

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΘΕΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΑ

ΘΕΜΑ

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΠΛΗΡΗ
ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ
Ζαφειρόπουλος Βασίλειος
Λαμπρούσης Βασίλειος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

κ.α. Δρ. Σωκράτης Καπλάνης
Πέθυνος Εργαστηρίου ΗΜΕ

Χίλλας Κωτούλας
Εργαστηριακός Συνεργάτης

ΑΡΙΘΜΟΣ
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

7109

Πρόλογος 1
Εισαγωγή 1



Κεφάλαιο 1^ο

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

1.1 Το υδατικό πρόβλημα 3
1.2 Η χρήση του νερού 5
1.3 Διαχείριση της ζήτησης του νερού 7
1.4 Κοστολόγηση του νερού 10
1.5 Χαρακτηριστικά του νερού 12
1.6 Κριτήρια ποιότητας του νερού 13
1.7 Το πρόβλημα της αμυνίας στο νερό 15
1.8 Αντιμετώπιση της αμυνίας 20
1.9 Το θαλασσινό νερό 20
1.10 Η χημεία του θαλασσινού νερού 24

Κεφάλαιο 2^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΤΩΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή 26
2.2 Μέθοδοι διαχωρισμού 26
2.3 Απόσταξη 28
2.3.1 Πολυβάθμια απόσταξη 29
2.3.2 Πολυβάθμια απόσταξη με κατακόρυφους αυλούς 31
2.3.3 Απόσταξη με κατακόρυφους αυλούς (LVT) 32
2.3.4 Απόσταξη με οριζόντιους αυλούς (HTME) 33
2.3.5 Εξάτμιση με επανασυμπύεση ατμών (MVC) 34
2.3.6 Ηλιακή απόσταξη (SE) 37

2.4 Αντίστροφη ώσμωση.....	38
2.4.1 Αρχή λειτουργίας της ώσμωσης.....	40
2.4.2 Μέθοδοι μεμβρανών υπό πίεση.....	41
2.4.3 Τύποι μεμβρανών.....	42
2.5 Κρυστάλλωση.....	44
2.5.1 Παγοποίηση υπό κενό.....	45
2.5.2 Παγοποίηση με πρόσθετο ψυκτικό.....	46
2.6 Ιοντικές μέθοδοι.....	48
2.6.1 Εναλλαγή ιόντων.....	48
2.6.2 Ηλεκτροδιάλυση και αντίστροφη διάλυση (ED, EDR).....	49
2.7 Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης.....	53

Κεφάλαιο 3^ο

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

3.1 Γενικά για την αφαλάτωση.....	59
3.2 Ηλιακή ακτινοβολία.....	60
3.3 Απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας - τράπεζα θερμότητας.....	62
3.4 Ηλιακή απόσταση.....	65
3.5 Περιγραφή της μεθόδου.....	68
3.6 Βασικές αρχές των ηλιακών μεθόδων.....	69
3.7 Το κόστος της ηλιακής απόστασης.....	70
3.8 Μέθοδος υπολογισμού του κόστους των ηλιακών αποστακτηρών.....	79
3.8.1 Περιγραφή της απόστασης.....	72
3.8.2 Κατασκευή αποστακτηρών.....	73
3.8.3 Κατασκευή κολυμβημάτων.....	74
3.8.4 Ολικό κόστος μιας αποστακτηρής.....	75
3.8.5 Προπαρασκευή του νερού.....	75
3.8.6 Σωληνώσεις.....	76
3.8.7 Περίφραξη.....	77
3.8.8 Διάφορα άλλα κοντά με το κόστος.....	77
3.8.9 Συγκεντρωτικό κόστος.....	77
3.10 Οικονομική σημασία της μεθόδου.....	78

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑ

4.1 Διαδικασίες λειτουργίας μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης.....	79
4.2 Απλή περιγραφή του ηλιακού αποστακτήρα.....	80
4.3 Τύποι ηλιακών αποστακτήρων.....	83
4.4 Αρχές λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων.....	84
4.5 Σύγχρονη κατασκευή ηλιακού αποστακτήρα.....	87
4.6 Απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων.....	88
4.7 Βασικοί παράμετροι ενός ηλιακού αποστακτήρα.....	90
4.7.1 Βάθος νερού που λαμβάνεται (θέρμανση).....	90
4.7.2 Επίδραση της συγκέντρωσης αλατος στην παραγωγή νερού.....	90
4.7.3 Απώλεια νερού λόγω ατμοποίησης.....	90
4.7.4 Διαρροή ατμού και νερού.....	91
4.7.5 Το υλικό του συλλέκτη.....	91
4.7.6 Η κλίση του συλλέκτη κατά τη λειτουργία.....	91
4.8 Βασικοί παράμετροι ενός επιπέδου ηλιακού συλλέκτη.....	92
4.8.1 Προσανατολισμός του συλλέκτη.....	93
4.8.2 Στήριξη του συλλέκτη.....	93
4.9 Βελτιώσεις για ασφαλή και αποδοτική αποσταillation.....	94
4.10 Διαδικασίες βελτισποίησης της ποιότητας του παραγόμενου νερού.....	95

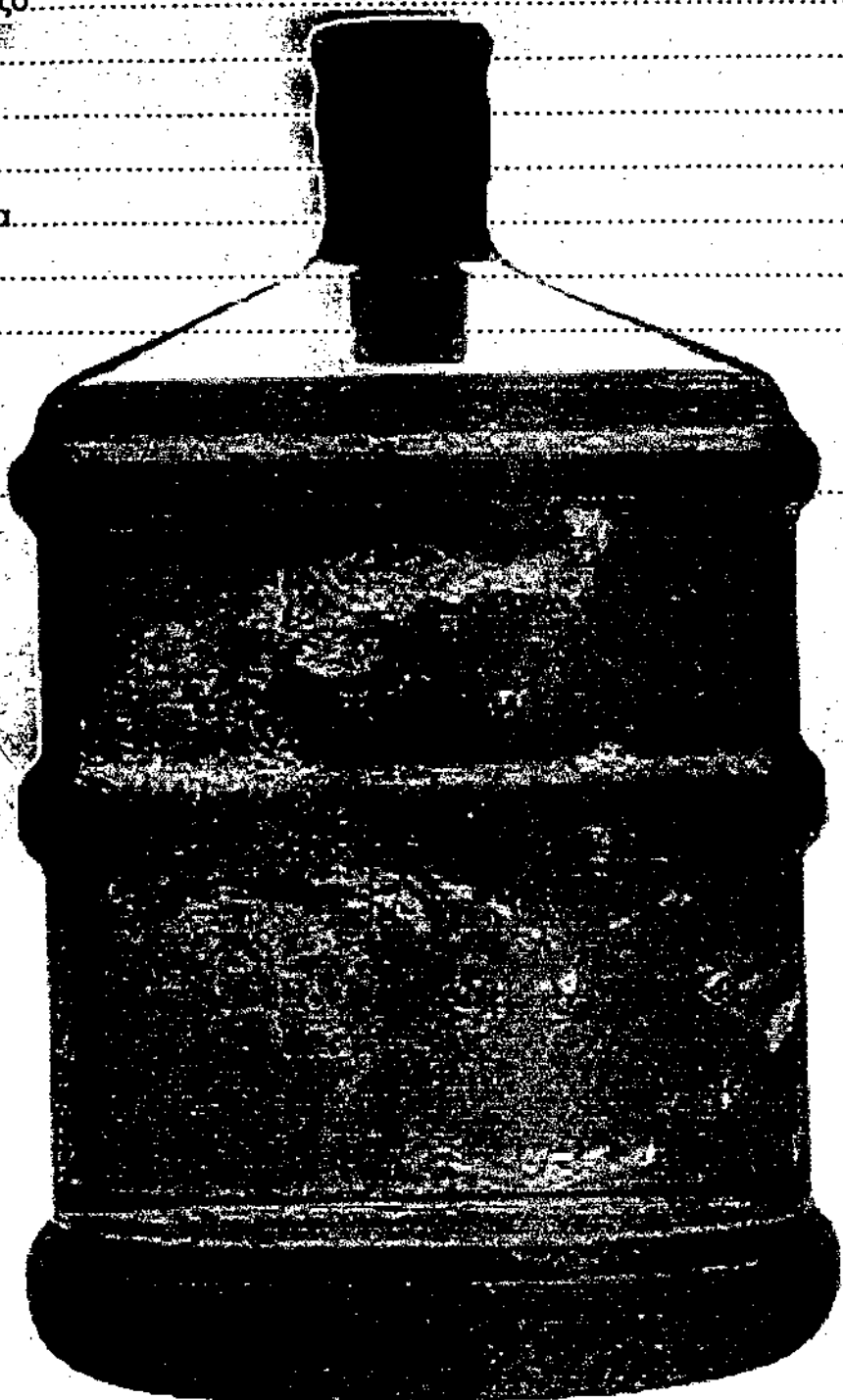
ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

5.1 Εισαγωγή.....	98
5.2 Γενικά Χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης.....	100
5.2.1 Σύρος.....	100
5.2.2 Μύκονος.....	100
5.2.3 Ιθάκη.....	101

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

5.2.4 Νίσυρος.....	101
5.2.5 Καστελόριζο.....	102
5.2.6 Θήρα.....	102
5.2.7 Θηρασιά.....	103
5.2.8 Σίφνος.....	104
5.2.9 Σχοινούσα.....	105
5.2.10 Σουσαάκι.....	105
5.2.11 Κίμωλος.....	106

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε αυτήν την πορεία μας ως φοιτητές του τμήματος Μηχανολογίας χρειάστηκε μεγάλη υπομονή, επιμονή και σοβαρή προσπάθεια από όλους μας. Προλογίζοντας αυτήν την εργασία, αισθανόμαστε την ανάγκη να εκφράσουμε τις πιο θερμές μας ευχαριστίες σε όσους βοήθησαν, με τον τρόπο τους, να ολοκληρωθεί αυτή η πτυχιακή εργασία.

Καταρχάς ευχαριστούμε τον καθηγητή και πνευματικό οδηγό μας κ. Σωκράτη Καπλάνη, για την ανάθεση αυτού του θέματος, το οποίο είναι πολύ ενδιαφέρον, για την σημαντική βοήθεια του χάρη στην επιστημονική του κατάρτιση για στην περάτωση της εργασίας αυτής. Συνεχίζοντας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον εργαστηριακό συνεργάτη του Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας, κ. Κωστούλα Αχιλλέα για τις γνώσεις που απλόχερα μας προσέφερε και για την συνεχή προσπάθειά του όλα αυτά τα χρόνια. Πολλές ευχαριστίες είμαστε υποχρεωμένοι να δώσουμε στον αγαπημένο μας φίλο, Μακρυγιάννη Νεκτάριο ο οποίος διευκόλυνε την προσπάθεια μας, ώστε να ολοκληρωθεί ο στόχος μας.

Εν κατακλείδι θα θέλαμε να αφιερώσουμε αυτό το σημαντικό αποτέλεσμα της ομαδικής μας δουλειάς σε όλους όσους δεν έχουν πρόσβαση στο σημαντικότερο αγαθό της εποχής μας, το νερό.

ΤΟ ΝΕΡΟ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟΥΣ

1. Το νερό στον πλανήτη έχει συνολικό όγκο $1.350.000 \text{ Km}^3$.
2. Όταν στερεοποιείται, διαστέλλεται κατά 9% σε σχέση με τον αρχικό όγκο.
3. Από την 1^η Γενάρη 1990 γνωρίζουμε ότι η θερμοκρασία βρασμού του νερού είναι $99,975 \text{ }^\circ\text{C}$, λόγω Ατμ ενώ στο Έβερεστ είναι $72 \text{ }^\circ\text{C}$.
4. 500.000 Km^3 νερού περνούν κάθε χρόνο από την υγρή στην αέρια κατάσταση.
5. Το ατμοσφαιρικό νερό, με ετήσιο όγκο 111.000 Km^3 , συμπυκνώνεται πάνω στο έδαφος. Το 1/3 των βροχών διεισδύει στο χώμα ή ξαναβγαίνει στην επιφάνεια για να επιστρέψει στους ωκεανούς, ενώ τα άλλα 2/3 εξατμίζονται και επιστρέφουν πάλι στην ατμόσφαιρα.
6. Για να διατηρηθεί η υγρασία της ατμόσφαιρας πρέπει να εξατμίζονται από την γη 3mm νερού κάθε μέρα.
7. Αν όλοι οι παγετώνες του κόσμου έλιωναν, υπολογίζεται πως το επίπεδο των ωκεανών θα ανέβαινε πάνω από 60m.
8. Ο μέσος όρος βροχής στη γη είναι 1.000 mm τον χρόνο, στον Αμαζόνιο φτάνει τα 2.000mm.
9. Το νερό είναι 1.000 φορές πυκνότερο από τον αέρα.
10. Ένα κύμα ύψους 3 m ασκεί πίεση 8 τόνων/ m^3 .
11. Το χρώμα μιας σταγόνας νερού στους $80 \text{ }^\circ\text{C}$ είναι άσπρη, στους $70 \text{ }^\circ\text{C}$ κιτρίνη, στους $55 \text{ }^\circ\text{C}$ πράσινη, κάτω από $40 \text{ }^\circ\text{C}$ μαύρη.
12. Ένας άνθρωπος έχει κατά μέσο όρο στο σώμα του 47-48 λίτρα νερού.
13. Ένα έμβρυο έξι εβδομάδων αποτελείται κατά 97% από νερό.
14. Κάθε μέρα διαπερνάται από 1.700 λίτρα αίμα, καθαρίζει, ανανεώνει το 20% των 8.600 λίτρων αίματος που οι χτύποι της καρδιάς στέλνουν καθημερινά στο αρτηριακό σύστημα του ανθρώπου.
15. Οι φυσιολογικές ανθρώπινες ανάγκες για το νερό είναι γύρω στα 2 με $2\frac{1}{2}$ λίτρα τη μέρα.
16. Κάθε ένα γήπεδο του γκολφ απαιτεί για το πότισμα του το νερό που καταναλώνεται από έναν οικισμό 5.000 ατόμων.
17. Σχεδόν το $\frac{1}{4}$ των νερών που πέφτουν στην επιφάνεια της γης, δεν φτάνει στη θάλασσα.
18. Η πτώση νερών από το μεγαλύτερο ύψος στον κόσμο, είναι στο Salto Angel, ιλιγγιώδης βαθμιδωτός καταρράκτης ύψους 978 m στο Rio Carrao της Βενεζουέλας.
19. Οι μεγαλύτερες πηγές στον κόσμο, είναι αυτές στο Dumanlı της Τουρκίας, με απόδοση 20 έως $200 \text{ m}^3 / \text{sec}$.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

“Αρχή των πάντων”
κατά τον Θαλή είναι το νερό
θεραπεύει την ψυχή και το
σώμα, προσφέρει ζωή και ενέργεια.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τελευταία δεκαετία, κάτω από την πίεση των συχνά αδιέξοδων περιβαλλοντικών προβλημάτων, μπορεί να χαρακτηριστεί και ως η δεκαετία της αναζήτησης εναλλακτικών επιστημονικών, τεχνολογικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών προσανατολισμών, στην κατεύθυνση της επίτευξης τόσο του στόχου της ανάπτυξης και της προόδου, όσο και της προστασίας του περιβάλλοντος και της διαχρονικής συντήρησης της ζωής στη γη. Η παραδοχή της Βιώσιμης Ανάπτυξης για το Περιβάλλον, όπως αυτή ορίστηκε από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών στα τέλη της περασμένης δεκαετίας και όπως οριοθετήθηκε και διασαφηνίστηκε από τις Παγκόσμιες Διασκέψεις στο Ρίο το 1992 και στη Ν.Υόρκη το 1997, προσπαθεί να εξασφαλίσει ακριβώς την επίτευξη αυτού του διπλού οράματος, προκειμένου να οδηγήσει τον πλανήτη στην κατεύθυνση ενός βιώσιμου μέλλοντος.

Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων, ως επιστημονική προσέγγιση, αλλά και ως επιχειρησιακή πρακτική, βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση και εμπλέκεται ενεργά τόσο με τη διαδικασία της ανάπτυξης, όσο και με εκείνη της περιβαλλοντικής πολιτικής. Αυτό είναι φυσικό, αφού το νερό είναι ένα από τα πλέον πολύτιμα και ευαίσθητα περιβαλλοντικά αγαθά, ως ανανεώσιμος φυσικός πόρος, ενώ συγχρόνως συμμετέχει ενεργά στην αναπτυξιακή διαδικασία, αποτελώντας προϋπόθεση για κάθε μορφή οικονομικής ανάπτυξης.

Η έλλειψη νερού είναι ένα πρόβλημα που εμφανίζεται οξύ στην περιοχή της Μεσογείου, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της αύξησης της οικονομικής δραστηριότητας και, κατά συνέπεια, της αυξημένης ζήτησης.

Στον ελληνικό χώρο, για παράδειγμα, το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στα νησιά του Αιγαίου, γεγονός που αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη.

Η χρήση της αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού για την παραγωγή πόσιμου, ή νερού κατάλληλου για αγροτική και βιομηχανική χρήση, έχει προταθεί και εφαρμοσθεί με διάφορες μεθόδους. Μειονέκτημα όλων αυτών των μεθόδων είναι η μεγάλη ενεργειακή απαίτηση και το πολύπλοκο της όλης εγκατάστασης, πράγμα που κάνει δύσκολη ή ασύμφορη την εφαρμογή τους σε περιοχές όπως αυτές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της έλλειψης νερού. Η αφαλάτωση λοιπόν, του θαλασσινού νερού με χρήση Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μια εναλλακτική μέθοδος αντιμετώπισης του προβλήματος της επάρκειας του νερού, αποτελώντας μια οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον, λύση.

Κεφάλαιο 1

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

1.1 Το Υδατικό Πρόβλημα

Το νερό είναι ένα από τα πολυτιμότερα αγαθά, τελείως απαραίτητο για την διατήρηση της ζωής όλων ανεξάρτητα των όντων του πλανήτη μας. Οι ποταμοί, οι θάλασσες, οι λίμνες, οι ωκεανοί ακόμα και οι οάσεις με το άφθονο νερό υπήρξαν πάντοτε πόλοι για ομάδες ανθρώπων που εγκαταστάθηκαν κοντά στις ακτές τους, διότι το νερό είναι πηγή ζωής.

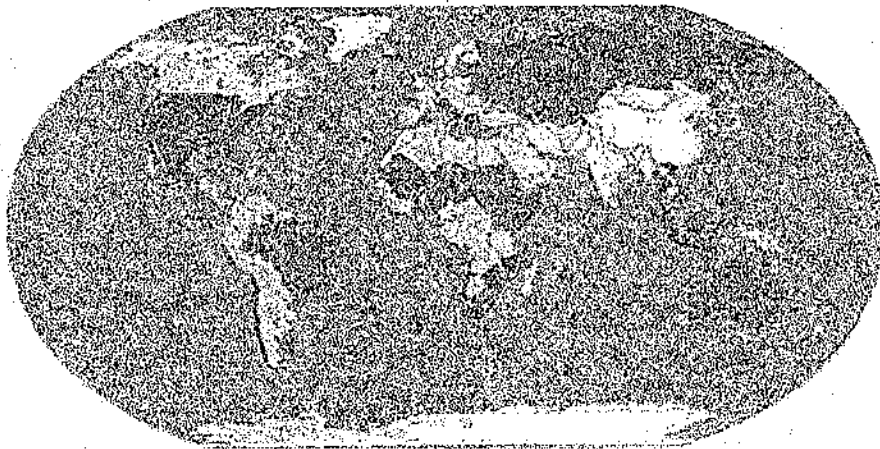
Στην σημερινή εποχή οι συνθήκες είναι τελείως διαφορετικές. Η γενική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, κυρίως όμως η εκρηκτική πληθυσμιακή αύξηση των μεγάλων αστικών κέντρων έχει επιφέρει δυσανάλογη αύξηση της ζήτησης του νερού και εξ' ίσου δυσανάλογη σπάταλη με αποτέλεσμα οι πηγές τροφοδότησης με νερό χρήσης μεγάλων περιοχών του πλανήτη να στερεύουν σταδιακά. Οι στατιστικές αναφέρουν την αναμενόμενη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού σε 11 δισεκατομμύρια ανθρώπους στα επόμενα 40 χρόνια. Η ραγδαία όμως αύξηση του πληθυσμού έχει και έναν άλλο σημαντικό και εξ' ίσου θλιβερό αποτέλεσμα, την ραγδαία αύξηση της μόλυνσης όλων σχεδόν των υδάτινων αποθεμάτων. Αυτή η μόλυνση προέρχεται τόσο από τα λύματα οικιακής χρήσης, κυρίως όμως από τα βιομηχανικά απόβλητα, τα οποία διοχετεύονται στις λίμνες, στα ποτάμια και στη θάλασσα. Εκτιμάται ότι η μόλυνση¹ του υδατικού περιβάλλοντος, ευθύνεται για το 20-25% των θανάτων παγκοσμίως.

Σε λίγο χρονικό διάστημα το νερό θα υπερέχει του χρυσού και του πετρελαίου. Πλούσιες χώρες θα ορίζονται εκείνες που θα έχουν το νερό με αφθονία. Το πόσιμο νερό λιγοστεύει ως προς την ποιότητα και σε χώρες της Ασίας και της Αφρικής παιδιά και ηλικιωμένοι πεθαίνουν από έλλειψη νερού ή από ακατάλληλο πόσιμο νερό.

1 : Τη δεκαετία του 1970 οι ΗΠΑ κήρυξαν τον πόλεμο στη μόλυνση του νερού, βιομηχανίες και αστικά κέντρα έριχναν τα μη επεξεργασμένα απόβλητα τους μέσα σε λίμνες και ποτάμια.

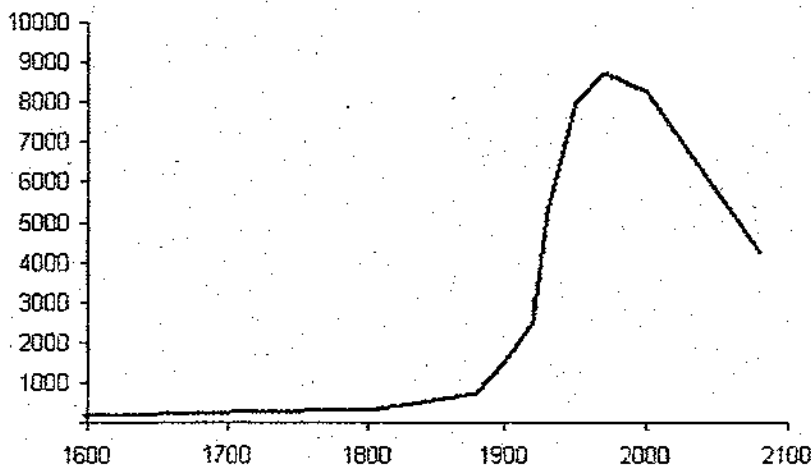
Στην Ευρώπη 31 ποτάμια θεωρούνται μολυσμένα. Στην Γαλλία και στην Μ. Βρετανία το νερό δεν θεωρείται ακίνδυνο όσο για τη Γερμανία το πόσιμο νερό έχει αντικατασταθεί με την μπύρα ενώ ένα μπουκάλι νερό κοστίζει πιο ακριβά από ένα ποτήρι μπύρα.

Στα αστικά κέντρα συνήθως ανοίγουμε την βρύση σπαταλώντας απερίσκεπτα το νερό χωρίς να συνειδητοποιούμε ότι υπάρχει κάποιο όριο στην ποσότητα, που η ίδια η φύση έχει θέσει ενώ υπάρχουν περιοχές στον πλανήτη μας όπου υπάρχει μεγάλη ξηρασία (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1 Περιοχές που υποφέρουν από ξηρασία
(Πηγή : Γαϊόραμα, Τεύχος 6, 1998)

Η κατάσταση έχει φθάσει πλέον σε κρίσιμο σημείο σε πολλές περιοχές του πλανήτη μας. Η ζωή δημιουργήθηκε στο νερό και ζωή χωρίς νερό δεν είναι δυνατόν να υπάρξει . Το διάγραμμα I παρουσιάζει τις εκτιμήσεις του Ο.Η.Ε για την εξέλιξη της παγκόσμιας ζήτησης νερού σε Km^3/yr .



Διάγραμμα I Εξέλιξη της παγκόσμιας ζήτησης νερού
(Πηγή : ΟΗΕ)

Σύμφωνα με μελέτες που έγιναν για μερικές χώρες τις Μεσόγειου, το νερό που θα ζητηθεί για τα επόμενα 30 χρόνια θα είναι περίπου το διπλάσιο (πίνακας Ι).

Πίνακας Ι. Ζήτηση πόσιμου νερού στις νότιες αφρικάνικες χώρες
(Πηγή : The Blue Plan, Oxford Press, 1989)

Έτος	Αλγερία	Αίγυπτος	Λιβύη	Μαρόκο	Τυνησία	Mm ³ /y
1995	1,770	4,354	516	1,376	446	8,462
2000	1,950	5,112	647	1,849	510	10,064
2005	2,150	5,701	815	2,173	570	11,400
2010	2,440	6,777	1,015	2,560	632	13,426
2015	2,960	7,751	1,251	3,002	705	15,669
2020	3,590	8,829	1,512	3,527	786	18,244
2025	4,300	10,019	1,759	4,000	877	20,955

1.2 Η χρήση του νερού

Το νερό έχει μια ευρύτατη κλίμακα χρήσης , επομένως η ζήτηση του νερού, τόσο ως ποσότητα όσο και ως είδος χρήσης εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Γενικά μπορεί να καταταγεί σε τέσσερις μεγάλες ομάδες χρήσης:

- 1: Οικιακή χρήση
- 2: Κοινοτική χρήση
- 3: Βιομηχανική χρήση
- 4: Γεωργική χρήση

Η οικιακή χρήση περιλαμβάνει το πόσιμο νερό, το νερό καθαρισμού γενικά, σπιτιών και καταστημάτων και το νερό μαγειρέματος. Από το νερό που καταναλώνεται παγκοσμίως, το 6% απορροφάται από τα νοικοκυριά (διάγραμμα Ι του παραρτήματος).

Η Κοινοτική χρήση περιλαμβάνει το νερό ποτίσματος δημόσιων χωρών, την τοπική διανομή νερού για σκοπούς πυρόσβεσης, τους υδάτινους

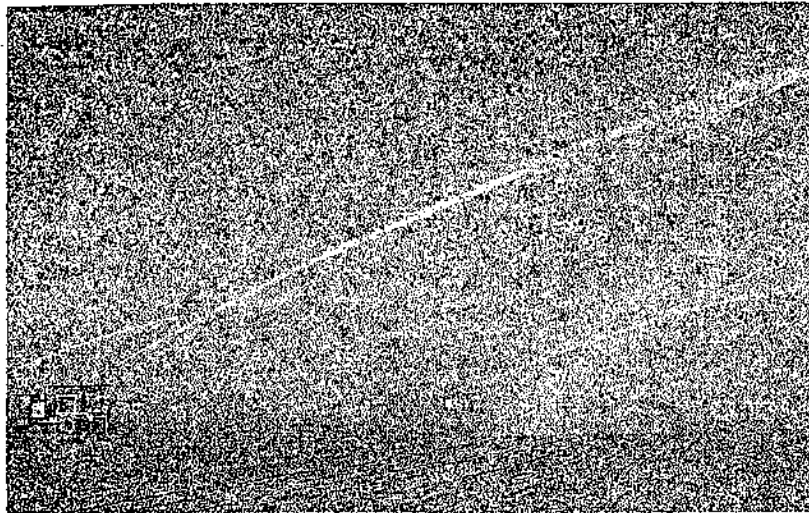
δρόμους μεταφοράς, όπου υπάρχουν, όπως κανάλια για την μεταφορά υλικών.

Η βιομηχανική χρήση του νερού αναφέρεται σε κάθε βιομηχανία χημική ή μη, η οποία χρησιμοποιεί νερό είτε για την παραγωγή ή ως νερό ψύξης. Στην βιομηχανική χρήση ανήκουν και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ρεύματος (σχήμα 1.2).

Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ		ΠΑΡΑΓΩΓΗ		ΣΥΝΤΡΑΦΕΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (%)
	ΙΣΧΥΣ (MW)	ΜΙΚΤΗ (GWh)	ΚΑΘΑΡΗ (GWh)		
Αγρός	50,0	18,9	18,7	4,3	
Εδεσσαίας	19,0	15,9	15,8	9,5	
Αϊδωνίας	70,0	215,3	214,8	35,0	
Αούρος	10,3	48,1	48,0	53,2	
Ταυρωπός	130,0	163,0	162,2	14,2	
Κρέμαστα	437,0	964,2	962,2	25,1	
Κυστράσι	320,0	638,6	637,2	22,7	
Γκιώνα	8,5	0	0	0	
Στρατός I	150,0	298,2	296,9	22,6	
Στρατός II	6,4	10,5	10,4	19,8	
Πολυφύτο	375,0	386,0	383,5	11,7	
Ασώματα	108,0	126,2	125,2	13,2	
Σφηλιά	315,0	435,0	431,2	15,6	
Πουρνάρι	300,0	281,1	279,8	10,7	
Γλαύκος	1,6	3,3	3,3	23,5	
Βέριμο	1,8	4,2	4,2	26,6	
Σέρρες	0,7	0,7	0,7	11,4	
Πηγάς Αΐων ΕΠ	210,0	148,9	147,6	8,0	
Μακροχώρι	10,8	22,7	22,5	23,8	
Σύνολο	2.523,7	3.780,8	3.764,2		

Σχήμα 1.2 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ρεύματος όπου καλύπτουν το 10% των ενεργειακών αναγκών της χώρας μας (Πηγή : Γαϊόραμα, Τεύχος 6, 1998)

Τέλος η γεωργική χρήση του νερού περιλαμβάνει την κτηνοτροφία και την γεωργία, δυο πολλούς ευαίσθητους παράγοντες ως προς την ποιότητα του νερού, και την αλιεία. Τα τελευταία χρόνια οι αρδευόμενες εκτάσεις στην Ελλάδα αυξήθηκαν από 1.780.000 σε 13.200.000 στρέμματα, με αποτέλεσμα κύριος καταναλωτής νερού στη χώρα μας να είναι η γεωργία (σχήμα 1.3), που χρησιμοποιεί το 80-85% του νερού που είναι διαθέσιμο για κάθε χρήση.



Σχήμα 1.3 Γεωργική χρήση του νερού σε αρδευόμενες εκτάσεις
(Πηγή : Γαϊόραμα, Τεύχος 6, 1998)

Κάθε ομάδα απαιτεί νερό διαφορετικής ποιότητας, τόσο ως προς την περιεκτικότητα των αλάτων, όσο και την βιολογική καθαρότητα. Δηλαδή οι γενικές προδιαγραφές είναι πολύ διαφορετικές για κάθε ομάδα και λιγότερο ή περισσότερο ελαστικές ανάλογα ναι την χρήση.

1.3 Διαχείριση της ζήτησης του νερού

Υπολογίζεται διεθνώς ότι η ζήτηση σε νερό αυξάνεται τρεις φορές πιο γρήγορα απ' ό,τι ο πληθυσμός της γης. Συγχρόνως η συνολική ποσότητα του νερού που διαθέτει κάθε χώρα παραμένει στο χρόνο περίπου σταθερή. Γίνεται λοιπόν φανερό το περιβαλλοντικό, αλλά και οικονομικό αδιέξοδο της πολιτικής της μονότονης και συστηματικής αναζήτησης διαρκώς νέων υδατικών αποθεμάτων προς αξιοποίηση. Οι υδατικοί πόροι είναι ούτως ή άλλως πεπερασμένοι και αργά ή γρήγορα θα εξαντληθούν. Όσον αφορά το κόστος εκμετάλλευσης κάθε νέου κυβικού μέτρου νερού από την άλλη πλευρά, αυτό υπολογίζεται σήμερα από τη Διεθνή Τράπεζα ότι θα στοιχίζει στο εξής τρεις φορές περισσότερο από ό,τι στο παρελθόν. Οι διαπιστώσεις αυτές δίνουν το μέτρο της ανάγκης του επαναπροσδιορισμού των αρχών και των μεθόδων της διαχείρισης των υδατικών πόρων από τη λογική της διαχείρισης της προσφοράς, σε εκείνη της διαχείρισης της ζήτησης, με έμφαση στη χρήση και εφαρμογή οικονομικών κινήτρων και μεθόδων. Αυτός είναι ένας ιδιαίτερα αποτελεσματικός τρόπος ελέγχου των χρήσεων και προσανατολισμού των αναγκών στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης και της

προστασίας του νερού. Οι ανάγκες σε νερό δεν θεωρούνται πλέον δεδομένες και τα υδατικά αποθέματα ανεξάντλητα, αλλά αντίθετα, η προσπάθεια έχει στόχο την προσαρμογή των αναγκών στα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα.

Η επιβολή προστίμων και ποινών για τη ρύπανση του νερού, η χρέωση κάθε μορφής χρήσης του σύμφωνα με την πλήρη αξία του, συμπεριλαμβανομένης και της αγροτικής που σήμερα δεν χρεώνεται, η επιβάρυνση των μεγάλων ή σπάταλων χρηστών με αυξημένα τιμολόγια, (κλιμακωτή τιμολόγηση), οι επιχορηγήσεις, οι φορολογικές απαλλαγές ή οι δανειοδοτήσεις για την εγκατάσταση και χρησιμοποίηση «καθαρών» τεχνολογιών, τεχνολογιών βιολογικού καθαρισμού των αποβλήτων ή τεχνολογιών ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού στη βιομηχανία, καθώς και κάθε μορφής συμπεριφορών και πρακτικών φιλικών προς το περιβάλλον, οι φορολογικές απαλλαγές σε όσους κάνουν ορθολογική χρήση του νερού και δεν υπερβαίνουν κάποια όρια κατανάλωσης, ή σε όσους προστατεύουν ή αποκαθιστούν τα υδατικά συστήματα, η έμμεση φορολόγηση ή η τιμολογιακή επιβάρυνση ουσιών επικίνδυνων για το νερό (τοξικές ουσίες, γεωργικά φάρμακα, λιπάσματα, εντομοκτόνα) ή τεχνικών υδροβόρων, (πεπταλωμένα συστήματα άρδευσης), αποτελούν μορφές αξιοποίησης οικονομικών εργαλείων που έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί με επιτυχία διεθνώς, στην προσπάθεια για τη δημιουργία κινήτρων για τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων και την υιοθέτηση φιλικών προς το περιβάλλον συμπεριφορών.

Τρόποι Εξασφάλισης Υδάτινων Πόρων:

- Γεώτρηση
- Πηγάδι
- Λιμνοδεξαμενή
- Φράγμα
- Αφαλάτωση του θαλασσινού νερού
- Μεταφορά με πλοία
- Τεχνητή βροχή
- Ανακύκλωση του χρησιμοποιημένου νερού (ύδατα βιομηχανίας, όμβρια ύδατα)

Στη συνέχεια αναφέρονται ενδεικτικά αποτελέσματα από τη χρήση οικονομικών μεθόδων στη διαχείριση του νερού από τη διεθνή εμπειρία:

- Η κατανάλωση του νερού στην πρώην Ανατολική Γερμανία μειώθηκε εντυπωσιακά, από 400 σε 120 λίτρα/άτομο/ημέρα μεταξύ 1989 και 1994, μετά την ένωση των δύο Γερμανιών, οπότε ακολουθήθηκε η πολιτική της Δ. Γερμανίας, που προβλέπει την τιμολόγηση του νερού με βάση το πραγματικό κόστος του.

- Στην Αιόβα των ΗΠΑ, με την επιβολή έμμεσης φορολόγησης κατάφεραν να μειώσουν την χρήση χημικών γεωργικών φαρμάκων και συνεπώς την μόλυνση του νερού κατά 77%.

- Παρόμοιο παράδειγμα αποτελεί και η περίπτωση της βιομηχανικής χρήσης νερού στην Αμερική που λόγω επιβολής προστίμων μειώθηκε από το 1980 έως το 1990 κατά 33%, τη στιγμή κατά την οποία η βιομηχανική δραστηριότητα σημείωνε αύξηση.

- Στη Γαλλία η εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων και ο χρήστης πληρώνουν» μείωσε την άντληση υπόγειου νερού κατά 15% και τη βιομηχανική χρήση νερού κατά 55% σε μια εποχή που σε άλλες χώρες σημειώθηκαν εντυπωσιακές αυξήσεις, (1970-1989).

- Στην Ολλανδία τα αποτελέσματα μιας πολιτικής ποινών και φορολόγησης για τη ρύπανση των νερών, έπεισε το 66% των μεγάλων βιομηχανιών να ενσωματώσουν σύγχρονες καθαρές τεχνολογίες επεξεργασίας και ανακύκλωσης του νερού στη λειτουργία τους.

Έχει υπολογιστεί ότι με εφαρμογή μιας αποτελεσματικής πολιτικής στην κατεύθυνση της διαχείρισης της ζήτησης του νερού, κατά μέσον όρο σε όλον τον κόσμο, οι αγρότες έχουν περιθώρια να περικόψουν την κατανάλωση του νερού κατά 10-50%, η βιομηχανία κατά 40-90% και η ύδρευση κατά 30%, χωρίς καμία διαφορά στο οικονομικό αποτέλεσμα, αλλά και χωρίς αυτό να σημαίνει υποβάθμιση της ποιότητας της ζωής.

1.4 Κοστολόγηση του νερού

Σε άμεση συνάρτηση με την πολιτική της διαχείρισης της ζήτησης, βρίσκεται η οικονομική θεώρηση του νερού και η ανάγκη κοστολόγησής του σύμφωνα με την πλήρη αξία του. Η αναγνώριση της οικονομικής αξίας των φυσικών πόρων και συνεπώς και του νερού, αποτελεί όπως είναι γνωστό, κεντρικό στοιχείο της παραδοχής της Αειφόρου Ανάπτυξης για το Περιβάλλον.

Το νερό, ως υποκείμενο στο νόμο της προσφοράς και της ζήτησης, έχει μια οικονομική αξία σε όλες τις ανταγωνιστικές του χρήσεις και αυτό θα πρέπει να αναγνωριστεί προκειμένου να γίνει εφικτή η εκτίμηση της πραγματικής του αξίας.

Το κόστος του καθαρισμού του νερού, το κόστος της απορρύπανσης και της αποκατάστασης των υδατικών συστημάτων που έχουν υποβαθμιστεί, καθώς και το κόστος της μεταφοράς νερού από μακριά σε περιπτώσεις εξάντλησης των τοπικών υδατικών αποθεμάτων υπενθυμίζουν, έστω και εκ των υστέρων, ότι η κάθε λογής επέμβαση στους υδατικούς πόρους, είτε με τη μορφή της χρήσης είτε με τη μορφή της ρύπανσης του νερού, υπόκειται στους νόμους της Οικονομίας, μια και έχει ένα κόστος που αργά ή γρήγορα οι πολίτες θα κληθούν να καταβάλουν.

Η υποτιμολόγηση του νερού και η μη θεώρηση του ως οικονομικού αγαθού που ήδη βρίσκεται σε ανεπάρκεια, συμβάλλει στην υποτίμηση της πραγματικής του αξίας, διογκώνοντας το πρόβλημα και οδηγώντας σε αλόγιστη χρήση και υπερεκμετάλλευση. Είναι πλέον διεθνώς παραδεκτό, ότι πολλά από τα σημερινά περιβαλλοντικά προβλήματα αποτελούν νοσηρά συμπτώματα αστοχίας ενός οικονομικού συστήματος που υποτιμολογεί και συνεπώς και υποτιμά την πραγματική αξία των περιβαλλοντικών παραμέτρων και αγαθών. Το νερό αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου φυσικού πόρου, η εξάντληση και υποβάθμιση του οποίου σχετίζεται άμεσα με την υποτίμηση της πραγματικής αξίας του.

Η αναγνώριση της οικονομικής αξίας του νερού έχει συστηματικά υποβαθμιστεί μέχρι σήμερα σε όλον τον κόσμο, με την υποτιμολόγηση ή ακόμη και την δωρεάν παροχή του στις περισσότερες περιπτώσεις. Το γεγονός αυτό οδήγησε αντίστοιχα και σε υποτίμηση της πραγματικής αξίας του νερού από μέρους των χρηστών ή τουλάχιστον δεν βοήθησε καθόλου στη διαδικασία εκτίμησης και αξιολόγησης της πραγματικής του αξίας και αυτή φαίνεται να είναι η αιτία των περισσότερων υδατικών προβλημάτων στις μέρες μας. Οι κύριοι χρήστες, αυτοί δηλαδή που καταναλώνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες, (είναι γνωστό το 70% του νερού που καταναλώνεται παγκόσμια είναι το νερό των αγροτικών χρήσεων, ενώ το 23% το νερό των βιομηχανικών), πληρώνουν το νερό που καταναλίσκουν από ελάχιστα έως καθόλου. Το αποτέλεσμα είναι σπατάλη νερού, αλλά και ποιοτική υποβάθμιση του, αφού η ακολουθούμενη πολιτική δεν συμβάλλει στην εκτίμηση της πραγματικής αξίας του πολύτιμου και σε ανεπάρκεια βρισκόμενου αγαθού.

Από την άλλη πλευρά, η πρακτική αυτή οδηγεί σε μεγάλη κοινωνική αδικία, αφού στρέφεται άμεσα εις βάρος κυρίως όσων αναγκάζονται να πληρώνουν για να έχουν πρόσβαση σε νερό καλής ποιότητας, και οι οποίοι ως σημειωθεί ότι συνήθως ευθύνονται για ένα μικρό ποσοστό της κατανάλωσης, (μόλις 7-8% για αστικές χρήσεις). Η υποτίμηση της αξίας του νερού έχει ακόμη οδηγήσει σε παροχή χαμηλών υπηρεσιών μεταφοράς, καθαρισμού και διανομής του, καθώς οι πολίτες δεν είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν για τη βελτίωση αυτών των υπηρεσιών.

Βεβαίως η αντιμετώπιση του νερού ως οικονομικού αγαθού δεν είναι συνώνυμη ούτε με κατακόρυφες αυξήσεις στα τιμολόγια με αρνητικά σε ό,τι αφορά στην κοινωνική αποδοχή των μέτρων αποτελέσματα, ούτε με μονεταριστικές πρακτικές με αποκλειστικό σκοπό τη συγκέντρωση επιπλέον εσόδων για την κάλυψη των ελλειμμάτων της δημοσιονομικής πολιτικής.

