *S. aureus* is a common pathogen in the nasal cavity of patients in a tertiary care hospital.

By attending your doctor's office and following the instructions of the doctor, you can help to prevent the development of a new infection. If you have a new infection, you should see your doctor as soon as possible. If you have a new infection, you should see your doctor as soon as possible.

(1991, 1993, 1995b). The findings presented here suggest additional research, testing the role of gender and gender communication in the development of the adolescent's self-concept and the development of a positive self-image. Furthermore, it is suggested that the gender of the adolescent may be an important factor in the development of the adolescent's self-concept and the development of a positive self-image.

74

Ανακεφαλαιώνοντας, ο συνδυασμός της μονάδας αφαλάτωσης με τη χρήση της αιολικής ενέργειας οδηγεί σε βέλτιστα οικονομικά και τεχνικά αποτελέσματα για το νησιωτικό περιβάλλον και για τους κατοίκους της Μήλου, προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης. Πρόκειται για μια επένδυση που περιλαμβάνει σύγχρονη τεχνολογία και μεθοδολογία σε πλήρη τεχνολογική και επιχειρηματική ωριμότητα.²⁶

6.3 Εφαρμογές υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης

Στο πλαίσιο της προστασίας του περιβάλλοντος, μια εναλλακτική εφαρμογή των συστημάτων αφαλάτωσης, όσον αφορά στις ενεργειακές τους καταναλώσεις, είναι ο συνδυασμός τους με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών είναι τεχνικά εφικτός και έχει πλέον αρκετές εφαρμογές παγκοσμίως. Η πλειονότητα των εφαρμογών αυτών αφορά σε μικρές, αυτόνομες πιλοτικές μονάδες που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο εθνικών ή κοινοτικών προγραμμάτων. Μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί παγκοσμίως πάνω από 100 εφαρμογές συνδυασμού των δύο τεχνολογιών για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές αυτές είναι “custom designed”, για συγκεκριμένες περιοχές και κάνουν χρήση κυρίως ηλιακής και αιολικής ενέργειας για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Η μέχρι σήμερα έρευνα και λειτουργία πιλοτικών συστημάτων έχουν αποδείξει ότι υπάρχουν τεχνολογίες που είναι αρκετά υποσχόμενες όσον αφορά στη δυνατότητα κάλυψης μιας περιοχής με νερό καλής ποιότητας σε κόστος συγκρίσιμο ή χαμηλότερο σε ορισμένες περιπτώσεις από άλλες πηγές νερού. Το πόσο εφικτός ή «πολλά υποσχόμενος» είναι ένας συνδυασμός αφαλάτωσης με ΑΠΕ εξαρτάται από παραμέτρους όπως το δυναμικό ΑΠΕ (αιολικό δυναμικό, ηλιακό δυναμικό), η ποιότητα νερού τροφοδοσίας (υφάλμυρο ή θαλασσινό), η ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας αφαλάτωσης, κλπ.

Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες εφαρμογές συνδυάζουν την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης με την ηλιακή (χρήση φωτοβολταϊκών) και την αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτριες). Επίσης ένας σημαντικός αριθμός εφαρμογών αφορά στο συνδυασμό ηλιακών θερμικών συστημάτων με τεχνολογίες εξάτμισης και κυρίως με την τεχνολογία πολλαπλής εξάτμισης ατμών (MED). Ελάχιστες εφαρμογές αφορούν

²⁶ Γιάννης Τσιπουρίδης, Άρθρο του περιοδικού: «Energy Point» με τίτλο: «Σταθμός αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη Μήλο», Τεύχος 15, Σεπτέμβριος 2008

στο συνδυασμό των υπόλοιπων τεχνολογιών, αιολική ενέργεια με μηχανική συμπίεση ατμών (MVC), φωτοβολταϊκά με ηλεκτροδιάλυση, ηλιακά θερμικά με εξάτμιση πολλαπλών σταδίων (MSF) και γεωθερμία με τεχνολογία πολλαπλής εξάτμισης ατμών (MED).

Η απαίτηση των τεχνολογιών αφαλάτωσης για σταθερή ισχύ και συνεχή λειτουργία προϋποθέτει ιδιαίτερο σχεδιασμό και χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα. Για τη μείωση του κόστους έχουν γίνει προσπάθειες για την αποφυγή της χρήσης συσσωρευτών που εξασφαλίζουν την παροχή σταθερής ισχύος στη μονάδα αφαλάτωσης αλλά και την αποθήκευση ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα. Συστήματα που αναπτύχθηκαν και λειτούργησαν χωρίς τη χρήση αποθήκευσης ενέργειας δεν έχουν αποδείξει ακόμη την επίδοσή τους.

Από τις υπάρχουσες εφαρμογές το κόστος του παραγόμενου νερού από μονάδες αντίστροφης ώσμωσης με ΑΠΕ κυμαίνεται από 2,5-10 ευρώ/κ.μ (Πίνακας 1). Σημειώνεται ότι το κόστος αυτό είναι ενδεικτικό εφόσον οι περισσότερες από τις εφαρμογές είναι μικρές πιλοτικές μονάδες και όχι μονάδες που λειτουργούν υπό πραγματικές συνθήκες. Το κόστος του παραγόμενου νερού ανά μονάδα κυβικού από τα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως από τη διαθεσιμότητα του δυναμικού ΑΠΕ, την αγωγιμότητα του νερού τροφοδοσίας, το μέγεθος του συστήματος, το σχεδιασμό της μονάδας, κλπ.

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) στην Ελλάδα σε συνεργασία με δύο ελληνικές εταιρείες, τις Photovoltaic και Advice, εργάζονται επιτυχώς στην ανάπτυξη και λειτουργία μίας αυτόνομης μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού οδηγούμενης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος. Ανέπτυξε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα αντίστροφης ώσμωσης για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Το σύστημα αποτελείται από μονάδα αντίστροφης ώσμωσης με δυνατότητα ωριαίας παραγωγής πόσιμου νερού 130 λίτρα, ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 900 W, φωτοβολταϊκό σύστημα 3,96 kWp, ρυθμιστές φόρτισης, συσσωρευτές ενέργειας και δυο μετατροπείς ισχύος. Στο πλαίσιο του έργου αναπτύχθηκε επίσης λογισμικό πρόγραμμα για την παρακολούθηση και τη λειτουργία του συστήματος εξ αποστάσεως. Το σύστημα λειτουργεί από το 2001 με επιτυχία και με στόχο τη διάδοση και προώθηση τέτοιων συστημάτων σε απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές. Η μονάδα έχει εγκατασταθεί στο Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ στην Κερατέα.

Στην Ελλάδα, δύο από τις πιο πρόσφατες εφαρμογές αφορούν στην ανάπτυξη και εγκατάσταση συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης με ΑΠΕ στο πλαίσιο του

Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητας. Συγκεκριμένα, το πρώτο έργο αφορά στη σχεδίαση και εγκατάσταση μονάδας Α/Ο θαλασσινού νερού, ημερήσιας παραγωγής 2x1000 κ.μ. στη Μήλο²⁷. Μια ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 850 kW συνδεδεμένη στο δίκτυο παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια στη μονάδα αφαλάτωσης. Από σχετική αναφορά, η ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης κυμαίνεται στις 2,23-2,5 kWh/κ.μ. λόγω της χρήσης συστήματος ανάκτησης ενέργειας και αντλιών υψηλής απόδοσης. Όπως επίσης αναφέρεται, το κόστος για την προμήθεια του πόσιμου νερού από τη μονάδα αφαλάτωσης στον τελικό αποδέκτη ανέρχεται στα 1,8 ευρώ/κ.μ. (για 10 έτη με τιμαριθμική προσαρμογή) συμπεριλαμβανομένου του κόστους υποδομής και της εγκατάστασης της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης και της ανεμογεννήτριας.