Ανεξάρτητα πάντως από τον τρόπο με τον οποίο θα ασκηθεί η οικονομική πολιτική και άσχετα από το εάν κάποιες κατηγορίες πολιτών υποχρεωθούν τελικά να πληρώσουν ή όχι, το πραγματικό κόστος του νερού θα πρέπει να γίνεται πάντοτε φανερό και να υπολογίζεται ακόμη και σε περιπτώσεις κρατικών ή άλλης μορφής επιδοτήσεων.

1.5 Χαρακτηριστικές ιδιότητες του πόσιμου νερού

Απόλυτα καθαρό νερό δεν υπάρχει στη φύση. Το νερό εξατμίζεται και επιστρέφει στη φύση με την μορφή βροχής ή χιονιού κατακρατώντας μόρια σκόνης και διάφορα αέρια (O_2 , CO_2). Κατά την διαδρομή τους στην επιφάνεια του εδάφους εμπλουτίζεται με ανόργανα και οργανικά συστατικά καθώς και με βακτηρίδια. Το επιφανειακό νερό διατηρεί και αυξάνει τις ποσότητες αυτές. Αντίθετα, το υπόγειο νερό συνήθως χάνει ένα μεγάλο μέρος των σωματιδίων και των μικροοργανισμών διερχόμενο από το έδαφος που λειτουργεί σαν φυσικό φίλτρο.



Σχήμα 1.4 Καθαρισμός του νερού από μικροοργανισμούς
(Πηγή : Γαϊόραμα, Τεύχος 6, 1998)

Τα πρόσθετα συστατικά του επιφανειακού νερού μπορούν να απομακρυνθούν με την επεξεργασία του (κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση, απολύμανση)², ώστε να γίνει πόσιμο και να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο (σχήμα 1.4). Ως πόσιμο χαρακτηρίζεται το νερό που είναι καθαρό από φυσική, χημική, βιολογική και μικροβιολογική άποψη και μπορεί να καταναλώνεται χωρίς να κινδυνεύει η υγεία του ανθρώπου.

2: Οι διαδικασίες για την επεξεργασία του νερού αναλύονται στο κεφ. 4, παρ 9.

Το πόσιμο νερό³ πρέπει να είναι άχρωμο, άοσμο, δροσερό και με ευχάριστη γεύση. Δεν πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα, γιατί αυτή προκαλεί δυσκολίες στην χρήση του. Δεν πρέπει να περιέχει οργανικές ουσίες, βαρέα μέταλλα και παθογόνα μικρόβια. Η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι σταθερή στους 10 – 15 °C.

Μετά την επεξεργασία το πόσιμο νερό ελέγχεται οργανοληπτικά, χημικά, βιολογικά και μικροβιολογικά για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του. Κατά τον ποιοτικό έλεγχο του νερού ερευνώνται βασικά τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Οσμή – γεύση
2. Χρώμα
3. Θολότητα
4. Θερμοκρασία
5. Αλκαλικότητα – pH
6. Μικρόβια
7. Σκληρότητα

Εκτάκτως ερευνώνται βαρέα μέταλλα και διάφορες χημικές ενώσεις (γεωργικά φάρμακα, παραπροϊόντα απολύμανσης, νιτρικά και νιτρώδη άλατα, χλωριούχα και θειικά κτλ).

1.6 Κριτήρια ποιότητας του πόσιμου νερού

Η καταλληλότητα των νερών, ανάλογα με την χρήση δίνεται από πρότυπα προδιαγραφών όπου αναφέρεται το είδος των αλάτων και τα όρια που τίθενται στην περιεκτικότητα των. Αυτές οι προδιαγραφές έχουν καθιερωθεί παγκόσμια χωρίς όμως αυτό να αποκλείει διάφορες από τοπικά κρατικά πρότυπα, ιδίως για τα νερά που αφορούν κοινοτική ή βιομηχανική χρήση, όπου οι προδιαγραφές είναι ελαστικές. Αντίθετα, για το πόσιμο νερό οι προδιαγραφές είναι πολύ αυστηρές και έχουν δοθεί από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (World Health Organization).

³ Οι προδιαγραφές για το πόσιμο νερό καθορίζονται από την οδηγία 80/778 του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΦΕΚ 53/Β/1986).

Στον πίνακα II δίνονται οι τιμές των κυριότερων αλάτων σε ανώτατο δεκτό όριο και σε ανώτατο επιτρεπτό όριο όπως αυτές που έχουν θεσπιστεί από τον W.H.O.

Πίνακας II προδιαγραφές για το πόσιμο νερό της W.H.O.
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Συστατικά		Περιεκτικότητα σε mg/l	
		Ανώτατο δεκτό	Ανώτατο επιτρεπτό
Υλικά διαλυμένα άλατα	TDS	500	1500
Χλωριούχα	Cl	200	600
Θειικά	SO ₄ ²⁺	200	400
Ασβέστιο	Ca ²⁺	75	100
Μαγνήσιο	Mg ²⁺	30	150
Φθοριούχα	F	0.7	1.7
Νιτρικά	NO ₃ ⁻	<50	100
Χαλκός	Cu ²⁺	0.05	1.5
Σίδηρος	Fe ³⁺	0.10	1.0
Χλωριούχο νάτριο	NaCl	250	-
Υδρογόνο σε μονάδες	pH	7.0 έως 8.5	6.5 έως 9.2

Περιεκτικότητα χλωριούχων μεγαλύτερη των 600 mg/l αλλοιώνει την γεύση του νερού και συγχρόνως διαβρώνει τις σωληνώσεις του δικτύου διανομής, ενώ <400 mg/l θειικών προκαλούν γαστροεντερικούς ερεθισμούς. Ο χαλκός και ο σίδηρος επηρεάζουν την γεύση του.

Ο πίνακας III δίνει την ανωτάτη τιμή μερικών από τα συστατικά που μολύνουν το πόσιμο νερό. Τα συστατικά αυτά προκαλούν διάφορες βιολογικές ανωμαλίες στα νεφρά, στο συκώτι, στο δέρμα και στα μάτια, πολλές δε προκαλούν καρκίνο.

Πίνακας III Ανώτατη περιεκτικότητα ουσιών μόλυνσης του πόσιμου νερού
(Πηγή: Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Συστατικό μόλυνσης	C _{max}	Συστατικό μόλυνσης	C _{max}
Νιτρικά, ως N	10.0 mg/l	Θολότητα	1-5 NTU
Φθοριούχα	1.4-2.4 mg/l		
Βάριο	1.0 mg/l	Κολοβακτηρίδια	1/100 ml
Αργυρος	0.05 mg/l		
Αρσενικό	0.05 mg/l	Ράδιο 226 και 228	5 pCi/l
Μόλυβδος	0.05 mg/l	Στρόντιο 90	8 pCi/l
Χρώμιο	0.05 mg/l	Ακτινοβολία α	15 pCi/l
Κάδμιο	0.01 mg/l	Ακτινοβολία β	50 pCi/l
Σελήνιο	0.01 mg/l		
Υδράργυρος	0.002 mg/l	Χλωριούχοι Υδρογόνοι/κες	0.1-0.0002

1.7 Το πρόβλημα της λειψυδρίας στα νησιά - Οικονομικά στοιχεία

Το πρόβλημα της ύδρευσης των ελληνικών νησιών, το οποίο οξύνεται με την αύξηση του πληθυσμού τους (χάρτης I του παραρτήματος), μπορεί να αντιμετωπιστεί με διάφορες μεθόδους με προσωρινές ή μακροχρόνιες λύσεις του προβλήματος. Οι πλέον διαδεδομένες περιλαμβάνουν την κατασκευή λιμνοδεξαμενών και μικρών φραγμάτων, την δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης (με κύρια μέθοδο την εφαρμογή της αντίστροφη ώσμωση) και τη μεταφορά του νερού με υδροφόρες.

Οι διάφορες μέθοδοι είναι δύσκολο να συγκριθούν μεταξύ τους βάση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας τους. Για την κατασκευή λιμνοδεξαμενής ή φράγματος, χρειάζονται 4 ή 5 χρόνια κατασκευής, έχουν αρκετά μεγάλο κόστος εγκατάστασης, υπάρχει δυσκολία στην μεταφορά μηχανημάτων, τεχνικού και επιστημονικού προσωπικού και οι εδαφολογικές συνθήκες των περιοχών στα νησιά συνήθως δεν είναι ευνοϊκές. Τέτοιες εγκαταστάσεις δεν μπορούν να λύσουν άμεσα το πρόβλημα της υδροδότησης, ακόμα και αν

έχουν γίνει μελέτες για την περιοχή, γιατί θα απαιτηθεί αρκετός χρόνος μέχρι την παράδοση του έργου για λειτουργία.

Αντίθετα η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης ή η μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία, είναι πιο άμεσες λύσεις. Η μεταφορά με υδροφόρες παρουσιάζει αδυναμία ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες (λόγω φορτίων αιχμής), λόγω των κακών καιρικών συνθηκών. Μια εγκατάσταση αφαλάτωσης δεν επηρεάζεται από φυσικούς παράγοντες αλλά παρουσιάζονται προβλήματα κυρίως από τον συχνό ρυθμό καθαρισμού και συντήρηση της μονάδας.

Σύμφωνα με εκτίμηση που έγινε για τις εναλλακτικές μεθόδους υδροδότησης νησιών των Δωδεκανήσων, στον πίνακα IV δίνεται το κόστος του νερού ανά κυβικό μέτρο, για τρία νησιά των Δωδεκανήσων και της Σύρου, για διάφορες λύσεις υδροδότησης των νησιών αυτών. Έτσι παρατηρούμε ότι το κόστος παραγωγής νερού από μονάδες αφαλάτωσης, κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα και συναγωνίζεται τις άλλες μεθόδους υδροδότησης.

Πίνακας IV : Συγκριτικό κόστος διαφόρων μεθόδων υδροδότησης νησιών
(Πηγή : Λαμπάδης 1991)

Μέθοδος	Κόστος ευρώ/m ³			
	Σύμη	Πάτμος	Χάλκη	Σύρος
Κατασκευή φράγματος ή λιμνοδεξαμενής	6,7	4,7	-	-
Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση (R.O.)	1,3	1,3	1,3	0,96
Μεταφορά από ιδιώτη όπως γίνεται σήμερα	1,6	1,6	1,6	-
Μεταφορά από εάν δεν υπάρχει ενιαία τιμή	1,02	1,7	1,2	-
Μεταφορά από ιδιωτικό πλοίο	0,4	-	0,4	-

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι πιστώσεις που έχουν διατεθεί για την υδροδότηση αλλά και για έργα υποδομών ύδρευσης στα άνυδρα νησιά τα τελευταία 4 χρόνια είναι κατά πολύ ανώτερες από αυτές πριν το 2000.

Η πρόβλεψη είναι ότι μέχρι το τέλος του έτους οι δαπάνες για το σκοπό αυτό θα κυμανθούν περίπου στο 3.521.500,00 Euro.

Ειδικότερα μέχρι τον Αύγουστο του 2000 για τις Κυκλάδες διατέθηκαν 794.630,00 Euro ενώ για τα Δωδεκάνησα μέχρι τον Σεπτέμβριο 2000 οι διατιθέμενες πιστώσεις έφτασαν στα 1.326.860,00 Euro (χάρτης II του παραρτήματος). Για το έτος 2001 προβλέπεται ότι οι αντίστοιχες δαπάνες θα κυμανθούν συνολικά στα 4.402.050,00 Euro. Το τρέχον έτος 2000 έχουν αυξηθεί οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού στα νησιά. Σε 8 άνυδρα νησιά του Νομού Κυκλάδων έχουν μεταφερθεί (μέχρι τον Σεπτέμβριο) 130.134 m³ νερού, παρουσιάζοντας αύξηση 82,57% σε σχέση με την αντίστοιχη περίοδο του προηγούμενου έτους (πίνακας V).

Πίνακας V Μεταφερόμενες ποσότητες νερού σε 8 άνυδρα νησιά του Νομού Κυκλάδων (Πηγή : Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου)

ΝΟΜΟΣ ΚΥΚΛΑΔΩΝ			
	ΕΤΟΣ		μεταβολή %
	1999 (Ιανουάριος Σεπτέμβριος)	2000 (Ιανουάριος Σεπτέμβριος)	
ΝΗΣΙΑ			
Αμοργός	18.240	13.570	-25,60%
Κουφονήσια	22.619	23.635	4,49%
Κίμωλος	12.805	18.888	47,50%
Ηράκλεια	6.525	7.330	12,34%
Σχοινούσα	2.720	9.610	253,31%
Φολέγανδρος	8.370	11.380	35,96%
Τήνος	0	35.721	100,00%
Σίκινος	0	10.000	100,00%
Σύνολο	71.279	130.134	82,57%

- Σε 9 άνυδρα νησιά του Νομού Δωδεκανήσου έχουν μεταφερθεί (μέχρι τον Σεπτέμβριο) 409.588 m³ νερού, παρουσιάζοντας αύξηση 20,16% σε σχέση με την αντίστοιχη περίοδο του προηγούμενου έτους (πίνακας VI).

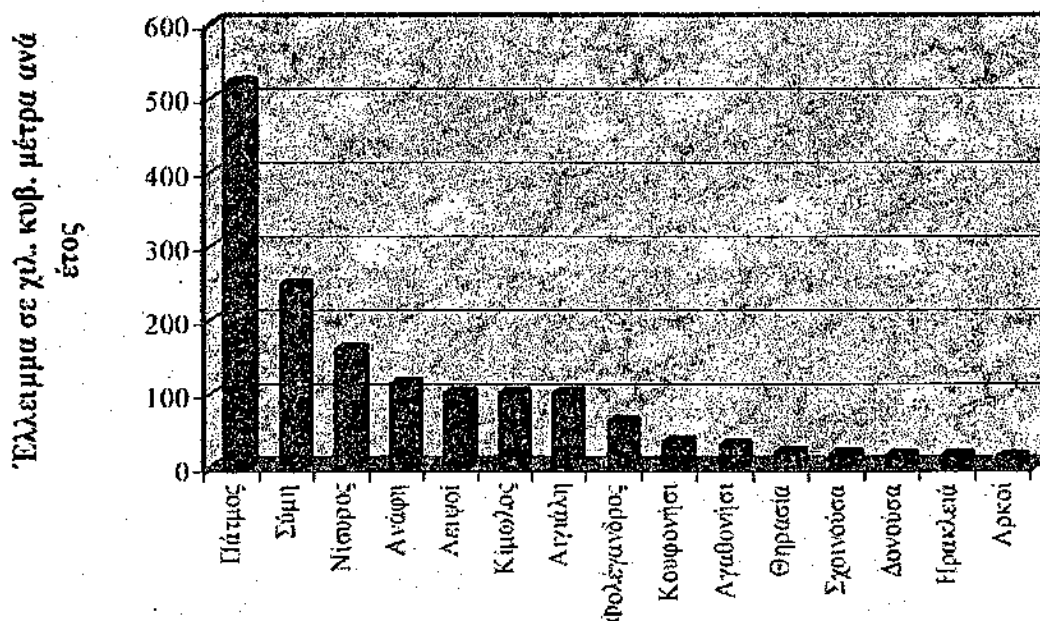
Πίνακας VI Μεταφερόμενες ποσότητες νερού σε 9 άνυδρα νησιά του Νομού Δωδεκανήσου.
(Πηγή : Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου)

ΝΟΜΟΣ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ			
	ΕΤΟΣ		μεταβολή %
	1999 (Ιανουάριος - Σεπτέμβριος)	2000 (Ιανουάριος - Σεπτέμβριος)	
ΝΗΣΙΑ			
Αγαθονήσι	4.108	6.806	65,68%
Λειψοί	18.918	26.412	39,61%
Μεγίστη	33.307	35.752	7,34%
Νίσυρος	36.324	54.458	49,92%
Πάτμος	92.742	111.376	20,09%
Σύμη	115.822	137.602	18,80%
Χάλκη	39.250	36.012	-8,25%
Παληόνησο (βόρειο τμήμα Καλύμνου)	400	1.050	162,50%
Ψέριμος	0	120	100,00%
Σύνολο	340.871	409.588	20,16%

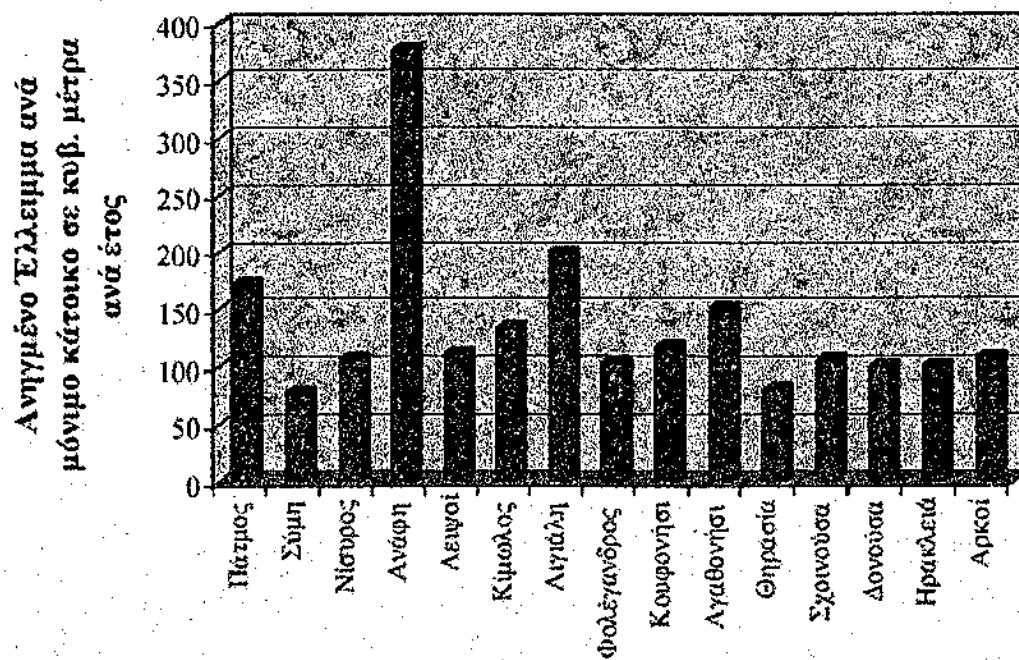
Στα νησιά που μεταφέρεται νερό έχουν εξαντληθεί οι δυνατότητες εξεύρεσης υδροφόρων στρωμάτων (πηγές – γεωτρήσεις). Επιλέχθηκε η μεταφορά νερού ως λύση μιας και σήμερα, άλλες εναλλακτικές λύσεις όπως αφαλατώσεις δεν είχαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Σαν μακροπρόθεσμη λύση σε αυτά τα νησιά επιλέχθηκε η κατασκευή ομβροδεξαμενών, λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων. Για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση του προβλήματος της ύδρευσης στα νησιά έχουν προγραμματιστεί οι παρακάτω ενέργειες:

- Η επιτάχυνση μελέτης και κατασκευής έργων (φραγμάτων & λιμνοδεξαμενών).
- Η έρευνα εναλλακτικών λύσεων ύδρευσης (αφαλατώσεις με τεχνολογία νέας γενιάς και εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας).

Στα διαγράμματα II και III παρατηρούμε το αναμενόμενο έλλειμμα μερικών άνυδρων νησιών.



Διάγραμμα II Διαγραμματική παρουσίαση του αναμενόμενου ελλείμματος νερού μερικών «άνυδρων νησιών» για τον ορίζοντα 2010 (Πηγή : Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου)



Διάγραμμα III Διαγραμματική παρουσίαση του αναμενόμενου ελλείμματος νερού ανά κάτοικο μερικών «άνυδρων νησιών» για τον ορίζοντα 2010. (Πηγή : Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου)

1.8 Αντιμετώπιση - Εναλλακτικές Προτάσεις

Στο αδιέξοδο που δημιουργείται για το Αιγαίο οι όποιες εναλλακτικές προτάσεις πρέπει να απευθύνονται και στα δύο βασικά σκέλη της ΔΥΠ δηλαδή στη Ζήτηση και την Προσφορά Υδατικών Πόρων. Ιεραρχικά πρώτα πρέπει πάντα να επιδιώκεται η μείωση της ζήτησης μέσα από τα προγράμματα περιορισμού των απωλειών στα δίκτυα και του ποσοστού του μη κοστολογημένου νερού από τη βελτίωση λειτουργίας των δικτύων αλλά και τη διαχείριση τη ζήτησης. Εντυπωσιακά αποτελέσματα σε αυτή την κατηγορία μπορούν να επιτευχθούν με τη ρύθμιση της πίεσης στο δίκτυο αλλά και στα τελικά σημεία υδροληψίας.

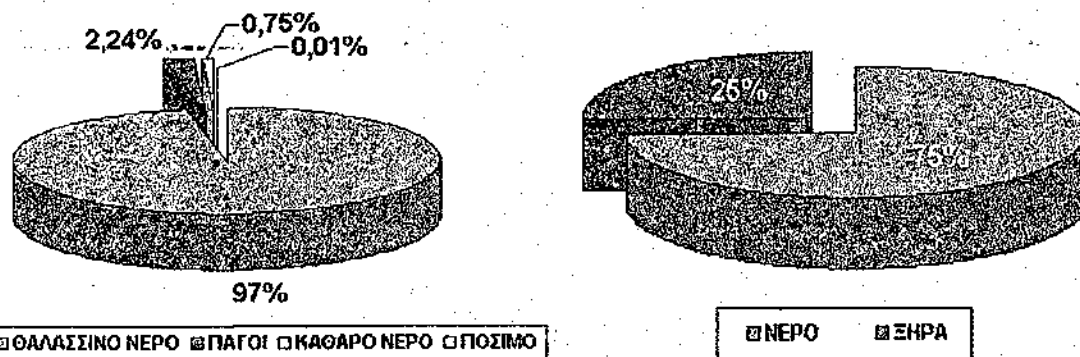
Σε δεύτερη φάση (αυτή της προσφοράς) σημαντική συμβολή μπορούν να διαδραματίσουν:

- η επεξεργασία υφάλμυρου νερού
- τα διπλά δίκτυα ύδρευσης (πόσιμου και μη νερού)
- η άμεση αξιοποίηση του νερού της βροχής (rain water harvesting)
- η επαναχρησιμοποίηση του νερού
- οι παραδοσιακοί τρόποι συλλογής νερού
- τα υπόγεια φράγματα (διαφράγματα)

Τα θέματα αυτά θα συζητηθούν λεπτομερειακά από επιμέρους ομιλητές. Αυτό που πρέπει να τονισθεί εδώ είναι η ανάγκη για οργάνωση και διαμόρφωση της υλοποίησης συντονισμένων και αποτελεσματικών προγραμμάτων διαχείρισης.

1.9 Το θαλασσινό νερό

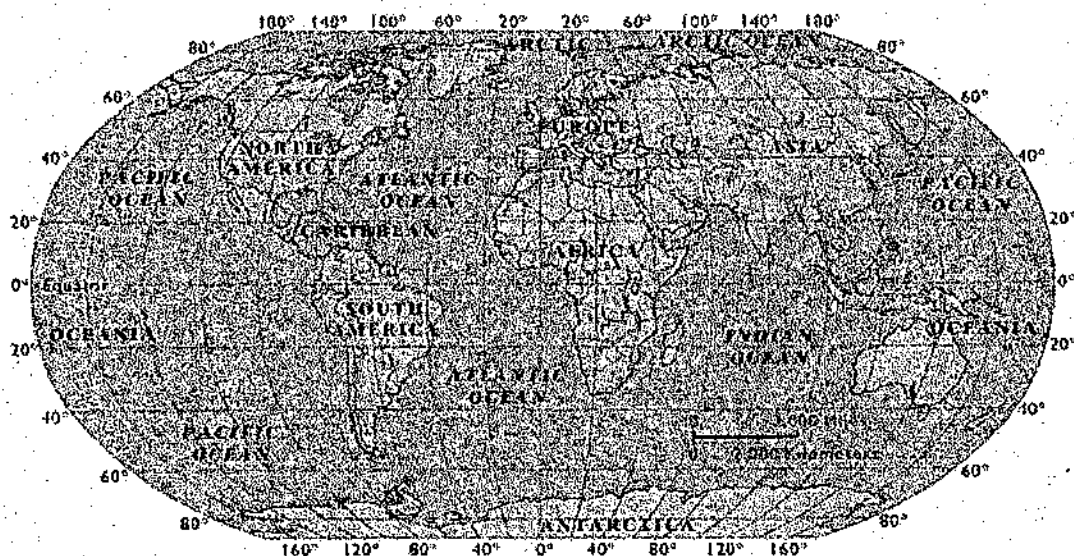
Ο πλανήτης γη διαθέτει μια ολική επιφάνεια από $510 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$. Από αυτά στερεό έδαφος αποτελούν μόνο το $150 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$ ενώ τα υπόλοιπα $360 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$ αποτελούν τις υδάτινες επιφάνειες (διάγραμμα II του παραρτήματος), δηλαδή το περίπου 75% του πλανήτη καλύπτεται από νερό (διάγραμμα IV, σχήμα 1.5).



Διάγραμμα IV Ποσοστό υδάτινων επιφανειών του πλανήτη

Ο ολικός όγκος αποθεμάτων της γης είναι $1.41 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$, όπου το 97% ή $1.37 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$, αποτελούν τις θάλασσες και τους ωκεανούς, δηλαδή τα πολύ αλμυρά νερά, ενώ το υπόλοιπο 3% σχηματίζει τα αποθέματα του γλυκού ή πόσιμου νερού στα οποία συγκαταλέγονται και τα υφάλμυρα νερά. Το 3% του γλυκού νερού ή $0.04 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ κατανέμεται ως εξής :

Πάγος της πόλους και της παγετώνες	$30 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$
Νερά μέχρι βάθους 750 m	$4.4 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$
Νερά σε βάθος από 750 m έως 3500 m	$2.4 \cdot 10^4 \text{ m}^3$
Νερά λιμνών	$5.6 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$
Ποταμοί και ρυάκια	$12 \cdot 10^4 \text{ m}^3$
Υγρασία εδάφους	$1.2 \cdot 10^4 \text{ m}^3$
Υγρασία ατμόσφαιρας	$1.3 \cdot 10^4 \text{ m}^3$



Σχήμα 1.5 Το μεγαλύτερο ποσοστό της γης καλύπτεται από ωκεανούς και θάλασσες. (Πηγή : www.allpictures.com)

Από αυτά τα στατιστικά στοιχεία υπολογίζεται ότι μόνο το 0.75 % του γήινου γλυκού ή πόσιμου νερού υπάρχει σε υγρή μορφή και ότι μόνο το 0.01 % από το νερό αυτό βρίσκεται στα ποτάμια και της λίμνες, άμεσα προσιτό στην διάθεση της.

Το γλυκό νερό προέρχεται από την συμπύκνωση των ατμών της ατμόσφαιρας που με της βροχοπτώσεις παρασύρεται και σχηματίζει τα υδάτινα ρεύματα στην επιφάνεια της γης. Οι ατμοί της ατμόσφαιρας σχηματίζονται όταν από την επιφάνεια των λιμνών, των και των ωκεανών εξατμίζεται νερό λόγω της θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ατμοί οι οποίοι σχηματίζονται, στο μεγαλύτερο μέρος της συμπυκνώνονται σε σύννεφα, ενώ το υπόλοιπο αποτελεί την υγρασία της ατμόσφαιρας. Κατά την εποχή των βροχοπτώσεων το συμπύκνωμα από τα σύννεφα, ως γλυκό νερό και όχι αναγκαστικά στο σημείο που δημιουργήθηκε, πέφτει σαν βροχή στην επιφάνεια της γης και σχηματίζει υδάτινα ρεύματα ή εισχωρεί στο έδαφος σχηματίζοντας της υπόγειες φλέβες του νερού. Κατά την πορεία του σε μια λίμνη ή θάλασσα παρασύρει ή διαλύει διάφορα συστατικά από τα πετρώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή και εμπλουτίζεται προοδευτικά με μια μεγάλη ποικιλία από διαλυτές ή αιωρούμενες ουσίες, σχηματίζοντας τα αλμυρά ή τα υφάλμυρα νερά, εμπλουτίζοντας της θάλασσες με διάφορα άλατα.

Ο κύκλος της εξάτμισης και της επιστροφής του συμπυκνώματος ως βροχή, ονομάζεται κύκλος του ύδατος και αποτελεί μια φυσική διεργασία αφαλάτωσης που η φύση επεξεργάζεται ασταμάτητα εκατομμύρια χρόνια.

Ας πάρουμε για παράδειγμα το νερό. Κατά την διάρκεια του χειμώνα, οι υδρατμοί που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα (νερό σε αέρια κατάσταση) συμπυκνώνονται λόγω ψύξης στα ανώτερα ψυχρά στρώματα της ατμόσφαιρας και πέφτουν στο έδαφος υπό μορφή βροχής. Το νερό ρέει στην επιφάνεια της γης μέχρι να μετατραπεί πάλι σε υδρατμούς (κύκλος του νερού, σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6 Ο υδρολογικός κύκλος του νερού.
(Πηγή : Αλμπάνης Τ., Ρύπανση και τεχνολογία προστασίας περιβάλλοντος, 1996)

Στην σημερινή εποχή, εκτός από τις φυσικές οργανικές ουσίες, τα νερά περιέχουν και μεγάλες ποσότητες οργανικών ουσιών που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως κάθε είδους οικιακά και βιομηχανικά λύματα τα οποία δεν αποσυντίθενται και παραμένουν στο νερό, εμπλουτίζοντας το με επικίνδυνα συστατικά. Οι περισσότερες οργανικές ενώσεις είναι συνδυασμοί άνθρακα με υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο, φωσφόρο και θείο, η παρουσία τους δεν προκαλεί προβλήματα για την καταλληλότητα του σαν νερό χρήσης, οικιακής, κοινοτικής ή και αγροτικής. Οι ανόργανες ουσίες είναι διάφορα μεταλλικά άλατα που η περιεκτικότητά τους καθορίζει την καταλληλότητα για μια ορισμένη χρήση.

Ένας τρόπος κατάταξης της ποιότητας των διάφορων τύπου νερού που υπάρχουν στην επιφάνεια της γης είναι αυτός στον πίνακα VII, στον πίνακα η στήλη log (I) αντιπροσωπεύει την λογαριθμική συγκέντρωση των ολικά διαλυμένων αλάτων ή TDS. Οι μονάδες διαφοροποιούνται ανάλογα και την περιεκτικότητα σε άλατα του νερού και είναι οι μονάδες που χρησιμοποιούνται σήμερα για τον προσδιορισμό του ύψους των διαλυμένων ουσιών στα νερά. Ο όρος PHI (power of Hydro-Impurities Φ) ή ισχύς των υδρο-προσμίξεων έχει καθιερωθεί σαν αντίστοιχος όρος του pH, όπου οι προσμίξεις μετρώνται σε όρους αρνητικών λογάριθμων, δηλαδή:

$$PHI \text{ ή } \Phi = 12 + \log (I)$$

Πίνακας VII Ποιότητα φυσικών πόρων νερού σε νέο σύστημα κατάταξης.
(Πηγή: Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Είδος φυσικού νερού	Τύπος κατάταξης		
	log (l)	Μονάδες	PHI / Φ
1. Καθαρό αλάτι	0	%	12
2. Νερό Νεκρός θάλασσας	-1	%	11
3. θαλάσσιο νερό	-2	%	10
4. Νερό από πηγάδια	-3	g/Kg	9
5. Νερό λιμνών	-4	ppm	8
6. Νερό από πηγές	-5	ppm	7
7. Νερό από ποτάμια	-6	ppm	6
8. Συμπύκνωμα υγρασίας (δροσιά)	-7	ppb	5
9. Νερό βροχής	-8	ppb	4
10. Νερό από χιόνι	-9	ppb	3
11. Νερό από χαλάζι	-10	ppt	2
12. Νερό από πάγο	-11	ppt	1
13. Καθαρό νερό	<-12	ppt	<0

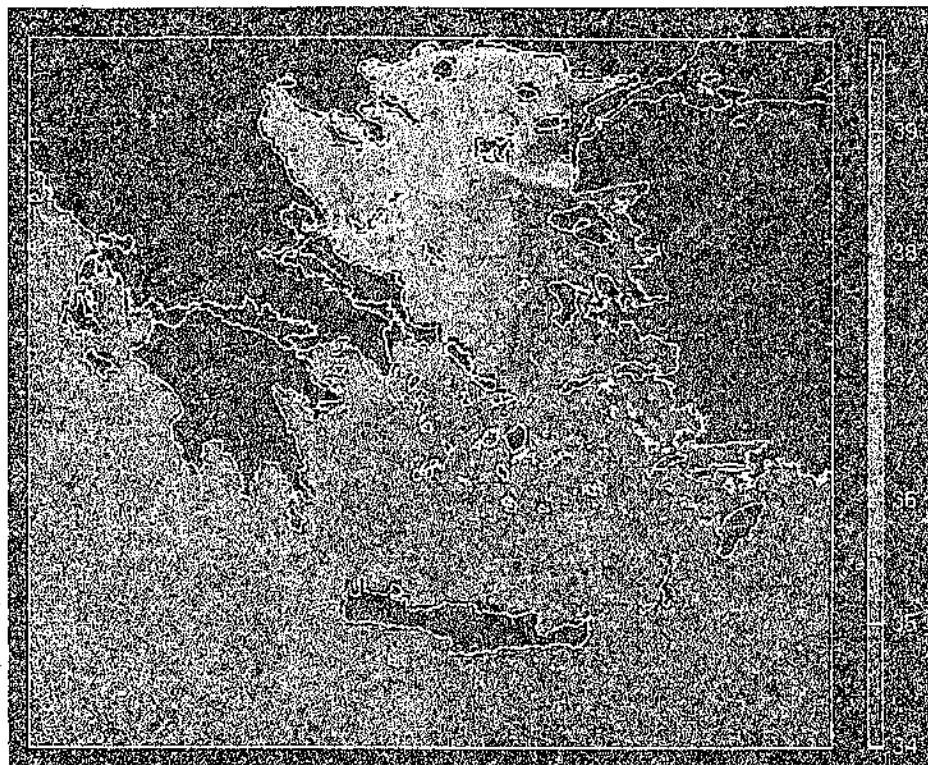
1.10 Η χημεία του θαλασσινού νερού

Τα διάφορα φυσικά νερά των πηγών, των ποταμών και των λιμνών έχουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα αλάτων ενώ το θαλάσσιο νερό η περιεκτικότητα των αλάτων είναι μεγαλύτερη, περίπου 0.5 Μ., κυρίως σε χλωριούχο νάτριο (κοινό αλάτι) το οποίο του προσδίδει την αλμυρότητα. Για παράδειγμα η αλατότητα της θάλασσας αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια από 36,8 psu (μονάδα μέτρησης αλατότητας) το 1965, σε 37,2 psu σήμερα. Στον πίνακα VIII παρατηρείται η ποσότητα αλάτων σε Θάλασσες και ωκεανούς.

Το θαλασσινό νερό και τα αλμυρά νερά κατατάσσονται στην ομάδα υδατικών διαλυμάτων και οι περισσότερες ιδιότητες τους υπολογίζονται από τις αντίστοιχες εξισώσεις των αραιών διαλυμάτων κατόπιν προσαρμογής των αριθμητικών συντελεστών.

Στο σχήμα 1.7 απεικονίζεται η μέση αλατότητα των ελληνικών θαλασσών τα τελευταία 20 χρόνια και στον πίνακα VIII η αλατότητα σε

διάφορες θάλασσες και ωκεανούς. Λόγω των στενών των Δαρδανελίων, τα νερά του Βορειοανατολικού Αιγαίου είναι εκείνα με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε αλάτι.



Σχήμα 1.7 Μέση αλατότητα των ελληνικών θαλασσών
(Πηγή : Ελληνικό κέντρο Θαλάσσιων ερευνών, ΕΛΚΕΘΕ)

Πίνακας VIII Κατάταξη άλατος σε διάφορες θάλασσες και ωκεανούς.
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Θάλασσα ή Ωκεανός	Άλατα σε ρsu
Βαλτική	7.000
Κασπία	13.500
Μαύρη	20.000
Λευκή	28.000
Βόρειος ατλαντικός	29.000
Ειρηνικός	33.600
Ατλαντικός	36.000
Μεσόγειος	39.000
Ερυθρά	43.000
Κόλπος του καραμπογιάς (Κασπία)	164.000
Νέκρα	220.000

Κεφάλαιο 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Ο υδρολογικός κύκλος της γης έχει σαν σημείο αναφοράς την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Ο ήλιος παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια της θάλασσας και της στεριάς (λίμνες), σχηματίζοντας ατμούς οι οποίοι κατά το μεγαλύτερο ποσοστό συμπυκνώνονται σε σύννεφα (ενώ το υπόλοιπο αποτελεί την υγρασία της ατμόσφαιρας). Με την βροχόπτωση, τα συμπυκνώματα επανέρχονται στη γη σαν αφαλατωμένο νερό.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας έγινε δυνατή η παραγωγή αφαλατωμένου νερού από διάφορες μεθόδους. Στο διάστημα του 2^{ου} παγκόσμιου πολέμου, άρχισαν να εφαρμόζονται μερικές από τις σημερινές τεχνολογίες αφαλάτωσης, όπως η πίεση ατμών, και η χρησιμοποίηση μεμβρανών εκλεκτικά διαπερατών από ιόντα. Από τότε έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί πολλές τεχνολογίες από τις οποίες οι περισσότερες χρησιμοποιούνται σε ευρεία βιομηχανική κλίμακα. Με την εφαρμογή των μεθόδων αυτών, οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ανά τον κόσμο⁴, έφτασαν το 1977 στις 1498 μονάδες με συνολική ημερήσια παραγωγή $3.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού.

2.2 Μέθοδοι Διαχωρισμού

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο γενικές κατηγορίες

- Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις μεθόδους που διαχωρίζεται καθαρό νερό από το διάλυμα του θαλασσινού νερού, αφήνοντας υπόλειμμα συμπυκνωμένης άλμης.

4 : Σε όλο τον κόσμο λειτουργούν πάνω από 13000 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, με ημερήσια ικανότητα παραγωγής νερού πάνω από $24 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού.

Οι μέθοδοι διαχωρισμού νερού από το διάλυμα είναι οι :

- Απόσταξη

- Πολυβάθμια εκρηκτική
- Κατακόρυφοι αυλοί
- Οριζόντιοι αυλοί
- Συμπύεση ατμών
- Ηλιακή απόσταξη

- Αντίστροφη Ώσμωση

- Κρυστάλλωση

- Ψύξη
- Σχηματισμός Υδριτών
- Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τις μεθόδους διαχωρισμού των αλάτων από το διάλυμα

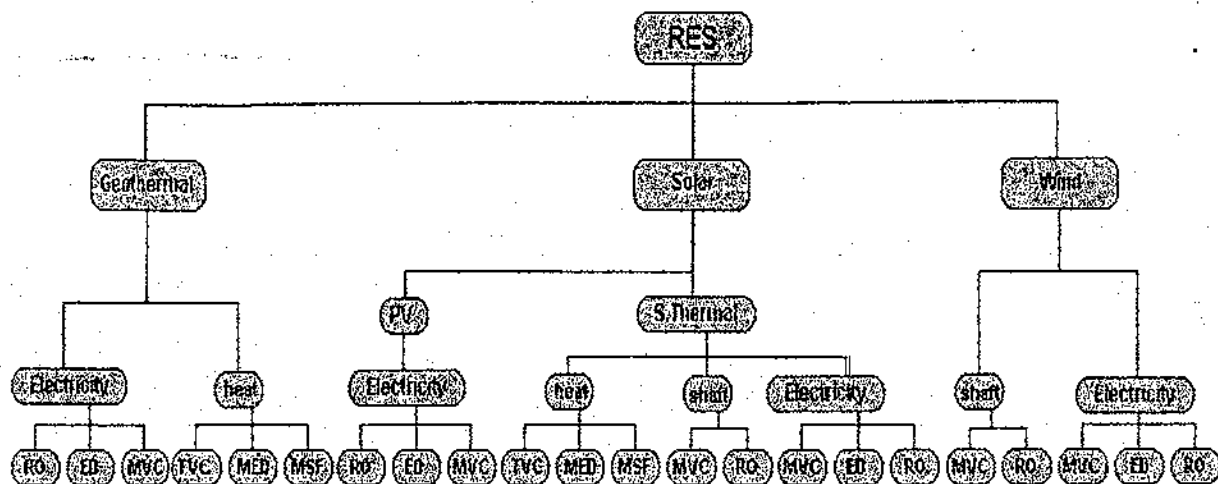
Οι μέθοδοι διαχωρισμού των αλάτων από το διάλυμα είναι οι εξής :

- Ιοντικές μέθοδοι

- Εναλλαγή ιόντων
- Ηλεκτροδιάλυση
- Οσμιονική
- Πιεζοδιάλυση
- Ηλεκτροχημική
- Βιολογικά συστήματα

Από τις παραπάνω μεθόδους διαχωρισμού νερού από το διάλυμα, η απόσταξη και η αντίστροφη ώσμωση είναι αυτές που εφαρμόζονται περισσότερο. Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται θεωρητικά για την αφαλάτωση είναι ίδια για όλες τις μεθόδους και κυμαίνεται στις 0.8 kWh/m^3 νερού⁵. Στην πράξη όμως η ελάχιστη αυτή ενέργεια είναι κατά πολύ μεγαλύτερη και διαφορετική για κάθε μέθοδο. Οι βασικές μέθοδοι αφαλάτωσης περιγράφονται στις ενότητες που ακολουθούν.

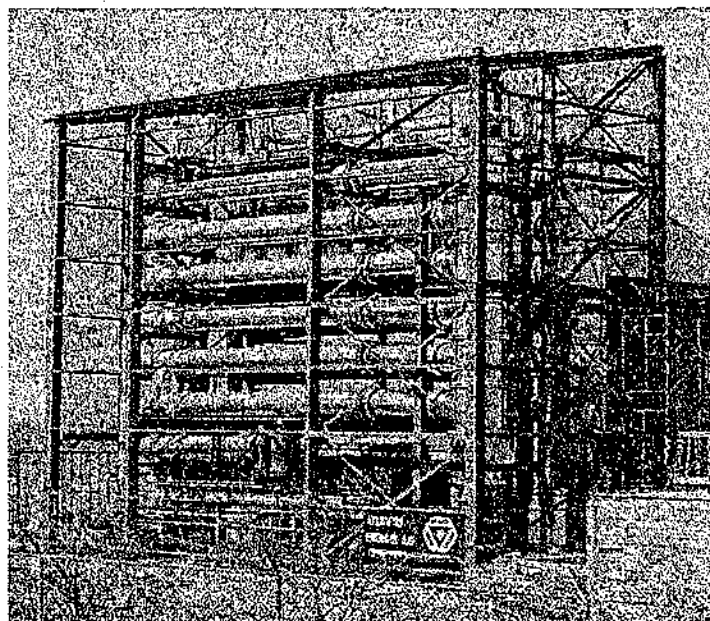
5 : Για θερμοκρασία νερού 25 °C και αλατότητα νερού 34.300 ppm



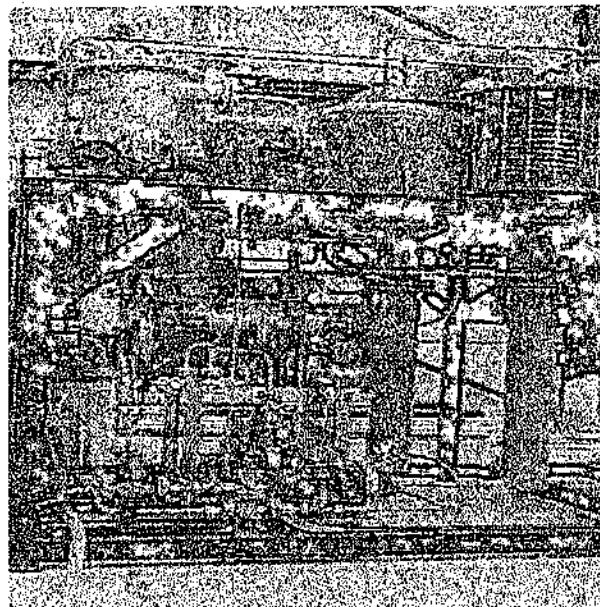
Διάγραμμα Ι Συνδυασμοί τεχνολογιών αφαλάτωσης
(Πηγή: Μονάδα ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων - RENES)

2.3 Απόσταξη (MSD, MVC, LVT, MSF, SE, MED)

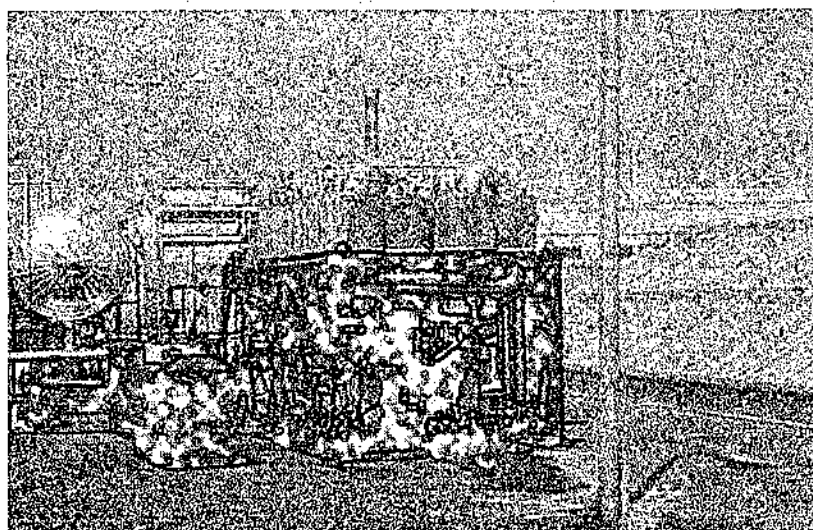
Στις μεθόδους αφαλάτωσης, η απόσταξη κατέχει την πρώτη θέση. Είναι από τις πιο παλιές μεθόδους λήψης καθαρού νερού από την θάλασσα, και συγχρόνως είναι και η πιο δημοφιλής. Καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο εγκαταστάσεων αυτής της κατηγορίας, λόγω αποτελεσματικότητας, μεγάλου όγκου παραγωγής, απλής εφαρμογής και εύκολης σχετικά τεχνογνωσίας.



Σχήμα 2.1 Μονάδα αφαλάτωσης MSD 300 m³/ημέρα, στα νησιά Cape Verde στον ατλαντικό ωκεανό. Η μονάδα εκμεταλλεύεται την απορριπτόμενη θερμότητα από μια νηξελογεννήτρια 1MW.
(Πηγή: Atlantis Ltd, www.atlantissenergy.com)



Σχήμα 2.2 Πειραματική μονάδα MSD
(Πηγή : Atlantis Ltd, www.atlantissenergy.com)

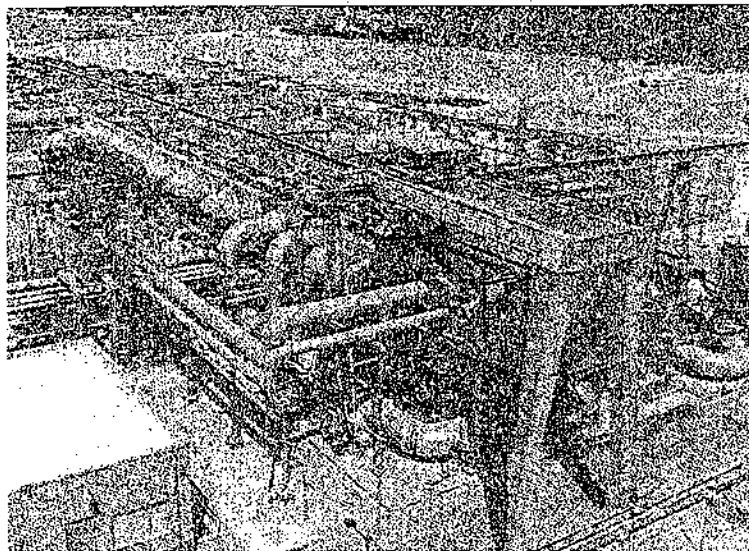


Σχήμα 2.3 Μονάδα αφαλάτωσης MSD στο Κουβέιτ, με ηλιακούς συλλέκτες (δεξιά) και αποθήκη θερμότητας (αριστερά).
(Πηγή : Atlantis Ltd, www.atlantissenergy.com)

2.3.1 Πολυβάθμια εκρηκτική εκτόνωση (Multi-Stage Flushing, MSF)

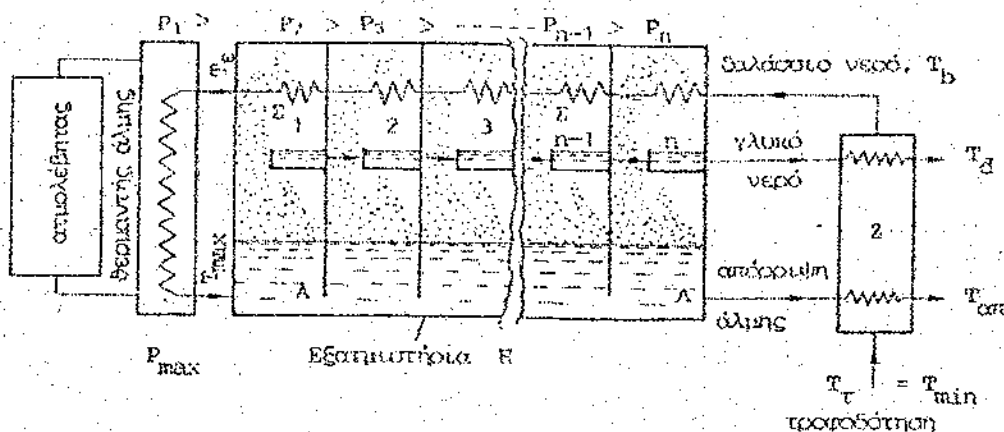
Ο αριθμός των βαθμίδων εξαρτάται από την αρχική και τη τελική θερμοκρασία του διαλύματος καθώς και από την πτώση της θερμοκρασίας σε κάθε βαθμίδα . Από τον αριθμό των βαθμίδων εξαρτάται και ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης, ο οποίος αυξάνει ανάλογα με την αύξηση του αριθμού των βαλβίδων . Για δεδομένη παραγωγή νερού, η αύξηση των

βαθμίδων, ελαττώνει την απαιτούμενη κατανάλωση ατμού στο τμήμα θέρμανσης της άλμης.



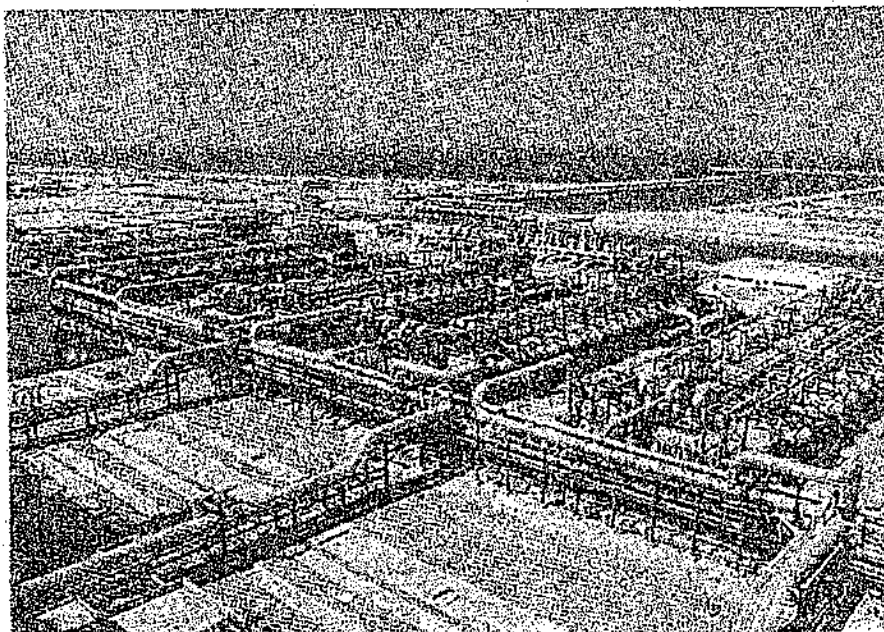
Σχήμα 2.4 Μονάδα αφαλάτωσης MSF
(Πηγή : Atlantis Ltd, www.atlantissenergy.com)

Η μέθοδος αυτή χωρίζεται σε τρία τμήματα σε σχέση με την διακίνηση της θερμότητας. Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει την προσφορά θερμότητας για την τελική ανύψωση της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού, αφού έχει προθερμανθεί στον εναλλάκτη. Το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει την ανάκτηση της θερμότητας εξάτμισης στους εναλλάκτες των διαδοχικών βαθμίδων. Τέλος το τρίτο και τελευταίο τμήμα περιλαμβάνει την απόρριψη της θερμότητας, που έχει απομείνει μετά την έξοδο από την τελευταία βαθμίδα ανάκτησης, όπου ελαττώνονται η πίεση και η θερμοκρασία, για να ολοκληρωθεί ο θερμοδυναμικός κύκλος της διαδικασίας.



Σχήμα 2.5 Απλοποιημένη σχηματική παράσταση εξατμηστηρίου εκρηκτικής εξάτμισης πολλαπλών βαθμίδων.
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

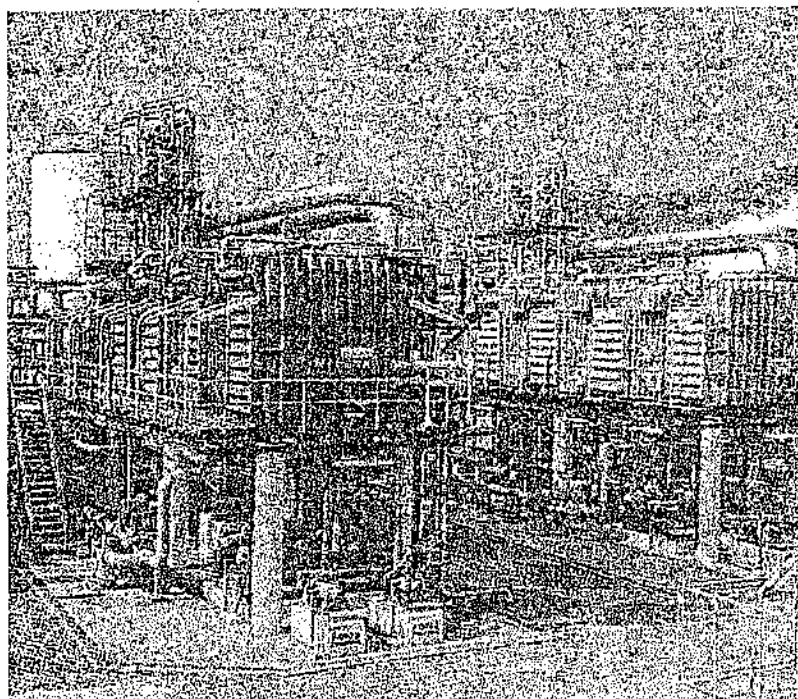
Οι ατμοί μπορούν να παραχθούν από ένα διάλυμα που βρίσκεται στο σημείο του βρασμού του, είτε με νέα προσθήκη θερμότητας ή με ελάττωση της πίεσης, οπότε σχηματίζονται οι ατμοί με στιγμιαία εκτόνωση. Στην πρώτη περίπτωση ανήκει η μέθοδος με πολυβάθμια εξάτμιση, ενώ στη δεύτερη κατατάσσεται η εκρηκτική εξάτμιση. Στην εκρηκτική εξάτμιση η ροή του θαλάσσιου νερού γίνεται πάντοτε σε αντιρροή με την πορεία της άλμης, αντίθετα με τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών βαθμίδων (σχήμα 2.5), όπου τα δύο διαλύματα κινούνται κατά ομορροή. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση αφαλάτωσης MSF είναι αυτή του συμπλέγματος Al- Jubail I και II στην Σαουδική Αραβία (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6 Μονάδα αφαλάτωσης MSF 14,400 m³/h στην Αί Τaweelah
(Πηγή : Desalination and water sciences, Nov 1995)

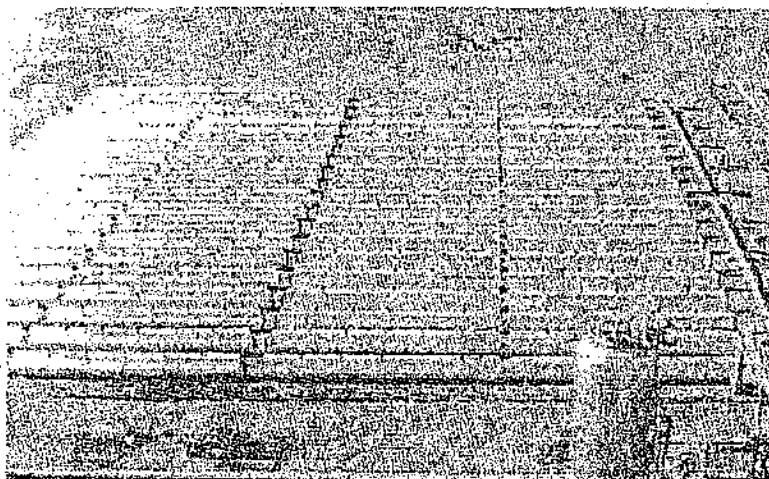
2.3.2 Πολυβάθμια εκρηκτική Εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED)

Η πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση εφαρμόζεται σε μεγάλης βιομηχανικής κλίμακας εγκαταστάσεις με μεγάλες παροχές σε αφαλατωμένο νερό (σχήματα 2.7, 2.8). Οι πρώτες εγκαταστάσεις εμφανίστηκαν κατά το τέλος της δεκαετίας του 1950.



Σχήμα 2.7 Μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού MED-TC 60 ton/h στην Thailand

(Πηγή : Desalination Technology, University of Glasgow, UK 1993)



Σχήμα 2.8 Εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών (MED) στην Ισπανία

(Πηγή : " Advanced MED Solar desalination plants", Spain 1996)

2.3.3 Απόσταξη με κατακόρυφους αυλούς (Long-Tube Vertical Evaporator - LTV)

Η μέθοδος αυτή είναι η δεύτερη πλέον διαδεδομένη μέθοδος . Έχει εφαρμογή σε μεγάλες και μικρές εγκαταστάσεις χρησιμοποιώντας διάφορου τύπους εξατμιστήρων .

Κατά την απόσταξη με κατακόρυφους αυλούς, οι ατμοί που παράγονται στον πρώτο εξατμιστήρα χρησιμοποιούνται σαν πηγή θερμότητας στον δεύτερο

εξατμιστήρα, οι ατμοί του δεύτερου για τον τρίτο εξατμιστήρα κ.ο.κ. . Αρκεί η διάφορα θερμοκρασίας του ατμού με το εισερχόμενο νερό να είναι αρκετά μεγάλη . Το τροφοδοτούμενο θαλασσινό νερό κυκλοφορεί κατακόρυφα μέσα σε λεπτό υμένα στο εσωτερικό των αυλών του επόμενου εξατμιστήρα . Το συμπυκνωμένο γλυκό νερό συλλέγεται στο κάτω μέρος των εξατμιστήρων .

Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί σε σύγκριση με την Πολυβάθμια εκρηκτική, σε ότι αφορά τους συντελεστές θερμικής μεταφοράς, ιδιαίτερα αν αντί για λείους αυλούς, χρησιμοποιούνται αυλοί με χαραγμένα αυλάκια ή πτερύγια . Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας και η επιφάνεια συναλλαγής .

2.3.4 Απόσταξη με οριζόντιους αυλούς (Horizontal Tube Evaporator – HTME)

Τα εξατμιστήρια με οριζόντιους σωλήνες έχουν τις ίδιες αρχές λειτουργίας με τα εξατμιστήρια κατακόρυφων σωλήνων. Αποτελούνται από δέσμες οριζόντιων σωλήνων τοποθετημένες η μια υπεράνω της άλλης. Στο εσωτερικό των σωλήνων κυκλοφορεί ο ατμός θέρμανσης, ενώ η άλμη κατεονίζεται από το πάνω τμήμα του εξατμιστηρίου και ρέει με την βαρύτητα στην εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων.

Η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη από αυτή στα υπόλοιπα εξατμιστήρια πολλαπλών βαθμίδων, διότι δεν χρησιμοποιούνται πολλές αντλίες, εφ' όσον αυτή κατέρχεται από βαθμίδα σε βαθμίδα μόνο με την βαρύτητα.

Τα εξατμιστήρια με οριζόντιους σωλήνες παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα ως προς αυτά με κατακόρυφους σωλήνες τα οποία είναι:

- Η άλμη κυκλοφορεί στο εσωτερικό των σωλήνων ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα σχηματισμού λεβητολίθου, ενώ σε περίπτωση σχηματισμού ο έλεγχος ή η απομάκρυνση είναι ευκολότερη.

- Απαιτούνται λίγες αντλίες για την τροφοδότηση του θαλάσσιου νερού, για την απόρριψη της άλμης και για την μεταφορά του αφαλατωμένου νερού.

Οι αντλίες είναι μικρής παροχής και η κατανάλωση μικρή, περίπου το 1/3 της ενέργειας που καταναλώνουν οι αντλίες στην πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση για την ίδια ταχύτητα ροής.

- Λόγω της μικρής ταχύτητας ροής, χωρίς να δημιουργούνται δίνες στο εσωτερικό των σωλήνων, η διάβρωση των τοιχωμάτων ελαχιστοποιείται.
- Η πίεση στο περίβλημα είναι μικρή και επομένως μια μικρή χαραγή ή ρωγμή στους σωλήνες δεν προκαλεί απώλεια συμπυκνώματος, διότι το διάλυμα στο εσωτερικό των σωλήνων βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση.

Τα εξατμιστήρια με οριζόντιους σωλήνες κατασκευάζονται σε συμπαγείς μονάδες για σχετικά μικρές παροχές και γι' αυτό, παρ' όλα τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν δεν είναι ανταγωνίστηκα της πολυβάθμιας εκρηκτικής εξάτμισης που κατασκευάζεται σε τεράστιες μονάδες και για πολύ μεγαλύτερες παροχές αφαλατωμένου νερού. Σε παγκόσμια κλίμακα οι εγκαταστάσεις με οριζόντιους σωλήνες αντιπροσωπεύουν το 1% των εργοστασίων αφαλάτωσης.

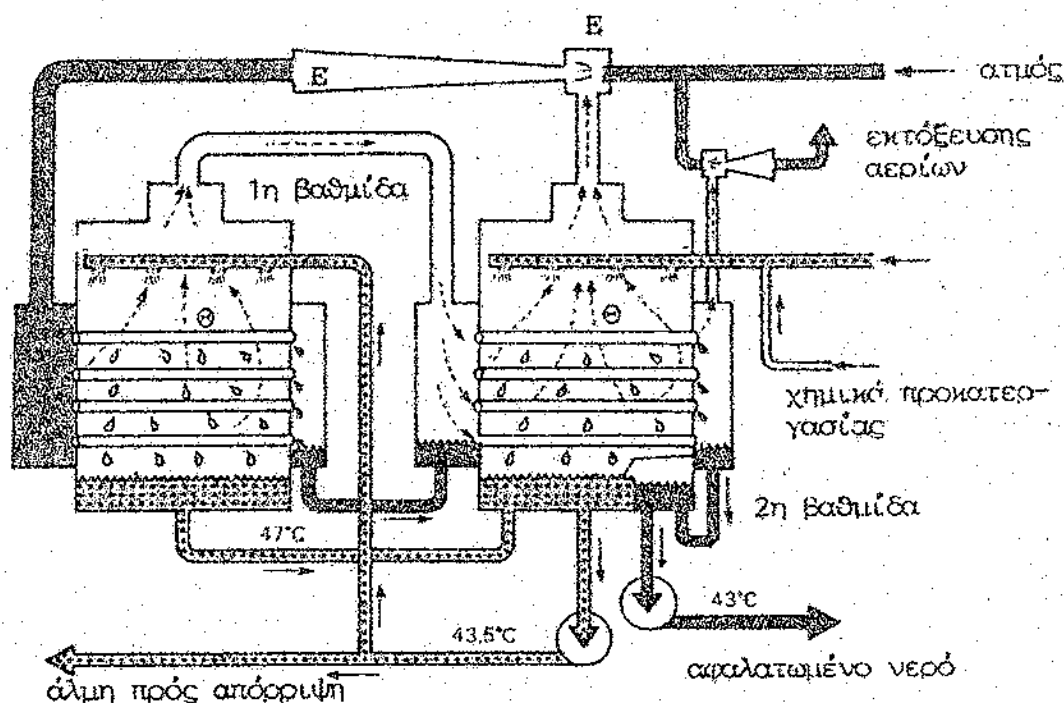
2.3.5 Εξάτμιση με Επανασυμπίεση Ατμών (Multi Vapour Compression, MVC)

Μια άλλη μέθοδος είναι η συμπίεση των ατμών με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τους τόσο ώστε να χρησιμοποιούνται σαν θερμική πηγή για την εξάτμιση του ίδιου του διαλύματος. Στην περίπτωση αυτή παρέχεται θερμότητα από εξωτερική πηγή μόνο κατά την έναρξη της λειτουργίας και μηχανική ενέργεια για την διατήρηση βρασμού κατά την λειτουργία.

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται, εξάτμιση με συμπίεση ατμών (VC), και παρόλα τα πλεονεκτήματα που έχει, λόγω του μεγάλου κόστους των συμπιεστών και εναλλακτών θερμότητας δεν εφαρμόζεται παρά σε λίγες μικρού μεγέθους εγκαταστάσεις (σχήμα 2.9). Οι μονάδες συμπίεσης ατμών είναι εξατμιστήρες θαλάσσης και χρησιμοποιούν γενικά ηλεκτρική ενέργεια. Μπορούν επίσης να τροφοδοτηθούν με ενέργεια από μια τουρμπίνα, μια μηχανή Diesel κτλ. Οι VC μονάδες είναι απλούστερες από τις MSF MED και υπάρχουν στην αγορά σε μεγέθη από 20 έως 2000 m³/ημέρα.

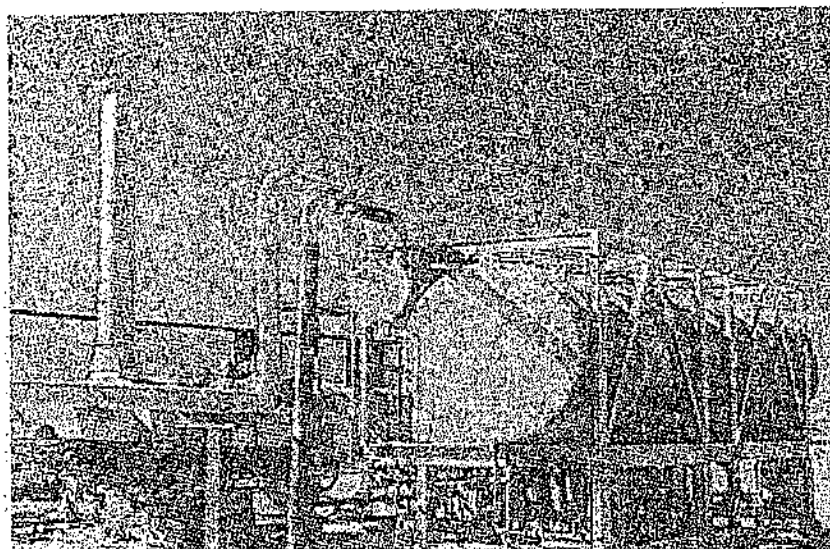
- Συμπύεση με κενό – Θερμοσυμπύεση

Η επαναθέρμανση των ατμών με Θερμοσυμπύεση (Thermocompression) χρησιμοποιεί έναν εκτοξευτή ατμού, ο οποίος λειτουργεί με μικρές ποσότητες ατμού υψηλής πίεσης. Η μέθοδος επομένως εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που υπάρχει διαθέσιμος ατμός υψηλής πίεσης. Το σχήμα 2.11 δείχνει μία διβάθμια εγκατάσταση αφαλάτωσης με οριζόντιους σωλήνες.



Σχήμα 2.11 Διβάθμια εγκατάσταση αφαλάτωσης με οριζόντιους σωλήνες.
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Η θερμοσυμπύεση έχει βρει ευρεία εφαρμογή σε μικρές παροχές από 45 έως 1500 m³/d. Έχουν χαμηλό κόστος κεφαλαίου και ενέργειας, εγκαθίστανται εύκολα και γρήγορα και έχουν ελάχιστα έξοδα συντήρησης. Συγκρινόμενη όμως με τη μηχανική επανασυμπύεση έχει μικρότερη παραγωγή λόγω μικρότερου βαθμού απόληψης.



Σχήμα 2.12 Εγκατάσταση αφαλάτωσης με Θερμοσυμπίεση στο Suez.
(Πηγή : " Experience on Desalination with RES ", Spain, Mar 1996)

Στη συμβατική μέθοδο επανασυμπίεσης των ατμών συνήθως χρησιμοποιείται βοηθητικά ηλεκτρική ενέργεια για την εξισορρόπηση των απωλειών θερμότητας.

Η μέθοδος επαναθέρμανσης με κενό VCC αποτελείται από μικρές συμπαγείς μονάδες χωρητικότητας 24 έως 480 m³/d, είναι δε κατάλληλη μέθοδος για την επεξεργασία κάθε είδους νερού, από υφάλμυρα, θαλάσσιο νερό έως αλμυρότητας 70%, πολύ μολυσμένα νερά, ακόμα και με διάφορα λάδια και νερά με λασπώδη στερεά.

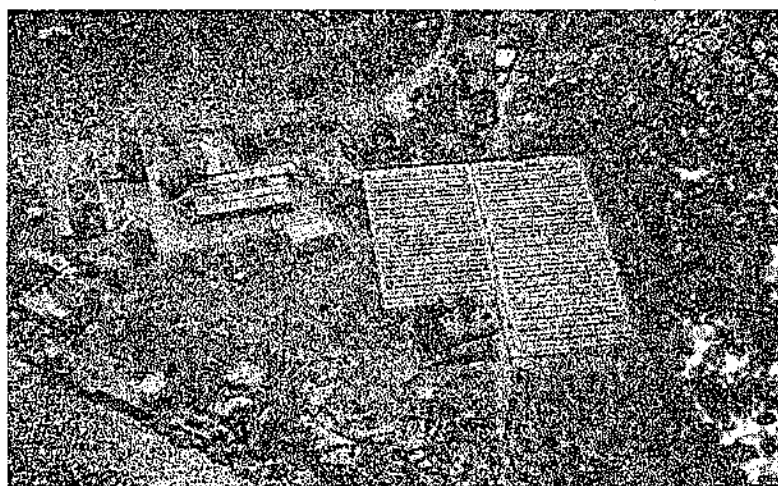
2.3.6 Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation, SE)

Η μέθοδος της ηλιακής απόσταξης έχει το μεγάλο πλεονέκτημα να απαιτεί ενέργεια με χαμηλή ενθαλπία, π.χ ηλιακή ενέργεια, με συνέπεια να είναι φιλική προς το περιβάλλον αποφεύγοντας την περαιτέρω μόλυνσή του.

Η ενέργεια αυτή εκτός από ηλιακή, μπορεί να είναι και απορριπτόμενη θερμότητα από συμβατικές μηχανές εσωτερικής καύσης ή ακόμα και ατμοστρόβιλους. Σε κάθε περίπτωση όμως δεν υπάρχει πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση από την κάλυψη των θερμικών αναγκών της διαδικασίας απόσταξης.

Η ηλιακή απόσταξη του θαλασσινού νερού ή άλλου διαλύματος, με ενέργεια από τον ήλιο έχει εφαρμογές σε μικρές εγκαταστάσεις με παροχή μικρότερη από $50 \text{ m}^3 / \text{ημέρα}$.

Είναι απλή τόσο στην εγκατάσταση όσο και στην λειτουργία της. Συγκεκριμένα για την ηλιακή απόσταξη όσο η αυξάνεται η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ενέργειας η οποία εξαρτάται από την ζητούμενη παραγωγή νερού, τόσο αυξάνεται και το κόστος της εγκατάστασης. Σε αντίθεση με την ηλιακή απόσταξη, στις άλλες μεθόδους αφαλάτωσης το κόστος εγκατάστασης παρουσιάζει μια μικρή μείωση σε σχέση με την αύξηση της ζητούμενης παραγωγής νερού. Γι' αυτό το λόγο η μέθοδος είναι κατάλληλη για άγονες μικρές περιοχές, όπου υπάρχει έλλειψη νερού και αδυναμία μεταφοράς από άλλες περιοχές και οι συμβατικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης λόγω του μικρού μεγέθους γίνονται οικονομικά ασύμφωρες, [Δεληγιάννη – Πιπερόγλου 1980].

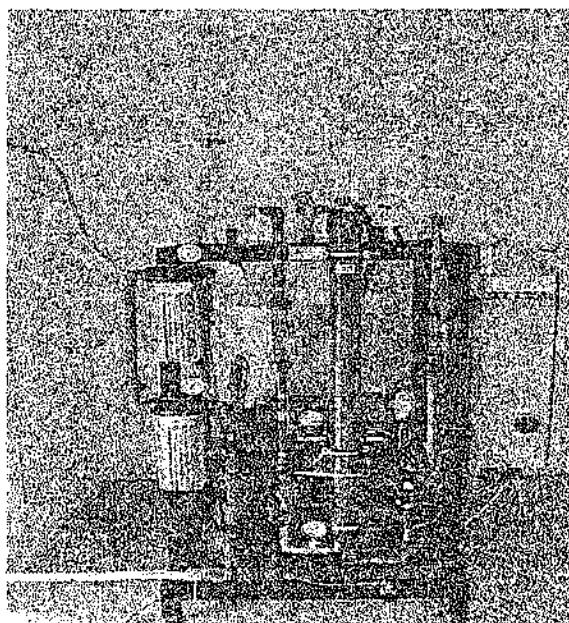


Σχήμα 2.13 Εγκατάσταση αφαλάτωσης SE στο Καστελόριζο (Πηγή: CRES)

2.4 Αντίστροφη Όσμωση ή Υπερδιήθηση (ED, RO)

Απαιτήση οποιασδήποτε κατεργασίας αφαλάτωσης είναι η ελάττωση της περιεκτικότητας των διαλυμένων στερεών στο νερό. Η αντίστροφη ώσμωση είναι ουσιαστικά μία διαδικασία για την ελάττωση των διαλυμένων στερεών στο νερό.

Ο όρος ώσμωση δηλώνει τη μεταφορά ενός διαλύτου δια μιας μεμβράνης, ημιπερατής, όπου μόνο ο διαλύτης διαχέεται από ένα διάλυμα με χαμηλή συγκέντρωση σε ένα διάλυμα με υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων. Η κινούσα δύναμη σε αυτή τη μεταφορά είναι η ωσμωτική πίεση Π , η οποία δημιουργείται στην πλευρά με την υψηλότερη συγκέντρωση, και όπου η αμοιβαία μεταφορά διαλύτου εμποδίζεται από την ημιπερατότητα της μεμβράνης. Η ωσμωτική πίεση είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων των ηλεκτρολυτών του διαλύματος και ανεξάρτητη από τις ιδιότητες της διαχωριστικής μεμβράνης.



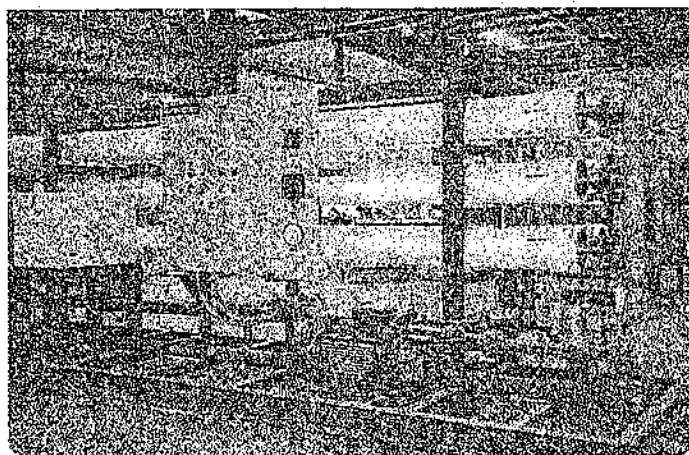
Σχήμα 2.14 Μονάδα Αντίστροφης Οσμωσης
Θαλασσινού Νερού, 1.5 κ.μ./ημ
(Πηγή : Κ.Α.Π.Ε.)

Η αριθμητική τιμή της ωσμωτικής πίεσης είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του νερού σε άλατα και της θερμοκρασίας του, ανεξάρτητη δε από τη μεμβράνη. Το κανονικό θαλάσσιο νερό αλμυρότητας 35 g/kg έχει ωσμωτική πίεση 23.3 bar ενώ σε νερό αλμυρότητας 50 g/kg η ωσμωτική πίεση ανέρχεται σε 37.4 bar.

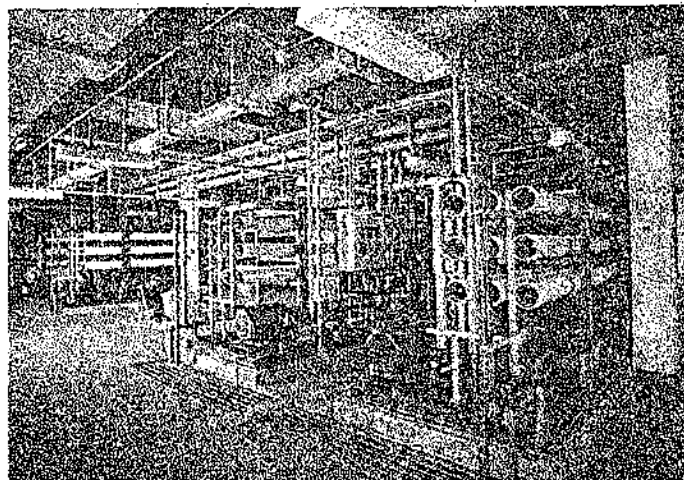
Ο λόγος της ποσότητας του νερού που διαπερνά τη μεμβράνη ως παραγόμενο νερό προς την ποσότητα του συνολικού νερού τροφοδοσίας καλείται ανάκτηση ή μετατροπή.

Η ανάκτηση συνήθως εκφράζεται σε εκατοστιαίο ποσοστό (%). Προφανώς 100% του θαλασσινού νερού δεν μπορεί να διαπεράσει τις μεμβράνες γιατί τότε δεν θα απέμενε καθόλου νερό για να απομακρύνει τα άλατα τα οποία δεν διαπέρασαν την μεμβράνη. Συνήθεις ανακτήσεις στις μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού είναι της τάξης του 25 – 45 %.

Για παράδειγμα ανάκτηση 40 % σημαίνει ότι για κάθε 100 m³ παροχής θαλασσινού νερού τα 40 m³ ανακτούνται ως καθαρό νερό ενώ τα 60 m³ απορρίπτονται ως άλμη.



Σχήμα 2.15 Μονάδα Αντίστροφης Οσμωσης Υφάλμυρου Νερού, 400 κ.μ./ημ., Riyadh, K.S.A.
(Πηγή : Desalination and water sciences, Nov1995)

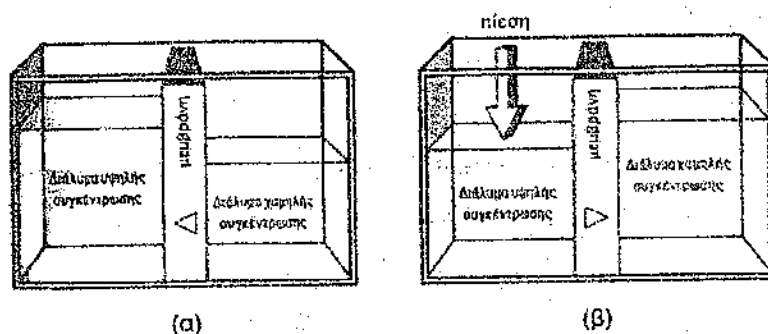


Σχήμα 2.16 Μονάδα αντιστρόφου Ωσμώσεως.
(Πηγή : Matthias Rommel, Thermally driven desalination plants)

2.4.1 Αρχή Λειτουργίας Της Ωσμώσεως

Σήμερα ώσμωση καλείται το φαινόμενο της ροής ενός καθαρού υγρού προς ένα διάλυμά του, δια μέσου μιας ιδανικής ημιπερατής μεμβράνης, η οποία επιτρέπει το πέρασμα στα μόρια του διαλύτη, όχι όμως και στα μόρια της ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ 40

διαλυμένης ουσίας. Η πίεση που πρέπει να εξασκηθεί από τη μεριά του διαλύματος, για να επιτραπεί το φαινόμενο αυτό, ονομάζεται «οσμωτική πίεση». Από τα παραπάνω, γίνεται σαφές ότι οποτεδήποτε δυο διαλύματα διαφορετικής συγκεντρώσεως, τα οποία βρίσκονται στην ίδια αρχική πίεση και θερμοκρασία, διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη, θα παρατηρείται μια αυθόρμητη «μετανάστευση» μορίων διαλύτη από το διάλυμα της υψηλής συγκεντρώσεως, όπως βλέπουμε στο σχήμα 2.17.α.



Σχήμα 2.17 Φαινόμενο Οσμώσεως και αντιστρόφου Οσμώσεως.
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Σύγχρονοι μέθοδοι αφαλατώσεως, Σεπτέμβριος 1995)

Για να παρατηρηθεί το αντίστροφο φαινόμενο, δηλαδή μόρια διαλύτη να διέλθουν από τη μεμβράνη κατά την αντίθετη κατεύθυνση, θα πρέπει να εφαρμοστεί εξωτερικά στο διάλυμα της υψηλής συγκεντρώσεως, πίεση μεγαλύτερη της διαφοράς της οσμωτικής πίεσεως των δυο διαλυμάτων, όπως στο σχήμα 2.17.β. Η διεργασία αυτή είναι γνωστή σαν «αντίστροφη ώσμωση» η οποία βρίσκει ευρύτατη εφαρμογή σαν φυσική μέθοδος διαχωρισμού.

2.4.2 Μέθοδοι μεμβρανών υπό πίεση

Η αφαλάτωση με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης ανήκει στις μεθόδους των μεμβρανών υπό πίεση. Οι μέθοδοι διαχωρισμού με μεμβράνες έχουν αντικαταστήσει, εν μέρει, πολλές από τις παλαιότερες διεργασίες διαχωρισμού των συστατικών από μίγματα, διότι παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα όπως π.χ. καταναλώνουν πολύ μικρότερα ποσά ενέργειας για το ίδιο αποτέλεσμα διαχωρισμού και προπάντων λειτουργούν καθαρά χωρίς να προκαλούν μόλυνση στο περιβάλλον.

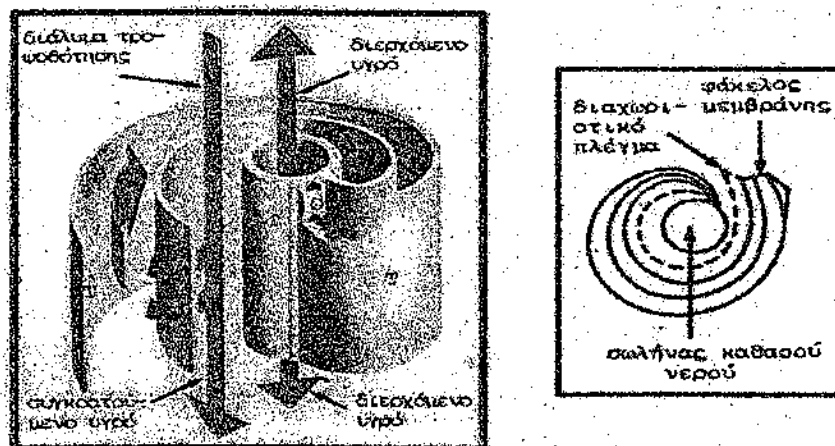
Οι μέθοδοι με χρήση μεμβρανών υπό πίεση αποτελούν πλέον βασικές διεργασίες διαχωρισμού των συστατικών διαφόρων μιγμάτων. Παρόλο που

μερικές από αυτές δεν αφορούν άμεσα στην αφαλάτωση για την παραγωγή πόσιμου νερού, θα δοθεί μία συνοπτική περιγραφή των μεθόδων και το σημερινό πεδίο χρήσης τους, ώστε να υπάρχει μία σαφής εικόνα της εφαρμογής τους.

Οι διεργασίες αυτές κατ' αρχάς ταξινομούνται ανάλογα της κατάστασης των περιεχομένων στερεών στο μείγμα στερεών – υγρών. Οι κατηγορίες φαίνονται αναλυτικά στο παρακάτω σχήμα. Στο σχήμα αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι δίνεται όλο το φάσμα των εφαρμογών των διαφόρων κατηγοριών μεμβρανών σαν συνάρτηση του μεγέθους των σωματιδίων στο μείγμα.