Το δεύτερο έργο αφορά στη σχεδίαση και κατασκευή μιας πιλοτικής πλωτής μονάδας αντίστροφης ώσμωσης με ανεμογεννήτριες και φωτοβολταικά. Η καινοτόμα αυτή μονάδα έχει εγκατασταθεί στη νήσο Ηρακλεία, με σκοπό τη δοκιμαστική λειτουργία της και την κάλυψη μέρους των αναγκών νερού του νησιού. Η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης έχει ονομαστική δυναμικότητα παραγωγής νερού 3,3 κ.μ./ώρα. Το σύστημα είναι αυτόνομο και καλύπτει τις ενεργειακές του απαιτήσεις κυρίως από μια ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 30 kW. Το κόστος του παραγόμενου νερού αναμένεται να είναι υψηλό λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής του συστήματος πλεύσης αλλά και του αναμενόμενου κόστους συντήρησης του.

Επίσης το 2008, στο πλαίσιο του Κοινοτικού έργου τέθηκαν σε λειτουργία 9 μονάδες αντίστροφης ώσμωσης σε συνδυασμό με φωτοβολταικά, οι οποίες λειτουργούν υπό πραγματικές συνθήκες και καλύπτουν βασικές ανάγκες σε πόσιμο νερό σε απομακρυσμένες περιοχές στο Μαρόκο, την Ιορδανία, και την Τουρκία.

Όσον αφορά μεγαλύτερα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης σε συνδυασμό με ΑΠΕ και την παράλληλη σύνδεσή τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, πέραν των εφαρμογών που ήδη υπάρχουν, πρέπει να αναφερθεί ότι στην αγορά υπάρχουν πλέον εμπορικές εταιρίες που παρέχουν ολοκληρωμένα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Οι πρώτες πραγματικές εφαρμογές σε μεγάλη κλίμακα, καθώς και τα αποτελέσματά τους αναμένονται τα επόμενα χρόνια.²⁸

²⁷ «Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005

²⁸ Διπλωματική εργασία –Παραμετρική μελέτη ηλιακής συσκευής

7ο ΜΕΡΟΣ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας

Ας αναφερθούμε αρχικά στις θετικές πλευρές της χρήσης ΑΠΕ για την αφαλάτωση. Καταρχάς, είναι σύνηθες φαινόμενο, στις απομονωμένες περιοχές όπου παρουσιάζεται η έλλειψη νερού και υπάρχει δυσκολία στην παροχή ενέργειας από συμβατικές πηγές, να υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα στοιχείων της φύσης, σε τέτοια μεγέθη ώστε να επιτρέπεται η εκμετάλλευσή τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις η επιλογή των ΑΠΕ αποτελεί μονόδρομο για την λειτουργία αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης.

Κλιματικοί λόγοι επηρεάζουν την διαθεσιμότητα των ΑΠΕ σε εποχική βάση. Παρόλα αυτά, τις εποχές που η ζήτηση νερού είναι αυξημένη, όπως το καλοκαίρι όπου η τουριστική περίοδος είναι στο ζενίθ της, είναι μεγάλη και η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ, όπως της ηλιακής ακτινοβολίας και της αιολικής ενέργειας, οπότε η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από την παραγωγή.

Η λειτουργία και η τεχνολογία τόσο των ΑΠΕ όσο και της μονάδας αφαλάτωσης πρέπει να ελέγχεται και να διαχειρίζεται τοπικά, καθώς η παροχή εξωτερικής βοήθειας και εξειδικευμένου τεχνικού προσωπικού είναι κατά κανόνα δύσκολη στα μέρη αυτά. Γι' αυτό εκμεταλλευόμαστε το πλεονέκτημα των ΑΠΕ, οι οποίες είναι πιο εύκολες στην λειτουργία και την συντήρηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Επίσης, με αυτό τον τρόπο στηρίζεται η τοπική κοινωνία και η οικονομία της, μιας και γίνεται χρήση τοπικού ανθρώπινου δυναμικού αλλά και φυσικών πόρων της περιοχής.

Επίσης με την χρήση των ΑΠΕ επιτυγχάνεται διαφοροποίηση στην προμήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν υπάρχει πλέον η εξάρτηση από τους μεγάλους παραγωγούς και προμηθευτές, το μονοπώλιο καταρρέει και οι οικονομικές διακυμάνσεις είναι πιο δύσκολο να πλήξουν την κοινωνία. Πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη σημασία σε αυτό το στοιχείο καθώς οι περιοχές όπου απαιτείται να εφαρμοστεί η λύση της αφαλάτωσης αντιμετωπίζουν προβλήματα ανάπτυξης, τα οποία είναι εύκολο να επιδεινωθούν καθώς η διαδικασία της αφαλάτωσης είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα και απαιτεί σημαντικό κεφάλαιο.

Δεν πρέπει να παραλείψουμε το γεγονός ότι στην εποχή μας, όπου η μόλυνση του

περιβάλλοντος απειλεί ολοένα και περισσότερο και η εκπομπή των ρύπων περιορίζεται αυστηρά από το πρωτόκολλο του Κιότο, η παράβαση του οποίου επισύρει αυστηρές ποινές, η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα πρέπει, στον βαθμό που είναι δυνατό, να αποφευχθεί. Έτσι, οι ΑΠΕ φαντάζουν ως ιδανική λύση για την αφαλάτωση, μιας και η κατανάλωση ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή.

Η λύση στα μεγάλα ενεργειακά αποθέματα που απαιτεί η αφαλάτωση, όπως προαναφέραμε, δεν είναι άλλη από την χρησιμοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η λύση αυτή όμως δεν αποτελεί πανάκεια. Απαιτείται μελέτη της κάθε περίπτωσης αναλυτικά καθώς πρέπει να διερευνηθεί το δυναμικό της κάθε μορφής ΑΠΕ στην περιοχή ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη. Πρέπει να γίνει τεχνικοοικονομική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η διαθεσιμότητα της κάθε τεχνολογίας και η εμπορική της ωριμότητα, η δυνατότητα εφαρμογής της στην κάθε περίπτωση, οι υπάρχουσες υποδομές καθώς και αυτές που απαιτείται να γίνουν, το κόστος της επένδυσης και της εγκατάστασης.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ένας πίνακας που κατασκευάστηκε για να φανερώσει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από κάθε Α.Π.Ε.

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ηλιακή ενέργεια	• Πάντοτε παρούσα • Δεν ρυπαίνει • Διαφέρει με την ώρα και την τοποθεσία	• Μικρή απόδοση • Υψηλό αρχικό κόστος • Πρόβλημα αποθήκευσης • Υψηλό κόστος στον καταναλωτή
Αιολική	• Ευέλικτη, ακόμη και σε μεμονωμένα σπίτια • Έχει συνεισφορά σε ανεμοδαρμένες περιοχές	• Μεταβλητή λειτουργία • Μικρή απόδοση (30%) • Οπτική ρύπανση

Σχήμα 7.1.1: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των μορφών Α.Π.Ε. που αναλύονται

Οι μελέτες των τελευταίων ετών στρέφονται στην υβριδική τεχνολογία που συνδυάζει τις δύο προαναφερόμενες μορφές Α.Π.Ε. για μικρότερο κόστος και καλύτερη λειτουργικότητα σε οποιεσδήποτε συνθήκες.

7.2 Πόσο εφικτό είναι στο μέλλον να χρησιμοποιηθεί ευρέως η αφαλάτωση με χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας

Η διεύθυνση των ΑΠΕ στις εφαρμογές αφαλάτωσης που υπάρχουν ανά τον κόσμο είναι πολύ μικρή ακόμα αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση για ανατροπή αυτής της κατάστασης. Οι αιτίες για αυτή την μικρή συμμετοχή είναι ποικίλες και συχνά συνδέονται μεταξύ τους.

Ο πρώτος λόγος έχει να κάνει με τεχνολογικά ζητήματα, που αφορούν τόσο τις ΑΠΕ όσο και τις διάφορες διαδικασίες αφαλάτωσης. Αν και αυτές οι τεχνολογίες είναι ώριμες μέχρι ενός βαθμού υπάρχουν ακόμα περιθώρια για περαιτέρω βελτίωση. Επίσης υπάρχει η πρόκληση για την επίτευξη του βέλτιστου τεχνολογικού σχεδιασμού του συστήματος που θα αφορά τόσο την εκμετάλλευση των ΑΠΕ όσο και την διαδικασία της αφαλάτωσης.