2.4.3 Τύποι Μεμβρανών

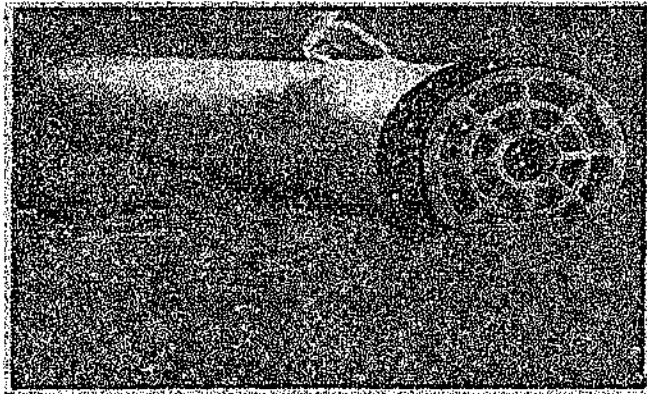
Όπως προαναφέρθηκε, βασικό χαρακτηριστικό της περιγραφείσας μεθόδου είναι τα στοιχεία μεμβρανών. Ένα στοιχείο μεμβράνης αποτελείται από την μεμβράνη και το υπόβαθρο που συγκρατεί ή στεγάζει την μεμβράνη. Το πρώτο στοιχείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν χειροποίητο και αποτελείτο από μια μεμβράνη οξικής κυτταρίνης, τοποθετημένης σε έναν φορέα ο οποίος σχηματίζονταν από γυάλινα σφαιρίδια επικολλημένα σε ένα πλαστικό φύλλο. Τα σημερινά στοιχεία, αποτελούνται από πολλές επίπεδες μεμβράνες, οι οποίες ανά δυο συγκολλούνται από τις τρεις πλευρές σχηματίζοντας ένα είδος φακέλου. Στο σχήμα 2.18 παριστάνεται σχηματικά, σε μερική ανάπτυξη ένα τμήμα στοιχείου σπειροειδούς περιελίξεως, σε τομή.



Σχήμα 2.18 Υπόδειγμα ροής του διαλύματος δια μιας μεμβράνης σπειροειδούς περιελίξεως και τομή της περιελίξεως.

(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Το τοίχωμα T , ενιαίο ως μεμβράνη με τα υποστηρίγματα είναι συγκολλημένο στις δυο άκρες του κεντρικού σωλήνα Σ , του σωλήνα του παραγόμενου νερού. Το διάλυμα τροφοδότησης, αλμυρό ή θαλάσσιο νερό (κόκκινη γραμμή) ρέει παράλληλα προς την επιφάνεια της μεμβράνης, όπου υπό την επικρατούσα πίεση, ένα τμήμα του νερού διέρχεται δια της μεμβράνης, ως καθαρό νερό (μοβ γραμμή), εισάγεται στον κεντρικό σωλήνα από τις οπές (ο) και συλλέγεται ως καθαρό νερό. Στο σχήμα 2.19, δίνεται απεικονίζεται ένα στοιχείο σπειροειδούς περιελίξεως και η φορά κυκλοφορίας των διαλυμάτων. Οι μεμβράνες κοίλων ινών, όπως στο σχήμα 2.20 πρωτο-παρουσιάστηκαν για αλμυρά και υφάλμυρα νερά.



Σχήμα 2.19 Εξωτερική μορφή ενός στοιχείου μεμβράνης σπειροειδούς περιελίξεως.
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)



Σχήμα 2.20 Εγκατάσταση αφαλάτωσης αντιστροφού ωσμώσεως με στοιχεία κοίλων ινών.
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Στις μεθόδους αφαλάτωσης με μεμβράνες η περιεκτικότητα του διαλύματος σε άλατα παίζει τον πρωταρχικό ρόλο στην οικονομική βιωσιμότητα και αποτελεσματικότητα τους. Συγκεκριμένα η αύξηση της περιεκτικότητας των αλάτων στο νερό, αυξάνει παράλληλα και την κατανάλωση ενέργειας και επομένως επηρεάζει το κόστος. Λόγω της αύξησης του κόστους σε συνάρτηση με την αύξηση των αλάτων, η μέθοδος αφαλάτωσης με μεμβράνη χρησιμοποιείται περισσότερο για υφάλμυρα νερά. Με την αφαλάτωση υφάλμυρων υδάτων επιτυγχάνεται μικρότερο κόστος παραγωγής, αλλά αυξάνεται παράλληλα και η ανθεκτικότητα των μεμβρανών.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και συγκεκριμένα η κατασκευή ανθεκτικότερων μεμβρανών, καθώς επίσης και η αύξηση της τιμής πετρελαίου, έχουν φέρει τις μεθόδους των μεμβρανών και κυρίως την αντίστροφη ώσμωση σε πλεονεκτική θέση σε σχέση με τις μεθόδους απόσταξης όπως παρατηρούμε και στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 Σύγκριση μεθόδων αφαλατώσεως
(Πηγή: Κουτούπης Παναγιώτης, Αφαλάτωση χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια)

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ			MEMBRANES
	MSF/VTE	VS	SS	RO
Αρμονία με την ηλιακή ενέργεια	Κακή	Κακή	Καλή	Καλή
Κόστος αφαλατωμένου νερού	Μεσαίο	Μεσαίο	Υψηλό	Χαμηλό
Πολυπλοκότητα	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Μεσαία
Αξιοπιστία	0,85	0,85	-	0,85
Συντήρηση	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή
Μοντιουλάρισμα	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
Επί τόπια κατασκευή	Πιθανή – δυνατή	Πιθανή – δυνατή	Ναι	Πιθανή – δυνατή
Απαιτούμενη ενέργεια (kwh/m ³)	80	40-100	2.000	5,3

2.5 Κρυστάλλωση

Αυτή η μέθοδος αφαλάτωσης βασίζεται στο φαινόμενο της κρυστάλλωσης. Η αρχή αυτή στηρίζεται στην ακόλουθη φυσικοχημική ιδιότητα

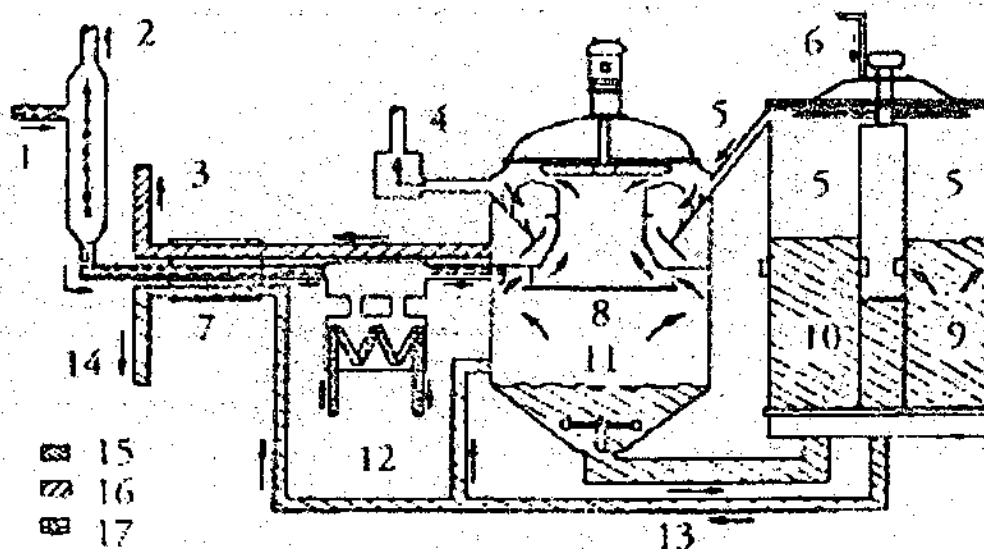
των υγρών. Όταν ένα υδατικό διάλυμα άλατος ψυχθεί μέχρι το σημείο πήξεώς του, αποβάλλονται σε ορισμένες περιπτώσεις καθαροί κρύσταλλοι νερού, καθώς και η ουσία που έχει προστεθεί σε αυτό.

Αυτές οι μέθοδοι προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν την αρχή της απόσταξης, κατά την οποία μετατρέπεται η φάση του υγρού από στερεή σε αέρια. Τα πλεονεκτήματα αυτά αναφέρονται αφενός στους μειωμένους κινδύνους διάβρωσης από το αλμυρό νερό, αφού οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, αφετέρου στις μικρότερες ενεργειακές δαπάνες, αφού δεν απαιτείται εξαέρωση του νερού.

Προς το παρόν, υπάρχουν δύο τεχνικές αφαλάτωσης με κρυστάλλωση. Η πρώτη ονομάζεται " Μέθοδος Παγοποίησης " και η άλλη " Μέθοδος Παγοποίησης με χημικό πρόσθετο ".

2.5.1 Παγοποίηση υπό κενό

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ψύξη που προκαλείται σε ένα υγρό, όταν εξατμίζεται ένα μέρος από τη μάζα του. Η διάταξη της μεθόδου της παγοποίησης υπό κενό φαίνεται στο σχήμα 2.21.



Σχήμα 2.21 Διάταξη της μεθόδου της παγοποίησης υπό κενό.

1. Θαλασσινό νερό. 2. Έξοδος αέρα. 3. καθαρό νερό. 4. Έξοδος αέρα. 5. Πάγος.
6. Καθαρό νερό για πλύσιμο. 7. Εναλλάκτης θερμότητας. 8. Ατμός. 9. Άλμη.
10. Άλμη. 11. Πάγος ανακατεμένος με άλμη. 12. Παγοποιητική μονάδα.
13. Συμπύκνωμα και απόβλητα νερού. 14. Απόβλητα άλμης. 15. Άλμη. 16. Καθαρό νερό. 17. Θαλασσινό νερό.

(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

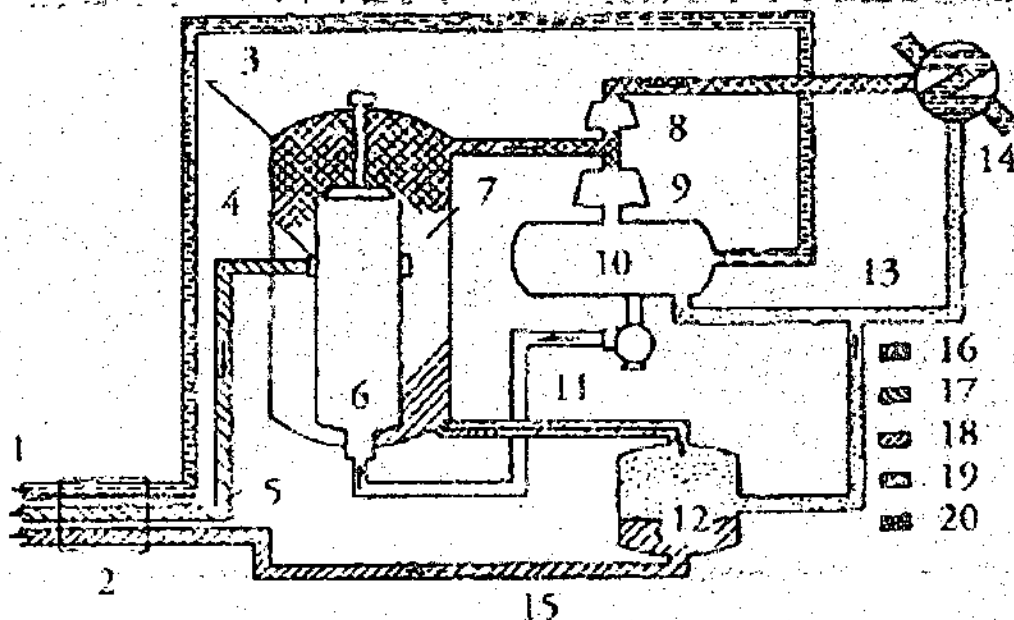
Το θαλασσινό νερό αρχικά απαερώνεται. Στη συνέχεια προψυχεται περνώντας από έναν εναλλάκτη θερμότητας, που χρησιμοποιεί για το σκοπό αυτό το ψυχρό καθαρό, το οποίο παράγεται από τη συσκευή, καθώς και το συμπύκνωμα του θαλασσινού νερού που απομένει μετά την απομάκρυνση του καθαρού νερού. Ακολούθως, το θαλάσσιο νερό εισέρχεται στο κατώτερο τμήμα ενός θαλάμου (υδρομετατροπέα), όπου επικρατεί χαμηλή πίεση (κενό 3 mm Hg), δηλαδή 250 φορές μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Σε αυτό το θάλαμο το νερό εξατμίζεται σε ποσοστό 1/7 της αρχικής ποσότητας του θαλάσσιου νερού. Με την εξάτμιση αυτή το νερό ψύχεται περισσότερο, με αποτέλεσμα να παγώσει η μισή σχεδόν ποσότητά του, κατόπιν το μίγμα πάγου – νερού οδηγείται με αντλία σε έναν ειδικό χώρο (πλυντήριο), όπου και διαχωρίζονται οι παγοκρύσταλλοι του καθαρού νερού. Μετά την έκπλυση των καταλοίπων του άλατος, οι πάγοι διοχετεύονται στο ανώτερο τμήμα του θαλάμου χαμηλής πίεσης. Εκεί συναντούν τους ατμούς που είχαν παραχθεί προηγουμένως κατά την εξαέρωση του θαλάσσιου νερού, και οι οποίοι συμπιέζονται με ένα ειδικό σύστημα που βρίσκεται στην κορυφή του υδρομετατροπέα.

Η επαφή των ατμών με τους παγοκρύσταλλους, έχει ως αποτέλεσμα την υγραποίηση των τελευταίων, αφού η θερμότητα που περιέχουν οι ατμοί είναι ακριβώς ίση με εκείνη που αφαιρέθηκε από το θαλάσσιο νερό κατά τη μετατροπή του σε πάγο. Το καθαρό νερό που συλλέγεται με τον τρόπο αυτό, οδηγείται στην έξοδο της εγκατάστασης, αφού προηγουμένως περάσει από τον εναλλάκτη θερμότητας.

2.5.2 Παγοποίηση με ψυκτικό πρόσθετο

Η τεχνική αυτή διαφέρει από την προηγούμενη στο ότι η παγοποίηση επιτυγχάνεται με την απ' ευθείας εξάτμιση ενός πρόσθετου του θαλασσινού νερού, όπως είναι το βουτάνιο.

Το θαλασσινό νερό, αφού περάσει από τον εναλλάκτη θερμότητας που βρίσκεται στην είσοδο της εγκατάστασης και προψυχθεί όπως και πριν, οδηγείται σε έναν ψύκτη, όπου αναμειγνύεται με υγρό βουτάνιο. Αμέσως μετά προκαλείται εξάτμιση του βουτανίου, με αποτέλεσμα την αφαίρεση μεγάλων ποσών θερμότητας και τελικά την παγοποίηση του νερού.



Σχήμα 2.22 Διάταξη της μεθόδου Παγοποίησης με ψυκτικό πρόσθετο.
 1. Θαλασσινό νερό. 2. Εναλλάκτης θερμότητας. 3. Αναδευτήρας 4. Φίλτρο
 5. Συμπύκνωμα Θαλασσινού νερού. 6. Μίγμα πάγου και συμπυκνώματος
 7. Συσσκευή τήξεως 8. Δευτερεύον συμπιεστής. 9. Κύριος συμπιεστής. 10. Ψύκτης.
 11. Νερό. 12. Παγοποιητική μονάδα. 13. Υγρό βουτανίου. 14. Θαλασσινό νερό.
 15. Παραγόμενο καθαρό νερό. 16. Θαλασσινό νερό. 17. Άλμη. 18. Παραγόμενο
 καθαρό νερό. 19. Υγρό βουτανίου. 20. Ατμοί βουτανίου.
 (Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Ο ατμός του βουτανίου συμπιέζεται σε έναν πρώτο συμπιεστή. Ένα μέρος του διοχετεύεται στο δοχείο τήξης στο οποίο οδηγούνται επίσης οι παγοκρύσταλλοι και το συμπύκνωμα του θαλάσσιου νερού της εγκατάστασης του ψύκτη.

Εκεί, ο ατμός του βουτανίου προσφέρει στους κρυστάλλους τη θερμότητα που απορρόφησε κατά την εξάτμισή του και τους μετατρέπει σε καθαρό νερό, το οποίο όμως περιέχει και μια ποσότητα βουτανίου. Το νερό αυτό διοχετεύεται στη συνέχεια σε μια ειδική συσκευή, όπου διαχωρίζεται το βουτανίο, ενώ το τελείως καθαρό νερό οδηγείται στην έξοδο της εγκατάστασης, αφού προηγουμένως περάσει από τον εναλλάκτη θερμότητας.

Η ποσότητα του αερίου βουτανίου που δεν εισήχθη στον θάλαμο τήξης, συμπιέζεται σε έναν δεύτερο συμπιεστή και αφού μετατραπεί σε υγρό, με τη βοήθεια του ψυχρού θαλασσινού, αναμειγνύεται και πάλι με το νερό στον ψύκτη για να επαναληφθεί ο κύκλος.

2.6 Ιοντικές μέθοδοι

Στις μεθόδους απόσταξης που έχουν περιγραφεί προηγουμένα, τόσο το είδος όσο και η ποσότητα των αλάτων στο θαλάσσιο νερό τροφοδότησης, δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία και δεν επηρεάζουν ουσιαστικά την οικονομία της μεθόδου. Αντίθετα όταν εφαρμόζονται ιοντικές μέθοδοι αφαλάτωσης, η ποσότητα των περιεχομένων αλάτων στο νερό τροφοδότησης είναι πρωταρχικής σημασίας.

Υπάρχουν δύο τρόποι για τον διαχωρισμό των ιόντων από ένα διάλυμα με χρήση των ιοντικών μεθόδων. Η μία στηρίζεται στις ηλεκτρικές ιδιότητες των ιόντων, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί τις χημικές αντιδράσεις των ιόντων για τον διαχωρισμό. Τόσο η πρώτη, η ηλεκτροδιάλυση, όσο και η δεύτερη, η εναλλαγή ιόντων, αφαιρούν τα άλατα από το προς καθαρισμό διάλυμα. Η περιεκτικότητα των αλάτων επηρεάζει σημαντικά την οικονομία των δύο μεθόδων. Στην ηλεκτροδιάλυση, η κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανάλογη με το περιεχόμενο των αλάτων, ενώ στην εναλλαγή ιόντων αυξάνει η απαίτηση σε επιφάνεια ρητίνης εναλλαγής, επομένως και το κόστος του διαλύματος αναγέννησης των ρητινών.

2.6.1 Εναλλαγή ιόντων

Η κύρια χρήση των εναλλακτών ιόντων είναι για την απομάκρυνση των ιόντων των αλάτων από το νερό, δηλαδή η παραγωγή αφαλατωμένου νερού για την τροφοδότηση των ατμολεβητών σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ή σε χημικές βιομηχανίες όπου οι προδιαγραφές απαιτούν αφαλατωμένο νερό, όπως π.χ. στις βιομηχανίες φαρμάκων.

Οι εναλλάκτες ιόντων ή ρητίνες εναλλαγής είναι οργανικές ουσίες, προϊόντα πολυμερισμού ή συμπύκνωσης που περιέχουν ελεύθερες ομάδες εναλλαγής ιόντων. Οι ομάδες αυτές εναλλάσσουν από ένα διάλυμα ηλεκτρολυτών θετικά ή αρνητικά ιόντα, σε ισοδύναμο αναλογία και αποδίδουν στο διάλυμα θετικά ή αρνητικά ιόντα του ίδιου σθένους με αυτά που προσροφήθηκαν στις ρίζες της ρητίνης. Οι ρητίνες αυτές διακρίνονται σε ρητίνες ανιόντων και κατιόντων. Οι ελεύθερες ρίζες των ρητινών ανιόντων είναι ομάδες τετρα-αμμωνίου ή τετρα-φωσφωνίου, ενώ των ρητινών κατιόντων είναι

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ 48

συνήθως η σουλφονική, HSO_3^- , η μεθυλοσουλφονική, $\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}^-$ και η καρβοξυλική, COOH .

Όταν οι ελεύθερες ρίζες των ρητινών κορεστούν με ιόντα, π.χ. με ανιόντα εφ' όσον πρόκειται για ρητίνες ανιόντων, η εναλλαγή παύει και οι ρητίνες πρέπει να "αναγεννηθούν" ώστε οι ρίζες να ελευθερωθούν από τα ανιόντα. Η αναγέννηση των ρητινών ανιόντων γίνεται με ισχυρές βάσεις όπως το καυστικό νάτριο, NaOH . Ως μέθοδος αφαλάτωσης του θαλάσσιου νερού έχει χρησιμοποιηθεί σε μικρή κλίμακα και είναι γενικά αντιοικονομική. Οι κύριοι λόγοι είναι :

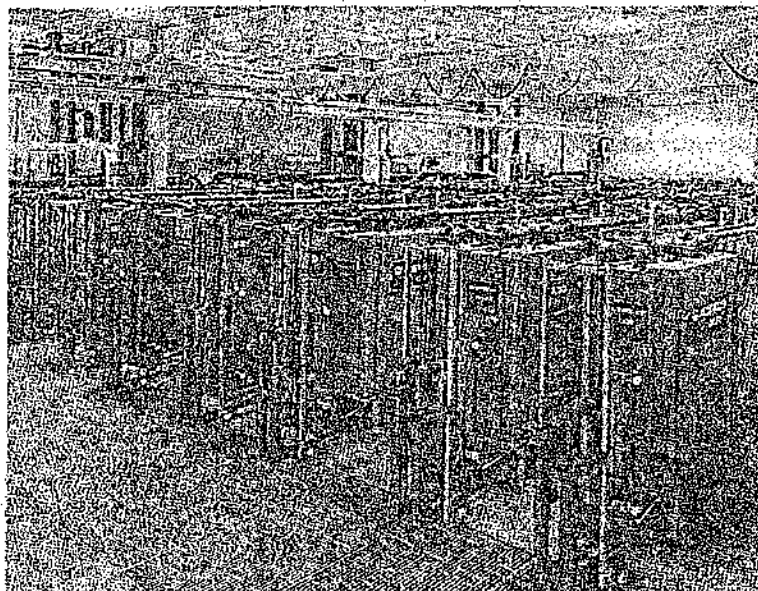
- Οι μεγάλες ποσότητες των χημικών ουσιών που χρειάζονται για την αναγέννηση των ρητινών.
- Ο μεγάλος όγκος των διαλυμάτων αναγέννησης των ρητινών που η απόρριψή τους στο περιβάλλον παρουσιάζει μεγάλα προβλήματα.
- Το αυξημένο κόστος των χημικών ουσιών αναγέννησης και το επίσης αυξημένο κόστος αντικατάστασης των ρητινών, οι οποίες λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης αλάτων στο θαλάσσιο νερό, χάνουν σε σύντομο χρονικό διάστημα την ικανότητα εναλλαγής των ιόντων.

Οι παραπάνω λόγοι έχουν περιορίσει την εφαρμογή της μεθόδου αυτής σε νερά αλμυρότητας 2500 έως 3000 ppm, και με τη χρήση ειδικών ρητινών που έχουν μεγάλη ικανότητα εναλλαγής.

2.6.2 Ηλεκτροδιάλυση και αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (ED, EDR)

Η ηλεκτροδιάλυση και η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στην αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Οι μονάδες ED και EDR χρησιμοποιούνται σε υφάλμυρα νερά με περιεκτικότητα κάτω από 5000 mg/l σε διαλυτά στερεά επειδή η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη με την ποσότητα των στερεών που απομακρύνεται και η χρήση τους γίνεται αντιοικονομική σε υφάλμυρα νερά υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα.

Τα μεγέθη των μονάδων ED και EDR είναι από 50 έως 4000 m^3/d με δυνατότητα εγκατάστασης περισσότερων μονάδων σε παράλληλη λειτουργία για κάλυψη μεγαλύτερων αναγκών.



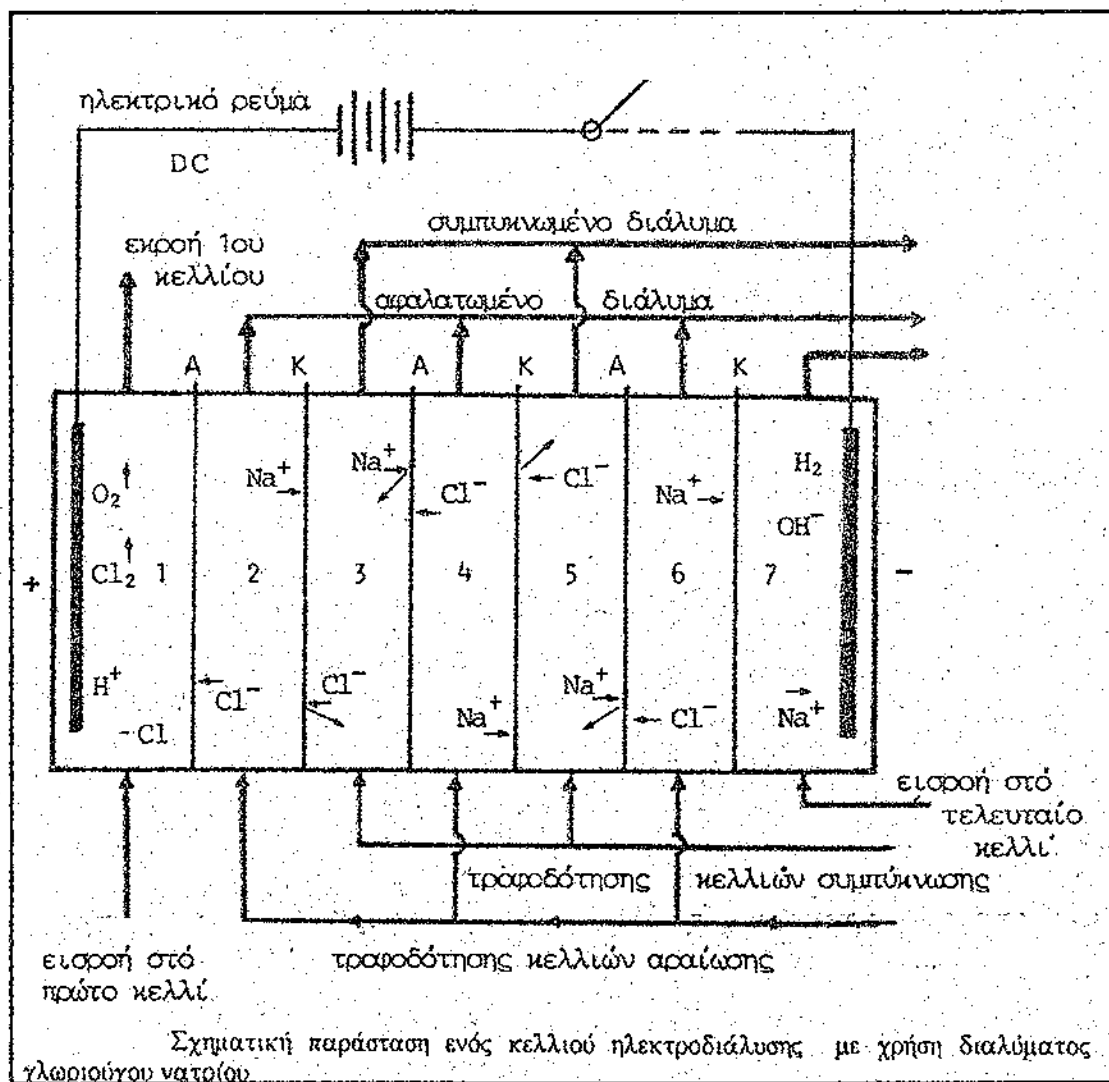
Σχήμα 2.23 Μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση στο Texas.
(Πηγή : Siwak, Ionics, Massachusetts, USA 1990)

Όπως φαίνεται στις εικόνες 2.23 και 2.24 μία μονάδα ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται ουσιαστικά από μία συστοιχία μεμβρανών εναλλαγής κατιόντων και ανιόντων τοποθετημένες ανά ζεύγη, καθώς και από δύο ηλεκτρόδια στις δύο άκρες της συστοιχίας. Η μεμβράνη ανιόντων είναι μία μεμβράνη η οποία επιτρέπει την διόδο μόνο των φορτισμένων αρνητικά ανιόντων. Η μεμβράνη ανιόντων είναι αγωγίμη στο ηλεκτρικό ρεύμα και αδιάβροχη, υπό πίεση, στο νερό. Από την άλλη η μεμβράνη κατιόντων επιτρέπει τη διόδο μόνο στα θετικά φορτισμένα κατιόντα.



Σχήμα 2.24 Μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση
(Πηγή : Siwak, Ionics, Massachusetts, USA 1990)

Όταν εφαρμοστεί ηλεκτρική τάση στα δύο ηλεκτρόδια τότε τα ανιόντα οδηγούνται προς την άνοδο και τα κατίοντα προς την κάθοδο. Τα ανιόντα περνούν από την πλησιέστερη μεμβράνη εναλλαγής ανιόντων, όμως η παραπέρα κίνηση τους σταματάει από τη διπλανή μεμβράνη εναλλαγής κατιόντων. Με τον ίδιο τρόπο τα κατίοντα κινούμενα προς την αντίθετη κατεύθυνση περνούν από την πλησιέστερη μεμβράνη εναλλαγής κατιόντων και στην συνέχεια σταματούν στην επόμενη μεμβράνη εναλλαγής ανιόντων. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η δημιουργία διαμερισμάτων χαμηλής περιεκτικότητας σε ηλεκτρολύτες και διαμερισμάτων υψηλής περιεκτικότητας. Σε αυτή τη βάση στο χώρο της μονάδας μπορεί να τροφοδοτηθεί υφάλμυρο νερό και να παραχθεί πόσιμο νερό και ένα ρεύμα νερού με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά (άλμη), το οποίο απορρίπτεται.

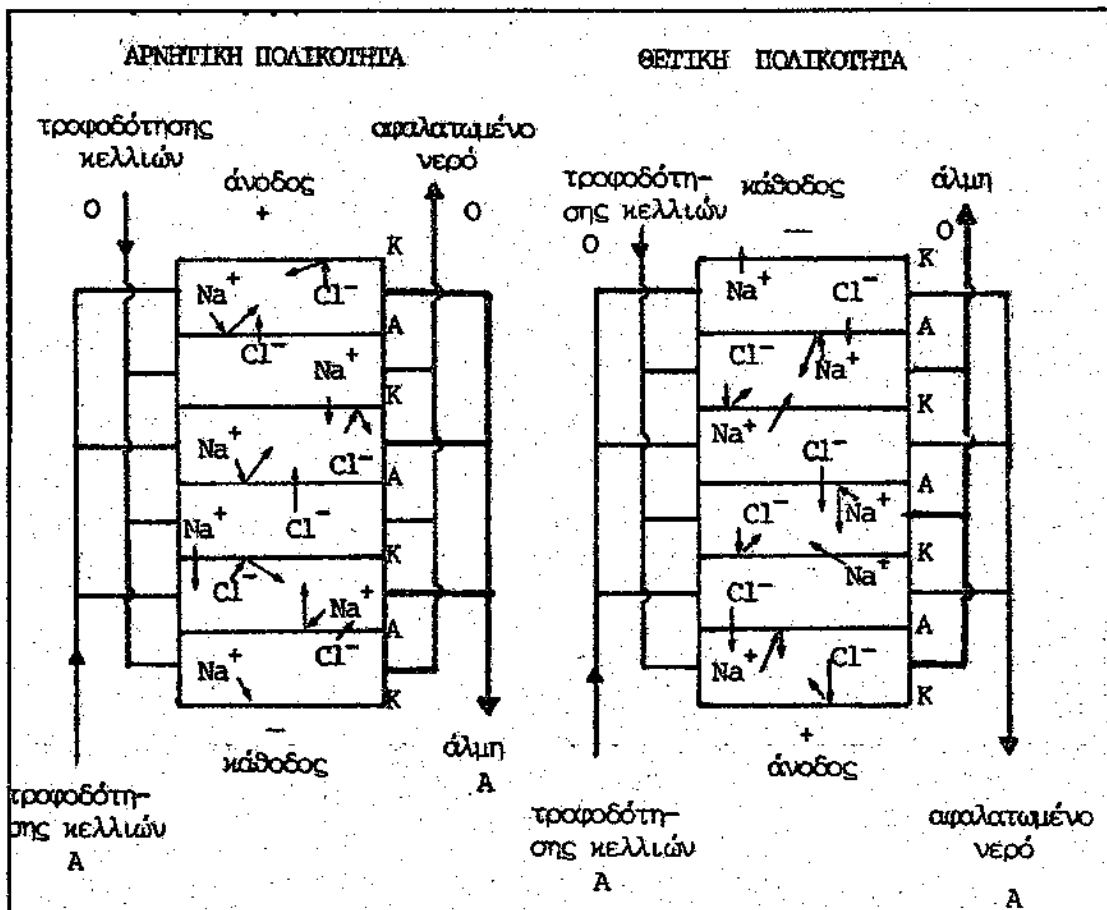


Σχήμα 2.25 Μονάδα Ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται ουσιαστικά από μία συστοιχία μεμβρανών εναλλαγής κατιόντων και ανιόντων τοποθετημένες ανά ζεύγη.

(Πηγή : Ε. Δελιγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Όπως είναι φανερό στην περίπτωση της μεθόδου ED, τα άλατα μεταφέρονται μέσα από την κάθε μεμβράνη εναλλαγής ιόντων προς μία μόνο κατεύθυνση. Αυτό έχει σαν συνέπεια να σχηματίζονται στην επιφάνεια των μεμβρανών, στα χωρίσματα εκείνα όπου η άλμη συμπυκνώνεται, επιθέματα τα οποία αποτελούνται από κολλοειδή λάσπη, οργανικές ζελατινώδης ουσίες και διάφορα συστατικά λεβητολιθικής μορφής. Τα διάφορα αυτά υλικά σχηματίζουν έναν υμένα στην επιφάνεια των μεμβρανών, όπου το ηλεκτρικό ρεύμα συσσωρεύεται, λόγω κακής αγωγιμότητας του υμένα. Καθώς αυξάνει η συγκέντρωση του ρεύματος η μεταφορά ιόντων ελαττώνεται, έως ότου η συγκέντρωση του ρεύματος φθάσει σε έναν ορισμένο βαθμό όπου αρχίζει η διάσπαση του νερού σε ιόντα H^+ και OH^- , ενώ η αφαλάτωση σταματά τελείως και το κελί ηλεκτροδιάλυσης μετατρέπεται σε κελί ηλεκτρόλυσης νερού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πόλωση συγκέντρωσης. Για την αποφυγή αυτών των φαινομένων δημιουργήθηκε η συμμετρική ή ανάστροφος ηλεκτροδιάλυση.



Σχήμα 2.26 Μονάδα Ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται ουσιαστικά από μία συστοιχία μεμβρανών εναλλαγής κατιόντων και ανιόντων τοποθετημένες ανά ζεύγη.
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Οι μονάδες EDR βασίζονται στην ίδια αρχή και έχουν τον ίδιο σχεδιασμό με τις μονάδες ED, με τη διαφορά ότι στις μονάδες EDR τα ηλεκτρόδια αλλάζουν πολικότητα 2 έως 4 φορές την ώρα απαλλάσσοντας την επιφάνεια της μεμβράνης από τα επιθέματα της συγκέντρωσης των αλάτων. Έτσι λαμβάνει χώρα μία μορφή αυτοκαθαριζόμενης απαλλαγής των αλάτων. Στο σχήμα 2.26 δίνεται η διάταξη από ένα κελί ηλεκτροδιάλυσης με αρνητική και θετική πολικότητα ρεύματος. Η αναστροφή αυτή της πολικότητας γίνεται κάθε 15' έως 20' αυτόματα με αναστροφή των βαλβίδων τροφοδότησης.

Ένα ηλεκτροδιαλυτικό κελί αποτελείται από χωρίσματα μεταξύ των μεμβρανών που σχηματίζουν ατραπούς όπου κυκλοφορούν τα υδατικά ρεύματα του συμπυκνώματος και του αφαλατωμένου διαλύματος. Τα χωρίσματα αυτά σχηματοποιούνται από παρεμβύσματα χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου τα οποία συγκρατούν τις μεμβράνες κατιόντων και ανιόντων. Ένα παρόμοιο χωρίσμα ονομάζεται ζεύγος κελιού και αποτελείται από:

1. Μία μεμβράνη εναλλαγής κατιόντων.
2. Ένα χωρίσμα ροής του αφαλατωμένου διαλύματος
3. μία μεμβράνη εναλλαγής ανιόντων
4. Ένα χωρίσμα ροής του συμπυκνούμενου διαλύματος

Το ζεύγος αποτελεί τη μονάδα ενός κελιού ηλεκτροδιάλυσης το οποίο συνήθως απαρτίζεται από 300 έως 500 ζεύγη τοποθετημένα είτε αλληπάλλληλα σε κατακόρυφη διάταξη ή σε οριζόντια διάταξη.

2.7 Σύγκριση Μεθόδων Αφαλάτωσης

Συγκρίνοντας τις υπάρχουσες τεχνολογίες, καταλαβαίνουμε ότι για να εφαρμοστεί η κάθε μια, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας πολλούς παραμέτρους, όπως η κατάσταση του νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο), η πηγή ενέργειας και οι γεωγραφικές ιδιαιτερότητες (πίνακας II).

Πίνακας II Συγκριτικά χαρακτηριστικά μεθόδων αφαλάτωσης
(Πηγή: J.Ribeiro, "Desalination Technology – Survey & Projects, Spain, Aug 1996)

Μέθοδος	Νερό Τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Ποιότητα Παραγόμενου ppm TDS	Εύρος Μεγεθών κ.μ/ ημ.
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	~10	5,000-60,000
MED	Θαλασσινό	Θερμική	~10	5.000-20,000
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	~10	2.400
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	350~500	128.000
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	350~500	98.000
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	350~500	45.000

Όπως έχουμε πει και παραπάνω η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται θεωρητικά για την αφαλάτωση είναι ίδια για όλες τις μεθόδους και κυμαίνεται στις 0.8 kWh/m^3 . Σε κάθε μέθοδο η ενέργεια που καταναλώνεται εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η αλατότητα του θαλασσινού νερού, η θερμοκρασία λειτουργίας των μεμβρανών, καθώς και διαφορές θερμοκρασίας ή απώλειες θερμότητας για τις θερμικές μεθόδους. Διαδικασίες που απαιτούν την αλλαγή της φάσης του νερού, όπως οι θερμικές, απαιτούν μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από αυτές όπου δεν απαιτούν την αλλαγή της φάσης του νερού, όπως δείχνει ο πίνακας IV. Αυτές οι εφαρμογές συναντώνται σε χώρες με φθηνά καύσιμα π.χ Σαουδική Αραβία, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Στις χώρες όμως που τα καύσιμα είναι ακριβά και δυσεύρετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όπως βλέπουμε στον πίνακα III.

Πίνακας III Συνδυασμοί ΑΠΕ και Μονάδων Αφαλάτωσης
(Πηγή: J.Ribeiro, "Desalination Technology – Survey & Projects, Spain, Aug 1996)

Πηγές Ενέργειας	MSF	MED	VC	RO	ED
Α/Γ	-	-	MVC	RO	ED
Φ/Β	-	-	-	RO	ED
Ηλιακοί Συλλέκτες	MSF	MED	-	-	-
Γεωθερμία	MSF	MED	-	-	-

Από την μια οι θερμικές μέθοδοι (MSF, MED) που λειτουργούν με την παροχή ατμού, είναι οικονομικά ελκυστικές και συγκρίσιμες με το κόστος της αντίστροφης ώσμωσης (R.O), από την άλλη όμως το κόστος των μεθόδων με μεμβράνες εξαρτάται από την μεταφορά ιόντων, το οποίο συνδέεται άμεσα με την αλατότητα του τροφοδοτούμενου νερού. Για μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις αντίστροφης ώσμωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ποσοστό επιστρεφόμενης ενέργειας ύψους 40% (πίνακας IV).

Πίνακας IV Υπολογισμός ενεργειακής κατανάλωσης στις σημαντικότερες μεθόδους αφαλάτωσης

(Πηγή : J Ribeiro, " Desalination Technology – Survey & Projects, Spain, Aug 1996)

Μέθοδος	Ενέργεια από ατμό (KWh_{el}/m^3)	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (KWh_{el}/m^3)	Ισοδύναμη Ηλεκτρική Ενέργεια (KWh_{el}/m^3)
MSF	7,5-11,0	2,5-3,5	10-14,5
MED	4-7	~ 2	6-9
VC	-	7-15	7-15
SWRO	-	4-6 με επανάκτηση ενέργειας 7-13 χωρίς επανάκτηση ενέργειας	4-6 με επανάκτηση ενέργειας 7-13 χωρίς επανάκτηση ενέργειας
BWRO	-	0,5-2,5	0,5-2,5
ED	-	0,7-2,5	0,7-2,5

Στον πίνακα V δίνεται η μέση τιμή της ενέργειας, που απαιτείται, σε KJ/Kg, ανά μέθοδο αφαλάτωσης, ο βαθμός απόδοσης R και η μέση θερμοκρασία λειτουργίας, για μερικές μεθόδους. Η ενέργεια αφορά σε αφαλάτωση αλμυρού νερού περιεκτικότητας αλάτων ~3500 ppm. Επιπλέον στον πίνακα VI παρατηρούμε τον τύπο της ενέργειας που χρησιμοποιεί η κάθε μέθοδος, καθώς και την κατανάλωσή τους.

Πίνακας V Απαιτούμενη ενέργεια και θερμοκρασία για την αφαλάτωση αλμυρού νερού και βαθμός απόδοσης για μερικές μεθόδους
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Σύγχρονοι μέθοδοι αφαλατώσεως, Σεπτέμβριος 1995)

Μέθοδος αφαλάτωσης	T [°C]	W [Kj/Kg]	R [Kj/2330Kg]
Αντίστροφη ώσμωση	30-40	30	77
Ηλεκτροδιάλυση	40	50	46
Ψύξη υπό κενό, με απορρόφηση	-	63	37
Ψύξη υπό κενό, συμπίεση ατμών	-	102	25
Απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων	120-130	125	19
Εξάτμιση MSF - κατακόρυφοι σωλήνες	90-120	175	13
Επανασυμπίεση ατμών	60-70	186	12
Εξάτμιση VTE	110-130	204	11
MSF εξατμιστήρια	90-120	251	9
Συμβατικά ηλιακά εξατμιστήρια	~80	~4350	0,53

Πίνακας VI : Τύπος και κατανάλωση ενέργειας για κάθε μέθοδο
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Σύγχρονοι μέθοδοι αφαλατώσεως, Σεπτέμβριος 1995)

Τεχνολογία	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας
MSF	Θερμική	290 kJ/kg
	Ηλεκτρική	4-6 kWh/m ³
MED	Θερμική	270 kJ/kg
	Ηλεκτρική	2.5-3 kWh/m ³
VC	Ηλεκτρική	8-15 kWh/m ³
SWRO	Ηλεκτρική	3 - 15 kWh/m ³
BWRO		0.5 - 3 kWh/m ³
ED	Ηλεκτρική	1.5-4 kWh/m ³ (1500-3500 ppm TDS)

Το συνολικό κόστος των εγκαταστάσεων των σημαντικότερων μεθόδων αφαλάτωσης παρουσιάζεται στον πίνακα VII. Οι τιμές αυτές είναι για μια τυπική εγκατάσταση 10.000 – 20.000 m³/day, εκτός από την μέθοδο της συμπίεσης ατμών περίπου 2.500 m³/day.