Ανασταλτικός παράγοντας είναι και το κόστος της επένδυσης, ειδικά όσο αφορά την παραγωγή της ενέργειας. Αν και οι τιμές είναι σε διαρκή καθοδική πορεία, το κόστος της τεχνολογίας των ΑΠΕ και άλλων συνοδευτικών εξαρτημάτων είναι απαγορευτικό και κάνει τις επενδύσεις μη βιώσιμες. Αν και η αξία του πόσιμου νερού σε περιοχές που δεν έχουν την δυνατότητα να το απολαύσουν με άλλο τρόπο δεν πρέπει να εκτιμάται βάσει χρημάτων και οικονομικών μεγεθών.

Αν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως δηλώνει και το όνομα τους, είναι απεριόριστες και δεν εξαντλούνται, εν τούτοις ο εφήμερος χαρακτήρας τους θέτει περιορισμούς στην μέγιστη αξιοποίηση τους. Η γεωγραφική τους διασπορά προκαλεί ένα ακόμα πρόβλημα καθώς η θέση στην οποία συμφέρει να γίνει η εκμετάλλευση τους μπορεί να μην συμπίπτει με τον τόπο όπου υπάρχει το πρόβλημα της λειψυδρίας.

Οι ελλείψεις σε εξοπλισμό, τεχνογνωσία και υποδομές των απομονωμένων περιοχών αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα. Έτσι καθίσταται δύσκολη η εφαρμογή μεθόδων υψηλής τεχνολογίας σε τέτοια μέρη καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της αποτυχίας λόγω της αδυναμίας παροχής αξιόπιστης τεχνικής υποστήριξης.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η χρήση των ΑΠΕ αυξάνει κατά πολύ το κόστος της επένδυσης, και ιδιαίτερα, όσο πιο πολύπλοκος είναι ο συνδυασμός των ΑΠΕ, πχ ένα υβριδικό σύστημα, τόσο πιο ακριβή γίνεται η επένδυση. Το κόστος αυτό όμως αντισταθμίζεται από τα πολλαπλά οφέλη που έχουμε, ακριβώς λόγω της χρήσης των ΑΠΕ. Αυτά είναι η μείωση της ενέργειας που αντλείται από το δίκτυο, που ειδικά σε περιόδους αιχμής είναι πολύ σημαντική. Αυξάνεται η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ και το πιθανό περίσσειμα μπορεί να δοθεί προς χρήση στο δίκτυο. Μειώνεται η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και το κόστος για την αγορά

αυτών, ιδιαίτερα στις μέρες μας που οι τιμές τους είναι σε διαρκή άνοδο. Έτσι, επιτυγχάνεται και μείωση των αερίων που είναι υπαίτια για το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και των χρημάτων που απαιτούνται για τον περιορισμό τους. Η γενική άποψη είναι ότι μπροστά σε όλα αυτά τα οφέλη μια μικρή αύξηση του ισοσταθμισμένου κόστους νερού είναι ασήμαντη.

7.3 Τεχνικά Αποτελέσματα

Πολύ σημαντική είναι και η προσαρμογή της μορφής ΑΠΕ που θα επιλεγεί με την κατάλληλη για αυτή μέθοδο αφαλάτωσης. Με την λέξη προσαρμογή εννοούμε το ταίριασμα των χαρακτηριστικών της ενέργειας που παράγεται με τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες της μεθόδου αφαλάτωσης που έχουμε επιλέξει. Σε περίπτωση που η προσαρμογή δεν επιτυγχάνεται το αποτέλεσμα είναι χαμηλότερη απόδοση τους συστήματος, υπολειτουργία, εμφάνιση προβλημάτων και σφαλμάτων ακόμα και καταστροφή κάποιων τμημάτων της μονάδας. Ένα παράδειγμα μη προσαρμογής είναι η χρήση κάποιας μεθόδου που απαιτεί συνεχή και σταθερή παροχή ενέργειας με κάποια μορφή ΑΠΕ που η κυματομορφή της παρεχόμενης ενέργειας δεν είναι ευθεία γραμμή αλλά περιλαμβάνει πολλές διακυμάνσεις, γρήγορες μεταβάσεις στα ακρότατα της και, γενικά η μορφή της είναι στοχαστική και τυχαία. Σε μια τέτοια περίπτωση εκτός από τις μεγάλες απώλειες ενέργειας, καθώς δεν είναι δυνατή η πλήρης εκμετάλλευση της, και τα προβλήματα που αυτή προκαλεί, όπως η απόρριψη της πλεονάζουσας ενέργειας, έχουμε και την προβληματική λειτουργία της διαδικασίας της αφαλάτωσης καθώς μειώνεται η παραγωγή του πόσιμου νερού και επιβαρύνεται η λειτουργία κάποιων τμημάτων της εγκατάστασης.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι ανάλογα με την πηγή ενέργειας που έχουμε επιλέξει η ενέργεια που θα παράγεται μπορεί να είναι και σε διαφορετική μορφή. Οι πιθανές μορφές είναι η θερμική, η ηλεκτρική και η μηχανική ενέργεια. Επίσης πολλές φορές, για λόγους αξιοπιστίας και συνεχόμενης λειτουργίας, επιλέγουμε συνδυασμό δύο πηγών ενέργειας, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες ενότητες. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα είναι υβριδικό.

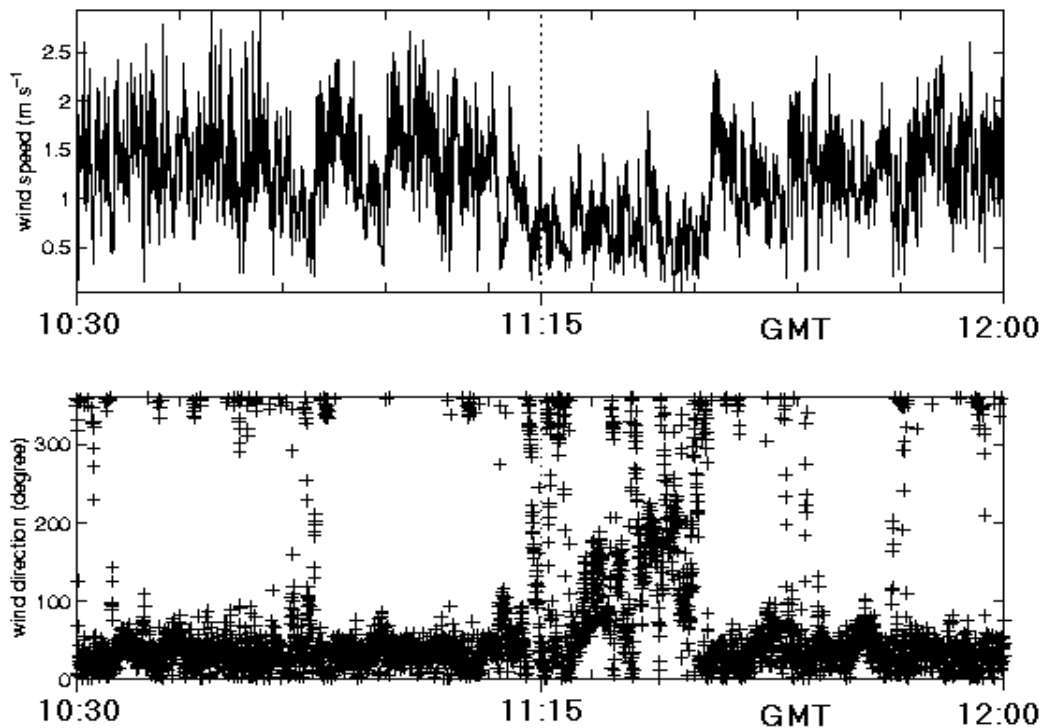
Όσο αφορά την προσαρμογή της μορφής ΑΠΕ που θα επιλεγεί με την μέθοδο αφαλάτωσης, με εξαίρεση κάποιους βασικούς κανόνες, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο γενικό συμπέρασμα. Οι τελικές επιλογές πρέπει να γίνουν με βάση κάποια τοπικά στοιχεία και παραμέτρους. Αυτά τα τοπικά στοιχεία είναι οι γεωγραφικές συνθήκες, η τοπογραφία της περιοχής, η χωρητικότητα της διάταξης και η ενέργεια που είναι διαθέσιμη σε χαμηλό κόστος, η ύπαρξη των τοπικών υποδομών, η περιεκτικότητα σε

αλάτι του νερού. Κάποια πιο γενικά κριτήρια είναι η ανθεκτικότητα του συστήματος, η απλότητα της λειτουργίας, το χαμηλό κόστος συντήρησης, το μέγεθος της κατασκευής, η εύκολη μεταφορά του εξοπλισμού στην τοποθεσία, η διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και η αντοχή σε αντίξοες συνθήκες που ενδεχομένως να επικρατούν στις απομονωμένες περιοχές.

Ο γενικός κανόνας πάντως είναι να συνδυάζονται τεχνολογίες θερμικής ενέργειας με θερμικές διαδικασίες αφαλάτωσης και ηλεκτρομηχανικές τεχνολογίες ενέργειας με διαδικασίες αφαλάτωσης που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ. Οι πιο συνήθεις εφαρμογές είναι η χρήση της αντίστροφης όσμωσης με αιολική ενέργεια ή ενέργεια από φωτοβολταϊκά και ηλιακή θερμική ενέργεια με διαδικασίες απόσταξης.

Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη τον τυχαίο και παροδικό χαρακτήρα που έχουν οι περισσότερες από τις ΑΠΕ καθώς προκαλεί αδυναμία πρόβλεψης για το μέλλον και δυσκολίες στον προγραμματισμό. Αυτή η συμπεριφορά πάντως, δεν πρέπει να εκπλήσσει καθώς οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ εξαρτώνται από στοιχεία της φύσης όπως η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία, των οποίων οι ακριβείς τιμές είναι δύσκολο να προβλεφθούν.

Ενδεικτικά, στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η έντονη μεταβολή της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου σε κάποια περιοχή. Αυτό που πρέπει να παρατηρήσει κανείς είναι ότι όλες αυτές οι εναλλαγές έχουν γίνει στο χρονικό διάστημα ενενήντα λεπτών. Με αυτό τον τρόπο βλέπουμε και στην πράξη τον τυχαίο και παροδικό χαρακτήρα και το πόσο δύσκολο είναι να γίνει η οποιαδήποτε πρόβλεψη.



Σχήμα 7.3.1 Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου

Υπάρχουν 3 γενικές στρατηγικές με τις οποίες μπορούμε να επιτύχουμε την προσαρμογή.

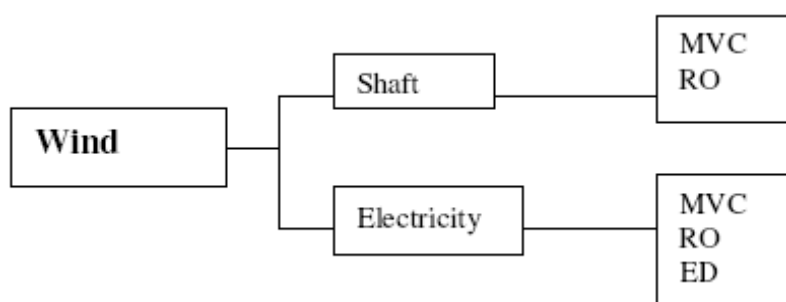
Η πρώτη έχει να κάνει με την **διαχείριση ισχύος** και στόχος είναι η παροχή στην μονάδα αφαλάτωσης της απαιτούμενης ισχύος, άσχετα με τις συνθήκες που επικρατούν εκείνη την στιγμή. Αυτό απαιτεί ένα υβριδικό σύστημα το οποίο θα διαθέτει ένα πλήθος επιλογών για την κατάλληλη πηγή ενέργειας. Μπορεί να συνδυάζει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πχ αιολική και φωτοβολταϊκά), να χρησιμοποιεί μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πχ το δίκτυο ή ντιζελογεννήτριες) ή να χρησιμοποιεί κάποιο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας(πχ μπαταρίες). Απαιτείται η παρουσία φορτίου απόρριψης(dump load) για την διοχέτευση της πλεονάζουσας ενέργειας.

Η δεύτερη στρατηγική μπορεί να χαρακτηριστεί ως **παρόντος φορτίου**. Διέπεται από την λογική της προσαρμογής του φορτίου στην μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ ώστε να απορροφάται όλη η παραγόμενη ισχύς και βασίζεται μόνο στις ΑΠΕ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δυο τρόπους, είτε εκκινώντας και σταματώντας την διαδικασία της αφαλάτωσης διαρκώς, είτε μετακινώντας το σημείο λειτουργίας της μονάδας.

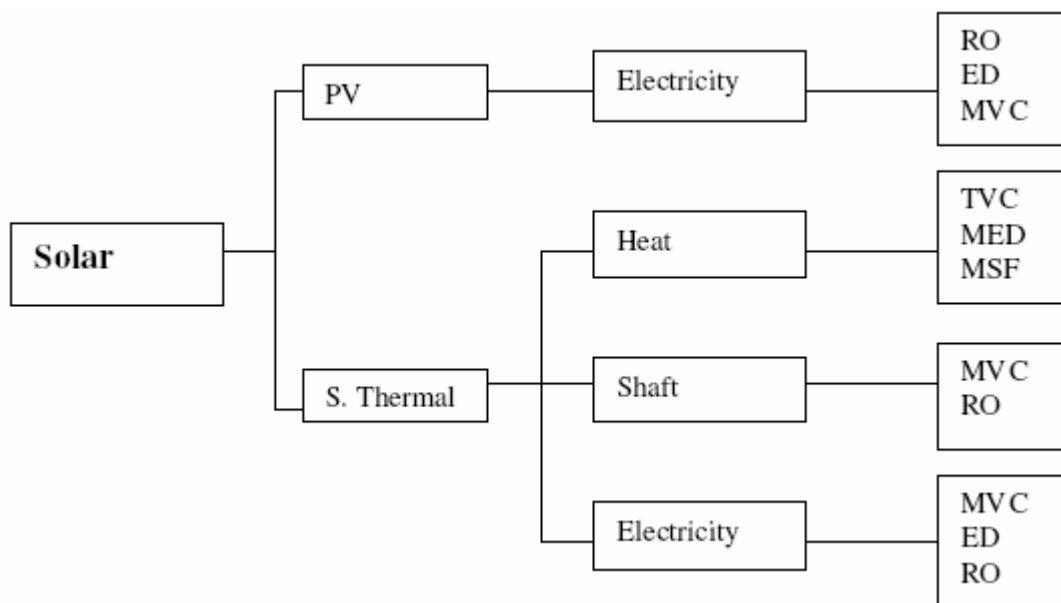
Τέλος, η τρίτη στρατηγική συνδυάζει κάπως τα παραπάνω. Όσο αφορά την

διαχείριση φορτίου ένας στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από μη ανανεώσιμες πηγές. Σε ότι έχει να κάνει με την διαχείριση ισχύος όμως, ο έλεγχος δεν εφαρμόζεται μόνο στην πλευρά της μονάδας αφαλάτωσης αλλά και σε αυτή της πηγής ανανεώσιμης ενέργειας. Για παράδειγμα, αν μιλάμε για ανεμογεννήτρια τότε μπορούμε να ελέγξουμε την γωνία πτερυγίων και τον αριθμό στροφών.