Πίνακας VII Συνολικό κόστος για τις κυρίες μεθόδους αφαλάτωσης
(Πηγή : J Ribeiro, " Desalination Technology – Survey & Projects, Spain, Aug 1996)

Μέθοδος (ECU/m ³ -day)	Επένδυση (ECU/m ³)	Ενέργεια (ECU/m ³)	Κατανάλωση (ECU/m ³)	Εργασία (ECU/m ³)	Συντήρηση (ECU/m ³)	Σύνολο (ECU/m ³)
MSF	1.000-2.000	0,6-1,8	0,03-0,09	0,03-0,2	0,02-0,06	0,68-2,15
MED	900-1.800	0,38-1,12	0,02-0,15	0,03-0,2	0,02-0,06	0,45-1,53
VC	900-2.500	0,56-2,4	0,02-0,15	0,03-0,2	0,02-0,08	0,63-2,83
SWRO	800-1.600	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	0,004-0,2	0,124-0,75
ED	266-328	0,06-0,4	0,05-0,13	0,03-0,2	0,006-0,009	0,146-0,74

Ο πίνακας VIII αποτυπώνει την εγκατεστημένη αφαλατική ποσότητα σε m³/day σε διάφορες χώρες της Μεσογείου και όχι μόνο. Στον πίνακα ΙΧ παρατηρούμε ότι οι μέθοδοι των μεμβρανών χρησιμοποιούνται ευρύτερα για ένα μεγαλύτερο εύρος αλατότητας του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού

Πίνακας VIII Εγκατεστημένη αφαλατική ποσότητα σε m³/day σε διάφορες χώρες
(Πηγή : " Water Desalination in the Mediterranean Region ", ARMINES, Aug 1997)

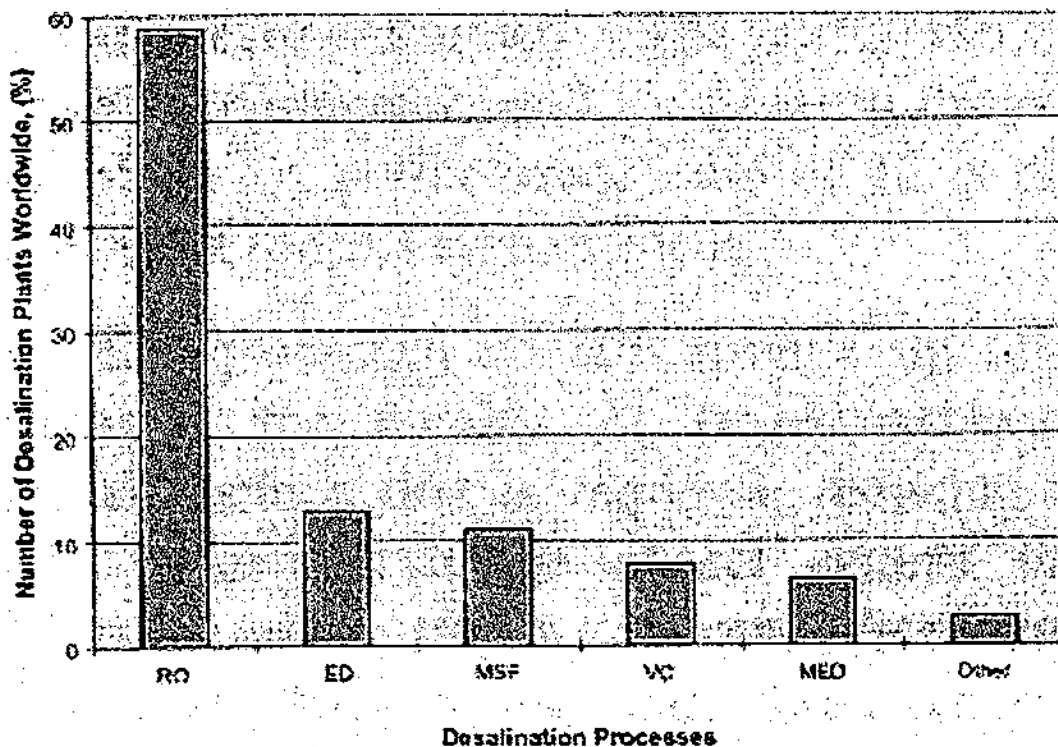
Περιοχή	MSF	MED	VC	RO	ED
Σ. Αραβία	2,700	-	50	1,000	94
USA	50	50	130	1,600	280
Κουβέιτ	350	-	-	50	-
Λιβύη	400	-	-	130	67
Ισπανία	56	-	40	230	45
Ιταλία	200	-	75	40	50
Αλγερία	60	-	30	80	16

Πίνακας ΙΧ Χωρητικότητες αφαλατωμένου νερού για διάφορες μεθόδους
(Πηγή : M.A Darwish " Desalination Processes ", Abu-Dhabi 1995)

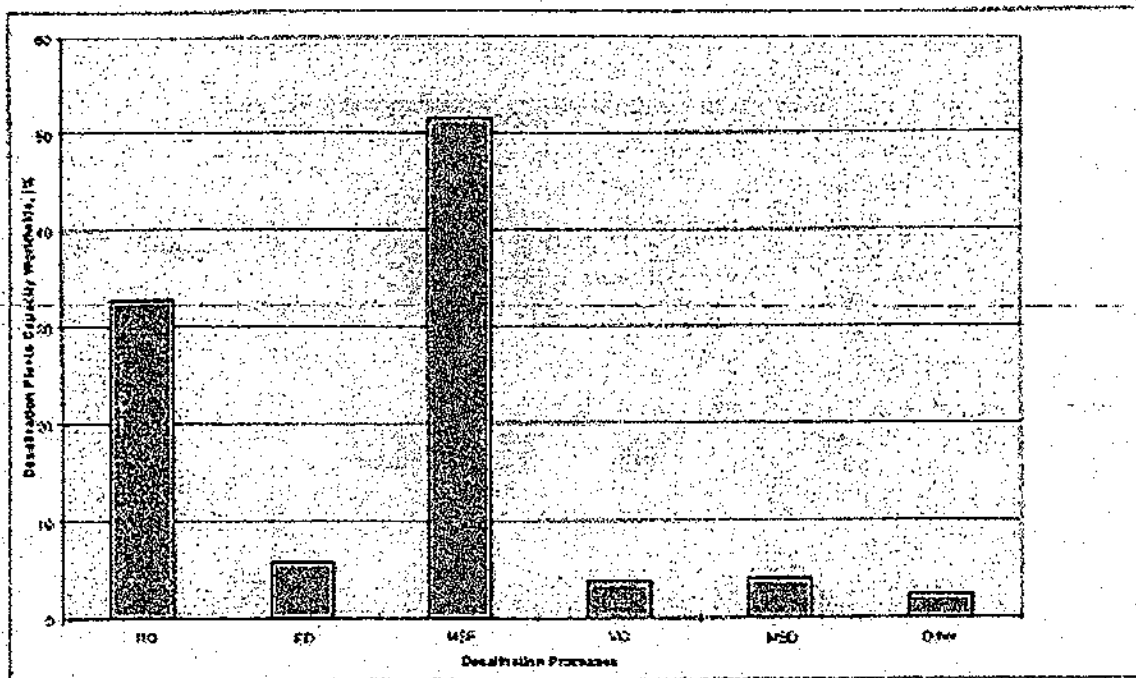
Desalination Process	Feed Water	Product Water (ppm TDS)	10	100	1,000	10,000	100,000
MSF	sea	< 50					
VC	sea	< 50					
MED	sea	< 50					
RO	sea	< 500					
ED	brackish	< 500					
ED	brackish	< 500					

Capacity, m³/day

Τα διαγράμματα II και III, παρουσιάζουν το ποσοστό των εφαρμογών των μεθόδων αφαλάτωσης καθώς και την αναλογία της αφαλτωτικής χωρητικότητας σε όλο τον κόσμο.



Διάγραμμα II. Ποσοστό της εφαρμογής των μεθόδων αφαλάτωσης σε όλο τον κόσμο (Πηγή : " Experience on Desalination with RES ", Spain, Mar 1996)



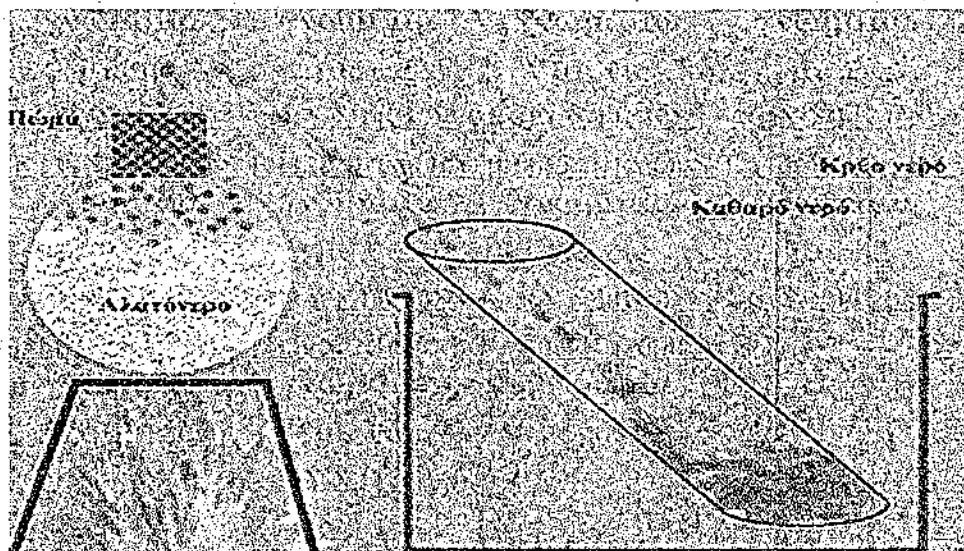
Διάγραμμα III. Αναλογίες της αφαλτωτικής χωρητικότητας για κάθε μέθοδο σε όλο τον κόσμο (Πηγή : " Experience on Desalination with RES ", Spain, Mar 1996)

Κεφάλαιο 3

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

3.1 Γενικά για την απόσταξη

Με την απόσταξη μπορούμε να απομακρύνουμε από υγρά διάφορες ανεπιθύμητες προσμείξεις. Έτσι προμηθευόμαστε αποσταγμένο νερό, δηλαδή εντελώς καθαρό νερό. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να πάρουμε πόσιμο νερό αποστάζοντας θαλασσινό. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού παίζει σπουδαίο ρόλο στην εποίκηση και άρδευση άνυδρων περιοχών. Επειδή για την απόσταξη χρειαζόμαστε μεγάλες ποσότητες θερμότητας, το κόστος είναι μεγάλο. Καταβάλλονται προσπάθειες, ώστε για την απόσταξη του νερού να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια, δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία (παράγραφος 3.2).



Σχήμα 3.1 Απλή περιγραφή απόσταξης αλατόνερου.
(Πηγή: Κ.Α.Π.Ε.)

Αν αποστάξουμε αντί ένα υγρό, μίγμα δύο ή περισσότερων υγρών με διαφορετικά σημεία ζέσεως, τότε αποστάζεται πρώτα το συστατικό του μίγματος με το μικρότερο σημείο ζέσεως και ύστερα το άλλο. Η απόσταξη αυτή, που διαχωρίζεται ένα υγρό μίγμα στα συστατικά του, λέγεται κλασματική απόσταξη (σχήμα 3.1). Εφαρμογή της κλασματικής απόσταξης έχουμε στη διύλιση του πετρελαίου.

Τα συστατικά του μίγματος που παίρνουμε με την κλασματική απόσταξη δεν είναι εντελώς καθαρά, ειδικά όταν οι θερμοκρασίες βρασμού είναι παραπλήσιες.

Φυσική απόσταξη γίνεται με τον ήλιο από τις διάφορες θάλασσες, ποταμούς, λίμνες. Οι υδρατμοί που προκύπτουν από την εξάτμιση συμπυκνώνονται στα υψηλότερα ψυχρά ατμοσφαιρικά στρώματα και πέφτουν υπό μορφή βροχής. Το νερό της βροχής είναι αποσταγμένο (αν αγνοήσουμε φυσικά τις τυχόν προσμίξεις που διαλύει καθώς διέρχεται από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας). Όλα τα αέρια που βρίσκονται μέσα σε δοχεία υπό μορφή υγρών όπως στα γκαζάκια, στους αναπτήρες, κ.λ.π. έχουν υγροποιηθεί με συμπίεση.

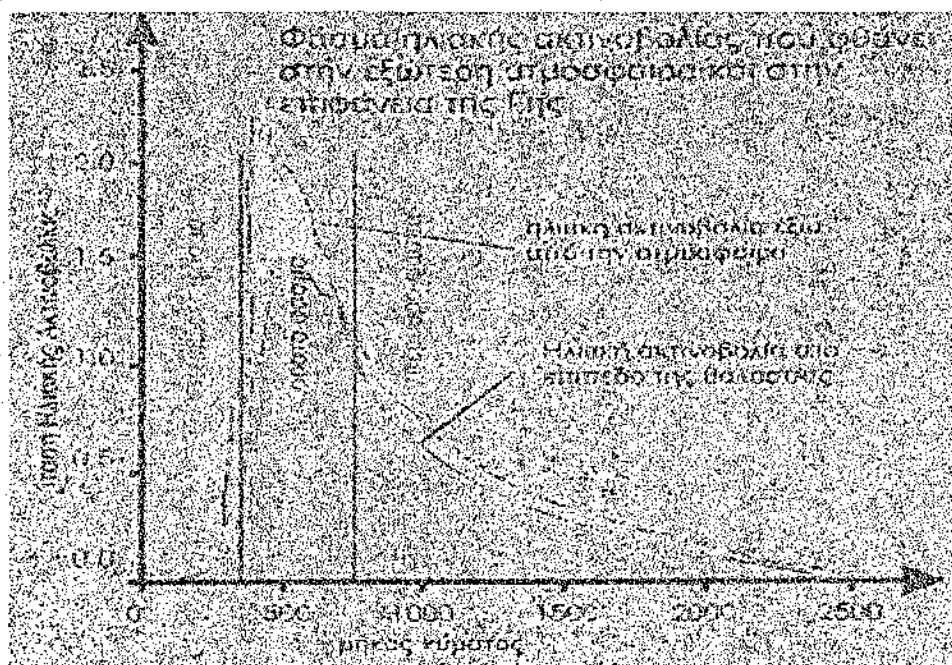
Στην Ελλάδα υπάρχουν εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης σε 6 νησιά που έχουν κατασκευαστεί από την ΕΤΒΑ και το Ε.Μ.Πολυτεχνείο [Δεληγιάννη – Πιπερόγλου 1980]. Η εγκατεστημένη επιφάνεια κυμαίνεται έως 8600 m². Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν παραχωρηθεί στους δήμους των νησιών και χρησιμοποιούνται σαν συμπλήρωμα του συλλεγόμενου βρόχινου νερού για οικιακή χρήση.

Οι συνηθισμένοι ηλιακοί συλλέκτες έχουν καλύτερη θερμική απόδοση από ότι έχει η απόσταξη. Ο συνδυασμός ηλιακών συλλεκτών για την προθέρμανση του τροφοδοτούμενου νερού με την εγκατάσταση απόσταξης, έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα. Εκτός όμως από τη μέθοδο της απόσταξης η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση του θαλασσινού νερού που χρησιμοποιείται σε άλλες συμβατικές μεθόδους αφαλάτωσης, όπως αφαλάτωση με κατακόρυφους αυλούς (LVT) και η πολυβάθμια εκρηκτική εκτόνωση (MSF). Επίσης γίνονται προσπάθειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή, που θα χρησιμοποιείται σε μεθόδους αφαλάτωσης όπως η ηλεκτροδιάλυση (ED) και η αντίστροφη ώσμωση (R.O).

3.2 Ηλιακή Ακτινοβολία

Όλα τα μήκη κύματος δεν είναι κατάλληλα για την χρησιμοποίηση των στις πρακτικές εφαρμογές της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χρησιμοποιήσιμη μορφή.

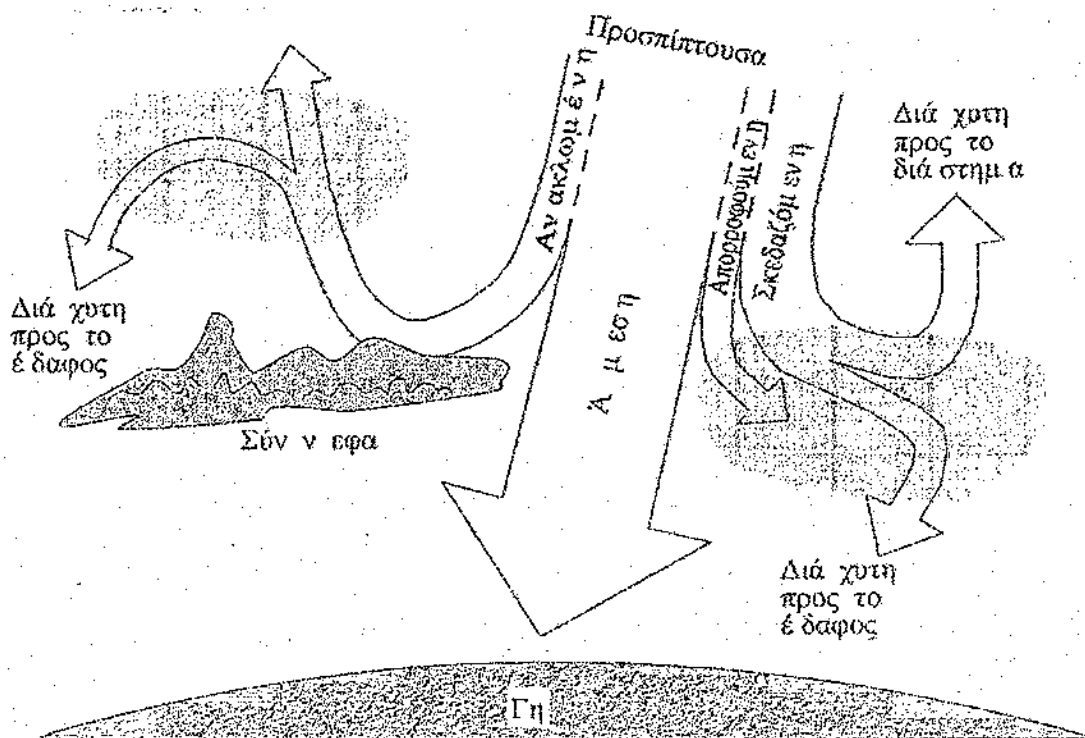
Το φάσμα το οποίο εκπέμπεται από τον λεγόμενο "ήσυχος ήλιος", βρίσκεται στην περιοχή των 2500 έως 30000 Å (Angstrom) και περιέχει το 98% της ολικής ενέργειας η οποία εκπέμπεται. Η ακτινοβολία κάτω των 2500 και άνω των 30000 Å είναι χαμηλής έντασης.



Σχήμα 3.2 Φάσμα ηλιακού φωτός που φτάνει τόσο στην εξώσφαιρα όσο και στην επιφάνεια της γης
(Πηγή : Σ. Καπλάνης, Τεχνολογία PV – συστημάτων και εφαρμογές)

Το ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφάται από το αέριο στρώμα της ατμόσφαιρας και από τους υδρατμούς που περιέχει αποτελούν την σκοτεινή ή αφανή ακτινοβολία. Ένα άλλο τμήμα της ακτινοβολίας διαχέεται από τα μόρια των συστατικών της ατμόσφαιρας και αποτελεί την διάχυτη ακτινοβολία. Το υπόλοιπο της ακτινοβολίας φτάνει κατ'ευθείαν στην επιφάνεια της γης και ονομάζεται άμεση ακτινοβολία. Η ολική ακτινοβολία της οποίαν δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια πάνω στη γη αποτελείται από την άμεση και την διάχυτη⁵. Όπως είπαμε και παραπάνω αντί του όρου ακτινοβολία χρησιμοποιήσουμε την λέξη ενέργεια, τότε έχουμε την ολική ηλιακή ενέργεια η οποία προσπίπτει σε μια γήινη οριζόντια επιφάνεια (σχήμα 3.3).

⁵ : Διάχυση, Διασκόρπιση. Αμοιβαία διείσδυση δυο διαφορετικών υγρών ή αερίων. Κατ'επέκταση το διασκόρπισμα των ακτινών του φωτός μέσα σε υγρό ή αέριο, μετά από ανεπάλληλες «ανακλάσεις στα μόρια» του υλικού.



Σχήμα 3.3 Το ηλιακό φως που φτάνει στην επιφάνεια της γης αποτελείται από δύο συνιστώσες, την άμεση που αφορά τις ακτίνες που φτάνουν απευθείας από τον ήλιο και την διάχυτη που αφορά τις ακτίνες που φτάνουν στην επιφάνεια της γης αφού υποστούν πολλές σκεδάσεις στα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας.

(Πηγή : Γ.Φραγκιαδάκης, Το φωτοβολταϊκό στοιχείο, Ηράκλειο 1999)

3.3 Απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας – μαύρο σώμα

Η ακτινοβολία είναι συνυφασμένη με το είδος της επιφάνειας που την εκπέμπει και ακολουθεί όπως είναι γνωστό τους ίδιους νόμους με το φως, δηλαδή την φωτεινή ακτινοβολία και είναι δυνατόν να ανακλαστεί ή να παρεμποδιστεί στην ευθύγραμμη πορεία της από παρεμβαλλόμενα σώματα.

Περιγράφοντας τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας μιας πραγματικής επιφάνειας, είναι χρήσιμο να γίνει μια αναφορά στο ονομαζόμενο "μαύρο σώμα" (black body). Μαύρο σώμα είναι μια ιδανική επιφάνεια η οποία έχει τις παρακάτω ιδιότητες :

- Εκπέμπει την μεγαλύτερη δυνατή ακτινοβολία, από οποιοδήποτε σώμα, για μια καθορισμένη θερμοκρασία και ένα καθορισμένο μήκος κύματος
- Απορροφά όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος και την κατεύθυνσή του.

Ο όρος “μαύρο σώμα” ονομάστηκε έτσι γιατί από τις πραγματικές επιφάνειες, οι μαύρες επιφάνειες με τραχιά υφή έχουν την μεγαλύτερη απορροφητικότητα σε φωτεινή ακτινοβολία.

Η ενέργεια που ακτινοβολείται από ένα μαύρο σώμα ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου, ως συνάρτηση του μήκους κύματος για διάφορες θερμοκρασίες δίνονται στο παρακάτω διάγραμμα I. Κάθε καμπύλη παρουσιάζει ένα μέγιστο για μια καθορισμένη θερμοκρασία. Εφ’όσον αυξάνει η θερμοκρασία, το μήκος κύματος μετατοπίζεται προς το μικρότερο μήκος κύματος. Η συνολική ενέργεια που εκπέμπεται στην μονάδα του χρόνου και της επιφάνειας, αντιπροσωπεύεται από την επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη της καθορισμένης θερμοκρασίας. Η ποσότητα της ενέργειας η οποία εκπέμπεται από ένα μαύρο σώμα δίνεται από την εξίσωση του Boltzmann :

$$Q = 5.67032 * \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (\text{W/m}^2)$$

Στην πραγματικότητα όμως για μια πραγματική επιφάνεια και για μια ορισμένη θερμοκρασία έχει ικανότητα εκπομπής μικρότερη από αυτή του μαύρου σώματος, η οποία εκφράζεται από τον συντελεστή εκπομπής ϵ (emissivity). Για αυτή την επιφάνεια ή “τεφρό σώμα” η ενέργεια που εκπέμπεται είναι :

$$Q = 5.67032 * \epsilon * \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (\text{W/m}^2)$$

Σύμφωνα με τον νόμο του Kirchoff η ικανότητα εκπομπής ενός σώματος ισούται με την απορροφητική του ικανότητα α . Ισχύει $\epsilon = \alpha$

Στους ηλιακούς αποστακτήρες, όπως και στους επίπεδους συλλέκτες χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά, συνήθως μαύρου χρώματος, τα οποία έχουν τον μεγαλύτερο δυνατό συντελεστή εκπομπής ϵ , ώστε να απορροφούν την μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας. Στις πρακτικές εφαρμογές όμως η εναλλαγή θερμότητας γίνεται μεταξύ δύο σωμάτων. Για ένα παρόμοιο ζεύγος επιφανειών ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις :

$$Q_1 = Q_2 = \frac{\sigma * (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 * A_1} + \frac{1}{A_1 * F_{1,2}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2 * A_2}}$$

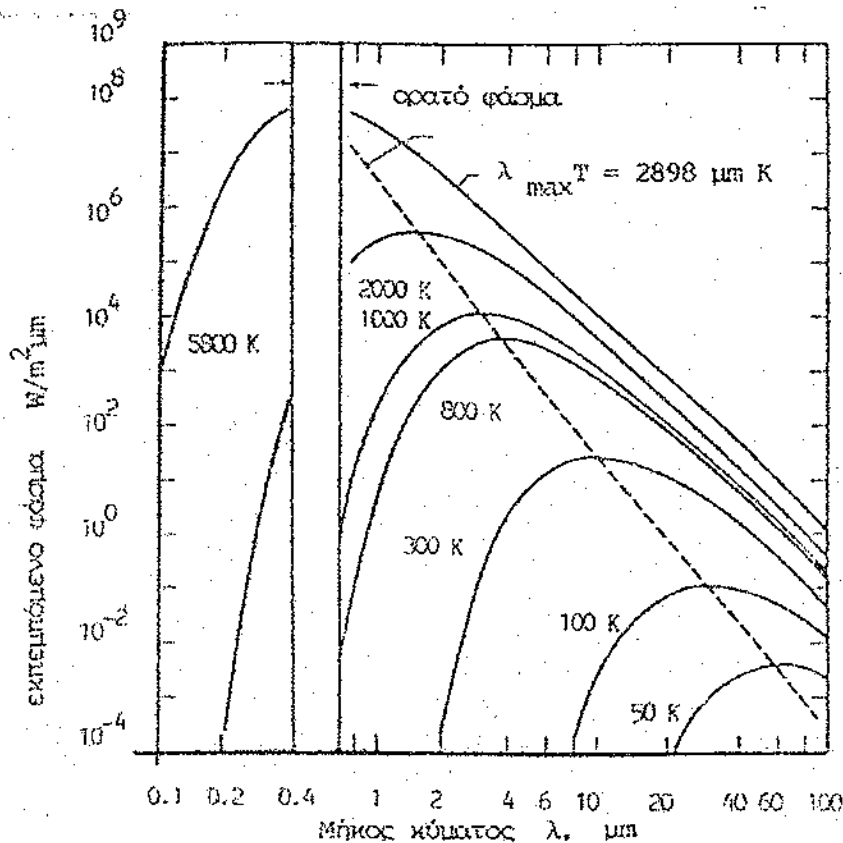
Η παραπάνω εξίσωση υπολογίζει την μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ δύο επιφανειών A_1 και A_2 που βρίσκονται αντίστοιχα σε θερμοκρασίες T_1 και T_2 , $T_2 > T_1$ και έχουν συντελεστή εκπομπής αντίστοιχα ε_1 και ε_2 , ενώ $F_{1,2}$ είναι ένας συντελεστής εναλλαγής μεταξύ των δύο επιφανειών. Στην περίπτωση που οι δύο επιφάνειες A_1 και A_2 είναι παράλληλες και ίσες, όπως στους επίπεδους συλλέκτες τότε η παραπάνω εξίσωση μετατρέπεται σε :

$$\frac{Q}{A} = \frac{\sigma * (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Εάν η επιφάνεια A_1 περιβάλλεται από μια κατά πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια A_2 τότε η σχέση A_1/A_2 πλησιάζει το μηδέν άρα ο συντελεστής $F_{1,2}$ πλησιάζει την μονάδα, έτσι η εξίσωση μετατρέπεται σε :

$$Q_1 = \varepsilon_1 * A_1 * \sigma * (T_2^4 - T_1^4)$$

Αυτή η περίπτωση έχει ως συνέπεια την απορρόφηση όλης της ενέργειας που ακτινοβολείται από την μικρή επιφάνεια A_1 , από την μεγάλη επιφάνεια η οποία συμπεριφέρεται σαν μαύρη επιφάνεια



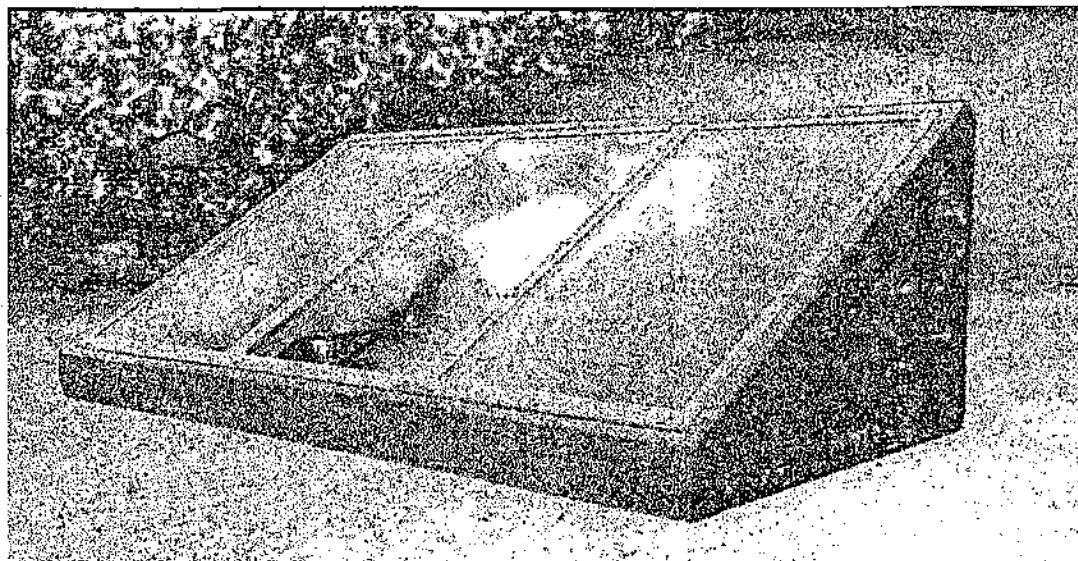
Διάγραμμα I Εκπομπή ενέργειας μαύρου σώματος για διάφορα μήκη κύματος λ και διάφορες θερμοκρασίες T
(Πηγή: Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

3.4 Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation)

Η ιδέα της ηλιακής απόσταξης είναι από τις παλαιότερες μεθόδους και μελετήθηκε πρώτη φορά το 1850, ενώ το 1872 κατασκευάστηκε η πρώτη μονάδα ηλιακών αποστακτών εκτάσεως 4000 m^2 και λειτούργησε για πολλά χρόνια.

Ηλιακή αφαλάτωση θεωρείται ένα σύστημα αφαλάτωσης το οποίο χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας για την λειτουργία του, την ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα ή έμμεσα. Άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται στους ηλιακούς αποστακτές, όπου μια ποσότητα νερού θερμαίνεται απ' ευθείας από την ηλιακή ακτινοβολία, εξατμίζεται και οι σχηματιζόμενοι ατμοί συμπυκνώνονται σε αφαλατωμένο νερό, δηλαδή παθητικό σύστημα ηλιακής εφαρμογής.

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για την χρήση της ηλιακής ενέργειας στην αφαλάτωση, βασίζεται στην αρχή του θερμοκηπίου (σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4 Συσκευή αφαλάτωσης που βασίζεται στην αρχή του θερμοκηπίου.
(Πηγή : Caddet Renewable Energy Newsletter, December 1999)

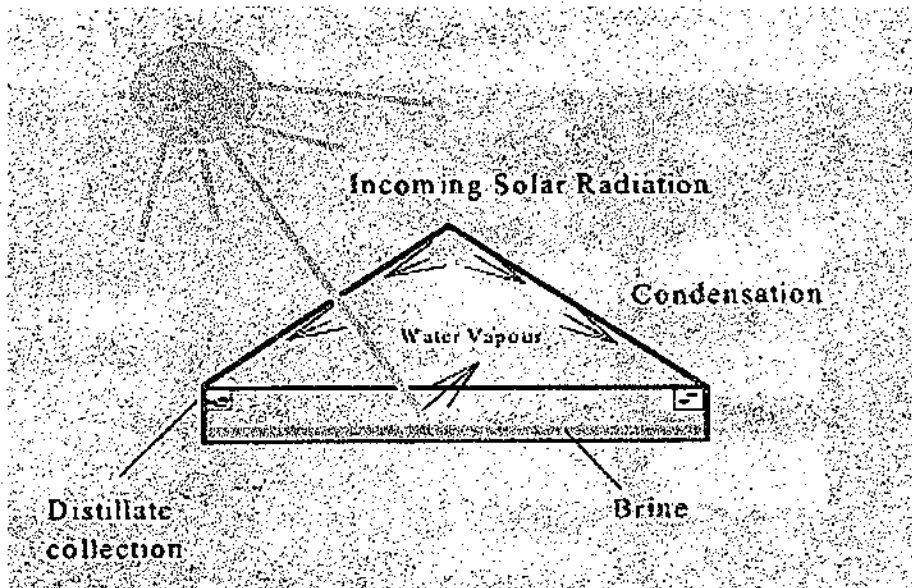
Αυτή η αρχή εφαρμόζεται σε πολλές περιπτώσεις και κυρίως στην γεωργία. Τα θερμοκήπια είναι ένας κλειστός χώρος ο οποίος διαπερνάται από ρεύματα αέρα. Από τις διαφανείς επιφάνειες του θερμοκηπίου διέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία θερμαίνει τον εσωτερικό χώρο απορροφούμενη από τα σώματα που υπάρχουν μέσα στον χώρο. Επειδή το θερμοκήπιο είναι κλειστό, δεν υπάρχει επικοινωνία από μέσα προς τα έξω και αντίστροφα. Έτσι η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ανεβαίνει και φτάνει σε ένα όριο ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τόπο.

- Εφαρμογές στην Ελλάδα:

Καστελόριζο	- 2500 τ.μ.
Σύμη	- 2600 τ.μ.
Πάτμο	- 7200 τ.μ.
Αίγινα	- 1490 τ.μ.

Η έμμεση χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει την μετατροπή της σε μια μορφή ενέργειας, θερμική ή ηλεκτρική, κατάλληλη να τροφοδοτήσει ένα

συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης. Η άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται σε συσκευές οι οποίες ονομάζονται ηλιακοί αποστακτήρες (solar stills) και η μέθοδος αντίστοιχα καλείται ηλιακή απόσταξη (solar distillation).

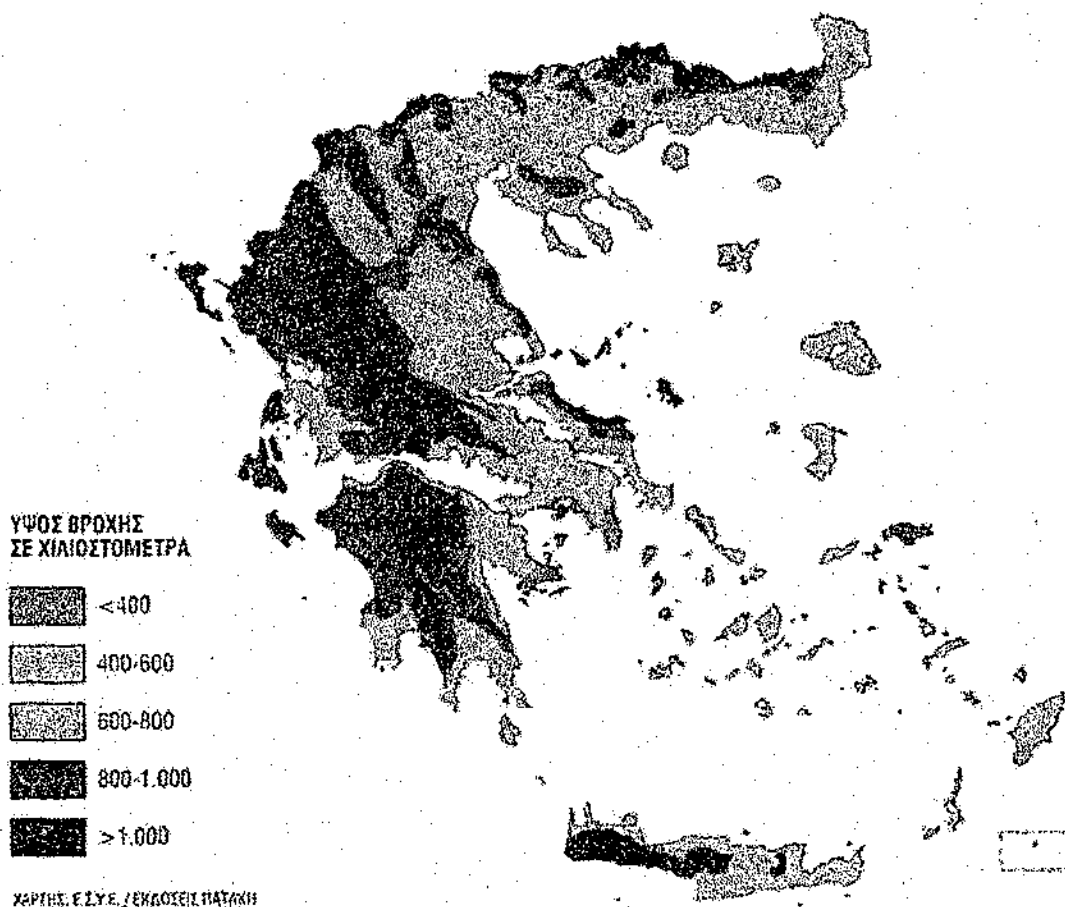


Σχήμα 3.5 Απλή περιγραφή ηλιακού αποστακτήρα τύπου θερμοκηπίου
(Πηγή : " Desalination Technology – Survey & Prospects", Spain, Aug 1996)

Τα συστήματα ηλιακής αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια έμμεσα, αφού μετατραπεί σε αφομοιώσιμη μορφή, ονομάζονται ήλιο-προωθούμενη (solar assisted) ή ηλιακά κινούμενη (solar driven) αφαλάτωση. Τόσο η συμβατική ηλιακή απόσταξη όσο και τα συστήματα αφαλάτωσης με ηλιακή κίνηση λειτουργούν με συνθήκες ασταθούς λειτουργίας, εφ' όσον εξαρτώνται από την ημερήσια ένταση και διάρκεια ακτινοβολίας και γενικά από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Σε ελάχιστες περιπτώσεις είναι δυνατή θερμική αποθήκευση μικρής χρονικής διάρκειας.

Η αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια, άμεση ή έμμεση, έχει βρει εφαρμογή σε μονάδες μικρής παροχής, σε απόμακρες ή ερημικές άγονες περιοχές, όπου οι εγκατεστημένες μικρές κοινότητες διαθέτουν άφθονο θαλάσσιο ή αλμυρό νερό ενώ δεν διαθέτουν καύσιμα ή λεκτική ενέργεια. Οι περιοχές αυτές ανήκουν συνήθως στην λεγόμενη "ευήλιο ζώνη" όπου η ακτινοβολία είναι έντονη και το ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης μηδαμινό (σχήμα 3.6).

ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ



Σχήμα 3.6 Το ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα
(Πηγή : Γαϊόραμα, Τεύχος 6, 1998)

Απόμακρες κοινότητες υπάρχουν διάσπαρτες στην ενδοχώρα των ηπειρωτικών περιοχών. Συνήθως η μεταφορά καυσίμων σε παρόμοιες περιοχές έχει υψηλό κόστος, ενώ οι πηγές νερού είναι συνήθως υφάλμυρες ή αλμυρές.

Η εκλογή της μεθόδου αφαλάτωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως π.χ. από την ζητούμενη περιοχή, από τις τοπικές δυνατότητες της αγοράς και από το αν ζητείται και σύγχρονη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος για την τροφοδότηση της κοινότητας.

3.5 Περιγραφή της μεθόδου

Κατασκευαστικά η εγκατάσταση δεν διαφέρει σχεδόν καθόλου από τις υπόλοιπες αποστακτικές μονάδες. Το μειονέκτημα όμως αυτής της μεθόδου είναι ότι οι

εγκαταστάσεις της καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο καθιστώντας τις ασύμφωρες για παραγωγή μικρών ποσοτήτων νερού.

Το παραγόμενο νερό είναι μικρό σε σχέση με άλλες αποστακτικές συσκευές, το μεγάλο τους όμως μειονέκτημα είναι ότι δεν χρησιμοποιούν κανένα καύσιμο δηλαδή η εκπομπή βλαβερών ρύπων είναι μηδενική. Από πλευράς ενεργειακού κόστους δηλαδή είναι ανέξοδες.

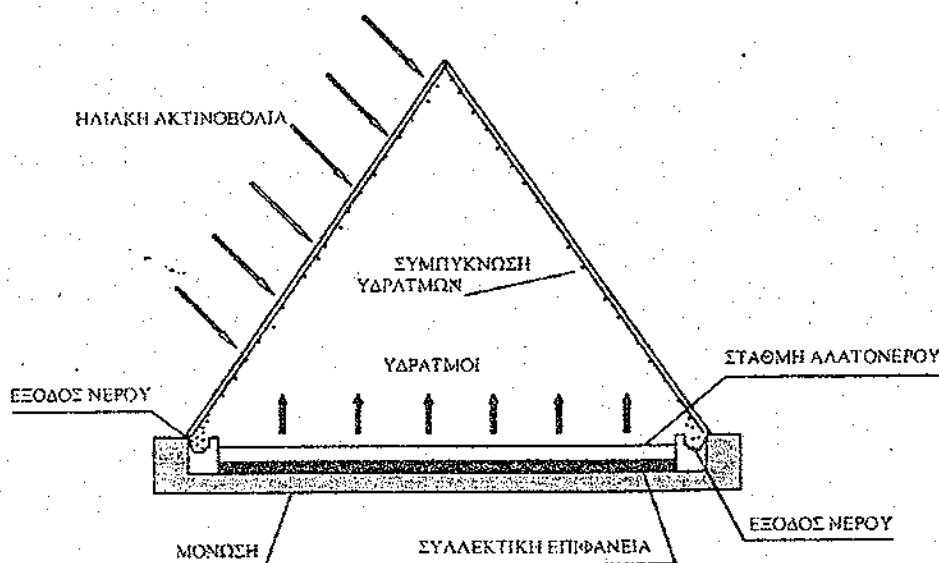
Αυτού του είδους οι εγκαταστάσεις σου δίνουν την εντύπωση ότι θα μπορούσαν να εργάζονται συνεχεία για μεγάλα χρονικά διαστήματα, χωρίς καμία επίβλεψη. Ο εντατικός καθαρισμός είναι απαραίτητος, ειδικά στην διαφανή επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών από τις οποίες διέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία, για να μπορούν με τον ίδιο βαθμό, να είναι διαπερατές από την ηλιακή ακτινοβολία.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η ηλιακή ενέργεια εφαρμόζεται σε συνδυασμό με κατάλληλα προσαρμοσμένες τεχνικά συσκευές, οι οποίες εκμεταλλεύονται σε μεγαλύτερο βαθμό τη θερμική ενέργεια από τον ήλιο και πολλαπλασιάζουν το φαινόμενο της απόσταξης με μεγαλύτερη απόδοση έργου. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν παράλληλα και μια ήπια μορφή ενέργειας, όπως είναι η θερμογόνο δύναμη που προέρχεται από την καύση των σκουπιδιών (κάτι που στις μέρες μας εφαρμόζεται σε μερικές περιπτώσεις μόνο και σχετίζεται με την ανακύκλωση) ή την αντλία θερμότητας (η οποία εκμεταλλεύεται την θερμοκρασία του αέρα).

3.6 Βασικές αρχές λειτουργίας της μεθόδου

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για τη χρήση της ηλιακής ενέργειας στην αφαλάτωση, βασίζεται στην αρχή του θερμοκηπίου. Το θερμοκήπιο είναι ένας κλειστός χώρος, ώστε να μη διαπερνάται από ρεύματα αέρα. Οι τοίχοι και η οροφή είναι διαφανείς. Από τις διαφανείς επιφάνειες διέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία η οποία θερμαίνει, απορροφούμενη από τα σώματα που βρίσκονται μέσα σ' αυτόν, τον εσωτερικό χώρο. Η μέγιστη θερμοκρασία ενός θερμοκηπίου φτάνει περίπου τους 45 – 55 °C το καλοκαίρι. Για την μέθοδό μας η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στο κάλυμμα της οροφής του συλλέκτη. Κατά το μέγιστο μέρος, το διαπερνά και απορροφάται από

το κάλυμμα της βάσης και το νερό. Η ακτινοβολία αλλάζει μήκος κύματος (αυξάνεται) και έτσι δεν μπορεί να διαφύγει από το κάλυμμα της οροφής που είναι συνήθως τζάμι (σχήμα 3.7). Το νερό και ο αέρας μέσα στον αφαλωτή θερμαίνεται, σχηματίζεται υδρατμούς, ο υδρατμός συμπυκνώνεται στην ψυχρότερη επιφάνεια της οροφής και συλλέγεται σε κατάλληλες υποδοχές.



Σχήμα 3.7 Σχηματικό διάγραμμα ηλιακού αποστακτήρα ηλιακού αποστακτήρα (Πηγή : Μέθοδοι αφαλάτωσης, Προκεχωρημένα μαθήματα ΗΜΕ, Πάτρα 2000)

3.7 Το κόστος της ηλιακής απόσταξης

Αντίθετα με τις συμβατικές μεθόδους αφαλάτωσης η ηλιακή απόσταξη έχει μικρό κόστος λειτουργίας και η ενέργεια παρέχεται χωρίς κόστος, ενώ γενικά στην αφαλάτωση το μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας είναι αυτό της ενέργειας. Επομένως στην ηλιακή απόσταξη το κόστος της επένδυσης και τα έξοδα που σχετίζονται με το κεφάλαιο είναι εκείνα τα οποία καθορίζουν τα έξοδα της εγκατάστασης.

Αυτό σημαίνει ότι η ολική επένδυση του κεφαλαίου ανά μονάδα παροχής του αποστακτήρα σε συνδυασμό με τους τόκους επί του κεφαλαίου και το χρεολύσιο εξαρτώνται από τον ωφέλιμο χρόνο ζωής της εγκατάστασης και είναι οι παράμετροι που καθορίζουν το κόστος του παραγόμενου νερού.

Λόγω του ότι οι περισσότερες εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης παρουσιάζουν μεγάλες κατασκευαστικές διαφορές, είναι διασπασμένες σε διάφορα απόμερα μέρη σε όλη τη γη, η συγκρίσεις των είναι πολύ δύσκολο να γίνει, διότι ουσιαστικά λείπουν τα κύρια δεδομένα μετρήσεων, όσο και του ισολογισμού κόστους κατασκευής.

Η C.S.I.R.O υπολόγισε αναλυτικά όλα τα δεδομένα που προσδιορίζουν το κόστος κατασκευής και λειτουργίας μιας ηλιακής εγκατάστασης απόσταξης τα οποία παρουσιάζονται στην παρακάτω παράγραφο.

Το κόστος υπολογίζεται και από τις παρακάτω εξισώσεις :

$$C = \frac{10 K (IA + MR + TI) + 1000 (Oc + C_s)}{a(Y_d + Y_c)}$$

όπου είναι :

- A : η επιφάνεια του αποστακτήρα βάση της οποίας υπολογίζεται η απόφαση (συνήθως η μαύρη επιφάνεια)
- C : το κόστος του αφαλατωμένου νερού (m²)
- C_s : ολικό κόστος αλμυρού ή θαλάσσιου νερού (μόνιμο και λειτουργίας) (\$/m²)
- c : κόστος εργατικών λειτουργίας (μισθοί) (\$)
- IA : μέσοι ετήσιοι τόκοι και χρεολύσιο % της επένδυσης (%)
- K : επένδυση κεφαλαίου (\$)
- MR : μέσο ετήσιο κόστος συντήρησης, επισκευών εργατικών και υλικών % της επένδυσης (%)
- O : ετήσια εργασία λειτουργίας (άνθρωπο - ώρες)
- Y_d : ετήσια απόδοση σε απεσταγμένο νερό (m³/m²)
- Y_c : ετήσια απόδοση σε νερό βροχής εφ' όσον συλλέγεται (m³/m²)

Ο μέσος ετήσιος τόκος και το χρεολύσιο ΙΑ υπολογίζονται από την εξίσωση :

$$IA = r \left[1 + \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100} \right)^{n-1}} \right]$$

όπου είναι

r : το ετήσιο επιτόκιο (%)

n : η περίοδος εξόφλησης (έτη)

Η εξίσωση ισχύει για νερά με αλμυρότητα 5 έως 35 g/kg.

3.8 Μέθοδος υπολογισμού του κόστους κατασκευής και λειτουργίας μιας ηλιακής εγκατάστασης απόσταξης

Τα παρακάτω ισχύουν για κάθε τύπο ηλιακού αποστακτήρα και έχει εφαρμογή για κάθε τοποθεσία ανεξάρτητα από την περιοχή ή το κράτος που πρόκειται να εγκατασταθεί μια ηλιακή απόσταξη.

3.8.1 Περιγραφή εγκατάστασης

α) Τοποθεσία

1. Τόπος
2. Χώρα
3. Γεωγραφικό πλάτος
4. Γεωγραφικό μήκος
5. Υψόμετρο

β) Τροφοδότηση νερού

1. Τύπος νερού
2. Αλμυρότητα (g/kg)
3. Ολική σκληρότητα (meq/ m³) CaCO₃
4. Ανθρακική σκληρότητα (meq/ m³) CaCO₃
5. Μόνιμη σκληρότητα (meq/ m³) CaCO₃

γ) Επιφάνεια εγκατάστασης

1. Επιφάνεια εξατμιζόμενου νερού
2. Σχεδιασμένη επιφάνεια καλύμματος
3. Ολική επιφάνεια αποστακτήρα

δ) Διαθέσιμη ελεύθερη επιφάνεια για πιθανή επέκταση**ε) Αριθμός αποστακτήρων στην εγκατάσταση**

1. Επιφάνεια εξατμιζόμενου νερού ανά αποστακτήρα
2. Σχεδιασμένη επιφάνεια καλύμματος ανά αποστακτήρα
3. Βάθος άλμης στην λεκάνη
4. Υλικό κατασκευής καλύμματος
5. Αριθμός αποστακτήρων

στ) Παροχή εγκατάστασης

1. Μέση ημερήσια ανά μονάδα
2. Μέση ημερήσια εγκατάστασης
3. Μέση ημερήσια το έτος
4. Μέγιστη παροχή

3.8.2 Κατασκευή αποστακτήρων**α) Κατασκευή λεκάνης ανά αποστακτήρα**

1. Χαλίκι και άμμος
2. Τσιμέντο
3. Μίγμα μπετόν
4. Προκατασκευασμένα
 - i) Δοκάρια από μπετόν
 - Προκατασκευασμένα
 - ii) Πάσσαλοι από μπετόν
 - Ενισχύσεις από χάλυβα
 - Άλλα υλικά

β) Επένδυση λεκάνης

1. Στρώμα βουτυλικού ελαστικού
2. Ψάθα ασφάλτου
3. Στρώμα πολυαιθυλενίου
4. Άλλο υλικό

γ) Υλικά σύνδεσης

1. Σιλικόνη
2. Τσιμέντο ασφάλτου
3. Άλλο υλικό

δ) Κανάλια συλλογής και φράγματα

1. Ελάσματα ανοξειδωτου χάλυβα
2. Κανάλια αλουμινίου
3. Κανάλια από πλαστικό
4. Γωνίες αμιάντου
5. Ελάσματα αμιάντου
6. Άλλα υλικά

ε) Μόνωση

1. Πολυστηρένιο
2. Άλλα υλικά

στ) Εργατικά κατασκευής

1. Λεκάνη από μπετόν
 - με ειδικευμένους εργάτες
 - με ανειδίκευτους εργάτες
2. Επένδυση λεκάνης
 - με ειδικευμένους εργάτες
 - με ανειδίκευτους εργάτες
3. Κανάλια συλλογής
 - με ειδικευμένους εργάτες
 - με ανειδίκευτους εργάτες
4. Μόνωση
 - με ειδικευμένους εργάτες
 - με ανειδίκευτους εργάτες
5. Άλλα εργατικά

Ολικό κόστος λεκάνης**3.8.3 Κατασκευή καλύμματος**

α) Χρησιμοποιούμενα υλικά

1. Γωνίες αλουμινίου
2. Ταυ αλουμινίου
3. Ακρόλιθοι από τσιμέντο

β) Κάλυμμα

1. Γυαλί
2. Πλαστικό υλικό

γ) Υλικά

1. Σιλικόνη
2. Άλλα υλικά
3. Γόμωση

δ) Εργατικά κατασκευής καλύμματος

i) Κατασκευή καλύμματος

- με ειδικευμένους εργάτες
- με ανειδίκευτους εργάτες

ii) Κατασκευή υλικού καλύμματος

- με ειδικευμένους εργάτες
- με ανειδίκευτους εργάτες

3.8.4 Ολικό κόστος του ενός αποστακτήρα (κατασκευής καλύμματος, αποστακτήρα)**α) Λεκάνη****β) Κάλυμμα**Ολικό κόστος μονάδαςΟλικό κόστος αποστακτήρωνΚόστος ανά m^2 επιφάνεια εξάτμισηςΚόστος ανά m^2 επιφάνεια καλύμματος**3.8.5 Προπαρασκευή τοποθεσίας****α) Κόστος ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας για την σχεδιασμένη παροχή****β) Απομάκρυνση και επανατοποθέτηση**

1. Υλικά εδάφους
2. Υλικά από πέτρα

γ) Τύπος μηχανικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν

1. Μηχανήματα
2. Εργατικά ειδικευμένοι
3. Εργατικά ανειδίκευτοι
4. Άλλα ειδικά συστήματα

Ολικό κόστος

- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια εξάτμισης
- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια καλύμματος

3.8.6 Σωληνώσεις και αντλίες

α) Θαλάσσιο η αλμυρό νερό

1. μέτρα σωλήνα
2. βαλβίδες
3. εξαρτήματα
4. αισθητήρια όργανα
5. όργανα μέτρησης

β) Αφαλατωμένο νερό

1. μέτρα σωλήνα
2. βαλβίδες
3. εξαρτήματα
4. αισθητήρια όργανα
5. όργανα μέτρησης

γ) Αντλίες (δίνονται σε HP ανά αντλία)

1. αντλίες αλμυρού νερού
2. αντλίες αποστάγματος
3. αντλίες ανεμόμυλων, παροχή, κόστος

Ολικό κόστος σωληνώσεων και αντλιών

- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια εξάτμισης
- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια καλύμματος

Ολικό κόστος δεξαμενών αποθήκευσης

- Κόστος ανά m^2 χωρητικότητας
- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια εξάτμισης
- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια καλύμματος

3.8.7 Περίφραξη**α) Ολικά επιφάνεια της περίφραξης**

1. υλικά που χρησιμοποιήθηκαν
2. εργατικά
 - με ειδικευμένους εργάτες
 - με ανειδίκευτους εργάτες

Ολικό κόστος περίφραξης

- Κόστος ανά m^2 επιφάνειας περίφραξης
- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια εξάτμισης
- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια καλύμματος

3.8.8 Διάφορα άλλα κονδύλια του κόστους επένδυσης

- α) Εγκαταστάσεις πιθανής προκατεργασίας του αλμυρού νερού
- β) Εγκαταστάσεις πιθανής μετάκατεργασίας του αλμυρού νερού
- γ) Μεταφορά υλικών στην τοποθεσία εκλογής
- δ) Τεχνική μελέτη
- ε) Κατασκευή και επιτήρηση
- στ) Δοκιμή λειτουργίας
- ζ) Αποχέτευση άλμης
- η) Ηλεκτρικό ρεύμα

Ολικό ποσό διάφορων κονδυλίων

- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια εξάτμισης
- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια καλύμματος

3.8.9 Συγκεντρωτικό κόστος

- Κόστος των αποστακτήρων

- Κόστος προετοιμασίας τοποθεσίας
- Κόστος σωληνώσεων και αντλιών
- Κόστος δεξαμενών αποθήκευσης
- Κόστος περίφραξης
- Διάφορα κονδύλια
- Απρόοπτα έξοδα 10% της ολικής ασφάλισης
- Επιτόκιο κατά την κατασκευή

Ολικό κόστος

- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια εξάτμισης
- Κόστος ανά m^2 επιφάνεια καλύμματος

3.9 Οικονομική σημασία της μεθόδου

Η αφαλάτωση με την μέθοδο της ηλιακής αποστάξεως, αναμφισβήτητα έχει πολλά πλεονεκτήματα και μεγάλη οικονομική σημασία τόσο για την απαιτούμενη ενέργεια, όσο και για το κόστος εγκαταστάσεων που χρειάζεται. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το πόσο πολύ ξεχωρίζει οικονομικά, σε σχέση με άλλες μεθόδους αφαλατώσεως. Έτσι λοιπόν, από πλευράς οικονομικού κόστους είναι τελείως ανέξοδη μέθοδος. Επίσης υφίσταται λειτουργία για τουλάχιστον 30 χρόνια. Δεν ρυπαίνει θερμικά το περιβάλλον (μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων του παραρτήματος) με την απόρριψη της άλμης και δεν συναντά προβλήματα διαβρώσεως ή επικαθίσεων.

Πίνακας Ι Συγκριτικά χαρακτηριστικά μεθόδων αφαλατώσεως
(Πηγή : " Desalination Technology – Survey & Prospects", Spain, Aug 1996)

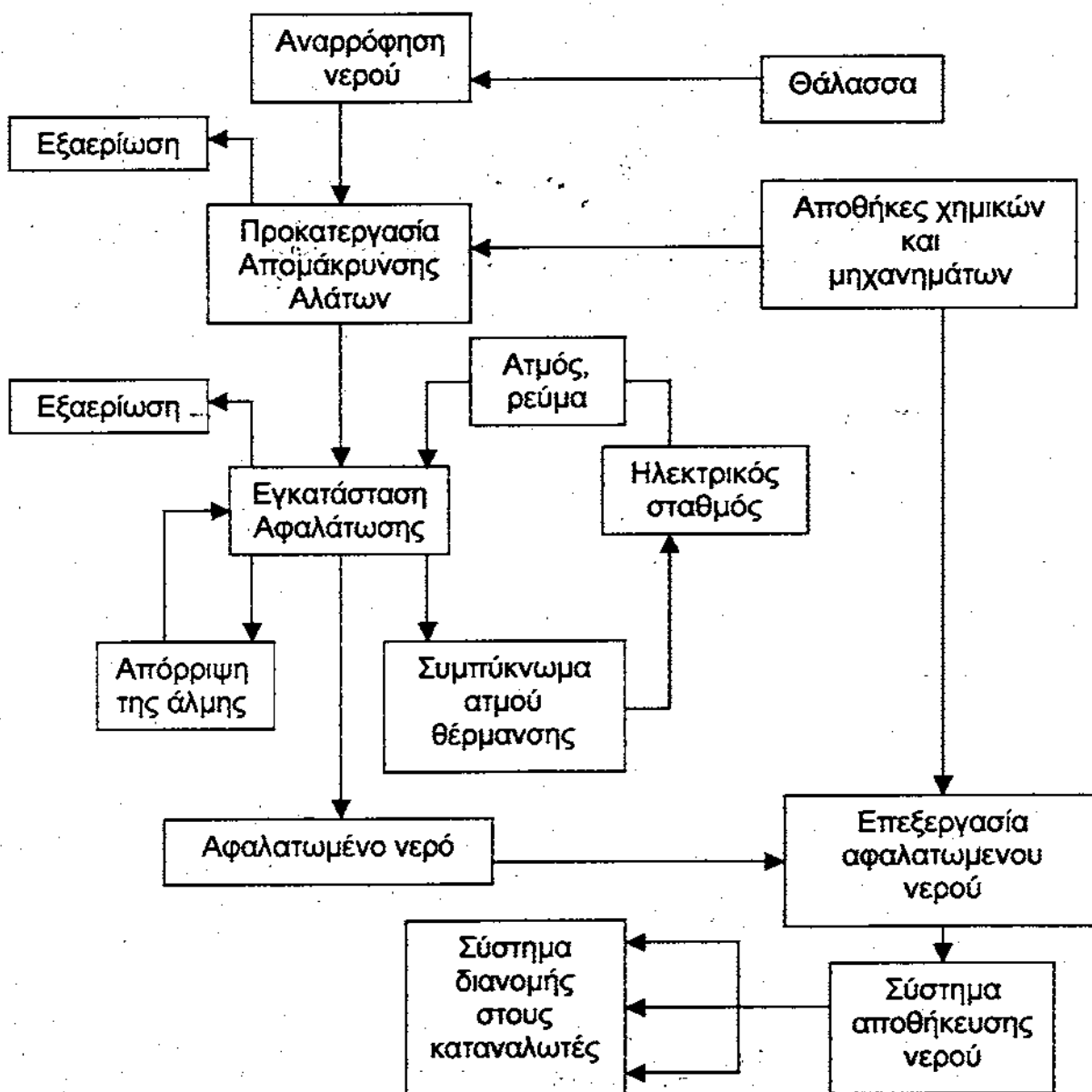
Μέθοδος	Νερό Τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Κόστος νερού (ευρώ/κ.μ)	Κόστος εγκατάστασης (ευρώ/κ.μ)
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	1,5	970 – 2055
MED	Θαλασσινό	Θερμική	1,17	970 – 1750
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	1,26	1030 – 2350
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	1,02	645 – 4.400
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	0,38	293 – 2.055
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	0,40	1.027 – 5.000
SE	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	6,00	15-45

Κεφάλαιο 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑ

4.1 Διαδικασίες λειτουργίας μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης

Η κάθε εγκατάσταση περιλαμβάνει διάφορες προκατεργασίες για το νερό τροφοδοτήσεως, κατεργασία του αφαλατωμένου νερού και διάφορες παράλληλες εργασίες κοινές σε όλες τις μεθόδους.



Σχήμα 4.1 Λειτουργικό διάγραμμα μιας εγκατάστασης αφαλατώσεως ανεξαρτήτως της μεθόδου λειτουργίας της
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Σύγχρονοι μέθοδοι αφαλατώσεως, Σεπτέμβριος 1995)

Στο σχήμα 4.1 δίνεται η γενική πορεία των διεργασιών μιας εγκατάστασης αφαλατώσεως. Οι διαφορές που υπάρχουν στην πορεία της διαδικασίας αναφέρονται στο μέγεθος και το είδος των χρησιμοποιούμενων μηχανημάτων, στην ποσότητα και το είδος των χημικών ουσιών που προστίθενται και στο είδος της ενέργειας που απαιτείται.

Στην αρχή γίνεται η αναρρόφηση του θαλάσσιου νερού με διάφορα συστήματα. Αφού το νερό καθαριστεί με μηχανικά μέσα από τα διάφορα στερεά που παρασύρει κατά την αναρρόφησή του, όπως π.χ. πέτρες, άμμο, φύκια και γενικά οτιδήποτε επιπλέει στην περιοχή της αναρρόφησης, κατεργάζεται με χημικές ουσίες που απομακρύνουν κατά μεγάλο ποσοστό τα άλατα της σκληρότητας, δηλαδή το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Το καθαρισμένο νερό τροφοδοτήσεως οδηγείται στη συνέχεια στην εγκατάσταση αφαλατώσεως, όπου κατεργάζεται ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μέθοδο.

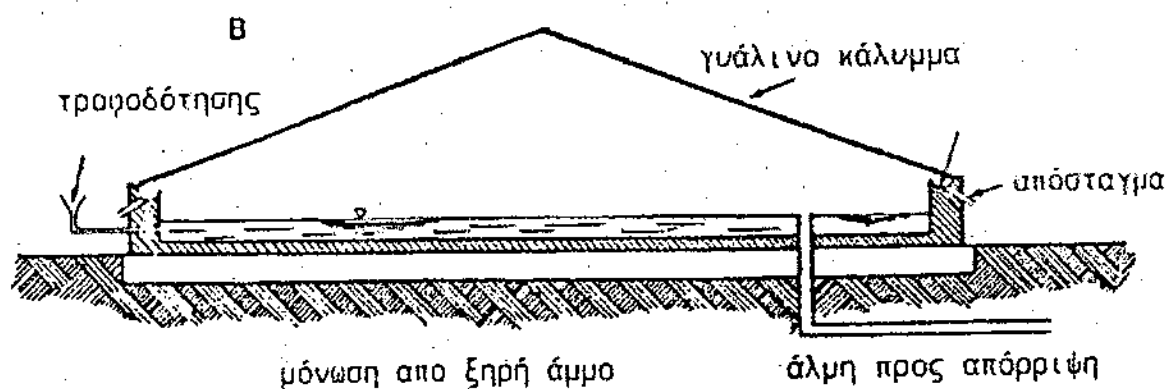
Η ενέργεια συνήθως παρέχεται από παρακείμενο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, είτε ως ηλεκτρική ενέργεια ή ως ατμός από τον ατμολέβητα του σταθμού. Πολλές εγκαταστάσεις αποστάξεως χρησιμοποιούν ανεξάρτητα ατμολέβητες για την παραγωγή του απαιτούμενου ατμού θερμάνσεως το συμπύκνωμα του ατμού, επιστρέφει στον ατμολέβητα. Το θαλάσσιο νερό αφού συμπυκνωθεί στο διπλάσιο έως το τετραπλάσιο κατ' ανώτατο όριο, ανάλογα με την μέθοδο αφαλατώσεως, είτε απορρίπτεται ολικά ή ένα μέρος επανακυκλοφορεί.

4.2 Απλή περιγραφή του ηλιακού αποστακτήρα

Σε αρκετές περιπτώσεις η ηλιακή ενέργεια εφαρμόζεται σε συνδυασμό με κατάλληλα προσαρμοσμένες τεχνικά συσκευές, οι οποίες εκμεταλλεύονται στο μεγαλύτερο βαθμό την θερμική ενέργεια από τον ήλιο και πολλαπλασιάζουν το φαινόμενο της απόσταξης με μεγαλύτερη απόδοση έργου.

Μια τέτοια συσκευή είναι οι ηλιακοί αποστακτήρες (solar stills, σχήμα 4.3) ή ηλιακοί αφαλωτές και για αυτό το λόγο η μέθοδος καλείται ηλιακή απόσταξη

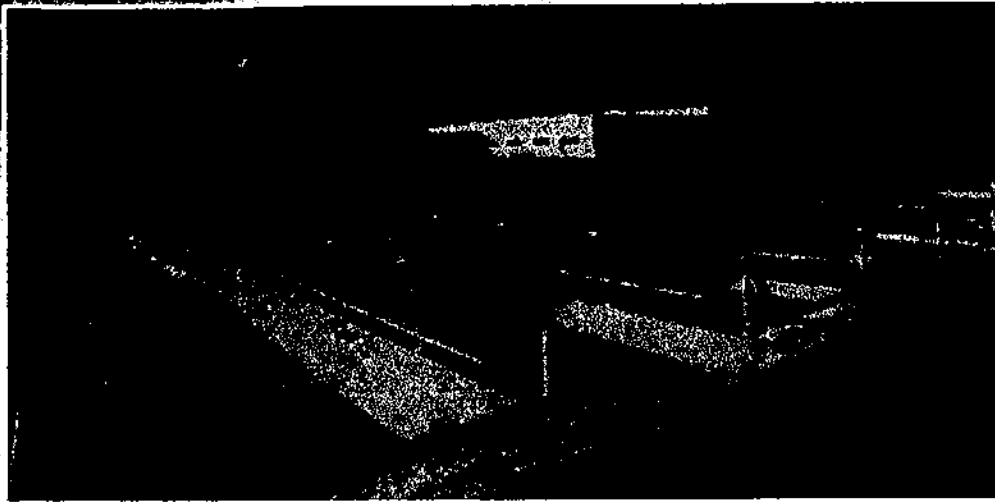
(solar distillation). Οι ηλιακοί αφαιωτές είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε, έχοντας χρησιμοποιήσει αυτού του είδους την αρχή (θερμοκηπίου), αποτελούνται από έναν κλειστό χώρο, όπου καλύπτεται με ένα διαφανές κάλυμμα που επιτρέπει την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 4.2 Ηλιακός αποστακτήρας τύπου θερμοκηπίου
(Πηγή : Ε.Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαιώσεως, Σεπτέμβριος 1995)

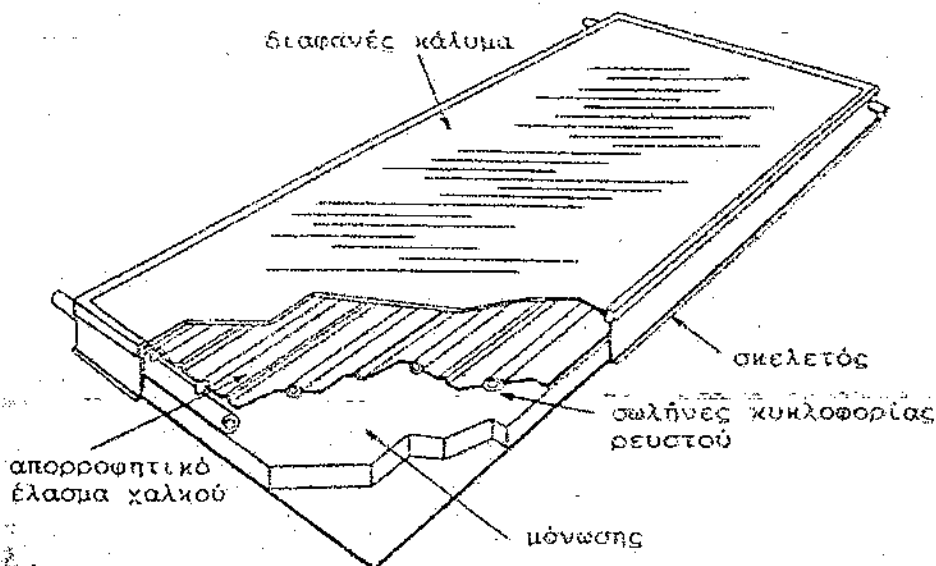
Το κάλυμμα αυτό είναι κατασκευασμένο από γυαλί στις περισσότερες περιπτώσεις, ή από πλαστική ύλη καλής ποιότητας, η οποία όμως μένει ανέπαφη από πλευράς διαύγειας, δεν αλλοιώνεται κατά την διάρκεια της έκθεσής της στον ήλιο και δεν παραμορφώνεται με τη θερμοκρασία. Ο πυθμένας της συσκευής είναι μαύρου χρώματος, και απορροφά τις ακτίνες. Στο εσωτερικό και πάνω στον πυθμένα, λιμνάζει το θαλασσινό νερό. Στο σχήμα 4.2 δίνεται η μορφή ενός ηλιακού αποστακτήρα του τύπου "θερμοκηπίου" (greenhouse type). δηλαδή με το διαφανές κάλυμμα σε ισόπλευρη διάταξη.

Η πρώτη εγκατάσταση ηλιακού αποστακτήρα, σχεδιάστηκε από τον μηχανικό Charles Wilson και εγκαταστάθηκε στη Χιλή το 1872, για να προμηθεύει πόσιμο νερό τους εργάτες και τα ζώα που δούλευαν σε ορυχείο νίτρου. Είχε επιφάνεια 4.757 m^2 γυάλινο κάλυμμα και τροφοδοτούνταν με υφάλμυρο νερό. Λειτουργήσε 40 χρόνια με παραγωγή πόσιμου νερού σε μια τυπική καλοκαιρινή ημέρα $4,9 \text{ kg/m}^2$.



Σχήμα 4.3 Εγκατάσταση ηλιακής αποστάξεως
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Σύγχρονοι μέθοδοι αφαλατώσεως, Σεπτέμβριος 1995)

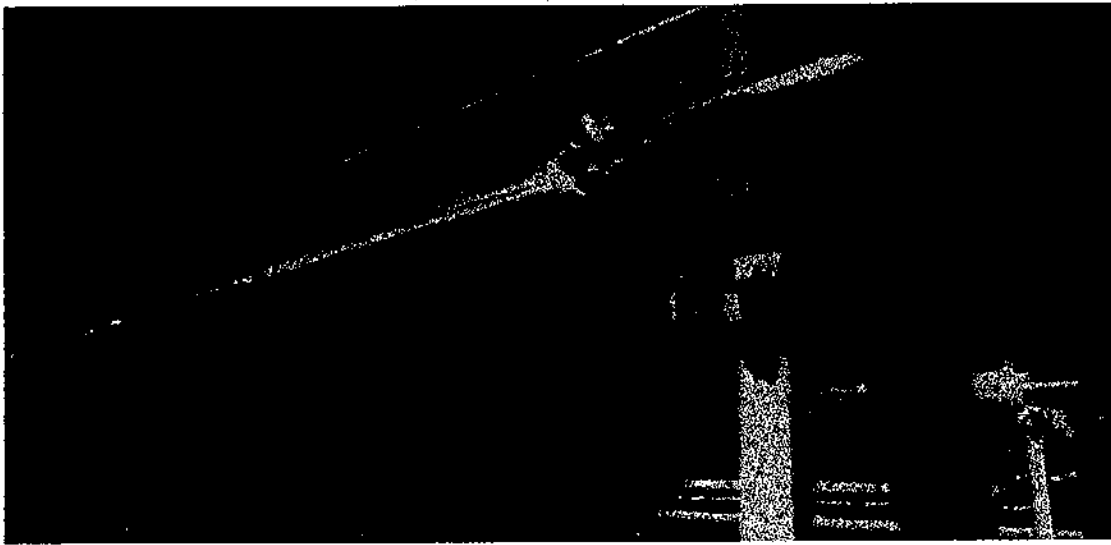
Μια επίσης σημαντική κατασκευή της ηλιακής αποστάξεως είναι οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (σχήμα 4.4). Αποτελούνται από τρεις διαφορετικές επίπεδες ζώνες, οι οποίες δένονται μαζί σχηματίζοντας ένα αεροστεγές σύνολο που απαρτίζει τον συλλέκτη. Η κάτω ζώνη αποτελείται από ένα ή περισσότερα μονωτικά στρώματα πάνω στα οποία τοποθετείται μια πλάκα απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας, η οποία διαμορφώνεται κατάλληλα ώστε στο κάτω μέρος της επιφάνειάς της να σχηματίζονται κανάλια όπου κυκλοφορεί το θερμαινόμενο ρευστό. Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν γενικά μεγαλύτερη απόδοση από τους ηλιακούς αποστακτήρες.



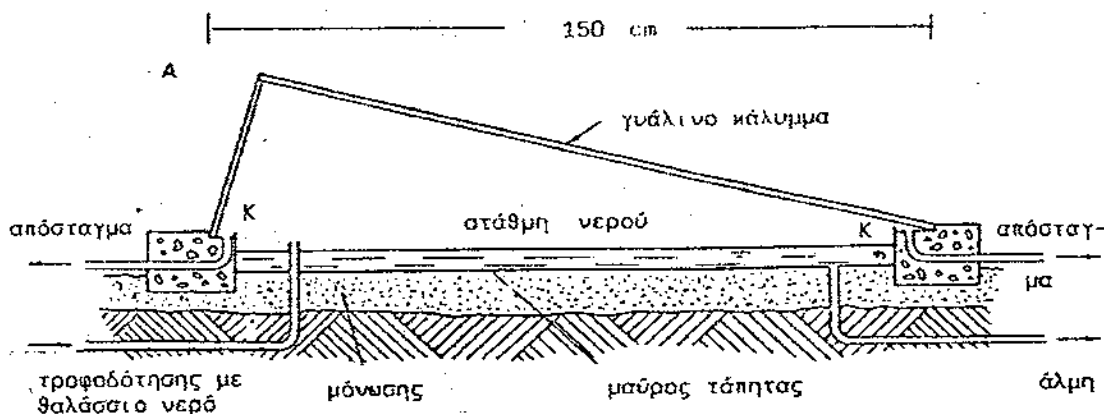
Σχήμα 4.4 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης
(Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Σύγχρονοι μέθοδοι αφαλατώσεως, Σεπτέμβριος 1995)

4.3 Τύποι ηλιακών αποστακτήρων

Υπάρχουν πολλοί τύποι ηλιακών αποστακτήρων με διαφορετική διαμόρφωση κατασκευής, σε ημί – εμπορικά μεγέθη. Τα περισσότερα είναι του συμμετρικού τύπου και θερμοκηπίου (σχήμα 4.8) ενώ υπάρχουν και ασύμμετρες κατασκευές (σχήμα 4.5, 4.6).



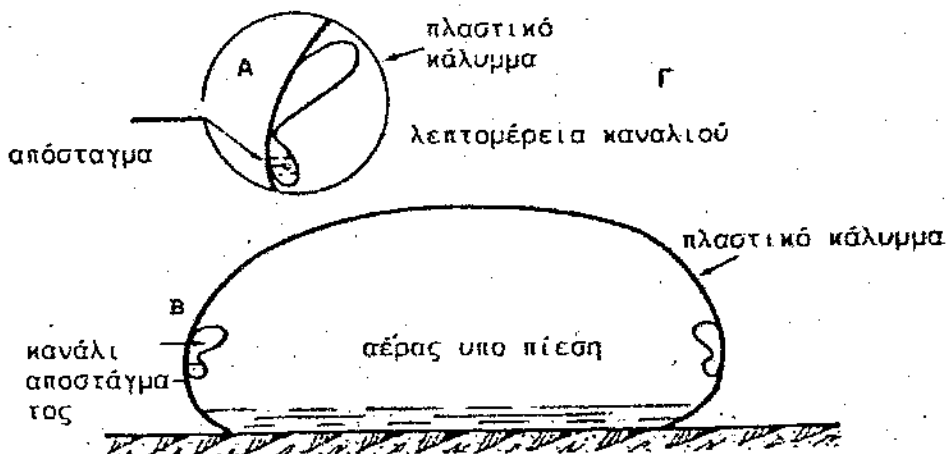
Σχήμα 4.5 Εγκατάστασης ηλιακής αποστάξεως με ασύμμετρους αποστακτήρες. Η εγκατάσταση λειτουργούσε στην νήσο Κίμωλο, με επιφάνεια εξάτμισης 2.508 m^2 και τροφοδοτείτο με θαλασσινό νερό (Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Σύγχρονοι μέθοδοι αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)



Σχήμα 4.6 Ηλιακός αποστακτήρας ασύμμετρου τύπου (Πηγή : Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Η ασύμμετρη κατασκευή έχει μελετηθεί στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και βάσει του σχεδιασμού και των μελετών που έγιναν, κατασκευάστηκαν στα

ελληνικά νησιά πέντε εγκαταστάσεις ηλιακών αποστακτήρων (Αίγινα, Κίμωλο, Πάτμο, Νίσυρο, Σύμη). Η ασύμμετρη κατασκευή προσανατολίζεται με την μεγάλη επιφάνεια γυαλιού προς τον νότο παρουσιάζοντας μεγαλύτερη διάρκεια πρόσπτωσης της ηλιακής ενέργειας. Υπάρχουν διάφορες άλλες κατασκευές οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί σε μικρότερη κλίμακα, η οποία αποτελείται εξ' ολοκλήρου από διαφανές πλαστικό το οποίο κρατείται τεντωμένο με την διοχέτευση αέρα, με επανακυκλοφορία (σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.7 Ηλιακός αποστακτήρας με διάφανη επιφάνεια από πλαστικό
(Πηγή: Ε.Δεληγιάνης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Διάφορες άλλες κατασκευές αποβλέπουν στην αύξηση της απόδοσης, όπως π.χ. αποστακτήρες με καταιονισμό του νερού τροφοδότησης κ.τ.λ. οι περισσότεροι έχουν μελετηθεί σε εργαστηριακό μέγεθος για την εξαγωγή θεωρητικών συμπερασμάτων και μαθηματικών μοντέλων.

Γενικά η ηλιακή απόσταξη καταλαμβάνει μεγάλες επιφάνειες εγκατάστασης από όλες δε τις μεθόδους αφαλάτωσης είναι η πλέον κεφαλαιοφόρα επιχείρηση.

4.4 Αρχές λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων

Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι απλές συσκευές, κατασκευάζονται και τοποθετούνται εύκολα σε οποιαδήποτε επίπεδη ή κεκλιμένη επιφάνεια, ανάλογα με τον τύπο του αποστακτήρα. Απατούνται, στην απλούστερη μορφή τους, από μια λεκάνη η οποία περιέχει το προς εξάτμιση νερό και από ένα διαφανές κάλυμμα το οποίο επιτρέπει την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Διαφανές

κάλυμμα και λεκάνη σχηματίζουν έναν αεροστεγή χώρο όπου επιτελείται η διεργασία της εξάτμισης και συμπύκνωσης.

Η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται μέσα από το διαφανές κάλυμμα T και απορροφάται από την μάζα του νερού στην λεκάνη Λ. Η βάση της λεκάνης καλύπτεται από ένα λεπτό υλικό, συνήθως μαύρο, το οποίο έχει μεγάλη απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας.

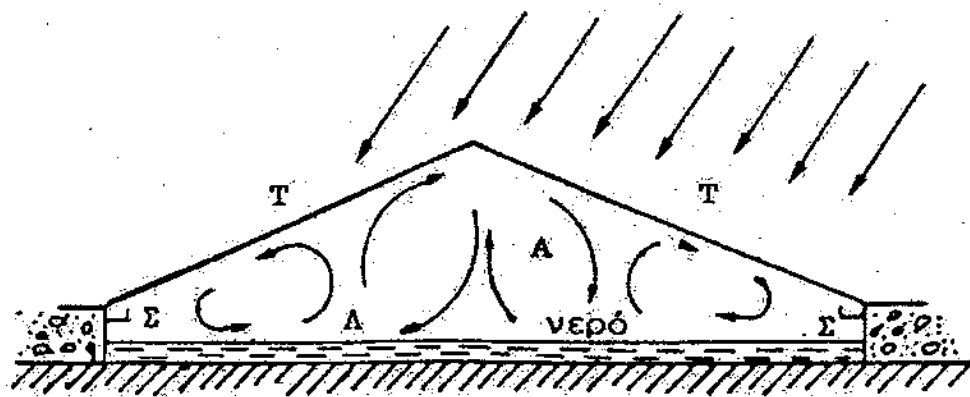
Ως απορροφητικό συστατικό χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά, όπως π.χ. μαύρο χρώμα, μαύροι τάπητες από ελαστικό ή διάφορα πλαστικά υλικά, όπως επίσης και ειδικές κατεργασίες της επιφάνειας της λεκάνης εφ' όσον αυτή είναι μεταλλική. Συχνά, σαν φθηνό υλικό, χρησιμοποιείται τάπητας λινάτσας εμποτισμένης με άσφαλτο.

Το στρώμα του νερού συχνά διαφέρει ως προς το πάχος. Λεπτή στοιβάδα νερού θερμαίνεται γρήγορα και κατά τις ώρες της εντατικής ακτινοβολίας εξατμίζεται εξ' ίσου γρήγορα αφήνοντας μια λεπτότατη στοιβάδα νερού η οποία ψύχεται ταχύτατα κατά την δύση του ήλιου, όταν η ακτινοβολία ελαττώνεται σημαντικά, σταματώντας την εξάτμιση. Αντίθετα όταν το πάχος της στοιβάδας του νερού είναι σημαντικό, εξατμίζεται μόνο μικρό ποσοστό της ολικής μάζας του, το μεγαλύτερο της οποίας συγκρατεί την αισθητή θερμότητα που έχει συλλεχθεί κατά την διάρκεια της ημέρας, επιτρέποντας την συνέχιση της εξάτμισης, με σταδιακά ελατούμενη ταχύτητα, και κατά την διάρκεια της νύχτας.

Μέσα στον αποστακτήρα η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού είναι υψηλότερη από αυτή του διάφανου καλύμματος T. Συνήθως η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται από 50 έως 70 °C, ενώ τις ώρες της εντατικής ακτινοβολίας και εφ' όσον το υδάτινο στρώμα είναι λεπτό φτάνει έως 80 °C.

Στον ελεύθερο χώρο A, κάτω από το κάλυμμα T, σχηματίζονται, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας νερού – καλύμματος, ρεύματα από μίγμα ατμών και αέρα. Το μίγμα ακριβώς κάτω από το κάλυμμα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και είναι ακόρεστο σε υδρατμούς ενώ στην επιφάνεια του η θερμοκρασία του μίγματος είναι υψηλότερη, έχει μικρότερη πυκνότητα και είναι κορεσμένο σε

υδρατμούς. Αυτό δημιουργεί ανοδικά ρεύματα του κορεσμένου σε υδρατμούς θερμού μίγματος προς την επιφάνεια του καλύμματος, όπου το μίγμα ψύχεται και μέρος των υδρατμών συμπυκνώνεται, ενώ το υπόλοιπο μίγμα αναστρέφει την πορεία του και κινείται προς την επιφάνεια του νερού (σχήμα 4.8).