Η διαχείριση ισχύος επιβάλλει περιορισμούς στην πηγή ενέργειας, ενώ η διαχείριση φορτίου επιβάλλει περιορισμούς στην μονάδα αφαλάτωσης. Το σχετικό κόστος κάθε υποσυστήματος (παροχή ισχύος και απαίτηση της μονάδας) καθορίζει πόσο κατάλληλος είναι κάθε συνδυασμός ενέργειας. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι πιθανοί συνδυασμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών αφαλάτωσης. Ιδιαίτερη δυναμική παρουσιάζουν η αιολική ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό, είτε σε υβριδικό σύστημα είτε ξεχωριστά, με την αντίστροφη όσμωση καθώς και η χρήση γεωθερμίας.



Σχήμα 7.3.2 Εφαρμογές αιολικής ενέργειας



Σχήμα 7.3.3 Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας

7.4 Οικονομικά αποτελέσματα

7.4.1 Κόστος επένδυσης

Η επένδυση αποτελείται από τον εξοπλισμό, την εγκατάσταση και τα έργα πολιτικού μηχανικού που απαιτούνται. Αυτό το κόστος είναι υψηλότερο για διαδικασίες απόσταξης σε σχέση με τις διαδικασίες μεμβράνης. Επίσης οι θερμικές διαδικασίες έχουν πιο μεγάλες εδαφικές απαιτήσεις σε σχέση με τις διαδικασίες μεμβράνης. Τέλος, οι εγκαταστάσεις για θερμικές διεργασίες απαιτούν πολύ περισσότερο χρόνο από τις εγκαταστάσεις για διεργασίες που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Η κατασκευή των πρώτων μπορεί να διαρκέσει γύρω στα 3 με 5 χρόνια ενώ μια μικρή μονάδα αντίστροφης όσμωσης μπορεί να ολοκληρωθεί σε 1 μήνα.

7.4.2 Κόστος συντήρησης

Το κόστος συντήρησης μιας μονάδας αφαλάτωσης περιλαμβάνει το κόστος για την προετοιμασία του νερού, τον περιοδικό καθαρισμό του συστήματος, την αντικατάσταση του μηχανικού εξοπλισμού και των συστημάτων ελέγχου. Το πιο σημαντικό μερίδιο στο κόστος αυτό το καταλαμβάνουν οι μεμβράνες.

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι χαμηλότερο για θερμικές διαδικασίες. Η διάβρωση και η ανάπτυξη αλάτων είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα, ειδικά για μονάδες που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Η προσθήκη χημικών και η γενικότερη προεργασία του νερού έχει να κάνει με την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας.

7.4.3 Απαιτήσεις προσωπικού

Γενικά, το κόστος για το προσωπικό σε μια μεγάλη μονάδα είναι ελαφρώς χαμηλότερο από ότι σε μια μικρότερη. Το κόστος αυτό είναι μικρότερο για διαδικασίες απόσταξης σε σχέση με την αντίστροφη όσμωση.

7.4.4 Ενεργειακές απαιτήσεις

Θεωρητικά, η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί είναι $0,8 \text{ KWh/m}^3$ παραγόμενου νερού, ανεξάρτητα από την διαδικασία που έχει επιλεγεί. Η κατανάλωση ενέργειας βασίζεται σε πολλούς παράγοντες όπως η συγκέντρωση θαλασσινού νερού, η θερμοκρασία λειτουργίας, ο ρυθμός μετατροπής, οι απώλειες θερμότητας, η διαφορά θερμοκρασίας σε θερμικές διεργασίες. Οι διαδικασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης του νερού απαιτούν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Για αυτό τον λόγο, οι διαδικασίες απόσταξης εφαρμόζονται κυρίως σε χώρες όπου

υπάρχει άφθονο φθινό πετρέλαιο, όπως στην Μέση Ανατολή. Παρόλα αυτά θερμικές διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούν ατμό που έχει προέλθει από συμπαραγωγή είναι οικονομικά ελκυστικές και συγκρίνονται με το κόστος της αντίστροφης όσμωσης. Για τις διεργασίες μεμβράνης, οι απαιτήσεις ενέργειας εξαρτώνται από την αλμυρότητα του νερού τροφοδοσίας. Μια λύση είναι η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας καθώς έτσι η εξοικονόμηση μπορεί να αγγίξει το 40%.

Οι απαιτήσεις σε ενέργεια για τις κυριότερες μεθόδους φαίνονται στον πίνακα 4.5.1 ενώ στον πίνακα 4.5.2 υπάρχει μια συγκεντρωτική απεικόνιση των επιμέρους στοιχείων κόστους για τις διάφορες μεθόδους.

Process	Exergy of steam kWh _e /m ³	Electric energy consumption kWh _e /m ³	Electric energy equivalent consumption kWh _e /m ³
MSF	7.5-11	2.5-3.5	10-14.5
MED	4-7	~2	6-9
VC	-	7-15	7-15
SWRO	-	4-6 with energy recovery 7-13 without energy recovery	4-6 with energy recovery 7-13 without energy recovery
BWRO	-	0.5-2.5	0.5-2.5
ED	-	0.7-2.5	0.7-2.5

Πίνακας 7.4.4.1 Απαιτήσεις σε ενέργεια μεθόδων αφαλάτωσης

Process	Investment Euro/m ³ day	Energy Euro/m ³	Consumable Euro/m ³	Labour Euro/m ³	Maintenance Euro/m ³	Total O & M cost Euro/m ³
MSF	1000-2000	0.6-1.8	0.03-0.09	0.03-0.2	0.02-0.06	0.68-2.15
MED	900-1800	0.38-1.12	0.02-0.15	0.03-0.2	0.02-0.06	0.45-1.53
VC	900-2500	0.56-2.4	0.02-0.15	0.03-0.2	0.02-0.08	0.63-2.83
SWRO	800-1600	0.32-1.28	0.09-0.25	0.03-0.2	0.02-0.05	0.46-1.78
BWRO	200-500	0.04-0.4	0.05-0.13	0.03-0.2	0.004-0.02	0.12-0.75
ED	266-328	0.06-0.4	0.05-0.13	0.03-0.2	0.006-0.009	0.15-0.74

Πίνακας 7.4.4.2 Στοιχεία κόστους για μεθόδους αφαλάτωσης

7.4.5 Οικονομικά δεδομένα διαδικασιών αφαλάτωσης

Η κάθε διαδικασία αφαλάτωσης ανταποκρίνεται διαφορετικά ανάλογα με την πηγή ενέργειας που θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε. Αυτό φυσικά επηρεάζει την παραγωγή του νερού και κατά συνέπεια και το κόστος του

Η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης είναι η πιο συμφέρουσα ενεργειακά καθώς έχει την μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, γεγονός που δίκαια την κατατάσσει στις πιο δημοφιλείς μεθόδους καθώς απαιτείται περίπου η μισή ενέργεια σε σχέση με τις θερμικές διεργασίες. Με την πρόοδο της τεχνολογίας και την εξέλιξη των νέων σύνθετων μεμβρανών, οι οποίες είναι πιο ανθεκτικές στην υψηλή πίεση επιτυγχάνονται πολύ υψηλοί ρυθμοί μετατροπής του νερού. Οι νέες μεμβράνες έχουν

αυξημένη διάρκεια ζωής γεγονός που αυξάνει την διαθεσιμότητα της μονάδας. Επίσης η αντίστροφη όσμωση χαρακτηρίζεται από την απλότητα στον σχεδιασμό των μονάδων, την μικρή έκταση που αυτές καταλαμβάνουν, τον μικρότερο χρόνο παραγωγής και τις μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τις θερμικές διεργασίες.

Το αρνητικό της, όμως, είναι ότι παρόλο που είναι απλή στην λειτουργία, απαιτείται η παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού καθώς διάφορα σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν στην καταστροφή των μεμβρανών. Η λειτουργία της αντίστροφης όσμωσης με μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ δεν ενδείκνυται. Κατά αυτό τον τρόπο δεν μπορεί να λειτουργήσει με τον βέλτιστο τρόπο, για αυτό και το ιδεατό είναι η λειτουργία της υπό σταθερή ισχύ. Για αυτό χρειάζεται μια ενδιάμεση διάταξη αποθήκευσης ενέργειας(πχ μπαταρία) η οποία, όμως, μειώνει την άμεσα διαθέσιμη ενέργεια και αυξάνει το αρχικό κόστος επένδυσης. Η μπαταρία απορροφά το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας το οποίο και επιστρέφει όταν η ζήτηση υπερκαλύπτει την παραγωγή και το ισοζύγιο ισχύος τείνει να γίνει αρνητικό. Επίσης απαιτείται επάρκεια στα χημικά που χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία του νερού καθώς και πλήθος εφεδρικών μεμβρανών σε περίπτωση βλάβης της κύριας.

Οι μεμβράνες είναι από τα πιο ακριβά στοιχεία της διάταξης και οι έρευνες προσανατολίζονται στην μείωση του κόστους τους. Το υψηλό κόστος των μεμβρανών είχε οδηγήσει σε μια αναγέννηση των θερμικών διεργασιών τα τελευταία χρόνια.

Το αυξανόμενο κόστος της αντίστροφης όσμωσης μπορεί να αντιμετωπιστεί με δύο τρόπους. Ο **πρώτος** είναι η αποτελεσματικότερη σχεδίαση της όλης διαδικασίας και η ανάλυση, η μοντελοποίηση και ο σχεδιασμός κάθε κομματιού της διαδικασίας ξεχωριστά. Ο **δεύτερος** είναι η βελτίωση της οικονομικής απόδοσης της μονάδας αφαλάτωσης με την μείωση του λειτουργικού κόστους της μονάδας το οποίο είναι πάνω από το μισό του συνολικού ετήσιου κόστους της μονάδας.

Η διαδικασία της εξάτμισης πολλαπλής επίδρασης προσφέρει ευελιξία στις μονάδες να λειτουργήσουν υπό χαμηλό φορτίο. Επίσης, είναι λιγότερο ευαίσθητη στον σχηματισμό ακαθαρσιών και αλάτων γεγονός που αυξάνει την διάρκεια ζωής της μονάδας. Τέλος, είναι πιο φθηνή και συμφέρει σε σχέση με την απόσταξη πολλαπλής φάσης για την λειτουργία μονάδων μικρής ικανότητας παραγωγής νερού.

Η MVC παρόλο που καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από την αντίστροφη όσμωση (RO) παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα από αυτή λόγω της ανοχής της στην μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια. Επίσης, είναι πιο κατάλληλη για απομονωμένες περιοχές γιατί είναι πιο ανθεκτική, δύναται να λειτουργήσει σωστά χωρίς ιδιαίτερα

εξειδικευμένο προσωπικό και δεν χρειάζεται τόσα χημικά για την προεργασία του νερού όπως η RO.Μιας και είναι διαδικασία απόσταξης δεν απαιτεί μεμβράνες μειώνοντας, έτσι, το κόστος και προσφέρει καλύτερο ποιοτικά νερό. Τέλος, λόγω της απόσταξης που γίνεται, σε περίπτωση μολυσμένου νερού εξασφαλίζεται η απουσία μικροοργανισμών και μικροβίων από το παραγόμενο νερό. Το πλεονέκτημα της απουσίας των μικροοργανισμών το έχουν όλες οι διαδικασίες απόσταξης. Μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι οι μονάδες που χρησιμοποιούν μηχανική συμπίεση (VC) έχουν χαμηλότερη απόδοση από τις αντίστοιχες μονάδες που χρησιμοποιούν εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης (MED) και απόσταξη πολλαπλής φάσης (MSF).

7.4.6 Προοπτικές εξέλιξης

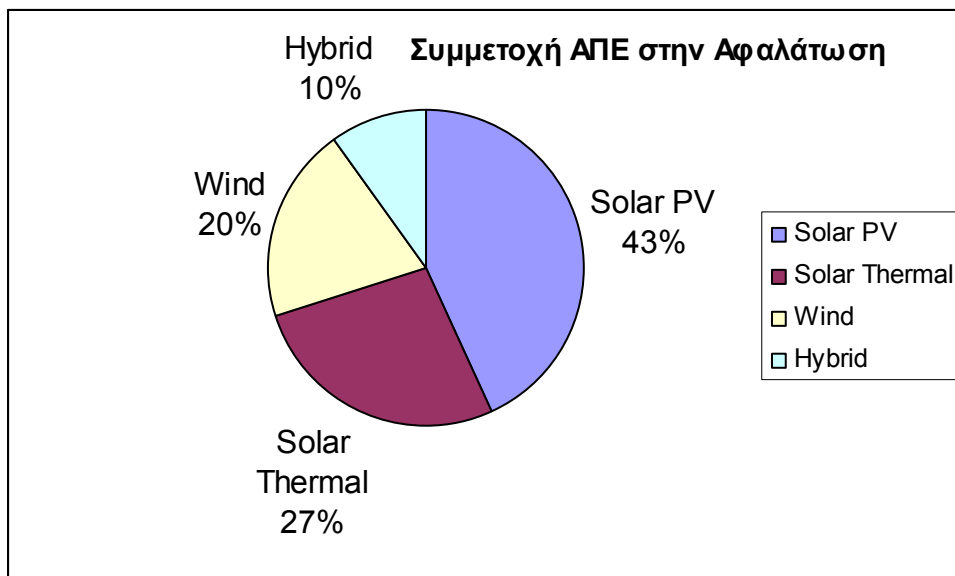
Σε ότι αφορά τα οικονομικά δεδομένα των διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης πρέπει να γίνει ιδιαίτερη μνεία στις προοπτικές εξέλιξης και στους τομείς στους οποίους στρέφεται η έρευνα, καθώς αναμένεται και μελλοντική μείωση του κόστους.

Έτσι, αναφορικά με τις διαδικασίες απόσταξης οι αναζητήσεις γίνονται στην περιοχή της σύζευξης ηλιακά υποβοηθούμενων αντλιών ατμού, στην εφαρμογή της απευθείας ηλιακής παραγωγής ατμού, στην χρήση μεμβρανών νανοφιλτραρίσματος, που θα οδηγήσει σε αξιοσημείωτη αύξηση της απόδοσης και σε σημαντική μείωση του κόστους, καθώς και στην εξέλιξη νέων συσκευών για διάφορα στάδια των διαδικασιών.

Στον αντίποδα, στις διεργασίες που κάνουν χρήση μεμβρανών οι εξελίξεις είναι στον τομέα της βελτίωσης της απαιτούμενης προεργασίας και στην μείωση του κόστος των μεμβρανών. Πρόοδος υπάρχει στην βελτίωση των λειτουργιών της μεμβράνης ώστε να βελτιωθεί η αποκατάσταση και η απόρριψη του άλατος και να μειωθούν οι χημικές και βιολογικές επιπτώσεις των σφαλμάτων. Εξελίξεις υπάρχουν και στην βελτίωση της λειτουργίας με μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια, που είναι γενικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των ΑΠΕ.

7.5 Γενική κατανομή των Α.Π.Ε. για αφαλάτωση στην αγορά

Για το κλείσιμο της εργασίας αυτής, παρατίθεται ένα διάγραμμα στο οποίο φαίνονται τα ποσοστά που καταλαμβάνει κάθε μορφή ΑΠΕ στην συνολική “πίτα” των εφαρμογών αφαλάτωσης.