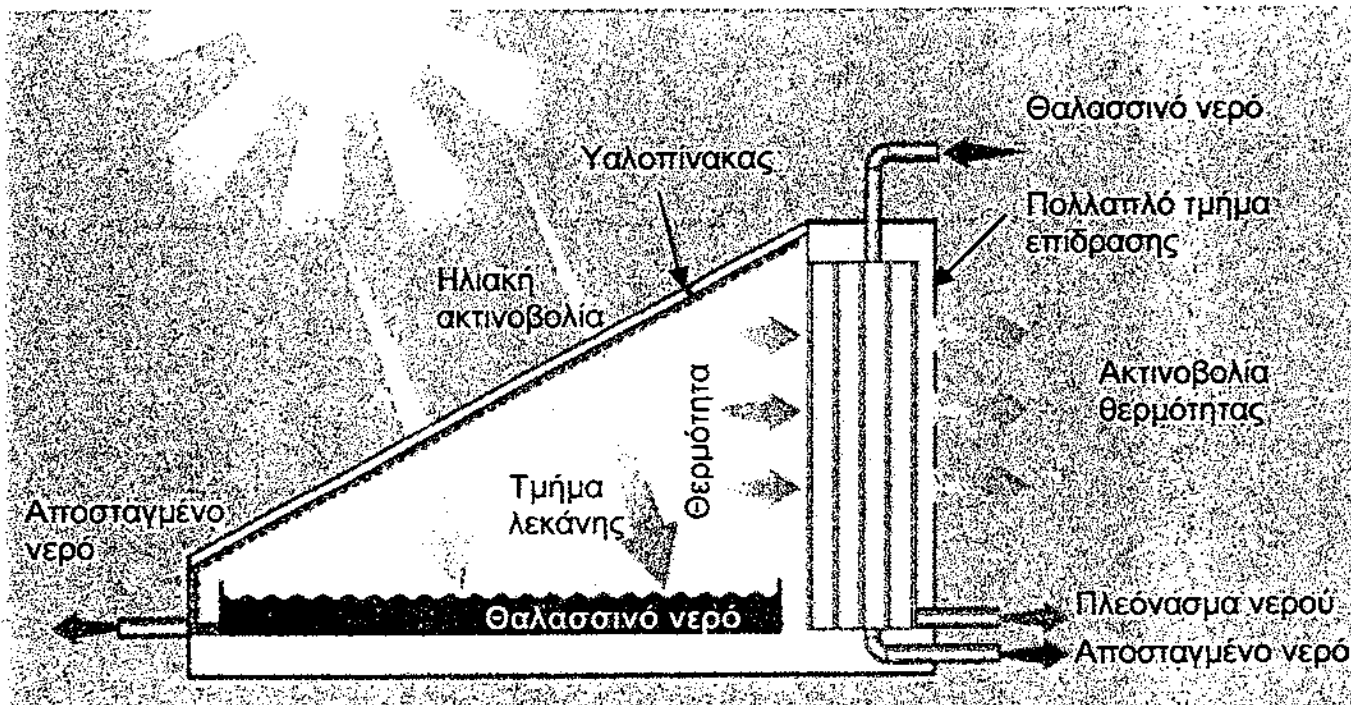
Σχήμα 4.8 Ηλιακός αποστακτήρας του τύπου θερμοκηπίου. Τ είναι το διαφανές κάλυμμα, Λ η λεκάνη που περιέχει το νερό και Σ τα κανάλια συλλογής του αποστάγματος. (Πηγή : Ε.Δελγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995)

Το συμπύκνωμα των ατμών σχηματίζει ένα λεπτό υμένα στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος το οποίο ρέει προς τα κανάλια συλλογής Σ, όπου συλλέγεται ως αφαλατωμένο νερό. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλύμματος και επιφάνειας νερού τόσο εντονότερος είναι ο σχηματισμός των ανοδικών και καθοδικών ρευμάτων, επομένως η παραγωγή αποστάγματος είναι μεγαλύτερη. Συγχρόνως όμως κατ' αναλογία αυξάνουν και οι θερμικές απώλειες από τα διάφορα σημεία του αποστακτήρα.

Το διαφανές κάλυμμα αποτελείται είτε από γυαλί ή από πλαστικό υλικό τα οποία κατεργάζεται κατάλληλα ως προς την εσωτερική του επιφάνεια, ώστε να διαβρέχεται από το συμπύκνωμα. Πλαστικά υλικά τα οποία δεν διαβρέχονται από το συμπύκνωμα, σχηματίζουν στην επιφάνεια τους σταγόνες αφαλατωμένου νερού οι οποίες μεγαλώνουν σε μέγεθος καθώς το συμπύκνωμα συσσωρεύεται και επαναφέρονται, πέφτοντας με την βαρύτητα, στην λεκάνη Λ.

4.5 Σύγχρονη κατασκευή ηλιακού αποστακτήρα

Μια βελτιωμένη συσκευή ηλιακού αποστακτήρα είναι αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.9. Η συσκευή αυτή αποτελείται από έναν υαλοπίνακα προσανατολισμένο προς τον νότο, την δεξαμενή του θαλασσινού νερού και από το πολλαπλό τμήμα επίδρασης.



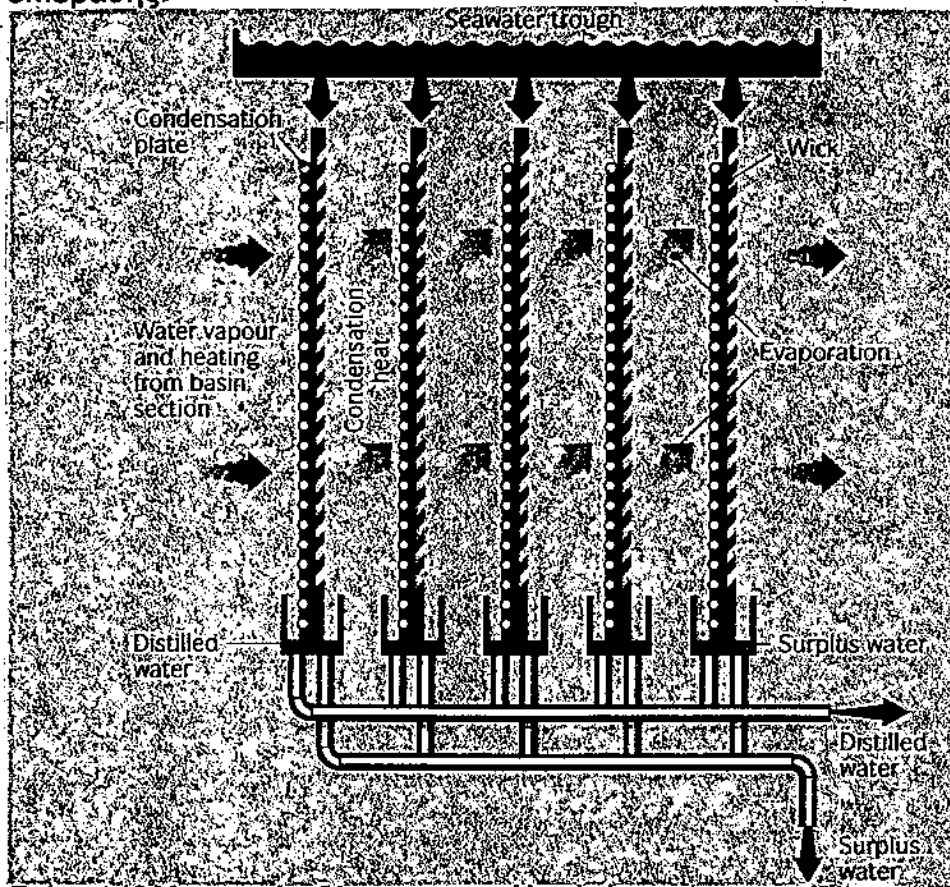
Σχήμα 4.9 Αναλυτική περιγραφή ηλιακού αποστακτήρα
(Πηγή : Caddet Renewable Energy Newsletter, December 1999)

Η ηλιακή ακτινοβολία εισερχόμενη από την επιφάνεια του υαλοπίνακα ζεσταίνει το νερό που βρίσκεται στην δεξαμενή, αλλά και την πρώτη επιφάνεια του πολλαπλού συστήματος επίδρασης. Κάποια ποσότητα νερού εξατμίζεται και συμπυκνώνεται στην εσωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα, θερμαίνοντας παράλληλα τον αέρα που υπάρχει ανάμεσα στη δεξαμενή και τον υαλοπίνακα.

Όμως κάποια ποσότητα υδρατμών συμπυκνώνεται και αποβάλλει την θερμότητα του πάνω στην πρώτη επιφάνεια, προσθέτοντας την στην θερμότητα που δέχεται μέσω της άμεσης ακτινοβολίας του ηλίου. Πίσω από την επιφάνεια αυτή, υπάρχει ένα αυλάκι στο οποίο ρέει θαλασσινό νερό, που θερμαίνεται ερχόμενο σε επαφή με την πρώτη επιφάνεια. Το εξατμιζόμενο νερό έρχεται σε επαφή με την δεύτερη επιφάνεια, υγροποιείται και αποβάλλει με τη σειρά του την

θερμότητά του στη δεύτερη επιφάνεια, πίσω από την οποία υπάρχει ένα άλλο αυλάκι με θαλασσινό νερό και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και στις πέντε επιφάνειες αυτού του συστήματος. Οι επιφάνειες αυτές πρέπει να έχουν απόσταση 6mm το λιγότερο.

Όπως γνωρίζουμε η θερμότητα μεταφέρεται πιο άμεσα όταν οι επιφάνειες είναι παράλληλες. Όμως η κάθετη διάταξη των επιφανειών είναι πιο λειτουργική από την οριζόντια, γιατί έχουμε λιγότερες θερμικές απώλειες αλλά και γιατί με την βοήθεια της βαρύτητας το αφαλατωμένο νερό συλλέγεται με ειδικά σωληνάκια σε ειδικές δεξαμενές. Η προσθήκη ενός τέτοιου συστήματος αυξάνει τον ρυθμό απόσταξης έως και 3 φορές παραπάνω από το κανονικό. Το σχήμα 4.10 μας παρουσιάζει αναλυτικά τον μηχανισμό εξάτμισης του πολλαπλού συστήματος επίδρασης.



Σχήμα 4.10 Μηχανισμός εξάτμισης του πολλαπλού συστήματος επίδρασης
(Πηγή : Caddet Renewable Energy Newsletter, December 1999)

4.6 Απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων

Οι ηλιακοί αποστακτήρες μιας βαθμίδας έχουν το σοβαρό μειονέκτημα, όπως άλλωστε όλες οι εγκαταστάσεις απόσταξης μιας βαθμίδας, αυτό της

χαμηλής απόδοσης.—Μαθηματικές αναλύσεις δίνουν μία καλή εικόνα της θερμοδυναμικής κατάστασης της μεθόδου και προσδιορίζουν ακριβώς τις διάφορες απώλειες με μεγάλη ακρίβεια, δεν έχουν όμως βοηθήσει στο να αυξηθεί πρακτικά η απόδοση των αποστακτήρων σε μία ηλιακή εγκατάσταση ασφαλή. Για να αυξηθεί η απόδοση πρέπει να προσαχθεί εξωτερικά μια ποσότητα ενέργειας. Η ενέργεια αυτή προσφέρεται με χρησιμοποίηση είτε προθερμασμένου νερού, είτε απορριπτόμενης θερμικής ενέργειας μιας άλλης βιομηχανικής μονάδας (με τη μορφή ζεστού νερού), ως νερό τροφοδότησης.

Η προθέρμανση του νερού τροφοδότησης γίνεται είτε με χρήση ηλιακών συλλεκτών ή ηλιακών λιμνών. Ένας άλλος τρόπος εξοικονόμησης είναι η συλλογή της βροχής, εφ' όσον υπάρχει, με κατάλληλη συσκευή εξωτερικά των αποστακτήρων, ώστε η βροχή να συλλέγεται σε κανάλια. Η συλλογή της βροχής αυξάνει την απόδοση σε νερό κατά τους χειμερινούς μήνες όπου η απόσταση είναι χαμηλή.

Η απόδοση ενός ηλιακού αποστακτήρα υπολογίζεται από την σχέση :

$$n = \frac{\sum Q_e}{\sum I_s} = \frac{\sum Q_e}{H} = \frac{m_d h_{fg}}{\sum I_s}$$

όπου :

- n : η απόδοση του ηλιακού αποστακτήρα
- $\sum Q_e$: η συνολική θερμότητα που μεταφέρεται από το νερό στο κάλυμμα με εξάτμιση και συμπύκνωση, $\text{KJ/m}^2 \text{ d}$
- $\sum I_s$: η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο γυάλινο κάλυμμα του αποστακτήρα, $\text{KJ/m}^2 \text{ d}$
- m_d : η μάζα του αποστάγματος, $\text{Kg/m}^2 \text{ d}$
- h_{fg} : η ενθαλπία εξάτμισης, KJ/Kg

Η μέση απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων κυμαίνεται από 25 έως 40% τους χειμερινούς μήνες και 30 έως 60% τους καλοκαιρινούς μήνες.

4.7 Βασικοί παράμετροι ενός ηλιακού αποστακτήρα

Θα καθοριστούν όλες οι παράμετροι που υπεισέρχονται για την μελέτη και τον τελικό σχεδιασμό ενός ηλιακού αποστακτήρα. Επακολουθεί ένας αρχικός σχεδιασμός. Οι εν λόγω βασικές παράμετροι σχεδιασμού είναι:

4.7.1 Βάθος νερού δεξαμενής (θερμική μάζα)

Η ημερήσια παραγωγή ενός ηλιακού αποστακτήρα εξαρτάται από το βάθος νερού της δεξαμενής, ενώ η ωριαία παραγωγή έχει ισχυρή εξάρτηση από αυτό. Αυτό έχει αποδειχθεί, τόσο σε εργαστηριακά πειράματα, όσο και σε θεωρητικούς υπολογισμούς.

Τούτο εξηγείται από το γεγονός ότι, σε μια ρηχή δεξαμενή, το νερό θα θερμανθεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια περίοδο υψηλής ακτινοβολίας, λόγω της μικρότερης θερμικής μάζας (χωρητικότητα) και ο ρυθμός εξάτμισης αυξάνει εκθετικά με την θερμοκρασία. Συνεπάγεται λοιπόν ότι το βάθος νερού, εντός λογικών ορίων δεν είναι πολύ κρίσιμη παράμετρος.

4.7.2 Επίδραση της συγκέντρωσης άλατος στην παραγωγικότητα

Σύμφωνα με λεπτομερείς μελέτες που έχουν γίνει για την επίδραση της συγκέντρωσης άλατος στην παραγωγικότητα του αποστακτήρα, η παραγωγικότητα μειώνεται με αργούς ρυθμούς και σχεδόν γραμμικά με την αύξηση της αλατότητας του νερού.

4.7.3 Απώλεια υδρατμών από τις συναρμογές

Όλοι οι αποστακτήρες, θα πρέπει να σχεδιάζονται, ώστε να είναι ερμητικά κλειστοί στη διαφυγή υδρατμών. Στην πράξη, όμως, υπάρχουν τρύπες και διάκενα, ειδικά στα σημεία που ενώνονται ανάμοια υλικά. Μέγιστη φροντίδα θα πρέπει να δοθεί στην, όσο το δυνατόν, καλύτερη προσαρμογή των επιφανειών, ώστε να ελαχιστοποιείται η απώλεια υδρατμών.

4.7.4 Διαρροή αποσταγμένου νερού

Οι συλλεκτήρες θα πρέπει να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται κάθε διαρροή αποστάγματος, είτε να εσωτερικά (πίσω προς την δεξαμενή νερού), είτε εξωτερικά. Οι παράμετροι σχεδιασμού είναι το βάθος συλλεκτήρα, ώστε να αποφεύγεται υπερχειλίση, το πλάτος του (ώστε να αποφεύγεται η εκ νέου εξάτμιση του), και τέλος, η σύνδεση των διάφορων τμημάτων, στην περίπτωση του μεγάλου μήκους.

4.7.5 Το υλικό του καλύμματος

Το ιδανικό υλικό είναι το γυαλί με πάχος 2-3 mm, με ιδιότητες $t = 0.85$, $r_g = 0.10$, $a = 0.05$, που είναι ουσιαστικά αδιαφανές στη θερμική ακτινοβολία, που εκπέμπεται από το νερό της δεξαμενής και τον πυθμένα. Η εσωτερική επιφάνεια, θα πρέπει να καθαριστεί επιμελώς πριν την συναρμογή, ώστε να μην υπάρχουν υπολείμματα λαδιού ή γράσου, τα οποία μειώνουν την πρόσφυση του νερού.

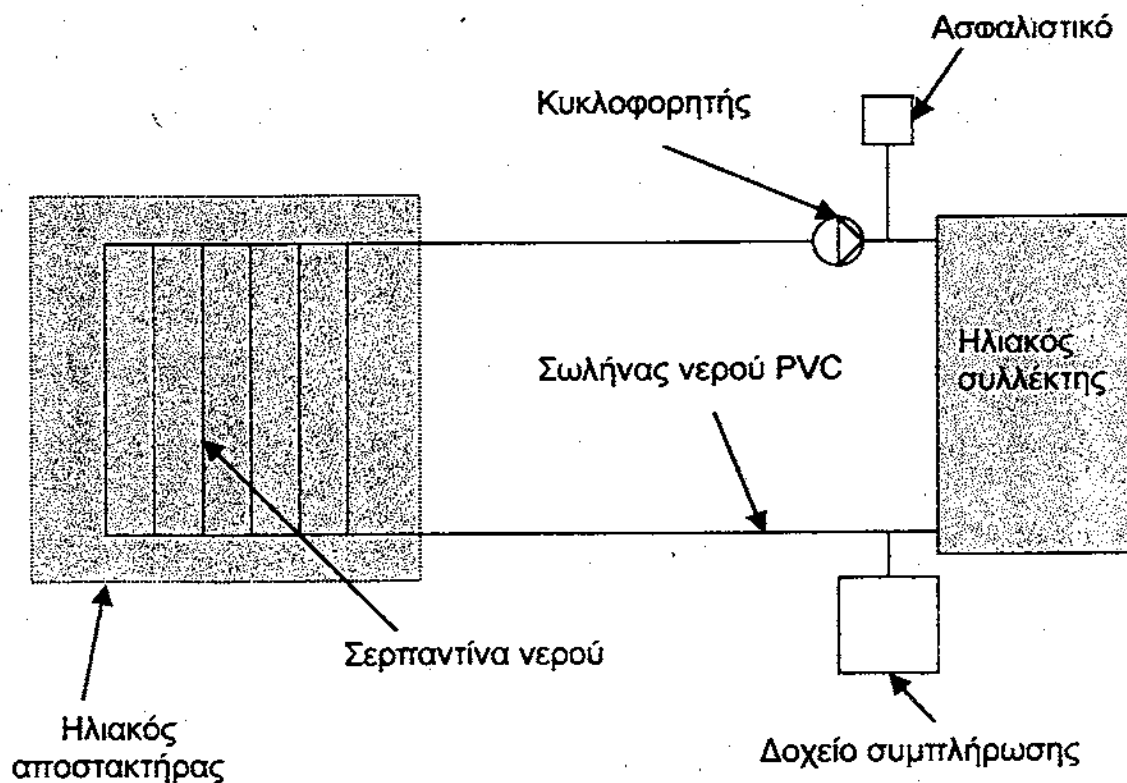
4.7.6 Η κλίση του καλύμματος και το σχήμα του

Αυξάνοντας την κλίση του καλύμματος, αυξάνεται η επιφάνεια συμπίκνωσης και συνεπώς μια αύξηση του ρυθμού ενεργειακής απώλειας. Αυτό στη συνέχεια μειώνει τη θερμοκρασία νερού της δεξαμενής και, συνεπακόλουθα, την παραγωγικότητα. Όμως, καθώς η παραγωγικότητα είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς (Τνερού – Τκαλύμματος), το καθαρό αποτέλεσμα δεν είναι προφανές. Ένας επιπρόσθετος παράγοντας που υπεισέρχεται, είναι η μέση γωνία προσπτώσεως της ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι, επιθυμητό να ελαχιστοποιηθεί αυτή η γωνία, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, που αντανακλάται από την επιφάνεια του καλύμματος.

Στην περίπτωση βελτιστοποίησης, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (στην περίπτωση μας από Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο), τότε θα πρέπει να γίνουν ειδικοί υπολογισμοί. Συμπερασματικά, το εύρος κλίσεων ποικίλλει μεταξύ 10° και 30° .

4.8 Βασικοί παράμετροι ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Η αύξηση της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού προκαλεί μεγαλύτερη εξάτμιση, παράγοντας περισσότερο αφαλατωμένο νερό. Το νερό μπορεί να θερμανθεί με διάφορους τρόπους, είτε προθερμαίνοντας το πριν την είσοδο του στην δεξαμενή του αποστακτήρα, είτε αυξάνοντας την θερμοκρασία με την τοποθέτηση εναλλάκτη θερμότητας ή με την απευθείας θέρμανση του στην δεξαμενή με την βοήθεια κυκλοφορητή. Η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από θερμαντικό στοιχείο, απορριπτόμενη θερμότητα διεργασιών ή καλύτερα, από ηλιακούς συλλέκτες. Η θέρμανση του νερού της δεξαμενής με χρήση ηλιακών συλλεκτών αυξάνει την παραγωγή αφαλατωμένου νερού μέχρι και 63% περισσότερο.



Σχήμα 4.11 Σχηματική παράσταση διάταξης μονάδας απόσταξης με ηλιακούς συλλέκτες

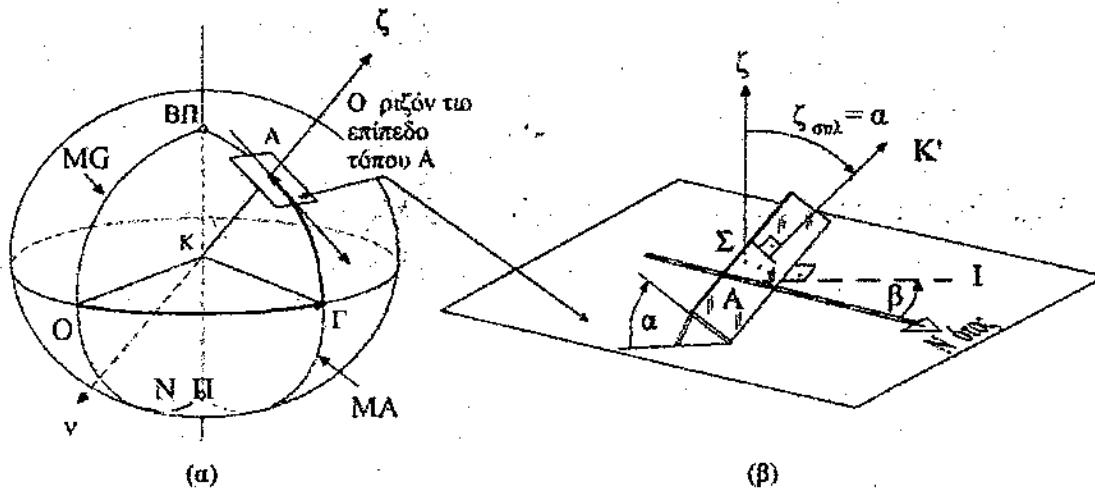
4.8.1 Προσανατολισμός του συλλέκτη

Σημαντικό ρόλο στην συλλογή από τον συλλέκτη, όσο το δυνατόν μεγαλύτερων ποσών ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, παίζει ο

προσανατολισμός του συλλέκτη: Κάθε τόπος, όπως ο τόπος Α του σχήματος 4.12, πάνω στην επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από τις σφαιρικές συντεταγμένες του:

α) το γεωγραφικό μήκος, (γ.μ.), που καθορίζεται από το τόξο ΟΓ, πάνω στον ισημερινό ή σε άλλο παράλληλο, με αναφορά τον μεσημβρινό του Greenwich (MG), από 0-180° Ανατολικά και από 0-180° Δυτικά.

β) Το γεωγραφικό πλάτος, (γ.π.), που καθορίζεται από το τόξο ΓΑ, πάνω στον μεσημβρινό του τύπου ΜΑ, με αναφορά τον ισημερινό, από 0-90° Βόρεια και 0-90° Νότια.



Σχήμα 4.12 (α) Ο τόπος Α, πάνω στην επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από το γεωγραφικό μήκος του, ίσο με το τόξο ΟΓ, και από γεωγραφικό πλάτος του, που καθορίζεται από το τόξο ΓΑ, πάνω στον μεσημβρινό του τόπου ΜΑ. (β) γωνίες προσανατολισμού ενός συλλέκτη, α = κλίση και β = γωνία του ίχνους ΑΙ, με την νότια κατεύθυνση.

(Πηγή: Γ.Φραγκιαδάκης, Το φωτοβολταϊκό στοιχείο, Ηράκλειο 1999).

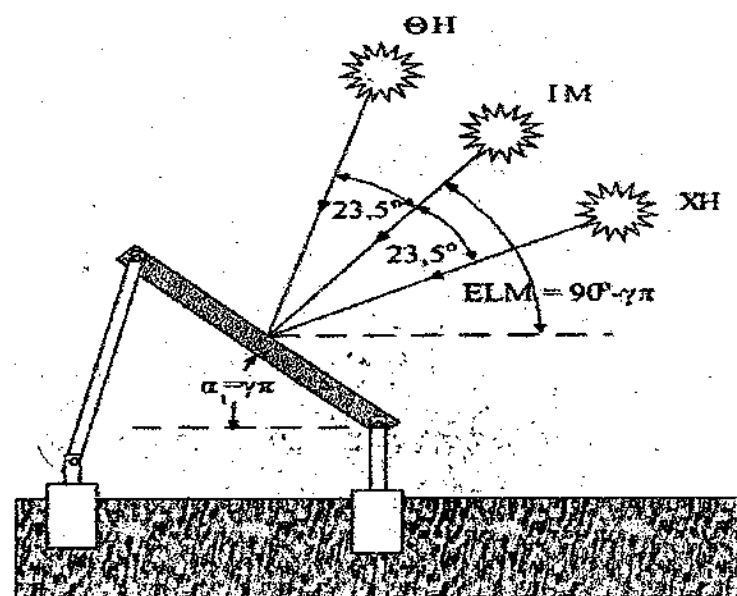
4.8.2 Στήριξη του συλλέκτη

Για την στήριξη του συλλέκτη υπάρχουν τρεις τρόποι, σταθερής στήριξης, εποχιακά ρυθμιζόμενης στήριξης και συνεχούς παρακολούθησης θέσης του ήλιου, με διάταξη που ονομάζεται ηλιοτρόπιο (Tracker).

Η σταθερή στήριξη σαν κατασκευή είναι η πιο απλή άρα και η πιο ανέξοδη, λόγω της απουσίας των κινητών μερών προσδίδει στη διάταξη περισσότερη μηχανική αντοχή χαρακτηριστικό που συμβάλει στην αξιόπιστη

συμπεριφορά της, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε απομακρυσμένη ή απομονωμένη περιοχή.

Στην περίπτωση που υπάρχει δυνατότητα αρχικού προσανατολισμού, πριν την σταθεροποίηση της διάταξης, προσανατολίσουμε τον συλλέκτη προς το νότο και του προσδίδουμε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου τοποθέτησης του συλλέκτη.



Σχήμα 4.13 Σταθερή στήριξη σε ετήσια βάση $\alpha = \gamma \pi$ τόπου
(Πηγή : Γ.Φραγκαδάκης, Το φωτοβολταϊκό στοιχείο, Ηράκλειο 1999)

4.9 Βελτιώσεις για αύξηση της απολαβής αποστάγματος

Σε έναν ηλιακό αποστακτήρα μπορούν να πραγματοποιηθούν μια σειρά κατασκευαστικών τροποποιήσεων-βελτιώσεων για την αύξηση της απολαβής του αποσταγμένου νερού, οι οποίες είναι :

1. Προσθήκη βαφών (μαύρη, σκούρα πράσινη), διαλυτών στο θαλασσινό νερό, για περαιτέρω απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την μάζα του νερού.
2. Τεχνητή ψύξη της εξωτερικής πλευράς του καλύμματος με ομοιόμορφη παροχή κρύου νερού. Το κάλυμμα διατηρείται σε αρκετά χαμηλή θερμοκρασία και η συμπύκνωση των ατμών είναι πιο έντονη.
3. Προσθήκη μαύρων απορροφητικών κομματιών μέσα στο θαλασσινό νερό ή βαφή της δεξαμενής με μαύρο χρώμα για την μεγαλύτερη απορρόφηση

της ηλιακής ενέργειας. Με αυτά η απόδοση αυξάνεται τα πρωινά και τις συννεφιασμένες μέρες.

4. Τεχνητή προώθηση φυσαλίδων ξηρού αέρα στην μάζα του θαλασσινού νερού καθώς και η συνεχής ανατάραξη του νερού δημιουργεί μεγαλύτερη επιφάνεια εξάτμισης.
5. Παροχή θαλασσινού νερού με χαμηλή συγκέντρωση αλάτων (η υψηλή περιεκτικότητα των αλάτων εκτός από την αρνητική επίδραση στην απόδοση, φθείρει πιο γρήγορα τα τμήματα του ηλιακού αφαλωτή).
6. Η κλίση του καλύμματος (σχετικά με την παραγωγή του νερού) για τις εύκρατες περιοχές είναι μεταξύ 10° και 25° . Η βέλτιστη κλίση είναι συνδεδεμένη άρρηκτα με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.
7. Το συνηθέστερο υλικό για το κάλυμμα είναι γυαλί (το οποίο μπορεί να κατεργαστεί για την αύξηση της απόδοσης) ή ορισμένου τύπου πλαστικό.
8. Τεχνητή προώθηση μίγματος ατμών-αέρα στον αφαλωτή με την βοήθεια φυσητήρα σε κλειστό κύκλωμα.
9. Τοποθέτηση περυγίων στο πίσω μέρος του αποστακτήρα για περαιτέρω ψύξη του καλύμματος.
10. Αν όλες οι πλευρές του αποστακτήρα είναι γυάλινες αντί για γαλβανισμένη λαμαρίνα τότε παρουσιάζεται μεγαλύτερη απολαβή.
11. Τοποθέτηση γυάλινων σωλήνων στο επάνω τμήμα του αποστακτήρα, οι οποίοι τον διαπερνούν σε όλο το μήκος αυξάνουν την επιφάνεια συμπύκνωσης των υδρατμών.
12. Πρόβλεψη για τη συλλογή του νερού της βροχής. Επειδή οι βροχοπτώσεις παρατηρούνται σε περιόδους όπου τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας είναι χαμηλά (χειμώνας), ενώ ο αφαλωτής παράγει νερό σε περιόδους με υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας (καλοκαίρι), η ετήσια απόδοση είναι αυξημένη και διατηρείται σε καλό επίπεδο σε όλη τη διάρκεια του χρόνου

4.10 Διαδικασίες βελτίωσης της ποιότητας του παραγόμενου νερού

Για την παροχή ποιοτικού νερού μετά την παραγωγή του από ένα σύστημα ηλιακής αφαλάτωσης, το νερό περνά μέσα από διάφορες διαδικασίες. Οι βασικότερες είναι :

- Καθίζηση ή ιζηματοποίηση, είναι η διαδικασία που απομακρύνει τα αιωρούμενα σωματίδια στο νερό με την βοήθεια της βαρύτητας, τα οποία καθιζάνουν στον πάτο του χώρου συλλογής του νερού.
- Φίλτραση, είναι το στάδιο επεξεργασίας του νερού, στο οποίο κατακρατούνται όσα αιωρούμενα στερεά δεν αποβλήθηκαν κατά το στάδιο της καθίζησης. Τα διάφορα φίλτρα που κυκλοφορούν στην αγορά απομακρύνουν σωματίδια έως και 5mm.
- Κροκίδωση ή θρόμβωση, είναι η διεργασία που χρησιμοποιείται για την έμμεση μείωση της θολότητας του νερού καθώς και την μερική απομάκρυνση του χρώματος και των δυσάρεστων οσμών.
- Απολύμανση, είναι το στάδιο κατά το οποίο γίνεται η απομάκρυνση των παθογόνων οργανισμών. Αυτό γίνεται είτε με τη μέθοδο του βρασμού, είτε με υπέρυθρες ακτίνες, είτε με την προσθήκη διάφορων χημικών.
- Χλωρίωση, είναι η προσθήκη χλωρίου σε μορφή διαλύματος, προκειμένου να απολυμανθεί το νερό ή ακόμα να βελτιωθεί το PH του.
- Αποσκληρυνση του νερού γίνεται για την μείωση της σκληρότητας του, ανάλογα με την χρήση του. Απομακρύνονται ιόντα ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg) από το νερό και την μετατροπή του σε μαλακό, με στόχο την προστασία του εξοπλισμού από αποθέσεις αλάτων της σκληρότητας.
- Ρύθμιση του PH, γίνεται με την προσθήκη διαλυμάτων οξέων, προκειμένου να έχουμε την επιθυμητή τιμή $6,5 < \text{PH} < 8,5$.
- Αερισμός, είναι η επεξεργασία κατά την οποία απομακρύνονται από το νερό όλα τα διαλυμένα σε αυτό αέρια, ή εξαλείφονται όλες οι δυσάρεστες οσμές.
- Φίλτραση ενεργού άνθρακα, γίνεται για την απομάκρυνση χρώματος, οσμών, οργανικών ενώσεων, φυτοφαρμάκων, χλωρίου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για την βελτίωση του νερού από άποψη αισθητικής (γεύσης) και υγιεινής.
- Απομάκρυνση σιδήρου (Fe) και μαγγανίου (Mn), με φίλτραση αν δεν βρίσκονται σε επιτρεπτά όρια. Συνήθως πρόβλημα μεγάλης περιεκτικότητας σε σίδηρο και μαγγάνιο έχουν τα υπόγεια νερά από γεωτρήσεις, ενώ το θαλασσινό νερό έχει πολύ μικρές περιεκτικότητες.

- Απιονισμός, εφαρμόζεται για την απομάκρυνση όλων των ανιόντων (-) και κατιόντων (+) του νερού.
- Απαλκαλίωση, εξειδικευμένη μέθοδος για την επιλεκτική απομάκρυνση της παροδικής σκληρότητας του νερού.
- Απονίτρωση, μέθοδος για την απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων, σε περιοχές που το νερό έχει υψηλή και ανεπιθύμητη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων.

Κεφάλαιο 5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

5.1 Εισαγωγή

Η αφαλάτωση προσφέρει μια σημαντική λύση στα ελληνικά νησιά, όπου η μεταφορά του νερού είναι ακόμα η κύρια πηγή εναλλακτικής τροφοδοσίας. Η πρώτη εγκατάσταση αφαλάτωσης στην Ελλάδα έγινε στη Σύρο το 1970-71, με την μέθοδο της πολυβάθμια κλασματικής απόσταξης δυναμικότητας 1200 m³ / ημέρα. Η εγκατάσταση λειτούργησε μέχρι το 1985 γιατί παρουσίασε πολλά προβλήματα, που οι άλλοι τα αποδίδουν στην κακή σχεδίαση και μελέτη και άλλοι τα αποδίδουν στην κακή συντήρηση και υπερφορτωμένη λειτουργία.

Την χρονική περίοδο 2000-2002 κατασκευάστηκαν καινούργιες μονάδες αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά της Μεσόγειου, η οποία περιέχει νησιά με πληθυσμό μεγαλύτερο από 20,000 κατοίκους. Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν βασικές μονάδες αφαλάτωσης που έχουν εγκατασταθεί στα Ελληνικά νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου, η πλειοψηφία τους με αντίστροφη ώσμωση, των οποίων τα βασικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα Ι. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις λειτουργούν σε ικανοποιητικό βαθμό, παρά τις αντίξοες συνθήκες, όπως το ότι βρίσκονται μακριά από την ενδοχώρα του νησιού.

Παρόλη την ικανοποιητική παραγωγή από τις μονάδες αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά, το πόσιμο νερό δε χρησιμοποιείται τόσο ως πόσιμο, όσο για καθημερινές χρήσεις.

Πίνακας Ι : Βασικά χαρακτηριστικά των μονάδων αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά
(Πηγή : CRES)

Τοποθεσία	Περιοχή	Έτος Λειτουργίας	Ημερήσια παραγωγή m ³ /day	Τύπος νερού
Μύκονος	Ορνός	1989	1200	θαλασσινό
Μύκονος	Ορνός	2001	2000	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	1989	1200	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	1993	800	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	1998	960	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	2000	2x250	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	2001	4x500	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	2001	4x120	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	1993	144	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	2000	250	θαλασσινό
Σύρος	Ερμούπολη	2002	500	θαλασσινό
Σύρος	Κίτι	2001	250	θαλασσινό
Σύρος	Κίτι	2002	250	θαλασσινό
Σύρος	Κίτι	2002	250	θαλασσινό
Θήρα	Οία	1994	400	θαλασσινό
Θήρα	Οία	1998	160	θαλασσινό
Θήρα	Οία	2002	250	θαλασσινό
Θηρασιά ⁶	Θηρασιά	1997	4,8	θαλασσινό
Ιος	Μυλοπόταμος	2001	1000	θαλασσινό
Σίφνος	Καμάρες	2002	500	Υφάλμυρο
Κίμωλος ⁶	-	2001	110	θαλασσινό
Πάρος	Νάουσα	2001	1200	Υφάλμυρο
Νίσυρος	Μανδράκι	2001	300	θαλασσινό
Χίος	Ομηρούπολη	2000	720	Υφάλμυρο
Χίος	Ομηρούπολη	2001	900-1000	Υφάλμυρο
Ιθάκη	-	1983	500	θαλασσινό

Το κόστος του νερού για το θαλασσινό είναι από 0,7 Ευρο / m³ σε 2,6 Ευρο / m³ ⁷, ενώ το υφάλμυρο νερό είναι περίπου στο 0,4 Ευρο / m³.

6 : Οι μονάδες αφαλάτωσης χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

7: Η μονάδα στη Θήρα αντλεί το θαλασσινό νερό από ύψος 80 μέτρων, γι' αυτό το ενεργειακό κόστος είναι υψηλό.

5.2 Γενικά Χαρακτηριστικά των εφαρμογών στα ελληνικά νησιά

5.2.1 Σύρος

Η μονάδα της Σύρου λειτουργεί με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Η κατασκευή έγινε το 1987-89 και έχει δυναμικότητα $1200 \text{ m}^3 / \text{ημέρα}$. Η μελέτη και η κατασκευή έγινε από την εταιρεία ΜΕΤΕΚ και έδωσε ιδιαίτερη βαρύτητα στις απαιτήσεις των κατοίκων για ουσιαστική ποιότητα παραγόμενου νερού. Το βασικό πρόβλημα αυτής της μονάδας εντοπίζεται στην τροφοδότηση του νερού. Τα πηγάδια ακτής δε μπορούσαν να τροφοδοτήσουν κανονικά την μονάδα, ενώ η κατάργησή τους δημιούργησε προβλήματα στην προκατεργασία του νερού. Προβλήματα εμφανίστηκαν επίσης και στις εμβολοφόρες αντλίες υψηλής πίεσης λόγω των συχνών βλαβών που ανάγκαζαν την μονάδα να τίθεται εκτός λειτουργίας αρκετά συχνά.

5.2.2 Μύκονος

Στην Μύκονο υπάρχουν δυο μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες λειτουργούν με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Η πρώτη τοποθετήθηκε το 1981 από την εταιρεία AQA-CHEM USA με δυναμικότητα $500 \text{ m}^3 / \text{ημέρα}$, ενώ η δεύτερη το 1989 από την εταιρεία ΜΕΤΕΚ με δυναμικότητα $1200 \text{ m}^3 / \text{ημέρα}$. Το βασικότερο πρόβλημα και των δυο, αποτελούν τα φρεάτια της τροφοδοσίας του, που είναι κατασκευασμένα στην άμμο σε απόσταση 10 μέτρων από την θάλασσα. Η λύση της τροφοδοσίας δόθηκε μέσω της άντλησης, με υποθαλάσσιο αγωγό, κατ' ευθείαν από τη θάλασσα. Η παρούσα όμως λύση οδήγησε στον συχνό καθαρισμό των μεμβρανών, με συνέπεια την διακεκομμένη λειτουργία της μονάδας και την αύξηση του κόστους λειτουργίας λόγω χρήσης υλικών καθαρισμού.

5.2.3 Ιθάκη

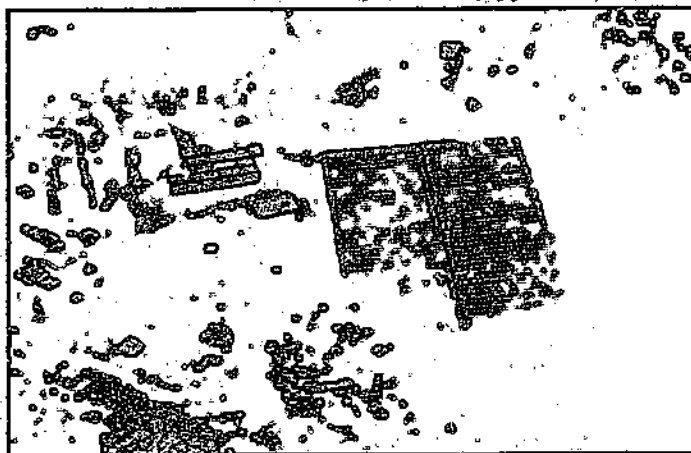
Η τουριστική ανάπτυξη τους καλοκαιρινούς μήνες και οι αυξημένες ανάγκες των κατοίκων για υγιεινό και περισσότερο νερό, οδήγησαν το δήμο Ιθάκης στην κατασκευή εργοστασίου αφαλάτωσης το οποίο λειτουργεί με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Η μονάδα κατασκευάστηκε μέσα σε ένα χρόνο 1982-83 όπου και άρχισε να λειτουργεί με ημερήσια παραγωγή 500 m³/ημέρα. Ο δήμος πέτυχε ένα μεικτό σύστημα υδροδότησης, συγκεντρώνοντας το νερό της βροχής, των πηγών και του εργοστασίου αφαλάτωσης μέσω αλωνιών σε 4 μεγάλες δεξαμενές. Η λειτουργία της μονάδας δεν είναι συνεχόμενη και εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις. Με το ξεκίνημα της μονάδας το 1983 παρουσιάστηκαν τα πρώτα προβλήματα. Η εκκίνηση στις αντλίες υψηλής πίεσης με "αστέρα-τρίγωνο", προβλήματα που παρουσιάστηκαν ήταν η υπερθέρμανση και η διάβρωση στις αντλίες του πόσιμου νερού. Επίσης μεγάλο πρόβλημα δημιουργείται με τον θόρυβο στο στρόβιλο που φτάνει και ξεπερνάει τα 130 db.