Σχήμα 7.5.1 Συμμετοχή ΑΠΕ στην αφαλάτωση

Στο σχήμα 7.5.1 απεικονίζεται πλήρως η κατάσταση στον χώρο της αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ. Το μεγαλύτερο μερίδιο της πίτας καταλαμβάνουν οι εφαρμογές που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια οι οποίες χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια. Φαίνεται όμως και η δυναμική που αρχίζουν να αποκτούν τα συστήματα με χρήση της αιολικής ενέργειας καθώς και τα υβριδικά, τα οποία για διάφορους τεχνικούς και οικονομικούς, κυρίως, λόγους, οι οποίοι πλέον δεν αποτελούν τροχοπέδη, δεν είχαν μεγάλο μερίδιο στην αγορά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Κεφάλαιο 1^ο

- Πίνακας 1.2.1: Εκτιμήσεις των πιθανών παροχών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα

Πηγή: Ενέργεια: Πηγές – Εφαρμογές – Εναλλακτικές Λύσεις, Ευγενίδειο Ίδρυμα, Αθήνα 1996,

Σελίδα: 12

Κεφάλαιο 2^ο

- Σχήμα 2.1.1: Κατανομή του νερού στην γη

Πηγή: Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης, Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης, Αθήνα 1995, Σελίδα:

13

- Πίνακας 2.2.1: Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, χωρητικότητας μεγαλύτερης των 10 m³ που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Πηγή: Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης, Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης, Αθήνα 1995, Σελίδα:

15

- Σχήμα 2.3.1: Πολυδιάστατοι αποστακτήρες άμεσων εξατμίσεων (ΠΑΕ)

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 18

- Σχήμα 2.3.2: Αποστακτήρες πολλαπλών διαβαθμίσεων (ΠΔ)

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 19

- Σχήμα 2.3.3: Αποστακτήρες με συμπίεση ατμού (ΣΑ)

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 19

- Σχήμα 2.3.4: Ηλιακοί αποστακτήρες (ΗΑ)

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 19

- Σχήμα 2.3.5: Μηχανισμός της μεθόδου με μεμβράνες

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 20

- Σχήμα 2.3.6: Εγκατάσταση αντίστροφης όσμωσης

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 21

- Σχήμα 2.3.7: Μονάδα Αντίστροφης Οσμωσης Θαλασσινού Νερού, 1.5 κ.μ./ημ., ΚΑΠΕ

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 21

- Σχήμα 2.3.8: Μονάδα Αντίστροφης Οσμωσης Υφάλμυρου Νερού, 400 κ.μ./ημ., Riyadh, K.S.A.

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 22

- Σχήμα 2.3.9: Εγκατάσταση ηλεκτροδιάλυσης

Πηγή: «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001, Σελίδα: 22

- Σχήμα 2.4.1: Γενικός Μηχανισμός της ηλιακής αφαλάτωσης

Πηγή: J. A. Eibling, S. G. Talbert, G.O.G. Lof, “Solar stills for community Use. Digest of technology”, Solar energy, Vol. 13, p. 263-276, 1971, Σελίδα: 24

- Σχήμα 2.5.1: Γενικός Μηχανισμός της αιολικής αφαλάτωσης

Πηγή: ΚΑΠΕ, 1998, Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας www.cres.gr, Σελίδα: 26

- Σχήμα 2.5.2: Σχηματική απεικόνιση της αιολικής αφαλάτωσης

Πηγή: ΚΑΠΕ, 1998, Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας www.cres.gr, Σελίδα: 27

Κεφάλαιο 3^ο

- Σχήμα 3.2.1: Εγκατάσταση αφαλάτωσης 3 βαθμίδων

Πηγή: E.Sartori, “Solar still versus solar evaporator: A comparative study between their thermal behaviours”, Solar energy, Vol 56, p.199-206, 1996, Σελίδα: 30

- Σχήμα 3.2.2: Ηλιακός αποστακτήρας του Kobayashi

Πηγή: E.Sartori, “Solar still versus solar evaporator: A comparative study between their thermal behaviours”, Solar energy, Vol 56, p.199-206, 1996, Σελίδα: 33

- Σχήμα 3.3.1: Διάφορα σχέδια πειραματικών ηλιακών αποστακτών

Πηγή: G.N Tiwaris, H.N. Singh, Ragesh Tripathi, “Present status of solar distillation”, Solar energy, 75, (2003), p.367-373, Σελίδα: 31

- Σχήμα 3.3.2: Ηλιακός αποστακτήρας τύπου λεκάνης οροφής

Πηγή: J. W. Bloemer, J. A. Eibling, I.R. Irwin, G.O.G. Lof, “A practical basin-type solar still”, Solar energy, Vol. 9, No4, p.197-200, Σελίδα: 34

- Σχήμα 3.3.3: Ο μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας σε αποστακτήρα τύπου λεκάνης οροφής (Talbert et al 1970)

Πηγή: J. W. Bloemer, J. A. Eibling, I.R. Irwin, G.O.G. Lof, “A practical basin-type solar still”, Solar energy, Vol. 9, No4, p.197-200, Σελίδα: 34

- Σχήμα 3.3.4: Βασικό θερμικό δίκτυο σε αποστακτήρα τύπου λεκάνης

Πηγή: G J. W. Bloemer, J. A. Eibling, I.R. Irwin, G.O.G. Lof, “A practical basin-type solar still”, Solar energy, Vol. 9, No4, p.197-200, Σελίδα: 35

- Πίνακας 3.3.1: Μεγάλοι ηλιακοί αποστακτήρες τύπου λεκάνης

Πηγή: J. A. Eibling, S. G. Talbert, G.O.G. Lof, “Solar stills for community Use. Digest of technology”, Solar energy, Vol. 13, p. 263-276, 1971, Σελίδα: 36

- Σχήμα 3.5.1.1: Ηλιακός αποστακτήρας μιας βαθμίδας

Πηγή: Hanson, W. Zachritz, K.Stevens, L. Mimbela, R.Polka, L.Cisneros, “Distillate water quality of a single basin solar still: Laboratory and field studies”, Solar energy, Vol 76, p.635-645, 2004, Σελίδα: 38

- Σχήμα 3.5.3.1 Σχηματική αντιπροσωπευτική τομή κεκλιμένου αποστακτήρα με ύψος

Πηγή: Hanson, W. Zachritz, K.Stevens, L. Mimbela, R.Polka, L.Cisneros, “Distillate water quality of a single basin solar still: Laboratory and field studies”, Solar energy, Vol 76, p.635-645, 2004, Σελίδα: 38

- Σχήμα 3.5.3.2: Κεκλιμένος ηλιακός αποστακτήρας με πολλαπλά ράφια Ε.Ε.Σ.Δ

Πηγή: Hanson, W. Zachritz, K.Stevens, L. Mimbela, R.Polka, L.Cisneros, “Distillate water quality of a single basin solar still: Laboratory and field studies”, Solar energy, Vol 76, p.635-645, 2004, Σελίδα: 40

- Σχήμα 3.5.3.3: Σχηματική αντιπροσωπευτική τομή κεκλιμένου αποστακτήρα με πολλαπλά Ράφια

Πηγή: Hanson, W. Zachritz, K.Stevens, L. Mimbela, R.Polka, L.Cisneros, “Distillate water quality of a single basin solar still: Laboratory and field studies”, Solar energy, Vol 76, p.635-645, 2004, Σελίδα: 41

Κεφάλαιο 4°

- Σχήμα 4.3.1: Γενική διάταξη Πλωτού Αυτοδύναμου Ηλιακού Αποστακτήρα φυσικού Ελκυσμού

Πηγή: «Desalination: Current Situation And Future Prospects», Dr. Pinhas Glueckstern, Σελίδα: 48

- Σχήμα 4.3.2: Συγκριτικός ισολογισμός ενέργειας ηλιακών αποστακτηρών

Πηγή: «Desalination: Current Situation And Future Prospects», Dr. Pinhas Glueckstern, Σελίδα: 50

- Σχήμα 4.4.1: Σχηματική παράσταση εγκατάστασης

Πηγή: «Desalination: Current Situation And Future Prospects», Dr. Pinhas Glueckstern, Σελίδα: 52

- Σχήμα 4.4.2: Σχηματική παράσταση εγκατάστασης

Πηγή: «Desalination: Current Situation And Future Prospects», Dr. Pinhas Glueckstern, Σελίδα: 53

Κεφάλαιο 5°

- Σχήμα 5.3.1: Στάδια της διαδικασίας και τα στοιχεία των συστημάτων αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης

Πηγή: «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας», Ιωάννης Καλδέλλης, εκδόσεις Σταμούλης 2005, Σελίδα: 57

- Σχήμα 5.3.2: Συνιστώσες του μοντέλου του συστήματος για την αιολική αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση

Πηγή: «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας», Ιωάννης Καλδέλλης, εκδόσεις Σταμούλης 2005, Σελίδα: 58

- Σχήμα 5.3.3: Συμβατική αιολική διαδικασία μηχανικής πίεσης ατμού

Πηγή: «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας», Ιωάννης Καλδέλλης, εκδόσεις Σταμούλης 2005, Σελίδα: 59

- Σχήμα 5.3.4: Απόδοση προϊόντος ανάλογα με την χρήση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας

Πηγή: Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005, Σελίδα: 60

- Σχήμα 5.3.5: Στοιχεία κόστους νερού για την αιολική Αφαλάτωση

Πηγή: Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005, Σελίδα: 60

- Σχήμα 5.3.6: Απόδοση προϊόντος για δύο συστήματα αιολικής αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση ατμού με διαφορετικά μεγέθη.

Πηγή: Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι.

Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005, Σελίδα: 61

- Σχήμα 5.3.7: Διακυμάνσεις του κόστους διαδικασίας για αφαλάτωση με μηχανική συμπίεση ατμού ανάλογα με το μέγεθος των εγκαταστάσεων και την επιλογή των υλικών.

Πηγή: Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005, Σελίδα: 61

- Σχήμα 5.5.1: Διαθέσιμο Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Αιγαίο

Πηγή: J.K. Kaldellis, E.M. Kondili, “The water shortage problem in the Aegean archipelago islands:cost-effective desalination prospects”, p.123-138, 2007, Σελίδα: 64

Κεφάλαιο 6^ο

- Σχήμα 6.2.4.1: Γενική άποψη της Μονάδας Αφαλάτωσης Δεκέλειας

Πηγή: J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias, E. Kondili, “Renewable energy desalination plants for the Greek islands, technical and economic considerations”, p.187-203, 2004, Σελίδα: 71

Κεφάλαιο 7^ο

- Σχήμα 7.1.1: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των μορφών Α.Π.Ε. που αναλύονται

Σελίδα: 79

- Σχήμα 7.3.1: Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου

Πηγή: J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias, E. Kondili, “Renewable energy desalination plants for the Greek islands, technical and economic considerations”, p.187-203, 2004, Σελίδα: 83

- Σχήμα 7.3.2 Εφαρμογές αιολικής ενέργειας

Πηγή: J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias, E. Kondili, “Renewable energy desalination plants for the Greek islands, technical and economic considerations”, p.187-203, 2004, Σελίδα: 84

- Σχήμα 7.3.3 Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας

Πηγή: J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias, E. Kondili, “Renewable energy desalination plants for the Greek islands, technical and economic considerations”, p.187-203, 2004, Σελίδα: 84

- Πίνακας 7.4.4.1 Απαιτήσεις σε ενέργεια μεθόδων αφαλάτωσης

Πηγή: J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias, E. Kondili, “Renewable energy desalination plants for the Greek islands, technical and economic considerations”, p.187-203, 2004, Σελίδα: 86

- Πίνακας 7.4.4.2 Στοιχεία κόστους για μεθόδους αφαλάτωσης

Πηγή: J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias, E. Kondili, “Renewable energy desalination plants for the Greek islands, technical and economic considerations”, p.187-203, 2004, Σελίδα: 86

- Σχήμα 7.5.1 Συμμετοχή ΑΠΕ στην αφαλάτωση

Πηγή: J.K. Kaldellis, K.A. Kavadias, E. Kondili, “Renewable energy desalination plants for the Greek islands, technical and economic considerations”, p.187-203, 2004, Σελίδα: 89

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Αφαλάτωση», Αλέξανδρος Σ. Αλεξάκης, εκδόσεις Μιχάλη Σιδέρη
2. Tomas Markvart, Ηλεκτρισμός από Ηλιακή Ενέργεια , Εκδόσεις ΙΩΝ 2003, Μετάφραση, Γιώργος Γαρύφαλλος, Γρηγόρης Σκούντζος
3. Ενέργεια: Πηγές – Εφαρμογές – Εναλλακτικές Λύσεις, Ευγενίδειο Ίδρυμα, Αθήνα 1996
4. Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης, Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης, Αθήνα 1995
5. «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001
6. Ηλεκτρική Ενέργεια και Περιβάλλον Ο.Ε.Δ.Β. Τομέας Ηλεκτρολογικός, Αθήνα 2001
7. J. A. Eibling, S. G. Talbert , G.O.G. Lof, “Solar stills for community Use. Digest of technology” , Solar energy, Vol. 13 , p. 263-276,1971.
8. ΚΑΠΕ, 1998, Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας www.cres.gr
9. E. D. Howe, B. W. Tleimat, “Twenty years of work on solar distillation at the University of California”, Solar energy, Vol.16, p.97-105, 1974.
10. E.Sartori, “ Solar still versus solar evaporator: A comparative study between their thermal behaviours”, Solar energy, Vol 56, p.199-206, 1996.
11. G.N Tiwaris, H.N. Singh, Ragesh Tripathi, “ Present status of solar distillation”, Solar energy, 75, (2003), p.367-373.
12. J. W. Bloemer, J. A. Eibling, I.R. Irwin, G.O.G. Lof, ”A practical basin-type solar still”, Solar energy, Vol. 9,No4, p.197-200..
13. J. A. Eibling, S. G. Talbert , G.O.G. Lof, “Solar stills for community Use. Digest of technology” , Solar energy, Vol. 13 , p. 263-276,1971
14. J.K. Kaldellis, E.M. Kondili, “The water shortage problem in the Aegean archipelago islands:cost-effective desalination prospects”, p.123-138, 2007
15. Hanson, W. Zachritz, K.Stevens, L. Mimbela, R.Polka, L.Cisneros, “Distillate water quality of a single basin solar still: Laboratory and field studies”, Solar energy, Vol 76, p.635-645, 2004
16. «Διυλιστήρια νερού και μονάδες αφαλάτωσης», Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων
17. «Review of water resources and desalination technologies», James E. Miller, Materials Chemistry Department, Sandia National Laboratories

18. «Desalination: Current Situation And Future Prospects», Dr. Pinhas Glueckstern
19. «Ανεμοκινητήρες», Γ. Μπεργελές, εκδόσεις Συμεών 2005
20. «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας», Ιωάννης Καλδέλλης, εκδόσεις Σταμούλης 2005
21. «Φολέγανδρος – Σίκινος», εκδόσεις Μ. Τουμπής Α.Ε., Αθήνα 2001
22. Γιάννης Τσιπουρίδης, Άρθρο του περιοδικού: «Energy Point» με τίτλο: «Σταθμός αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη Μήλο», Τεύχος 15, Σεπτέμβριος 2008
23. «Fundamentals Of Salt Water Desalination», H.T. El-Dessouky and H.M. Ettouney, ELSEVIER
24. «Perry's Chemical Engineer's Handbook», McGraw-Hill, 7th ed, 1999
25. Eftihia Tzen, Marios Sigalas, «Clean water», Refocus, pages 30-31, 2004
26. Dow Water Solutions, <http://www.dow.com/liquidseps/index.htm>
27. «Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Μήλο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005
28. «Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005
29. «Σημειώσεις Αιολικής Ενέργειας», Ζερβός Αρθούρος, διδακτικές σημειώσεις, 2005
30. Διπλωματική εργασία –Παραμετρική μελέτη ηλιακής συσκευής αφαλάτωσης λεκάνης/οροφής Ασημάκης Κ.Παναγιώτης, Αθήνα 1995, ΕΜΠ

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. <http://www.peripteraki.gr/?p=2179>
2. www.scopus.com
3. <http://technologein.pathfinder.gr/desalination/>
4. http://www.energypoint.gr/teyxi/teyxos_015_-_septembrios_2008/statha
5. http://www.enthesis.net/index.php?option=com_content&view=article&id=115:enthesis5592&catid=10:water&Itemid=4
6. <http://www.hellaskps.gr/bestpractices/proj.asp?pId=77>
7. Danish Wind Industry Association, www.windpower.org
8. Εταιρεία ENERCON, <http://www.enercon.de>