5.2.4 Νίσυρος

Η μονάδα αφαλάτωσης της Νισύρου είναι η πιο νέα μονάδα στην Ελλάδα. Η κατασκευή της ξεκίνησε το 1991 με κατασκευάστρια εταιρεία ΜΕΤΕΚ που υλοποίησε τις μονάδες Σύρου και Μυκόνου. Η μονάδα αυτή λειτουργεί με την αντίστροφη ώσμωση και έχει δυναμικότητα 300 m³/ημέρα. Το θαλασσινό νερό αντλείται από την ανοιχτή θάλασσα και σε απόσταση 100 m από την ακτή. Με το ξεκίνημα της μονάδας εμφανίστηκαν προβλήματα στις συνδέσεις των αγωγών λόγω των συνδέσεων. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα εντοπίζεται στην ηλεκτρική παροχή. Οι συνεχείς πτώσεις τάσης και οι διακοπές οδηγούν στο υψηλό κόστος επισκευών το οποίο με την σειρά του σημαίνει περισσότερους χημικούς καθαρισμούς και η μείωση του χρόνου ζωής των μεμβρανών.

5.2.5 Καστελόριζο

Στο Καστελόριζο υπάρχει μια μονάδα η οποία δεν έχει λειτουργήσει επαρκώς. Η εγκατάσταση λειτουργεί με την μέθοδο της ηλιακής αφαλάτωσης (σχήμα 5.1) και η δυναμικότητα της είναι 50 m^3 / ημέρα.



Σχήμα 5.1 Εφαρμογή στο Καστελόριζο με την μέθοδο της ηλιακής αφαλάτωσης (Πηγή : CRES)

5.2.6 Θήρα

Η μονάδα αφαλάτωσης της Σαντορίνης βρίσκεται στην Οία (σχήματα 5.2, 5.3) και λειτουργεί με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης.



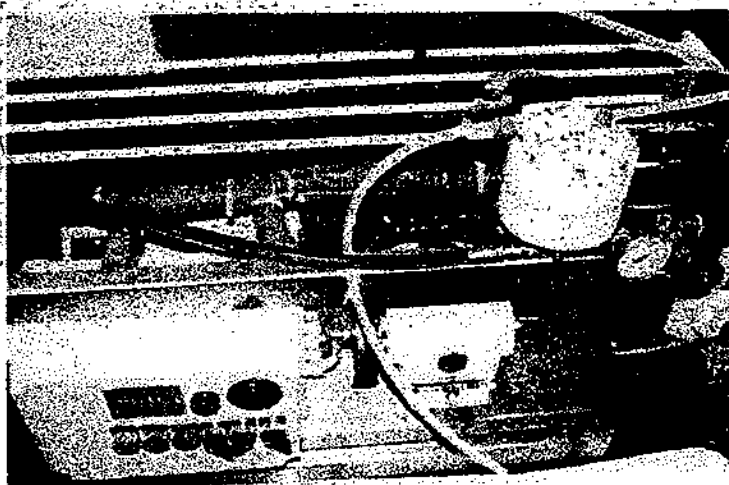
Σχήματα 5.2 , 5.3 Εφαρμογές στην Οία με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης από την CALLIGAN δυναμικότητας 810 m^3 / ημέρα (Πηγή : Μονάδα αφαλάτωσης Οίας)

Η πρώτη κατασκευή έγινε το 1994 και έχει δυναμικότητα 400 m^3 / ημέρα έπειτα ακολούθησε η δεύτερη το 1998 με 160 m^3 / ημέρα όπου η

μελέτη και η κατασκευή έγινε από την εταιρεία MATRIX, η τρίτη και τελευταία μονάδα εγκαταστάθηκε το 2002 δυναμικότητας 250 m³ / ημέρα από την CALLIGAN.

5.2.7 Θηρασιά

Η μονάδα αφαλάτωσης στο νησάκι Θηρασιά παράγει νερό με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Η κατασκευή λειτουργεί από το 1997 και τροφοδοτείται με ενέργεια από μια ανεμογεννήτρια 12KW (σχήμα 5.4). Η μονάδα λειτουργεί όταν η ανεμογεννήτρια παράγει ικανοποιητικό ποσοστό ενέργειας. Επιπλέον η εγκατάσταση περιλαμβάνει σύστημα μπαταριών για αποθήκευση ενέργειας καθώς και φορτιστή μπαταριών και μετατροπέα (σχήμα 5.5).

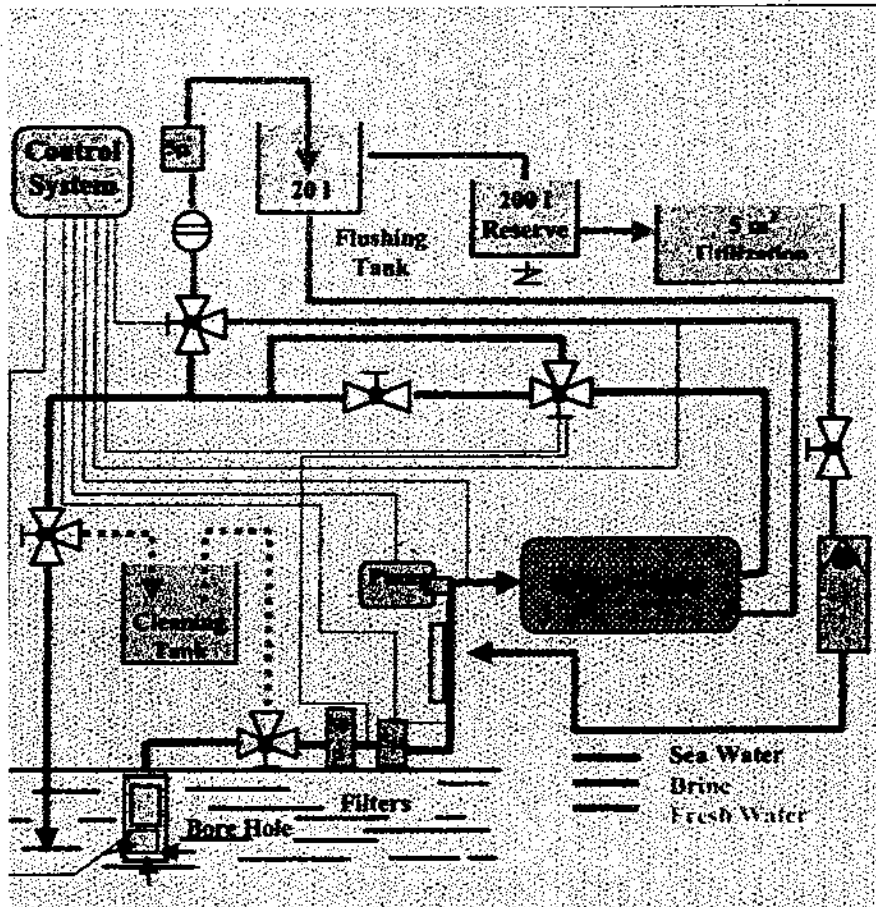


Σχήμα 5.4 Η μονάδα της αντίστροφης ώσμωσης με την τροφοδοσία από την ανεμογεννήτρια
(Πηγή : VERGNET S.A, France, Aug 1997)



Σχήμα 4.5 Σύστημα μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας
(Πηγή : VERGNET S.A, France, Aug 1997)

Η μονάδα χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό περιεκτικότητας 42.000 ppm και η δυναμικότητα της είναι 200 l/h. Για κάθε m³ παραγόμενου νερού καταναλώνονται 16 kWh.



Σχήμα 5.6 Σχηματική παράσταση παραγωγής αφαλατωμένου νερού με αιολική ενέργεια, στην Θηρασιά
(Πηγή: VERGNET S.A., France, Aug 1997)

Το νερό εισέρχεται στη μονάδα με φυσικό τρόπο (από τρύπα ενός βράχου) από βάθος 18m, φαινόμενο το οποίο κάνει την άντληση του πιο απλή, δηλαδή δρα σαν μια φυσική προ-επεξεργασία, μειώνοντας τις περαιτέρω ανάγκες για τον καθαρισμό του (σχήμα 5.6).

5.2.8 Σίφνος

Η μονάδα αφαλάτωσης της Σίφνου βρίσκεται στις Καμάρες (σχήμα 5.7) και λειτουργεί με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Η κατασκευή έγινε το 2002, αντλεί υφάλμυρο νερό από τρεις γεωτρήσεις η ποσότητα του οποίου είναι 750 m³. Από τα 750 m³ τα 500 m³ επιστρέφουν ως καθαρό νερό ενώ τα

250 m³ παραμένουν υφάλμυρο. Η μελέτη και η κατασκευή έγινε από την εταιρεία ΗΟΗ (Δανία).



Σχήμα 5.7 Εφαρμογές στις Καμάρες με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης από την ΗΟΗ δυναμικότητας 500 m³ / ημέρα.
(Πηγή : Κοινοτικό γραφείο Σίφνου)

5.2.9 Σχοινούσα

Η μονάδα αφαλάτωσης της Σχοινούσας βρίσκεται στην περιοχή Μερσίσι, παράγει νερό με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Η κατασκευή έγινε το 2002 και χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό το οποίο παρέχεται στην εγκατάσταση από 2 αντλίες. Η δυναμικότητα της μονάδας είναι 100m³. Η μελέτη έγινε από την ΤΕΜΑΚ.

5.2.10 Σουσαάκι

Η μονάδα αφαλάτωσης στο Σουσαάκι βρίσκεται στο δήμο Αγ.Θεοδώρων και παράγει νερό με γεωθερμική ενέργεια. Η μελέτη έγινε το 1995 και η κατασκευή το 1996 από την σύμπραξη των CRES, Alfa level του Δήμου Αγ. Θεοδώρων και του Υπουργείου Ανάπτυξης. Η μονάδα έχει δυναμικότητα 250

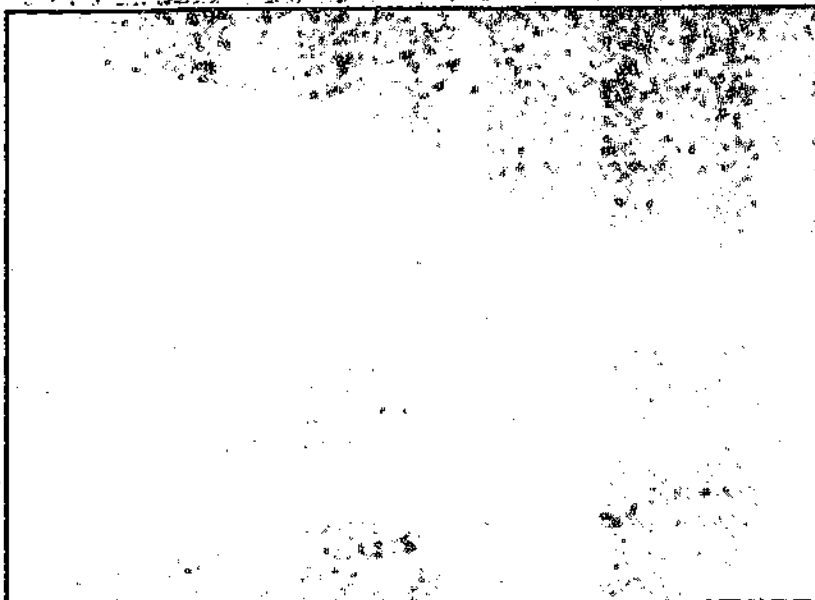
m^3 την ημέρα, ενώ η ετήσια παραγωγή υπολογίζεται σε $82.125 m^3$ για 7.884 ώρες. Το αφαλατωμένο νερό παράγεται λόγω της μεγάλης εκμετάλλευσης της χαμηλής γεωθερμικής ενθαλπίας των εδαφών της περιοχής. Στον πίνακα II παρουσιάζονται οι τελικές τιμές της μελέτης.

Πίνακας II : Συνολικό κόστος της μονάδας στο Σουσακι
(Πηγή : C. Karytsas, Low enthalpy geothermal energy driven sea water desalination plants)

Κατηγορία κόστους	Κόστος (US\$)
Βελτίωση παραγωγής	70.000
Γεωθερμικές βαλβίδες νερού	80.000
Κυκλοφορητές νερού	30.000
Σύστημα αναρρόφησης θαλασσινού νερού	150.000
Σωλήνες	175.000
Αφαλωτική μονάδα	650.000
Ηλεκτρικές κατασκευές	100.000
Σχεδιασμός και όργανα παρακολούθησης	75.000
Διάφορα	20.000
Σύνολο	1.350.000
Εκτιμώμενο κόστος του παραγόμενου νερού	2,00 \$/m³

5.2.11 Κίμωλος

Η μονάδα αφαλάτωσης της Κιμώλου έχει κατασκευαστεί για να παράγει νερό με την μέθοδο της ηλιακής απόσταξης και τροφοδοτείται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (γεωθερμία). Η μελέτη έχει γίνει από το Κ.Α.Π.Ε. και αυτή την περίοδο είναι εκτός λειτουργίας όπως φαίνεται στα σχήματα 5.9 και 5.10.



Σχήμα 5.9 Εγκατάσταση αφαλάτωσης με γεωθερμική ενέργεια στην Κιμίωλο
(Πηγή: Κοινοτικό γραφείο Κιμίωλου)



Σχήμα 5.10 Εγκατάσταση αφαλάτωσης με γεωθερμική ενέργεια στην Κιμίωλο
(Πηγή: Κοινοτικό γραφείο Κιμίωλου)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

(Ερωτηματολόγιο σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 69269/5387/90-ΦΕΚ 678/Β/25-10-90)

1. Έδαφος

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Ασταθείς καταστάσεις εδάφους ή αλλαγές στη γεωλογική διάταξη των πετρωμάτων	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Διασπάσεις, μετατοπίσεις, συμπίεσεις ή υπερκαλύψεις του επιφανειακού στρώματος του εδάφους	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
γ	Αλλαγές στην τοπογραφία ή στα ανάγλυφα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
δ	Καταστροφή, επικάλυψη ή αλλαγή οποιουδήποτε μοναδικού γεωλογικού ή φυσικού χαρακτηριστικού	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
ε	Οποιαδήποτε αύξηση της διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο ή το νερό, επί τόπου ή μακράν του τόπου αυτού	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
στ	Αλλαγές στην εναπόθεση ή διάβρωση της άμμου των ακτών ή αλλαγές στη δημιουργία λάσπης, στην εναπόθεση ή διάβρωση που μπορούν να αλλάξουν την κοίτη ενός ποταμού ή ρυακιού ή τον πυθμένα της θάλασσας ή οποιουδήποτε κόλπου, ορμίσκου ή λίμνης	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
ζ	Κίνδυνο έκθεσης ανθρώπων ή περιουσιών σε γεωλογικές καταστροφές όπως σεισμοί, κατολισθήσεις εδαφών ή λάσπης, καθιζήσεις ή παρόμοιες καταστροφές	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

2. Αέρας

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Σημαντικές εκπομπές στην ατμόσφαιρα ή υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Δυσάρεστες οσμές	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
γ	Αλλαγή των κινήσεων του αέρα, της υγρασίας ή της θερμοκρασίας ή οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα είτε	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

τοπικά είτε σε μεγαλύτερη έκταση			
----------------------------------	--	--	--

3. Νερά

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Αλλαγές στα ρεύματα, ή αλλαγές στην πορεία ή κατεύθυνση των κινήσεων των πάσης φύσεως επιφανειακών υγρών	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Αλλαγές στο ρυθμό απορρόφησης, στις οδούς αποστράγγισης ή στο ρυθμό και την ποσότητα απόπλυσης του εδάφους	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
γ	Μεταβολές στην πορεία ροής των νερών από πλημμύρες	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
δ	Αλλαγές στην ποσότητα του επιφανειακού νερού σε οποιονδήποτε υδάτινο όγκο	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
ε	Απορρίψεις υγρών αποβλήτων σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά με μεταβολή της ποιότητας των	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
στ	Μεταβολή στην κατεύθυνση ή στην παροχή των υπόγειων υδάτων	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
ζ	Αλλαγή στην ποσότητα των υπογείων υδάτων είτε δι' απευθείας προσθήκη νερού ή απόληψης αυτού, είτε δια παρεμποδίσεως ενός υπογείου τροφοδότη των υδάτων αυτών σε τομές ή ανασκαφές	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
η	Σημαντική μείωση της ποσότητας του νερού, που θα ήταν κατά τα αλλά διαθέσιμο για το κοινό	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
θ	Κίνδυνο έκθεσης ανθρώπων ή περιουσιών σε καταστροφές από νερό, όπως πλημμύρες ή παλιρροιακά κύματα	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

4. Χλωρίδα

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιωνδήποτε ειδών φυτών (περιλαμβανομένων και δέντρων, θάμνων κτλ.)	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπανίων ή	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

	υπό εξαφάνιση ειδών φυτών			
γ	Εισαγωγή νέων ειδών φυτών σε κάποια περιοχή ή παρεμπόδιση της φυσιολογικής ανανέωσης των υπαρχόντων ειδών	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
δ	Μείωση της έκτασης οποιασδήποτε αγροτική καλλιέργεια	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

5. Πανίδα

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιωνδήποτε ειδών ζώων (πτηνών, ζώων περιλαμβανομένων των ερπετών, ψαριών και θαλασσινών, βενθικών οργανισμών ή εντομών)	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπανίων ή υπό εξαφάνιση ειδών ζώων	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
γ	Εισαγωγή νέων ειδών ζώων σε κάποια περιοχή ή παρεμπόδιση της αποδημίας ή των μετακινήσεων των ζώων	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
δ	Χειροτέρευση του φυσικού περιβάλλοντος των υπαρχόντων ψαριών ή άγριων ζώων	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

6. Θόρυβος

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

7. Χρήση γης

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

	Σημαντική μεταβολή της παρούσας ή της προγραμματισμένης για το μέλλον χρήση γης	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	---	-----	------	-----

8. Φυσικοί πόροι

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Αύξηση του ρυθμού χρήσης / αξιοποίησης οποιουδήποτε φυσικού πόρου	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Σημαντική εξάντληση οποιουδήποτε μη ανανεώσιμου φυσικού πόρου	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

9. Κίνδυνος ανώμαλων καταστάσεων

Το προτεινόμενο έργο ενέχει :

	Κίνδυνο έκρηξης ή διαφυγή επικίνδυνων ουσιών (περιλαμβανόμενων, εκτός των άλλων, και πετρελαίου, εντομοκτόνων, χημ. ουσιών ή ακτινοβολίας) σε περίπτωση ατυχήματος ή ανώμαλων συνθηκών	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	--	-----	------	-----

10. Πληθυσμός

Το προτεινόμενο έργο θα αλλάξει :

	Την εγκατάσταση, διασπορά, πυκνότητα ή ρυθμό αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού της περιοχής ίδρυση του έργου	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	---	-----	------	-----

11. Κατοικία

Το προτεινόμενο έργο θα επηρεάσει :

	Την υπάρχουσα κατοικία ή θα δημιουργήσει ανάγκη για πρόσθετη κατοικία στην περιοχή ίδρυσης του έργου	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	--	-----	------	-----

12. Μεταφορές / Κυκλοφορία

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Δημιουργία σημαντικής επιπρόσθετης κίνησης τροχοφόρων	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
---	---	-----	------	-----

β	Επιπτώσεις στις υπάρχουσες θέσεις στάθμευσης ή στην ανάγκη για νέες θέσεις στάθμευσης	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
γ	Σημαντική επίδραση στα υπάρχοντα συστήματα συγκοινωνίας	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
δ	Μεταβολές στους σημερινούς τρόπους κυκλοφορίας ή κίνησης ανθρώπων και / ή αγαθών	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
ε	Μεταβολές στη θαλάσσια, σιδηροδρομική ή αέρια Κυκλοφοριακή κίνηση	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
στ	Αύξηση των κυκλοφοριακών κινδύνων	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

13. Ενέργεια

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Χρήση σημαντικών ποσοτήτων καυσίμου ή ενέργειας	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Σημαντική αύξηση της ζήτησης των υπάρχουσών πηγών ενέργειας ή απαίτηση για δημιουργία νέων πηγών ενέργειας	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

14. Κοινή ωφελεία

Το προτεινόμενο έργο θα συντελέσει στην ανάγκη για σημαντικές αλλαγές στους εξής τομείς κοινής ωφέλειας :

α	Ηλεκτρισμό	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
β	Συστήματα επικοινωνιών	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
γ	Υδρευση	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
δ	Υπόνομους ή σηπτικούς βόθρους	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
ε	Αποχέτευση βρόχινου νερού	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
στ	Στερεά απόβλητα και διάθεση αυτών	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ

15. Ανθρώπινη υγεία

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

α	Δημιουργία οποιουδήποτε κινδύνου ή πιθανότητας κινδύνου για βλάβη της ανθρώπινης υγείας(μη συμπεριλαμβανομένης της ψυχικής υγείας)	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
---	--	-----	------	-----

β	Έκθεση ανθρώπων σε πιθανούς κινδύνους βλάβης της υγείας τους	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
---	--	-----	------	-----

16. Αισθητική

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :

	Παρεμπόδιση οποιασδήποτε θέας του ορίζοντα ή οποιασδήποτε κοινής θέας ή θα καταλήξει στη δημιουργία ενός μη αποδεκτού αισθητικά τοπίου, προσπιτού στην κοινή θέα	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	--	-----	------	-----

17. Αναψυχή

Το προτεινόμενο έργο θα έχει επιπτώσεις :

	Στην ποιότητα ή ποσότητα των υπαρχουσών δυνατοτήτων αναψυχής	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	--	-----	------	-----

18. Πολιτιστική κληρονομιά

Το προτεινόμενο έργο θα καταλήξει :

	Σε αλλαγή ή καταστροφή κάποιας αρχαιολογικής περιοχής	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	---	-----	------	-----

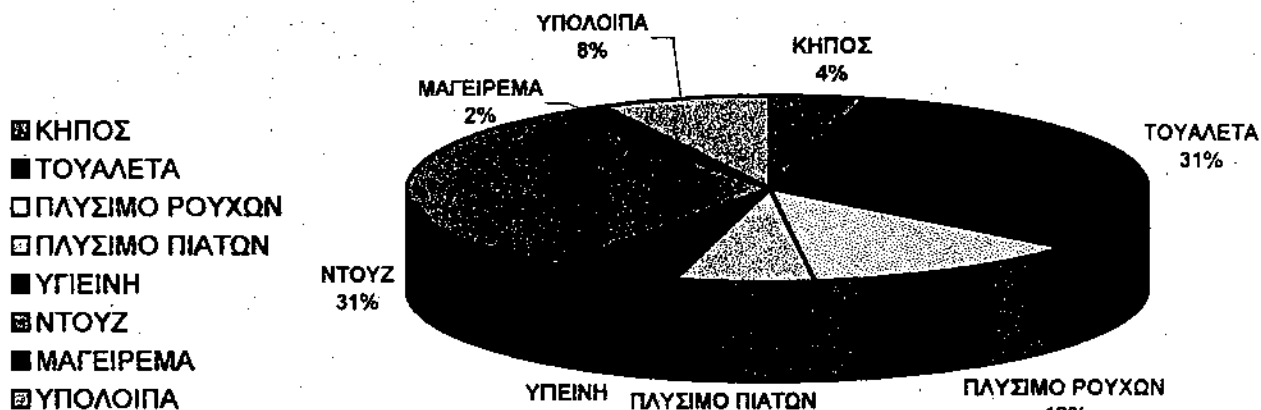
19. Προστατευτές περιοχές

Το προτεινόμενο έργο βρίσκεται :

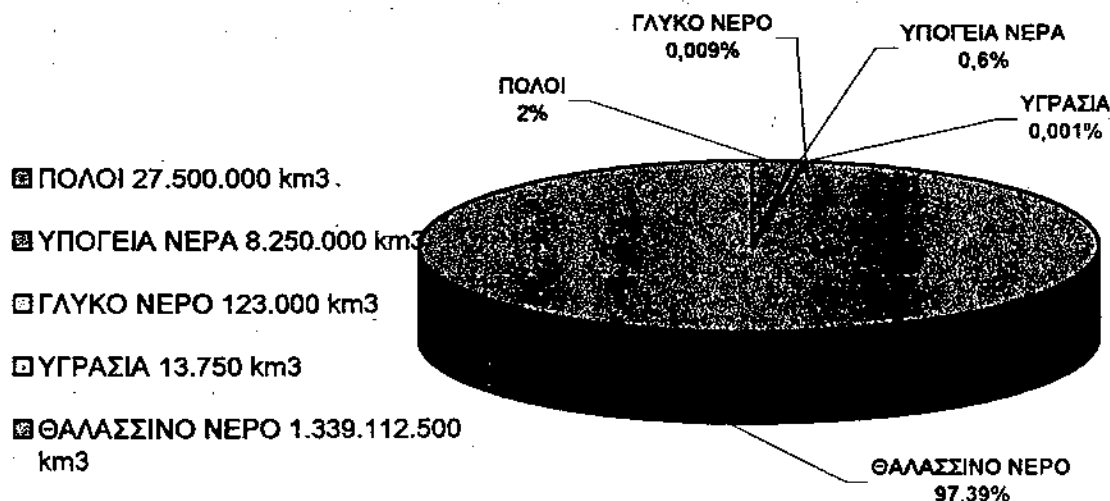
	Σε προστατευτέα περιοχή σύμφωνα με το άρθρο 21 του Ν.1650/86	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	--	-----	------	-----

20. Συναγωγή σημαντικών πορισμάτων

	Έχει το υπό εκτέλεση έργο τη δυνατότητα να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
--	---	-----	------	-----

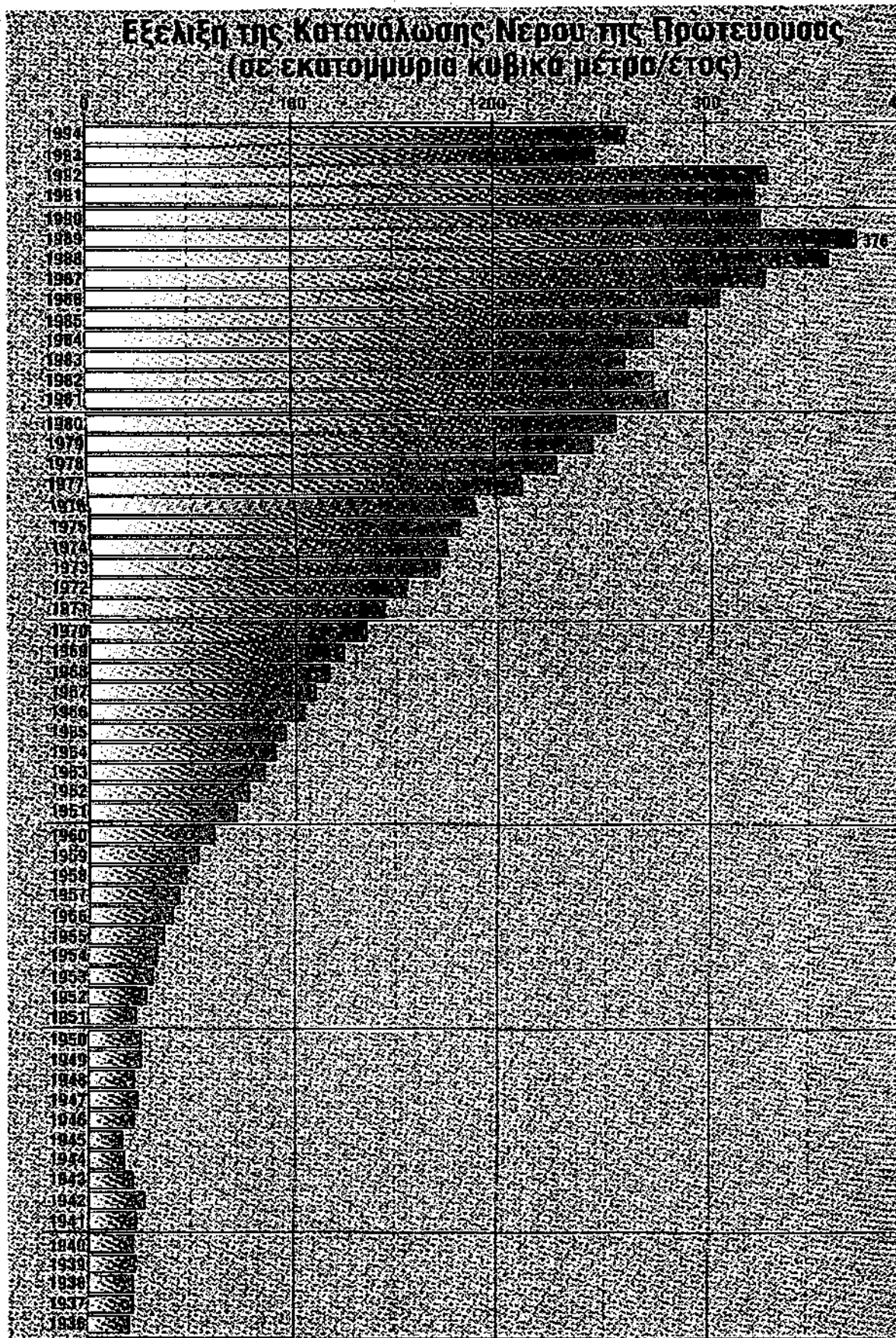


Διάγραμμα I Ημερήσια οικιακή κατανάλωση νερού σε λίτρα ανά συσκευή (Πηγή : WILO)



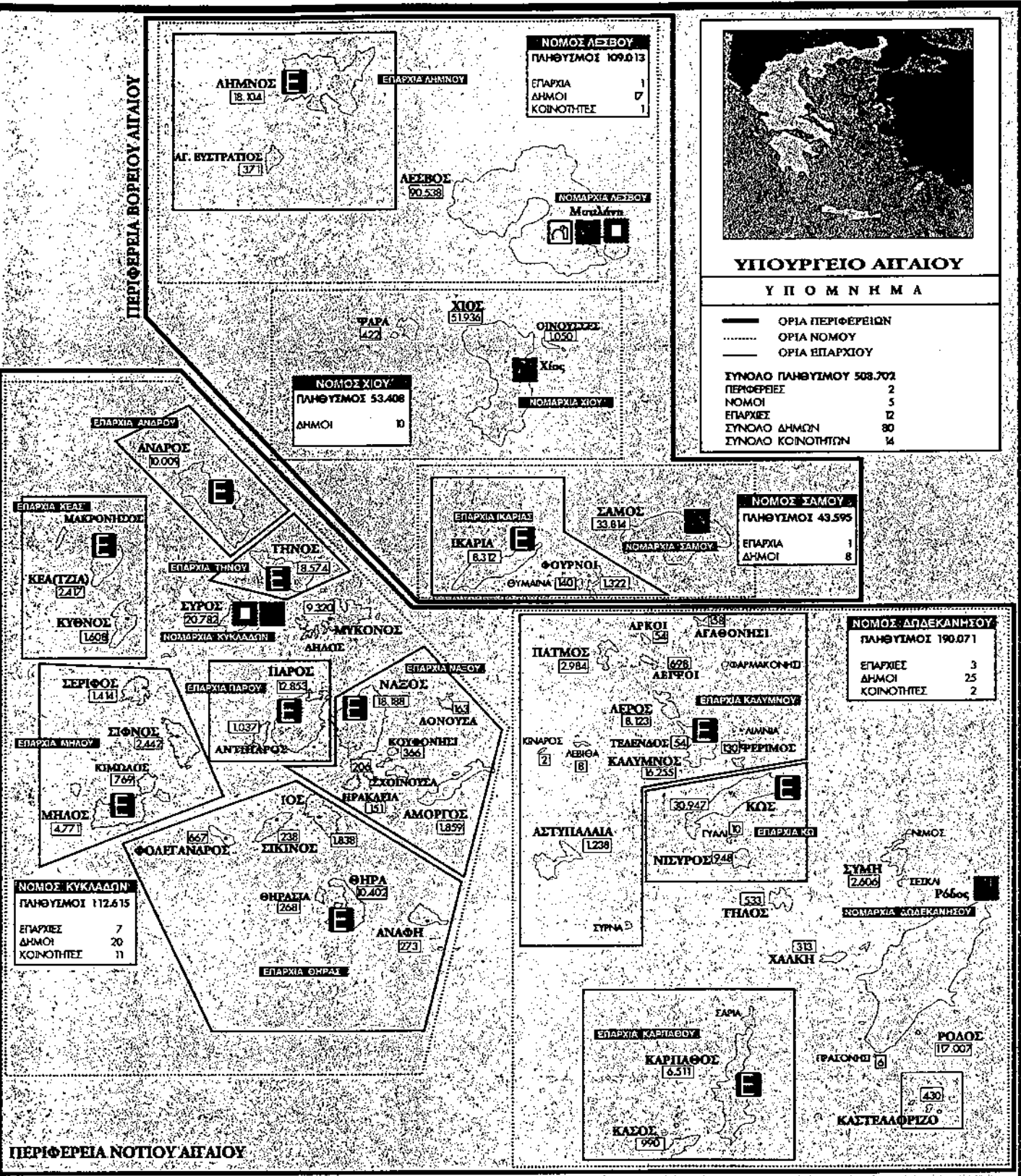
- ΠΟΛΟΙ 27.500.000 km³.
- ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ 8.250.000 km³
- ΓΛΥΚΟ ΝΕΡΟ 123.000 km³
- ΥΓΡΑΣΙΑ 13.750 km³
- ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ 1.339.112.500 km³

Διάγραμμα II Το νερό στον πλανήτη (Πηγή : WILO)



Διάγραμμα III Εξέλιξη της κατανάλωσης του νερού της πρωτεύουσας (1936 – 1994)
(Πηγή : Γαϊόραμα, Τεύχος 6, 1998)

ΠΑΘΥΣΜΟΣ ΝΗΣΩΝ ΑΙΓΑΙΟΥ 508.702

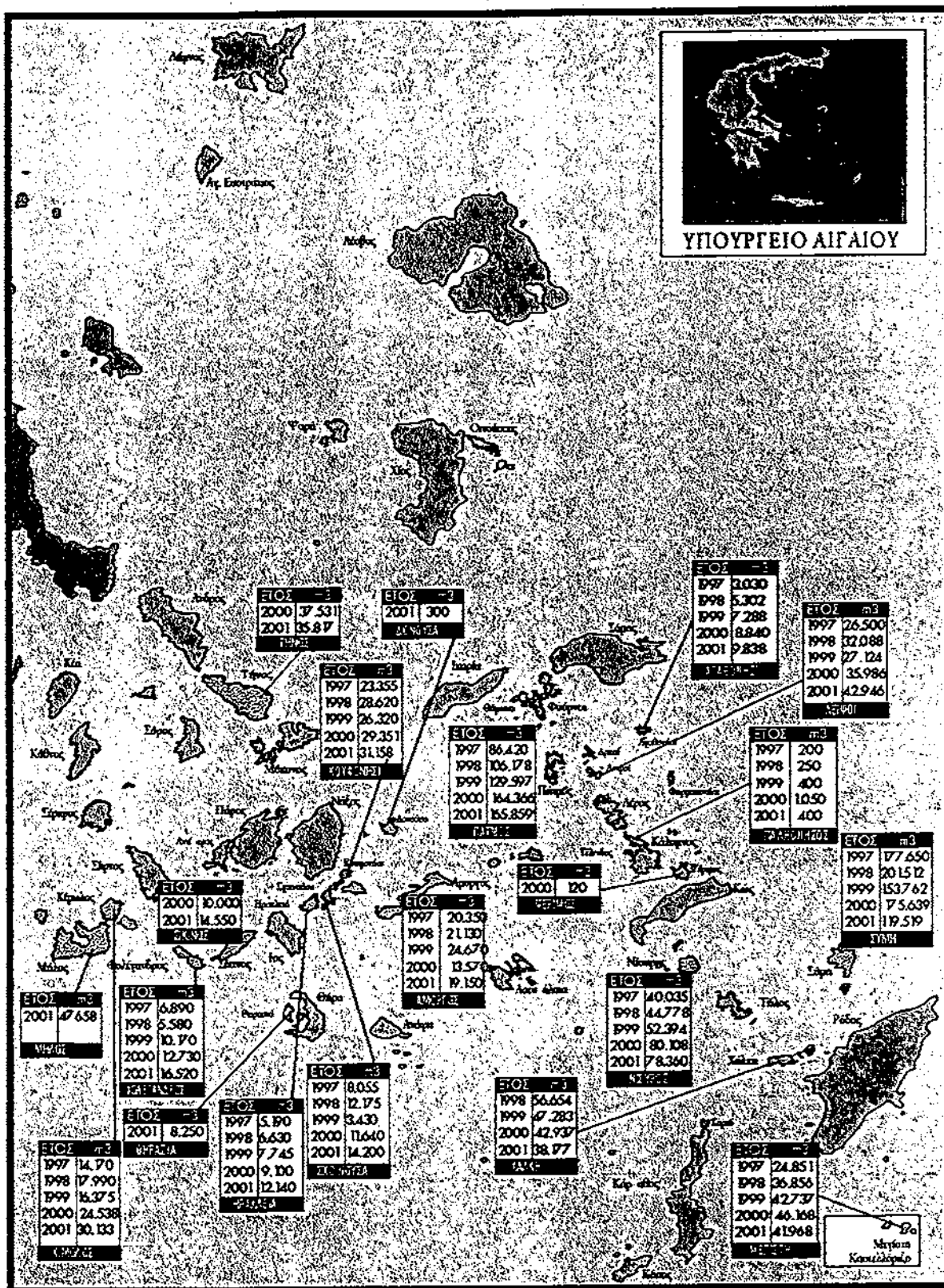


ΕΛΡΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΕΛΡΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ
 ΕΛΡΑ ΝΟΜΑΡΧΙΑΣ ΕΛΡΑ ΕΠΑΡΧΙΑΣ

ΠΗΓΗ:
ΕΣΥΕ, ΑΠΟΓΡΑΦΗ 2001

Χάρτης 1 Ο πληθυσμός των νησιών του Αιγαίου

ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΑΝΥΔΡΩΝ ΝΗΣΙΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ & ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ



Χάρτης II Υδροδότηση ανυδρων νησιών στο Αιγαίο

Οι σύγχρονοι μέθοδοι της αφαλατώσεως έχουν βρει ευρύτατη βιομηχανική εφαρμογή, σε πολλές περιοχές του πλανήτη μας όπου υπάρχει μερική ή ολική έλλειψη γλυκού νερού, ενώ το θαλάσσιο νερό βρίσκεται σε αφθονία. Η αφαλάτωση με την πάροδο των χρόνων, ολοένα και ακμάζει δημιουργώντας όλο και πιο σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και αποτελεί κατά τους ειδικούς την μελλοντική πηγή παροχής γλυκού νερού και καθαρισμού διαφόρων διαλυμάτων, με μεγάλη ποικιλία και περιεκτικότητα αλάτων. Οι νέοι μέθοδοι, χαμηλής αποκτήσεων ενέργειας με χαμηλό κόστος με την πάροδο του χρόνου δίνουν αλληπάλληλες λύσεις στη δημιουργία φτηνών εγκαταστάσεων.

Η λύση των αφαλατώσεων δεν πρέπει να εγκαταλειφθεί γιατί η εξέλιξη της τεχνολογίας μπορεί να δώσει νερό από τη θάλασσα με μικρότερο κόστος από το μέχρι σήμερα ισχύουν.

Οπωσδήποτε, δεν πρέπει ποτέ να εφησυχάσουμε με το ότι η αφαλάτωση θα μας παρέχει το νερό που χρειαζόμαστε. Η εξοικονόμηση νερού στην καθημερινή μας ζωή είναι αναγκαία, ώστε να μην βρεθούμε μια στιγμή χωρίς νερό.

ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ – ΒΙΒΛΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Ε. Δεληγιάννης, Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Σεπτέμβριος 1995
2. Κουτούπης Παναγιώτης, Αφαλάτωση χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια
3. Γαίωμα, Τεύχος 6, 1998
4. Λαμπάδης, 1991
5. Αλμπάνης Τ., Ρύπανση και τεχνολογία προστασίας περιβάλλοντος, 1996
6. Μέθοδοι αφαλάτωσης, Προκεχωρημένα μαθήματα ΗΜΕ, Πάτρα 2000
7. Σ. Καπλάνης, Τεχνολογία PV – συστημάτων και εφαρμογές Desalination Technology, University of Glasgow, UK 1993
8. Γ. Φραγκιαδάκης, Το φωτοβολταϊκό στοιχείο, Ηράκλειο 1999
9. S. Toyama, "Simulation of a Multieffect Solar Distillator"
10. " Experience on Desalination with RES ", Spain, Mar 1996
11. Desalination and water sciences, Nov 1995
12. Matthias Rommel, Thermally driven desalination plants
13. The Blue Plan, Oxford Press, 1989 Siwak, Ionics, Massachusetts, USA 1990
14. J Ribeiro, " Desalination Technology – Survey & Projects, Spain, Aug 1996
15. " Water Desalination in the Mediterranean Region ", ARMINES, Aug 1997
16. M.A Darwish " Desalination Processes ", Abu-Dhabi 1995
17. " Experience on Desalination with RES ", Spain, Mar 1996
18. Atlantis Ltd
19. " Advanced MED Solar desalination plants", Spain 1996
20. Caddet Renewable Energy Newsletter, December 1999
21. Desalination and water sciences, Nov 1995
22. VERGNET S.A, France, Aug 1997
23. C. Karytsas, Low enthalpy geothermal energy driven sea water desalination plants

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

24. www.allpictures.com
25. www.desalination.com

26. www.cres.gr
27. www.Atlantissenergy.com
28. www.google.com
29. www.in.gr
30. www.trinity.gr
31. www.yahoo.com

ΟΡΓΑΝΩΣΕΙΣ – ΙΔΡΥΜΑΤΑ – ΚΡΑΤΙΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ

32. Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
33. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ)
34. Ελληνικό κέντρο Θαλάσσιων ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ)
35. Μονάδα ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων (RENES)
36. Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου
37. Κοινοτικό γραφείο Σίφνου
38. Μονάδα αφαλάτωσης Οίας
39. Κοινοτικό γραφείο Κιμώλου
40. WILO

